

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 202-24 - RICERCA DI SISTEMA  
ELETTRICO NAZIONALE**  
**Progetti di ricerca di cui all'art. 10 comma 2, lettera a) del decreto 26 gennaio 2000**

**AFFIDATARIO 1: AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE**

Tema:

Progetto 1.7 - Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Durata: 36 mesi

Semestre n. 1 – Periodo attività: 01/01/2022– 30/06/2022

**ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:**

Il progetto 1.7 ha come obiettivo finale la accelerazione del processo di decarbonizzazione del sistema energetico il quale passa attraverso una progressiva sostituzione, negli usi finali, dei combustibili fossili con il vettore elettrico, e che può avvalersi delle fonti rinnovabili in modo energeticamente ed economicamente efficiente. Il vettore elettrico si presta, in particolare, alla realizzazione di servizi flessibili, adattivi, facilmente misurabili ed integrabili e di conseguenza predisposti ad un nuovo modello di interazione con i fruitori di servizi energivori.

Il progetto è articolato in 4 Pacchetti di Lavoro (WP):

- WP1 – Comunità energetiche sostenibili
- WP2 – Infrastrutture urbane energivore
- WP3 – Tecnologie per la mobilità elettrica
- WP4 – Pompe di calore e climatizzazione sostenibile.

Nell'ambito del WP1 "Comunità energetiche sostenibili" sono state avviate 5 Linee di Attività a responsabilità ENEA. In questi primi sei mesi ci si è concentrati sull'evoluzione di applicazione e servizi che erano stati realizzati in versione prototipale e sulla progettazione di nuovi strumenti.

Per gli strumenti di avvio delle comunità energetiche si è proceduto con studi di fattibilità, analisi e riprogettazioni dei prototipi realizzati nel precedente triennio, per potenziarli e adattarli ai contesti applicativi e normativi in evoluzione. Per la gestione e la valutazione delle Comunità energetiche sono stati progettati nuovi strumenti e potenziati i prototipi nel precedente triennio. Per gli strumenti aggiuntivi di tipo social è stato studiato lo stato dell'arte e implementato il potenziamento di un'applicazione. Sono stati effettuati anche test e studi per gli strumenti aggiuntivi di tipo energetico. Si è infine effettuata la diffusione dei risultati della ricerca del WP1 e il potenziamento del network degli stakeholders.

Nell'ambito del WP2 "Infrastrutture urbane energivore" sono state avviate 5 Linee di Attività a responsabilità ENEA. Per la governance dei dati urbani sono stati individuati e descritti gli interventi da effettuare relativamente alla Smart City Platform analizzati i fabbisogni dei 4 comuni umbri partecipanti alla sperimentazione. Per il monitoraggio delle infrastrutture pubbliche sono state ampliate le funzionalità della piattaforma PELL e avviato un progetto di applicazione di essa sul comune di Pitigliano. E' stata modellizzata la piattaforma per la resilienza urbana basata sulle infrastrutture critiche CI-RES e definite nuove funzionalità per il veicolo della smart road. Infine, si sono rafforzati i tavoli di lavoro e le azioni di diffusione.

Per il WP3 “Tecnologie per la Mobilità Elettrica” sono state avviate 6 Linee di Attività a responsabilità ENEA e 5 a responsabilità dei cobeneficiari.

Il primo semestre è stato impiegato prevalentemente per l’analisi dello stato dell’arte è comune a tutte le attività avviate, dai meccanismi di invecchiamento per soppressione/contenimento della thermal-runaway, nel caso dei sistemi di accumulo, come anche per i sistemi di ricarica dinamica per i mezzi di trasporto pubblico per TPL e della ricarica per i veicoli elettrici in ambito urbano. Sul tema dello scambio termico bifase sono state definite le specifiche del sistema di gestione termica degli azionamenti elettrici e dell’integrazione del sistema di raffreddamento bifase con la pompa di calore termica per il recupero di calore di scarto dell’inverter, oltre che della scheda di controllo e regolazione. È stata fatta la progettazione esecutiva del banco di test per il raffreddamento di convertitori ed è stata fatta una analisi dei modelli di scambio termico in letteratura per sistemi di raffreddamento bifase. Sul tema della mobilità urbana è stata definita la nuova architettura di sviluppo della piattaforma, è stato allestito l’ambiente hardware e software della piattaforma. Infine, Sono stati divulgati i risultati della ricerca del WP3 e potenziato il network degli stakeholders e dei tavoli di lavoro.

Nell’ambito del WP4 “Pompe di Calore e Climatizzazione sostenibile” sono state avviate 5 Linee di Attività a responsabilità ENEA e 4 Linee di Attività a responsabilità dei co-beneficiari.

Sul tema dei sistemi integrati, è stato caratterizzato il campo geosonde da impiegare come sorgente termica di una pompa di calore (PdC) dual-source invertibile ad alta temperatura; inoltre è stata avviata la progettazione di impianto di test per PdC dotate di moduli PV-T. Sulle tecnologie innovative è stato testato un sistema di rigenerazione interna per PdC a CO<sub>2</sub> per finalità di sbrinamento e di miglioramento della sua efficienza. Sulle tematiche legate alla diffusione delle PdC, è stata condotta una comparazione tecnico economica tra vari generatori termici, tra cui PdC e caldaie a condensazione (classiche e ad idrogeno). È stata infine svolta un’ampia attività di networking nazionale e internazionale per monitorare le principali tendenze in tema di ricerca e di promozione sul tema delle PdC.

## ATTIVITA' SVOLTE

<i><b>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</b></i>	<i><b>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</b></i>
ENEA	<p><b><u>Comunità energetiche sostenibili</u></b></p> <p>Nell’ambito delle attività sull’avvio delle comunità energetiche, è stato riprogettato il simulatore di calcolo RECON per migliorarne la modularità, ai fini dei futuri aggiornamenti, legati all’evoluzione normativa. Sono stati analizzati database e servizi forniti dalla piattaforma Dhomus e dal servizio web Smart Sim per predisporre la nuova fase di sperimentazione. Si sono analizzati e selezionati gli indicatori per la flessibilità negli usi termici in edifici residenziali. Si è avviato lo studio di fattibilità per l’integrazione del nuovo robot antropomorfo PEPPER nell’Assisted Living.</p> <p>Per quello che riguarda gli strumenti software per valutazione e gestione dei dati delle CER, è stato progettato uno strumento, chiamato SIMUL, finalizzato a realizzare il gemello digitale della comunità energetica. È stata rilasciata la versione prototipale della piattaforma CRUISE per la</p>

gestione delle comunità, attraverso la messa a disposizione di un servizio web per tutti gli utenti registrati. Infine, è stato reingegnerizzato e messo a punto lo strumento Energy Community Data Platform (ECDP) per la raccolta dei dati energetici.

Relativamente alla Loken Token Economy, si è svolta l'analisi dello stato dell'arte e la definizione dei servizi e funzionalità da implementare nel marketplace, in base all'interesse ricevuto nella presentazione del modello al territorio. Si è predisposto il server, opportunamente configurato per la messa in produzione e si è pianificato il trasferimento delle applicazioni presenti sulla vecchia macchina. Inoltre, si è avviata la fase di geolocalizzazione degli eventi per l'applicazione ECListener.

È iniziato il lavoro sui servizi energetici di supporto alle comunità energetiche. Sono state effettuate le verifiche di funzionamento dei sistemi di gestione e controllo degli Smart Building dimostrativi. Sono state analizzate le configurazioni di hub energetici multi-vettore più studiate nella letteratura scientifica e lo stato dell'arte su mitigazione del clima urbano e dei materiali da costruzione autopulenti. Si sono individuati i parametri per una piattaforma per il monitoraggio del clima urbano.

Avviata l'attività di ricognizione dei vari aspetti inerenti allo sviluppo di comunità energetiche mediante una richiesta di collaborazione e confronto ai diversi operatori di mercato e soggetti pubblico-privati coinvolti e le attività di diffusione per promuovere lo sviluppo di comunità energetiche, anche tramite il coinvolgimento di operatori di mercato, soggetti pubblico-privato, PA e cittadini. Sono state avviate anche attività internazionali tramite la partecipazione a eventi internazionali e a reti internazionali quali la DUT partnership.

### **Infrastrutture urbane energivore**

Per la Smart City Platform è stata avviata l'analisi del contesto e la raccolta requisiti; in particolare è stato necessario individuare gli interventi da effettuare sulla SCP, che ha un ruolo centrale nella comunicazione interoperabile in ambito Smart City, per renderla maggiormente replicabile. Parallelamente è stata avviata la definizione del "Piano dei Fabbisogni" con i quattro comuni umbri che partecipano alla sperimentazione, definendo il caso studio della "Smart Land" (ovvero la SCP utilizzata su scala regionale dai 4 comuni).

Per la piattaforma Public Energy Living Lab è stata avviata l'attività di supporto incentrata sulla definizione di meter "nativi PELL" ed è stato completato il perfezionamento della scheda censimento PELL Ospedali. Inoltre, è stato avviato il progetto "Pitigliano laboratorio a cielo aperto" quale occasione per promuovere e mettere a punto una strategia nazionale di innovazione dei borghi e dei piccoli comuni. Infine, è proseguita la partecipazione agli organismi di standardizzazione nazionale e internazionale. ENEA partecipa come leader al tavolo del Technical Committee for Meters and More Protocol Specifications.

Per la piattaforma CI-RES è stata affrontata la problematica dei servizi essenziali supportati dal sistema elettrico, la concettualizzazione e modellizzazione del “sistema di sistemi” composto dalle diverse infrastrutture critiche interagenti per la sostenibilità dei servizi essenziali e valutazione della Resilienza, la definizione degli strumenti informatici (hardware) necessari alla modellizzazione: requisiti di elaborazione (potenza di calcolo), dimensione dei dati (spazio di memoria) e affidabilità della piattaforma CI-RES.

Per ciò che riguarda l’infrastruttura Smart Road, sono iniziate le attività per lo studio sullo stato dell’arte dei sistemi di ricarica elettrica per veicoli. Sul veicolo, invece si sono avviate le attività legate all’approvvigionamento per l’aggiornamento sia dal punto di vista hardware che software. È stato avviato lo studio di un classificatore neurale di difetti superficiali del manto stradale basato sull’analisi di flussi video, con tecniche di Intelligenza Artificiale.

L’attività ha previsto il coinvolgimento e collaborazione con PA e stakeholder coinvolti nei processi di innovazione urbana e un aggiornamento dei network e dei tavoli in funzione dell’aggiornamento delle attività e conseguimento degli obiettivi; l’avvio ricognizione su PELL mobilità elettrica, e su sviluppo di un laboratorio di innovazione urbana sperimentale. Partecipazione e organizzazione di convegni, webinar, workshop fiere.

### **Mobilità**

Sono state svolte analisi di letteratura relative all’utilizzo di fluidi dielettrici per soppressione/contenimento della thermal runaway e ai meccanismi di invecchiamento. Si sono studiati cicli di invecchiamento per test vita sulle batterie, i cicli sono derivati da una applicazione reale.

Per la valutazione tecnico economica dei vari sistemi di ricarica dinamica, nel primo semestre si è proceduto ad una analisi dello stato dell’arte, valutando sistemi esistenti con catenaria (monofilare) come quella tramviaria, oppure come quelle bifilari dei Trolleybus o wireless induttiva. Per il tema scambio termico, sono state definite le specifiche del sistema integrato di gestione termica del sistema inverter e batterie del bus elettrico. È stata inoltre fatta l’analisi dell’integrazione del sistema di raffreddamento bifase con la pompa di calore termica per il recupero di calore di scarto dell’inverter e la definizione delle specifiche della scheda di controllo e regolazione.

Per quanto riguarda l’attività sui profili di ricarica dei veicoli elettrici in ambito urbano, si è fatta l’analisi dello stato dell’arte della ricarica per i veicoli e una rassegna della letteratura sui modelli comportamentali di ricarica.

Per il tema relativo alla mobilità urbana, è stata definita la nuova architettura di sviluppo della piattaforma e la sua organizzazione in moduli funzionali. È stato allestito l’ambiente hardware e software della

	<p>piattaforma, accessibile da web, per garantire e agevolare lo svolgimento di tutte le attività necessarie allo sviluppo modellistico, alla gestione del geo-database ed alla messa a punto dell'interfaccia utente per l'accesso alle applicazioni e la visualizzazione dei risultati.</p> <p>Infine, si è avviata l'attività di networking a livello nazionale e internazionale con i principali attori del settore della mobilità. In particolare, in ambito IEA, ENEA ha partecipato all'evento "55° MEETING DEL COMITATO ESECUTIVO SUI VEICOLI ELETTRICI ED IBRIDI DELL'IEA" a Oslo.</p> <p><b><u>Pompe di calore</u></b></p> <p>Per la caratterizzazione della sorgente geotermica, sono state condotte misure di conducibilità termica, densità, capacità termica volumica e calore specifico sulle carote del sondaggio del pozzo 1 (fino a 100 m dal piano campagna) del campo geosonde realizzato nel 2021.</p> <p>È stata avviata la progettazione preliminare di due impianti sperimentali, uno per PdC dual-source aria-terreno ed un secondo per PdC aria-sole con pannelli termo-fotovoltaici. Tutti e due gli impianti consentiranno l'esecuzione di test statici e dinamici con simulazione di utenze termiche ed elettriche; per l'esecuzione di questi test è stato definito il profilo di carico elettrico per utenza di riferimento.</p> <p>A livello sperimentale, sono stati eseguiti di test su un sistema di rigenerazione interna per PdC a CO2 per finalità di sbrinamento e di ottimizzazione delle sue condizioni di esercizio; sono stati eseguiti test giornalieri in riscaldamento, con simulazione di utenza di riferimento ubicata in zona climatica F.</p> <p>È stata condotta una comparazione energetico economica di PdC di diversa tipologia con altri generatori termici (es. caldaie a condensazione e a idrogeno), definendo e calcolando una serie di indicatori, come energia primaria, emissioni di CO2, costi di esercizio per unità di effetto utile e i costi di investimento per unità di potenza nominale. Il confronto è stato effettuato anche considerando uno scenario con produzione di energia elettrica completamente da rinnovabile.</p> <p>È stata svolta un'ampia attività di networking a livello nazionale e internazionale con i principali attori del settore della climatizzazione. In particolare, in ambito IEA, ENEA ha partecipato ad eventi in remoto (es. Exco Meeting di Oslo) di aggiornamento sugli avanzamenti degli Annex in corso di svolgimento.</p>
<p>Università di Pisa Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni</p>	<p>WP3 - La degradazione delle batterie agli ioni di litio, che si verifica sia durante i cicli di carica e scarica che in condizioni di inattività, è dovuta a fattori di stress fisico e reazioni chimiche secondarie. Inoltre, diversi fattori influenzano la degradazione delle batterie, tra cui la chimica delle celle, il design delle celle, quello del pacco batteria e le condizioni operative. Comunemente, l'invecchiamento delle batterie agli ioni di litio viene suddiviso in diverse modalità, che sono state classificate e analizzate nel corso dell'attività trimestrale.</p>
<p>Università di Pisa Dipartimento di</p>	<p>WP3 - Si è avviato uno studio della letteratura scientifica per individuare le principali problematiche che le batterie attualmente in commercio si troveranno ad affrontare nei prossimi anni e che potrebbero rallentarne la</p>

Ingegneria dell'Informazione	diffusione. In particolare, sono state individuate tre possibili macro-problematicità: la necessità di migliorare gli algoritmi di stima dello stato interno della batteria, problematicità di sicurezza informatica legate a una batteria che deve essere sempre più connessa con il mondo esterno, e infine, problematiche legate al riutilizzo di batterie considerate esauste per le applicazioni di prima vita in applicazioni di seconda vita che richiedono livelli prestazionali meno stringenti.
Università di Firenze Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale	WP3 - Progetto dell'architettura di bordo per la ricarica in movimento di un bus con sistema di alimentazione a 72V cc e sistema di accumulo 400V cc sono stati scelti i convertitori che consentono funzioni back e boost e garantiscono continuità al sistema elettrico. Sono state redatte le specifiche in collaborazione con ENEA per l'acquisizione dei convertitori stessi.
Università di RomaTre Dipartimento di Ingegneria	WP3 - Definizione delle specifiche del sistema di raffreddamento bifase. Progettazione esecutiva del banco di test per il raffreddamento di convertitori statici di potenza. Requisiti in termini di potenza termica, sensoristica, tubazioni, apparati di sicurezza, circuito per lo scambio termico secondario. Definizione delle specifiche della scheda di controllo e regolazione.
Sapienza Università di Roma Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica	WP3 - Analisi dei modelli di scambio termico in letteratura per sistemi di raffreddamento bifase. Identificazione dei modelli di calcolo di scambio termico più affidabili per gli evaporatori a microcanali paralleli.
Sapienza Università di Roma Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica	WP4 - è stato sviluppato il modello di simulazione del campo sonde ENEA, validandolo con i dati sperimentali disponibili. È stata verificata l'influenza dei diversi parametri di simulazione sui risultati. Particolare attenzione è stata rivolta ai limiti del passo temporale di simulazione che è il più rilevante ai fini dei tempi di calcolo. Inoltre, è stata valutato l'utilizzo di modelli 2D a supporto del modello 3D.
Università Politecnica delle Marche Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche	WP4 - Sono state identificate delle configurazioni impiantistiche (pompa di calore, stoccaggio, controllo) da analizzare e delle condizioni al contorno da considerare nell'analisi. Sono stati sviluppati modelli di simulazione dinamica ad hoc per l'analisi dinamica degli impianti integrati a pompa di calore da impiegare nelle successive elaborazioni.
Università degli Studi di Padova Dipartimento di Ingegneria Industriale	WP4 - L'attività di ricerca si è incentrata sullo studio di una PdC a CO2 a doppia sorgente con collettori PV-T. In particolare, è stato testato un evaporatore allagato alimentato da una pompa di circolazione a velocità variabile. Ciò ha consentito di mantenere la temperatura delle celle fotovoltaiche stabile e di migliorare la distribuzione del refrigerante con benefici sul COP e sull'efficienza dei pannelli.
Università degli Studi di Napoli Federico II Dipartimento di Ingegneria Industriale	WP4 - è stato sviluppato un modello digitale per la simulazione di PdC ad uso residenziale (aria-aria) in assenza ed in presenza di guasti lievi, calibrando sotto-modelli per ogni componente di impianto con l'ausilio di datasheet di costruttori. La condizione di guasto (ovvero combinazioni di sporcamento evaporatore, condensatore, e perdita di refrigerante) è stata modellata attraverso relazioni fenomenologiche ad-hoc.