

# 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 2.3A

### Titolo del progetto

#### Evoluzione e pianificazione delle reti elettriche

- Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]
- Politecnico di Bari [POLIBA]
- Politecnico di Torino - Dipartimento Energia [POLITO-DENERG]
- Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli" - Dipartimento di Ingegneria [UNICAMP-DI]
- Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica [UNICA-DIEE]
- Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Ingegneria [UNIPA-DI]
- Università degli Studi di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni [UNIFI-DESTEC]

**Durata del progetto: 36 mesi**

**Costo proposto: 0,00 €**

**1. IDENTIFICAZIONE DEI PROPONENTI****1.1 Dati affidatario/i****Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]**

Legale rappresentante/delegato	
<b>Cognome</b>	Polito
<b>Nome</b>	Paola
<b>Qualifica</b>	Ricercatrice
<b>Telefono</b>	06/36272745
<b>Email</b>	paola.polito@enea.it

Capoprogetto	
<b>Cognome</b>	Valenti
<b>Nome</b>	Maria
<b>Qualifica</b>	Primo Ricercatore
<b>Telefono</b>	+39 335 1297159
<b>Email</b>	maria.valenti@enea.it

Sede operativa del progetto	
<b>Sede</b>	Centro Ricerche Portici
<b>Regione</b>	CAMPANIA
<b>Provincia</b>	NAPOLI
<b>Comune</b>	PORTICI
<b>Indirizzo</b>	Piazzale Enrico Fermi 1
<b>CAP</b>	80055

**1.2 Dati co-beneficiario/i****Politecnico di Bari [POLIBA]**

<b>Nome abbreviato</b>	POLIBA
<b>Codice fiscale</b>	93051590722
<b>Partita IVA</b>	04301530723
<b>Ente affidatario di riferimento</b>	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Referente	
<b>Cognome</b>	Bruno
<b>Nome</b>	Sergio

<b>Codice fiscale</b>	BRNSRG75M29A662C
<b>Qualifica</b>	Ricercatore a Tempo Determinato – tipo B (RTD-B)
<b>Telefono</b>	+39 080 5963031
<b>Email</b>	sergio.bruno@poliba.it

Sede operativa del progetto	
<b>Sede</b>	Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione (DEI) – Politecnico di Bari
<b>Regione</b>	PUGLIA
<b>Provincia</b>	BARI
<b>Comune</b>	BARI
<b>Indirizzo</b>	Via E. Orabona 4
<b>CAP</b>	70125

### Politecnico di Torino - Dipartimento Energia [POLITO-DENERG]

<b>Nome abbreviato</b>	POLITO-DENERG
<b>Codice fiscale</b>	00518460019
<b>Partita IVA</b>	00518460019
<b>Ente affidatario di riferimento</b>	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Referente	
<b>Cognome</b>	Stella
<b>Nome</b>	Fausto
<b>Codice fiscale</b>	
<b>Qualifica</b>	Ricercatore a Tempo Determinato
<b>Telefono</b>	+39 340 4709702
<b>Email</b>	fausto.stella@polito.it

Sede operativa del progetto	
<b>Sede</b>	Dipartimento Energia Politecnico di Torino
<b>Regione</b>	PIEMONTE
<b>Provincia</b>	TORINO
<b>Comune</b>	TORINO
<b>Indirizzo</b>	Corso Duca degli Abruzzi 24
<b>CAP</b>	10129

### Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli" - Dipartimento di Ingegneria [UNICAMP-DI]

<b>Nome abbreviato</b>	UNICAMP-DI
<b>Codice fiscale</b>	

<b>Partita IVA</b>	
<b>Ente affidatario di riferimento</b>	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Referente	
<b>Cognome</b>	
<b>Nome</b>	
<b>Codice fiscale</b>	
<b>Qualifica</b>	
<b>Telefono</b>	
<b>Email</b>	

Sede operativa del progetto	
<b>Sede</b>	
<b>Regione</b>	
<b>Provincia</b>	
<b>Comune</b>	
<b>Indirizzo</b>	
<b>CAP</b>	

### Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica [UNICA-DIEE]

<b>Nome abbreviato</b>	UNICA-DIEE
<b>Codice fiscale</b>	80019600925
<b>Partita IVA</b>	00443370929
<b>Ente affidatario di riferimento</b>	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Referente	
<b>Cognome</b>	Pilo
<b>Nome</b>	Fabrizio Giulio Luca
<b>Codice fiscale</b>	
<b>Qualifica</b>	Professore Ordinario
<b>Telefono</b>	+39 070 6755883
<b>Email</b>	fabrizio.pilo@unica.it

Sede operativa del progetto	
<b>Sede</b>	Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica
<b>Regione</b>	SARDEGNA
<b>Provincia</b>	CAGLIARI
<b>Comune</b>	CAGLIARI

<b>Indirizzo</b>	Via Marengo 2
<b>CAP</b>	09123

### Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Ingegneria [UNIPA-DI]

<b>Nome abbreviato</b>	UNIPA-DI
<b>Codice fiscale</b>	80023730825
<b>Partita IVA</b>	00605880822
<b>Ente affidatario di riferimento</b>	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Referente	
<b>Cognome</b>	Musca
<b>Nome</b>	Rossano
<b>Codice fiscale</b>	
<b>Qualifica</b>	Ricercatore a tempo determinato
<b>Telefono</b>	+39 091 23860205
<b>Email</b>	rossano.musca@unipa.it

Sede operativa del progetto	
<b>Sede</b>	Università degli Studi di Palermo
<b>Regione</b>	SICILIA
<b>Provincia</b>	PALERMO
<b>Comune</b>	PALERMO
<b>Indirizzo</b>	Viale delle scienze -
<b>CAP</b>	90128

### Università degli Studi di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni [UNIPi-DESTEC]

<b>Nome abbreviato</b>	UNIPi-DESTEC
<b>Codice fiscale</b>	
<b>Partita IVA</b>	
<b>Ente affidatario di riferimento</b>	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Referente	
<b>Cognome</b>	
<b>Nome</b>	
<b>Codice fiscale</b>	
<b>Qualifica</b>	
<b>Telefono</b>	

Email	
-------	--

Sede operativa del progetto	
Sede	
Regione	
Provincia	
Comune	
Indirizzo	
CAP	

BOLZA

## 2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

### 2.1 Dati progetto

**Titolo del progetto**

Evoluzione e pianificazione delle reti elettriche

**Durata del progetto**

36 mesi

### 2.2 Descrizione progetto

**Abstract del progetto**

Il cambiamento climatico rappresenta una delle sfide più pressanti per le infrastrutture energetiche globali, influenzando sia la generazione che la distribuzione di energia elettrica. L'aumento di eventi estremi, come ondate di calore, precipitazioni intense e fenomeni meteorologici violenti, mette in evidenza la vulnerabilità delle reti attuali, che rischiano danni fisici, cali di prestazioni e interruzioni del servizio. Per affrontare queste criticità, è essenziale aggiornare le metodologie di pianificazione delle reti elettriche, adottando strumenti innovativi per garantire resilienza e flessibilità.

**OBIETTIVI DEL PROGETTO**

Il progetto mira a sviluppare soluzioni avanzate per migliorare la resilienza e l'efficienza delle reti elettriche in un contesto di crescente incertezza climatica. Gli obiettivi principali includono:

1) Studio sperimentale sui componenti della rete: La raccolta di dati empirici è cruciale per colmare la carenza di informazioni pubbliche sugli impatti climatici. I risultati permetteranno di creare modelli predittivi più accurati, migliorando la mitigazione dei rischi e la pianificazione infrastrutturale.

2) Modelli avanzati di previsione energetica:

Breve termine: Sviluppo di modelli predittivi globali capaci di superare le limitazioni attuali basate sul machine learning, fornendo previsioni rapide e accurate per comunità e regioni.

Lungo termine: Creazione di modelli di simulazione integrati con scenari climatici a 25 anni, migliorando la pianificazione strategica delle reti intelligenti in un contesto di evoluzione ambientale e di consumo.

3) Pianificazione avanzata delle reti

Integrazione di variabili sociologiche: Gli algoritmi di ottimizzazione multiobiettivo saranno arricchiti con dati sociologici, come l'accettazione sociale delle tecnologie e la partecipazione a programmi di demand-response, per rendere le soluzioni più realistiche e applicabili.

4) Ottimizzazione multiobiettivo: Utilizzo di tecniche avanzate per generare soluzioni dinamiche e robuste, supportando la resilienza delle reti e incrementando la loro capacità di ospitare risorse distribuite.

5) Tecnologie di controllo e stabilità: Definizione di equazioni e modelli matematici per il controllo di wide-synchronization nelle reti di distribuzione, con particolare attenzione ai sistemi MVDC, per migliorare la sicurezza e la stabilità.

6) Prototipo di convertitore grid-forming: Sviluppo di un convertitore innovativo basato sulla tecnologia del generatore sincrono virtuale, fondamentale per garantire stabilità in reti con alta penetrazione di fonti rinnovabili.

7) Digital Twin delle infrastrutture: Creazione di un gemello digitale di una rete idrica per analizzare l'interoperabilità tra reti elettriche e altre infrastrutture critiche, prevenendo disservizi a catena e migliorando la resilienza complessiva.

**RISULTATI ATTESI**

Attraverso una combinazione di studi empirici, modelli predittivi e strumenti tecnologici avanzati, il progetto offrirà:

Miglioramento della capacità di pianificazione a lungo termine, con strumenti dinamici per affrontare le condizioni ambientali emergenti.

Supporto agli operatori energetici nella gestione delle reti, garantendo continuità del servizio e maggiore sicurezza.

Informazioni strategiche per i decisori politici riguardo agli impatti del cambiamento climatico sulle infrastrutture critiche.

In sintesi, il progetto si propone di innovare la gestione delle reti elettriche, aumentando la resilienza del sistema a beneficio degli utenti finali e della sostenibilità energetica globale.

**Abstract del progetto ENG**

Climate change is emerging as one of the most critical challenges for energy infrastructure globally, impacting both the generation and distribution of electricity. Changing environmental conditions and the increasing frequency of extreme events, such as heatwaves, heavy rainfall, and severe weather phenomena, are placing significant pressure on electrical systems, highlighting the vulnerabilities of current networks. Specifically, such events can damage the physical components of the networks, reduce their performance, and compromise service continuity. Thus, it is essential to update electrical grid planning tools to address these new scenarios.

The necessity of adapting electrical grids to climate change demands the adoption of innovative methodologies and advanced technological approaches. Solutions must include new tools and strategies to ensure resilience and flexibility in emerging and increasingly complex operational contexts. This project is positioned within this framework, proposing a set of targeted interventions aimed at innovation in the planning and management of electrical grids, with the goal of enhancing their resilience and ensuring energy security and efficiency in a context of growing environmental uncertainty.

The project aims to achieve several strategic objectives, all aimed at making the electrical grid more robust and resilient in the face of challenges posed by climate change. The first crucial objective is to conduct an experimental study to analyze the response of network components to environmental stress conditions. The current lack of public and reference data represents an obstacle for detailed analysis of climate impacts on various network elements. Through empirical testing, the project aims to gather essential data to fill this gap. This information will enable the development of more accurate predictive models, improving risk mitigation strategies and optimizing the planning of energy infrastructures, making them safer and more reliable for the future.

A second fundamental objective of the project concerns the development of advanced models for short-term energy consumption and generation forecasting. The intention is to overcome the limitations of current techniques, particularly those based on machine learning, which require large amounts of high-quality historical data that are often scarce or inadequate in complex contexts. To address this, the project will explore the adoption of global predictive models capable of providing accurate forecasts not only for individual users but also for entire communities and regions, with rapid response times. For long-term forecasting, the project will develop simulation models that combine thermal and electrical load profiles with projected climate scenarios over a 25-year horizon. This integration will significantly improve the accuracy of long-term forecasts, which are generally based on the use of average data, providing strategic support for the planning of smart electrical grids, which must adapt to constantly evolving environmental and consumption conditions.

Another objective of the project is the development of advanced planning models for electrical grids. The first element of innovation compared to current tools consists of integrating sociological variables into the optimization algorithms underpinning multi-objective optimization-based planning models. Traditionally focused on technical aspects, these models tend to overlook the influence of human behavior and social acceptance of new technologies. Factors such as consumers' willingness to adopt innovative technologies or participate in demand-response programs, influenced by cultural, social, and economic dynamics, significantly affect the flexibility of energy loads. Ignoring such variables can lead to less accurate forecasts, thereby compromising the effectiveness of optimization solutions and making them less practical and adaptable to reality. Including these variables enhances the estimation of the actual available load, making the resulting solutions more realistic and applicable. Multi-objective optimization-based planning models, which will utilize forecasted generation and load data assessed with the previously described techniques, will generate optimized solutions. These solutions, along with the reliability models of components and supply (another output of the project), will subsequently be analyzed using open-source software, one of the main innovative outcomes of this project proposal. Utilizing an OPF solver will help identify critical areas of electrical grids in future energy-environmental scenarios. These tools will provide valuable support for the strategic planning of grids, enabling infrastructure managers to make more informed decisions and plan preventive interventions more effectively. A second element of innovation concerns the development of calculation methods and models based on a "risk-based" approach. This methodology allows managing the uncertainties that characterise the flexibility exploitation from the energy resources in the electric distribution networks, finding robust solutions for long-term planning able to improve its Hosting Capacity and enhance its resilience. The developed planning tool will be based on multi-objective and multi-period optimisation techniques. Compared to traditional techniques, this approach offers more dynamic solutions that can adapt to future changes in the energy system, representing a significant advancement over the current state of knowledge.

In parallel, another activity focuses on defining the theoretical foundations and mathematical equations necessary for implementing wide-synchronization control in distribution networks, including MVDC systems. The main objective is to improve the security and stability of the electrical system under various operating conditions, highlighting the differences from transmission systems and identifying the constraints to consider for the application of this control. The benefits of this technology in terms of safety and stability will also be analyzed, along with its application limitations.

An additional expected outcome involves the development of a grid-forming converter prototype designed to provide network assistance capability similar to that of a Virtual Synchronous Generator. This technological innovation will be crucial for ensuring the stability of electrical grids in a context characterized by increasing levels of integration of renewable sources, which can inherently introduce variability and instability in network management.

Moreover, the creation of a Digital Twin of a water distribution network represents a highly innovative approach to analyze interoperability between electrical grids and other service infrastructures. This tool will allow for examining the impact of potential



malfunctions in the electrical grid on water infrastructures, providing an integrated view of the challenges related to critical infrastructures and improving the capacity to prevent cascading service disruptions.

In conclusion, through a combination of experimental studies, the development of predictive and advanced planning models, and the realization of prototype software and hardware tools, the project will enhance long-term planning capabilities, providing energy operators with more precise and dynamic tools to address emerging environmental conditions, increasing system resilience for the benefit of users and offering useful insights to policymakers regarding the impact of climate change on critical infrastructures.

## 2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 4

TRL finale: 6

Gli strumenti di pianificazione energetica si collocano attualmente tra i livelli TRL 6 e 8, a seconda del tipo di strumento e della specifica applicazione. Alcuni di essi sono stati sviluppati e testati in contesti reali, come casi studio o progetti pilota, posizionandoli a TRL 6; tali strumenti sono in grado di simulare vari scenari energetici e di valutare l'impatto delle politiche energetiche in situazioni specifiche. Altri strumenti, più avanzati, sono impiegati da enti governativi, utility e aziende per la pianificazione strategica e operativa delle risorse energetiche e possono essere considerati a TRL 7, poiché sono stati testati e sono operativi in contesti reali. Infine, gli strumenti che hanno ottenuto validazione attraverso ampie applicazioni pratiche e dimostrano di fornire risultati affidabili per decisioni politiche o aziendali possono raggiungere il livello 8, diventando standard nelle pratiche di pianificazione energetica. Tuttavia, è importante notare che gli strumenti di pianificazione a TRL 8 sono efficaci e collaudati nelle attuali condizioni operative delle reti, ma non considerano le nuove sfide energetiche e le mutate condizioni climatiche. Inoltre, essi non applicano a livello operativo nuove funzionalità della rete che saranno necessarie per accelerare il processo di transizione energetica (es. stima del carico attivo disponibile basata su parametri tecnico-economico-sociologici). Queste tematiche sono attualmente oggetto di studio a livello di ricerca, con diversi modelli disponibili nella letteratura tecnico-scientifica che li collocano a un livello di TRL compreso tra 3 e 4 per quanto riguarda le tematiche ambientali e a TRL 5 per quanto riguarda le nuove funzionalità.

I risultati della ricerca della presente proposta progettuale mirano a un incremento del TRL, portando gli strumenti di pianificazione a un livello più avanzato, fino a 6. Questo sviluppo è preliminare all'individuazione di modelli che siano in grado di rispondere all'esigenza di garantire reti elettriche più resilienti e sicure in un contesto di crescente incertezza ambientale, caratterizzato da eventi estremi e variabilità climatica.

In questo contesto, per aumentare il TRL da 3/4 a 6, il progetto propone metodologie, modelli e strumenti che considerano le peculiarità dei futuri contesti energetici e le problematiche emergenti. Questo approccio prevede, ad esempio, stime più accurate della flessibilità della rete grazie al maggior numero di variabili e parametri considerati (es. variabili sociologiche, ecc.), il che consentirà una pianificazione più efficace e reattiva delle reti elettriche future, come nel caso del demand response. Saranno condotti studi sperimentali sui componenti delle reti, sfruttando anche tecniche avanzate di intelligenza artificiale e ottimizzazione multiobiettivo. Gli output di questi studi e delle sperimentazioni contribuiranno a creare metodologie e modelli software che, una volta validati in ambienti simulati rilevanti, si collegheranno a TRL 6, promuovendo una gestione energetica più intelligente e sostenibile.

## 2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

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

Il cambiamento climatico sta influenzando in modo significativo le reti elettriche, alterando la generazione e la distribuzione dell'energia sia direttamente che indirettamente a causa delle mutate condizioni ambientali (es. aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi, variazioni nella domanda energetica che modificano i modelli di consumo, impatto delle condizioni climatiche sulla produzione di energia rinnovabile, ecc.). Pertanto, è fondamentale aggiornare gli strumenti di pianificazione delle reti elettriche, adottando nuovi metodi, strumenti e strategie che modellino i nuovi scenari e contesti operativi.

Negli ultimi anni, il campo degli strumenti di pianificazione ed esercizio dei sistemi di potenza ha visto notevoli sviluppi. Tra questi, alcuni studi recenti ([1], [2]) hanno evidenziato una serie di innovazioni significative. In particolare, sono stati introdotti nuovi approcci come: (1) l'inclusione delle coordinate geografiche nelle simulazioni, per una maggiore precisione nelle previsioni; (2) l'analisi delle perturbazioni geomagnetiche, che possono influire negativamente sulle reti elettriche; (3) l'uso dei dati meteorologici in tempo reale nelle simulazioni, per migliorare la capacità di previsione; (4) l'integrazione di tecniche avanzate di machine learning e intelligenza artificiale per la

previsione di eventi meteorologici e guasti; (5) l'implementazione di modelli di gestione del carico (demand side management) per abilitare un utilizzo flessibile delle reti elettriche; (6) lo sviluppo di nuovi algoritmi per il calcolo dell'Optimal Power Flow (OPF) e del Security-Constrained Optimal Power Flow (SCOPF). A differenza degli algoritmi OPF standard, gli SCOPF includono anche vincoli di sicurezza, come la stabilità del sistema e la capacità di reagire a guasti imprevisti, ad esempio attraverso la riconfigurazione della rete. Questi algoritmi sono progettati per ottimizzare la distribuzione dell'energia anche in scenari di emergenza, come guasti a linee o generatori, e per garantire il funzionamento sicuro della rete, tenendo conto delle fonti rinnovabili disponibili e della flessibilità della rete. Sebbene questi strumenti siano stati ampiamente testati per le condizioni attuali, sia climatiche che tecnologiche, è necessario sviluppare configurazioni, metodi e modelli che rispondano alle nuove esigenze, come ad esempio:

- La necessità di implementare configurazioni tecnologiche diverse, in linea con gli obiettivi della transizione energetica. Questi includono la riduzione delle emissioni di gas serra, l'incremento dell'uso di energie rinnovabili, e il raggiungimento della neutralità carbonica entro il 2050, promuovendo al contempo la sostenibilità ambientale e il miglioramento dell'efficienza energetica [3].
- L'INTRODUZIONE DI VARIABILI AGGIORNATE E AMPIATE CHE RIFLETTANO IL NUOVO CONTESTO ENERGETICO. Per esempio, i modelli OPF e SCOPF dovrebbero considerare non solo la flessibilità teorica ottenibile dai carichi potenzialmente controllabili, ma anche variabili sociologiche che possono influire sulla disponibilità reale di questa flessibilità. Spesso, infatti, si tende a trascurare fattori come il comportamento dei consumatori e l'accettazione sociale delle nuove tecnologie, che potrebbero influenzare i risultati calcolati dagli algoritmi incidendo sul calcolo del carico utile effettivamente utilizzabile ([4], [5], [6], [7], [8], [9]).
- Lo sviluppo di MODELLI PREVISIONALI CHE CONSIDERINO L'EVOLUZIONE DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE è essenziale, poiché queste influenzano direttamente le reti elettriche sia in termini di capacità di generazione che di distribuzione dell'energia. Sul fronte della distribuzione, l'aumento di frequenza e intensità degli eventi meteorologici estremi sottopone a forte stress le infrastrutture elettriche, causando possibili danni diretti. Ad esempio, le temperature elevate per periodi prolungati, tipicamente associate alle ondate di calore, possono compromettere il funzionamento dei componenti della rete e ridurre l'efficienza operativa complessiva, provocando interruzioni e guasti. Le ondate di calore, inoltre, producono generalmente un incremento della richiesta elettrica per la climatizzazione, accrescendo il rischio di sovraccarichi e congestioni della rete. Sul versante della generazione, l'incertezza nella previsione della produzione energetica, soprattutto per le fonti rinnovabili che dipendono da condizioni meteorologiche variabili come solare ed eolico, rende più complicata la pianificazione delle reti elettriche. Le alte temperature, durante le ondate di calore, ad esempio, possono comportare una riduzione della capacità produttiva teorica degli impianti fotovoltaici, rendendo meno affidabili le stime di producibilità fornite dai modelli previsionali [10].
- L'introduzione di MODELLI AVANZATI DI PREVISIONE DEL CONSUMO ENERGETICO, che utilizzano tecniche innovative come i modelli fondazionali, per ovviare alla scarsità di dati e alla difficoltà di applicare modelli predittivi efficaci in contesti con nuove utenze o dati incompleti ([11], [12]).

Inoltre, è cruciale migliorare lo sviluppo di dataset sintetici di alta qualità (es. guasti dei componenti, interruzioni del servizio sulla rete di distribuzione, impatti delle condizioni meteo sui componenti delle reti, ecc.), in modo da permettere studi più accurati e affidabili. Infine, esistono pochi studi che analizzano in modo integrato il funzionamento delle diverse reti [13]. È essenziale condurre un'analisi coordinata delle infrastrutture critiche per garantire che le reti elettriche possano rispondere efficacemente ai futuri scenari. Le interruzioni nella fornitura di energia elettrica possono avere un impatto significativo su altri servizi e forniture ad esse interconnesse. Ad esempio, i malfunzionamenti della rete elettrica possono influenzare infrastrutture critiche come telecomunicazioni, trasporto elettrico e reti di distribuzione idrica; le interruzioni dell'elettricità possono, pertanto, generare effetti a cascata che compromettono il funzionamento dei servizi connessi a tali reti o a servizi collaterali (es. interruzione dei servizi di climatizzazione o danni ai relativi di impianti). Nonostante una crescente consapevolezza riguardo all'importanza di tali interconnessioni, gli studi tecnici disponibili non offrono una comprensione adeguata di queste dinamiche, evidenziando una lacuna significativa nella pianificazione delle reti elettriche, che dovrebbe probabilmente includere alcuni di questi apparati tra i carichi critici prioritari.

Al fine di garantire la sicurezza del sistema elettrico e le proprietà correlate, si rende necessario fornire sia strumenti hardware che software che rispondano alle esigenze dei nuovi scenari energetici sopra richiamate. In tal senso, il ruolo della elettronica di potenza nelle reti, inizialmente limitato alla conversione dell'energia generata da fonti rinnovabili (DC/AC, DC/DC e AC/AC) ed alla power quality (filtri attivi, STATCOM), deve essere oggi esteso alla capacità di contribuire alla stabilità e resilienza della rete (convertitori Grid Forming, Virtual Synchronous Compensators - VSG). L'installazione di un convertitore grid forming con capacità di assistenza alla rete di tipo VSG inverte la criticità "più rinnovabili, meno stabilità", aumentando la stabilità della rete anziché pregiudicarla al crescere della quantità di rinnovabili. Attualmente, la letteratura tecnica di settore propone diverse modalità di controllo di convertitori per l'emulazione del comportamento da macchina sincrona. Gli studi disponibili riportano modalità di controllo generalmente verificate in ambiente di simulazione. Non sono, invece, disponibili risultati di campagne di test di tali apparati all'interno di reti e microreti sperimentali. Il coinvolgimento delle risorse energetiche distribuite (Distributed Energy Resources) presenti nei sistemi di distribuzione nella regolazione del sistema elettrico è un aspetto fondamentale per il mantenimento della stabilità e dell'affidabilità del sistema. Con la crescente integrazione di DER nei sistemi di distribuzione, i metodi tradizionali di regolazione del sistema elettrico stanno evolvendo per integrare il potenziale contributo delle nuove tecnologie. In questo contesto, le strategie di controllo si possono dividere in due grandi categorie: tecniche di controllo locale, tipicamente basate sui sistemi di controllo dei convertitori di potenza; algoritmi di controllo

distribuito, basate sul coordinamento a differenti livelli gerarchici delle DER in una data porzione di sistema. Se però da un lato numerosi lavori in letteratura affrontano le modalità di partecipazione delle DER alla regolazione del sistema elettrico, non esiste sufficiente letteratura scientifica in merito alle possibilità di coinvolgimento di DER in architetture di controllo wide-area. In questo senso, la scalabilità e la robustezza delle architetture considerate rappresentano un ambito di ricerca chiave, mirando a strategie di controllo in grado di adattarsi al numero crescente e variabile di DER presenti nei sistemi di distribuzione.

- [1] Adam B. Birchfeld, Thomas J. Overbye, "A Review on Providing Realistic Electric Grid Simulations for Academia and Industry", 2023, Current Sustainable/Renewable Energy Reports 10:154–161, <https://doi.org/10.1007/s40518-023-00212-7>
- [2] Hans-Kristian Ringkjøb et al., "A review of modelling tools for energy and electricity systems with large shares of variable renewables", 2018, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 96, Pages 440-459, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.002>
- [3] Yasser Nassar, Ibrahim Mangir, Ahmad Hafez, Hala El-Khozondar, Mansour Salem, Hilmy Awad, "Feasibility of innovative topography-based hybrid renewable electrical power system: A case study", Cleaner Engineering and Technology, 2023, Volume 14, 100650, ISSN 2666-7908, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100650>.
- [4] Hucklebrink, David, and Valentin Bertsch, "Integrating Behavioural Aspects in Energy System Modelling—A Review", 2021, Energies 14, no. 15: 4579. <https://doi.org/10.3390/en14154579>
- [5] Senkpiel, Charlotte, Audrey Dobbins, Christina Kockel, Jan Steinbach, Ulrich Fahl, Farina Wille, Joachim Globisch, Sandra Wassermann, Bert Droste-Franke, Wolfgang Hauser, Claudia Hofer, Lars Nolting and Christiane Bernath. "Integrating methods and empirical findings from social and behavioural sciences into energy system Models—Motivation and possible approaches", 2020, Energies, 13(18), 4951. <https://doi.org/10.3390/en13184951>, <https://doi.org/10.3390/en14154579>
- [6] Alexandra Krumm, Diana Süsser, Philipp Blechinger "Modelling social aspects of the energy transition: What is the current representation of social factors in energy models?", (2022) Energy, Volume 239, Part A, 2022, 121706, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121706>
- [7] Miguel Chang, Jakob Zink Thellufsen, Behnam Zakeri, Bryn Pickering, Stefan Pfenninger, Henrik Lund, Poul Alberg Østergaard "Trends in tools and approaches for modelling the energy transition", 2021, Applied Energy, Volume 290, 116731, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116731>.
- [8] Marte Fodstad, Pedro Crespo del Granado, Lars Hellemo, Brage Rugstad Knudsen, Paolo Pisciella, Antti Silvast, Chiara Bordin, Sarah Schmidt, Julian Straus, "Next frontiers in energy system modelling: A review on challenges and the state of the art", 2022, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 160, 112246, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112246>.
- [9] Jann Michael Weinand, Fabian Scheller, Russell McKenna, "Reviewing energy system modelling of decentralized energy autonomy", 2023, Energy, Volume 203, 117817, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117817>.
- [10] Daniel D. Tripp, Joseph E. Trujillo-Falcón, Kim E. Klockow-McClain, Heather D. Reeves, Kodi L. Berry, Jeff S. Waldstreicher, and James A. Nelson "Foundational Needs of Forecasters for Probabilistic Winter Forecasting", 2023, Weather and Forecasting Journal, Volume 38, issue 1, DOI: <https://doi.org/10.1175/WAF-D-22-0116.1>
- [11] Susana Santos, Helena Martins Gonçalves, "The consumer decision journey: A literature review of the foundational models and theories and a future perspective", Technological Forecasting and Social Change, Volume 173, 2021, 121117, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121117>;
- [12] Hussain Kazmi, Chun Fu, Clayton Miller, "Ten questions concerning data-driven modelling and forecasting of operational energy demand at building and urban scale", 2023, Building and Environment, Volume 239, 110407, ISSN 0360-1323, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110407>.
- [13] Konstantinos Oikonomou, Kendall Mongird, Jennie S. Rice and Juliet S. Homer, "Resilience of Interdependent Water and Power Systems: A Literature Review and Conceptual Modeling Framework", 2021, Water, 13, 2846, <https://doi.org/10.3390/w13202846>

## b) Attività svolte nel triennio precedente

attività della presente proposta progettuale si pongono in continuità con:

- Progetto 2.3: "Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti – WP Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche in ottica di valutazione e miglioramento di adeguatezza, sicurezza e resilienza elettriche" del Piano Triennale della Ricerca di Sistema 2022-2024. ENEA, POLIBA, POLITO, UNIPA e UNICA hanno partecipato, rispettivamente come affidatari e co-beneficiari, al progetto 2.3. Tra i prodotti della ricerca, è stato sviluppato uno strumento software open source (ArsTool), installabile in ambiente Windows, dedicato alla valutazione dell'adeguatezza, dell'affidabilità, della sicurezza e della resilienza delle reti elettriche. Attraverso una specifica interfaccia grafica, l'utente può creare o importare modelli di rete, inserendo i parametri tipici e le informazioni topologiche. Nel corso del presente triennio, sarà sviluppato un software basato sui moduli e sulle caratteristiche disponibili nello strumento software ArsTool, arricchendolo con i risultati della ricerca del presente progetto e implementando una nuova gestione grafica della rete attualmente non disponibile.

Inoltre, nell'ambito del progetto 2.3, ENEA ha progettato e realizzato una vasca prototipale che consente di sperimentare come variano le grandezze elettriche e fisiche di interesse al variare delle condizioni di temperatura e/o umidità. Questa vasca potrà essere utilizzata per effettuare test online.

Infine, la metodologia per la previsione della produzione energetica a lungo termine, basata principalmente su dati storici e sviluppata nell'ambito del progetto 2.3, sarà utilizzata come base per elaborare una metodologia per le previsioni di generazione orarie, a partire dal downscale di dati climatici ottenuti da OpenMeteo.

- Progetto 2.7: “Modelli e strumenti per incrementare l'efficienza energetica nel ciclo di produzione, trasporto e distribuzione dell'elettricità – WP Analisi delle problematiche di gestione per l'integrazione nelle attuali reti in AC di nuove reti in DC in MT/BT (Media Tensione/Bassa Tensione)” del Piano Triennale della Ricerca di Sistema 2019-2021. Più nello specifico, i modelli affidabilistici dei componenti presenti in una rete elettrica, già sviluppati nell'ambito di tale progetto, verranno estesi per considerare nuovi modelli (es.: linee interrate) e l'impatto dei cambiamenti climatici sui componenti stessi.

Relativamente ai progetti in corso di realizzazione, le attività della presente proposta risultano complementari a quelle svolte da RSE nell'ambito del progetto 2.3a. Come dettagliato nel Piano di Coordinamento allegato alla presente proposta, gli obiettivi generali delle due proposte progettuali sono stati discussi e concordati preventivamente dai due affidatari per evitare sovrapposizioni. Pertanto, i prodotti della ricerca sviluppati dai due affidatari in relazione ai temi affrontati nel progetto risulteranno non solo complementari ma anche sinergici, contribuendo a una gamma completa di soluzioni per il beneficiario della Ricerca di Sistema.

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

Il cambiamento climatico, come illustrato nel paragrafo dello stato dell'arte, pone delle sfide alla pianificazione e alla gestione delle reti elettriche. È quindi cruciale condurre studi che consentano di riprodurre scenari rappresentativi delle nuove condizioni operative dei sistemi elettrici e implementare nuovi metodi, modelli e strategie che rispondano a tali mutate condizioni. Di seguito, si riportano i principali obiettivi del progetto e i relativi avanzamenti rispetto allo stato dell'arte e ai risultati raggiunti in precedenti Piani triennali della Ricerca di sistema.

#### 1. Studio sperimentale del comportamento dei componenti di rete elettrica sottoposti a stress termo-igrometrici

La mancanza di dati pubblici rappresenta un ostacolo significativo per l'analisi degli impatti delle variazioni climatiche sui componenti di rete. Temperature elevate, umidità ridotta, umidità eccessiva, presenza di livelli anomali di acqua e altre condizioni ambientali anomale possono influenzare le prestazioni e l'affidabilità dei componenti e delle infrastrutture tecnologiche, ma attualmente non esistono informazioni sufficienti per valutare questi effetti in modo sistematico. Per affrontare questa lacuna, nel presente Piano della Ricerca di Sistema (Progetto 2.3 – PTR 2022-2024) si è avviata una serie di test sperimentali che proseguiranno nel corso del prossimo triennio. Questi esperimenti si concentreranno sull'osservazione diretta e la misurazione delle reazioni dei componenti di rete sottoposti a diversi stress (es. temperature elevate o ridotte), raccogliendo dati empirici fondamentali.

L'obiettivo del presente Piano Triennale è quello di costruire una base di dati robusta che possa essere utilizzata per analisi future da parte dei diversi stakeholder della filiera energetica. Essi permetteranno di sviluppare modelli predittivi più accurati e di migliorare le strategie di mitigazione degli effetti avversi del cambiamento climatico, con il fine ultimo di preservare l'integrità delle reti e incrementarne la resilienza.

#### 2. Modelli avanzati di previsione del consumo e della generazione

Orizzonte temporale: breve termine

Al fine di superare le limitazioni attuali e offrire un avanzamento rispetto allo stato dell'arte nello sviluppo di modelli previsionali più robusti e flessibili, nella presente proposta progettuale si utilizzeranno tecniche innovative rispetto alle tecniche basate sul machine learning. Negli ultimi anni, infatti, le tecniche basate sul machine learning hanno dimostrato la loro efficacia nella previsione ma richiedono uno storico dei consumi sufficientemente ampio, in grado di coprire diverse stagioni, e di buona qualità, con pochi dati mancanti o corrotti. Per questi motivi la loro applicabilità in contesti dove i dati sono scarsi risulta fortemente compromessa. Altra complicazione è data dalla necessità di effettuare il forecasting energetico di diversi utenti. Di solito si realizza un modello predittivo diverso per ogni utenza (modello locale) ma questa soluzione risulta poco scalabile. Per questi motivi, negli ultimi anni, si sta tendendo verso i modelli predittivi di tipo globale (un modello predittivo per tutte le utenze). Molto recentemente gli approcci fondazionali (modelli pre-allenati su grandi quantità di serie temporali eterogenee) hanno mostrato risultati interessanti nella previsione di serie temporali senza la necessità di un ulteriore allenamento rendendoli, di fatto, degli approcci molto interessanti e flessibili. Pertanto, i modelli proposti nella presente proposta progettuale mirano a superare le attuali limitazioni legate alla mancanza di dati e alle difficoltà di implementare previsioni accurate in contesti con nuove utenze o informazioni incomplete. Questo rappresenta un progresso rilevante per il settore, poiché consentirà una maggiore applicabilità delle tecniche di forecasting in scenari reali e complessi. L'adozione di queste nuove tecniche rappresenta, inoltre, un avanzamento anche rispetto ai risultati ottenuti nel presente Piano triennale della Ricerca di sistema (Progetto 2.3), in cui sono stati sviluppati modelli di forecasting basati sul machine learning.

Orizzonte temporale: medio-lungo termine

La stima dei profili di carico, pur essendo un campo consolidato, presenta ancora sfide rilevanti nella previsione a lungo termine,

soprattutto per l'integrazione di variabili come i cambiamenti climatici. Se le previsioni attuali si concentrano su orizzonti temporali brevi (da giorni a mesi), una proiezione su 25 anni richiede metodologie più avanzate per gestire l'incertezza dei futuri scenari climatici. Modelli come TRNSYS per la simulazione termica e OpenDSS per i flussi di carico sono ampiamente riconosciuti, ma l'integrazione sistematica dei cambiamenti climatici nelle previsioni di carico rimane un'area emergente. Progetti come SENDER indagano l'ottimizzazione dei carichi a livello residenziale, ma raramente con un orizzonte temporale così ampio e con l'inclusione di variabili climatiche dettagliate da downscaling meteorologico. In Italia, le previsioni dei profili di carico si basano spesso su dati climatici medi (TMY), limitando l'accuratezza a lungo termine. L'innovazione proposta risiede nell'integrazione di previsioni climatiche estese su 25 anni, consentendo di anticipare l'impatto delle variazioni climatiche sulla domanda energetica residenziale. La metodologia si concentra sul miglioramento della precisione dei profili di carico a lungo termine, superando i limiti degli approcci tradizionali grazie all'integrazione di dati climatici futuri. Strumenti avanzati di simulazione combineranno profili di carico termico ed elettrico con scenari climatici, migliorando la precisione delle stime e supportando la pianificazione dinamica delle reti intelligenti. I principali avanzamenti rispetto allo stato dell'arte includono una maggiore accuratezza delle previsioni climatiche, insieme a un'integrazione più efficace delle variabili socioeconomiche e comportamentali, fornendo una rappresentazione più realistica delle dinamiche di consumo energetico.

### 3. Metodi e modelli per la pianificazione risk-based a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione MT

L'obiettivo dell'attività è sviluppare modelli e metodi di calcolo innovativi per la pianificazione a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione a media tensione (MT), adottando un approccio "risk-based" per migliorare l'Hosting Capacity e incrementare la resilienza delle reti. L'innovazione risiede nell'adozione di strumenti avanzati che, integrando variabili climatiche e socioeconomiche future, permettono di valutare con maggiore precisione i rischi e le opportunità legati all'evoluzione della rete. Questo approccio supera le limitazioni delle tecniche tradizionali, fornendo soluzioni più dinamiche e adattabili ai cambiamenti futuri del sistema energetico, consentendo così di conseguire un avanzamento rispetto allo stato dell'arte.

### 4. Basi teoriche e modelli matematici per l'implementazione del wide-synchronization control nelle reti di distribuzione, anche in presenza di sistemi MVDC

L'attività si propone di definire le basi teoriche e le equazioni matematiche necessarie per l'implementazione del wide-synchronization control nelle reti di distribuzione, anche in presenza di sistemi MVDC. L'obiettivo è migliorare la sicurezza e la stabilità del sistema elettrico in diverse condizioni operative. Lo studio metterà in luce anche le principali differenze con il caso della trasmissione, i vincoli da tenere in considerazione per l'implementazione del controllo, i vantaggi per la sicurezza e la stabilità del sistema elettrico nonché i limiti di implementazione della tecnologia.

### 5. Modelli avanzati di pianificazione energetica su diversi orizzonti temporali

L'introduzione di variabili sociologiche nei modelli di pianificazione energetica offre numerosi vantaggi nel migliorare l'accuratezza delle previsioni e l'efficacia delle soluzioni proposte. Questi modelli, che tradizionalmente si concentrano su aspetti tecnici e teorici, spesso trascurano fattori legati al comportamento umano e all'accettazione sociale delle tecnologie. Tuttavia, il comportamento dei consumatori e la loro disponibilità ad adottare nuove tecnologie possono avere un impatto significativo sulla reale flessibilità dei carichi energetici. Ad esempio, la predisposizione dei consumatori a partecipare a programmi di demand-response, o la loro disponibilità a modificare le abitudini di consumo in risposta a segnali di prezzo, varia in base a fattori culturali, sociali ed economici. Ignorare queste dinamiche può portare a previsioni irrealistiche sulla capacità di controllare i carichi energetici, riducendo l'efficacia degli algoritmi di ottimizzazione. I tool proposti nella presente proposta progettuale mirano a sviluppare modelli di pianificazione energetica basati su tecniche di ottimizzazione multiobiettivo che includono variabili sociologiche; le soluzioni dei modelli di ottimizzazione vengono, quindi, analizzati con il risolutore OPF per pervenire all'individuazione delle aree critiche delle reti elettriche. Pertanto, le soluzioni complessive del tool, considerando le variabili sociologiche consentono di catturare meglio la realtà del contesto energetico, migliorando la stima del carico effettivamente utilizzabile e rendendo le soluzioni proposte più realistiche e implementabili, producendo così un avanzamento rispetto allo stato dell'arte. L'approccio proposto produce, inoltre, un avanzamento anche rispetto ai prodotti sviluppati nel presente Piano triennale della Ricerca di sistema (Progetto 2.3), in cui sono stati sviluppati modelli di OPF ma non sono stati progettati e/o implementati modelli di pianificazione energetica multiobiettivo per il calcolo delle configurazioni energetiche ottime in funzione di parametrico tecnico-economico-sociologici.

### 6. Sviluppo di un prototipo di convertitore grid forming con capacità di assistenza alla rete di tipo VSG

Per garantire la sicurezza del sistema elettrico e le sue proprietà correlate, è necessario fornire sia strumenti hardware che software capaci di rispondere alle mutate condizioni operative sopra richiamare. In questo contesto, il ruolo dell'elettronica di potenza nelle reti, inizialmente limitato alla conversione dell'energia generata da fonti rinnovabili (DC/AC, DC/DC e AC/AC) ed alla power quality (filtri attivi, STATCOM) ed alla trasmissione DC ad altissima tensione (HVDC), deve essere oggi esteso alla capacità di contribuire alla stabilità e resilienza della rete (convertitori Grid Forming, Virtual Synchronous Generators- VSG). L'installazione di un convertitore grid forming con capacità di assistenza alla rete di tipo VSG inverte la criticità "più rinnovabili, meno stabilità", aumentando la stabilità della rete anziché pregiudicarla al crescere della quantità di rinnovabili. Attualmente, la letteratura tecnica offre varie modalità di controllo per convertitori in grado di emulare il comportamento di una macchina sincrona, ma tali approcci sono generalmente verificati solo in ambienti di simulazione. Mancano, invece, risultati derivanti da test su tali dispositivi all'interno di reti e microreti sperimentali.

Tra gli obiettivi del progetto c'è lo sviluppo completo di un prototipo di convertitore grid forming con capacità di assistenza alla rete di tipo



VSG su cui condurre test sperimentali all'interno di reti e microreti sperimentali. La disponibilità di dati sperimentali consente una validazione più accurata dei modelli teorici ed evidenzia problemi operativi non rilevabili in ambiente simulazione, anche nell'ottica di una futura industrializzazione dell'apparato. I risultati ottenuti rappresentano un avanzamento rispetto allo stato dell'arte. Essi si pongono in continuità con il presente Piano triennale della Ricerca di sistema (Progetto 2.3), in cui è stato sviluppato il progetto e il prototipo preliminare dell'apparato che si intende completare e testare sperimentalmente sulle microreti nel triennio 2025-2027.

#### 7. Diagnostica dello stato di salute del convertitore grid forming

La crescente adozione dei convertitori a semiconduttore nella generazione elettrica è spesso limitata dalla loro minore affidabilità rispetto ai tradizionali convertitori elettromeccanici. Questo problema è ulteriormente amplificato quando si utilizzano semiconduttori di tipo wide bandgap (GaN e SiC), che, pur garantendo efficienza e densità di potenza superiori, presentano sfide legate alla loro immaturità tecnologica e ai complessi processi produttivi, risultando spesso causa di guasti imprevisti. In particolare, è ampiamente documentato nella letteratura scientifica che la principale causa di guasto sia di origine termica.

Il progetto si propone di sviluppare un convertitore prototipale innovativo, capace non solo di stimare in tempo reale la temperatura di giunzione dei semiconduttori durante il funzionamento, ma anche di monitorarne costantemente le caratteristiche di conduzione. Questo permetterà di anticipare e segnalare all'utente eventuali guasti imminenti, aumentando significativamente l'affidabilità operativa. Inoltre, il convertitore sarà in grado di valutare lo stato di salute delle capacità del dc-link, che, insieme ai semiconduttori, rappresentano i componenti più soggetti a guasti.

Attualmente, nessun convertitore commerciale integra sistemi diagnostici in grado di monitorare lo stato di salute sia dei semiconduttori che degli elementi reattivi, come le capacità del dc-link. Il progresso atteso con questo progetto consisterà nella creazione di un sistema di diagnostica integrato e predittivo, che rappresenterà un avanzamento significativo rispetto allo stato dell'arte, migliorando la sicurezza e l'affidabilità dei convertitori grid-forming di nuova generazione.

#### 8. Tool software per l'identificazione delle aree critiche delle reti elettriche in presenza di scenari energetico-ambientali prospettici

La presente proposta progettuale si pone tra gli obiettivi il potenziamento dei software sviluppati nei Piani triennali della Ricerca di sistema 2019-2021 (ORAtool - Progetto 2.7) e 2022-2024 (ARStool - Progetto 2.3) mediante l'integrazione di nuove funzionalità che consentiranno di ottenere un avanzamento rispetto ai precedenti trienni. Nel software (open-source come i precedenti) verranno integrati i modelli di cui ai precedenti punti 2 e 3 e ulteriori modelli che consentiranno di identificare aree o nodi critici della rete in presenza dei nuovi contesti operativi sopra richiamati. Allo stato dell'arte, non sono presenti in letteratura tecnico scientifica tool integrati di tipo freeware che presentano funzionalità analoghe.

#### 9. Progettazione e sviluppo di un digital twin di una rete di distribuzione idrica finalizzato all'analisi degli impatti dei malfunzionamenti di reti elettriche su reti di utilità

La presente proposta progettuale ha tra i suoi obiettivi la progettazione e lo sviluppo di un digital twin di una rete di distribuzione idrica, mirato a valutare l'interoperabilità tra reti elettriche e reti di utilità. Oltre al digital twin, sarà sviluppata una metodologia per analizzare gli impatti dei malfunzionamenti delle reti elettriche sulle reti idriche. Questa metodologia si baserà su un'estensione del modello idraulico della rete idrica, includendo il comportamento degli elementi energivori in caso di interruzioni parziali o totali dell'alimentazione elettrica. Lo studio, attraverso un'analisi coordinata delle problematiche legate alle infrastrutture critiche, offrirà indicazioni utili per prevenire possibili criticità negli scenari futuri, un tema non trattato nei precedenti trienni della ricerca di sistema.

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

Elencare eventuali altri progetti, realizzati o in corso di realizzazione, che riguardino attività collegate, direttamente o indirettamente, alle attività previste nel progetto e descrivere nel dettaglio i collegamenti.

Le attività previste nel presente progetto presentano numerosi collegamenti con altri progetti svolti da ENEA e dai co-beneficiari, come di seguito sinteticamente elencato.

1. POA Smart Grid - MISSION – Microreti e sistemi smart, multivettore ed integrati, per accelerare la transizione energetica (2021-2026) mira a studiare, esplorare e sperimentare le potenzialità ed il ruolo delle microreti energetiche multivettore a supporto della transizione energetica. I modelli di previsione della generazione rinnovabile (fotovoltaico ed eolico) sviluppati saranno utilizzati nel presente progetto.

2. Rome Technopole, Flagship Project 1 “Decarbonization and digitalization in research on new green energy sources” – Topic: “Renewable Energy Conversion” (in corso) è finalizzato a generare un salto di qualità nella Regione Lazio in tutti i processi di innovazione orientati allo sviluppo sostenibile, alla “smart specialization”, alla riqualificazione e al rilancio del settore industriale. Le tecniche fondazionali indagate saranno usate come punto di partenza nel presente progetto.

3. eNeuron - greEN Energy hUBs for local integRAted energy cOMmunities optimizatiON (in Corso) mira ad Ottimizzare la progettazione e il funzionamento delle comunità energetiche local. Le tecniche fondazionali indagate saranno usate come punto di partenza nel

presente progetto.

4. CMIP6 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 6. I dati messi a disposizione sono utilizzati da OpenMeteo per fornire delle stime climatiche con risoluzione spaziale di 10km. I Metodi avanzati di previsione di generazione rinnovabile a lungo termine propedeutici all'identificazione dei nodi critici sviluppati nel presente progetto faranno uso dei dati forniti da OpenMeteo.

5. INTERPLAN - INTEGRated opeRation PLAnning tool towards the Pan-European Network (2017- 2020) è stato focalizzato sullo sviluppo di un tool integrato di pianificazione per l'integrazione delle reti (es. rete paneuropea, integrazione TSO-DSO). I risultati ottenuti nell'ambito del progetto INTERPLAN potranno fornire linee guida in relazione alle metodologie di gestione delle reti elettriche.

6. ELECTRA IRP - European Liason on Electricity Committed Towards long-term Research Activity Integrated Research Programme – progetto finanziato dal programma europeo FP7 che ha visto la partecipazione di RSE ed ENEA, in qualità rispettivamente di coordinatore e vicecoordinatore, ha introdotto una metodologia di controllo decentralizzato della rete elettrica basata sul concetto di Web-of-Cell, celle interconnesse, in grado di gestire al meglio la flessibilità resa disponibile dalle risorse energetiche interne consentendo una gestione più efficace della rete in scenari caratterizzati da elevata penetrazione di generazione da FER. Le logiche sviluppate potranno essere di ausilio nello sviluppo delle azioni di pianificazione e gestione delle reti.

7. MICCA - MICROGRID IBRIDE IN CORRENTE CONTINUA E IN CORRENTE ALTERNATA (PON03PE\_00178\_1) - Distretto ad alta tecnologia "Smart Power System (SPS)" - PON R&C 2007-2013, MIUR (2013 – 2017) ENEA si è occupata dello studio delle problematiche connesse alla qualità della fornitura di potenza in architetture di microreti ibride in presenza di generazione da fonte rinnovabile nell'ambito della linea di ricerca "Studi di affidabilità attraverso l'analisi integrata della continuità dell'alimentazione e della qualità della tensione nelle microreti ibride" del progetto nazionale. I risultati ottenuti nell'ambito del progetto MICCA rappresentano una importante base di conoscenza preliminare ai fini degli studi di affidabilità da condurre nella presente proposta progettuale.

8. "ComESto - Community Energy Storage: Gestione Aggregata di Sistemi d'Accumulo dell'Energia in Power Cloud" – progetto PON 2015-2020 promosso dal MIUR, mira a realizzare un sistema di accumulo distribuito relativo ad una comunità di utenti e gestito in forma aggregata. ENEA ha integrato la propria nanogrid sperimentale con altre nanogrid previste nel progetto (es. Università della Calabria); l'esperienza maturata sarà di ausilio nella realizzazione dell'integrazione delle infrastrutture sperimentali ENEA-POLIBA per le attività di co-simulazione sperimentale. Inoltre, ENEA ha progettato e implementato i servizi di forecasting della generazione e del carico per la piattaforma di Gestione Aggregata ComESto. Tale esperienza risulterà utile per le attività di ricerca previste nelle LA1.3, LA1.5, LA2.2.

9. "IS.MI. - Smart grids per le isole minori" (2020-oggi). Nell'ambito del progetto, focalizzato sulle isole minori italiane, l'unità di ricerca di POLIBA, nella collaborazione di ricerca con e-distribuzione, ha sviluppato algoritmi di gestione della sicurezza e adeguatezza delle reti di distribuzione isolate e testato il funzionamento di sistemi innovativi di controllo dei sistemi di distribuzione con approccio Power Hardware-in-the-Loop. Tale know-how potrà essere utilizzato per la progettazione di strumenti per la gestione delle reti in ottica di miglioramento della adeguatezza e sicurezza del sistema elettrico.

10. "Living Grid" (2017-2020), Cluster Tecnologico Nazionale Energia, in collaborazione con Terna SpA, e-distribuzione SpA, ENEA, CNR e Consorzio EnSiEL. Nell'ambito del progetto, POLIBA ha sviluppato una collaborazione di ricerca con POLITO per l'implementazione di una piattaforma di co-simulazione remota Power Hardware-in-the-Loop (R-PHIL).

11. "ROCKET - Reliable pOwer to Cloud multiKilowatt ElecTronics". POLITO è coinvolto nel progetto ROCKET – Contratto di Insediamento, Regione Piemonte, 2022-2024 – nella progettazione e implementazione di caricabatterie bidirezionali usando una interfaccia lato rete basata sul concetto di generatore sincrono virtuale (VSG) per fornire supporto alla rete come inerzia virtuale e reazione ai guasti. Le attività del progetto 2.3 e di Rocket sono complementari e applicheranno il concetto di VSG ad ambiti applicativi diversi, consentendo così anche di analizzare potenzialità e criticità della tecnologia nei diversi settori. Il progetto 2.3 si avvarrà, altresì, del know-how già sviluppato da POLITO nella prima annualità di ROCKET.

12. "RES NOVAE: Reti, Edifici, Strade - Nuovi Obiettivi Virtuosi per l'Ambiente e l'Energia" (2012-2015), cod. PON04a2\_E, PON Ricerca e Competitività 2007-2013 (capofila e-distribuzione, partner Politecnico di Bari, CNR, ENEA, Università della Calabria, IBM Italia SpA, General Electric Transportation Systems SpA, Elettronika Srl) ha sviluppato, in collaborazione con e-distribuzione, delle metodologie di ottimizzazione e controllo delle reti di distribuzione in media e bassa tensione, destinate ad applicazioni real-time SCADA/DMS. Tale know-how potrà essere di ausilio per le attività di progettazione delle azioni di pianificazione delle reti.

13. Nel progetto "Smart-Grids: Tecnologie Avanzate per i servizi pubblici e l'energia" (2009-2012), cod. PST #44, Progetto Strategico su APQ in materia di Ricerca Scientifica nella Regione Puglia, (capofila Politecnico di Bari, partner AMGAS SpA e AMET SpA), l'unità di ricerca del Politecnico di Bari ha sviluppato in collaborazione con il DSO di Trani (AMET) una architettura di controllo della rete di

distribuzione basata su SCADA/DMS. Per questa architettura sono stati sviluppati codici e algoritmi di test per funzioni DMS avanzate come unbalanced three-phase optimal power flow, conservative voltage reduction, volt-var optimization, riconfigurazione ottimale di rete per la minimizzazione delle perdite.

14. Progetto “ZERO (Zero Emissions Research Option)” (2011-2017), finanziato dalla Regione Puglia nell’ambito del APQ “Reti di Laboratori Pubblici di Ricerca della Regione Puglia” progetto ha finanziato la creazione di un laboratorio multidisciplinare denominato LabZERO con unità di ricerca del Politecnico di Bari e di ENEA. LabZERO dispone di una test-facility per simulazioni real-time e prove Power Hardware-in-the-Loop con una microrete fisica. La test facility sarà utilizzato per i test della LA2.17.

15. Progetto “OSMOSE – Optimal System-Mix Of flexibility Solutions for European electricity”, (2018-2022), finanziato dall’Unione Europea nell’ambito del Horizon 2020 framework (Programme: H2020-EU.3.3.4.—A single, smart European electricity grid; Topic: LCE-04-2017—Demonstration of system integration with smart transmission grid and storage technologies with increasing share of renewables; Grant agreement ID: 773406). Come rappresentante del Consorzio EnSiEL, UniCA ha condotto studi sulla stima della potenziale flessibilità che le risorse distribuite possono offrire agli operatori delle reti in presenza di nuovi meccanismi e dinamiche di mercato elettrico e valutato l’impatto di tale offerta sull’esercizio e gestione della rete di distribuzione. Tale modellazione, che ha compreso la costruzione di reti sintetiche agganciate alle caratteristiche del territorio sotto studio, sarà utile al presente progetto per sviluppare il modello di SCOPF necessario per individuare la quantità ottima di flessibilità necessaria per la risoluzione di potenziali contingenze (LA 1.8). Nell’ambito dello stesso progetto OSMOSE, UniCA ha anche collaborato a modelli di Dynamic Thermal Rating (DTR) per le linee di trasmissione e che possono essere adattati anche ai sistemi di distribuzione in MT per “liberare” potenziali risorse di flessibilità (LA 1.8). Tale modellazione, che ha compreso la costruzione di reti sintetiche agganciate alle caratteristiche del territorio sotto studio, sarà utile al presente progetto per sviluppare il modello di SCOPF necessario per individuare la quantità ottima di flessibilità necessaria per la risoluzione di potenziali contingenze (LA 1.8). Nell’ambito dello stesso progetto OSMOSE, UniCA ha anche collaborato a modelli di Dynamic Thermal Rating (DTR) per le linee di trasmissione e che possono essere adattati anche ai sistemi di distribuzione in MT per “liberare” potenziali risorse di flessibilità (LA 1.8).

16. Progetto di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) Bando 2017: “Planning and flexible operation of micro-grids with generation, storage and demand control as a support to sustainable and efficient electrical power systems: regulatory aspects, modelling and experimental validation” (2020-2023), finanziato dal Ministero dell’Istruzione, dell’Università e della Ricerca (MIUR) – grant 2017K4JZEE. UniCA ha trattato aspetti della pianificazione dello sviluppo delle reti e della loro gestione flessibile, che possono assumersi complementari con le attività proposte dal presente progetto (es. LA 2.16).

17. “SRACC – Attuazione e Revisione della Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici” (2021-2023), finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna. Tra le varie attività previste, UniCA si sta occupando di sviluppare una metodologia di valutazione degli indicatori di rischio con riferimento alla resilienza dell’infrastruttura elettrica regionale a fronte di eventi naturali avversi. L’applicazione della metodologia al territorio regionale sardo, risultato del progetto, potrà essere usata per affinare la definizione della metrica per la misura della resilienza (LA 1.8) di una rete elettrica di distribuzione e come benchmark per le attività di testing nella LA 2.16.

18. Progetto dal titolo “Impiego dei servizi ancillari forniti da risorse di energia distribuite per l’esercizio della rete di distribuzione” (2021-2022), finanziato da e-distribuzione nell’ambito del progetto pilota “EDGE – Energia da risorse Distribuite per la Gestione della rete di E-distribuzione”. In qualità di partner del Consorzio EnSiEL, UniCA ha testato un numero significativo di feeder MT reali per valutare la fattibilità tecnica ed economica della partecipazione delle risorse distribuite al mercato dei servizi ancillari. Le analisi condotte e i risultati ottenuti in questo progetto potranno essere usati per definire i benchmark per le attività di modellazione della LA 1.8 e di simulazione della LA 2.16.

19. Partenariato Esteso “NEST – Network for Energy Sustainable Technologies” (2022-2025), finanziato nell’ambito della Missione 4 del PNRR “Istruzione e Ricerca”, Componente 2 “Dalla ricerca all’impresa del PNRR”, Investimento 1.3 “Partenariati allargati estesi a Università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base”. Nell’ambito del progetto, ENEA partecipa, tra i diversi Spoke, allo Spoke 7 “Smart Sector Integration” che intende applicare soluzioni per la Smart Sector Integration che potrebbero richiedere competenze in parte anche sviluppate nel presente progetto.

20. UniCA partecipa alle attività di coordinamento e di ricerca dello Spoke 8 – “Final use optimization, sustainability & resilience in energy supply chain”, le cui tematiche sono attinenti alle attività del presente progetto (LA 1.8 e LA 2.16). Ad esempio, UniCA coordina il WP5 dello Spoke 8 che intende valutare differenti misure migliorative della resilienza delle reti di distribuzione.

21. Ecosistema dell’Innovazione “e.INS - Ecosystem of Innovation for Next Generation Sardinia” (2022-2025), finanziato nell’ambito della Missione 4 del PNRR “Istruzione e Ricerca”, Componente 2 “Dalla ricerca all’impresa del PNRR”, Investimento 1.5 “Creazione e rafforzamento di Ecosistemi dell’innovazione e costruzione di leader Territoriali di R&S”. UniCA è coordinatore delle attività di ricerca e di trasferimento tecnologico per lo Spoke 7 – “Low Carbon Technologies for efficient energy system” finalizzato allo sviluppo di soluzioni innovative per la produzione, l’uso e l’accumulo di energia per il raggiungimento della neutralità climatica della Sardegna entro il 2050.



Molte attività previste in questo Spoke potranno essere usate per affinare i modelli stocastici delle risorse energetiche e della flessibilità offerta (LA 1.8).

## 2.5 Obiettivi e risultati

### a) Obiettivi finali del progetto

Le soluzioni proposte nel presente progetto sono orientate a fornire strumenti basati su metodologie avanzate che adottino un approccio integrato e, laddove richiesto, una scala prossima al "tempo reale". In tal senso, saranno resi disponibili:

- Studio sperimentale del comportamento dei componenti di rete elettrica sottoposti a stress termo-igrometrici  
Obiettivo: Raccogliere dati empirici sul comportamento dei componenti di rete in condizioni climatiche estreme.  
Risultato atteso: Creare una base di dati robusta per sviluppare modelli predittivi più accurati, migliorando la resilienza delle reti elettriche.
- Modelli avanzati di previsione del consumo e della generazione  
Obiettivo: Sviluppare modelli previsionali più flessibili, in grado di operare anche in contesti con dati limitati attraverso lo studio della possibilità di utilizzare tecniche alternative al machine learning (es. approcci fondazionali).  
Risultato atteso: Aumentare l'accuratezza delle previsioni a breve termine e integrare variabili climatiche per le proiezioni a lungo termine, migliorando la pianificazione energetica.
- Metodi e modelli per la pianificazione risk-based a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione MT  
Obiettivo: Adottare un approccio "risk-based" per la pianificazione delle reti di distribuzione a media tensione.  
Risultato atteso: Migliorare l'Hosting Capacity e la resilienza delle reti, valutando i rischi e le opportunità in modo più preciso.
- Basi teoriche e modelli matematici per l'implementazione del wide-synchronization control nelle reti di distribuzione  
Obiettivo: Definire modelli teorici per il controllo di sincronizzazione nelle reti, inclusi sistemi MVDC.  
Risultato atteso: Incrementare la sicurezza e la stabilità del sistema elettrico in diverse condizioni operative.
- Basi teoriche e modelli matematici per l'implementazione del wide-synchronization control nelle reti di distribuzione  
Obiettivo: Definire modelli teorici per il controllo di sincronizzazione nelle reti, inclusi sistemi MVDC.  
Risultato atteso: Incrementare la sicurezza e la stabilità del sistema elettrico in diverse condizioni operative.
- Modelli avanzati di pianificazione energetica su diversi orizzonti temporali  
Obiettivo: Integrare variabili sociologiche nei modelli di pianificazione energetica.  
Risultato atteso: Migliorare l'accuratezza delle stime di consumo energetico attivo, rendendo le soluzioni proposte più realistiche e attuabili.
- Sviluppo di un prototipo di convertitore grid forming con capacità di assistenza alla rete di tipo VSG  
Obiettivo: Creare e testare un prototipo di convertitore grid forming per migliorare la stabilità della rete.  
Risultato atteso: Validare i modelli teorici e affrontare problemi operativi, facilitando l'industrializzazione della tecnologia.
- Tool software per l'identificazione delle aree critiche delle reti elettriche  
Obiettivo: Potenziare software esistenti per identificare aree critiche in scenari energetico-ambientali prospettici.  
Risultato atteso: Offrire uno strumento freeware innovativo con funzionalità avanzate integrate, non presenti nella letteratura attuale.
- Progettazione e sviluppo di un digital twin di una rete di distribuzione idrica  
Obiettivo: Sviluppare un digital twin per analizzare l'interoperabilità infrastrutture critiche (reti elettriche e idriche).  
Risultato atteso: Creare una metodologia per valutare gli impatti delle interruzioni elettriche sulle reti idriche, contribuendo a prevenire criticità future e a ridurre gli effetti a cascata.

Le misure proposte nel progetto si allineano con diverse iniziative europee e nazionali, tra cui il Green Deal Europeo, che mira a rendere l'Europa il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050, e REPowerEU, che punta a ridurre la dipendenza energetica dall'estero. Inoltre, il progetto sostiene la Strategia per la decarbonizzazione e il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), che investe in infrastrutture energetiche sostenibili e tecnologie innovative. Le attività proposte, come l'ottimizzazione delle reti e

l'integrazione delle previsioni climatiche, sono coerenti con gli obiettivi del Piano Nazionale per l'Energia e il Clima (PNEC) e la Direttiva sull'Efficienza Energetica, contribuendo così a promuovere un sistema energetico più resiliente e sostenibile.

#### **b) Principali risultati attesi/deliverable**

Il presente progetto è organizzato in tre WP ciascuno dei quali con specifici obiettivi come descritto nei precedenti paragrafi. Il WP1 "Studio e definizione di nuovi metodi e strumenti per la pianificazione delle reti di distribuzione, anche ibride (AC-DC)", costituito da 9 linee di attività, produrrà i seguenti risultati della ricerca:

- 9 Rapporti Tecnici
- Database di dati sperimentali risultanti da test stress termo-igrometrici su componenti delle reti elettriche.
- Configurazioni di reti ibride e dei relativi scenari energetici.
- Modelli avanzati di stima del carico per la pianificazione a lungo termine.
- Modelli affidabilistici dei componenti delle reti elettriche che considerano anche gli effetti dovuti ai cambiamenti climatici.
- Metodi avanzati di previsioni di produzione a lungo termine.
- Metriche per la misura dell'Hosting Capacity e della resilienza nelle reti elettriche di distribuzione MT
- Modelli stocastici avanzati delle principali risorse energetiche presenti nelle reti elettriche di distribuzione e della loro flessibilità disponibile
- Modello di DTR per i principali componenti della rete di distribuzione per l'incremento dell'Hosting Capacity
- Metodi di calcolo innovativi per le reti di distribuzione in scenari incerti
- Definizione delle basi teoriche per l'adozione del wide-synchronization control nelle reti di distribuzione anche in presenza di sistemi MVDC.

Per quanto riguarda il WP2 "Modellistica e sperimentazione a supporto della pianificazione delle reti elettriche", costituito da 17 linee di attività, produrrà i seguenti risultati della ricerca:

- 17 Rapporti Tecnici
- Modelli di ottimizzazione multiobiettivo avanzati a supporto della pianificazione a breve termine delle reti
- Modelli avanzati di previsioni di carico a breve termine
- Modello per la caratterizzazione degli effetti dei guasti alla rete elettrica sulle reti idriche.
- Modelli di pianificazione a breve termine
- Software per la valutazione dell'affidabilità delle reti elettriche a livello di distribuzione considerando l'impatto dei cambiamenti climatici.
- Software per la pianificazione a lungo termine risk-based multi-obiettivo e multi-periodo delle reti elettriche di distribuzione MT.
- Software per l'applicazione di metodi e strumenti innovativi per la pianificazione delle reti di distribuzione, anche ibride AC-DC
- Metodologia di analisi degli impatti dei malfunzionamenti di reti elettriche su reti di utilità quali quella di distribuzione idrica
- Implementazione e applicazione del WSC nelle reti di distribuzione anche in presenza di sistemi MVDC.
- Gemello digitale di una rete di distribuzione idrica in grado di simulare il comportamento idraulico della rete in funzione del funzionamento ordinario o straordinario degli elementi fisici energivori

Infine, il WP3 "Attività di diffusione", è costituito da 2 LA e produrrà i seguenti risultati della ricerca:

- 2 Rapporti Tecnici
- pubblicazione di articoli scientifici in conferenze e/o riviste

Tutti i risultati sopra descritti contribuiranno al raggiungimento dell'obiettivo generale e all'avanzamento rispetto allo stato dell'arte, come descritto nei precedenti paragrafi.

La quantificazione delle prestazioni di obiettivo non può essere stimata, a priori, rispetto a studi preesistenti data l'innovatività delle tematiche proposte e l'assenza di dati di riferimento. Il raggiungimento dell'obiettivo di ricerca sarà valutato e misurato mediante la predisposizione di opportuni indicatori di prestazione connessi ai sub obiettivi di ricerca specifici, individuati nel corso di sviluppo del progetto. In tal senso, la comparazione tra gli indicatori di prestazione in assenza e in presenza dei modelli sviluppati applicati a reti test su specifici scenari di simulazione fornirà un riscontro numerico della efficacia delle soluzioni proposte e una misura dell'avanzamento del progetto rispetto allo stato dell'arte.

## 2.6 Fattibilità tecnico-scientifica

### a) Fattibilità tecnico-scientifica

DA COMPILARE

## 2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

### a) Impatto e benefici sul sistema energetico

Il conseguimento dei risultati del progetto può apportare un contributo significativo al sistema energetico, in particolare attraverso miglioramenti ambientali. Innanzitutto, l'ottimizzazione della pianificazione delle reti elettriche, integrando variabili climatiche e socioeconomiche, consentirà di ridurre le perdite energetiche e migliorare l'efficienza delle risorse, contribuendo a una diminuzione delle emissioni di gas serra. Inoltre, lo sviluppo di modelli avanzati per la previsione del consumo e della generazione energetica faciliterà una gestione più flessibile e reattiva delle risorse rinnovabili, riducendo la necessità di fonti fossili. L'implementazione di strumenti come i convertitori grid forming e architetture di controllo wide-area migliorerà la stabilità delle reti, rendendo il sistema elettrico più sicuro ed affidabile e favorendo l'integrazione di energia rinnovabile, mentre l'analisi degli impatti delle reti elettriche su quelle idriche promuoverà un approccio olistico alla gestione delle infrastrutture critiche. In questo modo, il progetto non solo supporta la transizione verso un sistema energetico sostenibile, ma contribuisce anche a mitigare gli effetti negativi del cambiamento climatico, promuovendo un ambiente più sano e resiliente.

### b) Benefici per gli utenti

Il progetto offrirà numerosi benefici agli utenti del sistema elettrico nazionale, migliorando l'affidabilità e la qualità del servizio. Grazie all'ottimizzazione della pianificazione delle reti e all'implementazione di modelli avanzati di previsione, gli utenti potranno beneficiare di una fornitura elettrica più stabile e reattiva, riducendo i rischi di interruzioni e disservizi. L'integrazione di fonti rinnovabili sarà facilitata, consentendo agli utenti di accedere a energia più sostenibile e, nel lungo termine, potenzialmente più economica. Inoltre, con l'adozione di strumenti come i convertitori grid-forming e architetture di controllo wide-area, la stabilità delle reti sarà garantita anche in scenari di alta penetrazione di energie rinnovabili, mitigando l'impatto delle fluttuazioni della domanda e dell'offerta con benefici economici per l'utente finale. Infine, l'uso di modelli che considerano le variabili sociologiche aiuterà a sviluppare politiche energetiche più in linea con le esigenze e le aspettative degli utenti, promuovendo una maggiore partecipazione e consapevolezza nella gestione dei consumi energetici. Questi fattori complessivi contribuiranno a creare un sistema elettrico più resiliente, efficiente e sostenibile, a beneficio di tutti gli utenti.

### c) Previsione delle ricadute applicative

I risultati del progetto sono di interesse di diversi stakeholder della filiera energetica. Il principale settore applicativo riguarda le reti elettriche. Gli strumenti proposti forniscono ritorni di interesse degli operatori di rete ma anche, in maniera indiretta, di eventuali operatori di mercato che potranno essere coinvolti nelle reti future per abilitare nuovi meccanismi di gestione (es. la gestione in isola potrà essere affidata agli aggregatori).

Le soluzioni proposte mirano a favorire la transizione verso un sistema elettrico decarbonizzato e sostenibile, allineandosi agli obiettivi climatici europei. Gli stakeholder trarranno vantaggio dalla maggiore efficienza operativa e dalla possibilità di offrire servizi più affidabili, contribuendo a generare ritorni economici e incrementando la competitività sul mercato. Inoltre, l'inclusione di modelli che considerano le preferenze dei consumatori aumenta l'accettazione delle nuove tecnologie, come i veicoli elettrici, facilitando investimenti futuri e favorendo l'industrializzazione delle innovazioni sviluppate. Un elemento cruciale di questo processo è la potenzialità dei prototipi di convertitore, attualmente non disponibili sul mercato, di aprire nuovi segmenti industriali e di rispondere a esigenze specifiche degli operatori di rete.

Gli output della ricerca, inoltre, agevolano lo sviluppo della filiera delle rinnovabili a beneficio di produttori e installatori di tecnologie di generazione da fonti rinnovabili e della componentistica correlata.

La divulgazione dei dati relativi allo studio sperimentale attraverso i rapporti tecnici, inoltre, fornirà informazioni che potranno essere utili ai produttori di tecnologie ma anche al mondo della ricerca.

In relazione alle ricadute applicative per i proponenti, la ricerca condotta favorirà la capacità di produrre nuove conoscenze e realizzare nuovi prodotti ad alto valore aggiunto, anche grazie al testing sperimentale, su tematiche fondamentali connesse alla abilitazione della transizione energetica.

## 2.8 Verifica dell'esito del progetto

### a) Oggetti e documentazione dei risultati finali

Di seguito si riporta elenco dei possibili test di verifica per ciascun risultato della ricerca:

#### LA1.1 Analisi degli impatti del cambiamento climatico sull'affidabilità dei componenti delle reti elettriche

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA fornisca: un rapporto tecnico che contenga la descrizione dettagliata dei modelli affidabilistici dei componenti presenti nelle reti elettriche di distribuzione che consentano di valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sul sistema elettrico.

#### LA1.2 Studio e sviluppo di configurazioni di reti ibride in ambiente OpenDSS

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA riporti: (i) la definizione di una o più reti di riferimento (AC, DC, ibride) caratterizzate da architetture e configurazioni di rilievo rispetto all'evoluzione futura del panorama energetico (es. differenti gradi di penetrazione delle fonti rinnovabili); (ii) un modello sviluppato in linguaggio OpenDSS per ciascuna delle configurazioni definite; (iii) rapporto tecnico che descriva le configurazioni e degli scenari definiti.

#### LA1.3: Metodi avanzati di previsione di generazione rinnovabile a lungo termine propedeutici all'identificazione dei nodi critici

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia implementato i seguenti prodotti: (i) modello di previsione della produzione fotovoltaica a lungo termine; (ii) modello di previsione della produzione eolica a lungo termine; (iii) rapporto tecnico che descrive l'approccio utilizzato per la previsione a lungo termine di generazione fotovoltaica ed eolica, propedeutica all'identificazione dei nodi critici.

#### LA1.4: Definizione di casi studio per la progettazione e realizzazione di modelli avanzati di stima del carico per la pianificazione a lungo termine

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA fornisca: (i) definizione dei Casi d'Uso per la Modellazione Energetica degli Edifici Residenziali e fornito la relativa valutazione in ottica di pianificazione delle reti elettriche negli scenari energetici futuri; (ii) rapporto tecnico che descrive i casi studio e le valutazioni effettuate.

#### LA1.5: Valutazione e stima dei profili di carico per la pianificazione a lungo termine sui casi d'uso definiti.

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia definito dei profili di carico dettagliati e dinamici, la cui caratteristiche saranno fornite: (i) in un rapporto tecnico contenente una descrizione dettagliata dei profili di carico a lungo termine; (ii) in database dei profili di carico termico ed elettrico proiettati nel futuro; (iii) nella definizione di modelli e strumenti di simulazione.

#### LA1.6: Analisi di dataset di tipo energetico e climatico e di modelli per la valutazione e la previsione di effetti sulla operatività di infrastrutture elettriche locali in condizioni meteorologiche estreme

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un rapporto tecnico che sintetizzi i risultati delle analisi condotte sia in termini di database che di tecniche di previsione selezionate allo scopo di tracciare un perimetro informativo all'interno del quale studiare la fattibilità di modelli di valutazione e previsione dell'impatto di eventi naturali pericolosi su infrastrutture critiche quali quelle elettriche

#### LA1.7 Applicazioni del Wide-Synchronization Control nelle reti di distribuzioni ibride per incrementare la sicurezza e la stabilità – Analisi teorica

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un rapporto tecnico che descriva: (i) la definizione delle basi teoriche e del complesso delle equazioni matematiche per l'adozione del wide-synchronization control; (ii) le principali differenze con il caso della trasmissione; (iii) vincoli da tenere in considerazione per l'implementazione del controllo (iv) vantaggi per la sicurezza e la stabilità del sistema elettrico; (v) i limiti di implementazione della tecnologia.

#### LA1.8 Sviluppo di modelli e metodo di calcolo innovativi per la pianificazione risk-based a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione MT finalizzata all'incremento dell'Hosting Capacity e il miglioramento della resilienza

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito: (i) un rapporto tecnico sulla descrizione delle metriche di misura dell'Hosting Capacity e della resilienza delle reti elettriche di distribuzione, dei modelli stocastici delle risorse energetiche e della loro flessibilità disponibile, del DTR applicato alle reti elettriche di distribuzione, dei

modelli di calcolo avanzato delle reti; (ii) i prototipi dei singoli tool di calcolo per la valutazione delle prestazioni dei vari modelli sviluppati; (iii) i risultati dei test condotti per confrontare i differenti modelli in termini di precisione dei risultati e di onere computazionale; (iv) le scelte definitive sulle metriche e i modelli da implementare nel software di pianificazione della LA2.16.

LA1.9 Sviluppo di una metodologia e di uno strumento software per la riconfigurazione topologica delle reti nello studio dell'impatto di eventi climatici avversi sulla affidabilità delle reti elettriche di distribuzione.

[FORNIRE TEST DI VERIFICA - POLIBA]

LA2.1 Implementazione di modelli di ottimizzazione multiobiettivo avanzati a supporto della pianificazione a breve termine delle reti

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito: (i) un rapporto tecnico sull'implementazione di modelli di ottimizzazione multiobiettivo a supporto della pianificazione a breve termine delle reti negli scenari energetici futuri anche descrittivo dei risultati dei test dei modelli sugli scenari di simulazione corredati di analisi degli aspetti sociologici; (ii) modelli di ottimizzazione multiobiettivo a supporto della pianificazione a breve termine delle reti elettriche.

LA2.2 Modelli avanzati di previsione del consumo energetico e generazione rinnovabile a breve termine propedeutici alla predizione dei nodi critici

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito: (i) un modello di previsione del consumo energetico a breve termine; (ii) un rapporto tecnico sui diversi approcci di previsione del consumo energetico a breve termine.

LA2.3 Definizione dei requisiti di una infrastruttura sperimentale per l'analisi delle distorsioni delle grandezze elettriche e la valutazione della Power Quality delle reti e microreti di distribuzione e delle relative procedure di test

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia reso disponibile rapporto tecnico che fornisca i seguenti elementi: (i) progettazione e definizione degli interventi necessari alla realizzazione di un laboratorio per la caratterizzazione sperimentale di reti e microreti affette da distorsioni elettriche; (ii) definizione di procedure di misura per la valutazione delle prestazioni, degli impatti e dello stress termico che esse determinano sui diversi apparati e componenti di rete.

LA2.4 Setup dei Test sperimentali per la valutazione della sensitività di componenti delle reti elettriche soggetti a stress termo-igrometrici

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia prodotto un rapporto tecnico descrittivo sia del setup dei test sperimentali sia delle modalità di prova, inclusivo della configurazione dell'ambiente sperimentale e delle procedure di calibrazione della camera climatica e della vasca sperimentale.

LA2.5 Test sperimentali e Creazione e popolazione di un database di dati sperimentali risultanti da test stress termo-igrometrici su componenti delle reti elettriche

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia prodotto un rapporto tecnico descrittivo dei test sperimentali e la compilazione di un appropriato data base in cui saranno collezionate le specifiche delle prove ed i risultati dei test per ogni componente analizzato

LA2.6 Definizione di un modello per la caratterizzazione degli effetti dei guasti alla rete elettrica sulle reti idriche

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia prodotto un rapporto tecnico descrittivo del modello digitale di una rete idrica con riferimento agli elementi energivori della stessa e gli scenari di funzionamento della rete idrica in funzione degli scenari di mancato o parziale funzionamento degli elementi energivori.

LA2.7 Studio delle tecnologie per la pianificazione di scenari energetici a medio-lungo termine da implementare nelle configurazioni delle reti elettriche e implementazione dei relativi modelli di pianificazione a breve termine.

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito: (i) un rapporto tecnico sullo studio delle tecnologie per la pianificazione di scenari energetici a medio-lungo termine; (ii) modelli di ottimizzazione multiobiettivo.

LA2.8 Sviluppo dei modelli affidabilistici dei componenti delle reti elettriche in funzione degli scenari climatici futuri.

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA fornisca: (i) un rapporto tecnico che contenga la descrizione del tool sviluppato; (ii) un software opensource per la valutazione dell'affidabilità delle reti elettriche a livello di distribuzione e che consideri l'impatto dei cambiamenti climatici.

LA2.9 Sviluppo di un software per l'applicazione di metodi e strumenti innovativi per la pianificazione delle reti di distribuzione, anche ibride AC-DC

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che LA renderà disponibile: (i) un software open source per l'applicazione di metodi e strumenti innovativi per la pianificazione delle reti di distribuzione, anche ibride AC-DC; (ii) un rapporto tecnico descrittivo del software sviluppato.

LA2.10 Valutazione sperimentale delle distorsioni di grandezze elettriche e della Power Quality di reti e microreti di distribuzione

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che LA renderà disponibile un rapporto tecnico i risultati dei test di valutazione degli impatti e stress termici, dovuti alle distorsioni armoniche ed al cambiamento climatico, sugli apparati, componenti e sulla power quality della rete, basandosi anche sulla caratterizzazione prestazionale delle soluzioni per la mitigazione e/o compensazione delle armoniche condotte nell'infrastruttura progettata nella LA2.3.

LA2.11 Quantificazione e analisi degli impatti di malfunzionamenti della rete elettrica sulla rete idrica

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che LA renderà disponibile un report tecnico comprensivo di: (i) descrizione della metodologia di analisi degli impatti dei malfunzionamenti di reti elettriche su reti di utilità quali quella di distribuzione idrica; (ii) definizione e descrizione degli scenari elaborati e relativa quantificazione.

LA2.12: Studio di fattibilità di modelli statistici e di machine learning per la valutazione o la previsione di effetti sulla operatività di infrastrutture elettriche locali in condizioni meteorologiche estreme

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un rapporto tecnico che illustri i risultati ottenuti in termini di fattibilità di definizione di modelli previsionali in grado di prevedere di effetti sulla operatività di infrastrutture elettriche locali in condizioni meteorologiche estreme.

LA2.13 Messa a punto e test P-HIL di un convertitore grid-forming con avanzata capacità diagnostica e funzionalità di supporto alla rete con sovraccaricabilità adattativa e massima affidabilità

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un rapporto tecnico che illustri i risultati ottenuti sperimentalmente sul convertitore grid-forming in ambiente di laboratorio.

LA2.14 Prove di endurance del convertitore grid-forming per la raccolta di dati di affidabilità e per l'implementazione di una strategia di manutenzione predittiva

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un rapporto tecnico che illustri i risultati ottenuti in termini di affidabilità e capacità di predire il guasto catastrofico del convertitore prima che si verifichi.

LA2.15 Applicazioni del Wide-Synchronization Control nelle reti di distribuzioni ibride per incrementare la sicurezza e la stabilità – Casi studio e dimostrazione

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un rapporto tecnico su: (i) la descrizione delle reti test; (ii) i risultati delle simulazioni; (iii) le conclusioni sull'applicazione del WSC.

LA2.16 Sviluppo di software di pianificazione risk-based a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione MT finalizzato all'incremento dell'Hosting Capacity e al miglioramento della resilienza

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito: (i) un rapporto tecnico contenente la ricerca bibliografica sugli approcci di ottimizzazione disponibili in letteratura, la descrizione teorica dell'algoritmo di pianificazione risk-based multi-obiettivo e multi-periodo implementato, la descrizione teorica dell'algoritmo di allocazione ottima di SOP, e la descrizione dei risultati delle simulazioni; (ii) i software di pianificazione a lungo termine per le reti elettriche di distribuzione, sviluppati in linguaggio Python.

LA2.17 Sviluppo di uno strumento per la pianificazione e l'espansione di una rete di distribuzione

[FORNIRE TITOLO E TEST DI VERIFICA - POLIBA]

LA3.1: Attività di diffusione I SAL

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che nel corso della LA siano stati prodotti: (i) almeno 1 pubblicazione scientifica internazionale per ciascun beneficiario del progetto (ENEA e dai co-beneficiari del progetto); (ii) un rapporto tecnico che documenti in dettaglio gli eventi di divulgazione tecnico-scientifica del progetto, con descrizione di

ciascun evento e delle modalità di comunicazione adottate.

#### LA3.2: Attività di diffusione II SAL

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che nel corso della LA siano stati prodotti: (i) almeno 1 pubblicazione scientifica internazionale per ciascun beneficiario del progetto (ENEA e dai co-beneficiari del progetto); (ii) un rapporto tecnico che documenti in dettaglio gli eventi di divulgazione tecnico-scientifica del progetto, con descrizione di ciascun evento e delle modalità di comunicazione adottate; (iii) organizzate una o più giornate formative relative all'esperienza di realtà immersiva per osservare l'evoluzione delle reti elettriche attraverso utilizzo di sistemi visivi dedicati.

BONZA



### 3. STRUTTURA E COSTI DEL PROGETTO

#### 3.1 Descrizione piano di lavoro

##### WP 1

#### Studio e definizione di nuovi metodi e strumenti per la pianificazione delle reti di distribuzione, anche ibride (AC-DC)

TRL iniziale: 4

TRL finale: 6

##### Obiettivi:

Il WP1 ha l'obiettivo di sviluppare e definire nuovi metodi e strumenti per la pianificazione delle reti di distribuzione elettrica, includendo configurazioni ibride (AC-DC), con l'intento di potenziare la resilienza e l'adattabilità delle reti alle sfide poste dai cambiamenti climatici e dalla crescente integrazione delle fonti energetiche rinnovabili.

Un aspetto centrale è l'analisi degli impatti del cambiamento climatico sull'affidabilità dei componenti delle reti elettriche, al fine di comprendere come gli eventi meteorologici estremi possano influenzare le infrastrutture, compromettendo sia l'affidabilità dei singoli componenti sia la continuità del servizio di fornitura.

All'interno del WP1 verranno realizzate analisi, modelli e configurazioni, oltre a essere definiti casi studio che costituiranno input per lo sviluppo degli strumenti software previsti dal WP2. In questa direzione, saranno sviluppate configurazioni di reti mediante l'uso dell'ambiente OpenDSS, oltre a metodi avanzati per la previsione a lungo termine della generazione rinnovabile. Saranno inoltre elaborati modelli e metodi di calcolo innovativi per la pianificazione a lungo termine delle reti di distribuzione MT basata sul rischio, con l'obiettivo di aumentare l'Hosting Capacity e migliorare la resilienza.

L'analisi di dataset energetici e l'utilizzo di tecniche di previsione saranno fondamentali per valutare la fattibilità di sviluppare modelli in grado di stimare e anticipare gli effetti delle condizioni meteorologiche estreme sulla operatività delle infrastrutture elettriche locali. Infine, saranno esplorate le applicazioni del controllo Wide-Synchronization nelle reti di distribuzione ibride, con l'obiettivo di rafforzare la sicurezza e la stabilità delle operazioni.

#### LA 1.1: Analisi degli impatti del cambiamento climatico sull'affidabilità dei componenti delle reti elettriche

##### Affidatario/Co-beneficiario responsabile:

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 1 - Mese fine: 18

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

##### Descrizione attività

Il sistema elettrico nazionale non è immune alle conseguenze che i cambiamenti climatici comportano. Il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici mette in evidenza, per il settore energia, gli impatti sulle reti elettriche dovuti ai cambiamenti climatici. In particolare, il documento sottolinea come l'aumento della temperatura possa influire sul comportamento di componenti come i cavi ed i trasformatori. Nello specifico, per ogni grado di aumento della temperatura, la capacità dei trasformatori può ridursi fino all'1%, mentre la resistenza dei cavi di rame aumenta all'incirca dello 0.4%. Inoltre, con lunghi periodi di siccità, la capacità di dissipare calore dei diversi componenti, e in particolare dei cavi interrati, si riduce con conseguenze che vanno dalla riduzione delle prestazioni a potenziali blackout del sistema. Questo scenario, ovviamente, modifica l'affidabilità dei componenti e quindi l'affidabilità dell'intera rete elettrica. In aggiunta alla perdita di efficienza dei componenti, lunghi periodi di caldo estremo e siccità comportano un incremento della domanda di raffreddamento inducendo potenziali sovraccarichi e squilibri del sistema elettrico. Alla luce di tali premesse, è evidente che l'individuazione di modelli affidabilistici che considerino parametri ambientali come l'umidità dell'aria o del terreno, il vento ecc., rappresenta un'attività cruciale che può avere ricadute positive sia sul sistema elettrico nazionale che sull'utente finale. In tale contesto, la presente LA si pone come obiettivo lo studio delle leggi matematiche che caratterizzano il comportamento elettrotermico e/o rispetto ad altri fattori ambientali (es. il vento per le linee aeree, l'umidità per quelle interrate, ecc.) dei principali delle reti elettriche e la relativa modellazione del componente.

L'attività proposta rappresenta un avanzamento rispetto ai modelli affidabilistici elettro-termici già sviluppati nell'ambito del progetto 2.7 "Modelli e strumenti per incrementare l'efficienza energetica nel ciclo di produzione, trasporto, distribuzione dell'elettricità - WP Analisi delle problematiche di gestione per l'integrazione nelle attuali reti in AC di nuove reti in DC in MT/BT (Media Tensione/Bassa Tensione)" del Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico nel triennio 2019-2021. In particolare, nell'ambito del presente verranno analizzati componenti aggiuntivi rispetto a quelli del



**LA 1.1: Analisi degli impatti del cambiamento climatico sull'affidabilità dei componenti delle reti elettriche**

progetto 2.7 e per quelli già analizzati verranno rivisti i modelli di componenti per tener conto di nuovi parametri non precedentemente considerati (es. impatto delle variazioni di umidità sull'affidabilità).

**Descrizione risultati e deliverables**

I risultati della LA saranno sintetizzati nel Rapporto tecnico dal titolo: "Analisi degli impatti del cambiamento climatico sull'affidabilità dei componenti delle reti elettriche" che illustrerà, in dettaglio, i modelli affidabilistici dei componenti presenti nelle reti elettriche di distribuzione che consentano di valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sul sistema elettrico

BOLZA

**LA 1.2: Studio e sviluppo di configurazioni di reti ibride in ambiente OpenDSS****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 1 - Mese fine: 18

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

**Descrizione attività**

Come illustrato nella parte generale del progetto, i diversi modelli e tool sviluppati nell'ambito delle linee di attività ENEA, saranno integrati in un software open-source sviluppato nell'ambito della LA2.9, e potranno essere testati su specifici casi studio. Al fine di rendere agevole la definizione di più casi studio, verranno messe a disposizione degli utilizzatori del software, molteplici configurazioni di rete corrispondenti a diversi scenari energetici. L'obiettivo principale della presente LA consiste nella definizione e costruzione di architetture in ambiente OpenDSS per la successiva integrazione nel software da realizzare nella LA2.9. Le configurazioni messe a punto saranno reti sia in media che in bassa tensione, che presentano dei settori in corrente alternata (AC) ed in corrente continua (DC). Sia i settori AC che DC saranno caratterizzati da una rete di collegamento, definita sia da linee che da punti di trasformazione, in modo da rendere possibile l'attuazione di sistemi di riconfigurazione avanzata; in aggiunta, l'interazione tra le aree AC e DC sarà assicurata da diversi punti di interconnessione, tali da assicurare una ampia flessibilità di esercizio. Al fine di proporre architetture e configurazioni di rilievo rispetto all'evoluzione futura del panorama energetico, saranno prese in considerazione nelle architetture le tecnologie "emergenti" identificate nell'ambito della LA2.7, di cui saranno definiti i modelli di funzionamento di concerto tra le due linee di attività. In aggiunta, per le configurazioni di rete sviluppate verranno definiti alcuni scenari, in cui verranno considerati diversi livelli di penetrazione di generazione distribuita da fonte rinnovabile, di sistemi di accumulo di energia, connessi sia alla rete AC che DC, sia in media che in bassa tensione e di mobilità elettrica. In relazione a quest'ultima, ulteriore obiettivo della presente LA consiste nella definizione dei profili di carico connessi alla mobilità elettrica. Tale attività prevede uno studio dedicato alla definizione delle caratteristiche connesse alla mobilità in elettrico, considerando le tecnologie coinvolte. L'evoluzione del parco auto elettrico, delle esigenze dell'utenza e delle tecnologie nel tempo contribuirà ad individuare scenari di penetrazione realistici. L'analisi della letteratura, poi, contribuirà a identificare i profili di carico sia per la ricarica dei veicoli elettrici, sia per la mobilità elettrica urbana. La combinazione dei profili tipici di carico, insieme all'analisi prospettica della capillarizzazione dei veicoli elettrici, determineranno la definizione di profili a lungo termine connessi alla mobilità elettrica.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA1.2 consiste in:

- Rapporto tecnico descrittivo delle configurazioni di rete sviluppate all'interno della LA e dei relativi scenari.;
- Modello delle reti, diversificato per gli scenari implementati, in linguaggio OpenDSS.

**LA 1.3: Metodi avanzati di previsione di generazione rinnovabile a lungo termine propedeutici all'identificazione dei nodi critici****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio:** 19 - **Mese fine:** 36**Costo totale LA (escluse spese generali):** 0,00 €**Descrizione attività**

L'attività proposta mira a sviluppare un metodo avanzato per la previsione della produzione energetica a lungo termine da fonti rinnovabili, in particolare fotovoltaico ed eolico, da utilizzare per ottenere l'identificazione delle aree critiche. L'obiettivo principale della LA consiste nel prevedere la produzione energetica su un orizzonte temporale lungo (ad es. 10-20 anni), basandosi su stime climatiche provenienti da modelli di previsione globale. Partendo da queste stime, si genereranno profili orari delle variabili meteorologiche che saranno poi utilizzati dai modelli di previsione della produzione energetica. I profili orari così ottenuti - fondamentali per comprendere l'evoluzione futura della disponibilità delle risorse rinnovabili in uno scenario di cambiamento climatico - saranno anche utilizzati dalle attività LA1.5 e LA2.7 per stimare il fabbisogno energetico degli attori considerati. Inoltre, insieme alle previsioni di consumo, le previsioni a lungo termine di generazione rinnovabile saranno utilizzate dall'attività LA2.9 che, tramite il Load Flow della rete considerata, fornirà i dati necessari per individuare le aree più critiche.

Nella prima fase dell'attività, si otterranno i dati climatici da OpenMeteo, che sfrutta modelli climatici ad alta risoluzione ottenuti a partire dai risultati del progetto CMIP6. Questi dati includono variabili meteorologiche chiave come radiazione solare, velocità del vento e temperatura, e sono disponibili con una risoluzione spaziale di 10 km, ottenuta attraverso il downscaling dei modelli climatici su scala continentale fino a livello regionale. Successivamente si effettuerà un downscaling temporale, ovvero la trasformazione dei dati climatici su scala giornaliera in profili orari. Infine, i profili climatici orari, così ottenuti, verranno integrati nei modelli di previsione della produzione energetica, che saranno utilizzati per stimare la produzione fotovoltaica ed eolica su orizzonte temporale esteso.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA1.3 consiste in:

- Un rapporto tecnico che descrive l'approccio utilizzato per la previsione a lungo termine di generazione di energia fotovoltaica ed eolica
- Un modello di previsione della produzione fotovoltaica a lungo termine
- Un modello di previsione della produzione eolica a lungo termine

**LA 1.4: Definizione di casi studio per la progettazione e realizzazione di modelli avanzati di stima del carico per la pianificazione a lungo termine****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

L'attività si concentra sulla definizione di casi d'uso che serviranno come base per sviluppare modelli avanzati di stima del carico termico (soddisfatto da vettore elettrico) ed elettrico nell'ambito della LA1.5. La generazione di casi d'uso (nel settore residenziale) per la pianificazione delle reti energetiche intelligenti è diventata un passaggio cruciale per lo sviluppo di modelli avanzati di gestione e ottimizzazione dell'energia. Gli edifici residenziali rappresentano infatti, una quota significativa del consumo energetico globale, contribuendo al 26,1% del consumo finale di energia nell'Unione Europea. Con la crescente elettrificazione dei consumi e l'incremento dell'uso delle pompe di calore, la necessità di rappresentare accuratamente i profili di carico termico ed elettrico negli edifici residenziali è fondamentale per supportare strategie di gestione della domanda energetica (DSM) e Demand Response (DR). In questa attività i casi d'uso verranno definiti considerando diverse tipologie di edifici residenziali, tra cui villette unifamiliari, condomini, villette a schiera e altre tipologie, distribuiti su scale geografiche variabili (cittadina, regionale e nazionale). Un elemento innovativo di questa attività consiste nell'integrazione di variabili demografiche e socioeconomiche nei casi d'uso, per riflettere meglio i cambiamenti nella domanda energetica nel corso dei prossimi 25 anni. Saranno considerati aspetti come il cambiamento nei tassi di occupazione degli edifici, l'evoluzione demografica, e la migrazione degli utenti tra aree urbane e rurali. Ad esempio, scenari di calo demografico potrebbero prevedere una diminuzione del tasso di occupazione delle case, con conseguenti variazioni nei profili di carico termico ed elettrico. Saranno inclusi scenari che riflettono la possibilità di migrazione dalle città alle aree rurali e viceversa, influenzando significativamente la distribuzione della domanda energetica e la necessità di adattare le reti di distribuzione. Questo approccio permetterà di creare una serie di casi d'uso che non solo descrivono le caratteristiche fisiche degli edifici, ma anche le dinamiche degli occupanti.

Inoltre, l'attività terrà conto del costo medio dell'energia come fattore determinante nei comportamenti di consumo degli utenti. In scenari di aumento dei prezzi energetici, si prevede che gli utenti possano adottare pratiche di consumo più consapevoli e orientate al risparmio, come la riduzione dell'uso di apparecchi ad alto consumo durante i picchi di prezzo o l'integrazione di tecnologie di efficienza energetica. Questi comportamenti saranno inclusi nei modelli per simulare un uso dell'energia più reattivo e adattabile alle condizioni economiche. Saranno adottati approcci predittivi per integrare le variabili demografiche e socioeconomiche nei modelli. Questi includono modelli di regressione, che permetteranno di stimare l'evoluzione dei consumi energetici sulla base dei cambiamenti nelle abitudini degli utenti e nell'occupazione degli edifici, e tecniche che utilizzeranno dati storici e proiezioni per identificare le tendenze future. L'obiettivo è generare casi d'uso dettagliati e dinamici che rappresentino accuratamente la domanda energetica futura, tenendo conto delle evoluzioni nelle abitudini abitative, delle condizioni socioeconomiche e dell'impatto dei cambiamenti climatici. Questi casi d'uso forniranno una base solida per supportare la pianificazione delle reti intelligenti, migliorando la capacità di anticipare e gestire le esigenze energetiche in contesti variabili.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA1.4 consiste in:

- Rapporto tecnico contenente una descrizione dettagliata dei diversi casi d'uso, le caratteristiche energetiche degli edifici, e gli scenari demografici e socioeconomici modellati.
- Un database costituito da una raccolta organizzata di dati sui consumi energetici, profili di occupazione degli edifici, tendenze migratorie e proiezioni demografiche, che sarà utilizzabile per studi futuri e per calibrare i modelli di simulazione. Questo database includerà anche variabili legate al costo medio dell'energia, consentendo simulazioni più aderenti alla realtà economica.
- Strumenti di supporto per la definizione dei casi d'uso: Linee guida per la generazione e gestione di scenari complessi che includano variabili edilizie, climatiche, demografiche e socioeconomiche, facilitando la replica e l'aggiornamento delle analisi.

**LA 1.5: Valutazione e stima dei profili di carico per la pianificazione a lungo termine sui casi d'uso definiti****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 19 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

**Descrizione attività**

L'attività di valutazione e stima dei profili di carico per la pianificazione a lungo termine sui casi d'uso definiti si focalizza sulla simulazione e l'analisi dettagliata dei profili di carico termico ed elettrico degli edifici residenziali, utilizzando i casi d'uso sviluppati nella LA1.4. L'obiettivo principale della presente LA consiste nel fornire stime accurate e proiettate nel tempo dei consumi elettrici comprensivi dei fabbisogni per la climatizzazione ambientale, integrando diverse variabili climatiche, comportamentali e tecnologiche con un orizzonte temporale esteso fino a 25 anni.

Questa attività rappresenta un passo cruciale per la pianificazione delle reti elettriche future, in quanto consente di anticipare e gestire le esigenze energetiche in scenari complessi e mutevoli. A tal fine, i modelli costruiti terranno conto delle previsioni climatiche a lungo termine, fornite dalle elaborazioni dell'attività LA1.3, che derivano da un downscaling delle previsioni meteorologiche su un orizzonte temporale di 25 anni. Questi profili climatici avanzati, basati su scenari futuri, permettono di valutare l'impatto del cambiamento climatico sui consumi energetici degli edifici, adattando i modelli di carico alle condizioni climatiche proiettate. Per la modellazione dei profili di carico, verranno utilizzati strumenti come TRNSYS per la simulazione dei carichi termici e del relativo fabbisogno elettrico. Tal software, infatti, consente di modellare il comportamento dinamico degli edifici in risposta alle variazioni climatiche, simulando la domanda termica per riscaldamento e raffrescamento. Successivamente, i profili di assorbimento elettrico ottenuti verranno integrati nel software sviluppato nell'ambito della LA2.9 per verificare l'impatto sulla rete elettrica e l'insorgenza di eventuali criticità.

L'output finale di questa attività sarà un insieme di profili di carico dettagliati e dinamici, che potranno essere utilizzati per supportare la pianificazione delle reti intelligenti e la gestione della domanda energetica a lungo termine. Questi profili offriranno una rappresentazione accurata delle condizioni future, permettendo ai gestori di rete, policy maker e comunità energetiche di prendere decisioni informate basate su dati più solidi e proiezioni più realistiche.

**Descrizione risultati e deliverables**

Gli output principali dell'attività includono:

- Rapporto tecnico sui profili di carico a lungo termine: Documento che descrive i risultati delle simulazioni dei profili di carico per ciascun caso d'uso, con particolare attenzione agli impatti delle variabili climatiche e comportamentali.
- Database dei profili di carico proiettati nel futuro: Un database strutturato che raccoglie i profili di carico termico ed elettrico stimati per diverse tipologie di edifici e scenari futuri. Questo database sarà uno strumento chiave per l'analisi e la simulazione della domanda energetica a lungo termine.
- Strumenti di simulazione integrati: Modelli e strumenti di simulazione che combinano i dati climatici, i profili di carico e i modelli di rete, fornendo un framework per l'analisi della domanda energetica in scenari futuri complessi.

## LA 1.6: Analisi di dataset di tipo energetico e climatico e di modelli per la valutazione e la previsione di effetti sulla operatività di infrastrutture elettriche locali in condizioni meteorologiche estreme

### Affidatario/Co-beneficiario responsabile:

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 1 - Mese fine: 18

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

### Descrizione attività

Il cambiamento climatico aumenta il rischio che eventi meteo estremi si verifichino con frequenza ed intensità crescenti, anche in aree dove il loro verificarsi era inconsueto.

Questi fenomeni minacciano l'integrità dell'infrastruttura energetica, fondamentale per il buon andamento socio-economico di una comunità.

Attualmente si pone molta enfasi sulla resilienza delle reti elettriche a questi eventi, per la rilevanza del loro corretto funzionamento.

L'integrazione delle fonti rinnovabili, con la loro naturale variabilità, aumenta le fluttuazioni di corrente, incrementando lo stress sul sistema. Inoltre, le rinnovabili sono particolarmente sensibili a fenomeni naturali estremi.

I dati costituiscono il pilastro della valutazione del rischio e dei danni provocati da inondazioni o da altri eventi estremi.

Da una prima indagine in letteratura, si nota una generale difficoltà di reperire dati sul rapporto clima-energia. La raccolta di dati relativi all'impatto sulle infrastrutture di rete si presenta come un passo tanto fondamentale quanto difficoltoso nello studio di questi fenomeni: la disponibilità di dati storici è ridotta, e spesso non è dato accesso per ragioni strategiche o di sicurezza. La difficoltà di reperire dati aumenta a livello europeo e nazionale.

ARERA, nella sua raccolta dati sulle prestazioni delle imprese distributrici riguardo la continuità del servizio, che rende disponibili pubblicamente, non include dati legati a eventi eccezionali

<https://www.arera.it/dati-e-statistiche/dettaglio/prestazioni-delle-imprese-distributrici-riguardo-la-continuita-del-servizio>

In questa attività, in una prima fase, si propone una ricognizione della letteratura per individuare dataset pubblici di tipo climatico ed energetico, con evidenza di eventi climatici estremi (inondazioni in particolare), che possano mettere in luce relazioni tra eventi climatici ed impatto sulle infrastrutture energetiche.

Anche dati di tipo ambientale potranno essere considerati, per compensare o integrare dati sugli asset energetici, come informazioni su caratteristiche del terreno (es. altezza su cui poggiano gli apparati tecnici), attività umane e densità di popolazione, consumo del suolo, caratteristiche urbanistiche, consumi elettrici.

Focus della ricognizione sarà su dati a risoluzione localizzata, utili per indagini a livello distribuzione. In caso di indisponibilità su canali pubblici, si proverà a contattare direttamente stakeholder (provider, ministeri, agenzie, gestori di reti) per farne richiesta.

In una seconda fase, si procederà all'individuazione di tecniche, incluse tecniche statistiche e di machine learning, che risultino idonee all'obiettivo dello studio.

L'analisi delle caratteristiche dei dataset ritrovati e dei modelli selezionati servirà a tracciare un perimetro informativo all'interno del quale studiare la fattibilità di modelli di valutazione e previsione dell'impatto di eventi naturali pericolosi su infrastrutture critiche quali quelle elettriche nell'ambito della LA2.12.

### Descrizione risultati e deliverables

Gli output principali dell'attività includono:

- Report sull'analisi dei dati raccolti e sulle tecniche di previsione selezionate finalizzata a tracciare un perimetro informativo all'interno del quale studiare la fattibilità di modelli di valutazione e previsione dell'impatto di eventi naturali pericolosi su infrastrutture critiche quali quelle elettriche.

**LA 1.7: Applicazioni del Wide-Synchronization Control nelle reti di distribuzioni ibride per incrementare la sicurezza e la stabilità – Analisi teorica****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Ingegneria [UNIPA-DI]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

L'obiettivo della wide-synchronization control è un innovativo schema di controllo wide-area per i sistemi di potenza. L'idea di base consiste nella modifica transitoria della potenza attiva di riferimento impostata nel sistema di controllo di un convertitore di potenza, in accordo alla differenza tra la frequenza locale e un segnale remoto fornito dall'unità centrale dello schema wide-area. Il segnale remoto rappresenta una frequenza di riferimento, ed è ottenuto dalla media delle frequenze misurate in diverse parti del sistema. Il concetto di wide-synchronization control può essere applicato sia nel caso di grid-following sia nel caso di grid-forming, anche se le due categorie di controllo comportano implementazione, opportunità e problematiche diverse. Il concetto di wide-synchronization control (WSC), normalmente adottato nelle reti di trasmissione, può essere opportunamente adattato ed esteso per applicazione a sistemi MVDC in modo che tali sistemi contribuiscano alla stabilità e alla sicurezza del sistema elettrico fornendo iniezioni di potenza attiva o reattiva attinte dalle risorse distribuite presenti nelle reti di distribuzione (storage stazionario, batterie dei veicoli elettrici, impianti fotovoltaici ed eolici, etc). Il sistema di controllo dei convertitori di potenza nelle stazioni di conversione può infatti essere modificato per ricevere in ingresso il segnale remoto rappresentante la frequenza di riferimento. Per effetto dell'azione di controllo integrata, la rete MVDC e le risorse di generazione a essa appartenenti possono partecipare effettivamente allo schema del WSC, e contribuire così allo smorzamento e alla stabilità dell'intero sistema elettrico. La gestione delle risorse interne al sistema MVDC per la partecipazione allo schema di controllo può essere effettuata in accordo a logiche e algoritmi ottimali, specificatamente definiti per la particolare rete MVDC e le relative caratteristiche. La determinazione del segnale di riferimento wide-area sarà sempre effettuata a livello centralizzato, ma gli attuatori dello schema di controllo saranno le risorse di generazione distribuita presenti all'interno delle reti ibride MVDC. In quest'ottica, la LA si pone come scopo la definizione delle basi teoriche e del complesso delle equazioni matematiche per l'adozione del wide-synchronization control nelle reti di distribuzione anche in presenza di sistemi MVDC. Nella LA saranno messe in luce anche le principali differenze con il caso della trasmissione, i vincoli da tenere in considerazione per l'implementazione del controllo, i vantaggi per la sicurezza e la stabilità del sistema elettrico nonché i limiti di implementazione della tecnologia.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA1.7 consiste in:

- Un Rapporto tecnico contenente:
  - o la definizione delle basi teoriche e del complesso delle equazioni matematiche per l'adozione del wide-synchronization control nelle reti di distribuzione anche in presenza di sistemi MVDC;
  - o le principali differenze con il caso della trasmissione;
  - o i vincoli da tenere in considerazione per l'implementazione del controllo;
  - o i vantaggi per la sicurezza e la stabilità del sistema elettrico;
  - o i limiti di implementazione della tecnologia.

**LA 1.8: Sviluppo di modelli e metodo di calcolo innovativi per la pianificazione risk-based a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione MT finalizzata all'incremento dell'Hosting Capacity e il miglioramento della resilienza****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica [UNICA-DIEE]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

Il settore dei sistemi elettrici per l'energia, e in particolare il livello di distribuzione in Media Tensione (MT), sta vivendo attualmente un cambiamento significativo di paradigma, puntando massicciamente sulla pianificazione strategica e la gestione esperta per risolvere le nuove sfide portate dalla proliferazione di veicoli elettrici (VE), di carichi con elevata potenza di picco (pompe di calore), e di impianti di produzione da fonti energetiche rinnovabili non programmabili (FERNP). Grande attenzione è posta all'individuazione delle soluzioni più convenienti (tecnicamente ed economicamente) per consentire alle reti elettriche di distribuzione di accogliere un numero sempre maggiore di queste nuove utenze, preservando gli elevati standard di qualità e continuità del servizio raggiunti negli ultimi anni. Lo sfruttamento della flessibilità, disponibile nelle molteplici risorse energetiche distribuite (generazione, carico controllabile, accumuli elettrochimici sia stazionari sia mobili) e nella gestione avanzata delle reti elettriche (formazioni di isole intenzionali, riconfigurazione online, Soft Open Points, Dynamic Thermal Rating), si è stabilmente affiancato al tradizionale rinforzo di rete per la risoluzione delle principali contingenze ed è, quindi, diventato una opzione da integrare nelle moderne procedure di pianificazione a medio e lungo termine per l'incremento dell'Hosting Capacity (HC). Poiché gli eventi climatici estremi, che possono compromettere pesantemente l'integrità del sistema di distribuzione, stanno diventando sempre più frequenti, anche la resilienza si sta affiancando all'HC tra gli obiettivi di pianificazione a lungo termine. E la flessibilità prima citata può diventare un importante strumento anche per garantire elevati livelli di resilienza del sistema elettrico di distribuzione, ad esempio consentendo di ripristinare rapidamente la fornitura elettrica tramite la formazione di microreti e isole intenzionali.

In questo contesto, tramite l'attività combinata delle LA1.8 e LA2.16 si intende realizzare un tool di pianificazione a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione finalizzato all'incremento della HC e al miglioramento della resilienza. In particolare, nell'LA1.8 saranno definiti i principali modelli (rappresentativi e di calcolo) per la realizzazione di un moderno strumento di pianificazione risk-based, integrando soluzioni di pianificazione tradizionali (rinforzi di rete) e basate sulla gestione attiva (flessibilità). Questi modelli devono essere in grado di catturare la natura incerta del comportamento delle differenti utenze esistenti e future, della fornitura di flessibilità dalle risorse disponibili, e degli scenari di sviluppo, in modo da valutare le probabilità di occorrenza delle specifiche contingenze e definire una soluzione nel lungo periodo in grado di minimizzare il rischio di violazione dei vincoli tecnici e i costi complessivi di rete, massimizzando nello stesso tempo le prestazioni del sistema.

Una parte importante della ricerca sarà dedicata alla identificazione delle metriche da adottare per misurare l'HC della rete e la sua resilienza. Per il primo parametro, si osserva che inizialmente l'HC era focalizzata esclusivamente all'integrazione delle FERNP, si è successivamente evoluta per includere l'impatto delle stazioni di ricarica dei veicoli elettrici, ed ha oggi assunto un concetto più ampio e generale per includere le diverse sfide portate dalla transizione energetica e dall'elettrificazione del carico. Per quanto riguarda la seconda metrica, essa sarà basata sul calcolo dell'area del triangolo della resilienza, in grado di tener conto non solo della robustezza del sistema elettrico, ma anche della rapidità con cui l'alimentazione elettrica viene ripristinata agli utenti finali.

I metodi di calcolo della rete elettrica saranno di tipo stocastico, andando ad investigare approcci in grado di rendere più precisa la rappresentazione del comportamento incerto delle varie utenze di rete (ad esempio, mediante il metodo delle Copule), riducendo allo stesso tempo la mole di calcoli da sostenere (ad esempio, tramite la programmazione lineare e la Benders' decomposition). In quest'ottica, saranno investigate anche tecniche basate sul Machine Learning e l'Intelligenza Artificiale, andando a confrontarle con i precedenti approcci stocastici, al fine di individuare le migliori soluzioni da implementare nelle attività dell'LA2.16.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA1.8 consiste in:

- un Rapporto Tecnico in cui saranno descritte e confrontate le differenti soluzioni esaminate per le metriche dell'HC e della resilienza nelle reti elettriche di distribuzione MT, i modelli stocastici rappresentativi del comportamento delle utenze (generatori, carichi, ricarica dei veicoli elettrici, ...) e della loro flessibilità disponibile, il modello per il Dynamic Thermal Rating applicato alle linee elettriche e ai trasformatori delle reti MT, i modelli di calcolo stocastico delle reti elettriche di distribuzione (calcoli di Load Flow per la stima delle condizioni di esercizio della rete e di Optimal Power Flow per l'ottimo sfruttamento della flessibilità disponibile) e il confronto con approcci Machine Learning e di Intelligenza Artificiale.
- I prototipi dei singoli tool di calcolo (sviluppati in linguaggio Python) per la valutazione delle prestazioni dei vari modelli sviluppati.
- I risultati dei test condotti per confrontare le differenti soluzioni in termini sia di precisione dei risultati sia di onere computazionale.
- Le scelte finali sulle metriche e sui modelli che saranno implementati nello strumento software di pianificazione sviluppato nella LA2.16.



**LA 1.9: Sviluppo di una metodologia e di uno strumento software per la riconfigurazione topologica delle reti nello studio dell’impatto di eventi climatici avversi sulla affidabilità delle reti elettriche di distribuzione**

**Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**  
Politecnico di Bari [POLIBA]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18** **Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €**

**Descrizione attività**

Questa attività si inserisce sulla scia dei risultati conseguiti nel Progetto 2.3 PTR XXXX-XXXX nello sviluppo di un software tool per la riconfigurazione ottimale di rete. Nel corso di questa attività la metodologia sarà estesa al fine di poter incrementare la scalabilità e considerare la possibilità di gestire sistemi con più sorgenti di alimentazione, e reti di distribuzione più complesse. Questo tipo di approccio consente anche la verifica degli impatti dei guasti su sistemi a doppia alimentazione, come lo schema a “festone” spesso utilizzato dai distributori per incrementare la affidabilità delle reti (v. ad esempio Piano di Resilienza 2022-2024 di e-distribuzione). Verrà inoltre verificata la possibilità di riconfigurare la rete a seguito di un guasto singolo e prevenire gli impatti di un guasto doppio. [DA FORNIRE]

**Descrizione risultati e deliverables**

DA FORNIRE

LA 1.10:

**Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli" - Dipartimento di Ingegneria [UNICAMP-DI]

**Mese inizio:** 1 - **Mese fine:** 18

**Costo totale LA (escluse spese generali):** 0,00 €

**Descrizione attività**

DA FORNIRE

**Descrizione risultati e deliverables**

DA FORNIRE

BOLZA

LA 1.11:

Affidatario/Co-beneficiario responsabile:

Università degli Studi di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni [UNIFI-DETEC]

Mese inizio: 1 - Mese fine: 18

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

Descrizione attività

DA FORNIRE

Descrizione risultati e deliverables

DA FORNIRE

BONZA

## WP 2

## Modellistica e sperimentazione a supporto della pianificazione delle reti elettriche

TRL iniziale: 4

TRL finale: 6

## Obiettivi:

**LA 2.1: Implementazione di modelli di ottimizzazione multiobiettivo avanzati a supporto della pianificazione a breve termine delle reti****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

Modelli efficaci di pianificazione delle reti elettriche non possono prescindere dalla effettiva possibilità di coinvolgere attivamente l'utente finale. Le dinamiche sociali, come distribuzione della popolazione, abitudini di consumo e partecipazione comunitaria, influenzano la resilienza e flessibilità della rete. Solo comprendendo queste variabili è possibile pianificare reti che consentano l'adozione di soluzioni tecnologiche e partecipative come il demand response e le comunità energetiche.

La letteratura tecnico-scientifica mostra che nonostante la numerosità di modelli e tool di pianificazione esistenti, si rende necessario integrare nei modelli variabili sociologiche che consentano di valutare la disponibilità potenziale di carichi attivi utili per la gestione della flessibilità della rete in ottica di incrementarne la resilienza. In tali premesse, la LA2.1 punta a sviluppare modelli di ottimizzazione a breve termine per la gestione delle reti elettriche, che integrano agli aspetti tecnici ed economici, valutazioni sulle variabili sociali. L'organizzazione dell'attività prevede:

- 1) analisi di metodologie e modelli di pianificazione e operativi di rete innovativi che tengono conto anche degli aspetti sociali e che portano benefici anche al sistema elettrico;
- 2) individuazioni delle variabili rilevanti da inserire nel modello di ottimizzazione multi-obiettivo;
- 3) identificazione di metodologie per trasformare le informazioni qualitative in quantitative;
- 4) definizione di un modello che tenga conto delle variabili socio ambientali individuate in letteratura;
- 5) analisi della letteratura, dei database disponibili on line per il reperimento dei dati necessari;
- 6) test del modello su reti pilota per valutare la bontà dei risultati.

Gli scenari in output alla LA2.1 saranno forniti alla LA2.9 per la verifica dell'impatto della applicazione alle reti elettriche mediante esecuzione di OPF.

Il Rapporto Tecnico "Implementazione di modelli di ottimizzazione multiobiettivo a supporto della pianificazione a breve termine delle reti negli scenari energetici futuri", fornito al termine della LA, illustrerà:

- Analisi della letteratura per identificare le principali variabili socio- ambientali capaci di apportare miglioramenti al sistema elettrico e delle tecniche utili alla quantificazione delle variabili qualitative.
- Sviluppo di modelli di pianificazione basati su tecniche di ottimizzazione multi-obiettivo.
- Studio dei Database pubblici per il reperimento delle informazioni utili al test su casi studio del modello sviluppato.
- Test dei modelli sugli scenari di simulazione.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA2.1 consiste in:

- Rapporto Tecnico LA2.1: "Implementazione di modelli di ottimizzazione multiobiettivo avanzati a supporto della pianificazione a breve termine delle reti"
- Modelli di ottimizzazione multiobiettivo a supporto della pianificazione a breve termine delle reti elettriche
- Risultati dei test dei modelli sugli scenari di simulazione corredati di analisi degli aspetti sociologici.

**LA 2.2: Modelli avanzati di previsione del consumo energetico e generazione rinnovabile a breve termine propedeutici alla predizione dei nodi critici****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

L'obiettivo principale dell'attività è individuare e valutare modelli avanzati di previsione del consumo energetico a breve termine da utilizzare per ottenere la predizione delle aree critiche nell'ambito della LA2.9.

Il contesto applicativo di riferimento è caratterizzato da una scarsa disponibilità di dati storici, che potrebbe non consentire l'apprendimento di un modello di previsione dedicato basato esclusivamente su dati esistenti. Inoltre, i modelli individuati, devono essere flessibili in modo da poter essere utilizzati per la previsione dei consumi di diversi utenti. Tra le diverse tecniche si esploreranno anche i recenti modelli fondazionali che utilizzano tecniche avanzate di machine learning, impiegando strutture pre-addestrate in grado di fornire previsioni accurate anche in condizioni di scarsità di dati. Grazie alla loro flessibilità, possono essere utilizzati in vari scenari e per diverse tipologie di utenze. L'attività si occuperà anche della previsione della generazione rinnovabile (fotovoltaico ed eolico) utilizzando i modelli studiati in un precedente progetto in cui ENEA è stata coinvolta e che hanno dimostrato la loro efficacia. Avendo a disposizione la previsione di consumo e di generazione rinnovabile a breve termine sarà possibile all'attività LA2.9 di effettuare il Load Flow della rete considerata così da prevedere le aree più critiche.

Nella prima parte dell'attività, si effettuerà uno studio della letteratura sulla tematica della previsione a breve termine dei consumi energetici e delle metodologie più diffuse (partendo dalle tecniche classiche fino a quelle basate su deep learning), focalizzandosi, nella seconda parte, sui diversi approcci applicabili nei contesti applicativi in cui vi è poca disponibilità di dati storici (come quelli fondazionali). La terza parte sarà dedicata alla valutazione dei modelli di previsione individuati valutando la loro capacità predittiva e la loro flessibilità di utilizzo.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA2.2 consiste in:

- Un rapporto tecnico che descrive i diversi approcci di previsione del consumo energetico a breve termine applicabili nei contesti applicativi dove vi è una scarsa disponibilità di dati storici. Il rapporto tecnico mostrerà anche i dettagli degli approcci di previsione della generazione rinnovabile (fotovoltaico ed eolico) considerati.
- Individuazione di almeno un modello di previsione del consumo energetico a breve termine applicabile in un contesto con scarsa disponibilità di dati storici.

**LA 2.3: Definizione dei requisiti di una infrastruttura sperimentale per l'analisi delle distorsioni delle grandezze elettriche e la valutazione della Power Quality delle reti e microreti di distribuzione e delle relative procedure di test****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18**

**Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €**

**Descrizione attività**

Le reti elettriche risultano caratterizzate da sistemi di generazione, accumulo e carichi collegati alle linee elettriche mediante apparati di interfaccia e conversione di tipo switching. Essi forniscono in uscita forme d'onda non perfettamente sinusoidali, le cui componenti distorte determinano inquinamento armonico nella rete. A ciò si aggiunge la presenza di carichi non lineari, responsabili, anch'essi, di distorsioni delle grandezze elettriche. Tali distorsioni possono costituire un fattore di deterioramento delle prestazioni degli apparati e della power quality della rete elettrica, giacché provocano un incremento delle perdite e l'innalzamento della temperatura dei conduttori. In casi estremi, tale surriscaldamento può causare incendi [REO Inductive components, Power Factor correction and Harmonics, v02/08]. Negli scenari al 2030 e al 2050, questa problematica diventa maggiormente critica per effetto del cambiamento climatico con l'aumento delle temperature medie e dell'attuazione delle misure di decarbonizzazione che prevedono una massiva introduzione di generazione da fonti rinnovabili nelle reti elettriche. La presenza di armoniche dovute ai convertitori switching ed ai carichi non lineari peggiorerebbe, ancora di più, la condizione di funzionamento di apparati e linee elettriche. Lo stress termico, dovuto ad incremento della temperatura ambiente e al surriscaldamento causato dalle armoniche, potrebbe inficiare sull'affidabilità dei singoli apparati e della rete nel suo complesso con conseguenze, in termini di deterioramento della power quality e di disalimentazioni, per gli utenti del sistema elettrico. Diverse sono le soluzioni di filtraggio presentate in letteratura e disponibili in commercio. Particolarmente interessanti risultano le soluzioni di compensazione e mitigazione delle distorsioni armoniche. Una soluzione promettente si basa su filtri di tipo attivo che, a partire dalla forma d'onda distorta che ricevono in ingresso, generano elettronicamente una nuova forma in grado di annullare l'effetto delle armoniche della precedente. Un filtro attivo può agire contemporaneamente su decine di armoniche, eliminando le componenti distorte che esse provocano. In tale contesto risulta indispensabile poter analizzare la tipologia e l'entità delle distorsioni elettriche al fine di valutare la power quality della rete negli scenari energetici futuri tenendo in conto la significativa integrazione di rinnovabili (in accordo ai target di decarbonizzazione) ed i vantaggi che si ottengono avvalendosi di soluzioni di filtraggio. Le condizioni continuamente variabili delle grandezze elettriche di rete rendono poco significativa un'analisi comparativa condotta ante ed ex post l'integrazione di filtri. Al fine di valutare correttamente i benefici del filtraggio occorre avere a disposizione sistemi elettrici identici operanti in identiche condizioni di rete. Tali caratterizzazioni possono essere condotte in laboratorio mediante idonea strumentazione, circuiti di test e catene di misura per l'acquisizione contemporanea dei dati per la valutazione delle grandezze di interesse. Risulta, inoltre, necessario procedere anche alla valutazione degli impatti che le armoniche determinano sui diversi apparati e componenti di rete. In tali premesse, la LA 2.3 sarà dedicata alla definizione di:

- Requisiti di una infrastruttura sperimentale per l'analisi delle distorsioni delle grandezze elettriche e la valutazione della Power Quality delle reti e microreti di distribuzione

Tale infrastruttura, che verrà realizzata nella LA2.10, dovrà essere equipaggiata con strumentazione e circuiteria idonea alla conduzione di test in condizioni reali ed emulate (Hardware In the Loop) di reti e microreti elettriche affette da distorsioni elettriche e dovrà essere dotata anche di meter e sensori per la valutazione degli impatti di tali distorsioni, ed il conseguente stress termico, sui diversi apparati e componenti delle reti e microreti.

- Procedure di test per l'analisi delle distorsioni armoniche che possono avere impatti negativi sulle prestazioni di reti e microreti elettriche.
- Per lo svolgimento delle attività delle LA2.3 e LA2.10, l'ENEA si avvarrà, mediante finanziamento di una borsa di studio, delle competenze di un dottorando del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Tecnologie dell'Informazione dell'Università "Federico II" di Napoli.

**Descrizione risultati e deliverables**

Il principale output della presente LA sarà costituito da:

- rapporto tecnico sui requisiti e gli interventi necessari alla realizzazione di un laboratorio per la caratterizzazione sperimentale di reti e microreti affette da distorsioni elettriche e sulla definizione di procedure di test per la valutazione delle prestazioni, degli impatti e dello stress termico che esse determinano sui diversi apparati e componenti di rete.

**LA 2.4: Setup dei Test sperimentali per la valutazione della sensitività di componenti delle reti elettriche soggetti a stress termo-igrometrici****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

In continuità con le attività sperimentali svolte nel precedente Piano Triennale (Progetto 2.3 – PTR2022-2024), lo scopo della seguente LA consiste nella predisposizione delle prove per la caratterizzazione sperimentale di componenti delle reti elettriche con il fine di valutarne le variazioni delle caratteristiche elettriche e fisiche in presenza di eventi estremi derivanti dal cambiamento climatico.

In tal senso, le prove saranno finalizzate a valutare la sensitività dei componenti sottoposti a stress termo-igrometrici anche in ottica di evidenziarne problematiche di invecchiamento accelerato. Le prove, condotte nel II SAL (LA2.5), saranno impostate nella presente LA.

I test interesseranno componenti elettrici per i quali è difficile reperire in letteratura dei dati sperimentali come cavi in bt, giunti e interruttori e saranno condotti sia in modalità off-line, utilizzando una camera climatica, che in modalità on-line mediante l'utilizzo di vasca prototipale.

L'attività di ricerca sperimentale della LA2.4 si articolerà nelle seguenti fasi:

- una prima fase di definizione della metodologia di prova in cui saranno definite le modalità di esecuzione del test sperimentale ed i profili di temperatura e/o umidità a cui sarà sottoposta la componentistica da analizzare. La componentistica sarà prescelta tra i componenti elettrici per i quali è difficile reperire in letteratura dei dati sperimentali e che non sia stata già caratterizzata nel Progetto 2.3 PTR 2022-2024;
- una seconda fase di setup in cui verranno realizzati i cablaggi di segnali tra la suddetta componentistica e i diversi apparati di monitoraggio delle grandezze di interesse al fine di eseguire delle sedute di test sia in real-time (su componenti durante il funzionamento di esercizio normale, come giunti in vasca sperimentale) che off-line (in camera climatica al fine di valutare degradamenti temporali a lungo termine, per esempio aging);
- una terza fase validazione dei suddetti cablaggi di segnale e di potenza e calibratura dell'attrezzatura sperimentale principale con particolare riferimento alla camera climatica e alla vasca sperimentale, al fine di valutare le dinamiche temporali termo-igrometriche per l'impostazione corretta della fase sperimentale.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della linea di LA2.4 consiste in:

- Rapporto tecnico descrittivo del setup dei test sperimentali

Il Rapporto descriverà le modalità di prova nonché la configurazione dell'ambiente sperimentale e le procedure di calibrazione della camera climatica e della vasca sperimentale con particolare riferimento alla descrizione delle dinamiche temporali dei gradienti termici, utili alla definizione degli input delle successive prove sperimentali.

## LA 2.5: Test sperimentali e Creazione e popolazione di un database di dati sperimentali risultanti da test stress termo-igrometrici su componenti delle reti elettriche

### Affidatario/Co-beneficiario responsabile:

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 19 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

### Descrizione attività

L'obiettivo della presente LA consiste nell'esecuzione di test sperimentali e nella successiva creazione e popolazione di un database di dati sperimentali risultanti da test stress termo-igrometrici sulla componentistica delle reti elettriche individuata nella precedente LA2.4. Al fine di valutare la dipendenza dei principali parametri caratteristici del componente analizzato in funzione dei cambiamenti climatici saranno condotti test sia offline utilizzando una camera climatica in cui il componente sarà sottoposto a cicli di invecchiamento variando la temperatura e l'umidità ambiente, ma anche online mediante l'utilizzo di vasca prototipale che permetterà di monitorare le grandezze elettriche e fisiche di interesse in campo del componente variandone le condizioni di temperatura e/o umidità.

I risultati delle sessioni sperimentali saranno collezionati mediante la creazione e la popolazione di un data base dedicato che sarà strutturato al fine di riportare i seguenti parametri:

- Temperatura e umidità di prova
- Temperature rilevate sulla componentistica analizzata (ad esempio temperatura delle guaine dei cavi)
- Parametri elettrici caratteristici del componente analizzato (tensioni, correnti, impedenza)

Ogni sessione di test prevederà pertanto le seguenti fasi:

- definizione del data base costituito dagli input di prova, quali valori di temperatura e di umidità a cui verrà sottoposto il componente, e dagli output di prova intesi come grandezze fisiche (ad esempio temperature delle guaine e dei core dei cavi) e grandezze elettriche, come cadute di tensione, correnti e impedenza elettrica del componente analizzato e scelta del formato per la consultazione dei risultati sperimentali.
- fase di esecuzione dei test sperimentali sia off-line mediante camera climatica per la valutazione dell'effetto dell'aging dovuto ai cambiamenti climatici che on-line per la valutazione delle grandezze fisiche/elettriche di interesse durante le condizioni di funzionamento operative del componente, mediante camera climatica e/o vasca sperimentale per i giunti.
- popolazione del suddetto data base riportando la specifica delle prove ed i risultati dei test.

### Descrizione risultati e deliverables

L'output della presente LA consiste in:

- Rapporto tecnico descrittivo dei risultati della sperimentazione
- Data base DB con specifica delle prove e risultati dei test per ogni componente analizzato

Durante l'esecuzione dei test verranno acquisiti gli andamenti di temperatura e umidità di prova (nel caso di prove di aging i cicli di temperatura e/o umidità a cui verrà sottoposto il componente) e le forme d'onda delle grandezze elettriche come tensioni correnti, impedenza e delle temperature relative ad ogni componente analizzato.



**LA 2.6: Definizione di un modello per la caratterizzazione degli effetti dei guasti alla rete elettrica sulle reti idriche****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 1 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

**Descrizione attività**

Le reti di utilità tra cui energia, acqua e telecomunicazioni sono diventate sempre più complesse ed interdipendenti per ragioni di natura economica, sociale, politica e tecnologica. Se ciò ha consentito di migliorare la qualità dei servizi erogati e contenerne i costi, ha tuttavia indotto in queste reti un più alto livello di vulnerabilità dovuto a eventi naturali o meno che ne possono provocare danneggiamenti e malfunzionamenti in maniera diretta o indiretta.

Le reti elettriche svolgono un ruolo vitale nel sostenere la società moderna e sono fondamentali per fornire servizi essenziali in settori come salute, acqua, acque reflue, tele-comunicazioni, ecc. In particolare, per quanto riguarda le reti di approvvigionamento e distribuzione dell'acqua destinate al consumo domestico, irriguo e industriale, sono diversi i dispositivi che richiedono un'alimentazione elettrica per il funzionamento del servizio idrico. Ciò determina una forte dipendenza della rete idrica dalla rete elettrica. Tuttavia, più in generale, l'acqua, anche riutilizzata, è necessaria per esempio per il raffreddamento delle centrali termoelettriche o per la produzione di idrogeno verde. Questo evidenzia una dipendenza reciproca tra infrastrutture elettriche e idriche.

Nella letteratura attuale esistono numerosi studi che illustrano l'effetto dei fenomeni naturali incluso i terremoti sulle reti elettriche. La storia insegna che i disastri naturali legati ai cambiamenti climatici, come le inondazioni e le ondate di calore anomale, sono elementi critici per il funzionamento delle reti elettriche. Quali siano gli effetti che situazioni critiche nelle reti elettriche possono causare in sistemi fortemente interconnessi come quelli dedicati al servizio idrico non sono altrettanto ben compresi.

La presente LA intende sviluppare un modello digitale per la caratterizzazione degli effetti dei guasti alla rete elettrica sulle reti idriche. In particolare, sarà sviluppato un modello geometrico e di simulazione del funzionamento idraulico di una rete di distribuzione (urbana o irrigua) che include il funzionamento degli elementi energivori della stessa al fine di valutare quantitativamente l'impatto dei malfunzionamenti della rete elettrica sul servizio idrico erogato.

Lo sviluppo del modello digitale si articolerà in 5 fasi successive:

- Identificazione del caso studio rete idrica-rete elettrica (reti di utilità reali o rappresentative)
- Caratterizzazione delle reti nelle loro componenti fisiche e geografiche
- Identificazione delle connessioni rete idrica e rete elettrica e selezione di componenti energivori della rete idrica (es. le pompe)
- Costruzione del modello di simulazione idraulica della rete di distribuzione idrica che includa il funzionamento dei componenti energivori identificati
- Simulazione e analisi di scenari di funzionamento della rete idrica in funzione del mancato o parziale funzionamento di elementi energivori presenti lungo la rete.

Il gemello digitale sviluppato nella LA dovrà essere in grado di simulare il comportamento idraulico della rete in funzione del funzionamento ordinario o straordinario degli elementi fisici energivori. Saranno raccolti i dati geometrici, topologici e funzionali relativi alla rete idrica pilota (rete idrica reale o rappresentativa) selezionata, generando attraverso appositi strumenti software (e.g. ESRI-ArcGIS Pro, Innovize -Infowater) il modello geometrico-spaziale della rete idrica, comprendente i diversi componenti fisici che la compongono e i parametri caratteristici. I dati saranno acquisiti dalla letteratura, banche dati pubbliche o tramite interazioni con l'ente gestore in caso di rete pilota reale. A partire dal modello geometrico, sarà generato e calibrato il modello idraulico della rete idrica attraverso appositi codici di calcolo come EPA-EPANET. Saranno identificati e modellati attraverso i parametri caratteristici i punti di interconnessione della rete idrica con la rete elettrica ovvero gli elementi energivori presenti sulla rete come, per esempio, le pompe utilizzate come collegamento tra diversi serbatoi situati in una rete cittadina o come dispositivi per l'estrazione di volumi d'acqua da pozzi e falde acquifere. Saranno elaborati scenari di funzionamento ordinario delle reti idrica ed elettrica e scenari di comportamento della rete idrica in corrispondenza di situazioni straordinarie di funzionamento di specifici componenti energivori a seguito di casi di interruzione totale o parziale dell'alimentazione elettrica.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output di questa LA sarà costituito da:

- Un rapporto tecnico descrittivo dell'attività svolta;
- un gemello digitale di una rete di distribuzione idrica in grado di simulare il comportamento idraulico della rete in funzione del funzionamento ordinario o straordinario degli elementi fisici energivori.

## LA 2.7: Studio delle tecnologie per la pianificazione di scenari energetici a medio-lungo termine da implementare nelle configurazioni delle reti elettriche e implementazione dei relativi modelli di pianificazione a breve termine

### Affidatario/Co-beneficiario responsabile:

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 19 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

### Descrizione attività

individuare la configurazione delle reti elettriche nei futuri scenari energetici (ad esempio 2040, 2050). Nella prima fase verrà condotta una ricerca approfondita per identificare e classificare le tecnologie emergenti che possono avere un impatto significativo sulle reti energetiche. Tra queste, si considereranno tecnologie come le reti intelligenti, i sistemi avanzati di accumulo dell'energia (come le batterie a stato solido e le soluzioni di stoccaggio a lungo termine), le tecnologie di generazione distribuita (come i pannelli fotovoltaici e le turbine eoliche domestiche), nonché le tecnologie di gestione della domanda (demand response).

Una volta identificate le tecnologie rilevanti, si procederà a un'analisi del loro impatto sulle reti energetiche, valutando la capacità di integrazione nei sistemi esistenti, i benefici in termini di efficienza e affidabilità, oltre alle sfide legate alla loro implementazione su larga scala. L'analisi comprenderà anche una valutazione dei costi associati all'adozione di queste tecnologie e dei potenziali ritorni economici.

L'obiettivo finale dello studio è identificare, nel medio-lungo termine, quali tecnologie potranno essere sostituite e quali diventeranno centrali. Questo processo condurrà alla definizione di nuove configurazioni di rete, che verranno, quindi, simulate applicando i modelli sviluppati nella LA2.1 per le valutazioni a breve termine.

L'esecuzione della LA sarà articolata come segue:

1. Esplorazione degli scenari futuri: Si analizzeranno scenari basati su tendenze tecnologiche, politiche e di mercato, con focus su decarbonizzazione, elettrificazione e innovazione tecnologica. Si considereranno fattori come la transizione verso energie rinnovabili e normative ambientali.
2. Valutazione dell'impatto degli scenari: Si valuteranno le esigenze infrastrutturali, i cambiamenti nella gestione delle risorse e le sfide, tenendo conto di variabili sociali come la densità abitativa e il tipo di utenza.
3. Definizione delle configurazioni di rete negli scenari energetici futuri
4. Sviluppo di un modello di pianificazione sul breve termine da applicare alle configurazioni di rete identificate: a partire dalle variabili e dai modelli sviluppati nella LA2.1, verrà implementato un nuovo modello che integri le tecnologie emergenti.
5. Valutazione e validazione dei modelli: i modelli saranno testati con simulazioni basate su dati storici e reali per verificarne l'affidabilità e l'adattabilità ai cambiamenti secondo l'approccio già descritto nella LA2.1.

Il Rapporto Tecnico "Studio delle tecnologie per la pianificazione di scenari energetici a medio-lungo termine da implementare nelle configurazioni delle reti elettriche", fornito al termine della LA, illustrerà:

- I risultati dell'analisi delle tecnologie emergenti e la valutazione dei modelli sviluppati. In particolare, sarà fornita una panoramica delle tecnologie analizzate, i risultati dell'impatto delle tecnologie e le raccomandazioni per la loro integrazione nelle reti energetiche.
- Modelli di Pianificazione sul breve termine che includano le tecnologie emergenti.
- Test dei modelli sugli scenari di simulazione.

### Descrizione risultati e deliverables

L'output della LA2.7 consiste in:

- Rapporto Tecnico LA2.7: "Studio delle tecnologie per la pianificazione di scenari energetici a medio-lungo termine da implementare nelle configurazioni delle reti elettriche".
- Modelli di ottimizzazione multiobiettivo a supporto della pianificazione a breve termine delle reti negli scenari energetici futuri.

**LA 2.8: Sviluppo dei modelli affidabilistici dei componenti delle reti elettriche in funzione degli scenari climatici futuri****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 19 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

**Descrizione attività**

L'obiettivo della LA2.8 consiste nella codifica software dei modelli selezionati e implementati nella LA1.1 e nella relativa integrazione per la definizione del modello affidabilistico di rete. La codifica dei modelli sarà effettuata in Python poiché essi dovranno essere integrati nel software che verrà sviluppato nell'ambito della linea LA2.9. Il codice sviluppato costituirà un tool per la valutazione dell'affidabilità di componente e di fornitura. L'integrazione dei nuovi modelli verrà effettuata tenendo conto della struttura e delle necessarie interazioni con il software. Infatti, tutti i dati di input da fornire ai modelli affidabilistici verranno acquisiti tramite tale software che, oltre a gestire il flusso dati di input, gestirà anche l'output mediante una rappresentazione grafica dei risultati finali ottenuti e relativi all'affidabilità di componente e di fornitura. In tal senso, sarà necessario creare un dizionario comune per lo scambio dei dati. A valle dell'integrazione, il tool sarà applicato ad alcune reti test per valutare su specifici casi d'uso l'impatto del cambiamento climatico sull'affidabilità.

**Descrizione risultati e deliverables**

principali output prodotti dalla LA saranno:

- Rapporto Tecnico descrittivo della metodologia sviluppata e dei risultati delle simulazioni effettuate su specifici casi d'uso l'impatto del cambiamento climatico sull'affidabilità.
- tool per la valutazione dell'affidabilità di componente e di fornitura.

**LA 2.9: Sviluppo di un software per l'applicazione di metodi e strumenti innovativi per la pianificazione delle reti di distribuzione, anche ibride AC-DC****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 19 - Mese fine: 36****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

La presente LA si pone come obiettivo lo sviluppo di un applicativo software che integri i modelli sviluppati nell'ambito delle linee di attività ENEA per la pianificazione e lo studio delle reti elettriche sia AC, sia DC sia ibride.

La caratteristica principale dell'applicazione risiede nella capacità di predire eventuali criticità all'interno di una rete elettrica su orizzonti temporali a breve o lungo termine, considerando l'impatto delle attese variazioni climatiche sulle prestazioni, e quindi sull'affidabilità, dei componenti di rete e della fornitura.

La progettazione del software prevede un approccio modulare, permettendo lo sviluppo indipendente di ogni funzionalità. Lo sviluppo del software avverrà in ambiente open-source e il codice verrà prodotto in Python. Lo sviluppo dell'applicazione gioverà di moduli e caratteristiche disponibili nello strumento software ArsTool sviluppato nell'ambito del Progetto 2.3 Piano di Ricerca Triennale 2022-2024, importandone le funzionalità più significative ed arricchendosi dei risultati della ricerca del presente progetto.

Le funzionalità integrative che il software renderà disponibili all'utilizzatore sono:

- modellazione di una rete elettrica, mediante la definizione di nodi o busbar, degli elementi di connessione e conversione di tensione, e degli elementi terminali (carichi, generatori, accumulatori). Il software Arstool non dispone di tale funzionalità ma consente di richiamare reti predefinite da ENEA o importare reti preesistenti realizzate mediante diversi software di studio delle reti (e.g. DigSILENT PowerFactory, NEPLAN, OpenDSS, etc...);
- calcolo dei profili previsionali a breve termine di generazione e carico, a partire da dati storici forniti dall'utente.
- acquisizione dei profili climatici connessi alle zone geografiche definite dall'utente, da cui sarà possibile ricavare i relativi profili a medio/lungo termine di generazione da impianti PV o eolici, e i profili di carico relativi ai diversi settori (residenziale, industriale, trasporti).
- valutazione delle configurazioni ottimizzate su orizzonte temporale a breve e medio-lungo termine. In particolare, per la pianificazione a medio/lungo termine sarà disponibile la funzionalità di ottimizzazione delle tecnologie, all'interno della quale verranno implementati scenari che terranno conto delle evoluzioni delle tecnologie nel panorama energetico, nonché delle esigenze degli utenti della rete. Per la pianificazione a breve termine, l'applicazione proporrà una ottimizzazione della configurazione della rete e del management delle risorse, sulla base di obiettivi specifici, che possono essere economici, ambientali, sociali o una combinazione di questi.
- tool per la valutazione dell'affidabilità di componente e di fornitura dotato delle funzionalità innovative già descritte nella LA2.8;
- analisi delle criticità della rete delle configurazioni ottimizzate dai modelli di pianificazione su orizzonti temporali a breve o medio-lungo termine.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA2.9 consiste in:

- Un rapporto tecnico illustrativo del software sviluppato e delle relative funzionalità
- Il software open source implementato nella linea.

**LA 2.10: Valutazione sperimentale delle distorsioni di grandezze elettriche e della Power Quality di reti e microreti di distribuzione****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 19 - Mese fine: 36****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

La presenza di inquinamento armonico nelle reti e microreti elettriche può determinare fenomeni di risonanza, distorsioni delle grandezze elettriche e l'innalzamento della temperatura negli apparati e nelle linee elettriche. In tali condizioni lo stress termico incide l'efficienza degli apparati elettrici ed elettronici e può ridurre la durata di vita.

Negli scenari energetici al 2030 e 2050 caratterizzati dall'incremento della temperatura ambiente e dalla massiva integrazione di sistemi di generazione rinnovabile e di sistemi accumulo interfacciati alle linee elettriche mediante convertitori switching, si potrebbero avere impatti non solo sulla power quality, ma anche sull'affidabilità delle reti e delle microreti elettriche. Per analizzare le distorsioni legate all'inquinamento armonico, e l'impatto dell'incremento di temperatura dovuto al duplice impatto delle armoniche e del cambiamento climatico, i ricercatori ENEA realizzeranno il laboratorio, progettato nella LA2.3. L'obiettivo consiste nella realizzazione di un'infrastruttura che consenta l'implementazione di almeno due bench test che permettano la conduzione di test nelle identiche condizioni operative. A valle della realizzazione e del collaudo del laboratorio si procederà con la predisposizione di setup di misura e con l'esecuzione delle procedure di test nella LA2.3 al fine di effettuare la valutazione prestazionale di soluzioni per la mitigazione e/o compensazione delle armoniche. Sarà, inoltre, valutata la power quality della rete o della microrete di interesse in assenza ed in presenza delle soluzioni proposte. Esso sarà dotato di opportuna circuiteria di test, strumentazione hardware e software non solo per la valutazione quantitativa delle distorsioni elettriche e della power quality della rete, ma anche per la caratterizzazione delle soluzioni di compensazione/mitigazione delle armoniche, ed anche per la valutazione degli impatti del surriscaldamento e del conseguente stress termico sugli apparati e sui componenti di rete.

Per lo svolgimento delle attività delle LA2.3 e LA2.10, l'ENEA si avvarrà, mediante finanziamento di una borsa di studio, delle competenze di un dottorando del Dipartimento di Ingegneria Elettrica e Tecnologie dell'Informazione dell'Università "Federico II" di Napoli.

**Descrizione risultati e deliverables**

Il principale output della presente LA sarà:

- rapporto tecnico sulla valutazione degli impatti e stress termici, dovuti alle distorsioni armoniche ed al cambiamento climatico, sugli apparati, componenti e sulla power quality della rete, basandosi anche sulla caratterizzazione prestazionale delle soluzioni per la mitigazione e/o compensazione delle armoniche.

**LA 2.11: Quantificazione e analisi degli impatti di malfunzionamenti della rete elettrica sulla rete idrica****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 19 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

**Descrizione attività**

Le reti idriche moderne dipendono dall'energia elettrica per funzionare correttamente. Le pompe che alimentano i sistemi di distribuzione dell'acqua, gli impianti di depurazione e le infrastrutture di monitoraggio sono alimentate dall'energia elettrica. Un'interruzione nella rete elettrica può compromettere la capacità del sistema idrico di fornire acqua potabile e garantire la qualità dell'acqua.

Un'interruzione della rete elettrica potrebbe avere effetti devastanti sul sistema idrico. Per esempio, se un'interruzione elettrica blocca il funzionamento delle pompe, le conseguenze possono variare dall'interruzione della distribuzione dell'acqua nelle abitazioni, all'impossibilità di alimentare ospedali o servizi di emergenza con acqua potabile, fino al rischio di contaminazione in mancanza di impianti di depurazione attivi. La capacità di valutare anche in maniera predittiva gli impatti dei malfunzionamenti della rete elettrica sulla rete idrica è cruciale per garantire la sicurezza e la continuità della fornitura di servizi essenziali come quello di erogazione di acqua potabile. Comprendere le interconnessioni tra i sistemi elettrico ed idrico, modellare le possibili situazioni di guasto e pianificare soluzioni per mitigare i rischi contribuisce a rafforzare la resilienza delle infrastrutture, proteggendo la salute pubblica e l'ambiente, oltre a ridurre i costi economici e sociali legati alla gestione delle emergenze. Il concetto di resilienza sta cambiando in virtù dell'interdipendenza tra le reti elettrica e idrica, estendendosi da obiettivo della singola rete ad obiettivo congiunto di entrambi le reti idriche poiché una vasta gamma di fattori concomitanti, come l'aumento della popolazione, l'invecchiamento delle infrastrutture e i cambiamenti climatici, minacciano sempre più la capacità di queste reti di garantire i servizi erogati con continuità e con livelli accettabili di affidabilità. Per resilienza si intende la capacità dei sistemi di rete di affrontare e adattarsi ai cambiamenti dopo un'interruzione che può derivare da un qualsiasi possibile pericolo. La resilienza di una rete idrica può essere migliorata attraverso l'adozione di tecnologie alternative, come sistemi di pompaggio a energia solare o altre forme di energia distribuita.

La presente LA intende investigare la resilienza di reti idriche in relazione alla loro dipendenza dalle reti elettriche. In particolare, sarà sviluppata una metodologia in grado di valutare quantitativamente l'interdipendenza tra reti elettriche e reti idriche a scala urbana. Lo scopo è rendere disponibile un metodo ed uno strumento di pianificazione per la mitigazione degli eventi di interruzione dell'alimentazione elettrica sulla rete di distribuzione idrica. La metodologia di analisi sarà basata su un approccio euristico attraverso cui saranno identificati e analizzati "casi" specifici ovvero specifici scenari di guasto della rete elettrica. Sulla base dei risultati relativi ai casi selezionati, si deriva una regola generale. Gli impatti che gli scenari di guasto determinano sul sistema di distribuzione dell'acqua saranno studiati attraverso la combinazione di un modello di digitale della rete di distribuzione idrica e di un'analisi di affidabilità dei parametri idraulici.

A partire dal modello digitale di rete idrica, propriamente sviluppato nella LA2.6 ("Definizione di un modello digitale per la caratterizzazione degli effetti dei guasti alla rete elettrica sulle reti idriche"), che tiene in conto il funzionamento degli elementi energivori presenti lungo la rete, l'analisi si articolerà in 3 fasi principali:

- Analisi delle connessioni rete idrica e rete elettrica e selezione di componenti energivori critici per il funzionamento della rete idrica (es. le pompe).
- Definizione di un insieme rappresentativo di scenari di guasto della rete elettrica.
- Simulazione e analisi degli impatti di malfunzionamenti della rete elettrica sulla rete di distribuzione idrica, in particolare sulle portate distribuite e sulle pressioni nodali.

Gli scenari di funzionamento della rete saranno definiti considerando il mancato o parziale funzionamento (guasto totale o guasto parziale) del singolo elemento della rete idrica che richiede l'alimentazione elettrica per il corretto svolgimento della relativa funzione. A partire da questo primo insieme di scenari saranno identificati ulteriori scenari combinandoli tra loro opportunamente o, in condizioni di massima criticità, considerando che nessuno degli elementi energivori possa funzionare.

L'analisi degli impatti sarà basata su un insieme di indici propriamente definiti. Saranno prevalentemente indici sintetici calcolati a partire da due variabili dominanti del comportamento idraulico, ovvero le pressioni ai nodi della rete e le portate distribuite. Sulla base delle simulazioni del funzionamento idraulico della rete idrica in corrispondenza degli scenari definiti e degli indici calcolati sarà elaborata una analisi di affidabilità del funzionamento della rete idrica e quindi del livello di servizio idrico erogato ovvero degli effetti di malfunzionamenti della rete elettrica sulla rete idrica.

**Descrizione risultati e deliverables**

Il principale output della presente LA sarà:

- Un rapporto tecnico descrittivo dell'attività svolta e dei risultati ottenuti.
- Una metodologia di analisi degli impatti dei malfunzionamenti di reti elettriche su reti di utilità quali quella di distribuzione idrica.

**LA 2.12: Studio di fattibilità di modelli statistici e di machine learning per la valutazione o la previsione di effetti sulla operatività di infrastrutture elettriche locali in condizioni metereologiche estreme****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

**Mese inizio: 19 - Mese fine: 36****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

Come evidenziato dalle mappe di rischio della UE, il nostro Paese e altri paesi europei sono particolarmente soggetti a fenomeni alluvionali (<https://data.europa.eu/en/publications/datastories/europes-flood-management-navigating-data>). Tali fenomeni impattano fortemente sul sistema elettrico, rendendolo vulnerabile, in situazioni climatiche estreme. Servono, quindi, modelli che associno informazioni su clima ed energia per valutare possibili effetti di eventi climatici estremi sulle infrastrutture elettriche, e magari prevedere il rischio blackout. Su questo tema c'è ampio interesse della comunità scientifica: questi modelli infatti possono dare un contributo cruciale per ridurre l'impatto di inondazioni ed altri eventi estremi sulle infrastrutture e più in generale sulle comunità.

Come richiamato nell'ambito della LA1.6, la creazione di modelli è resa difficile dalla scarsa disponibilità di dati energetici pubblici, specialmente a livello sub-trasmissione e distribuzione, che mettano in relazione eventi climatici ed impatto sulle infrastrutture energetiche, necessari alla modellazione di interazioni clima-energia.

In tale contesto, a partire dalle risultanze della LA1.6, sarà condotto uno studio di fattibilità con l'obiettivo di valutare la possibilità di definire modelli per la valutazione o la previsione di effetti sulla operatività di infrastrutture elettriche locali in condizioni metereologiche estreme. Anche integrando o incrociando diversi dataset, si andrà a studiare la fattibilità di modelli per la valutazione degli effetti a livello locale in determinate condizioni metereologiche estreme o per la previsione di interruzioni di corrente. Area, livello di dettaglio del modello, fenomeno climatico da investigare dipenderanno dalla risoluzione spazio-temporale dei dati resi disponibili dalla LA1.6.

**Descrizione risultati e deliverables**

Il principale output della presente LA sarà:

- un Report sulla fattibilità di modelli basati sui dati per la valutazione degli effetti a livello locale in determinate condizioni metereologiche estreme o per la previsione di interruzioni di corrente.

**LA 2.13: Messa a punto e test P-HiL di un convertitore grid-forming con avanzata capacità diagnostica e funzionalità di supporto alla rete con sovraccaricabilità adattativa e massima affidabilità****Affdatario/Co-beneficiario responsabile:**

Politecnico di Torino - Dipartimento Energia [POLITO-DENERG]

**Mese inizio: 1 - Mese fine: 18****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

L'attività di ricerca prevede il completamento dell'assemblaggio e validazione funzionale del convertitore grid-forming trifase a tensione e frequenza industriale 400V, 50Hz di taglia 100 kVA realizzato nel precedente ADP. Il convertitore prototipale costruito con moduli di potenza a MOSFET SiC da 150 Arms, 1200V e con frequenza di switching pari a 20 kHz presenta capacità avanzate che lo distinguono rispetto ai convertitori di potenza convenzionali attualmente disponibili sul mercato. Queste innovazioni includono:

- Stima di temperatura di giunzione dei semiconduttori di potenza. Questa tecnologia risulta particolarmente vantaggiosa nei convertitori facenti uso di semiconduttori SiC in quanto permette di sfruttare appieno i dispositivi senza rischio di rottura per sovratemperatura.
- Sovraccaricabilità transitoria. La stima di temperature proposta permette di sovraccaricare transitoriamente il convertitore in totale sicurezza senza la necessità di sovradimensionare i semiconduttori di potenza. Questo risulta particolarmente vantaggioso nel caso di supporto alla rete, per esempio nel caso di sovraccarico transitorio per sopperire a un buco di tensione.
- Algoritmo di controllo grid-friendly. Verrà implementato un algoritmo di controllo grid-forming basato sulla tecnologia del generatore sincrono virtuale (VSM) capace di supportare la rete in caso di condizioni anomale (squilibri di carico, buchi di tensione...)
- Funzionalità di compensazione armonica: L'algoritmo di controllo sarà in grado di erogare la funzionalità di "harmonic sink", ovvero la capacità di contribuire al filtraggio delle distorsioni armoniche della tensione di rete, iniettando opportune correnti. Questa funzionalità è anche in grado di compensare gli squilibri di tensione eventualmente presenti in rete (sequenza inversa). Elevata stabilità transitoria: Il convertitore avrà un algoritmo di controllo in grado di garantire una maggiore stabilità transitoria in caso di buchi di tensione (evitare perdita di sincronizzazione con la rete). L'algoritmo riuscirà a colmare le problematiche dei controlli grid-forming convenzionali in questo senso.

Riguardo il funzionamento P-HiL per la validazione dei modelli di gestione delle reti, le funzionalità previste sono:

- Controllo in presenza di rete prevalente e/o in islanding
- Supporto alla rete in modalità Virtual synchronous machine (VSM)
- Valutazione sperimentale quantitativa del supporto alla rete garantito dal controllo VSM utilizzando modelli aggregati di rete sviluppati dal Politecnico o forniti da ENEA. La rete, grazie alla presenza del VSM, sarà soggetta a minori variazioni di frequenza in caso di sbilanciamento di carico e riceverà contributo alla corrente di corto circuito in caso di buchi di tensione
- Funzionalità harmonic-sink in presenza di rete distorta. Questo verrà emulato tramite un emulatore di rete opportunamente programmato. Il risultato atteso è una riduzione delle distorsioni armoniche nella tensione di rete al punto di connessione del convertitore
- Valutazione sperimentale della stabilità transitoria in confronto con una soluzione di controllo grid-forming convenzionale: capacità del convertitore di rimanere connesso alla rete durante il guasto senza perdere il sincronismo
- Stima accurata della temperatura ed algoritmo di commissioning della legge temperatura vs corrente e tensione di ON

In questa linea di attività sono anche previsti:

- Sviluppo di un sistema di Debug avanzato. Verrà sviluppato un nuovo sistema di debug e interfaccia lato utente in modo da permettere lo sviluppo agevole di algoritmi di controllo anche molto complessi. L'interfaccia permetterà di interfacciare il microcontrollore di controllo con l'ambiente MATLAB.
- Affinamento dell'interfaccia di controllo MODBUS.

**Descrizione risultati e deliverables**

La LA fornirà in output:

- Rapporto tecnico descrittivo delle attività di ricerca condotte.
- Firmware di controllo sviluppato per la diagnostica del convertitore.
- Firmware (lato microcontrollore) e software (lato PC) per permettere un debug avanzato del convertitore.
- Firmware (lato microcontrollore) e software (lato PC) dell'interfaccia di controllo MODBUS avanzata.
- Risultati sperimentali riguardanti la sovraccaricabilità del convertitore a seguito di vari eventi di rete. Risultati sperimentali riguardanti la diagnostica del convertitore. In particolare, verranno fornite le "mappe" di conduzione dei semiconduttori utilizzate dal sistema di diagnostica del convertitore.
- Risultati sperimentali a dimostrazione delle funzionalità di supporto alla rete, harmonic-sink, elevata stabilità transitoria



**LA 2.14: Prove di endurance del convertitore grid-forming per la raccolta di dati di affidabilità e per l'implementazione di una strategia di manutenzione predittiva****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Politecnico di Torino - Dipartimento Energia [POLITO-DENERG]

**Mese inizio: 19 - Mese fine: 36****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

L'attività di ricerca prevede la definizione di una campagna di test di endurance del convertitore grid forming per implementare e validare gli algoritmi di diagnosi e prognostica per un numero prolungato di ore di funzionamento (almeno 300 ore). L'obiettivo generale dell'attività è un sistema di diagnostica degli elementi attivi e reattivi più sensibili del convertitore. Più nello specifico, gli obiettivi di questa LA sono:

- Valutare l'affidabilità del convertitore rispetto ad un numero elevato di cicli di sovraccarico. Si immagina di sovraccaricare il convertitore per un numero di cicli prolungato (pari per esempio a 20 000) per verificarne la vita utile in condizioni estreme. A tal fine è essenziale verificare che il sistema di stima di temperatura di giunzione continui a operare correttamente anche dopo un numero elevato di cicli termici di sovraccarico.
- Stimare la vita utile dei semiconduttori. Durante questa fase il convertitore verrà sottoposto a un elevato numero di cicli termici (maggiore di quello della fase precedente) al fine di validare l'algoritmo di diagnostica di vita utile dei moduli. I dispositivi elettronici verranno sottoposti a cicli termici fino a portarli a rottura. Questo test ha due scopi principali: 1) verificare che il sistema di diagnostica del convertitore sia in grado di avvisare l'utente prima del verificarsi del guasto. 2) Calibrare il sistema di diagnostica in modo che sia possibile avere una stima approssimativa della vita rimanente del modulo.
- Sviluppare un algoritmo di controllo per compensare gli errori dello stimatore di temperatura derivanti dall'invecchiamento del dispositivo. Come ben noto dalla letteratura la resistenza di conduzione dei semiconduttori tende ad aumentare a seguito del loro invecchiamento. Poiché lo stimatore proposto usa la resistenza di conduzione dei semiconduttori come indicatore indiretto della loro temperatura, è necessario sviluppare un algoritmo di controllo che tenga conto dell'aumento di resistenza dovuto all'invecchiamento del semiconduttore, mantenendo alta la precisione dello stimatore termico.
- Sviluppare un algoritmo di diagnostica dello stato di salute dei condensatori film del DC-link. Questo algoritmo permetterà, tramite analisi periodiche, di capire quando questi condensatori si avvicinano a fine vita e dare quindi indicazioni di manutenzione predittiva.

Questa seconda linea di attività permetterà di validare sperimentalmente lo stimatore termico e lo stimatore di vita utile a seguito di un funzionamento prolungato del convertitore. Poiché l'attività prevede di operare il convertitore fino alla rottura sarà necessario acquistare dei moduli di potenza di ricambio e prevedere la realizzazione di ulteriori schede driver (è plausibile che a seguito della rottura del modulo di potenza possa rompersi anche la scheda driver atta al pilotaggio del semiconduttore).

**Descrizione risultati e deliverables**

LA fornirà in output:

- Rapporto tecnico descrittivo delle attività di ricerca condotte.
- Risultati sperimentali riguardanti l'affidabilità del convertitore dopo un numero di ore di lavoro pari ad almeno 300.
- Risultati sperimentali in cui verrà valutata l'affidabilità del convertitore a seguito di almeno 20 000 eventi di sovraccarico transitori.
- Lo sviluppo di un sistema per la diagnostica dei condensatori di DC-link. Questo sarà reso possibile sia grazie allo sviluppo di un nuovo firmware che all'aggiunta di alcuni componenti hardware.
- Firmware di controllo e schematici hardware relativi al sistema di diagnostica delle capacità di DC-link. Firmware utilizzato per il sistema di prognostica avanzato.
- Risultati sperimentali riguardanti il sistema di prognostica implementato, dove i moduli di potenza verranno sottoposti a cicli termici fino a portarli a rottura.

**LA 2.15: Applicazioni del Wide-Synchronization Control nelle reti di distribuzioni ibride per incrementare la sicurezza e la stabilità – Casi studio e dimostrazione****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Ingegneria [UNIPA-DI]

**Mese inizio:** 19 - **Mese fine:** 36

**Costo totale LA (escluse spese generali):** 0,00 €

**Descrizione attività**

A partire dai risultati della LA1.7 verranno individuati almeno due casi studio significativi per l'implementazione del WSC nelle reti di distribuzione. Saranno preferite reti benchmark presenti in letteratura e utilizzate per studi sulla stabilità e la sicurezza delle reti che verranno opportunamente modificate in modo da includere strutture di distribuzione in corrente continua alle quali collegare risorse di generazione ed accumulo tipiche della generazione distribuita che possano contribuire alla fornitura di servizi di rete in modo coordinato attraverso il WSC.

Le strutture di rete saranno possibilmente reti di distribuzione in ambiente urbano e in ambiente rurale, caratterizzate da estensioni, tipologie di carichi, tipologie di risorse distribuite e problematiche di pianificazione e di esercizio differenti.

Scopo della LA è quello di mostrare come l'applicazione del WSC possa fornire dei benefici alla sicurezza e alla stabilità del sistema elettrico in diverse condizioni di esercizio e in diversi assetti.

Le simulazioni sulle reti test saranno effettuate in ambiente NEPLAN.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA2.15 consiste in:

- Un Rapporto tecnico contenente:
  - o la descrizione delle reti test;
  - o i risultati delle simulazioni;
  - o le conclusioni sull'applicazione del WSC.

**LA 2.16: Sviluppo di software di pianificazione risk-based a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione MT finalizzato all'incremento dell'Hosting Capacity e al miglioramento della resilienza****Affdatario/Co-beneficiario responsabile:**

Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica [UNICA-DIEE]

**Mese inizio: 19 - Mese fine: 36****Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €****Descrizione attività**

L'attività LA2.16 mira a sviluppare il software per la pianificazione risk-based a lungo termine delle reti elettriche di distribuzione. Esso integrerà i vari modelli sviluppati nella precedente LA1.8. Data la natura diversificata degli obiettivi di pianificazione (costi, Hosting Capacity, resilienza), gli approcci adottati saranno di tipo multi-obiettivo. In questo modo, sarà possibile sia forzare una soluzione di pianificazione verso uno specifico obiettivo, sia individuare soluzioni di compromesso, fornendo così utili informazioni al Distributore.

In un problema di pianificazione strategica a lungo termine occorre tenere a mente che lo sfruttamento della flessibilità ha una forte ricaduta sul contenimento degli investimenti a breve termine, perché è un tipo di soluzione rapidamente attivabile e l'entità delle contingenze di rete (in termini di numero e durata delle violazioni) è ancora contenuto. Tuttavia, in un orizzonte di lungo termine, con scenari di sviluppo potenzialmente molto stressanti per la rete elettrica (forte elettrificazione del carico, diffusa presenza di generazione rinnovabile), il costo per l'acquisizione della flessibilità può diventare eccessivo (grandi quantità usate frequentemente per lunghi periodi durante l'anno), facendo diventare nuovamente conveniente il potenziamento della rete elettrica (costruzione di nuove linee e/o upgrade dei conduttori e trasformatori esistenti). Uno dei risultati di maggior interesse per un Distributore è la valutazione di quanto e quando investire sulle proprie reti, tenendo conto dell'iniziale differimento degli interventi di rete portato dallo sfruttamento della flessibilità. Per questo motivo, l'algoritmo di pianificazione che sarà sviluppato dovrà essere di tipo multi-periodo, per individuare quando lo sfruttamento della flessibilità potrebbe perdere di efficacia e/o convenienza e conseguentemente quando decidere di rinforzare la rete.

Un altro aspetto importante da considerare nello sfruttamento della flessibilità per le reti di distribuzione è il "perimetro della flessibilità", ossia l'estensione della porzione di rete entro cui una specifica risorsa è efficace per risolvere una contingenza o, cambiando punto di vista, quante risorse sono disponibili per risolvere una specifica contingenza. È infatti intuibile che, data la natura radiale dell'esercizio delle reti elettriche di distribuzione, molte risorse di flessibilità potenzialmente disponibili, non sono sfruttabili perché allocate in feeder adiacenti connessi al feeder critico da collegamenti (linee di emergenza o di magliatura) gestiti aperti per preservare lo schema radiale e il corretto funzionamento delle protezioni. La presenza di Soft Open Points può consentire di scambiare potenza (flessibilità) tra i due feeder mantenendo il vincolo topologico di radialità, allargando in questo modo il "perimetro della flessibilità". Pertanto, diventa importante in una pianificazione a lungo termine l'allocazione ottima di questo tipo di dispositivi, di cui il Distributore può avere pieno controllo, al contrario di altre risorse energetiche (generatori, carichi controllabili e dispositivi di accumulo) che invece nascono da iniziative private e che possono essere influenzate solo limitatamente. Sarà sviluppato un tool dedicato all'allocazione ottima degli SOP, mentre sarà solo valutata una potenziale integrazione tra i due tool di pianificazione.

Gli strumenti software di pianificazione saranno sviluppati in Python e testati su alcuni esempi di reti elettriche di distribuzione in MT, disponibili dalle attività di ricerca del precedente triennio.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'output della LA2.16 include:

- Un Rapporto tecnico contenente:
  - o Una ricerca bibliografica degli approcci di ottimizzazione disponibili nella letteratura scientifica;
  - o la descrizione teorica dell'algoritmo di pianificazione risk-based multi-obiettivo e multi-periodo implementato;
  - o la descrizione teorica dell'algoritmo di allocazione ottima di SOP risk-based e multi-obiettivo implementato;
  - o la descrizione dei risultati delle simulazioni.
- Il software di pianificazione a lungo termine per le reti elettriche di distribuzione sviluppati in Python.

**LA 2.17: Sviluppo di uno strumento per la pianificazione e l'espansione di una rete di distribuzione****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Politecnico di Bari [POLIBA]

**Mese inizio:** 19 - **Mese fine:** 36**Costo totale LA (escluse spese generali):** 0,00 €**Descrizione attività**

Questa seconda attività espande ulteriormente le funzionalità dello strumento di riconfigurazione, consentendo di considerare gli effetti di eventuali espansioni di rete, costruzione di linee aggiuntive, e localizzazione di nuovi switch telecomandati/telecontrollati. Le metodologie permetteranno di applicare le tecniche di riconfigurazione a problemi di pianificazione. La metodologia includerà inoltre la possibilità di modellare le tecniche di ricerca guasto al fine di valutare quali siano gli impatti di eventuali investimenti sulla distribution automation nei termini di affidabilità, anche in relazione a scenari futuri di incremento dei tassi di guasto per via degli effetti climatici. [DA COMPLETARE]

**Descrizione risultati e deliverables**

[DA FORNIRE]

LA 2.18:

Affidatario/Co-beneficiario responsabile:

Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli" - Dipartimento di Ingegneria [UNICAMP-DI]

Mese inizio: 19 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

Descrizione attività

[DA FORNIRE]

Descrizione risultati e deliverables

[DA FORNIRE]

BOLZA

**LA 2.19:****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Università degli Studi di Pisa - Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni  
[UNIFI-DETEC]

**Mese inizio:** 19 - **Mese fine:** 36

**Costo totale LA (escluse spese generali):** 0,00 €

**Descrizione attività**

[DA FORNIRE]

**Descrizione risultati e deliverables**

[DA FORNIRE]

## WP 3

## Attività di diffusione

TRL iniziale: 4

TRL finale: 6

## Obiettivi:

## LA 3.1: Attività di diffusione I SAL

## Affidatario/Co-beneficiario responsabile:

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 1 - Mese fine: 18

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

## Descrizione attività

Le attività della LA3.1 sono finalizzate alla divulgazione dei risultati del progetto, con l'obiettivo di garantirne un'effettiva fruizione da parte dei potenziali utenti interessati. Le azioni di disseminazione saranno progettate e attuate per massimizzare l'impatto del progetto. Nel primo Stato di Avanzamento dei Lavori (SAL), i risultati saranno divulgati attraverso:

- presentazione di poster e pubblicazione di articoli scientifici in conferenze e/o riviste, che illustreranno i risultati ottenuti nel primo periodo da parte dell'affidatario e dei co-beneficiari;
- partecipazione a eventi e tavole rotonde settoriali, sia a livello nazionale che internazionale;
- partecipazione a comitati nazionali e internazionali, dove ENEA si occuperà della diffusione dei risultati.

In particolare, i risultati della ricerca potranno essere utilizzati come contributo per i tavoli regolatori italiani, dove il personale di ENEA, coinvolto nel progetto, partecipa attivamente.

ENEA sarà inoltre responsabile del coordinamento delle attività di disseminazione tra i co-beneficiari del progetto.

## Descrizione risultati e deliverables

Dall'attuazione delle attività previste, saranno prodotti i seguenti risultati:

- pubblicazione di almeno un articolo scientifico internazionale da parte di ENEA e dei co-beneficiari del progetto;
- elaborazione di un rapporto tecnico che illustri in modo dettagliato le attività di disseminazione realizzate nel corso del primo periodo di attività scientifica.

**LA 3.2: Attività di diffusione II SAL****Affidatario/Co-beneficiario responsabile:**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile [ENEA]

Mese inizio: 19 - Mese fine: 36

Costo totale LA (escluse spese generali): 0,00 €

**Descrizione attività**

Le attività della LA3.2 proseguono il lavoro avviato con la LA3.1, mantenendo l'obiettivo di diffondere i risultati del progetto per renderli concretamente fruibili dai potenziali utenti interessati. A tale scopo, i risultati saranno divulgati attraverso i seguenti canali:

- pubblicazione sul sito ENEA dedicato alla Ricerca di Sistema, dove tutti i prodotti della ricerca saranno resi disponibili in modalità open source, al termine del processo di valutazione;
- presentazione di poster e pubblicazione di articoli scientifici in conferenze e/o riviste, che descriveranno i risultati ottenuti nella seconda annualità da parte dell'affidatario e dei co-beneficiari;
- partecipazione a eventi e tavole rotonde di settore, sia a livello nazionale che internazionale;
- esperienza di realtà immersiva per osservare l'evoluzione delle reti elettriche tramite la combinazione di tecnologie come la realtà virtuale (VR) o la realtà aumentata (AR) per permettere ai potenziali stakeholder di visualizzare e interagire con una rappresentazione digitale di una rete elettrica in tempo reale.

Per gli utenti interessati che vogliono apprendere come funzionano le reti elettriche moderne, l'esperienza potrebbe mostrare come vengono gestite le reti, i principi della generazione e distribuzione, e come la transizione energetica (verso fonti rinnovabili) sta impattando il sistema. Partendo, infatti, dalla simulazione della rete elettrica storica e futura, i potenziali stakeholder potranno immergersi in un ambiente 3D che mostra una rete elettrica interconnessa. Potranno esplorare l'evoluzione delle reti, partendo dai primi sistemi fino alle reti Smart Grid odierne e future. In particolare, attraverso l'interazione con una timeline interattiva, potrebbero apparire elementi storici come le prime centrali elettriche, la diffusione delle energie rinnovabili, e la transizione verso reti decentralizzate. Un'altra tipologia di esperienza potrebbe essere la simulazione dell'impatto delle energie rinnovabili (come il fotovoltaico e l'eolico) sulla rete. Gli interessati potrebbero modificare i parametri del vento, del sole o della domanda di energia e vedere come la rete reagisce in tempo reale. Gli interessati potrebbero osservare il flusso di energia, la gestione della domanda e offerta, e capire come avviene la distribuzione in base alle condizioni attuali.

Per quest'ultima attività, ENEA si avvarrà di una consulenza per la progettazione e lo sviluppo dell'applicativo di realtà immersiva.

**Descrizione risultati e deliverables**

L'implementazione delle attività descritte produrrà i seguenti risultati:

- redazione di almeno 1 pubblicazione scientifica internazionale per ciascun beneficiario del progetto (ENEA e dai co-beneficiari del progetto);
- produzione di un rapporto tecnico che documenti in dettaglio gli eventi di divulgazione tecnico-scientifica del progetto, con descrizione di ciascun evento e delle modalità di comunicazione adottate;
- giornate formative relative all'esperienza di realtà immersiva per osservare l'evoluzione delle reti elettriche attraverso utilizzo di sistemi visivi dedicati.

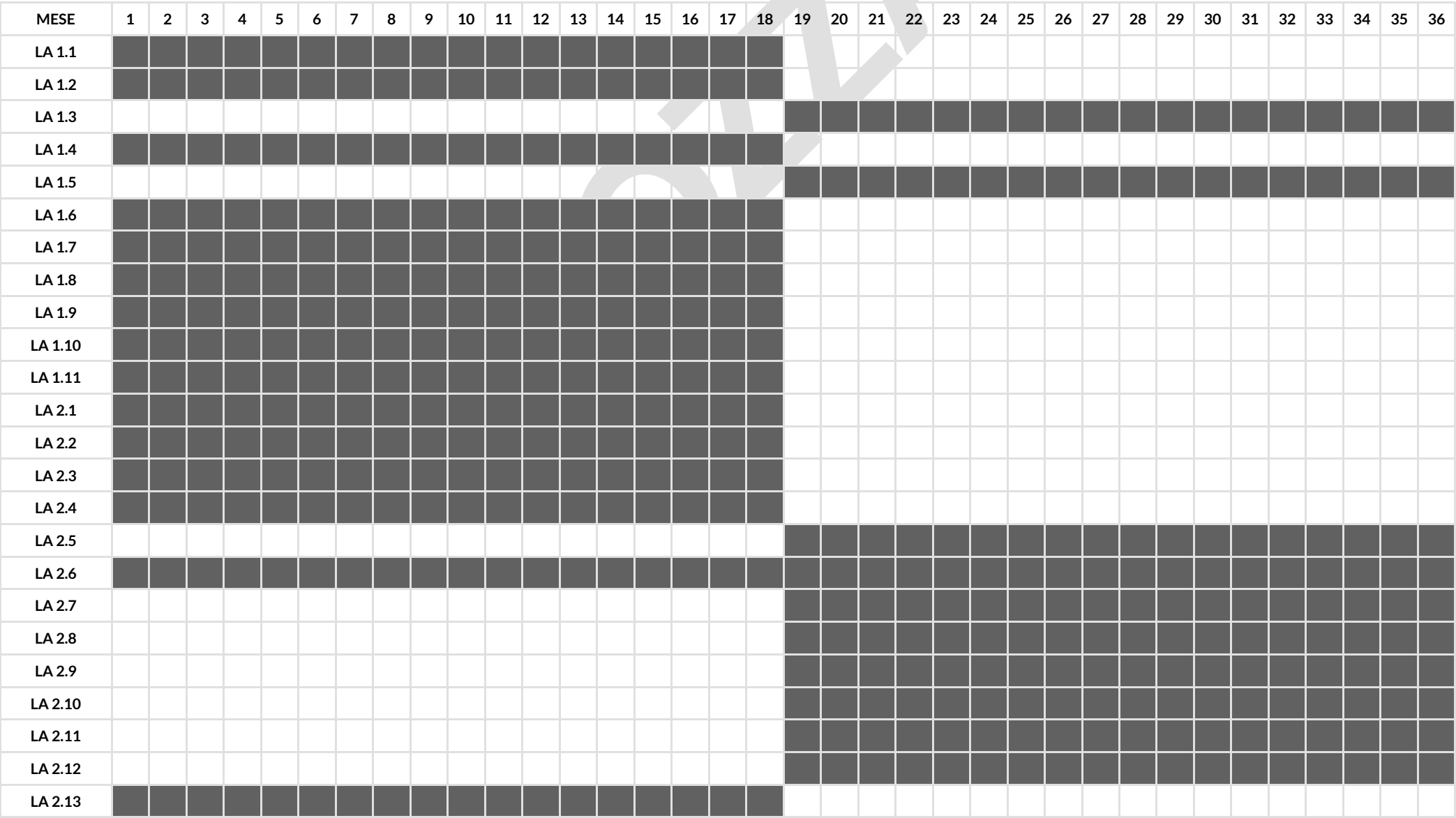


4. TABELLA RIASSUNTIVA PRODOTTI DELLA RICERCA ED ELEMENTI DI VERIFICA DEL PROGETTO

LA	Responsabile	Titolo Deliverable	Tipologia	LA collegate	Elementi per il test di verifica
----	--------------	--------------------	-----------	--------------	----------------------------------

BOZZA

5. DIAGRAMMA DI GANTT



MESE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
LA 2.14																																				
LA 2.15																																				
LA 2.16																																				
LA 2.17																																				
LA 2.18																																				
LA 2.19																																				
LA 3.1																																				
LA 3.2																																				

## 6. PIANO DI RISCHIO

LA	Valore Impatto Rischio (da 1 a 5)	Probabilità d'occorrenza (%)	Motivazione ed effetto rischio	Azioni di mitigazione/Soluzioni	Altre LA coinvolte/influenzate
1.1	1	10 %	La letteratura tecnica scientifica potrebbe presentarsi scarsa relativamente all'attività proposta	Al fine di mitigare il rischio, laddove i dati di letteratura dovessero presentarsi insufficienti, si procederà a valutare solo i modelli dei componenti presenti nelle reti elettriche di distribuzione maggiormente presente in letteratura	LA2.8
1.2	1	10 %	Possibile difficoltà nel reperimento dei dati propedeutici allo sviluppo di configurazioni di rete	Una base di riferimento verrà identificata fin dalla fase progettuale	LA2.9
1.3	1	1 %	Per tale attività non è stato identificato alcun rischio.	Non sono previste azioni di mitigazione data l'assenza di rischi.	LA1.5, LA2.7, LA2.8
1.4	3	30 %	Motivazione. Complessità nell'integrare variabili demografiche, socioeconomiche e climatiche nei casi d'uso può portare a una modellazione incompleta o inaccurata. Questo può influenzare la rappresentatività degli scenari futuri.	Azioni di mitigazione: - Utilizzo di approcci iterativi per la definizione dei casi d'uso, con cicli di revisione e validazione dei dati. - Coinvolgimento di università esperte in variabili socioeconomiche e demografiche per garantire la completezza dei dati.	LA1.5, LA2.2

Riepilogo costi - Scheda C1	
Voci di spesa	Costi totali
A. Costi di personale	0,00 €
B. Costi per strumenti, attrezzature, software specifico	0,00 €
C. Costi di esercizio	0,00 €
D. Costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche, brevetti	0,00 €
E. Spese generali supplementari	0,00 €
F. Contributo per i progetti cofinanziati	0,00 €
<b>Totale</b>	<b>0,00 €</b>

## Ripartizione dei costi per Ente - Scheda C2

Ente	A. Costi di personale	B. Costi per strumenti, attrezzature, software specifico	C. Costi di esercizio	D. Costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche, brevetti	E. Spese generali supplementari	F. Contributo per i progetti cofinanziati	Totale
ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
POLIBA [ENEA]	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
POLITO-DENERG [ENEA]	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
UNICA-DIEE [ENEA]	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
UNICAMP-DI [ENEA]	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
UNIPA-DI [ENEA]	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
UNIPi-DESTEC [ENEA]	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
<b>TOTALE:</b>	<b>0,00 €</b>	<b>0,00 €</b>	<b>0,00 €</b>	<b>0,00 €</b>	<b>0,00 €</b>	<b>0,00 €</b>	<b>0,00 €</b>

## Ripartizione dei costi per WP/LA - Scheda C3

LA	Ente	A. Costi di personale	B. Costi per strumenti, attrezzature, software specifico	C. Costi di esercizio	D. Costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche, brevetti	Totale	Ore totali	Descrizione costi di personale	Descrizione altri costi
1.1	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.2	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.3	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.4	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.5	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.6	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.7	UNIPA-DI	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.8	UNICA-DIEE	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.9	POLIBA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.10	UNICAMP-DI	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
1.11	UNIFI-DESTEC	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.1	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.2	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.3	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.4	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.5	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		

LA	Ente	A. Costi di personale	B. Costi per strumenti, attrezzature, software specifico	C. Costi di esercizio	D. Costi per servizi di consulenza, acquisizione di competenze tecniche, brevetti	Totale	Ore totali	Descrizione costi di personale	Descrizione altri costi
2.6	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.7	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.8	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.9	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.10	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.11	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.12	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.13	POLITO-DENER G	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.14	POLITO-DENER G	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.15	UNIPA-DI	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.16	UNICA-DIEE	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.17	POLIBA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.18	UNICAMP-DI	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
2.19	UNIFI-DESTEC	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
3.1	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
3.2	ENEA	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		
TOTALE:		0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0		



BOZZA

Spese generali						
Ente	Scelta spese generali	Spese generali Ente (SG Totali)	Ore totali lavorate (ORL Totali)	Calcolo CIOP (€/ora)	Ore totali preventivate (ORL progetto)	Spese generali calcolate (SG progetto)
TOTALE:						0,00 €