

**PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-24 - RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO
NAZIONALE**

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

AFFIDATARIO ENEA

Tema 2.3 - Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche

Durata: 36 Mesi

Semestre n. 6 – Periodo attività: 01/07/2024 – 31/12/2024

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

Il presente documento descrive le attività di ricerca del progetto “Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche” svolte durante il sesto semestre di progetto.

Le attività di ricerca hanno riguardato le seguenti Linee di Attività:

- ENEA (affidatario del progetto) per LA1.2, LA1.3, LA1.4, LA1.5; LA1.15; LA1.16; LA1.18;
- Università di Palermo (co-beneficiario del progetto) per LA1.6 e LA1.7;
- Università di Cagliari (co-beneficiario del progetto) per LA1.8 e LA1.9;
- Politecnico di Bari (co-beneficiario del progetto) per LA1.10 e LA1.11;
- Politecnico di Torino (co-beneficiario del progetto) per LA1.12 e LA1.13.

AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO	SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE E RISULTATI CONSEGUITI
ENEA	Nell'ambito del presente semestre, ENEA ha condotto attività di ricerca relativamente alle seguenti linee di attività: LA1.2, LA1.3, LA1.4, LA1.5; LA1.15; LA1.16; LA1.18. La linea LA 1.2 “Progettazione e sviluppo di modelli di predizione delle risorse di generazione e carico di reti e microreti elettriche” mira a progettare e sviluppare modelli di previsione per le sorgenti di generazione da FER solare ed eolica e ad implementare un modello di previsione per il carico elettrico da integrare nelle reti test per la fase di validazione sperimentale delle diverse funzionalità del tool. Nel presente semestre, è stato completato lo sviluppo dei modelli e algoritmi di previsione delle risorse di generazione solare fotovoltaica, eolica e del carico avviato nel precedente SAL. Successivamente, sono state sviluppate serie temporali a risoluzione oraria per singole installazioni nel contesto di reti di dimensioni cittadine, in un orizzonte temporale di lungo termine (anni in avanti). Tali serie sono, quindi, state

utilizzate per testare la metodologia proposta. Più nello specifico, le serie sono state adattate per essere consistenti con gli scenari energetici futuri, previsti dalle leggi sul clima. I test hanno confermato l'efficacia della metodologia proposta. Sebbene le serie analizzate e lo studio correlato si riferiscano a un contesto urbano, caratterizzato dalla presenza di impianti eolici e solari e da carichi residenziali, la metodologia sviluppata risulta flessibile e adattabile a contesti geografici più ampi oltre che all'integrazione di altre fonti di energia rinnovabile. Le serie previsionali sono state rilasciate come prodotto della ricerca del progetto.

La linea di attività LA1.2 non ha registrato scostamenti e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.2_153 «Progettazione e sviluppo di modelli di predizione delle risorse di generazione e carico di reti e microreti elettriche».*

La linea **LA1.3 “Definizione di modelli di anomaly detection utili alle valutazioni di adeguatezza, sicurezza e resilienza delle reti e microreti elettriche”**, si pone i seguenti obiettivi: i) implementazione di un modello di anomaly detection per l'individuazione di anomalie dei componenti integrati in reti e microreti elettriche; ii) sviluppo di un dataset dei profili di funzionamento dei componenti di rete; iii) progettazione e sviluppo di un generatore di un modulo software per la generazione di anomalie in diversi componenti di rete da integrare in ARS Tool (LA1.15).

Il presente semestre è stato dedicato alla valutazione dell'efficacia del modello di anomaly detection implementato nel precedente semestre. Inoltre, si è proceduto con l'integrazione in ARS tool sia del modello di anomaly detection che del generatore di anomalie.

Per valutare i risultati del modello di anomaly detection implementato, sono stati utilizzati alcuni test nei quali il valore monitorato di potenza generata viene opportunamente modificato per simulare la presenza di un'anomalia (es.: inserimento di rumore, cancellazione del segnale in alcune zone, ecc.).

I test di perturbazione effettuati hanno mostrato come il modello di anomaly detection proposto riesca a identificare correttamente la presenza di anomalie. L'adozione di un doppio criterio per la segnalazione di anomalie aumenta la sensibilità del metodo anche in presenza di anomalie che non influenzano significativamente il coefficiente angolare della retta di regressione. Inoltre, il riferimento esclusivo a un intervallo temporale recente consente al modello di adattarsi alle naturali variazioni delle variabili monitorate, migliorandone la flessibilità e rendendolo applicabile anche in contesti con disponibilità limitata di dati.

La linea di attività LA1.3 non ha registrato scostamenti e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.3_154 «Definizione di modelli di anomaly detection utili alle valutazioni di adeguatezza, sicurezza e resilienza delle reti e microreti elettriche».*

In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti:

- *Modello di Anomaly Detection (descritto in RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.3_154).*
- *Modulo software per la generazione di anomalie in diversi componenti di rete, integrato in Ars Tool e con esso rilasciato sul sito della Ricerca di Sistema ENEA.*
- *Dataset profili funzionamento dei componenti: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.3_155.*

La linea **LA1.4 “Definizione del modello per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell’adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati”** si pone come obiettivo la definizione di un modello di calcolo che, fissati alcuni vincoli di sistema consenta di valutare, per il sistema energetico analizzato, la quantità di energia da stoccare per rispettare i vincoli di sistema scelti, e di analizzarne l’impatto sull’adeguatezza del sistema. Nel presente semestre si è proceduto con la definizione di un modello per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell’adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati (pseudocodice) e con la relativa codifica in Python. L’implementazione del modello nel linguaggio Python si è resa necessaria ai fini dell’integrazione del software in ARS Tool. Tale integrazione è stata condotta nell’ambito della LA1.5.

Il modello integrato in ARS tool, a partire dai valori input dell’utente (scenario iniziale), consente di calcolare:

- il fabbisogno prospettico, ovvero: consumi finali di energia, fabbisogno e produzione di elettricità, import;
- la generazione FER e la relativa capacità installata;
- l’accumulo;
- l’overgeneration, eventualmente convertita in produzione di idrogeno;
- i costi al kW di FRNP installati;
- le emissioni.

Per valutare l’accumulo, è stata, utilizzata la frazione di storage in funzione della penetrazione delle FRNP valutata utilizzando gli scenari DDS22 e i modelli di letteratura individuati nel precedente semestre.

La linea di attività LA1.4 non ha registrato scostamenti e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico di relativo alle attività svolte nell’ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.4_156 «Definizione del modello per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell’adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati».*

In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti:

- *Modello per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell’adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati (pseudocodice descritto in RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.4_156)*

- *Software Python per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell'adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati integrato nell'ARS tool* (il Software è stato fornito alla LA1.5 per l'integrazione in ARS tool).

La linea **LA1.5 “Implementazione e testing di modelli per la valutazione dell'adeguatezza di reti elettriche in funzione dell'affidabilità del sistema e dei suoi componenti”** ha come scopo principale l'implementazione e il testing di modelli per la valutazione dell'adeguatezza di sistemi elettrici ad alta penetrazione di risorse distribuite anche di tipo rinnovabile non programmabile.

Nel presente semestre si è proceduto con la simulazione di 3 casi studio mediante il software sviluppato nel precedente SAL.

Inoltre, acquisito il codice Python per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell'adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati dalla LA1.4, si è proceduto allo sviluppo del modulo di integrazione nel software ARS tool. In particolare, è stata progettata e realizzata l'interfaccia di input da parte degli utenti e implementata l'interfaccia di visualizzazione dei risultati.

La linea di attività LA1.5 non ha registrato scostamenti e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico di relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.5_157 «Implementazione e testing di modelli per la valutazione dell'adeguatezza di reti elettriche in funzione dell'affidabilità del sistema e dei suoi componenti».*

In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti:

- *Software opensource per la valutazione dell'adeguatezza in funzione dell'affidabilità dei componenti di rete tenendo conto anche dei loro possibili comportamenti anomali integrato nell'ARS tool.*

La linea **LA1.15 “Sviluppo di un tool per valutazioni di adeguatezza, affidabilità e resilienza di sistemi di potenza”** ha come scopo principale l'implementazione di uno strumento software (denominato ARS tool) capace di rendere disponibile agli utenti i diversi modelli, ed i relativi output, implementati dalle altre linee di attività del progetto.

Nel presente semestre, si è proceduto all'integrazione delle funzionalità sviluppate all'interno delle altre LA all'interno del software ARS tool e alla fase di test e debug dello stesso. Si precisa, inoltre, che oltre alle funzionalità aggiuntive sono state implementate le funzionalità “ausiliarie” necessarie a rendere il software uno strumento completo (es. stampa risultati, generazione report di sintesi dei risultati, ecc.).

La fase di test e debug ha permesso non solo l'individuazione e la correzione di errori del codice o l'estensione a casistiche specifiche non contemplate in fase di progettazione, ma anche l'affinamento dell'interfaccia grafica per una migliore esperienza da parte dell'utente.

Più nello specifico, il software ARS tool è stato verificato attraverso una campagna di 15 test operati utilizzando tutte le funzionalità integrate.

- I test sono stati effettuati sia su reti benchmark che su modelli di rete DSS, oltre che definendo manualmente una nuova rete.
- I test di LoadFlow sono stati condotti sia adoperando set-point puntuali, che valutando profili di carico e generazione su diversi orizzonti temporali.
- Le funzionalità testate sono state: il LoadFlow, la previsione delle Anomalie, il calcolo dell’Affidabilità, il calcolo dell’Adeguatezza, l’ONR (Optimal Network configuration e la funzionalità di Optimal Storage.
- Per ognuno dei test eseguiti, sono stati prodotti tramite ARS tool i report degli studi.

Infine, terminata la fase di sviluppo del software, si è proceduto alla redazione del Manuale Utente.

La linea di attività LA1.15 non ha registrato scostamenti e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico di relativo alle attività svolte nell’ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.15_167 «Sviluppo di un tool per valutazioni di adeguatezza, affidabilità e resilienza di sistemi di potenza».*

Il Rapporto Tecnico include il Manuale Utente.

In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti:

- *Software opensource ARStool (RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.15_168).*

La linea **LA1.16 “Attività di testing dei modelli di valutazione per l’adeguatezza, la sicurezza e la resilienza delle reti elettriche e caratterizzazione sperimentale dei componenti”** è focalizzata sull’esecuzione delle attività sperimentali e, più nello specifico, su:

- testing dei modelli di valutazione per l’adeguatezza, la sicurezza e la resilienza delle reti elettriche;
- caratterizzazione sperimentale di componenti di reti di distribuzione BT.

Nel sesto semestre, sono stati eseguiti i test delle logiche di controllo sviluppate nell’ambito delle LA1.8 e LA1.10. I test sono stati eseguiti mediante piattaforma Hardware-In-the-Loop (Typhoon HIL) ed emulatori integrati nella nanogrid sperimentale ENEA.

In particolare, a valle della modellazione (model-based design) delle configurazioni di rete su piattaforma Typhoon HIL e dell’interconnessione con le apparecchiature di laboratorio, sono stati eseguiti i test e calcolati i parametri di performance (test prima e dopo l’applicazione della logica di controllo) con il fine di comparare le prestazioni e valutare l’efficacia delle logiche sviluppate.

Si precisa che le attività di testing delle logiche di controllo hanno evidenziato alcuni scostamenti tecnici rispetto alla pianificazione iniziale. In particolare, il progetto 2.3 prevedeva, da capitolato, l’esecuzione di test in emulazione sulle linee LA1.5, LA1.6, LA1.8 e LA1.10; tuttavia, tali attività sono state effettivamente condotte solo sulle LA1.8 e LA1.10.

Nel caso della LA1.6, sviluppata dall'Università di Palermo (UNIPA), è stato realizzato un modello di simulazione finalizzato all'analisi dell'impatto delle influenze esterne sulla sicurezza, adeguatezza e resilienza di porzioni di rete pubblica e privata, accompagnato da una matrice di correlazione. Poiché non sono state implementate logiche di controllo, non si è reso necessario eseguire test in emulazione di riconfigurazione con la rete ENEA di laboratorio. Le attività si sono quindi concentrate su test in simulazione, i cui risultati saranno documentati nel report tecnico RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.6_158. Analogamente, nell'ambito della LA1.5, gestita da ENEA, sono stati sviluppati modelli per la valutazione dell'adeguatezza delle reti elettriche in relazione all'affidabilità del sistema e dei suoi componenti. Anche in questo caso, in assenza di logiche di controllo, non si è proceduto con test in emulazione, ma con attività di simulazione, i cui risultati saranno riportati nel report RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.5_157.

La linea di attività LA1.16 ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico di relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.16_169 «Attività di testing dei modelli di valutazione per l'adeguatezza, la sicurezza e la resilienza delle reti elettriche e caratterizzazione sperimentale dei componenti».*

In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti:

- *12 Dataset sperimentali contenenti i risultati delle prove di caratterizzazione sperimentale su cavi in bassa tensione di sezione 4mmq, 6mmq e 10mmq e di lunghezza pari a 10 m cadauno sottoposti a stress termo-igrometrici.*

La linea di attività **LA1.18 – “Attività di diffusione II SAL”** è finalizzata alla divulgazione dei risultati progettuali conseguiti da ENEA e dai relativi co-beneficiari. Nel corso del sesto semestre, ENEA e i partner coinvolti hanno completato le attività preparatorie per la partecipazione agli eventi di disseminazione scientifica, prendendo parte attivamente a diverse iniziative: il seminario organizzato nell'ambito della fiera divulgativa ENLIT 2024 (ottobre 2024), la conferenza NanoInnovation 2024 (settembre 2024) e l'evento finale di divulgazione, svoltosi presso il Centro Ricerche ENEA di Portici (dicembre 2024).

Parallelamente, è stata testata l'applicazione software interattiva a scopo divulgativo Mastergrid, e sono proseguite le attività di disseminazione scientifica attraverso la pubblicazione di articoli e la partecipazione ai tavoli tecnici di settore, sia a livello nazionale che europeo.

La linea di attività LA1.18 ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico di relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

	• <i>Rapporto Tecnico: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.18_171 «Attività di diffusione Il SAL».</i> In aggiunta al Rapporto Tecnico, è stato rilasciato il seguente prodotto: • <i>Applicazione software interattiva a scopo divulgativo Mastergrid.</i>
UNIPA	Nell'ambito del presente semestre, UNIPA ha condotto attività di ricerca relativamente alle seguenti linee di attività: LA1.6, LA1.7. La linea LA1.6 “Progettazione e sviluppo di un modello per l’analisi in simulazione dell’impatto delle influenze esterne sulla sicurezza, adeguatezza e resilienza di porzioni di reti pubbliche o di utenti privati” ha come scopo la progettazione e lo sviluppo di un modello per l’analisi in simulazione di reti di distribuzione in presenza di influenze esterne quali fattori climatici, informatici ed elettrici (es. tensione e frequenza fortemente variabili). Nel sesto semestre, si è proceduto alla generazione di serie storiche e alla simulazione sugli scenari operativi critici identificato nel precedente semestre. Per generare le serie storiche, è stato sviluppato un modello di simulazione basato sul bootstrap per generare serie storiche sintetiche orarie in diversi scenari di funzionamento di diversi tipi di rete di distribuzione ibrida (AC/DC). Con riferimento alle simulazioni, queste hanno riguardato 5 scenari distinti per analizzare l’impatto delle influenze esterne (atmosferiche) sulle reti ibride. La linea di attività LA1.6 non ha registrato scostamenti e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati. Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico di relativo alle attività svolte nell’ambito della LA: • <i>Rapporto Tecnico RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.6_158 «Progettazione e sviluppo di un modello per l’analisi in simulazione dell’impatto delle influenze esterne sulla sicurezza, adeguatezza e resilienza di porzioni di reti pubbliche o di utenti privati».</i> In aggiunta al Rapporto Tecnico, è stato rilasciato il seguente prodotto: • <i>Modello di simulazione basato sul bootstrap per generare serie storiche sintetiche orarie in diversi scenari di funzionamento di diversi tipi di rete di distribuzione ibrida (AC/DC). Il modello è accessibile tramite il software ARS tool (LA1.15)</i> La linea LA1.7 “Definizione di matrici di correlazione tra influenze esterne e aspetti di sicurezza, adeguatezza e resilienza di porzioni di reti pubbliche o di utenti privati” ha come scopo la definizione di opportune matrici di correlazione tra i parametri climatici, informatici ed elettrici in grado di influenzare il corretto funzionamento e la vita utile dei componenti di una rete e i principali indicatori per la valutazione della sicurezza, dell’adeguatezza e della resilienza della medesima rete. Nel semestre in esame è stata condotta un’analisi approfondita sul comportamento delle microreti in diversi scenari operativi, con particolare

	attenzione al rischio di raggiungimento della soglia minima di carica della batteria (SoC). Le principali attività e risultati sono stati i seguenti: • Modellazione mediante analisi di sopravvivenza (modello di Cox) È stato applicato il modello di Cox per stimare il rischio che una batteria non riesca a mantenere un SoC sufficiente ad alimentare i carichi preferenziali. L'analisi ha permesso di valutare l'impatto delle variabili esterne (es. temperatura, irraggiamento solare, domanda energetica) sul tempo di sopravvivenza energetica della rete. • Costruzione di matrici di correlazione stagionali Sono state sviluppate matrici di correlazione tra le variabili esterne e il SoC, distinguendo tra condizioni di rete connessa e in isola. L'analisi stagionale ha evidenziato variazioni significative nell'influenza delle variabili in funzione del periodo dell'anno. • Ranking e clustering delle variabili L'analisi di sopravvivenza è stata condotta su molteplici scenari, consentendo di quantificare il contributo di ciascuna variabile al rischio di raggiungimento del SoC minimo, classificare le variabili in base alla loro rilevanza (ranking), identificare gruppi di variabili con comportamenti simili (clustering), utili per la definizione di strategie di gestione resiliente. La linea di attività LA1.7 non ha registrato scostamenti e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati. Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico di relativo alle attività svolte nell'ambito della LA: • <i>Rapporto Tecnico RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.7_159 «Definizione di matrici di correlazione tra influenze esterne e aspetti di sicurezza, adeguatezza e resilienza di porzioni di reti pubbliche o di utenti privati».</i> In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti: • <i>Matrice di correlazione: stagionali tra le variabili esterne e il SoC in una rete connessa/in isola.</i> • <i>Ranking e gruppi di variabili</i>
UNICA	Nell'ambito del presente semestre, UNICA ha condotto attività di ricerca relativamente alle seguenti linee di attività: LA1.8, LA1.9. La linea LA1.8 “Sviluppo di modelli per la pianificazione della gestione delle reti elettriche di distribuzione con capacità di formazione di isole autonome intenzionali o micro reti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza e sicurezza delle singole isole e resilienza nell'intero sistema di distribuzione” ha come scopo principale lo sviluppo di strumenti software per la pianificazione operativa delle reti elettriche di distribuzione sia in MT (sistema equilibrato a tre fili) sia in BT (sistema squilibrato a 4 fili), con l'obiettivo di determinare la quantità di flessibilità necessaria per la gestione ottima e in sicurezza dell'intero sistema. Le attività del sesto semestre hanno riguardato:

- Formalizzazione del problema di Operational Planning (minimizzazione dei costi di acquisizione della flessibilità necessaria alla gestione adeguata e sicura di una rete di distribuzione MT) e scelta della tecnica di ottimizzazione (Programmazione Lineare).
- Definizione dei modelli delle risorse di flessibilità ed eventuale loro linearizzazione.
- Sviluppo software prima in ambiente Matlab e successivamente in Python.
- Formalizzazione matematica del modello di calcolo per il Security Constrained Optimal Power Flow (SCOPF) basato sulla decomposizione di Benders. Alla luce dei risultati ottenuti con la ricerca bibliografica, è stato formalizzato il problema di Operational Planning (minimizzazione dei costi di acquisizione della flessibilità necessaria alla gestione adeguata e sicura di una rete di distribuzione MT) ed è stata scelta la tecnica di ottimizzazione (Programmazione Lineare).

La linea di attività LA1.8 ha registrato alcuni scostamenti rispetto alla pianificazione iniziale. Il progetto prevedeva la realizzazione di due strumenti distinti, uno per le reti di media tensione (MT) e uno per quelle di bassa tensione (BT), basati su modelli comuni delle risorse di flessibilità. La fase iniziale, dedicata alla formalizzazione matematica di tali modelli, si è rivelata particolarmente complessa e dispendiosa in termini di tempo. Inoltre, la riduzione del contributo di alcuni ricercatori e il ritardo nella stipula dell'accordo di collaborazione hanno posticipato l'attivazione della borsa di ricerca, avvenuta solo a metà giugno 2024. La difficoltà nel reperire candidati qualificati, aggravata dalla concorrenza dei progetti PNRR, ha ulteriormente rallentato le attività. Alla luce dei ritardi accumulati, si è deciso di concentrare le risorse disponibili sullo sviluppo completo dello strumento software per la rete MT, limitandosi alla sola formulazione teorica del modello per la rete BT. Complessivamente, la LA1.8 ha portato allo sviluppo completo di 3 dei 4 modelli previsti, con un avanzamento parziale del modello di Operational Planning per il sistema elettrico di distribuzione BT (solo formulazione matematica del problema).

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico RdS_PTR22-24_PR 2.3_LA1.8_160 «Sviluppo di modelli per la pianificazione della gestione delle reti elettriche di distribuzione con capacità di formazione di isole autonome intenzionali o micro reti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza e sicurezza delle singole isole e resilienza nell'intero sistema di distribuzione».*

In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti:

- *Software in versione beta per l'Operational Planning delle reti elettriche di distribuzione in MT*
- *Manuale d'uso del software in versione beta*

La linea la **LA1.9 "Testing dei modelli per la pianificazione della gestione delle reti e micro reti di distribuzione in ottica di miglioramento della adeguatezza, sicurezza e resilienza"** ha come obiettivo il perfezionamento del

	software del modello di pianificazione della gestione ottimale delle reti di distribuzione proposto nella LA 1.8 in versione beta. Nel presente semestre è stato eseguito il testing dei modelli per la pianificazione della gestione delle reti e microreti di distribuzione in ottica di miglioramento della adeguatezza, sicurezza e resilienza per le reti MT e il perfezionamento. Più nello specifico, i test hanno riguardato, in maniera particolare, l'analisi alle contingenze ($N - 1$) e lo sfruttamento nella gestione delle isole intenzionali. Le simulazioni sono state eseguite su un computer equipaggiato con processore Intel i7-6560U a 2.20 GHz e 16 GB di RAM. Per verificare la portabilità del tool su qualunque PC con sistema operativo Windows di Microsoft, alcune simulazioni sono state ripetute su computer differenti, su cui non era stato preventivamente installato né il compilatore Python né il software OpenDSS. La linea di attività LA1.9 ha registrato alcuni scostamenti legati al potenziamento del simulatore real-time RTDS presso i laboratori dell'Università di Cagliari, previsto per l'integrazione del modello software di Operational Planning su piattaforme di emulazione HiL. Il ritardo nell'approvazione dell'accordo di collaborazione ha impedito l'avvio tempestivo della procedura di acquisto. Nel frattempo, il Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica di UNICA ha avviato un intervento di potenziamento su larga scala del simulatore RTDS, tramite una gara d'appalto complessa e sopra soglia comunitaria, che ha ulteriormente posticipato l'acquisto previsto. Di conseguenza, non è stato possibile integrare il software nella piattaforma HiL entro i tempi contrattuali. Tuttavia, le attività di testing sono state comunque portate avanti utilizzando strumenti di simulazione messi a disposizione dalle altre unità di ricerca coinvolte, senza compromettere il raggiungimento degli obiettivi progettuali. Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA: • <i>Rapporto Tecnico Rapporto Tecnico: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.9_161 «Testing dei modelli per la pianificazione della gestione delle reti e microreti di distribuzione in ottica di miglioramento della adeguatezza, sicurezza e resilienza».</i> In aggiunta al Rapporto Tecnico, sono stati rilasciati i seguenti prodotti: • <i>Software in versione finale per l'Operational Planning delle reti elettriche di distribuzione in MT.</i> • <i>Manuale d'uso del software in versione finale (RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.9_162).</i>
POLIBA	Nell'ambito del presente semestre, POLIBA ha condotto attività di ricerca relativamente alle seguenti linee di attività: LA1.10, LA1.11. La linea LA1.10 “Progettazione e implementazione di modelli per la riconfigurazione delle reti e microreti di distribuzione in presenza di guasti

in ottica di miglioramento dell'adeguatezza, sicurezza e resilienza" ha come scopo lo sviluppo di metodologie e modelli che possano essere applicati al problema di riconfigurazione ottimale (Optimal Network Reconfiguration - ONR) delle reti di distribuzione dell'energia elettrica, nell'ambito delle funzioni di controllo in supervisione dei sistemi SCADA/DMS (Distribution Management System).

Nel presente semestre l'attività è stata focalizzata sullo sviluppo dell'applicativo software da integrare nella piattaforma di progetto ARS tool. L'applicativo è stato sviluppato, come da specifiche di progetto, in ambiente Python, ed è in grado di gestire modelli di rete sviluppati in ambiente. Più nello specifico, l'applicativo ONR sviluppato consente l'esecuzione, mediante la piattaforma ARS tool, delle funzionalità di seguito elencate:

- importare un modello di rete di distribuzione;
- sviluppare un modello zonale equivalente;
- associare parametri affidabilistici a ciascuno degli elementi di rete e a ciascuna zona;
- associare degli indici di qualità del servizio ad una qualsiasi topologia di rete;
- selezione la tecnica FDIR in uso (FRG, FNC o SFS);
- trovare una topologia ottimale al fine di minimizzare la funzione obiettivo;
- presentare i risultati dell'ottimizzazione e rappresentare graficamente le scelte di modifica topologica e i grafi equivalenti del sistema

La linea di attività LA1.10 non ha presentato scostamenti tecnici e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico Rapporto Tecnico: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.10_163 «Progettazione e implementazione di modelli per la riconfigurazione delle reti e microreti di distribuzione in presenza di guasti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza, sicurezza e resilienza».*

In aggiunta al Rapporto Tecnico, è stato rilasciato il seguente prodotto:

- *Software per la riconfigurazione delle reti e microreti di distribuzione in presenza di guasti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza, sicurezza e resilienza (integrato nell'ARS tool).*

La linea **LA1.11 "Testing di modelli per la riconfigurazione delle reti e microreti di distribuzione in presenza di guasti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza, sicurezza e resilienza"** ha come obiettivo la verifica dei modelli e delle metodologie sviluppate nell'ambito dell'attività LA1.10. Nel presente semestre si è proceduto alla realizzazione di una piattaforma di co-simulazione in tempo reale che connette il laboratorio LabZERO per la simulazione real-time e P-HiL del Politecnico di Bari con i laboratori del centro di ricerca di ENEA-Portici. La piattaforma si basa sulla creazione di un tunnel VPN che connette due nodi VILLAS-Framework situati rispettivamente a Bari e a Portici. La creazione del Tunnel VPN è stata necessaria per mettere in

	comunicazione le reti dei due enti coinvolti, entrambe protette da firewall. Questa attività ha necessitato diversi test di connessione, al fine di testare e ottimizzare le regole di comunicazione tra i due laboratori, ed implementarle sui rispettivi server. L'attività ha richiesto anche un coordinamento tra gli amministratori dei servizi informativi per poter mantenere un alto livello di sicurezza informatica, individuare le opportune classi di IP da utilizzare, effettuare eventuale NATTING degli indirizzi, individuare le policy, i protocolli e le porte da utilizzare. La linea di attività LA1.11 non ha presentato scostamenti tecnici e ha raggiunto tutti gli obiettivi prefissati. Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA: • <i>Rapporto Tecnico Rapporto Tecnico: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.11_164 «Testing di modelli per la riconfigurazione delle reti e microreti di distribuzione in presenza di guasti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza, sicurezza e resilienza».</i>
POLITO	Nell'ambito del presente semestre, POLITO ha condotto attività di ricerca relativamente alle seguenti linee di attività: LA1.12, LA1.13. La LA1.12 “Progettazione e sviluppo preliminare di un convertitore grid-forming con dispositivi Wide-Bandgap ed avanzata capacità diagnostica, e funzionalità di supporto alla rete con sovraccaricabilità adattativa e massima affidabilità”. L'attività di ricerca prevede la progettazione e lo sviluppo preliminare di un convertitore grid-forming trifase a tensione e frequenza industriale 400V, 50Hz di taglia proposta 100 kVA. Nel presente semestre, si è proceduto con la validazione sperimentale del dispositivo realizzato. In particolare, è stata condotta un'ampia campagna di test sperimentali con l'obiettivo di validare la tecnologia proposta. I dati raccolti hanno confermato pienamente l'efficacia della soluzione sviluppata, dimostrando non solo il successo del progetto, ma anche la sua concreta applicabilità nella prossima generazione di convertitori interfacciati a rete. La LA1.12 ha registrato alcuni scostamenti rispetto alla pianificazione iniziale. In luogo del prototipo definitivo, è stato realizzato un preprototipo con caratteristiche elettriche e funzionali strettamente analoghe, che ha consentito di validare le soluzioni tecnologiche proposte. La mancata realizzazione del prototipo finale è dovuta ai lunghi tempi di approvvigionamento dei materiali, incompatibili con le scadenze del progetto. Per consentire il raggiungimento degli obiettivi finali del progetto, è stato realizzato un preprototipo, riadattando un convertitore esistente, ma mantenendo inalterate le principali caratteristiche elettriche e funzionali previste per la versione finale. La principale differenza tra il preprototipo e il prototipo definitivo previsto da capitolato di progetto risiede nell'assenza dei meccanismi di sicurezza necessari per consentire l'utilizzo da parte di personale tecnico qualificato esterno al team di progettazione. Grazie al preprototipo, è stato possibile implementare le attività previste dal progetto, tra cui:

- Sviluppo e test del firmware di controllo, con verifica delle logiche operative e delle prestazioni dinamiche;
- Collaudo del convertitore in ambiente Power-Hardware-in-the-Loop (P-HiL), per simulare condizioni reali di esercizio;
- Validazione delle funzioni critiche, come la gestione del sovraccarico e il supporto alla rete, in conformità agli obiettivi di progetto.

Si fa presente, infine, che la progettazione del prototipo definitivo è stata comunque effettuata, in vista della sua futura realizzazione.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.12_165 «Progettazione e sviluppo preliminare di un convertitore grid-forming con dispositivi Wide-Bandgap ed avanzata capacità diagnostica, e funzionalità di supporto alla rete con sovraccaricabilità adattativa e massima affidabilità».*

La **LA1.13 “Test P-HiL preliminare di un convertitore grid-forming con avanzata capacità diagnostica e funzionalità di supporto alla rete”** prevede il

test preliminare del convertitore grid-forming realizzato nella LA 1.12 in modalità P-HiL, per la validazione funzionale, della stima di temperatura, e delle varie tecniche di controllo (islanding, supporto VSG, regolazione diretta della sovraccaricabilità). Nel presente semestre sono state portate a termine le attività avviate nel precedente semestre. Più nello specifico, per validare l'algoritmo di controllo proposto, è stata condotta un'ampia campagna di simulazioni termo-elettriche del convertitore di potenza. È stato sviluppato e testato un modello termo-elettrico dettagliato, capace di riprodurre con alta precisione le interazioni tra le dinamiche elettriche e termiche del convertitore. La simulazione in PLECS ha fornito una valutazione preliminare del convertitore VSM trifase, evidenziando la sua capacità di gestire sovraccarichi transitori.

Per quanto riguarda lo sviluppo del firmware di controllo, si è ulteriormente sviluppato il firmware precedentemente scritto durante la LA1.12. In particolare, ci si è dedicati ad ampliare la parte relativa al controllo VSM e alla parte di sovraccarico transitorio in caso di guasto alla rete.

La LA1.13 non ha registrato scostamenti tecnici rispetto alla pianificazione iniziale. L'unica variazione riguarda l'utilizzo del preprototipo al posto del prototipo finale per le attività sperimentali, a causa dei ritardi nell'approvvigionamento dei materiali. Come già evidenziato nella LA1.12, tale scelta non ha compromesso la validità dei risultati ottenuti, poiché le differenze tra i due dispositivi riguardano esclusivamente aspetti legati alla sicurezza e non alle funzionalità tecniche.

Nel corso del semestre è stato redatto il rapporto tecnico relativo alle attività svolte nell'ambito della LA:

- *Rapporto Tecnico: RdS_PTR 22-24_PR 2.3_LA1.13_166 «Test P-HiL preliminare di un convertitore grid-forming con avanzata capacità diagnostica e funzionalità di supporto alla rete».*

