

# 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 1.7

### Titolo del progetto

#### Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]
- Politecnico di Milano - Dipartimento di Energia [PoliMI-DENG]
- Politecnico di Milano - Dipartimento di Architettura e Studi Urbani [DASTU]
- Politecnico di Milano - Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria [PoliMI-DEIB]
- Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Gestionale [PoliMI-DIG]
- Politecnico di Torino - Dipartimento di Energia [TO-DENERG]
- Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica [RM1-DIAEE]
- Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Ingegneria informatica, automatica e gestionale [RM1-DIAG]
- Sapienza Università di Roma - Centro Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Architettura [CITERA]
- Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Ingegneria meccanica e aerospaziale [RM1-DIMA]
- Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura [RM1-PDTA]
- Sapienza Università di Roma - Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente [RM1-DICMA]

- Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Industriale [UniNA-DII]
- Università degli Studi di Padova - Dipartimento di Ingegneria Industriale [UniPD-DII]
- Università dell'Aquila - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale [AQ-DICEAA]
- Università dell'Insubria - Dipartimento di Economia [DIECO]
- Università della Campania - Dipartimento di Ingegneria [UniCampDI]
- Università di Bergamo - Dipartimento di Ingegneria e Scienze applicate [UniBG-DISA]
- Università di Bergamo - Dipartimento di Ingegneria gestionale, Informazione e produzione [UniBGDIGIP]
- Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" [UniBO-DEI]
- Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria industriale [UniBO-DIN]
- Università di Firenze - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale [UniFIDICEA]
- Università di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni [DESTeC]
- Università di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione [UniPI-DII]
- Università di Roma Tor Vergata - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica [RM2-DICII]
- Università di Roma Tor Vergata - Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa "Mario Lucertini" [RM2-DIIMP]
- Università di Roma Tor Vergata - Dipartimento di Ingegneria Industriale [RM2-DII]
- Università di RomaTre - Dipartimento di Ingegneria industriale, Elettronica e Meccanica [RM3-DIEM]
- Università di Salerno - Dipartimento di Ingegneria Civile [UniSADICIV]
- Università Politecnica delle Marche - Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche [DIISM]
- Università RomaTre - Dipartimento di Ingegneria Civile, Informatica e delle Tecnologie Aeronautiche [RM3-ICITA]

**Durata del progetto: 36 mesi**

**Costo proposto: 13.200.000,00 €**

## 2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

### 2.1 Dati progetto

**Titolo del progetto**

Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

**Durata del progetto**

36 mesi

### 2.2 Descrizione progetto

**Abstract del progetto**

Il progetto 1.7 ha la finalità di favorire la transizione energetica e digitale delle infrastrutture urbane e negli usi finali, verso la decarbonizzazione e la conseguente elettrificazione negli usi finali (obiettivi 2030-2050 «carbon neutral society»).

Il progetto si compone di 4 WPs:

- WP1 Comunità energetiche sostenibili
- WP2 Infrastrutture urbane energivore
- WP3 Mobilità elettrica
- WP4 Pompe di Calore e climatizzazione sostenibile.

L'obiettivo del WP1 dal punto di vista tecnologico è sostenere la realizzazione di comunità energetiche per la gestione dei consumi e della generazione di energia attraverso le tecnologie abilitanti (IoT, machine learning, BigData, IA, etc.), favorendone la diffusione in Italia. Le attività riguardano una infrastruttura digitale sui cui sono convogliati diversi servizi di comunità, tra cui: applicazioni web per l'avvio delle CER (analisi fattibilità tecnico-economica, gestione flessibile e consapevole delle utenze residenziali); flessibilità di edifici consumer e prosumer con prevalente uso del vettore elettrico (demand-response); applicazioni per la gestione sperimentale e la valutazione delle CER attraverso il monitoraggio e un "Digital Twin" delle Comunità Energetiche; assessment tool per supportare ed indirizzare la generazione di energia rinnovabile per le CER nel territorio nazionale; servizi avanzati per le smart energy communities per la remunerazione del virtuosismo energetico tramite token. Infine verrà costituito un Osservatorio per le Comunità energetiche promosso e gestito da ENEA organizzato in tavoli tematici con l'obiettivo di condividere e agevolare la penetrazione delle CER in Italia.

Obiettivo del WP2 è favorire la transizione digitale della PA attraverso lo sviluppo e applicazione di piattaforme digitali interoperabili con particolare riferimento alle infrastrutture energetiche pubbliche per il monitoraggio di asset pubblici energivori e la condivisione efficiente di dati urbani finalizzata alla creazione di nuova informazione e nuovi servizi.

Le attività comprendono: un framework per la governance dei dati urbani (Smart City Platform) che include piattaforme interoperabili basate su dati standard e una metodologia formale di coinvolgimento delle municipalità (Urban Check Up Model, UCUM) per facilitare la transizione verso i servizi urbani smart; una piattaforma nazionale interoperabile Public Energy Living Lab (PELL) per la valutazione dello stato e il monitoraggio prestazionale delle infrastrutture energivore attraverso strumenti basati su protocolli e metodologie omogenee (standard di censimento e acquisizione del dato); la piattaforma CI-RES per la resilienza dei sistemi energetici esistenti e un Urban Digital Twin per la gestione del sistema elettrico in previsione di scenari futuri (DSS); un veicolo elettrico autonomo innovativo, con funzioni di monitoraggio del contesto urbano dal punto di vista energetico e ambientale.

L'obiettivo del WP3 è favorire la diffusione di una mobilità elettrica sostenibile: questo richiede soluzioni in grado di superare le criticità in termini di autonomia dei veicoli, facilità e rapidità di ricarica, sicurezza, durabilità e possibilità di riuso dei sistemi di accumulo, impatto sulla rete di distribuzione dell'energia elettrica. Il WP affronta tali problematiche sia dal punto di vista tecnologico che dal punto di vista della pianificazione e gestione dei sistemi di trasporto. Considerando la rapida diffusione del vettore idrogeno nel settore dei trasporti, si approfondiranno le problematiche di sicurezza studiando scenari incidentali con simulazione di rilasci al fine di individuare appropriate strategie di mitigazione. Per quanto riguarda l'accumulo sono previste prove di laboratorio per testare gli effetti di differenti strategie di ricarica sui sistemi di accumulo automotive; si prevede inoltre la messa a punto di un algoritmo di stima dello stato di salute della batteria durante il funzionamento della stessa. Si svilupperanno prototipi di componenti veicolari innovativi e di sistemi di ricarica dinamica applicati a convogli di veicoli collegati ad una catenaria tramviaria, si analizzerà una linea di trasporto pubblico in modo da dimensionarne i parametri, si ottimizzeranno le tecnologie innovative di controllo termico dell'elettronica già sviluppate nel precedente PT, con una sperimentazione on field sia per i componenti di potenza delle stazioni di ricarica che delle batterie a bordo dei veicoli elettrici. Si realizzeranno inoltre strumenti informatici di supporto all'analisi della domanda di ricarica di veicoli elettrici per trasporto privato nelle aree extraurbane e nuovi strumenti per l'analisi di politiche e interventi mirati a ridurre il trasporto privato, promuovere la mobilità

condivisa con veicoli a zero emissioni e accelerare l'elettrificazione delle flotte veicolari pubbliche e private.

Il WP4 si occupa di attività di sviluppo tecnico-sperimentale delle pompe di calore (PdC), che costituiscono la principale soluzione per la decarbonizzazione efficiente del settore della climatizzazione sostenibile. Le pompe di calore elettriche, pur essendo una tecnologia matura, presentano numerosi aspetti da sviluppare: tecnologici, di integrazione con altri sistemi, di risposta puntuale alle diverse esigenze dell'utenza, ecc.. Queste problematiche, insieme ad una filiera di installazione non completamente consolidata in quanto sbilanciata ancora verso soluzioni tradizionali (es. caldaie a gas), costituiscono le principali barriere alla loro diffusione su larga scala.

Il progetto si propone di affrontare quindi sia tematiche prettamente tecniche che attività di carattere trasversale, come la diffusione e formazione sulle specificità della tecnologia in pompa di calore. Le principali attività tecniche riguarderanno sistemi complessi in pompa di calore sia multisorgente che integrati con altre tecnologie, quali il geotermico, il fotovoltaico e gli accumuli di nuova generazione. Queste attività avranno l'obiettivo di individuare configurazioni d'impianto eventualmente applicabili anche a climi freddi, ottimizzando anche il loro potenziale di flessibilità verso la rete elettrica. Inoltre, saranno condotti studi su refrigeranti a bassissimo GWP, in accordo alla nuova F-GAS. Sul versante della diffusione, l'ENEA intende avviare un percorso di sensibilizzazione e di raccordo tra tutti gli attori della filiera per definire delle linee guida condivise per la progettazione, il dimensionamento, l'installazione ottimale delle macchine in funzione delle specifiche esigenze degli utenti e per creare dei percorsi di formazione per progettisti ed installatori di pompe di calore.

### Abstract del progetto ENG

Project 1.7 aims at fostering the energy and digital transition of urban infrastructures and end uses, towards decarbonisation and subsequent electrification in end uses (2030-2050 'carbon neutral society' targets).

The project consists of 4 WPs:

- WP1 Sustainable Energy Communities
- WP2 Energy-intensive urban infrastructures
- WP3 Electric Mobility
- WP4 Heat Pumps and Sustainable heating and cooling.

The objective of WP1 from a technological point of view is to support the implementation of energy communities for the management of energy consumption and generation through enabling technologies (IoT, machine learning, BigData, AI, etc.), fostering their deployment in Italy.

The activities concern a digital infrastructure on which various community services are available, including web applications for the start-up of CERs (technical-economic feasibility analysis, flexible and aware management of residential users); flexibility of consumer and prosumer buildings with prevalent use of the electric vector (demand-response); applications for the experimental management and evaluation of CERs through monitoring and a 'Digital Twin' of Energy Communities; assessment tools to support and direct the generation of renewable energy for CERs in the national territory; advanced services for smart energy communities for the remuneration of energy virtuosity through tokens. Finally, an Observatory for Energy Communities will be set up, promoted and managed by ENEA and organised into thematic tables with the aim of sharing and facilitating the penetration of CERs in Italy.

The objective of WP2 is to foster the digital transition of PA through the development and application of interoperable digital platforms with particular reference to public energy infrastructure for monitoring energy-intensive public assets and efficient sharing of urban data aimed at creating new information and services.

Activities include: a framework for the governance of urban data (Smart City Platform) that includes interoperable platforms based on standard data and a formal methodology for the involvement of municipalities (Urban Check Up Model, UCUM) to facilitate the transition to smart urban services; a national interoperable Public Energy Living Lab (PELL) platform for the assessment of the status and performance monitoring of energy-intensive infrastructures through tools based on homogeneous protocols and methodologies (census and data acquisition standards); the CI-RES platform for the resilience of existing energy systems and an Urban Digital Twin for the management of the electricity system in anticipation of future scenarios (DSS); an innovative autonomous electric vehicle with energy and environmental monitoring functions in the urban context.

The objective of WP3 is to promote the spread of sustainable electric mobility: this requires solutions that overcome critical issues in terms of vehicle autonomy, ease and speed of recharging, safety, durability and reusability of storage systems, and impact on the electricity distribution network. The WP addresses these issues both from a technological point of view and from the point of view of the planning and management of transport systems. Considering the rapid spread of the hydrogen vector in the transport sector, safety issues will be investigated by studying accident scenarios with simulated releases in order to identify appropriate mitigation strategies. Regarding storage, laboratory tests are planned to test the effects of different recharging strategies on automotive storage systems; an algorithm for estimating battery health during battery operation will also be developed. Prototypes of innovative vehicle components and dynamic recharging systems applied to convoys of vehicles connected to a tramway catenary will be developed, a public transport line will

be analyzed in order to dimension its parameters, innovative technologies for the thermal control of electronics already developed in the previous PT will be optimized, with on-field experimentation for both the power components of the recharging stations and the batteries on board electric vehicles. In addition, IT tools will be developed to support the analysis of the demand for recharging electric vehicles for private transport in extra-urban areas and new tools for analyzing policies and interventions aimed at reducing private transport, promoting shared mobility with zero-emission vehicles and accelerating the electrification of public and private vehicle fleets.

WP4 deals with the technical and experimental development of heat pumps (HPs), which are the main solution for the efficient decarbonisation of the air-conditioning sector. Electric heat pumps, although a mature technology, present numerous aspects to be developed: technological, integration with other systems, timely response to different user needs, etc.. These issues, together with an installation chain that is not completely consolidated as it is still unbalanced towards traditional solutions (e.g. gas boilers), are the main barriers to their widespread diffusion. The project will therefore address both purely technical issues and activities of a transversal nature, such as dissemination and training on the specificities of heat pump technology. The main technical activities will concern complex heat pump systems, both multi-source and integrated with other technologies, such as geothermal, photovoltaic and new-generation storage. These activities will aim to identify system configurations that may also be applicable in cold climates, optimising their potential for flexibility towards the grid. In addition, studies will be conducted on ultra-low GWP refrigerants, in accordance with the new F-GAS. On the diffusion side, ENEA intends to initiate a process to raise awareness and link all the players in the supply chain to define shared guidelines for the design, sizing, and optimal installation of machines according to the specific needs of users, and to create training courses for heat pump designers and installers.

## 2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 3

TRL finale: 9

L'incremento di TRL nel WP1 riguarda:

- rilascio versione aggiornata del simulatore RECON per la fattibilità tecnico-economica di configurazioni CACER (TRL da 6 a 8);
- nuova versione semplificata Easy-Sim e nuove funzionalità del tool web Smart-Sim per la consapevolezza energetica dell'utente finale (TRL da 6 a 7);
- evoluzione dello strumento per il monitoraggio energetico e feedback per utenti residenziali DHOMUS (TRL da 6 a 7) con sperimentazione in contesti reali;
- prototipo per la pianificazione su scala territoriale del potenziale di FER per la realizzazione delle CER (TRL da 4 a 7);
- rilascio della nuova versione del tool SIMUL-CRUISE sperimentato in casi pilota reali (TRL da 5 a 6);
- completamento del marketplace LTE con sperimentazione in contesto reale (TRL da 5 a 7);
- nuova versione del tool per analisi del sentiment sociale sulle CER ECListener (TRL da 5 a 6);
- realizzazione di un sistema smart prototipale per la ricarica di veicoli elettrici da integrare con il sistema di gestione dell'edificio (TRL da 4 a 7).

L'incremento di TRL nel WP2 riguarda:

- nuova versione del prototipo di Smart City Platform con sperimentazione su casi pilota (TRL da 5 a 7);
- prototipo del tool UCUM per la smartness delle città, sperimentato su alcuni casi pilota (TRL da 4 a 7);
- consolidamento della piattaforma PELL IP, con nuove funzionalità (TRL da 8 a 9);
- consolidamento della piattaforma PELL Edifici-scuole, con nuove funzioni e servizi (TRL da 4 a 7);
- completamento della piattaforma CI-RES, per la resilienza dei sistemi energetici esistenti, sperimentata in ambiente rilevante (TRL da 5 a 6);
- predisposizione di un Urban Digital Twin, come piattaforma per la gestione del sistema elettrico in previsione di scenari futuri (DSS) (TRL da 3 a 5);
- upgrade del veicolo elettrico autonomo con tipologie di alimentazione innovative e con funzioni di monitoraggio del contesto urbano (TRL da 4 a 6).

L'incremento di TRL nel WP3 riguarda:

- Algoritmo on-line real-time delle prestazioni della batteria (TRL da 4 a 6)
- Veicoli a idrogeno; analisi di scenari incidentali di veicoli ad idrogeno ed individuazione di strategie di mitigazione del rischio; studi per l'ottimizzazione dei processi di carica/scarica durante il refuelling di H2 (TRL da 1 a 2);

- Tecnologie per il trasporto pubblico locale; realizzazione di un prototipo di sistema di trasporto pubblico dotato di sistemi di ricarica dinamica su catenaria tramviaria applicato a veicoli connessi in convoglio e scambio termico bifase (TRL da 4 a 7);
- Ricarica BEV; software per la stima dei Charging Profile del trasporto privato con autovettura elettrica in area extraurbana (TRL da 2 a 4);
- Mobilità sostenibile; strumenti a supporto delle attività di analisi e pianificazione di interventi per la sostenibilità e la decarbonizzazione della mobilità (TRL da 5 a 6) per dimostrare e validare l'efficacia e l'affidabilità dei nuovi componenti funzionali della piattaforma in casi di studio reali, nonché raccogliere feedback utili per apportare ulteriori miglioramenti.

L'incremento di TRL nel WP4 riguarda:

- sistemi integrati con applicazioni geotermiche: incremento di TRL nel settore del dimensionamento e gestione di accumuli geotermici stagionali (TRL da 5 a 6) e nell'integrazione tra produzione solare e accumulo geotermico (TRL da 5 a 6);
- componenti, sviluppi tecnologici e applicazioni speciali: si ricercheranno incrementi di TRL nella progettazione di sistemi di sbrinamento innovativi (TRL da 6 a 7) con accumuli a PCM o per rigenerazione termica, nella caratterizzazione termodinamica di refrigeranti a bassissimo GWP (da 6 a 7), nell'ottimizzazione di soluzioni per climi freddi (TRL da 7 a 8), nell'applicazione di apparati di climatizzazione avanzati per impianti di produzione alimentare in serra (TRL da 7 a 8) e nelle strategie innovative per l'ottimizzazione del comfort termico e la riduzione degli impatti sul microclima urbano (TRL da 7 a 8).

## 2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

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

Il tema delle comunità energetiche richiede lo sviluppo di tecnologie digitali che ne supportino la creazione e la diffusione; in particolare ad oggi mancano strumenti standard per la pianificazione, il monitoraggio e la valutazione delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), viceversa le piattaforme esistenti sono tipicamente chiuse e non rendono disponibile il dato in quanto seguono la logica "platform-as-service". A livello di raccolta dati in ambito residenziale i contatori di seconda generazione e gli standard Comitato Elettrotecnico Internazionale (CEI) ad essi associati sono una realtà, occorre tuttavia applicare e diffondere gli standard sviluppati nel PT precedente. Inoltre, si rileva inoltre la carenza di strumenti per incentivare la partecipazione dei cittadini alle CER, che offrano servizi e vantaggi aggiuntivi; infine, ad oggi i decisori politici non dispongono di strumenti di supporto alla PA ed in questo senso degli strumenti digital twin di supporto alle decisioni, secondo metodologie standard, sono finalizzati a superare questo gap.

Per quanto riguarda invece la transizione digitale, la principale barriera nel settore urbano è rappresentata dalla frammentazione dei dati e della loro scarsa fruibilità (in contrasto con la applicazione della direttiva EU "open data"), nonché dalla intera filiera che va dai produttori di tecnologie, ai gestori dei servizi, alle municipalità; oltre a ciò si rileva la necessità di finalizzazione dei dati raccolti (real time o open data) al livello superiore di "assessment" o definizione di scenari urbani. Accanto a questo permangono comunque gap tecnologici, di processo e normativi. In questo quadro lo sviluppo di linee guida, soluzioni, architetture, standard e assessment tool di scenari urbani di riferimento diventano abilitatori ed elementi fondamentali per la definizione ed implementazione di processi in grado di orientare e promuovere azioni di capacity building a livello locale (municipalità, autorità di gestione, multiutilities urbane, finanziatori pubblico/privati) e saranno in parte supportati da Fondi Europei di Sviluppo Regionale della programmazione 2021-2027 e dal programma Horizon Europe.

Per quanto riguarda la mobilità elettrica (WP3), tra le barriere presenti che possono ostacolare la diffusione di una mobilità elettrica sostenibile, ci sono le criticità tecnologiche in termini di autonomia dei veicoli, facilità e rapidità di ricarica, sicurezza, durabilità e possibilità di riuso dei sistemi di accumulo, nonché l'impatto sulla rete di distribuzione dell'energia elettrica. Quest'ultimo inoltre richiede la continua conoscenza puntuale dei profili di ricarica dei veicoli elettrici in ambito urbano ed extraurbano che influenzano non poco le richieste di potenza alla rete elettrica, come anche lo sviluppo di metodi e strumenti per la caratterizzazione e modellizzazione della mobilità in auto privata e in sharing.

Nell'ambito del macro-task "mobilità sostenibile", i progressi attesi riguardano lo sviluppo di nuovi approcci, metodologici e modellistici, e strati informativi che saranno integrati nella piattaforma già realizzata nel triennio precedente. Questi nuovi sviluppi apporteranno un significativo avanzamento nella comprensione, simulazione e valutazione dei profili di utilizzo dei veicoli, endotermici ed elettrici, e della domanda di ricarica all'interno di contesti territoriali diversificati, quali quelli urbani ed extraurbani. I nuovi sviluppi garantiranno inoltre una nuova conoscenza sia nella gestione e ottimizzazione degli spostamenti sistematici (come quelli casa-lavoro o nei luoghi ad elevata densità di addetti), sia nello studio e modellazione di scenari di diffusione di flotte di mobilità condivisa, come car-sharing, scooter-sharing e micromobilità.

Questa nuova capacità di analisi offrirà una base solida per supportare la definizione e valutazione ex-post di politiche di mobilità

sostenibile e decarbonizzazione. Inoltre, i progressi attesi contribuiranno in modo significativo alla trasformazione del sistema di mobilità verso una maggiore sostenibilità energetica, ambientale e climatica, più in linea con gli indirizzi delle politiche europee e nazionali.

Per quanto riguarda la climatizzazione sostenibile, le PdC, pur essendo una tecnologia matura, presentano numerosi aspetti da indagare e da ottimizzare. Esse, infatti, pur potendo già lavorare efficientemente in modalità standalone, possono migliorare la loro efficienza tramite integrazione e, di converso, contribuire a potenziare gli effetti utili delle tecnologie ad essa abbinata. La versatilità delle PdC si estrinseca nella possibilità di accoppiarle a sistemi di accumulo avanzati, convenzionali e non, a sorgenti termiche di diverso tipo (es. terreno, aria, acqua) e ad altre tecnologie consolidate (solare, fotovoltaico, geotermia). Oltre a ciò, le PdC attualmente in produzione sono spesso dotate di sistemi di controllo avanzati: su di essi devono essere implementate nuove funzionalità per sfruttare al meglio il potenziale di flessibilità delle pompe di calore da e verso la rete elettrica in funzione delle necessità dell'utilizzatore della singola macchina e/o del cloud di utenze comprese in un distretto energetico. Inoltre, alcuni aspetti tecnici richiedono ulteriori analisi, in modo da sfruttare il potenziale della tecnologia anche in condizioni climatiche svantaggiose (es. climi freddi) oppure da limitare alcuni inconvenienti tipici dell'uso delle PdC con sorgente termica aria (brinamento delle batterie alettate). Il tema dei refrigeranti subirà un'evoluzione rispetto allo stato dell'arte, in conseguenza dell'emanazione della nuova direttiva F-GAS. Infine, per limitare i problemi legati alle emissioni termiche e sonore concentrate derivanti dall'uso diffuso delle PdC dovranno essere messi in atto nuovi accorgimenti per una corretta progettazione della macchina, una corretta installazione in campo ed una corretta gestione degli impianti.

#### **b) Attività svolte nel triennio precedente**

Nel triennio precedente nell'ambito del progetto 1.7, "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali" sono state svolte attività in 4 WPs direttamente collegati alla presente proposta progettuale.

Nel WP1, Comunità Energetiche Sostenibili, infatti l'attività era incentrata su una infrastruttura digitale sui cui sono convogliati diversi servizi di comunità, tra cui: applicazioni web per la progettazione tecnico-economica di CER e AUC e per la gestione flessibile e consapevole delle utenze residenziali, incluse le smart homes; metodologie per la definizione della flessibilità di edifici terziari con prevalente uso del vettore elettrico; cruscotto per l'ottimizzazione e la gestione CER attraverso il monitoraggio delle prestazioni energetiche tra cui modelli di consumo e produzione del giorno; moduli per realizzare il "Digital Twin" delle Comunità Energetiche includendo strumenti di analisi dati applicati alle serie temporali e di modellazione dei componenti energetici e tool con indicatori per isole di calore. Inoltre, sono previsti servizi avanzati per le Smart energy communities che comprendono una applicazione web e marketplace per una "local token economy" per la remunerazione del virtuosismo energetico (autoconsumo collettivo, flessibilità, risparmio energetico) con "token di utilità" e un servizio per il monitoraggio della percezione dei cittadini delle CER.

Nel WP2, Infrastrutture Urbane Energivore, nel PT22-24, le attività si sono focalizzate su piattaforme digitali a supporto della PA per la transizione delle infrastrutture pubbliche energivore. Tra queste la realizzazione di una piattaforma nazionale di integrazione delle piattaforme urbane estendendo i servizi di data analytics trasversali ai diversi domini urbani e una visione comparativa delle prestazioni delle varie città (inter-SCP) e lo sviluppo di una metodologia formale di coinvolgimento degli operatori urbani per facilitare la transizione verso i servizi smart (UCUM); il monitoraggio continuo prestazionale e servizi innovativi delle infrastrutture energivore attraverso una piattaforma nazionale interoperabile (PELL) e avvio del servizio per il settore degli edifici pubblici (in particolare scuole); verrà inoltre sviluppato un prototipo sperimentale per gli smart service connessi alla IP, degli ospedali ed uffici. La piattaforma (CI-Res) per la predizione del rischio nelle infrastrutture critiche energetiche verrà arricchita di nuove funzionalità di valutazione della vulnerabilità degli asset edificati, finalizzate all'analisi di scenario e fault energetici localizzati in caso di eventi naturali estremi in un'area urbana; integrazione con la piattaforma PELL e di interoperabilità con le infrastrutture di smart mobility. Sviluppo di smart road con servizi integrati nelle piattaforme di gestione dei dati urbani, upgrade dell'infrastruttura sensoristica nei pali intelligenti della IP, soluzioni hw/sw per la facilitazione della comunicazione tra veicoli elettrici autonomi e infrastrutture urbane; nuove funzionalità del veicolo elettrico autonomo nella smart road tra cui la sicurezza stradale e dei passeggeri e lo sviluppo di componenti per la ricarica wireless.

Nel WP3, per quanto riguarda l'accumulo è stato valutato un algoritmo numerico per la stima del degrado delle batterie e si è elaborato un ciclo di Test per un modulo di batterie realizzato con celle Second Life usate come sistema di compensazione a terra della potenza richiesta alla linea elettrica. Sono stati, inoltre, testati quattro differenti fluidi dielettrici a diretto contatto con le celle per valutare l'efficacia degli stessi nella soppressione/mitigazione della Thermal Runaway, innescata per abuso di sovraccarica.

Per quanto riguarda la ricarica dinamica per il trasporto pubblico locale è stato realizzato un sistema di trasporto con minibus predisposti per il collegamento in convoglio che si possono ricaricare tramite catenaria di tipo tramviario.

Per quanto riguarda lo scambio termico bifase, l'attività di ricerca svolta ha consentito di sviluppare un sistema di thermal management per inverter e batterie di un autobus elettrico di nuova generazione; tale sistema integra due tecnologie: il thermal management bifase e la pompa di calore ad adsorbimento per il recupero del calore di scarto generato durante la fase di ricarica del veicolo.

Per quanto riguarda la modellazione della ricarica dei veicoli elettrici, nello scorso triennio è stato sviluppato un primo software per la stima dei Profili di Ricarica del Trasporto Pubblico urbano a partire dai dati GTFS sulla programmazione del servizio ed un secondo per la stima dei profili di ricarica del trasporto individuale in area urbana, a partire da dati campionari della mobilità rilevati mediante dispositivi di bordo.

Per quanto riguarda la mobilità sostenibile, è stata progettata e implementata una piattaforma digitale per lo studio e la valutazione di politiche orientate alla sostenibilità, all'efficienza energetica e alla decarbonizzazione della mobilità di persone. La ricerca ha riguardato inoltre l'applicazione e il test dei componenti funzionali della piattaforma nell'area metropolitana di Roma.

Nel WP4, Pompe di Calore e climatizzazione sostenibile, sono stati studiati sistemi integrati, costituiti da PdC, abbinati a differenti sorgenti termiche (aria-acqua, geotermiche, con pannelli PV-T) e dotate di accumuli, sia termici che elettrici, di diversa tecnologia, per contribuire alla definizione di configurazioni impiantistiche con prestazioni superiori rispetto alle macchine convenzionali, adatte al maggior numero possibile di utenze e condizioni climatiche; sono state definite logiche di gestione avanzate di sistemi integrati, sia per il corretto sfruttamento delle sorgenti termiche disponibili, sia per fornire strumenti di flessibilità per la rete elettrica e per le utenze, attraverso la gestione della domanda con logiche DSM;

Sui temi delle tecnologie avanzate, sono stati indagati alcuni aspetti tecnici, come ad esempio le tecniche di brinamento attraverso calore di scarto, rigenerazione interna e accumuli a PCM.

Sui temi connessi alla diffusione di massa delle PdC sono stati sviluppati modelli di controllo e monitoraggio delle PdC, per ricavare indicatori in grado di rilevare prontamente guasti di piccola entità; sono stati studiati sistemi di mitigazione del rumore provenienti dai sistemi di ventilazione delle PdC, con lo scopo di limitare possibili deficit di comfort; sono stati infine predisposti strumenti per il confronto della tecnologia delle PdC ad uso riscaldamento con le principali tecnologie concorrenti, in termini di efficienze, costi, tariffe, benefici ambientali ed energetici.

Si riportano di seguito per le attività in continuità con il PTR22-24 il punto di arrivo del PTR precedente e gli sviluppi che si realizzeranno durante il PTR25-27, con il punto di arrivo finale espresso anche in TRL.

#### Attività WP1

- Versione aggiornata del simulatore RECON per la fattibilità tecnico-economica di configurazioni CACER

Nel PTR 22-24 RECON è stato aggiornato al quadro normativo in vigore nel 2024, permette di analizzare singole configurazioni di cui non è possibile modificare i membri, inoltre sono incluse alcune tipologie di clienti finali e nella versione rilasciata al pubblico non è ancora possibile analizzare i sistemi di accumulo. La dashboard amministratore è limitata all'analisi statistica semplificata delle configurazioni simulate. Su queste basi, nel PTR22-25 si intende mantenere aggiornato RECON all'evoluzione normativa estendendo l'analisi a CER multi-configurazione di cabina primaria, valutando l'impatto dell'ingresso/uscita dei membri della configurazione sulle performance energetiche ed economiche e includendo ulteriori tipologie di clienti finali (es. strutture ricettive, RSA, illuminazione pubblica). Inoltre, si provvederà al rilascio al pubblico dei modelli degli accumuli elettrici. La dashboard amministratore sarà perfezionata per consentire l'analisi statistica delle configurazioni simulate con la definizione e implementazione di KPI. Analogamente, il manuale utente e la reportistica tramite GUI saranno perfezionati. TRL da 6 a 8.

- Nuova versione semplificata Easy-Sim e nuove funzionalità del tool web Smart-Sim per la consapevolezza energetica dell'utente finale
- Nel precedente piano triennale è stata progettata e implementata la dashboard amministratore e la nuova home page del web tool Smart SIM, nel nuovo triennio è prevista l'implementazione on line della versione di calcolo semplificata denominata Easy Sim e integrazione di un modulo di calcolo per la flessibilità elettrica legata agli usi termici residenziale. Inoltre, verrà arricchita la home page pubblica del portale con nuovi indicatori prestazionali delle schede compilate così da ampliare il numero di utenti interessati alla consultazione del tool con passaggio di TRL da 6 a 7.

- Evoluzione dello strumento per il monitoraggio energetico e feedback per utenti residenziali DHOMUS con sperimentazione in contesti reali

In continuità con le attività avviate nel precedente piano triennale, la piattaforma DHOMUS sarà utilizzata per il monitoraggio di utenze residenziali. Finora l'accesso alla piattaforma è stato limitato ai partecipanti alla sperimentazione ed eventuali aggregatori, nel nuovo triennio la piattaforma evolverà grazie alla predisposizione di un'interfaccia pubblica in cui sarà possibile pubblicare KPI anonimizzati, inoltre saranno sviluppati nuovi algoritmi di elaborazione dati per fornire ulteriori feedback agli utenti. La sperimentazione della piattaforma in contesti reali assicurerà il passaggio da un TRL 6 a 7.

- Prototipo del Geoportale per le CER

In questo triennio si procederà allo sviluppo prototipale di un Geoportale partendo dal geodatabase sviluppato nello scorso triennio dal

PoliTo-Dip. Energia e che sarà ulteriormente arricchito nel presente triennio. Il prototipo consentirà di realizzare uno strumento rivolto alla Pubblica Amministrazione che metterà a disposizione nuovi servizi utili alla valutazione, su scala territoriale comunale, provinciale, regionale, dei potenziali di sviluppo di FER, di risorse economico-sociali per la realizzazione delle CER. Il Geoportale ha dunque l'obiettivo di divenire uno strumento di supporto alle decisioni politiche e strategiche territoriali per indirizzare azioni di avvio per la costituzione di CER, (TRL da 4 a 7).

- Rilascio della nuova versione del tool SIMUL-CRUISE sperimentato in casi pilota reali

Gli strumenti SIMUL e CRUISE verranno consolidati e verrà predisposto un loro sviluppo sinergico prevedendo l'adozione di nuovi modelli di consumo e di produzione da diversa tipologia di sorgente rinnovabile, l'introduzione sistematica di analisi parametriche su KPI energetici e aspetti economici, l'implementazione di analisi prescrittive per il miglioramento energetico della CER, la riformattazione del codice per incrementare la numerosità delle possibili utenze coinvolte nell'analisi (superando l'attuale limite di 100 utenze per ogni configurazioni di comunità energetica). La versione aggiornata del tool consentirà sperimentazioni su dei nuovi casi pilota di CER e verrà rilasciata completamente in versione open source per poterla condividere con personale di ricerca di università/istituti/aziende impegnate sui temi delle comunità energetiche e delle energie rinnovabili. TRL da 5 a 6.

- Completamento del marketplace LTE con sperimentazione in contesto reale

La Local Token Economy è un web tool per lo scambio di beni e servizi in una Comunità che si compone di un frontend (Marketplace) e backend (blockchain e algoritmi premialità energetica). Il marketplace sviluppato nel 22-24 copre solo alcune delle casistiche del modello ENEA: legate ai cittadini e ai soggetti detentori di una struttura da rendere disponibile per la comunità. Nel 25-27 ci si pone due obiettivi: il primo legato al completamento delle figure di stakeholders che possono essere coinvolti nelle comunità aprendo anche ad associazioni, imprese, grandi e piccole ed in generale realtà commerciali. Il secondo, che è una diretta conseguenza del primo, punta a definire il modello cooperativo più idoneo tra questi nuovi stakeholders sempre sfruttando la tecnologia blockchain. Sulle evidenze avute dallo studio del partner universitario nel 22-24 è emersa la necessità valutare per questa tecnologia le potenzialità offerte dai "Non Fungible Token" che sono token non fungibili, ovvero, non con un controvalore economico, ma che trasferiscono in blockchain la titolarità di un bene. TRL da 5 a 7.

- Nuova versione del tool per analisi del sentiment sociale sulle CER ECListener

Le attività svolte nel PTR22-24 hanno consentito l'implementazione di vari servizi della piattaforma ECListener per il monitoraggio del sentiment e la loro gestione in produzione nel cluster Kubernetes ICS-K8s. La piattaforma ECListener ha un funzionamento automatizzato e non è previsto alcun servizio di configurazione da parte dell'utente finale. Nel PTR 25-27 si prevede il consolidamento implementazione servizi ECListener.

Verranno aggiunti i servizi di geolocalizzazione e relative interfacce di visualizzazione fin qui gestite tramite script Python eseguiti offline. Saranno sviluppati nuovi servizi per consentire all'utente finale di configurare ed eseguire analisi dei vari corpora di dominio (insiemi di testi appartenenti a un determinato ambito o argomento). Nello scorso triennio sono stati sviluppati gli scripts di analisi eseguiti offline. La nuova versione della piattaforma consentirà ad un utente amministratore di gestire in maniera dinamica i processi di web crawling (cioè i processi che individuano e catalogano le pagine web), ottimizzare i filtri di pertinenza e algoritmi di classificazione delle web news. I nuovi filtri di pertinenza e procedure di classificazione saranno utilizzati anche per l'utilizzo in produzione del web crawling semantico implementato nel triennio PTR 22-24. La nuova applicazione di web crawling (indipendente da servizi esterni come Google Alerts) sarà migliorata con lo sviluppo di servizi di configurazione per utenti amministratori per la gestione di campagne di web crawling su eventi specifici e/o aree geografiche specifiche. Rispetto al triennio passato la nuova piattaforma prevede l'introduzione di servizi di social crawling (Facebook, Telegram, LinkedIn, Twitter). I nuovi servizi saranno realizzati tramite le API delle piattaforme social quando possibile. Altrimenti il crawling sarà gestito in modo tale da considerare un numero specifico di pagine/utenti configurati dall'utente amministratore di ECListener. TRL da 5 a 6.

- Smart building e sistema smart prototipale per la ricarica di veicoli elettrici da integrare con il sistema di gestione dell'edificio

In continuità con le attività intraprese nel precedente triennio, presso l'edificio Smart Building F40 verranno condotti test di flessibilità elettrica degli usi termici, che prevedono nel nuovo triennio l'automatizzazione dei flussi di dati che consentono la previsione delle strategie di flessibilità e la successiva attuazione in corrispondenza delle pompe di calore dell'edificio stesso. Nel PTR precedente la previsione veniva effettuata su un applicativo esterno che forniva in output i set point da reinserire nel sistema di gestione con la necessità di un intervento di uno o più operatori, (TRL da 6 a 7). Inoltre, in prossimità dello SB verrà realizzato un sistema smart prototipale per la ricarica di veicoli elettrici con il quale è previsto uno scambio di dati bidirezionale per una gestione smart dei flussi energetici. Tale sistema è in continuità con quello realizzato nel PTR 22-24 che però era installato in un'area terminale del CR ENEA Casaccia dove non erano presenti carichi elettrici. TRL da 4 a 7.

- Tecnologie per la mitigazione del microclima locale

In continuità con il precedente triennio vi sarà la relazione tra mitigazione del clima urbano (ossia locale) e la risposta termica dell'edificio. L'innovazione nel presente triennio riguarderà sempre la relazione tra il clima locale e l'edificio, andando però ad analizzare anche le performance dei sistemi energetici (curve di carico elettrico degli edifici, performance dei sistemi di raffrescamento, risposta del sistema energetico edificio impianto con contributo delle fonti rinnovabili). Inoltre, sulla base dei risultati del precedente PTR sui cool shelter con sistemi evaporativi, saranno eseguite analisi di citizens science sulla vivibilità negli ambienti outdoor piuttosto che indoor, andando a quantificare i risparmi di energia elettrica per i costi di condizionamento estivo evitati. TRL da 5 a 7.

#### Attività WP2

- Nuova versione del prototipo di Smart City Platform e UD con sperimentazione su casi pilota

La piattaforma SCP (per la raccolta e la governance dei dati urbani provenienti da servizi urbani diversi) nel PTR22-24 è stata evoluta ed arricchita di nuove funzionalità (tool di inizializzazione SCP-Init, dashboard più ricca, IDP con nuova sezione analytics, nuovo database MongoDB per gli UrbanDataset, email periodiche con indicatori di interoperabilità). Nel PTR25-27 verrà consolidata, evoluta ed arricchita di diverse nuove funzionalità, tra le più importanti vi è la "comunicazione sincrona" per ottenere una comunicazione più rapida tra i nodi dello SCP Network, sviluppare un sistema di autenticazione compatibile con le specifiche AGID integrato nell'Identity Provider (IDP) e una modalità di distribuzione dei componenti della SCP con licenza d'uso. Inoltre, nel precedente triennio, le attività relative alle Smart City Platform Specification (SCPS) (specifiche per l'interoperabilità dei dati nella Smart City) si sono concentrate sui casi pilota. Sono stati creati nuovi UrbanDataset, necessari ai comuni dell'Umbria, alla linea di attività relativa a Dhomus, al tavolo dati dell'Osservatorio e al comune di Pitigliano. Inoltre, le SCPS sono entrate a far parte della specifica UNI 11973:2025. Il confronto con questi casi reali ha evidenziato la necessità, per il nuovo triennio, di preparare una nuova versione (3.0) delle specifiche Semantic, Information e Communication, affinché si adattino meglio alle esigenze delle municipalità. Dunque, le specifiche evolveranno sia nella capacità di rappresentare i dati urbani in modo più efficace, sia nell'ottimizzazione del formato, che potrà essere adottato in una versione più leggera. Inoltre, il tavolo dati dell'Osservatorio CE ha manifestato la necessità di disporre di una piattaforma per eseguire piani di test complessi, facilitando così l'adesione alle specifiche. Dunque, si definirà una metodologia l'esecuzione di questo tipo di test complessi e strutturati e si progetterà un'applicazione che la implementi. TRL da 5 a 7.

- Prototipo del tool UCUM per la smartness delle città, sperimentato su alcuni casi pilota

Il PT precedente ha permesso di validare l'idea "UCUM digitale" e di crearne una versione embrionale. La naturale evoluzione di questo progetto nel triennio è il consolidamento di questa versione in un prodotto strutturato che verrà sperimentato presso alcune amministrazioni con l'obiettivo di farlo diventare uno strumento di supporto per la PA nella gestione del territorio e soprattutto nella valutazione del livello di innovazione dei servizi presenti, andando a fornire una guida per interventi di riqualificazione e per una possibile quantificazione degli investimenti da realizzare. Altro aspetto innovativo sta nell'integrazione di altre 4 schede di valutazione nel tool e nella valutazione, grazie ai risultati, della possibilità di sviluppare indicatori utili alle amministrazioni, per la gestione del territorio e la programmazione di interventi di riqualificazione, tanto a livello locale quanto, potenzialmente, a livello regionale e nazionale. TRL da 4 a 7.

- Consolidamento della piattaforma PELL IP con nuove funzionalità

La piattaforma PELL IP nel precedente PTR era già in produzione ed era giunta a TRL 8, ed aveva già acquisito dati su circa 200 comuni distribuiti su decine di gestori e sindaci. Nel presente PTR saranno affiancati i gestori che vorranno usufruire del nuovo servizio per l'erogazione dei TEE (Titoli di Efficienza Energetica) a consuntivo, sarà testato un prototipo di servizio di notarizzazione in blockchain di alcune informazioni fondamentali relative ai dati statici e dinamici, sarà integrata la Chain2 su PELL IP e introdotto un modulo di sicurezza per il monitoraggio del traffico web in ingresso, TRL da 8 a 9.

- Consolidamento della piattaforma PELL Edifici-scuole, con nuove funzioni e servizi

La piattaforma PELL Edifici-Scuole nel precedente PTR è stata implementata a livello prototipale, in quanto sono state definite le interfacce necessarie per l'acquisizione dei dati statici basati sul data model finalizzato nel precedente PTR. Nel presente PTR la piattaforma sarà messa a servizio degli utenti per finalizzare la validazione e la qualificazione dello strumento. Saranno messe inoltre a disposizione nuove funzionalità: il servizio di conversione schede scuole in GeoJSON per favorire l'interoperabilità con i SIT (Sistemi Informativi Territoriali) ed una dashboard interattiva per la visualizzazione dei dati, TRL da 4 a 7.

- Completamento della piattaforma CI-RES, per la resilienza dei sistemi energetici esistenti, sperimentata in ambiente rilevante (TRL da 5 a 6).

Allo stato attuale (ovvero al termine del triennio 2022-24) la piattaforma è operativa (su un cluster Proxmox) e resiliente rispetto alla perdita di qualsiasi componente fisica nonché rispetto alle perdite di dati (back automatizzato). Infine è in grado di resistere a black-out brevi grazie all'UPS (Uninterruptible Power System) di cui è dotata. Ospita i codici ed i dati relativi alle infrastrutture del laboratorio ICS. Nel PTR25-27 la piattaforma sarà arricchita di nuovi algoritmi per la simulazione di terremoti e alluvioni. Inoltre, si migliorerà

l'interoperabilità tra gli algoritmi di simulazione e quelli di calcolo dell'impatto e mitigazione post evento. Infine, nei limiti degli accordi di riservatezza contratti con gli Operatori, saranno definiti degli scenari molto concreti. Al termine dell'attività sarà disponibile un ambiente versatile su cui eseguire le simulazioni delle Infrastrutture Critiche in ambiente Urbano.

- Upgrade del veicolo elettrico autonomo con tipologie di alimentazione innovative e con funzioni di monitoraggio del contesto urbano. Il veicolo autonomo, fatto evolvere nello scorso triennio, già alimentato con batteria al litio, sarà dotato di una seconda alimentazione basata su fuel cells a idrogeno, vettore energetico emergente, studiandone le caratteristiche e le potenzialità. Il veicolo rappresenta un sensore mobile che misura e raccoglie dati nel contesto urbano. Ai sensori già installati nel precedente triennio (analisi delle condizioni del manto stradale, microfoni per l'inquinamento acustico e la rilevazione di veicoli di soccorso) saranno affiancate termocamere per l'analisi delle cosiddette isole di calore che incidono sui consumi elettrici per il condizionamento dell'aria e una centralina per la misura di inquinanti atmosferici: chimici e di particolato, (TRL da 4 a 6).

### Attività WP3

- Accumulo: Algoritmo on-line real-time delle prestazioni della batteria.

Nel triennio precedente è stato realizzato e testato un modulo composto da celle Second Life, è stato elaborato un ciclo per realizzare su di esso una prova vita, sono stati definiti i principi per sviluppare algoritmi di stima On Line dello stato di salute/degrado delle celle del modulo.

E' stata eseguita una prima quantificazione dello stato di salute delle celle del modulo applicando ad esse una procedura brevettata da ENEA e si è sviluppato un modello dinamico delle celle, con lo scopo di utilizzarlo come "cella di riferimento" per valutare il degrado delle prestazioni delle celle del modulo.

Nel proseguo del lavoro il modulo verrà effettivamente invecchiato, si utilizzeranno dati reali e dati provenienti da simulazione per mettere a punto gli algoritmi per la stima On Line del degrado, le cui basi teoriche erano state introdotte in lavori precedenti.

Sempre nell'ambito delle attività connesse al modulo Second Life, in questo caso non al testing ma allo sviluppo dello stesso, il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione di UniPisa realizzerà un componente in grado di effettuare l'equalizzazione dinamica delle celle (i cui elementi di progetto sono stati introdotti nel triennio passato) ed è previsto uno studio, ed una eventuale realizzazione, di una scheda di collegamento in serie delle celle che ne permetta l'esclusione di una in caso di degrado della stessa. Per tutti i prodotti presentati l'incremento di TRL sarà da 4 a 6.

- Tecnologie per il trasporto pubblico locale; realizzazione di un prototipo di sistema di trasporto pubblico dotato di sistemi di ricarica dinamica su catenaria tramviaria applicato a veicoli connessi in convoglio e scambio termico bifase

Nel triennio precedente è stato realizzato un sistema di trasporto con minibus predisposti per il collegamento in convoglio che si possono ricaricare tramite catenaria di tipo tramviario. Tale sistema di trasporto, oltre a comprendere i minibus, comprende anche una stazione di ricarica dotata di raffreddamento dei componenti interni bifase. Nel prossimo triennio di ricerca si vuole sperimentare i veicoli realizzati nelle precedenti trienni su percorsi di prova rappresentativi, in cui è installata una catenaria in media tensione (tipica delle applicazioni tramviarie, 650-900V). I minibus saranno quindi equipaggiati con dei sistemi di conversione e accumulo in grado di interfacciarsi con la catenaria e con altri tipi di veicoli in modalità V2V. I veicoli saranno dotati di guida assistita per la corretta funzionalità di convoying e un'intelligenza di bordo per la comunicazione con l'infrastruttura di ricarica. Per quanto riguarda la stazione di ricarica, questa si potrà integrare con sorgenti multiple al fine di ridurre l'impatto sulla rete elettrica nazionale causato dal funzionamento discontinuo relativo ai periodi di ricarica. Tali sorgenti potrebbero riguardare sia sistemi di accumulo (ad es. supercondensatori, volani elettromeccanici) sia impianti da fonti rinnovabili (ad es. fotovoltaico e minieolico). Sarà quindi sviluppato un prototipo di stazione di ricarica che integrerà l'accumulo inerziale sviluppato nelle precedenti trienni di ricerca. Sia il sistema di terra che il sistema a bordo dei veicoli equipaggiati con un sistema di raffreddamento dei componenti interni con fluidi a cambiamento di fase. L'incremento di TRL sarà da 4 a 7.

- Ricarica BEV; software per la stima dei Charging Profile del trasporto privato con autovettura elettrica in area extraurbana. Per questa attività, si prevede di continuare e integrare il lavoro già intrapreso nel precedente triennio, trasferendo l'analisi e lo sviluppo modellistico dei comportamenti individuali di ricarica dall'ambito urbano a quello extraurbano. Nel corso del precedente triennio è stata maturata notevole esperienza nell'impostazione sia delle indagini campionarie funzionali all'analisi dei comportamenti di ricarica sia dei modelli di simulazione del fenomeno a partire da dati di mobilità rilevati sul campo, oltreché nelle procedure informatiche di sviluppo; tale esperienza pregressa consentirà di conseguire un prodotto finale a più alto livello di maturità modellistica e tecnologica. Inoltre, in questo nuovo triennio, si prevede di svolgere un'indagine campionaria specifica sulle propensioni di acquisto di un'auto elettrica a valle della quale saranno definiti degli scenari di penetrazione dell'alimentazione elettrica nel parco auto italiano che permetteranno di applicare i modelli comportamentali sviluppati in entrambi i trienni su una base conoscitiva più solida. L'incremento di TRL sarà da 2 a 4.

- Piattaforma digitale per la Mobilità Sostenibile PRIORITY

La ricerca condotta nella macro-task "mobilità sostenibile" prosegue e consolida il percorso avviato nel triennio precedente finalizzato allo sviluppo di una piattaforma digitale concepita come strumento strategico a supporto dei processi conoscitivi e valutativi della mobilità urbana di persone, in linea con gli obiettivi di sostenibilità e transizione energetica.

Obiettivo prioritario di questa nuova fase è lo sviluppo e dimostrazione, attraverso casi di studio reali, di nuovi componenti metodologici e funzionali della piattaforma, con l'intento di incrementarne la maturità tecnologica dal TRL 5 al TRL 6.

A tal fine, una delle principali sfide riguarda l'ampliamento dell'ambito di applicazione della piattaforma, che verrà esteso dal contesto locale dell'area metropolitana di Roma a contesti di scala regionale e nazionale (LA 3.18). Ciò permetterà di testare la scalabilità e l'adattabilità della piattaforma a realtà diverse e più articolate.

Parallelamente, si procederà alla sperimentazione di nuovi approcci analitici e all'integrazione di strati informativi aggiuntivi, con i seguenti obiettivi: 1) Caratterizzare e modellizzare i comportamenti di mobilità ed i profili di ricarica attraverso tecniche avanzate di data analytics e machine learning (LA 3.19); 2) Analizzare scenari previsionali relativi all'adozione della mobilità condivisa con veicoli elettrici, attraverso l'impiego di strumenti di modellazione (LA 3.20); 3) Valutare la mobilità sistematica casa-lavoro e quella verso grandi poli ad alta densità di occupazione e servizi, mediante la sperimentazione delle moderne tecniche di mobility management in contesti rilevanti (LA 3.21 e 3.22).

#### Attività WP4

Numerose attività del WP4 si svolgeranno in continuità col triennio precedente, in alcuni casi proseguendo le attività precedenti ed in altri iniziando dei percorsi di ricerca contigui (ma non necessariamente consecutivi) a quelli svolti. Nel dettaglio, sul Macrotema dei sistemi integrati con applicazioni geotermiche

- Dimensionamento e gestione di accumuli geotermici stagionali

I risultati conseguiti nel PTR 22-24 sono stati l'attività di caratterizzazione della sorgente geotermica fornita dall'apparato sperimentale realizzato e la sperimentazione di sistemi in pompa di calore con carichi termici tipici delle zone climatiche D ed E. Gli obiettivi per il PTR 25-27 sono 1) Prosecuzione dei test dinamici sui pozzi esistenti e con la PdC installata, variando alcuni parametri operativi, per definire le corrette logiche di impiego delle sorgenti termiche disponibili (terreno e aria) 2) Realizzare un pozzo geotermico di maggior profondità per valutare il potenziale, sia come sorgente diretta, sia come accumulo termico del terreno situato sotto la falda acquifera regionale 3) Generalizzare i risultati ad ambiti diversi da quelli sperimentali, tramite opportune simulazioni, con passaggio di TRL da 5 a 6.

- Integrazione tra produzione solare e accumulo geotermico:

L'attività è contigua alla precedente, essendo strettamente legata alla realizzazione del nuovo pozzo (punto 2) precedente. L'obiettivo nel PTR 25-27 è valutare la capacità di accumulo di calore nel tempo da parte del terreno. Il calore potrà essere fornito da collettori solari, sperimentalmente simulabili, laddove non fosse possibile l'installazione, da altre apparecchiature (es. accumuli con resistenze elettriche). L'incremento di TRL sarà da 5 a 6.

Sul macrotema dei componenti, sviluppi tecnologici e applicazioni speciali, si proseguiranno, direttamente o indirettamente, le seguenti attività:

- Sistemi di sbrinamento innovativi con accumuli a PCM o per rigenerazione termica

L'attività prosegue quella svolta nel PTR 22-24, in cui è stato realizzato un prototipo di sistema di accumulo a PCM e di trasmissione di calore da esso verso l'evaporatore di una pompa di calore. Alcune problematiche tecnologiche degli scambiatori immersi nel PCM hanno impedito la messa in opera del sistema. D'altra parte, il test della Pompa di calore con il nuovo scambiatore aria/acqua/refrigerante ha evidenziato una riduzione delle prestazioni della macchina non completamente attesa, che ha suggerito l'esecuzione di una più dettagliata analisi teorica. L'obiettivo del PTR 25-27 è: la selezione e installazione di un set di scambiatori dedicato allo scambio termico acqua-PCM nel serbatoio dedicato; la revisione dello scambiatore aria/acqua/refrigerante in coerenza con i riscontri del PTR precedente; la nuova messa in opera del sistema e l'esecuzione di attività sperimentale sul sistema complessivo. Il passaggio di TRL sarà da 6 a 7.

- Caratterizzazione termodinamica di refrigeranti a bassissimo GWP

Nel PTR 22-24 è stata eseguita la caratterizzazione di alcuni refrigeranti a bassissimo GWP (R1233zd e R1234ze) con la misura dei coefficienti di scambio e la misura dei regimi di deflusso durante la condensazione. Poiché i gas testati nel precedente PTR 22-24 sono catalogabili come PFAS e quindi a rischio limitazione d'uso, il regolamento 2024/573 invita a considerare alternative ai refrigeranti sintetici. In questo senso, si ritiene che i refrigeranti naturali dovranno avere un ruolo sempre più importante nella prossima generazione di pompe di calore. Quindi, nel PTR 25-27, lavorando sui medesimi impianti sperimentali, eventualmente aggiornati in funzione delle caratteristiche dei refrigeranti da testare, si opererà alla caratterizzazione dello scambio termico di refrigeranti quali l'ammoniaca e gli idrocarburi (da scegliere tra propano, isobutano e propilene). Il passaggio di TRL sarà da 6 a 7.

- Ottimizzazione di soluzioni per climi freddi

Non vi sono risultati specifici ottenuti nel PTR 22-24. Si tratta infatti di un'analisi di nuova introduzione, per la quale si utilizzeranno comunque gli apparati sperimentali realizzati nel precedente PTR. Nel PTR 25-27, il progetto si articolerà in due sub-attività principali, che mirano ad incrementare la temperatura di evaporazione in pompe di calore utilizzate per climi rigidi. Si studieranno sia opportune modifiche di impianto, testabili sull'impianto predisposto per il test del serbatoio a PCM, sia l'utilizzo di una sorgente esterna accoppiata alla pompa di calore, per la quale potrebbe essere utilizzato, in base ai riscontri, l'impianto Solairhp. Con l'ausilio dei dati sperimentali, si realizzeranno e calibreranno dei modelli di calcolo per la ricerca di configurazioni ottimizzate (TRL da 7 a 8).

- Applicazione di apparati di climatizzazione avanzati per impianti di produzione alimentare in serra

Nel PTR 22-24 è stata installata una PdC con refrigerante naturale a servizio di un container/serra per la produzione alimentare in locale confinato. È iniziata la fase di monitoraggio per misurare i carichi termici richiesti dal sistema ad alta coibentazione (bassi carichi termici). L'obiettivo del PTR 25-27 è implementare un sistema di climatizzazione per una struttura a bassa coibentazione per produzione alimentare per impostare metodologie di corretto dimensionamento e individuare le corrette logiche di gestione in ottica di minimizzazione delle risorse energetiche richieste dal sistema stesso (TRL da 7 a 8).

- Strategie innovative per l'ottimizzazione del comfort termico e la riduzione degli impatti sul microclima urbano

Per quanto riguarda la caratterizzazione combinata di emissioni termiche ed acustiche, si tratta, in parte, di una attività di nuova introduzione, avendo indagato nel PTR 22-24 alcuni aspetti di mitigazione delle emissioni sonore delle pompe di calore. In particolare, è stata condotta una valutazione numerica dell'impatto acustico dovuto all'uso estensivo di pompe di calore in ambiente urbano, tramite software dedicato e è stato realizzato e validato un modello di calcolo semplificato per riprodurre l'impatto delle emissioni rumorose nel paesaggio sonoro, attraverso relazioni analitiche valide per reticoli urbani. L'obiettivo del PTR 25-27 è lo sviluppo di modelli di simulazione nei quali la sorgente di emissioni "pompa di calore" possa essere inserita e caratterizzata sia dal punto di vista delle sue emissioni termiche che acustiche (in termini di direttività ed intensità dell'emissione), al fine di definire strategie innovative di regolazione del funzionamento delle pompe di calore (TRL da 7 a 8).

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

#### Obiettivo WP1

L'obiettivo del WP1 dal punto di vista tecnologico è sostenere la realizzazione di comunità energetiche per la gestione dei consumi e della generazione di energia, favorendone la diffusione in Italia.

In particolare ci si propone di:

- sviluppare tecnologie che ne supportino la creazione e adeguati strumenti, tecnologie e processi che promuovano il virtuosismo energetico;
- accrescere la consapevolezza e il ruolo attivo dei consumatori, sfruttando le tecnologie della domotica, della digitalizzazione delle reti e dello smart metering;
- implementare metodologie per la partecipazione dei cittadini alle CER tramite piattaforme che offrono servizi e vantaggi aggiuntivi.

#### Obiettivi WP2

Obiettivo è favorire la transizione digitale della PA attraverso lo sviluppo e applicazione di piattaforme digitali interoperabili con particolare riferimento alle infrastrutture energetiche pubbliche per il monitoraggio di asset pubblici energivori e la condivisione efficiente di dati urbani finalizzata alla creazione di nuova informazione e nuovi servizi.

In particolare ci si propone di:

- sviluppare un framework di integrazione applicabile in contesti urbani che agevoli la replicabilità dei modelli grazie alla definizione di specifiche standard e tecnologie open e adottabile come strumento a servizio delle amministrazioni locali e dei cittadini per evitare il lock-in dei vendors;
- nel contesto della PA lanciare un programma di gestione dell'illuminazione pubblica ed edifici pubblici attraverso l'utilizzo di piattaforme per la valutazione delle prestazioni energetiche;
- sviluppare sistemi di supporto alle decisioni per la valutazione del rischio delle infrastrutture critiche.

#### Obiettivi WP3

L'obiettivo del WP3, in continuità con il triennio precedente, è favorire la diffusione di una mobilità elettrica sostenibile.

In particolare, ci si propone di:

- Al fine di incrementare l'utilizzo in sicurezza dei veicoli ad idrogeno saranno analizzati i potenziali scenari incidentali, definite le strategie da adottare per cercare di mitigare i rischi e saranno simulati i processi di carica e scarica dei sistemi di accumulo dell'idrogeno implementati presso le stazioni di rifornimento.

- Verificare l'impatto di differenti strategie di ricarica veloce sulle batterie per mitigare gli effetti dell'invecchiamento precoce dell'accumulo, rispettando al contempo le esigenze di ricarica in tempi brevi dell'utente
- Realizzare e testare un sistema di trasporto in convoglio con ricarica su catenaria in media tensione con tutti i componenti a bordo dei veicoli e nella stazione di ricarica dotati di un sistema di scambio termico bifase.
- Fornire strumenti innovativi di analisi per la stima dei Charging Profile della ricarica elettrica, partendo sia da basi di dati ampiamente disponibili (FCD), già utilizzate nei passati trienni di ricerca, ma con finalità diverse dall'attuale, sia utilizzando indagini sui comportamenti di ricarica per i privati.
- Sviluppare nuova capacità di analisi per supportare la definizione e la valutazione di politiche di mobilità sostenibile, fornendo strumenti decisionali più efficaci per promuovere in modo efficace la diffusione dei veicoli elettrici a batteria. Inoltre, i progressi attesi contribuiranno in modo significativo alla trasformazione del sistema di mobilità verso una maggiore sostenibilità energetica ed ambientale, più in linea con gli indirizzi delle politiche europee e nazionali.

Gli obiettivi del WP4, in continuità con il triennio precedente, si occuperà dello sviluppo dei seguenti temi:

- sviluppare soluzioni di storage termico geologico per pompe di calore, eventualmente anche di tipo stagionale e valutare l'applicazione di questo tipo di storage per stimare la possibilità di accumulare efficientemente calore solare nel terreno;
- Individuare configurazioni d'impianto efficienti per effettuare lo sbrinamento tramite calore di scarto;
- Ottimizzare l'integrazione del fotovoltaico con le pompe di calore, in configurazioni in cui i pannelli fungono anche da evaporatori della PdC;
- Definire soluzioni impiantistiche innovative, sia per macchine con sorgente aria che con sorgente solare, per ottimizzare le prestazioni nei climi freddi;
- Individuare soluzioni per il contenimento delle emissioni termiche e sonore delle pompe di calore;
- Individuare linee guida condivise con i principali attori della filiera per la progettazione e il dimensionamento ottimale degli impianti; definizione di corsi di formazione dedicati al settore delle pompe di calore, sia per installatori che per progettisti.

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

Per quanto riguarda l'intero progetto, il collegamento principale è il Progetto 1.7 "Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali" del PT22-24, RdS.

Altri progetti con tematiche affini al WP1 sono:

COMERES, HORIZON 2020, anno 2020-2023 il collegamento riguarda l'incremento della quota di energia da rinnovabile nel settore elettrico attraverso lo strumento delle Comunità Energetiche.

SELF USER, Accordo di Cooperazione tra ART-ER, Acer, Dipartimento dell'Ingegneria elettrica e dell'Informazione "Guglielmo Marconi" dell'Università di Bologna, anno 2021-2022, per la realizzazione di attività di ricerca relativa allo sviluppo di un sistema per l'autoconsumo collettivo in un contesto residenziale.

NEST - Network 4 Energy Sustainable Transition, Spoke 8, Final use optimization, sustainability & resilience in energy supply chain, Progetto PNRR; il collegamento riguarda alcune funzioni della Local Token Economy e di Cruise e la condivisione di data base sui consumi energetici di dimostrativi sperimentali.

Altri progetti con tematiche affini al WP2 sono:

MOD-Energy, Applicazione e diffusione di modelli d'intervento nel campo dello smart lighting/street/building per il contenimento dei consumi energetici nelle Città Metropolitane - Programma Operativo Complementare Città Metropolitane 2014-2020 POC METRO: il collegamento riguarda l'utilizzo di SCP/SCPS per raccogliere dati dal campo e per visualizzare i dati finali tramite dashboard, per il Comune di Palermo.

NEST - Network 4 Energy Sustainable Transition, Spoke 8, Final use optimization, sustainability & resilience in energy supply chain, Progetto PNRR; il collegamento riguarda l'utilizzo del prototipo SCP Casaccia.

RAISE - Environmental Caring and Protection Technologies, towards a Zero Emission Environment, SPOKE 3, Prodotto 8.2 Tools for optimal planning and management for Smart Cities and Energy Communities: il collegamento riguarda l'applicazione della SCP e del PELL IP ad un Comune della Regione Liguria e lo sviluppo di blockchain per i dati di consumo energetico dell'IP del Comune oggetto del caso studio.

ES-PA, Energia e Sostenibilità per la Pubblica Amministrazione, PON-GOV 2014-2020: il collegamento tra ES-PA e le tematiche del WP2, riguarda la applicazione del PELL agli operatori del settore per la produzione delle schede censimento e l'utilizzo di SCP/SCPS che raccoglie i dati dalla città di Livorno e invia un UrbanDataset dalla stazione meteo. Attività terminata il 30/06/22.

TOR-DSS, Contratto di ricerca tra ENEA e TERNA per lo sviluppo sperimentale di un sistema a supporto delle decisioni durante la gestione delle situazioni emergenziali, 2021-2025: il collegamento riguarda l'analisi della resilienza della rete di trasmissione elettrica in caso di eventi naturali estremi.

Contratto tra ENEA e Consorzio FABRE per servizi tecnico scientifici e di ricerca relativi a censimento, ispezioni e individuazione Classe Attenzione opere ANAS (viadotti e ponti), 2022-2023: il collegamento riguarda l'utilizzo di droni per il monitoraggio di ponti e viadotti e il rilievo delle infrastrutture.

Centro Nazionale HPC, BIG DATA AND QUANTUM COMPUTING – Spoke 5 “ENVIRONMENT & NATURAL DISASTERS”, 2022-2024 PNRR MUR: il collegamento riguarda l'analisi della vulnerabilità e del rischio delle infrastrutture in caso di calamità naturali.

Altri progetti con tematiche affini al WP3 sono:

IPCEI Hy2Tech: con l'obiettivo di progettare e realizzare una linea pilota specifica dedicata all'integrazione di celle a combustibile, batterie e sistemi di alimentazione a idrogeno su piattaforme di veicoli selezionati, considerando le condizioni specifiche dell'applicazione e aspetti normativi, è collegato al WP3 relativamente ai sistemi di accumulo e ai sistemi alimentati ad idrogeno.

Piano Operativo di Ricerca sull'Idrogeno (POR H2) - WP3.3: è incentrato nella ricerca e sviluppo di componenti e sistemi di celle a combustibile per applicazioni nel trasporto pesante (stradale, ferroviario, marittimo) e nell'aviazione con l'obiettivo di ridurre i costi attraverso l'aumento dei volumi produttivi, l'ottimizzazione e l'automatizzazione dei processi, ma soprattutto lo sviluppo di stack e moduli con prestazioni migliori. La LA3.3.2 del POR H2 si occupa dello sviluppo di veicoli o sistemi di trasporto off road (per es. carelli elevatori, trattori) in cui il sistema di generazione/accumulo sia costituito da una fuel cell e un pacco di batterie. La ricerca sulla caratterizzazione dello stato di salute delle batterie, sulla equalizzazione dinamica, sullo sviluppo di “funzioni di rischio” per il BMS può essere utilizzata per gestire il sistema di accumulo di queste configurazioni ibride. Per contro la linea 3.3.3 del POR riguarda le tecniche di diagnostica applicabili al sistema di supervisione di una cella a combustibile e del suo BOP: si potrebbe studiare l'adattamento di tali tecniche al caso delle batterie.

Accordo di collaborazione tra ENEA e Università di Firenze senza flusso di denaro: con l'obiettivo di realizzare e sperimentare veicoli a guida automatica, collegato al WP3 relativamente ai sistemi di ricarica dinamica in “Convoying”.

Accordo di collaborazione tra ENEA e Università di RomaTre senza flusso di denaro con l'obiettivo di realizzare e sperimentare componenti elettronici di potenza ad alta efficienza, collegato al WP3 relativamente ai sistemi di ricarica dinamica in “Convoying”.

UserChi (Horizon 2020 EU) è un progetto che mira a creare delle soluzioni per la ricarica di veicoli elettriche incentrate sui bisogni degli utenti, guidate dalle città attorno a 7 nodi di collegamento dei corridoi della rete transeuropea di trasporto (TEN-T) del Mediterraneo e della Scandinavia-Mediterraneo tra febbraio 2020 e maggio 2024. Il collegamento riguarda le attività relative al task sui profili di ricarica dei veicoli elettrici e sulla ricarica dinamica.

Altri progetti con tematiche affini al WP4 sono:

GEOBOOST: ha l'obiettivo di sostenere l'adozione di mercato delle tecnologie di riscaldamento e raffreddamento geotermici. GeoBOOST intende ridurre le barriere per la penetrazione sul mercato delle pompe di calore geotermiche;

LIFE ITS4ZEB: ha l'obiettivo di sviluppare tecnologie di accumulo di energia termica latente (TES) a lungo e breve termine, compatte, ad alte prestazioni, che si basano sullo sfruttamento di sistemi di accumulo Phase Change Materials (PCM) combinati con pompe di calore multi-sorgente ad alta efficienza per il riscaldamento e il raffreddamento di utenze residenziali e acqua calda sanitaria.

RESHeat: intende sviluppare un sistema per l'uso dell'energia solare come fonte primaria di energia rinnovabile attraverso pannelli fotovoltaici integrati e collettori solari raffreddati e inseguiti dal sole, nonché unità di accumulo di energia sotterranee avanzate. Il sistema dovrà consentire un elevato coefficiente di prestazione COP della pompa di calore per un periodo di tempo più lungo.

SES4HEAT: intende dimostrare soluzioni innovative e su larga scala per l'accumulo di energia termica stagionale sotterranea (UTES) integrate con la fornitura di calore RES (solare termico, pompe di calore, ecc.).

AGRI-COOL: affronta il problema della conservazione e raffreddamento del cibo con una soluzione containerizzata. Combina l'uso della tecnologia fotovoltaica, l'accumulo di energia termica tramite materiali a cambiamento di fase, refrigeratori e strategie di controllo intelligenti per offrire una soluzione conveniente, scalabile e rispettosa del clima.

LIFE23-CET-KnowHowHP: L'obiettivo del progetto è di migliorare le competenze di installatori e professionisti con un processo di pianificazione integrale per aumentare l'uso di pompe di calore (HP) negli edifici multipiano esistenti. Il progetto intende sviluppare piattaforme di formazione e qualificazione di progettisti e installatori in modo da garantire che i concetti di HP e ristrutturazione siano allineati in modo ottimale; in particolare, si mira ad aggiornare progettisti, consulenti energetici e installatori con un processo di pianificazione e implementazione integrale per ristrutturazioni energeticamente accettabili di case multifamiliari con HP.

## 2.5 Obiettivi e risultati

### a) Obiettivi finali del progetto

Descrivere gli obiettivi finali, in relazione allo stato dell'arte, con dettagli e considerazioni riguardanti, ad esempio, l'innovatività, l'orientamento allo sviluppo di ricerche applicate e/o sperimentali con ricadute positive per l'industria del settore, ecc.

Con il PNRR l'Italia si è posizionata in linea con gli altri paesi europei al fine di realizzare una transizione digitale, energetica ed ecologica del Paese. Per realizzare tali transizioni occorre rimuovere barriere e sviluppare tecnologie e modelli di business. In particolare, la tematica delle CER si avvia alla fase operativa e di effettiva applicazione, pertanto, si rende necessario agevolare il processo di creazione delle stesse nel territorio nazionale, sia dal punto tecnologico che di governance coinvolgendo gli stakeholders pubblici e privati per rendere il mercato ricettivo a questa innovazione.

Per quanto riguarda la transizione energetica alcuni dei punti su cui il PNRR si focalizza sono, per esempio, le comunità energetiche, la mobilità elettrica, la flessibilità energetica, le pompe di calore. In particolare, il tema delle comunità energetiche richiede lo sviluppo di tecnologie che ne supportino la creazione e la loro diffusione prevede che esistano adeguati strumenti, tecnologie e processi che promuovano la partecipazione attiva dei cittadini al processo di transizione energetica. Analogamente il tema della mobilità elettrica oltre a richiedere lo sviluppo di tecnologie in grado di governare il sistema, trova una naturale collocazione al livello del distretto in quanto contribuisce alla flessibilità del sistema stesso.

La conversione del maggior numero possibile di impianti esistenti con Pompe di Calore potrà stimolare ulteriormente il settore produttivo nazionale, già leader nel settore, alla produzione di macchine efficienti ed innovative. Allo stesso tempo, gli organismi di ricerca e gli istituti specializzati dovranno essere coinvolti nelle attività di sviluppo e di formazione di personale in grado di operare correttamente su una tecnologia non ancora completamente assimilata dagli installatori e dagli operatori di settore sul territorio.

Il Progetto 1.7, in continuità con le attività di ricerca del triennio precedente, si prefigge i seguenti obiettivi:

- sviluppare processi e tecnologie di prodotto essenziali per la transizione energetica favorendo un approccio olistico in grado di integrare la produzione di energia rinnovabile, la flessibilità energetica e l'efficienza energetica nel contesto urbano, comprendendo anche sistemi di trasporto innovativi.
- favorire un approccio integrato alla transizione urbana verso i modelli condivisi con l'Europa (smart city, Positive Energy District, città a 15 minuti) attraverso l'introduzione di tecnologie, processi, sistemi e modelli funzionali alla transizione energetica e alla sicurezza con focus specifici su tecnologie avanzate dell'informazione, le comunità energetiche sostenibili, l'autoconsumo e la flessibilità, modelli innovativi per la penetrazione del vettore elettrico nel settore dei trasporti (sistemi informatici di supporto all'analisi e alla pianificazione della mobilità) e della climatizzazione sostenibile.

Per quanto riguarda il WP1, gli obiettivi sono:

- sviluppare strumenti che supportino la creazione e la diffusione delle CER, in particolare superando il concetto di piattaforma chiusa e proprietaria ma perseguendo il paradigma della standardizzazione della informazione e della disponibilità del dato;
- sviluppare web-tool per pianificazione, la progettazione delle CER che siano open e accessibili per agevolare la penetrazione delle CER nel territorio nazionale;
- sviluppare web-tool per l'ingaggio e la partecipazione alle CER basata su dati standard per accrescere la consapevolezza e il ruolo attivo dei consumatori;
- Implementare strumenti di scambio virtuale basati su blockchain per aumentare i vantaggi economici e sociali di adesione alle CER;
- sviluppare tool per la simulazione e la valutazione delle CER come supporto alla PA e ai decisori politici.

Per quanto riguarda il WP2, gli obiettivi sono:

- sviluppare piattaforme interoperabili basate su uno standard nazionale che permetta la replicabilità delle soluzioni sviluppate per la raccolta dei dati urbani, in particolare dei consumi elettrici;
- sviluppare piattaforme per la gestione dei servizi urbani che adottano uno standard nazionale e in grado di valutare la smartness delle varie città;
- monitorare le infrastrutture energivore attraverso strumenti basati su protocolli e metodologie omogenee (standard di censimento e acquisizione del dato);
- sviluppare una piattaforma nazionale per il monitoraggio delle infrastrutture critiche, in grado di effettuare una analisi e una previsione a brevissimo termine del rischio e una valutazione di scenari di impatto delle stesse.

Per quanto riguarda il WP3, gli obiettivi sono:

- analisi dei potenziali rischi correlati all'impiego di mezzi di trasporto ad idrogeno, volta all'individuazione di strategie di mitigazione utili a favorire la diffusione sul mercato di tali veicoli. Identificazione delle principali criticità e problematiche da ricondursi alle differenti modalità di rifornimento dell'idrogeno.
- conoscere lo stato di salute delle singole celle che compongono un modulo di batterie permette di stabilire quando ritrarle in sicurezza da una prima applicazione (per es. di trazione), quando escludere una cella specifica dal modulo, quando ritrarle da un utilizzo in second life e riciclarle. Lo stesso si può dire per le funzioni di rischio associabili alla singola cella che compone il modulo batterie. Selezione di uno o più protocolli di ricarica veloce per la minimizzazione dell'impatto sulla salute della batteria e dei tempi di ricarica.
- realizzazione di un sistema di trasporto in convoglio di mezzi per il trasporto pubblico in grado di ricaricarsi in movimento lungo dei percorsi prefissati (come, ad esempio, linee tramviarie) e di ripartire la ricarica su tutti i mezzi collegati
- ottimizzazione di un sistema di gestione termica di una stazione di ricarica rapida per autobus elettrici e sua integrazione con un

sistema di recupero del calore di scarto generato durante la fase di ricarica, a mezzo di una pompa di calore termica ad adsorbimento (acqua-silica gel).

- sviluppo di modelli e strumenti software per la simulazione dei comportamenti di ricarica sugli spostamenti di lunga distanza al fine di ricostruire i Profili giornalieri di Ricarica nei nodi del rifornimento elettrico lungo la rete TEN-T
- ampliamento dell'ambito di applicazione della piattaforma sviluppata nel triennio precedente. Inizialmente operativa a livello locale sul caso di studio dell'area metropolitana di Roma, la piattaforma sarà estesa a livello regionale e nazionale. Questa espansione permetterà di affinare gli approcci già sviluppati e di ottenere una comprensione più completa dei fenomeni di mobilità in diversi contesti territoriali

Per quanto riguarda il WP4, gli obiettivi sono:

- individuazione di potenziale di accumulo termico stagionale tramite pozzi geotermici, da applicare a diverse tipologie di sorgenti termiche (es. solare);
- definizione di prestazioni di sistemi integrati con PdC doppia sorgente tramite test dinamici;
- ricerca di nuove configurazioni degli scambiatori aria-acqua-refrigerante per sistema di sbrinamento (o prevenzione del brinamento) dotato di accumuli termici a PCM, per lo sfruttamento di calore di scarto o sistemi rigenerativi;
- proposta di soluzioni progettuali specifiche per l'ottimizzazione di apparati da applicare a climi freddi;
- prototipo di apparato innovativo per produzione alimentare in serra con pompe di calore, avente lo scopo di comparare le prestazioni energetiche di strutture confinate di diversa tipologia;
- linee guida per la definizione di programmi unificati per la formazione e il reskilling di installatori e progettisti sulla tecnologia specifica delle pompe di calore;
- sistematizzazione di procedure di progettazione di impianti in pompa di calore;
- avvio di un Centro di Competenza nazionale sulle pompe di calore.

#### b) Principali risultati attesi/deliverable

I principali risultati attesi nel WP1 riguardano:

- portale web di integrazione di servizi per varie tipologie di utenti delle Comunità Energetiche;
- tool web del simulatore per la fattibilità tecnico-economica di configurazioni CACER;
- tool web per consapevolezza energetica e ingaggio dei cittadini nelle CER;
- prototipo del tool per supporto energetico e feedback agli utenti residenziali;
- prototipo del tool per la pianificazione su scala territoriale del potenziale di FER per la realizzazione delle CER;
- prototipo del tool per la gestione sperimentale delle CER attraverso il monitoraggio e la valutazione delle prestazioni energetiche;
- prototipo di un marketplace di "local token economy" per la remunerazione del virtuosismo energetico;
- prototipo di servizio di analisi dei social network per il monitoraggio della percezione dei cittadini delle CER.
- dimostratore di Smart Building di seconda generazione con funzionalità sulla flessibilità elettrica e storage;
- prototipo di un sistema smart per la ricarica di veicoli elettrici da integrare con il sistema di gestione dell'edificio smart.
- 

I principali risultati attesi nel WP2 riguardano:

- prototipo di piattaforma nazionale Smart City per la integrazione delle piattaforme urbane
- prototipo del tool web UCUM per facilitare la transizione verso i servizi smart;
- piattaforma open PELL (Public Energy Living Lab) IP (illuminazione pubblica) su scala nazionale per valutazione infrastrutture urbane;
- prototipo piattaforma del PELL-Edifici per monitoraggio prestazionale edifici pubblici;
- prototipo piattaforma (CI-Res) per la resilienza dei sistemi energetici esistenti e simulatore per supporto alle decisioni;
- prototipo di veicolo elettrico autonomo per monitoraggio energetico e ambientale del contesto urbano.

I principali risultati attesi nel WP3 riguardano:

- individuazione delle strategie di mitigazione del rischio correlato all'utilizzo di veicoli ad idrogeno e ottimizzazione delle performance di rifornimento nelle Hydrogen Refuelling Station.
- quantificazione dell'impatto di strategie di ricarica veloce sulle batterie ed individuazione del protocollo con le prestazioni migliori in termini di degrado-tempo di ricarica. Sviluppo di algoritmi per la stima on line, ad opera del BMS o di un programma esterno, dello stato di salute delle singole celle di un modulo, sviluppo di una funzione di rischio che quantifichi gli eventuali abusi termici o di tipo elettrico subito subito dalla singola cella.
- prototipo di 2 minibus in convoglio in cui il veicolo che guida si ricarica in movimento tramite pantografo e catenaria e che travasa l'energia ricaricata anche al mezzo che segue, dotato di sistemi in media tensione e scambio termico bifase.
- software per la stima dei Charging Profiles del trasporto extraurbano su autovettura privata per scenari alternativi di penetrazione

della alimentazione elettrica a batteria e di dotazione di infrastruttura di ricarica;

- espansione della piattaforma digitale per la mobilità sostenibile e decarbonizzata con nuovi strati informativi dedicati alla mobilità in sharing ed a flotte di veicoli elettrici; formulazione e applicazione di nuovi approcci metodologici per l'ottimizzazione degli spostamenti sistematici sia casa-lavoro che verso grandi poli di attrazione ad elevata densità di addetti.

I principali risultati attesi nel WP4 riguardano:

- apparato sperimentale per lo studio di accumuli geotermici per sorgenti termiche di diversa tipologia (es. solare) e risultati delle relative campagne sperimentali;
- modellazione e Prototipazione di scambiatori di diversa geometria per sistema di trasmissione termica da serbatoio a PCM a evaporatore di pompa di calore;
- Raccolta di materiale didattico per predisposizione di corsi di formazione specifici per installatori e progettisti di impianti in pompa di calore;
- proposta di soluzioni circuitali specifiche su prototipi esistenti per l'ottimizzazione delle prestazioni delle pompe di calore in climi freddi;
- risultati sperimentali di test dinamici su sistemi integrati in pompa di calore;
- sviluppo di tool avanzati per la progettazione di impianti a pompa di calore, per supportare progettisti ed installatori nella configurazione e simulazione delle prestazioni;
- azione di networking finalizzata all'aggregazione dei principali attori della filiera (costruttori, progettisti, installatori, ecc.) con l'obiettivo di costituire un Centro di competenza nazionale permanente sulle Pompe di Calore.

## 2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

### a) Fattibilità tecnico-scientifica

Nel WP1 sarà sviluppato un prototipo di piattaforma ICT di integrazione di servizi utilizzando strumenti open e standard, tra cui attraverso le tecnologie abilitanti quali IoT, machine learning, BigData, data analytics, Digital twin e blockchain. I tool web saranno realizzati attraverso i più moderni framework aperti standard in modo tale da facilitare la user experience degli utenti finali seguendo uno schema comune.

In particolare verrà aggiornata la architettura informatica del simulatore RECON, migliorata la user-experience e la cybersecurity, verranno sviluppati codici di calcolo per valutare servizi di rete al gestore delle CER; per Dhomus e Smart SIM, a partire dai dati disponibili nei rispettivi database e dai contesti sperimentali avviati, saranno sviluppate delle dashboard informative liberamente accessibili via web in cui condividere e pubblicare i risultati delle analisi condotte anche tramite tecniche di intelligenza artificiale.

Gli strumenti SIMUL e CRUISE, pensati per rappresentare digitalmente la CER (realizzando una sorta di digital twin), verranno sviluppati in modo sinergico prevedendo: il consolidamento dei codici di programmazione che utilizzano dati energetici reali (quartorari o orari in tempo reale o nella forma di dataset) e che applicano un modello descrittivo della CER, incrementando le performance di esecuzione; il potenziamento delle analisi parametriche implementate per predire e valutare la variazione degli output energetici ed economici secondo differenti scenari e configurazioni di CER. Questo può servire anche per valutare diverse possibili evoluzioni della singola CER; l'implementazione di analisi prescrittive per il miglioramento energetico e l'ottimizzazione della CER nella sua fase di gestione e trasformazione nel tempo. Il sistema Signal Mix per l'acquisizione e il trattamento dei dati verrà aggiornato introducendo un broker per la distribuzione del dato come evento con tecnologia publisher/subscriber, e verranno sviluppati componenti in grado di verificare la presenza di outliers o incompletezza nei dati, così da potere intervenire ed implementare la fase di pre-elaborazione. Per il servizio di local token economy verranno consolidati gli sviluppi già realizzati ed eventuali integrazioni sui servizi rivolti ai cittadini, sviluppato il modello teorico sul coinvolgimento degli stakeholders, in particolare delle PMI, realizzato nel triennio 2022-24; inoltre verrà creare la scheda di registrazione ed i servizi collegati in ambito marketplace e per il backend ambito blockchain, con particolare attenzione alle ipotesi fatte nel modello individuato.

Lo strumento ECListener sarà arricchito con funzionalità che consentiranno la gestione di dati in streaming; per conseguire questo obiettivo saranno configurati e gestiti in produzione (nel cluster Kubernetes) gli strumenti individuati nel triennio precedente (come ad esempio Kafka Streaming); La nuova piattaforma ECListener dovrà consentire all'utente amministratore di poter configurare, eseguire ed analizzare i risultati di campagne di social sentiment analysis e web crawling limitate nel tempo e relative ad eventi specifici, regioni geografiche limitate (ad esempio per monitorare le news, reazioni social etc relativi ad una particolare comunità energetica). Infine per lo Smart building verrà potenziato il BEMS dell'edificio F40 (con integrazione di nuova centralina/PC o cloud computing) atto ad automatizzare il controllo delle PdC e permettere un MPC (Model-based Predictive Control) basato sulla simulazione anticipata del modello di edificio (in funzione di previsioni meteo, PUN da mercato del giorno prima, eventuali richieste di flessibilità e scenari di controllo) e orientato a logiche di autoconsumo e flessibilità; inoltre si procederà con l'aggiornamento del software di gestione e controllo dell'EMS con integrazione delle nuove batterie FAAM e con l'integrazione dell'EMS con Matlab per lo sviluppo degli script dedicati alle

strategie di gestione dell'energia.

Le attività del WP1 saranno suddivise in macro-task, quali: 1) strumenti digitali per l'avvio delle CER; 2) strumenti per la valutazione e gestione delle CER; 3) servizi social aggiuntivi per lo sviluppo CER; 4) soluzioni tecnologiche integrabili nelle CER; internazionalizzazione. Ognuno di questi comprenderà un cluster di Linee di Attività sia a responsabilità di ENEA che delle Università. Le principali milestones, in corrispondenza dei SAL, saranno al mese 18 e al mese 36 (1 intermedio e 1 a fine triennio), e produrranno come deliverable rapporti tecnici di avanzamento e rilascio dei componenti tecnologici sviluppati e prototipi.

Per l'analisi costi-benefici del WP1, considerata la definizione del quadro regolatorio ed attuativo che prevede 5GW di potenza installata al 2026, dato attendibile anche per tutto il 2027, per il quale si prevede una produzione annua aggiuntiva di energia elettrica da FER pari a 6.250 GWh al 2027, è stato ipotizzato un relativo risparmio, conseguente l'autoconsumo diretto pari a 1.500 GWh, di 600Mln€ euro di costi evitati in bolletta (calcolato con la attuale tariffa all'utente finale); l'energia condivisa considerandola al 45% sulla intera produzione, proiettando il dato di RECON, ammonterebbe a 2.800 GWh, con un relativo incentivo stimabile in un range tra 225 Mln€ e 337 Mln€. A questo potrebbe aggiungersi in futuro l'effetto della vendita sul mercato dell'energia immessa in rete dalle CER. Parimenti con la proiezione al 2030, ipotizzando una potenza installata complessiva di 7 GWh (+2 GWh rispetto al 2027) ed una produzione annua di energia elettrica da FER pari a 8.750 GWh in virtù delle nuove configurazioni di mercato, ipotizzando un aumento (30%) dell'AUC grazie ad una maggior penetrazione di tecnologie di storage e automazione e maggior consapevolezza degli utenti, si ottiene un risparmio, conseguente l'autoconsumo diretto pari a 2.625 GWh, di circa 1.000Mln€ euro di costi evitati in bolletta, applicando sempre la attuale tariffa all'utente finale; l'energia condivisa, ipotizzandola al 50% (sempre in virtù della penetrazione delle tecnologie a supporto) sulla intera produzione, ammonterebbe a 4.375 GWh. Oltre a questi benefici economici l'AUC comporta anche un minor stress della rete con i conseguenti sovraccarichi e un abbattimento delle emissioni inquinanti. Proiettando questo scenario a scala nazionale, la diffusione delle CER comporterebbe, se il trend di penetrazione si mantenesse in linea con quello dei Comuni inferiori a 5000 abitanti, una produzione annua aggiuntiva da FER di 12.600 GWh al 2027, con un risparmio complessivo di 1,8 Md€ grazie ad un AUC di 4.700 GWh, oltre ai benefici economici derivanti dagli incentivi per l'energia condivisa stimabili in un range tra 1,7 Md€ e 2,6 Md€. In tale scenario le soluzioni e tecnologie sviluppate nel WP1 fungono da acceleratori per il conseguimento di questi risultati.

Nel WP2, per raggiungere l'obiettivo si utilizzeranno diverse tecnologie e metodologie investendo su quelle aperte e non proprietarie in modo tale da evitare il fenomeno del 'vendor lock-in' e da massimizzarne il roll out a livello industriale. Alcune di esse sono trasversali ai diversi ambiti applicativi, altre invece specifiche. Tecnologie standard trasversali riguardano essenzialmente il settore ICT con particolare riferimento a sistemi 'web e cloud based', per l'implementazione dei diversi portali applicativi, su cui poggerà anche l'infrastruttura BigData, implementata secondo le metodologie open standard ad oggi più diffuse, e Digital twin. Inoltre per le infrastrutture urbane saranno utilizzate metodologie standard orientate all'interoperabilità (es. protocollo MQTT, scheda censimento ENEA-AGID, formati dati standard, ontologie comuni, norme UNI).

In particolare, verrà sviluppato del software atto a implementare la comunicazione sincrona nel prototipo Smart City Platform (SCP) e quindi, a cascata, nell'intero SCP Network (ovvero l'insieme delle diverse istanze di SCP). Tale comunicazione, al momento asincrona, permetterà di ottenere delle dashboard con dati che saranno vicini alla situazione reale monitorata (quasi real time); per lo sviluppo della versione 3.0 delle Smart City Platform Specification (SCPS) si effettuerà una "ripulitura" del contenuto dell'ontologia, in modo da rendere coerente e compatto l'insieme di UrbanDataset e proprietà. Dopo la ripulitura di valuterà se proporre l'ontologia all'interno dell'iniziativa di standardizzazione OntoPia.

La manutenzione evolutiva della piattaforma PELL IP sarà orientata principalmente all'arricchimento dell'estrazione dati e alla visualizzazione su dashboard tramite razionalizzazione delle classi e code refactoring, implementazione di API per fornire KPI all'esterno, estensione dashboard a nuovi widget per rappresentare i nuovi KPI; il consolidamento del PELL Edifici sarà attuato tramite API per fornire KPI all'esterno, Integrazione del formato GeoJSON, migliorata la sicurezza, integrazione del servizio di ticketing e sviluppo di dashboard interattive in funzione dell'utente.

La piattaforma CI-RES (Critical Infrastructure Resilience) subirà una evoluzione significativa che ne aumenterà l'affidabilità e la fruibilità; a tal fine verrà migrata sulla piattaforma Kubernetes e i codici esistenti saranno trasformati in software su container (docker). per la funzione di meta programmazione verranno integrati ad alto livello gli algoritmi di analisi, simulazione, modellazione e valutazione di impatto.

Per la customizzazione del veicolo autonomo con la seconda modalità di alimentazione basata sul vettore idrogeno, verranno effettuate delle prove a banco di fuel cell per la produzione necessaria di corrente elettrica. Inoltre per fornire una analisi più puntuale del contesto urbano dal punto di vista energetico e ambientale verrà integrata nel veicolo autonomo della sensoristica multimodale che sarà opportunamente poi testata anche in ambienti urbani.

Le attività del WP2 saranno suddivise in macro-task, quali: 1) framework interoperabile per la gestione dei dati urbani (SCP); 2)

piattaforma per la conoscenza standardizzata delle infrastrutture urbane energivore (PELL); 3) piattaforma per la resilienza delle infrastrutture critiche (CI-RES); 4) tecnologie innovative per l'analisi del contesto urbano.

Ognuno di questi macro-task comprenderà un cluster di Linee di Attività sia a responsabilità di ENEA che delle Università. Le principali milestones, in corrispondenza dei SAL, al mese 18 e al mese 36 (1 intermedio e 1 a fine triennio), produrranno come deliverable rapporti tecnici di avanzamento e rilascio di componenti tecnologici sviluppati e prototipi.

Per le piattaforme urbane energivore è stata elaborata una analisi costi-benefici a scala nazionale.

Se le piattaforme avessero una penetrazione del 100% sui comuni, si otterrebbe un risparmio annuo medio del 10-15% che, partendo dal dato ISTAT 2020 relativo ai consumi elettrici nei capoluoghi di città metropolitana, pari a 67.455 GWh, si traduce in 6.745- 10.118 GWh. Allo stato attuale, la piattaforma di maggior applicazione (PELL) risulta avere una penetrazione del 3%; da ciò si può ipotizzare che al 2027 lo scenario di diffusione di tali tecnologie sia pari al 10-15% con un conseguente risparmio energetico di 674-1.012 GWh e un risparmio economico di circa 168-253 Mln€ (considerando una tariffa media 0,25 €/kWh).

Infine, ipotizzando una penetrazione media delle tecnologie al 2030 pari al 30% si ottiene un risparmio energetico di 2.024 GWh e un risparmio economico di circa 700 Mln€ (considerando una tariffa media di 0,35€/kWh), il che costituirebbe un contributo significativo al perseguimento degli obiettivi dell'Agenda2030. Oltre a questi benefici economici la diffusione delle piattaforme digitali urbane avrà un impatto significativo sulla sicurezza, la resilienza e l'indipendenza energetica.

Le attività del WP3 saranno suddivise in macro-task, quali: 1) veicoli a idrogeno; 2) Accumulo; 3) Ricarica dinamica di mezzi per il trasporto pubblico; 4) Profili di ricarica dei veicoli elettrici; 5) analisi e simulazione della mobilità urbana.

Ognuno di questi macro-task comprenderà un cluster di Linee di Attività sia a responsabilità di ENEA che delle Università. Le principali milestones, in corrispondenza dei SAL, al mese 18 e al mese 36 (1 intermedio e 1 a fine triennio), produrranno come deliverable rapporti tecnici di avanzamento e rilascio di componenti tecnologici sviluppati e prototipi.

Idrogeno: l'attività intende approfondire le dinamiche degli incidenti che potrebbero coinvolgere veicoli ad idrogeno, con l'obiettivo di sviluppare soluzioni per incrementarne la sicurezza, con un focus anche sulle modalità di rifornimento dei veicoli stessi. Secondo la Strategia Nazionale Idrogeno (nov 2024) l'idrogeno nel trasporto pesante su strada, è considerato una delle soluzioni più percorribili, perché offre un comportamento simile ai carburanti tradizionali; brevi tempi di rifornimento, un'elevata autonomia e capacità di carico elevate per il trasporto merci. Si ritiene, inoltre, che nel lungo termine possa esservi un certo sviluppo della mobilità ferroviaria a idrogeno e si stima una domanda tendenziale di circa 0,3 Mtep al 2050.

La ricarica veloce è ritenuta di fondamentale importanza per l'adozione di massa delle auto elettriche. D'altra parte, però, la consapevolezza che ricaricare la batteria ad alte potenze porta a danni maggiori rispetto alla ricarica standard frena il consumatore dall'utilizzarla: alcuni protocolli di ricarica veloce potrebbero mitigare gli effetti detrimenti rispetto al protocollo attualmente in uso, con il vantaggio di una vita operativa della batteria notevolmente più lunga. Considerando che la batteria è la componente più costosa di un'auto, la ricaduta economica per l'utente è notevole e positiva.

Un monitoraggio dei sistemi di accumulo on line e off line consente, con il successivo riuso in second life, di allungare la vita operativa del pacco base, il suo secondo utilizzo per una vita che può essere paragonabile a quella del primo esercizio o addirittura maggiore e tutti i benefici derivanti dalla aumentata sicurezza di esercizio del sistema. Considerando l'insieme di quanto detto si potrebbe stimare che ad un investimento aggiuntivo di costo del 10% rispetto alla realizzazione dei moduli di un pacco automobilistico, si può ottenere un aumento della sua vita operativa delle celle che va, a seconda degli utilizzi, da un terzo di quella base fino al doppio.

L'attività relativa alle tecnologie per il trasporto pubblico locale intende realizzare un sistema di trasporto mezzi in convoglio che si ricaricano in movimento su catenaria. Nel presente triennio si renderà compatibile con le attuali catenarie di tipo tramviario. Il sistema di ricarica, come in sistema di bordo, saranno raffreddati con un sistema di scambio termico innovativo di tipo bifase. Il sistema di trasporto con ricarica dinamica, se applicato ad esempio come servizio di adduzione per alcuni comuni della città metropolitana di Firenze e si è verificato il potenziale di un significativo shift modale verso un nuovo servizio di trasporto. Tale servizio è una combinazione di car-sharing e ride-sharing in cui i clienti guidano le auto in condivisione (con altri clienti a bordo) verso un nodo di interscambio del trasporto pubblico e lasciano lì le auto condivise che vengono poi riposizionate utilizzando il convoying e ricaricando al contempo i veicoli su corridoi attrezzati. Con una tariffa di 0,4 Euro a viaggio oltre il 50% degli utenti che oggi si spostano a piedi o in trasporto pubblico sarebbe attirato dal nuovo servizio consentendo al servizio di mantenersi in equilibrio finanziario senza sussidi pubblici. Proiettando questi risultati sull'intero territorio nazionale si possono valutare benefici economici per almeno 10 milioni di utenti potenziali con riduzione dei costi sia per le municipalità che per gli utenti ed al contempo un significativo aumento della sicurezza stradale, una significativa riduzione di consumi energetici, di emissioni di anidride carbonica e di emissioni locali.

Ricarica BEV: la disponibilità diffusa di dati sull'impiego dei veicoli privati (FCD), in formato georeferito, consente lo sviluppo di una nuova modellistica in grado di supportare la localizzazione ed il dimensionamento dell'infrastruttura di ricarica per scenari di penetrazione dell'alimentazione elettrica a batteria. E' stata preventivamente verificata la possibilità di acquisire dati campionari sull'intero territorio italiano, ovvero il monitoraggio di un campione significativo di veicoli senza limiti spaziali se non i confini nazionali. Ciò consentirà di esaminare il comportamento di mobilità anche negli spostamenti extraurbani, che costituiscono l'ambito di studio principale di questo

triennio di ricerca (rete TENT-T italiana). E' unitamente previsto lo svolgimento di indagini campionarie per verificare le scelte di ricarica in caso di impiego di veicolo full-electric, su cui calibrare un modello comportamentale di ricarica per diversi scenari di dotazione infrastrutturale della rete extraurbana principale. Il modello di ricarica dovrà essere applicabile al formato FCD comportamentale, così da consentire, attraverso l'aggregazione dei comportamenti individuali, la stima dei profili di ricarica in corrispondenza delle stazioni a tal fine equipaggiate. Questo schema di lavoro è già stato impiegato con successo per l'ambito urbano.

Mobilità sostenibile: La fattibilità tecnico-scientifica della ricerca nell'ambito del macro-task "mobilità sostenibile" dipende in larga misura dalla disponibilità e qualità di dati sugli spostamenti (come floating car data e dati di uso dei servizi) e dall'accuratezza delle analisi modellistiche. Per garantire la validità dei risultati, verranno implementate procedure avanzate di filtraggio e correzione dei dati grezzi provenienti da diverse fonti, già parzialmente sviluppate nel triennio precedente, e test di validazione delle elaborazioni e analisi modellistiche implementate. Con l'estensione della piattaforma su scala regionale e nazionale, sarà realizzata un'architettura tecnologica scalabile, capace di gestire volumi di dati in continua crescita e modelli sempre più complessi. Questi processi saranno supportati da un'infrastruttura computazionale adeguata e da software ottimizzato per la gestione ed elaborazione di grandi quantità di dati. Inoltre, verranno attuate tutte le procedure necessarie per garantire il rispetto delle normative vigenti in materia di privacy e sicurezza dei dati.

#### WP4

Le attività del WP4 saranno suddivise nei seguenti macro-task: 1) sistemi integrati con accumuli geotermici; 2) Componenti, sviluppi tecnologici e applicazioni speciali, che si occuperà dello sviluppo di soluzioni tecniche a TRL più basso e di applicazioni non residenziali 3) Centro di competenza e Diffusione PdC nel tessuto sociale, che si occuperà di avviare un centro di competenza nazionale per la diffusione su larga scala dei sistemi in PdC.

Nel complesso, in continuità con il precedente Piano di Ricerca Triennale, il WP4 si propone di sviluppare soluzioni per la climatizzazione adattabili ad un crescente numero e ad una svariata tipologia di utenza. Relativamente al primo macro-task, si proseguirà l'attività di indagine sull'uso della geotermia a bassa entalpia verificando la sua reazione a sollecitazioni impulsive tipiche della richiesta termica di una PdC. Gli apparati sperimentali saranno modificati per valutare il potenziale di accumulo termico del terreno sotto la falda acquifera e l'efficacia di accumulo della sorgente solare, o in configurazione simulata o tramite un componente reale. Il primo macro-task comprende anche un'analisi di sistema per lo studio di sistemi di accumulo non convenzionali, tra cui quelli geotermici, nell'ambito delle tecnologie di supporto alle reti di teleriscaldamento, dove la disponibilità energetica intermittente da FER, deve essere confrontata con le richieste di un parco di utenti più complesso del monofamiliare.

Le attività del secondo macrotema procederanno in continuità con il triennio precedente. Poiché esistono margini di ottimizzazione degli scambiatori aria/refrigerante/acqua impiegati per la prevenzione del brinamento, si eseguiranno modellazioni ad hoc e test sulle nuove configurazioni individuate. Saranno valutate inoltre migliorie per l'uso ottimizzato della PdC in climi freddi, con analisi dei fabbisogni specifici di utenze ubicate in zone climatiche più svantaggiate ed esecuzione di test su sistemi di recupero interno. Sull'impianto integrato PdC-solare, si valuteranno le prestazioni di pannelli ottimizzati rispetto alla soluzione testata precedentemente. Sistemi di climatizzazione avanzati verranno impiegati su una diversa tipologia di serra alimentare, rispetto a quella testata nel PTR precedente, per valutare le differenze di fabbisogno termico e per predisporre sistemi di controllo dedicati. Il secondo macro-task includerà anche attività sui refrigeranti a bassissimo GWP, con caratterizzazione di quelli approvati dalla nuova normativa F-GAS.

Il terzo macro-task intende contribuire allo sviluppo di un centro di competenza nazionale sulle PdC, con l'obiettivo di diffondere maggiormente questa tecnologia sul territorio attraverso la rimozione di vincoli tecnici da una parte e la corretta sensibilizzazione degli utilizzatori sul potenziale di efficientamento e convenienza della pompa di calore dall'altra. A tal fine, gli attori rilevanti della filiera saranno coinvolti in tavoli di lavoro per definire le problematiche più importanti per la diffusione delle PdC e per elaborare soluzioni condivise. In linea di previsione, il gruppo affronterà e sistematizzerà i seguenti temi: standardizzazione e buone pratiche di installazione in edifici mono e plurifamiliari, analisi di dati di monitoraggio (per individuare "best" e "worst" practises di dimensionamento, installazione e gestione impianto), controllo ottimale degli impianti, minimizzazione dei livelli di emissione sonora nell'ambiente, digitalizzazione e standardizzazione della comunicazione dei dati di prestazione al fine di abilitare servizi di flessibilità, analisi normativa, tool di calcolo per la progettazione, elaborazione di corsi di formazione unificati per installatori e progettisti.

Ognuno di questi macro-task comprenderà Linee di Attività sia a responsabilità ENEA che delle Università. Le principali milestones, al mese 18 e al mese 36 (1 intermedio e 1 a fine triennio), produrranno come deliverable, oltre ai rapporti tecnici di avanzamento, il rilascio dei prototipi e dei componenti tecnologici sviluppati. Il contributo richiesto per il primo SAL (mese 18) sarà dell'ordine dei 560kEuro, mentre per il secondo SAL (mese 36) si attesterà complessivamente sui 1240kEuro.

In relazione all'analisi costi-benefici per il WP4, come evidenziato nel precedente PTR, il beneficio principale per la collettività e per il sistema Paese deriva dalla ricerca di soluzioni di elevata efficienza, con uso accresciuto di fonti rinnovabili, a basso impatto ambientale e adatte ad un'ampia platea di utilizzatori dei sistemi di climatizzazione.

Le attività del WP4 possono ritenersi un supporto agli obiettivi proposti dal PNIEC 2024 in termini di decarbonizzazione, di efficientamento energetico, di sicurezza energetica, di innovazione e competitività. Si ricorda infatti che, in termini di decarbonizzazione,

per l'Italia è prevista una riduzione di emissioni di gas serra al 2030 del 43,7% (regolamento (UE) 2023/857) rispetto al 2005. Le misure per raggiungere tale obiettivo, sempre secondo il PNIEC 2024, prevedono investimenti annui di 4,1 mld€ con una variazione di valore aggiunto medio di 2,3 mld€ e una variazione delle ULA temporanee medie annue di 32000 unità.

Al beneficio macroeconomico della diffusione delle PdC, che questo WP intende supportare, si aggiunge che quello per il singolo utente: un incremento di SCOP della PdC impiegata da 3 a 4 può portare ad un risparmio economico del 25%. Nel caso di fabbisogno termico complessivo di 18000 kWh (abitazione di 150 m<sup>2</sup> in zona climatica E), rispetto alla tecnologia della caldaia a condensazione, il risparmio nei costi operativi per un utilizzatore di PdC con SCOP di 3,5 oscillerebbe tra il 14,3 % e il 42,9% (considerando un prezzo medio del gas di 10 c€/kWh e costi elettrici unitari rispettivamente di 30 c€/kWh e 20 c€/kWh).

Alla luce di ciò, il progetto di ricerca persegue lo sviluppo di un ventaglio di soluzioni tecnologiche applicabili ad ampio spettro, tra cui soluzioni integrate con PdC ad alta temperatura (applicabili anche a costruzioni non sottoposte a ristrutturazioni pesanti, con terminali d'impianto di vecchia generazione ed elevati carichi termici) e soluzioni che utilizzano diverse sorgenti termiche, tra cui il terreno e il sole, e diverse tipologie di accumulo termico ed elettrico.

## 2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

### a) Impatto e benefici sul sistema energetico

Il tema delle Energy Communities rappresenta una innovazione nel mercato della energia elettrica e il suo impatto sul sistema energetico è particolarmente significativo in quanto con le CER si prevede di installare 5 GW di rinnovabili che rappresenta circa il 10% del target di nuove rinnovabili previsto dal PNIEC. In questo senso il contributo dei risultati della ricerca del WP1 supportano questo processo e il raggiungimento di tali obiettivi sviluppando tecnologie a supporto delle CER, da diversi punti di vista: nella loro pianificazione/progettazione, gestione sperimentale e valutazione di funzionamento nonché attraverso metodologie di engagement e di incentivazione alla partecipazione. Inoltre la diffusione delle CER comporta in parallelo una migliore gestione dei picchi di consumo/produzione (grazie alla sincronizzazione dei due carichi), una maggior stabilità e un minor sovraccarico sulla rete di distribuzione, con conseguenti vantaggi per i distributori.

In riferimento al WP2, la digitalizzazione delle infrastrutture energivore comporta un impatto notevole sul sistema energetico, in quanto consente la conoscenza, il monitoraggio, il controllo, la diagnostica, nonché la valutazione prestazionale delle stesse. Essa è basata su data model standardizzati per la descrizione e gestione delle infrastrutture, acquisizione di dati giornalieri di consumo e prestazione, offerta di servizi per calcolo di indicatori chiave (KPI), certificazione, diagnostica, benchmarking, progetti di riqualificazione; l'approccio si propone di fare da riferimento per la digitalizzazione delle infrastrutture energivore, al fine di migliorarne la performance, la resilienza e ridurre il loro impatto sul sistema energetico e sull'ambiente. La digitalizzazione delle infrastrutture energivore produce quindi una base di conoscenza standardizzata permettendone una loro gestione ottimale con un conseguente risparmio energetico e maggiore sicurezza energetica.

In riferimento al WP3, l'aumento della sicurezza intrinseca e percepita della mobilità ad idrogeno consentirà una maggiore e più rapida diffusione della stessa, determinando un più ampio utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico. Si prevede che tale applicazione avrà un positivo impatto sulla rete elettrica ottimizzando l'integrazione e l'uso di energia da fonti rinnovabili.

Lo sviluppo di modelli previsionali e diagnostici efficaci permetterà l'utilizzo massivo delle batterie second-life nelle applicazioni di stoccaggio, con notevole beneficio derivante dal fatto che esse sono più economiche delle batterie nuove.

Poter trasformare le attuali linee di trasporto pubblico da carburanti convenzionali ad alimentazione elettrica avrà un positivo impatto sul sistema energetico grazie ad un maggiore sostenibilità ambientale (riduzione di produzione CO<sub>2</sub>) e alla possibilità di utilizzare energia da fonti rinnovabili. I sistemi di trasporto in convoglio consentono la ricarica in movimento soltanto in alcuni punti del percorso di una linea urbana limitando la problematica della disponibilità di potenza in tutte le altre parti, come ad esempio la periferia.

Una corretta valutazione della distribuzione spazio-temporale della potenziale richiesta di ricarica è di fondamentale importanza per la corretta pianificazione degli interventi strutturali e, un'infrastruttura di ricarica ben pianificata è in grado di agevolare la diffusione dell'alimentazione elettrica, con tutte le note ricadute positive in termini energetici ed ambientali.

I nuovi sviluppi previsti nel macro-task "Mobilità sostenibile" permetteranno una comprensione più approfondita dei profili di uso dei veicoli privati e in sharing e della domanda di ricarica dei veicoli elettrici nei vari contesti territoriali. Questa conoscenza costituirà la base di partenza per l'attuazione di politiche e piani di mobilità sostenibile per ridurre le percorrenze in auto privata, ottimizzare i processi di ricarica e migliorare la sostenibilità del sistema energetico grazie anche a una maggiore integrazione con le energie rinnovabili.

Riguardo il WP4, tenendo conto che i risultati attesi mirano a contribuire all'individuazioni di soluzioni di climatizzazione più efficienti ed ecocompatibili, in grado di estendere il parco-utenti servibile efficientemente dalla tecnologia delle PdC (es. condomini tramite reti di teleriscaldamento, utenze in zone climatiche fredde, ecc.), il contributo al sistema energetico si estrinseca in due importanti indicatori: la

riduzione di energia primaria richiesta per la climatizzazione, da 2 a 2,5 volte minore rispetto ad una caldaia a gas, e la riduzione di emissioni di CO<sub>2</sub>, di non meno del 60% rispetto agli apparecchi basati sulle fonti fossili. Inoltre, la PdC trae vantaggio da un maggior uso delle FER nella generazione elettrica: considerando un uso di FER del 38% sulla produzione elettrica e un coefficiente di prestazione medio di 3,36, le PdC garantirebbero una percentuale di impiego di energia rinnovabile sul totale di energia primaria richiesta dell'82,5%.

### **b) Benefici per gli utenti**

Nel WP1, lo sviluppo delle comunità energetiche produrrà un significativo miglioramento nella "sostenibilità sociale", promuovendo un cambiamento dell'utente finale verso uno "stile di vita" più sostenibile, e introducendo un nuovo tipo di interazione tra membri della comunità e le società "energetiche" (ad es. ESCO). A seconda del tipo di configurazione delle CACER gli impatti sugli utenti possono essere sia diretti (redistribuzione degli incentivi per mitigare i costi in bolletta), sia indiretti attraverso investimenti di natura sociale sul territorio (ad es. car-sharing, servizi di comunità, etc). In particolare nel settore residenziale gli utenti potranno usufruire dei servizi di supporto alla gestione della propria abitazione per ridurre e adattare/spostare il proprio consumo con conseguente potenziale riduzione degli oneri di sistema in bolletta.

Nel WP2, con la digitalizzazione delle infrastrutture urbane energivore, le PA avranno a disposizione un "framework" sicuro, garantito, facilitato per sostenere la trasformazione digitale della città attraverso le piattaforme PELL, SCP, CI-Res. Inoltre, la disponibilità di tali piattaforme faciliterà l'azione di sistematizzazione della conoscenza delle infrastrutture delle PA, la gestione delle situazioni di emergenza, la pianificazione e programmazione, la possibilità di verifica dei servizi commissionati su cui basare una eventuale contrattualistica con i relativi gestori. Il beneficio finale per gli utenti consiste in un minor costo e una maggiore qualità dei servizi offerti; infine, una miglior conoscenza e una maggiore attenzione alla resilienza delle infrastrutture ne aumenta la sicurezza e ne diminuisce i rischi di black-out, mitigandone anche gli effetti.

Per quanto riguarda il WP3, i benefici per gli utenti sono, per la task relativa all'Accumulo, un incremento della sicurezza dei sistemi batteria; è un vantaggio notevole per gli utenti che potranno utilizzare in sicurezza veicoli elettrici o ibridi così come ridurre il costo di investimento per le auto elettriche grazie al valore aggiunto del pacco batterie, riutilizzabile in applicazioni successive.

La riduzione di potenziali rischi associati al rilascio incidentale di combustibile dei mezzi di trasporto alimentati ad idrogeno garantirà all'utente finale l'utilizzo in sicurezza dei veicoli a Fuel Cell.

I sistemi di trasporto in convoying, possono migliorare il servizio di trasporto in zone a bassa domanda in quanto, veicoli più piccoli possano svolgere questo servizio e gli stessi, quando raggiungono le direttrici verso il centro della città, si applottonano e vengono guidati dal veicolo di testa, con vantaggi anche di tipo economico poiché il costo del guidatore ha un impatto molto alto nel costo totale del trasporto.

La conoscenza dei profili di ricarica è di estrema importanza nella corretta valutazione della distribuzione dei punti di ricarica. Questa, a sua volta, è uno dei fondamentali strumenti per incentivare l'adozione della mobilità elettrica, superando l'ansia da autonomia che caratterizza molti potenziali utenti, specie negli spostamenti di medio-lungo raggio lungo la rete extraurbana.

La corretta conoscenza, analisi e modellizzazione della domanda di mobilità e delle risorse necessarie per esprimerla è un'imprescindibile condizione per la pianificazione di interventi più efficaci e rispondenti alle reali esigenze dei cittadini, in termini di accessibilità ai servizi di mobilità e riduzione dei costi del trasporto, e alle sempre più pressanti necessità di efficientamento energetico, decarbonizzazione e miglioramento della qualità dell'aria soprattutto nei contesti urbani densamente popolati.

Il raggiungimento dei risultati nel WP4 potrà portare beneficio agli utenti in termini economici e di incremento di qualità della vita, in termini di riduzione delle emissioni locali dovute alla combustione di combustibili fossili, in termini di bonifica termo-acustica delle zone di installazione e di incremento del comfort complessivo degli ambienti. Tutti i vantaggi sopra indicati potranno essere ampliati con il raggiungimento degli obiettivi del presente progetto: in particolare, le attività relative al contenimento del possibile dis-comfort termo-acustico nelle zone di installazione delle unità esterne delle PdC potranno fornire un contributo al mantenimento dei corretti parametri di vivibilità delle zone con elevata concentrazione di installazione di apparecchi; gli studi sulla flessibilità d'uso delle PdC e sui sistemi di controllo, potranno mettere a disposizione dell'utente strumenti per un uso delle pompe di calore che ottimizzi e specializzi le sue modalità d'impiego, necessariamente diverse rispetto ai generatori termici convenzionali, sia in un'ottica di risparmio economico che energetico. Infine, in prosecuzione delle attività dello scorso triennio, gli studi sulla gestione delle logiche di funzionamento, renderanno l'utente potenziale attore nel conseguimento di obiettivi di sistema, (ad esempio in contesti come comunità energetiche, sottoreti, ecc.), poiché l'uso flessibile delle PdC, secondo logiche di Demand-Response, può contribuire a garantire la sostenibilità del sistema energetico.

### **c) Previsione delle ricadute applicative**

L'efficacia delle soluzioni proposte avrà ricadute applicative di immediato effetto sui diretti beneficiari (cittadini, comuni, stakeholders) piuttosto che per i proponenti.

Nell'ambito del WP1, i tool sviluppati sono finalizzati a promuovere l'avvio e la gestione delle CER su tutto il territorio nazionale; essendo strumenti aperti e disponibili a tutti presentano due tipi di impatti: in primis permettono alle aziende di migliorare il proprio posizionamento e la competitività sul mercato e in secondo luogo ai cittadini di accedere alle opportunità offerte dalle CER. Inoltre un tale modello collaborativo di approvvigionamento energetico, basato sul paradigma delle Energy Community (EC), renderà il mercato elettrico più sicuro e stabile mentre la remunerazione del virtuosismo energetico-sociale e lo sharing di asset tra i membri della community porterà dei benefici economici alla intera comunità.

Per quanto riguarda il WP2, la diffusione di piattaforme digitali basate su standard aperti riconosciuti comporta ricadute significative e benefici a vari utenti dei servizi urbani energivori. Per le aziende i benefici economici riguardano l'apertura del mercato e la possibilità di offrire nuovi prodotti e servizi a valore aggiunto. Per la PA, tali strumenti consentiranno di attivare azioni e strategie di protezione dai fenomeni di vendor lock-in fornendo, nel contempo, un valido aiuto e supporto per le gare di approvvigionamento dei servizi, sia da parte delle stazioni appaltanti locali che nazionali (Consip). Per i cittadini le ricadute applicative riguardano una maggior qualità e affidabilità dei servizi pubblici.

Per quanto riguarda il WP3, L'incremento della sicurezza dei veicoli ad idrogeno, potrà facilitare la diffusione sul mercato di FCEV, soprattutto nel trasporto pesante. L'utilizzo di algoritmi che non richiedono una sensoristica aggiuntiva da implementare nei BMS, permette di minimizzare i costi di investimento sulla realizzazione del sistema stesso. L'individuazione di protocolli di ricarica veloce meno impattanti sullo stato di salute della batteria è di fondamentale importanza per la diffusione delle auto elettriche.

Il sistema di trasporto in convoing, potrà avere applicazioni nel prossimo futuro nell'ottica dell'efficientamento del servizio pubblico. Veicoli più piccoli che effettuano la loro missione in periferia, zone tipicamente a più bassa domanda, si applottonano sulle direttrici verso il centro delle città, guidati da un solo autista (e in prospettiva senza guidatore), con riduzioni dei costi di esercizio.

La stima dei profili di ricarica dei veicoli è un risultato di estremo interesse per gli operatori della ricarica pubblica che, su tale base, sono in grado di pianificare e dimensionare correttamente l'infrastruttura da rendere disponibile agli utenti della mobilità elettrica individuale ed alle flotte dei bus del servizio pubblico, nonché di indicare il fabbisogno di potenza da impegnare nelle diverse zone urbane.

L'innovazione dei processi di analisi e modellizzazione della mobilità urbana attraverso l'utilizzo di big data della mobilità e open data dei servizi di trasporto avrà importanti e immediate ricadute sociali, ambientali ed energetiche. Questa innovazione è di particolare interesse per i responsabili delle politiche e della pianificazione della mobilità urbana che si trovano ad affrontare le attuali inefficienze e diseconomie della mobilità urbana e che promuovono politiche ed interventi per una transizione verso modi di trasporto più accessibili, puliti e sostenibili.

Le principali ricadute applicate del WP4 risiedono nell'ampliamento dei potenziali utilizzatori delle PdC, attraverso gli studi specifici sui sistemi di accumulo, sulle applicazioni in climi freddi e sui sistemi di sbrinamento. I sistemi proposti utilizzeranno tecnologie consolidate, che in generale non presentano criticità riguardo all'industrializzazione. Il progetto vuole fornire altresì indicazioni sulla integrazione tra differenti tecnologie (PdC e collettori fotovoltaici, PdC e accumuli geotermici e/o con materiale a cambiamento di fase) evidenziando le possibili sinergie tra diversi settori industriali, che coinvolgono, in buona parte, costruttori nazionali. D'altra parte, l'elaborazione di linee guida condivise tra costruttori e operatori di settore, quali progettisti e installatori può contribuire ad incrementare gli ambiti di corretta applicazione delle macchine, contribuendo alla loro diffusione anche in contesti applicativi attualmente non appannaggio delle PdC, come, ad esempio, gli edifici multipiano di vecchia costruzione.

In questo senso, gli studi proposti, si propongono come strumento per la valorizzazione del patrimonio immobiliare sia per le nuove costruzioni, che, a maggior ragione, per la riqualificazione dell'esistente.

## 2.8 Verifica dell'esito del progetto

### a) Oggetti e documentazione dei risultati finali

In coerenza con la descrizione delle LA del paragrafo 3 e con la "TABELLA RIASSUNTIVA PRODOTTI DELLA RICERCA ED ELEMENTI DI VERIFICA DEL PROGETTO (di cui al paragrafo 4)" e ad integrazione della stessa, fornire elementi utili per la valutazione intermedia e finale, descrivendo i risultati e gli obiettivi in termini di metodi, programmi, prove, prototipi, risultati sperimentali, rapporti tecnici, etc.. Sempre con riferimento alla tabella del paragrafo 4, descrivere i possibili test di verifica, da eseguire in fase di valutazione dei risultati.

La documentazione e gli oggetti che costituiscono i risultati finali del progetto riguarderanno reportistica tecnica (rapporti tecnici, linee guida, manuali tecnici, specifiche tecniche, business model), e prodotti quali software, piattaforme, prototipi, etc.

Per raggiungere gli obiettivi del WP1, che consistono nella realizzazione di una serie di servizi integrati a supporto delle CER accessibili tramite un portale web, verranno prodotti i seguenti risultati finali da considerarsi utili per la verifica dell'esito del progetto e che saranno descritti nei rapporti tecnici delle singole LA:

- sperimentazione del portale web di integrazione di servizi per varie tipologie di utenti delle Comunità Energetiche;
- test in contesti reali del tool web per la fattibilità tecnico-economica di configurazione di CACER;
- rilascio del tool per la gestione sperimentale e la valutazione delle CER attraverso il monitoraggio delle prestazioni energetiche;
- sperimentazione in contesti reali del tool web per l'ingaggio dei cittadini nelle CER e feedback agli utenti residenziali;
- sperimentazione dell'applicazione web e del marketplace per una "local token economy";
- sperimentazione del prototipo del servizio di analisi dei social network per il monitoraggio della percezione dei cittadini riguardo le CER;
- sperimentazione dello Smart Building di seconda generazione;
- rilascio del vademecum del lavoro dei tavoli tematici dell'Osservatorio per le CE promosso e gestito da ENEA.

Per raggiungere gli obiettivi del WP2 che consistono nella realizzazione piattaforme interoperabili per i servizi urbani energivori, verranno prodotti i seguenti risultati finali da considerarsi utili per la verifica dell'esito del progetto e che saranno descritti nei rapporti tecnici delle singole LA:

- sperimentazione del prototipo della piattaforma nazionale Smart City per la integrazione delle piattaforme urbane;
- applicazione su casi pilota del prototipo del tool web per il coinvolgimento degli operatori urbani per la transizione verso i servizi smart (UCUM);
- applicazione su larga scala del PELL-IP pubblica e adottata nelle gare per la gestione degli impianti IP;
- sperimentazione del PELL-Edifici per monitoraggio prestazionale edifici pubblici;
- sperimentazione del prototipo della piattaforma CI-Res per la resilienza dei sistemi energetici esistenti;
- dimostrazione in ambiente simulato del veicolo elettrico autonomo.

Per raggiungere gli obiettivi del WP3 che consistono nella realizzazione sistemi e tecnologie per la mobilità elettrica, verranno prodotti i seguenti risultati finali da considerarsi utili per la verifica dell'esito del progetto e che saranno descritti nei rapporti tecnici delle singole LA:

- analisi dei potenziali scenari incidentali di veicoli ad idrogeno, strategie di mitigazione del rischio, e analisi di rilasci incidentali da veicoli ad idrogeno e studio delle modalità di rifornimento dell'idrogeno nei veicoli stradali, ferroviari e navali per mezzo delle stazioni di rifornimento
- prove sperimentali per la stima della vita di un modulo di batterie e della variazione stato di salute delle celle che lo compongono in relazione al ciclo di funzionamento assegnato e di ricarica, validazione degli algoritmi di stima 'on line' dello stato di salute stesso.
- prototipo di un sistema integrato di trasporto con ricarica in movimento in convoying di due minibus, con ricarica tramite catenaria in media tensione con scambio termico bifase e trasferimento di carica tra i veicoli connessi; realizzazione e sperimentazione su un circuito chiuso
- software monofunzionali e piattaforme integrate che saranno sottoposti a test di verifica funzionale e di risultato attraverso l'applicazione a casi di test significativi
- implementazione di nuovi approcci e strati informativi integrati nella piattaforma sviluppata nel precedente piano triennale. Nuovi strumenti di analisi e caratterizzazione della mobilità privata e in sharing. Nuove procedure di estrazione e caratterizzazione dei i profili di utilizzo dei veicoli elettrici e di ricarica

Per raggiungere gli obiettivi del WP4 verranno prodotti i seguenti risultati finali, da considerarsi utili per la verifica dell'esito del progetto e che saranno descritti nei rapporti tecnici delle singole LA:

- messa in opera di apparato sperimentale per lo studio di accumuli geotermici per sorgenti termiche di diversa tipologia (es. solare) e analisi dei risultati delle relative campagne sperimentali;
- modellazione, Prototipazione e installazione di scambiatori di diversa geometria, rispetto a quelli precedentemente testati, per sistema di sbrinamento con serbatoio a PCM per PdC aria-acqua;
- proposta di linee guida e raccolta di materiale didattico per predisposizione di corsi di formazione specifici per installatori e progettisti di impianti in pompa di calore;
- Individuazione di soluzioni circuitali specifiche per l'ottimizzazione delle prestazioni delle pompe di calore in climi freddi e esecuzione di test sperimentali;
- risultati sperimentali di test prestazionali dinamici su sistemi integrati in pompa di calore;
- sviluppo di tool avanzati per la progettazione di impianti a pompa di calore, per supportare progettisti ed installatori nella configurazione e simulazione delle prestazioni.