

PIANO TRIENNALE DI REALIZZAZIONE 2022-2024 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 2.3

Titolo del progetto

Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio 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 (DENERG) [POLITO - DENERG]
- Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica [UNICA - DIEE]
- Università degli Studi di Palermo - Dipartimento di Ingegneria [UNIPA - DI]

Durata del progetto: 36 mesi

Costo proposto: 2.700.000,00 €

2. DATI GENERALI DEL PROGETTO

2.1 Dati progetto

Titolo del progetto

Evoluzione, pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche

Durata del progetto

36 mesi

2.2 Descrizione progetto

Abstract del progetto

La sicurezza elettrica rappresenta la capacità del sistema di fornire, agli utenti finali, energia elettrica in accordo a standard e criteri minimi di servizio. Questo concetto si declina in diverse dimensioni e richiede che sia garantita non solo la sicurezza dal punto di vista infrastrutturale ma anche di disponibilità delle risorse. In tal senso, deve essere garantita l'accessibilità, nelle diverse tempistiche, alle fonti energetiche dirette o indirette (ossia da convertire) per soddisfare la richiesta complessiva di energia elettrica. Nel mercato attuale, prevalentemente basato su fonti fossili, la capacità del sistema di acquisire fonti primarie da convertire nelle centrali per soddisfare la domanda di energia elettrica, anche attraverso accordi transfrontalieri, rappresenta uno dei fattori più critici per la sicurezza (dimensione geopolitica della sicurezza). In un sistema energetico fortemente decarbonizzato – potenzialmente più resiliente nei confronti della dimensione geopolitica – assume un peso di maggior rilievo la dimensione infrastrutturale e, con essa, la capacità di esercire il sistema elettrico garantendo un idoneo livello di sicurezza operativa, adeguatezza, affidabilità e resilienza anche in presenza di quote significative di fonti di generazione rinnovabili non programmabili. Diviene, pertanto, fondamentale proporre nuovi strumenti e tecnologie per la pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche che rispondano, in ottica prospettica ed evolutiva, alle esigenze di tale nuovo assetto del sistema energetico. In tali premesse, in linea con i due temi dell'obiettivo di ricerca 2.3, si contestualizza l'obiettivo generale del presente progetto che mira a studiare, analizzare e proporre metodologie, modelli e strumenti che abilitino, negli scenari energetici evolutivi, una pianificazione avanzata delle reti elettriche (tema 1) e consentano una opportuna valutazione dell'adeguatezza, della sicurezza operativa e resilienza anche in ottica di miglioramento della sicurezza energetica del sistema elettrico (tema 2). In linea con i suddetti temi, la proposta progettuale sarà articolata in 18 LA, i cui principali risultati verranno resi disponibili nei rapporti tecnici e nei diversi prodotti della ricerca, concettualmente riconducibili alle categorie di seguito descritte.

STUDI, METODOLOGIE E MODELLI

I prodotti della ricerca di questa categoria, in linea con i temi 1 e 2, mirano a definire e sviluppare: i) modelli per la pianificazione dell'esercizio delle reti che implementino azioni a breve, medio e lungo termine, in ottica di miglioramento dell'adeguatezza, resilienza, flessibilità e sicurezza in esercizio della rete negli scenari energetici futuri; ii) modelli per la valutazione dell'adeguatezza, della flessibilità e della resilienza basati su metodologie rappresentative dei contesti energetici futuri. Al fine di identificare le variabili critiche da includere nella pianificazione dell'esercizio delle reti e nel calcolo dell'adeguatezza dei sistemi elettrici in scenari evolutivi, saranno condotti studi analitici e sperimentali. In particolare, avvalendosi di tecniche avanzate di modellazione, quali il forecasting, il machine learning e l'anomaly detection, e mediante prove sperimentali su apparati che saranno ampiamente diffusi nelle reti energetiche future (sistemi elettronici per il monitoraggio, l'automazione avanzata e la protezione delle reti), si condurrà una analisi delle anomalie e dei guasti che inficiano la sicurezza e l'operatività del sistema elettrico. I risultati dello studio, opportunamente corredati dai dati analitici e sperimentali prodotti, forniranno informazioni rilevanti sia per lo sviluppo dei modelli di pianificazione, gestione ed esercizio delle reti elettriche resi all'interno del progetto sia come base dati a beneficio di altri soggetti (es. soggetti industriali produttori di tecnologia).

APPARATI HARDWARE

In linea con il tema 2, in output alla presente proposta progettuale, verrà realizzato un convertitore prototipale grid-forming basato su dispositivi Wide-Bandgap ed avanzata capacità diagnostica, e funzionalità di supporto alla rete con sovraccaricabilità adattativa e massima affidabilità. Tale dispositivo mira ad ottenere l'inversione di paradigma per cui la stabilità della rete migliora anziché peggiorare all'aumentare della penetrazione delle fonti rinnovabili, con immediate ripercussioni sull'impatto ambientale della produzione e distribuzione dell'energia elettrica. La sperimentazione in scala laboratorio apre l'opportunità ad una possibile successiva industrializzazione di questa tecnologia abilitante.

SOFTWARE

Tale categoria di prodotti comprende i software dei modelli progettati (si veda categoria "STUDI, METODOLOGIE E MODELLI"). Tali software verranno altresì resi disponibili in un ambiente digitale integrato di tipo open source da cui sarà possibile effettuare il download o l'esecuzione sia dei software per la valutazione dell'adeguatezza e della sicurezza operativa della fornitura in corrispondenza di specifiche configurazioni di rete (tema 2) sia dei software di gestione delle reti (tema 1) che considerino le anomalie di funzionamento e le contingenze sia in fase di pianificazione che di esercizio. Nel software verrà anche integrato ORAtool, il tool per il reliability assessment

precedentemente implementato nel corso dell'AdP 2019-2021.

Per produrre un effettivo avanzamento rispetto allo stato dell'arte, le soluzioni software proposte saranno di tipo open source e utilizzeranno anche tecniche di intelligenza artificiale e di anomaly detection in aggiunta alle tecniche di modellazione tradizionalmente adoperate nel settore delle reti elettriche.

TESTING SPERIMENTALE

I prodotti della ricerca sopra richiamati saranno testati sperimentalmente presso il C.R. ENEA di Portici e presso le strutture messe a disposizione dalle Università co-beneficiarie, al fine sia di avvalorare i risultati teorico-simulativi ottenuti, che di individuare eventuali interventi di upgrade delle soluzioni e configurazioni di sistema esaminate.

DIFFUSIONE DEI RISULTATI

In ottica di potenziamento dei risultati della ricerca, i modelli e il tool sviluppati saranno resi disponibili in modalità open-source attraverso il sito della Ricerca di Sistema dell'ENEA, al termine del processo di valutazione finale del progetto da parte della Commissione di Esperti. La loro divulgazione sarà garantita sia attraverso i canali della disseminazione scientifica che attraverso la diffusione a stakeholder di settore mediante partecipazione a tavoli tecnici nel corso del triennio. Un evento finale, che vedrà il coinvolgimento dell'affidatario e dei co-beneficiari, sarà organizzato a fine progetto per presentare tutti i risultati della ricerca.

Abstract del progetto ENG

Electricity security represents the power system's capability to supply electricity to the end users, the energy according to minimum service standards and criteria. According to this requirement, accessibility to direct or indirect (i.e., to be converted) energy sources must be guaranteed in order to satisfy the overall electricity demand.

In the current market, mainly based on fossil fuels, the system's ability to acquire primary sources to be converted into power stations to meet the electricity demand, even by including cross-border contracts, represents one of the most critical factors for security (geopolitical dimension of security). In a carbon free energy system – potentially more resilient from a geopolitical dimension point of view – the infrastructural dimension takes greater importance. In fact, the ability of the electricity system to guarantee an adequate level of operational security, adequacy, reliability, and resilience, even in the presence of significant shares of non-programmable renewable generation sources, becomes a priority.

In these premises, new tools and technologies are essential for planning, managing and operating electricity grids on specific needs of future energy scenarios. In line with the two research objectives of the project 2.3, this proposal aims to study, analyze and develop methodologies, models and tools that enable advanced operation and planning of decarbonized energy systems (topic 1) based on an appropriate assessment of the adequacy, operational safety, resilience and energy security (topic 2).

More in detail, the project proposal is composed by 18 Las, each one lasting 18 months. The main results of the project will be made available in the technical reports and in the research products, conceptually linked to the categories described below.

STUDIES, METHODOLOGIES AND MODELS

The research products of this category, in line with topic 1 and topic 2, aim to define and develop: i) grid operation planning models that implement short, medium, and long-term actions, for improving of the adequacy, resilience, flexibility and operational safety of the grid in future energy scenarios; ii) models to assess adequacy, flexibility and resilience based on methodologies suitable for future energy scenarios.

To identify the main critical variables to be included in grid operation planning and in the assessment of the adequacy of electrical systems in future scenarios, analytical and experimental studies will be conducted. Several activities will be carried out for identifying anomalies and failures that affect the security of the future electricity systems. To this aim, advanced modelling techniques (e.g., forecasting, machine learning and anomaly detection) will be applied, and experimental tests on devices, that will be widely used in future energy grids (e.g., electronic components) will be conducted.

The results, obtained from the analytical study and experimental campaign, will provide relevant data both for the development of models and useful to potential stakeholders (e.g., industrial entities producing technology).

HARDWARE DEVICES

In line with theme 2, as research product of this project proposal, a grid-forming prototype converter based on Wide-Bandgap devices and advanced diagnostic capability, and network support functions with adaptive overloadability and maximum reliability will be realized. This device aims to achieve the paradigm shift whereby the grid stability improves rather than worsens as the penetration of renewable sources increases, with immediate repercussions on the environmental impact of electricity production and distribution. Experimentation on a laboratory scale opens the opportunity for a possible industrialization of this enabling technology.

SOFTWARE

This category includes software related to the models developed under the project. Such research products will be made available as open-source software, downloadable from the ENEA website. All software will be integrated in a unique tool for assessing the adequacy, resilience, and operational security of the supply (topic 2), and for downloading the control logics for the advanced management and operational planning of the power systems, which include operating anomalies and contingencies (topic 1). The software will also include ORAtool, a reliability assessment tool, implemented under the framework of the "Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico

2019-2021”.

To go beyond the state of art, the proposed research products will use advanced artificial intelligence and anomaly detection techniques in addition to the modelling techniques traditionally used in the electricity grid sector.

EXPERIMENTAL TESTING

The above-mentioned research products will be experimentally tested at the C.R. ENEA of Portici and at the other available facilities of the co-beneficiary Universities, in order both to test the results obtained from the simulations and modelling study, and to identify possible improvement.

DISSEMINATION OF RESULTS

To enhance the research results, the developed models and tools will be made available as open-source products made available through the ENEA website after the final evaluation process of the project by the Commission of Experts. Furthermore, the dissemination will be guaranteed through scientific and technical papers, workshops and a final event at the end of the project.

2.3 TRL progetto

TRL iniziale: 2

TRL finale: 4

La letteratura tecnico-scientifica e i cataloghi commerciali delle aziende operanti in settori inerenti alla specifica proposta progettuale evidenziano la disponibilità, al massimo livello di maturità tecnologica (TRL 8-9), di sistemi software e apparati per le reti elettriche di trasmissione e distribuzione in scenari energetici «neri», ovvero essenzialmente basati su combustibili fossili. Come mostrato da numerosi studi, però, tali strumenti non rispondono a pieno alle esigenze di sistemi di potenza in cui la componente di generazione rinnovabile non programmabile diventa prevalente rispetto a quella fossile (scenari «verdi») e in concomitanza di eventi critici improvvisi ed imprevisti (es. fenomeni climatici estremi). Benché molteplici siano gli studi in corso in tale ambito, l'attuale livello di maturità tecnologica risulta ancora estremamente basso (TRL 2). L'esigenza di individuare metodologie di calcolo che mettano a sistema più fattori, in grado di rappresentare le problematiche specifiche dei sistemi elettrici nei nuovi scenari energetici, e costruire i relativi modelli rende, infatti, complesso lo sviluppo di strumenti adeguati e richiede ancora studi e approfondimenti in ambiente sia simulativo che sperimentale.

A riprova di quanto affermato, si consideri, a titolo di esempio, il caso dell'adeguatezza. La valutazione di tale proprietà viene condotta dagli operatori di rete di trasmissione mediante la metodologia proposta da ENTSO-E. Tale metodologia, pur risultando valida e consolidata, non tiene conto di fattori, quali l'affidabilità degli apparati o il loro comportamento in presenza di anomalie operative, che potranno avere una influenza significativa nei sistemi energetici decarbonizzati. D'altra parte, l'importanza di una valutazione congiunta di più fattori è già evidente allo stato attuale. Nel 2022, ad esempio, il 25, 26 e 27 luglio, si sono registrate, in tutta Europa, temperature particolarmente elevate ed anomale rispetto alle medie stagionali. Conseguentemente, nelle tre giornate, si è assistito ad un aumento generale del fabbisogno energetico europeo a fronte di una rilevante riduzione della disponibilità della generazione termoelettrica per effetto di avarie e malfunzionamenti. Complessivamente, circa un terzo della capacità termoelettrica italiana è risultato non disponibile per la copertura della domanda e Terna, a causa della significativa riduzione del margine di adeguatezza è stata costretta ad attivare, per la prima volta, il servizio di approvvigionamento della riserva terziaria a salire prima della sessione di Mercato Giorno Prima. Il perdurare dell'anomalia avrebbe, altresì, potuto compromettere la disponibilità energetica di export da parte dei Paesi europei da cui l'Italia dipende, mettendo a rischio la sicurezza energetica del nostro Paese.

Alla luce di tali premesse, al fine di incrementare il TRL da 2 a 4, il progetto proporrà metodologie, modelli e strumenti, che tengano conto delle peculiarità dei contesti energetici futuri, validate in ambiente sperimentale di laboratorio. In tal senso, saranno condotti studi analitici e simulativi per analizzare l'impatto delle influenze esterne e interne sulla sicurezza, adeguatezza e resilienza di reti o porzioni di reti e, parallelamente, caratterizzazioni sperimentali delle anomalie di funzionamento di alcuni componenti delle reti che si avvarranno anche dell'utilizzo di tecniche di machine learning e anomaly detection. Gli output di tali studi e sperimentazioni contribuiranno a costruire metodologie e modelli software che, oltre a costituire un avanzamento rispetto allo stato dell'arte, si collocano ad un TRL corrispondente a validazione tecnologica in ambiente di laboratorio (TRL 4). Al livello di sviluppo tra TRL 4 e TRL 5, verrà, infine, reso disponibile un convertitore prototipale grid-forming basato su dispositivi Wide-Bandgap ad avanzata capacità diagnostica e funzionalità di supporto alla rete con sovraccaricabilità adattativa

2.4 Inquadramento del progetto nello stato dell'arte

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

La sicurezza elettrica rappresenta la capacità del sistema di fornire energia elettrica agli utenti finali in accordo a standard e criteri minimi di servizio, anche facendo fronte a condizioni anomale di funzionamento o interruzioni dovute a guasti o eventi straordinari. Un sistema

sicuro dal punto di vista elettrico è, quindi, un sistema in cui siano garantiti (Ph.D thesis "Electricity Security: Models and methods for supporting the policy decision making in the European Union", Gianluca Fulli (JRC), under the supervision of Prof. Francesco Profumo and Prof. Ettore Bompard (Politecnico di Torino), 2016 disponibile al link:

https://ses.jrc.ec.europa.eu/electricity-security#elec_sec_full_material):

- sicurezza in esercizio (operational security): capacità del sistema di mantenere o ripristinare le condizioni operative a valle di disturbi (es. instabilità di frequenza o tensione). Copre problemi dinamici e problemi di gestione della rete in tempo reale.
- flessibilità: capacità del sistema elettrico di far fronte alla variabilità a breve/medio termine della generazione (es. fonti rinnovabili) e della domanda in modo che il sistema sia mantenuto in equilibrio.
- adeguatezza: capacità del sistema elettrico di coprire la domanda elettrica aggregata in ogni momento in condizioni operative normali. L'adeguatezza mette a sistema diverse componenti: adeguatezza dei sistemi di generazione/stoccaggio, adeguatezza della rete di trasmissione e/o dell'import, adeguatezza della rete di distribuzione fino agli utenti finali, adeguatezza del mercato.
- resilienza: capacità a medio termine del sistema elettrico di assorbire gli effetti di un'interruzione di servizio causata da eventi estremi e recuperare un livello conforme agli standard e criteri minimi di prestazioni.
- robustezza: capacità a lungo termine del sistema elettrico di far fronte a vincoli/sollecitazioni non connessi a problematiche infrastrutturali (es. problematiche di approvvigionamento delle fonti primarie per ragioni geopolitiche).

Garantire che il sistema elettrico operi con un adeguato livello delle suddette «capacità» richiede l'applicazione di strumenti sia software che hardware che, da un lato, consentano l'opportuna quantificazione e il monitoraggio delle grandezze ad essa correlate e, dall'altro, forniscano strumenti per la pianificazione e l'esercizio delle reti. In tali premesse, di seguito, si fornisce un inquadramento dello stato dell'arte nazionale e internazionale relativamente alle attività previste nel progetto con particolare riferimento agli specifici output.

STUDI, METODOLOGIE, MODELLI E SOFTWARE

La letteratura tecnico-scientifica propone diverse metodologie e modelli per la valutazione e, in taluni casi, il miglioramento delle proprietà/capacità dei sistemi elettrici (azioni a breve, medio o lungo termine sulla rete). Data la diversa natura di tali proprietà, come è facilmente intuibile, non è possibile applicare una metrica comune per la loro valutazione. Inoltre, allo stato dell'arte, per la maggioranza delle suddette proprietà/capacità non sono disponibili né a livello nazionale né a livello internazionale metodologie standard di valutazione. Più nello specifico, per la sola adeguatezza è disponibile, quale standard di riferimento, la metodologia proposta da ENTSOE (European Resource Adequacy Assessment 2022 Edition – ENTSOE).

Al pari degli strumenti di valutazione delle capacità del sistema elettrico, la transizione energetica rende necessaria anche una revisione degli interventi sulla rete per il miglioramento delle proprietà che contribuiscono alla sicurezza. Più nello specifico è possibile notare che, allo stato dell'arte:

- 1) Le azioni a breve termine e quelle di pianificazione a medio e lungo termine, ad oggi, operano generalmente a livello di reti di distribuzione e di trasmissione, coinvolgendo al massimo la bulk generation (es. centrale idroelettrica). Molteplici studi e articoli in letteratura tecnico-scientifica propongono modelli che estendono le azioni di controllo alle risorse distribuite, agli utilizzatori e alle risorse aggregate ma, generalmente, tali algoritmi non includono analisi relative agli effetti di possibili anomalie di comportamento dei componenti (anomaly detection) e/o di affidabilità sulla sicurezza complessiva del sistema. Tali fattori assumeranno, invece, un peso sempre maggiore negli scenari energetici futuri e non potranno essere trascurati. A riprova di ciò, si consideri il crescente numero di eventi estremi connessi al cambiamento climatico e le potenziali ripercussioni sulla resilienza della rete.
- 2) Le diverse proprietà di un sistema elettrico "sicuro" vanno valutate a differenti orizzonti temporali e, conseguentemente, presuppongono azioni di gestione di diversa natura (es. "operational planning and scheduling actions" per l'adeguatezza e la resilienza; "operational actions" per la sicurezza in esercizio, ecc.). Questi studi non considerano una scala temporale adeguata alle esigenze dettate dai nuovi scenari energetici. Si consideri, a titolo di esempio, la problematica della riconfigurazione ottimale delle reti (ONR – Optimal Network Reconfiguration). Quest'ultima si basa sulla ricerca di una soluzione ottimale, rispetto a una determinata funzione obiettivo, attraverso il controllo dello stato di apertura/chiusura di switch e interruttori. L'ONR è un problema di ottimizzazione combinatoriale che può richiedere notevoli sforzi computazionali per la sua applicazione a grandi sistemi elettrici. La formulazione e la soluzione di questo problema sono state ampiamente discusse a livello di trasmissione, ma trovano al giorno d'oggi crescenti applicazioni anche sul livello di distribuzione (B. Sultana, M.W. Mustafa, U. Sultana, A. R. Bhatti, "Review on reliability improvement and power loss reduction in distribution system via network reconfiguration," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Pages 297-310, Volume 66, 2016). Un numero rilevante di applicazioni ONR è solitamente destinato alla soluzione di problemi di pianificazione multi-obiettivo e di riconfigurazione off-line attraverso tecniche euristiche e meta-euristiche (J.M. Nahamn, D.M. Perić, "Optimal Planning of Radial Distribution Networks by Simulated Annealing Technique", *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 23, May 2008; A. Gonzalez, F.M. Echavarren, L. Rouco, T. Gomez, J. Cabetas, "Reconfiguration of large-scale distribution networks for planning studies", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 37, Issue 1, pp 86-94, May 2012). Questi studi si riferiscono ad approcci off-line, mentre, data l'effettiva necessità di rendere i sistemi di distribuzione più flessibili e resilienti, è necessario sviluppare nuovi approcci di ottimizzazione da implementare durante le operazioni di sistema in tempo reale (A. Vargas and M. E. Samper, "Real-Time Monitoring and Economic Dispatch of Smart Distribution Grids: High Performance Algorithms for DMS Applications," in *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 3, no. 2, pp. 866-877, June 2012).

3) La caratterizzazione di anomalie e guasti dei componenti del sistema elettrico richiede, oltre ad una analisi dei singoli apparati, lo studio degli impatti dell'anomalia o del guasto a livello di sistema complessivo. Questi non possono essere trascurati né nella formulazione degli strumenti di valutazione della sicurezza elettrica e delle proprietà correlate né nella progettazione di modelli di gestione e pianificazione delle reti. Una modellazione accurata, infatti, dovrebbe essere rappresentativa di problematiche che stanno assumendo un'incidenza sempre maggiore negli scenari energetici basati su alte quantità di fonti rinnovabili. Allo stato dell'arte, lo studio dei guasti o delle anomalie di funzionamento a livello di dispositivo è generalmente condotto dalle case costruttrici e/o da altri enti nell'ambito degli studi sull'affidabilità. I dati di tali studi non vengono generalmente resi pubblici con conseguenti difficoltà nel condurre lo studio degli impatti dell'anomalia o del guasto a livello di sistema complessivo. Non sono altresì diffusi in letteratura i modelli di detection delle anomalie per la progettazione di azioni di mitigazione da applicare a reti e microreti in ottica di miglioramento della sicurezza elettrica e delle proprietà ad esse correlate.

L'analisi dello stato dell'arte evidenzia, infine, che non sono presenti in letteratura tool integrati che mettono a disposizione modelli che valutino tutte le suddette proprietà in un ambiente software unico di tipo commerciale o di tipo open source.

APPARATI HARDWARE

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.

b) Attività svolte nel triennio precedente

Le attività della presente proposta progettuale si pongono in continuità con il 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 2019-2021. Più nello specifico, ENEA ed UNIPA hanno partecipato, rispettivamente come affidatario e co-beneficiario, al progetto 2.7, nell'ambito del quale, tra gli altri prodotti della ricerca, è stato sviluppato uno strumento software per la valutazione dell'affidabilità della fornitura e di componente nelle microreti ibride AC/DC (ORAtool). Nel presente triennio, ORAtool verrà utilizzato come strumento propedeutico alla progettazione e implementazione di una metodologia avanzata per la valutazione dell'adeguatezza di un sistema elettrico che consideri anche l'affidabilità dei componenti e della fornitura tra le proprietà analizzate. Ancora in continuità con i risultati del precedente triennio, le configurazioni di rete benchmark e gli scenari energetici definiti nel progetto 2.7 potranno essere utilizzati, rispettivamente, come architetture di reti test e scenari di riferimento per le attività di testing sperimentale del progetto 2.3.

Relativamente ai progetti in corso di realizzazione, le attività della presente proposta progettuale risultano complementari alle attività svolte da RSE nell'ambito dello stesso progetto 2.3. Come più dettagliatamente riportato nel Piano di Coordinamento allegato alla presente proposta, gli obiettivi generali delle due proposte progettuali sono stati discussi e concordati preventivamente dai due affidatari in modo da evitare possibili sovrapposizioni. Pertanto, i prodotti della ricerca sviluppati dai due affidatari in relazione ai due temi affrontati nel progetto risulteranno non solo complementari ma anche sinergici nell'ottica di perseguimento di 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

Di seguito, si riportano gli obiettivi scientifici e tecnologici e i progressi attesi rispetto allo stato dell'arte suddivisi per categorie di prodotto della ricerca, in linea con la suddivisione precedentemente adottata.

1. RISULTATI DELL'ANALISI DELLE ANOMALIE E DEI GUASTI CHE INFIANCO LA SICUREZZA E L'OPERATIVITÀ DEL SISTEMA ELETTRICO.

Ad oggi, la letteratura tecnico-scientifica di settore non fornisce dati sperimentali su apparati elettronici che saranno ampiamente diffusi nelle reti energetiche future (es. elettronica di monitoraggio, automazione avanzata e protezione delle reti), mentre sono di più facile reperibilità dati relativi ai dispositivi di utilizzo più consolidato nelle reti. Il presente progetto produrrà un avanzamento rispetto allo stato dell'arte, poiché fornirà dati sperimentali circa il comportamento di tali apparati in corrispondenza di anomalie e dei guasti che inficiano il funzionamento e la sicurezza e l'operatività del sistema elettrico. In tal senso, saranno contattati i gestori delle reti per la richiesta di dati storici relativi alle anomalie e ai guasti delle apparecchiature di interesse.

2. MODELLI PER LA PIANIFICAZIONE DELL'ESERCIZIO DELLE RETI CHE IMPLEMENTINO AZIONI A BREVE, MEDIO E LUNGO TERMINE, IN OTTICA DI MIGLIORAMENTO DELL'ADEGUATEZZA, RESILIENZA, FLESSIBILITÀ E SICUREZZA IN ESERCIZIO DELLA RETE NEGLI SCENARI ENERGETICI FUTURI.

Un primo avanzamento rispetto allo stato dell'arte dei modelli proposti nella presente proposta progettuale riguarda l'inserimento di modelli per l'identificazione di componenti di rete meno affidabili nella pianificazione dell'esercizio delle reti. Tale conoscenza mette a disposizione informazioni supplementari per valutare il coinvolgimento o l'esclusione di specifiche risorse dal programma di gestione attiva della rete e, conseguentemente, consente una più attendibile pianificazione del sistema.

Gli strumenti di pianificazione operativa, inoltre, saranno sviluppati anche per reti squilibrate (reti di distribuzione Bassa Tensione), aspetto ad oggi poco analizzato in letteratura.

3. MODELLI PER LA VALUTAZIONE DELL'ADEGUATEZZA, DELLA FLESSIBILITÀ E DELLA RESILIENZA BASATI SU METODOLOGIE RAPPRESENTATIVE DEI CONTESTI ENERGETICI FUTURI.

Un primo avanzamento rispetto allo stato dell'arte riguarda lo sviluppo di modelli per la valutazione dell'adeguatezza che tengano conto dell'affidabilità della fornitura o di componente. La metodologia individuata sarà sviluppata e codificata usando idonei strumenti opensource per l'analisi delle reti elettriche e adotterà, per il calcolo dell'affidabilità, il tool ORAtool sviluppato nell'ambito del progetto 2.7 del Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico nel triennio 2019-2021.

Un secondo avanzamento riguarda l'integrazione dei modelli di valutazione con tecniche avanzate di analisi basate sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale (machine learning e anomaly detection).

4. MATRICI DI CORRELAZIONE TRA INFLUENZE ESTERNE E ASPETTI DI SICUREZZA, ADEGUATEZZA E RESILIENZA DI PORZIONI DI RETI PUBBLICHE O DI UTENTI PRIVATI

Le matrici di correlazione forniranno informazioni circa le relazioni tra parametri climatici 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. Queste informazioni, superando lo stato dell'arte, saranno strutturate in maniera tale da rendere possibile l'identificazione di un ranking tra fattori maggiormente correlati, così da fornire uno strumento utile a future analisi di scenario più mirate.

5. SOFTWARE INTEGRATO DI TIPO OPEN SOURCE PER LA VALUTAZIONE DELLE CAPACITÀ DEL SISTEMA ELETTRICO E LA PIANIFICAZIONE DELLE RETI

Il software, in continuità con il software ORAtool sviluppato nell'ambito dell'Accordo di Programma 2019-2021, sarà totalmente open source e renderà disponibili modelli di analisi e valutazione, allo stato attuale, generalmente conducibili attraverso software di tipo commerciale. I risultati attesi produrranno, quindi, un avanzamento rispetto allo stato dell'arte ma anche rispetto ai risultati raggiunti nel precedente triennio, perché il software proposto nel progetto estenderà le funzionalità disponibili e abiliterà le analisi di reti anche per gli utenti non in possesso di software per le analisi dei sistemi di potenza di tipo commerciale.

6. CONVERTITORE PROTOTIPALE GRID-FORMING BASATO SU DISPOSITIVI WIDE-BANDGAP ED AVANZATA CAPACITÀ DIAGNOSTICA, E FUNZIONALITÀ DI SUPPORTO ALLA RETE CON SOVRACCARICABILITÀ ADATTATIVA E MASSIMA AFFIDABILITÀ.

Il convertitore proposto, dotato di sovraccaricabilità adattabile (massimizzabile) in base alla temperatura di giunzione e di affidabilità virtualmente infinita ambisce a diventare un componente chiave delle presenti e future smart grid. Tale tipologia di apparato non è disponibile a livello commerciale e costituisce, pertanto, un evidente avanzamento rispetto allo stato dell'arte.

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

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) 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.

2) 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 nel progetto ELECTRA potranno essere di ausilio nello sviluppo delle azioni di pianificazione e gestione delle reti.

3) 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.

4) “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. L'esperienza di progettazione e sviluppo condotta risulterà utile per le attività di ricerca previste nella LA 1.2.

5) “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.

6) “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). L'attività LA1.11 prevede la realizzazione di un collegamento analogo a quello stabilito tra i due Politecnici.

7) “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.

8) “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.

9) “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). Nel progetto Smart Grids, 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. I modelli sviluppati potranno costruire una base di lavoro preliminare per le attività di POLIBA.

10) 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”. Il progetto ZERO 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 utilizzata per i test della LA1.11.

11) 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 un modello di pianificazione operativa delle reti elettriche di distribuzione, con l'obiettivo di determinare la quantità di flessibilità necessaria per la gestione ottima e in sicurezza dell'intero sistema (LA 1.8). Nell'ambito dello stesso progetto OSMOSE, UniCA ha anche sviluppato una metodologia originale per valutare la scalabilità e replicabilità di progetti di smart grid che potrebbe essere applicata a tutti i prodotti del presente progetto.

12) 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 1.8).

13) "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 come benchmark per le attività di testing della LA 1.9.

14) "perQ - Sviluppo di tool di simulazione di reti di bassa tensione dissimetriche attive per calcolo di flussi di potenza attiva e reattiva, perdite e profili di tensione in reali condizioni operative e valutazione di possibili criteri di gestione innovativi" (2016-2020), finanziato da e-distribuzione, svolto in collaborazione con l'Università degli Studi di Padova. UniCA ha raggiunto l'obiettivo di caratterizzare i clienti delle reti di bassa tensione attraverso curve tipiche di consumo elettrico, aggiornate ai comportamenti attuali. Tali curve di consumo tipico potranno essere usate nella attività di modellazione e testing (LA 1.8 e 1.9) al fine di determinare la quantità di flessibilità necessaria per la gestione ottima e in sicurezza dell'intero sistema.

15) 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 e BT 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 quelle di testing della LA 1.9.

16) 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".

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 1.9). Ad esempio, UniCA coordina il WP5 dello Spoke 8 che intende valutare differenti misure migliorative della resilienza delle reti di distribuzione.

Nell'ambito dello stesso 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.

17) 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 definire casi di studio reali su cui testare (LA 1.9) i modelli di pianificazione operativa sviluppati in LA 1.8.

Inoltre, il progetto presenta elementi di collegamento con il progetto FlexPlan "Advanced methodology and tools taking advantage of storage and FLEXibility in transmission and distribution grid PLANning" (2019-2023), finanziato dalla EU nell'ambito del programma Horizon 2020 (Grant agreement No 691405).

2.5 Obiettivi e risultati

a) Obiettivi finali del progetto

La sicurezza di un sistema energetico, come già richiamato al paragrafo di inquadramento nello stato dell'arte, è interconnessa a diverse

proprietà del sistema ed è dipendente da numerosi attori e risorse. La transizione verso scenari «verdi» sta aumentando la multidimensionalità del problema e rendendo sempre meno adeguate metodologie che non adottino un approccio integrato di analisi per la valutazione della sicurezza, per la pianificazione e la gestione in esercizio delle risorse dei sistemi elettrici. Al fine di rendere disponibili strumenti più idonei ed efficaci per l'analisi della sicurezza, si rende necessaria l'adozione di approcci di valutazione, e conseguentemente, di pianificazione, di tipo integrato (<https://ses.jrc.ec.europa.eu/electricity-security>).

Inoltre, la crescente presenza nel sistema di fonti energetiche non programmabili, caratterizzate da una variabilità della produzione istantanea che può discostarsi anche in maniera significativa da quella previsionale, rende inadeguati, per talune applicazioni, i modelli statici e richiede il ricorso a modelli di tipo dinamico.

In tale consapevolezza, 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:

- condotti studi analitici e sperimentali propedeutici all'identificazione dei fattori di multidimensionalità da applicare (es. correlazione tra fattori e ranking tra fattori maggiormente correlati) e dei dati necessari a lavorare con un approccio integrato (es. anomalie dei componenti).
- applicate tecniche avanzate per implementare – in ambiente open source – l'analisi delle anomalie e previsionale per il forecasting della generazione e del carico.
- proposte metodologie per la valutazione dell'adeguatezza del sistema energetico che integreranno l'analisi dell'affidabilità di fornitura e di componente, oltre che informazioni su possibili anomalie di componente legate a specifiche condizioni di funzionamento. Tale approccio è proposto a livello locale e tiene conto di una gestione della rete basata su configurazioni con rilevanti quantità di risorse di tipo distribuito.
- sviluppate tecniche di Optimal Network Reconfiguration (ONR) che adottano una scala "in tempo reale" e propongono modelli per l'utilizzo ottimale della flessibilità finalizzato al miglioramento delle prestazioni del sistema (es. resilienza).
- adottate tecniche di rimodulazione con sovraccaricabilità adattativa per supportare la stabilità della rete in tempo reale nella progettazione del prototipo di convertitore sviluppato.

Gli obiettivi specifici proposti hanno il fine ultimo di rendere disponibile ai diversi stakeholder di settore e beneficiari, successivamente richiamati al paragrafo 2.7, prodotti della ricerca che abilitino azioni in linea con i programmi Europei e, in particolare, con le misure a medio termine del piano REPower EU.

b) Principali risultati attesi/deliverable

Il presente progetto di ricerca produrrà, come descritto per esteso nella Tabella 4, i seguenti prodotti della ricerca:

- 18 Rapporti Tecnici
- 9 Software che produrranno un avanzamento rispetto alle soluzioni esistenti sia di tipo metodologico (come precedentemente descritto nella sezione "elementi di avanzamento e innovazione descritti") sia in termini di fruibilità del prodotto. In relazione a questo ultimo punto, infatti, i software saranno resi disponibili sia come singoli prodotti della ricerca che in un ambiente digitale unico e di tipo open-source. Ciò consentirà una maggiore facilità di utilizzo e una maggiore potenziale diffusione dei prodotti a cui sarà possibile accedere anche senza il supporto di licenze commerciali per l'analisi dei sistemi di potenza.
- Data set simulativi/emulativi/sperimentali che forniranno anche dati attualmente non disponibili nella letteratura tecnico-scientifica di settore (es. dati provenienti da caratterizzazioni sperimentali).
- 1 prototipo di convertitore basato su soluzione progettuale attualmente non disponibile sul mercato. La diffusione degli schemi preliminari di progetto e delle principali caratteristiche del sistema sviluppato nei rapporti tecnici consentirà di replicare la soluzione a livello commerciale.

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 della tematica 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. In particolare, i modelli proposti saranno applicati a configurazioni di reti di test in ambiente simulazione e sperimentale tramite Hardware-In-the-Loop; la comparazione tra gli indicatori di prestazione in assenza e in presenza dei modelli sviluppati 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

Il presente progetto è articolato in 18 LA, 16 delle quali focalizzate sullo sviluppo di soluzioni orientate al raggiungimento degli obiettivi proposti, rispettivamente, dal tema 1 (Innovazione tecnologica, architettura ed esercizio delle reti) e dal tema 2 (Nuovi metodi e strumenti

per la gestione delle reti e per valutazioni di adeguatezza, sicurezza e resilienza). Due LA sono, invece, dedicate alle "Attività di diffusione". Ciascuna LA presenta una durata di 18 mesi. Relativamente alle milestone si prevede la seguente calendarizzazione:

- La data di scadenza rappresenta la principale milestone per ciascuna LA; i relativi risultati verranno resi disponibili nei prodotti della ricerca come da Tabella riassuntiva 4.
- LA 1.2 presenta due ulteriori milestone, rispettivamente al mese M30 e al mese M33. Più nello specifico, al mese M30 dovranno essere forniti, alle LA correlate, i profili di generazione e al mese M33 i profili di carico.
- LA 1.3 presenta una milestone aggiuntiva al mese M34, in corrispondenza della quale dovrà fornire, alle LA correlate, i profili di funzionamento degli apparati.
- LA 1.5, LA 1.6, LA 1.8, LA 1.10 presentano una milestone aggiuntiva al mese M30, in corrispondenza della quale devono fornire i modelli sviluppati alle linee dedicate al testing.
- LA 1.6, LA 1.9, LA 1.11 presentano una milestone aggiuntiva al mese M33, in corrispondenza della quale devono fornire i modelli testati alla linea di sviluppo del tool integrato (LA 1.15).
- LA 1.12 presenta una milestone aggiuntiva al mese M30, in corrispondenza della quale deve fornire il prototipo per il testing POLITICO-ENEA (LA 1.13 e LA 1.16).
- LA 1.16 deve fornire al mese M30 i dati per la valutazione delle anomalie necessari alla LA 1.3.

Le attività di diffusione prevedranno sia azioni di disseminazione scientifica e tecnica sia partecipazioni e supporto ai tavoli tecnici di enti connessi alla normativa tecnica nazionale e internazionale. In particolare, verranno effettuate presentazioni relative allo stato di avanzamento e dei risultati finali del progetto almeno 2 volte all'anno, da parte di uno o più affidatari/co-beneficiari, nell'ambito di conferenze, comitati di standardizzazione, tavoli di lavoro e visite ai laboratori a conclusione del progetto. Con particolare riferimento agli operatori di rete, i prodotti della ricerca del progetto saranno presentati ai TSO e ai DSO in occasione delle riunioni dei Tavoli di Confronto a cui partecipano i diversi esperti del sistema energetico italiano (tra cui esperti TERNA, e-Distribuzione, ecc.) e in cui sono coinvolti ENEA e alcuni dei co-beneficiari della presente proposta. La presentazione, in tal caso, non avrà il solo fine divulgativo ma sarà anche orientata a recepire eventuali indicazioni da parte degli esperti, tra cui i TSO e i DSO.

Gli strumenti progettati e sviluppati dai proponenti (metodologie, modelli software, prototipo di convertitore), in ottica di superamento dello stato dell'arte, saranno basati su soluzioni innovative, che integrino aspetti di modellazione che potranno diventare cruciali per gli scenari energetici futuri. Tra questi saranno considerati: 1) l'affidabilità di componente e della fornitura nel breve medio e lungo periodo; 2) gli effetti di possibili anomalie di comportamento dei componenti; 3) le correlazioni tra influenze esterne e il relativo impatto sulla sicurezza del sistema elettrico. Al fine di superare possibili criticità connesse all'assenza, nella letteratura di settore, di dati per lo studio dei suddetti aspetti e la relativa modellazione, saranno condotte prove in modalità simulativa, emulativa o sperimentale. L'utilizzo di ambienti di tipo HIL consentirà di estendere la sperimentazione a configurazioni di scala più ampia rispetto a quella prevista dal solo utilizzo di facility di laboratorio e l'eventuale interconnessione tra laboratori di proponenti, laddove consentito, potenzierà ulteriormente le possibilità di sperimentazione, riducendo i rischi connessi all'utilizzo di una sola facility sperimentale.

Più in generale, la presente proposta progettuale mira a fornire strumenti avanzati per la valutazione e il miglioramento degli indicatori in quattro dei cinque ambiti individuati da TERNA come fondamentali per la gestione del sistema elettrico: sicurezza, adeguatezza, resilienza e affidabilità (Piano di sviluppo 2021 - TERNA). Intervenire su tali ambiti, come indicato dallo stesso TSO, è un imprescindibile prerequisito per la transizione energetica e comporta una riduzione degli indicatori di rischio di disalimentazione delle utenze anche in scenari energetici fortemente decarbonizzati. Gli strumenti proposti mirano a ridurre gli indicatori di rischio attraverso un miglioramento degli indicatori di prestazione (di seguito individuati nelle LA) che si dovrà attestare su un valore medio di circa il 15-20%. La quantificazione puntuale per singolo KPI, essendo connessa agli specifici scenari, sarà fornita come risultato del progetto per ciascuno dei casi analizzati. Il valore prestazionale medio è stato ricavato da stime su studi già condotti dai proponenti del progetto. È importante, infine, sottolineare che, come indicato da TERNA nel Piano di Sviluppo 2021 e ribadito dalle misure RePower, gli investimenti per il rafforzamento delle infrastrutture di rete, anche in ottica di evoluzione verso sistemi elettrici avanzati come quelle proposte nel progetto, sono per loro natura sostenibili, soprattutto se inquadrate tra gli interventi focalizzati al raggiungimento degli obiettivi del PNIEC e, conseguentemente all'integrazione di quote crescenti di fonti rinnovabili.

In particolare, con riferimento ai sopra richiamati ambiti TERNA, il progetto 2.3 fornirà prodotti di pianificazione e gestione delle reti che mirano al miglioramento di adeguatezza, resilienza, flessibilità, qualità di servizio e sicurezza in esercizio della rete negli scenari energetici futuri, come più dettagliatamente esplicitato di seguito per ciascuna categoria di prodotto:

- modelli per la pianificazione dell'esercizio delle reti che implementino azioni a breve, medio e lungo termine, in ottica di miglioramento dell'adeguatezza, resilienza, flessibilità e sicurezza in esercizio della rete negli scenari energetici futuri (ambiti Terna corrispondenti ai modelli sviluppati: adeguatezza, resilienza, sicurezza in esercizio);
- modelli per la valutazione dell'adeguatezza, della flessibilità e della resilienza basati su metodologie rappresentative dei contesti energetici futuri (ambiti TERNA corrispondenti ai modelli sviluppati: adeguatezza e resilienza);
- software di tipo open source da cui sarà possibile effettuare il download o l'esecuzione di: i) modelli software per la valutazione dell'adeguatezza e della sicurezza operativa della fornitura in corrispondenza di specifiche configurazioni di rete, ii) software di gestione delle reti (tema 1) che considerino le anomalie di funzionamento e le contingenze sia in fase di pianificazione che di esercizio (ambiti

TERNA corrispondenti ai software sviluppati: adeguatezza, resilienza, sicurezza in esercizio);

- convertitore grid forming per supportare la qualità del servizio e l'adeguatezza (ambiti TERNA: qualità del servizio, adeguatezza).¹

In relazione alla richiesta sulla riduzione del rischio di disalimentazione, si fa presente che:

- i modelli proposti consentono di abilitare: 1) funzioni di riconfigurazione con la formazione di microreti autonome (di BT e/o MT) nelle porzioni di rete di distribuzione che risulterebbero disalimentate in seguito al fuori servizio di un elemento di rete per guasto (reti prettamente radiali con basso livello di rialimentazione); 2) riconfigurazioni in tempo reale delle configurazioni di rete analizzate sfruttando i modelli di Anomaly Detection per anticipare possibili guasti e limitarne gli effetti sugli utenti finali. In tal senso, essi producono una riduzione del rischio di disalimentazione.
- il prototipo di convertitore proposto, in coerenza con il nuovo testo della Commissione Europea del RfG, consentirà il passaggio in isola di carico, riducendo così i rischi di disalimentazione.

In entrambi i casi (modelli, prototipo), la riduzione del rischio sarà misurata in termini di riduzione ENS (vedi punto 5) con riferimento alle reti benchmark.

2.7 Impatto sul sistema energetico e benefici attesi

a) Impatto e benefici sul sistema energetico

L'attuale sistema elettrico italiano ha, finora, garantito un funzionamento adeguato, resiliente e affidabile con rarissimi casi di interruzioni estese del servizio. La decarbonizzazione del sistema elettrico, in combinazione con gli effetti dovuti ad eventi critici, come già richiamato, potrebbe però mettere a rischio l'attuale livello di adeguatezza, sicurezza d'esercizio e resilienza del sistema se non opportunamente supportata da nuove modalità di gestione della rete. Un sistema basato prevalentemente su fonti rinnovabili, infatti, da un lato aumenta la sicurezza energetica del nostro Paese, come effetto indotto dalla maggiore autonomia e indipendenza dall'import estero, dall'altro presenta un maggior rischio di insufficienza temporanea di risorse di produzione se non vengono pianificate opportunamente le risorse di flessibilità e stoccaggio. Studi condotti da ENTSO-E indicano che l'Italia potrebbe avere un LOLE tra 6 e 11 ore/anno nel 2025, a fronte di un valore massimo di 3 ore/anno previsti dall'attuale criterio di adeguatezza ammesso come limite massimo nel nostro Paese.

Gli output della presente proposta progettuale propongono soluzioni sia software (metodologie, modelli e tool) che hardware (prototipo di convertitore grid-forming) per l'incremento della sicurezza energetica anche in presenza di scenari ad elevato grado di decarbonizzazione. Essi, quindi, forniscono, indirettamente, tecnologie abilitanti per la decarbonizzazione, contribuendo così alla mitigazione delle problematiche ambientali. Le soluzioni proposte mirano ad un più efficace utilizzo della flessibilità orientato a massimizzare i target desiderati di adeguatezza, resilienza e sicurezza del sistema energetico in corrispondenza degli scenari energetici futuri, contribuendo, quindi, in maniera più diretta, ad ottenere benefici di natura tecnica ed economica per il sistema elettrico nazionale. Più nello specifico, gli strumenti di pianificazione operativa integrati nel software sono orientati a massimizzare i benefici ottenibili dalla flessibilità delle risorse energetiche distribuite (in particolare, impianti di generazione da fonti rinnovabili e modulazione della domanda elettrica) implementando una gestione "attiva" del sistema elettrico. Quest'ultima, incrementando la "hosting capacity" del sistema di distribuzione, favorisce la transizione energetica. In tal senso, i software proposti possono, quindi, essere considerati tecnologie abilitanti per la decarbonizzazione.

In definitiva, la presente proposta progettuale metterà a disposizione strumenti open-source per la valutazione dell'adeguatezza, resilienza, affidabilità e sicurezza di reti/microreti elettriche e soluzioni software per una efficiente pianificazione del sistema elettrico (porzioni di rete/microreti) che garantiscano elevati livelli di affidabilità, adeguatezza, sicurezza e resilienza anche in presenza di scenari energetici ad alta prevalenza di fonti rinnovabili.

Dall'analisi della letteratura e dall'esperienza maturata nel corso del Piano Triennale della Ricerca di Sistema Elettrico 2019-2021, si prevede che le soluzioni proposte mirano a:

- un contributo alla riduzione della durata dei guasti in circa il 15-20% dei casi in reti di distribuzione con elevata presenza sia di fonti rinnovabili (almeno il 65% dell'energia elettrica da fonti rinnovabili come da scenario Fit for 55) sia di risorse flessibili;
- un miglioramento dell'adeguatezza, inteso come possibilità di mantenere un LOLE massimo di 3 ore annue con azioni di tipo Optimal Network Reconfiguration (ONR) anche in corrispondenza di scenari ad alta penetrazione di fonti rinnovabili (si fa presente che il contributo all'adeguatezza delle fonti termoelettriche tradizionali è quasi 10 volte più elevato rispetto a quello fornito dalle fonti rinnovabili non programmabili). In tal senso, si ricorda che studi condotti da ENTSO-E stimano che l'Italia potrebbe avere un LOLE tra 6 e 11 ore/anno nel 2025, a fronte di un valore massimo di 3 ore/anno ammesso, nel nostro Paese, dall'attuale criterio di adeguatezza.

Il raggiungimento di tali obiettivi produce, quindi, un impatto positivo:

- per il sistema elettrico nazionale in termini di possibilità di integrare quote incrementalmente di fonti rinnovabili senza compromettere la sicurezza elettrica del sistema;
- per gli utenti finali in termini di possibilità di garantire gli attuali standard di adeguatezza di sistema, della continuità di servizio (un raddoppio del LOLE, quale quello previsto da ENTSO-E comporterebbe una probabilità doppia rispetto all'attuale 0,03% che almeno un consumatore venga disconnesso dalla rete per motivi di adeguatezza), della resilienza e della sicurezza del sistema anche in presenza di alte quote di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili;

- per gli stakeholder e ai policy maker, per i quali le configurazioni proposte possono rappresentare uno strumento di supporto nella identificazione delle esigenze di evoluzione della rete nei nuovi scenari.

Una quantificazione più puntuale dei benefici richiede una analisi specifica per singolo intervento. Più in dettaglio, in fase di testing sperimentale dei prodotti della ricerca, verrà effettuata una comparazione del comportamento del sistema analizzato, in assenza e in presenza delle azioni proposte, per ciascuno degli scenari di riferimento e delle configurazioni di rete test, attraverso il calcolo degli indicatori standard riportati in tabella alle pagine 17 e 18 della documentazione integrativa trasmessa da ENEA alla Commissione, per il tramite di CSEA, in data 08/06/2023 e a pagina 1 della documentazione integrativa trasmessa da ENEA alla Commissione, per il tramite di CSEA, in data 21/06/2023.

b) Benefici per gli utenti

I prodotti output della presente proposta progettuale sono di diversa natura e comprendono sia prototipi software (modelli, codici di calcolo, tool) sia un prototipo hardware (convertitore) sia studi ed elaborazioni su tematiche centrali a livello nazionale ed europeo, quali l'adeguatezza, la sicurezza in esercizio, la resilienza e, indirettamente, la sicurezza energetica del nostro sistema elettrico. L'applicazione di tali prodotti comporta benefici diretti e indiretti per i diversi stakeholder della filiera del sistema elettrico e, in particolare, per gli utenti finali, a cui è principalmente rivolto il programma della Ricerca di Sistema.

Lo sviluppo di strumenti per la valutazione delle capacità/proprietà del sistema elettrico, di modelli di pianificazione e di dispositivi hardware specifici per gli scenari energetici ad alto tasso di decarbonizzazione, quali quelli ivi proposti, agevolano, in maniera indiretta, l'integrazione di quote crescenti di fonti rinnovabili nelle reti, favorendo così la transizione energetica, di cui sono ampiamente noti i benefici sul sistema energetico.

Principali beneficiari della proposta risultano, in particolare, gli utenti del sistema elettrico. Come precedentemente richiamato, in assenza di strumenti di gestione e pianificazione adeguati ai nuovi scenari energetici, gli utenti del sistema elettrico potrebbero vedere compromesso l'attuale livello di continuità del servizio e di qualità della fornitura. La disponibilità di strumenti – quali quelli in output al progetto - che mirano ad un miglior bilanciamento tra offerta e domanda, istante per istante, consente di ridurre gli sbilanciamenti del sistema elettrico e, conseguentemente, i relativi oneri di sistema che impattano sugli utenti finali, producendo così per essi un evidente beneficio diretto. Tali strumenti, inoltre, proponendo l'impiego di metodologie avanzate che considerano l'impatto delle anomalie di funzionamento sulla sicurezza del sistema e fornendo modelli di correlazione per il ranking delle influenze di diversi fattori sulla sicurezza operativa, adeguatezza e resilienza del sistema, permettono una più mirata pianificazione da parte del gestore, riducendo i rischi di compromissione della Qualità della Fornitura a diretto beneficio dell'utente finale.

Al fine di potenziare i benefici per gli utenti e l'usabilità dei prodotti, i risultati della ricerca verranno resi disponibili attraverso il sito https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/energia/ricerca-di-sistema-elettrico/ricerca-di-sistema-elettrico nella sezione dedicata al progetto. Gli strumenti software, inoltre, saranno sviluppati in linguaggio Python (e quindi open-source) e tutti i dati della ricerca saranno messi a disposizione come FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) data, secondo i principi dell'Open Science. Il software integrato e i software rilasciati da UNICA e POLIBA saranno tutti corredati da manuale d'uso per agevolarne l'usabilità. Attraverso pubblicazioni e i rapporti tecnici, inoltre, verrà divulgato il progetto del convertitore grid forming. Quest'ultimo, in particolare, sarà dotato di funzionalità di supporto alla regolazione di tensione e frequenza della rete al fine di contribuire alla riduzione degli sbilanciamenti. Se associato sistematicamente alle fonti rinnovabili e provvisto di sistema di accumulo, questo dispositivo, mirerà a contribuire autonomamente al bilanciamento della rete, senza bisogno di coordinamento da parte del gestore della rete.

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).

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. Il trasferimento alla filiera produttiva delle specifiche del prototipo di conversione grid-forming sviluppato, in particolare, produrrà benefici per gli operatori del settore delle tecnologie di conversione. Il prototipo proposto, infatti, non è attualmente disponibile sul mercato. La diffusione degli schemi preliminari di progetto e delle principali caratteristiche del sistema sviluppato nei rapporti tecnici consentirà di replicare la soluzione a livello commerciale. La caratterizzazione del prototipo a livello sperimentale, inoltre, fornirà, ai potenziali produttori, informazioni circa la validità della soluzione proposta, facilitando l'analisi costi-benefici connessa ad una eventuale industrializzazione del prodotto.

La divulgazione dei dati relativi allo studio sperimentale delle anomalie di componentistica elettronica attraverso i rapporti tecnici, inoltre, fornirà informazioni che potranno essere utili ai produttori di tecnologie.

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.

Si fa presente, infine, che per le attività sperimentali si procederà anche ad interconnettere la nanogrid sperimentale del Laboratorio Smart Grid e Reti Energetiche di ENEA e il laboratorio di simulazione real-time di Politecnico di Bari. Quest'ultimo, in particolare, è un nodo delle reti dei laboratori di simulazione real-time ENET-RTLlab, rete di laboratori dedicata alla co-simulazione per la ricerca sui sistemi elettrici e per la transizione energetica. La connessione tra ENEA e Politecnico di Bari consentirà di espandere il numero di nodi che costituiscono la rete di laboratori, potenziandone le capacità ed estendendone il raggio di azione (<https://ses.jrc.ec.europa.eu/enet-rtlab>).

Più nello specifico, di seguito si dettagliano le ricadute per i diversi beneficiari del sistema energetico.

Il principale settore applicativo del presente progetto riguarda le reti elettriche. Pertanto, tra i principali stakeholder si annoverano i gestori di rete (TSO e DSO) per i quali i risultati di progetto possono condurre alla definizione di nuove procedure per il coordinamento delle risorse flessibili distribuite con i sistemi centralizzati per la gestione sicura della rete elettrica. In relazione ai produttori di risorse flessibili (accumulo, colonnine di ricarica, etc.), i risultati di progetto potranno fornire informazioni utili alla definizione di nuovi algoritmi di controllo delle risorse che le rendano più efficaci come elemento di supporto alla rete. Tali informazioni potranno, ad esempio, essere ricavate dalla matrice di correlazione tra influenze esterne e aspetti di sicurezza, adeguatezza e resilienza. Parimenti, 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) potranno utilizzare i modelli sviluppati e resi disponibili al termine del progetto. Infine, gli output del progetto potranno avere ricadute applicative anche per i produttori di componentistica correlata alle tecnologie di generazione da fonti rinnovabili. Il trasferimento alla filiera produttiva delle specifiche del prototipo di conversione grid-forming sviluppato, in particolare, produrrà benefici per gli operatori del settore delle tecnologie di conversione. Il prototipo proposto, infatti, non è attualmente disponibile sul mercato. La diffusione degli schemi preliminari di progetto e delle principali caratteristiche del sistema sviluppato nei rapporti tecnici consentirà di replicare la soluzione a livello commerciale. La caratterizzazione del prototipo a livello sperimentale, inoltre, fornirà, ai potenziali produttori, informazioni circa la validità della soluzione proposta, facilitando l'analisi costi-benefici connessa ad una eventuale industrializzazione del prodotto. Infine, le configurazioni proposte possono rappresentare uno strumento di supporto nella identificazione delle esigenze di evoluzione della rete nei nuovi scenari per i policy maker.

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:

LA 1.1: Analisi di anomalie e guasti che inficiano la sicurezza e l'operatività del sistema elettrico.

Test di verifica: i risultati raggiunti dovranno riportare le principali cause di comportamenti anomali e guasti per specifici dispositivi e sistemi analizzati e le modalità di caratterizzazione applicabili alle diverse anomalie ed ai diversi guasti reperiti dalla letteratura tecnico-scientifica di settore. La verifica dei risultati potrà essere condotta analizzando la presenza di tali informazioni all'interno del rapporto tecnico.

LA 1.2: Progettazione e sviluppo di modelli di predizione delle risorse di generazione e carico di reti e microreti elettriche

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) i modelli di predizione delle risorse di generazione e carico; ii) i dataset previsionali da utilizzare nelle fasi di emulazione e sperimentazione delle LA di progetto correlate; iii) un rapporto tecnico descrittivo dei modelli sviluppati che includa le ipotesi effettuate, informazioni utili a comprendere le modalità di modellazione adottate e i risultati dei test simulativi condotti per valutare l'efficacia previsionale dei modelli proposti.

LA 1.3: Definizione di modelli di anomaly detection utili alle valutazioni di adeguatezza, sicurezza e resilienza delle reti e microreti elettriche

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) un modello di anomaly detection che consenta la rilevazione di anomalie in data set di profili di funzionamento; ii) data set di profili di funzionamento inclusivi di anomalie di comportamento generato a partire dai risultati della caratterizzazione effettuata in LA1.1 e le previsioni di generazione e carico in output dalla LA1.2; un rapporto tecnico di sintesi che illustri i risultati di cui ai punti precedenti ovvero che fornisca informazioni circa i test sperimentali condotti per la caratterizzazione delle anomalie di specifici apparati (con evidenza dei principali risultati ottenuti) e le specifiche di progettazione e sviluppo del modello di anomaly detection (es. caratteristiche del modello, ipotesi di lavoro, ambiente di simulazione, etc.).

LA 1.4: Definizione del modello per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell'adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia implementato un modello per la valutazione dei sistemi di accumulo e delle FER per il supporto dell'adeguatezza di sistemi elettrici decarbonizzati e il relativo rapporto tecnico descrittivo.

LA 1.5: Implementazione e testing di modelli per la valutazione dell'adeguatezza di reti elettriche in funzione dell'affidabilità del sistema e dei suoi componenti

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia implementato un modello software, sviluppato con approccio opensource, per la valutazione dell'adeguatezza di un sistema elettrico basato sulla metodologia sviluppata e fornito il relativo rapporto tecnico descrittivo. Tale rapporto dovrà descrivere la metodologia sviluppata, le caratteristiche del software e i risultati delle simulazioni effettuate per verificarne il corretto funzionamento in corrispondenza di diversi scenari.

LA 1.6: 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

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un modello per la analisi in simulazione dell'impatto delle influenze esterne sulla sicurezza, adeguatezza e resilienza di porzioni di reti e il relativo rapporto tecnico contenente la descrizione del modello messo a punto e i risultati delle simulazioni condotte per verificarne il corretto funzionamento. Il modello sviluppato, in particolare, dovrà fornire: previsioni sulla quantità o sulla probabilità di un certo evento o condizione e scenari per esplorare diverse situazioni e identificare le conseguenze delle influenze esterne. Il modello potrà, altresì, produrre rappresentazioni grafiche che rendono più facile comprendere l'impatto delle influenze esterne e come questo possa interagire con altri fattori e report che riassumono i risultati dell'analisi così da fornire raccomandazioni per la gestione del fenomeno.

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

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 contenente la descrizione della matrice di correlazione sviluppata e l'esito delle valutazioni in simulazione effettuate. Da queste ultime, in particolare, si potranno estrapolare informazioni circa l'eventuale ranking e/o maggiore correlazione tra gruppi di variabili e fattori da utilizzare per analisi di scenario più mirate.

LA1.8: Sviluppo di modelli per la pianificazione della gestione delle reti elettriche di distribuzione con capacità di formazione di isole autonome intenzionali o microreti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza e sicurezza delle singole isole e resilienza nell'intero sistema di distribuzione

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito un software in versione beta, sviluppato in linguaggio Python, per la pianificazione operativa delle reti elettriche di distribuzione e un rapporto tecnico di sintesi delle attività svolte per la progettazione e lo sviluppo del software. Il software, in particolare, dovrà essere orientato alla pianificazione della gestione delle reti elettriche di distribuzione con capacità di formazione di isole autonome intenzionali o microreti in ottica di miglioramento dell'adeguatezza e sicurezza delle singole isole e resilienza nell'intero sistema di distribuzione. Le reti considerate dovranno essere reti di distribuzione sia in MT (sistema equilibrato a tre fili) sia in BT (sistema squilibrato a 4 fili). Il software sarà accompagnato da un manuale d'uso.

LA1.9: Testing dei modelli per la pianificazione della gestione delle reti e microreti di distribuzione in ottica di miglioramento della adeguatezza, sicurezza e resilienza

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra i risultati ottenuti e i risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito il software per la pianificazione operativa delle reti elettriche di distribuzione in versione finale, sviluppato in linguaggio Python, e un rapporto tecnico di sintesi contenente una descrizione completa del processo di testing (input, configurazione del sistema, risultati ottenuti) per permettere sia la ripetibilità dei test su reti differenti, sia la valutazione dell'efficacia dei modelli proposti al variare dei contesti esaminati. Nel rapporto saranno inoltre descritti gli indici di prestazione (KPI) usati per valutare l'impatto atteso degli strumenti di pianificazione operativa sviluppati, e i risultati ottenuti saranno descritti anche in termini di questi KPI per evidenziare l'incremento di adeguatezza, sicurezza e resilienza delle reti studiate. Anche questa fase di testing e di valutazione critica dei risultati sarà oggetto di articoli scientifici pubblicati su riviste qualificate (Q1/Q2) e su congressi di alto livello, con peer review sull'articolo completo.

1.10: 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

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia fornito modelli di Optimal Network Reconfiguration orientati al miglioramento della adeguatezza, sicurezza e resilienza delle reti e adattabili alle attuali pratiche e funzioni di protezione adottate nella distribution automation delle reti pubbliche italiane. Il software di tipo open-source sviluppato sarà accompagnato da un rapporto tecnico descrittivo delle attività condotte nella LA e da un manuale d'uso del software.

1.11: 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

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 descrittivo dei risultati e dei modelli utilizzati per i test sperimentali dei modelli sviluppati nella LA 1.10 inclusivo sia delle prove real-time eseguite sul sistema OPAL-RT sia di quelle in co-simulazione con i laboratori ENEA.

1.12: 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

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia reso disponibile un prototipo di convertitore grid-forming 3-fase della taglia prescritta. Moduli di potenza MOSFET SiC da 150 Arms, 1200 V, compatibili con la specifica e con frequenze di switching ≥ 20 kHz e il relativo rapporto tecnico descrittivo delle attività di ricerca condotte, delle caratteristiche del prototipo sviluppato e delle scelte progettuali adottate per dotare il dispositivo delle funzionalità di supporto alla stabilità di rete.

1.13: Test P-HiL preliminare di un convertitore grid-forming con avanzata capacità diagnostica e funzionalità di supporto alla rete

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 delle attività di testing condotte in relazione al convertitore grid-forming 3-fase.

Una ulteriore verifica che potrà essere condotta riguarderà le prove sperimentali sul prototipo di convertitore sviluppato nella LA 1.12. Di seguito, si riportano le tipologie di prove che dovranno essere necessariamente effettuate: i) commissioning delle tabelle di temperatura dei dispositivi di potenza e della caduta di ON ad inizio vita utilizzata per la stima della vita dei componenti; ii) controllo della rete in islanding al variare delle condizioni di generatore e carico; iii) supporto tensione - frequenza alla rete con limite di corrente di picco regolato attivamente dalla stima di temperatura; iv) sensibilità al variare della frequenza di modulazione.

1.14: Predisposizione degli ambienti digitale e sperimentale propedeutici alle attività di sviluppo e testing

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 dell'architettura del software da sviluppare nella LA 1.15. Il rapporto tecnico dovrà illustrare la progettazione di alto livello dell'applicativo (es. albero di navigazione) e fornire eventuali informazioni utili alla LA che prevedono sviluppo di software che dovrà essere integrato, nell'ambito della LA 1.15, nell'applicativo implementato.

1.15: Tool per valutazioni di adeguatezza, affidabilità e resilienza di sistemi di potenza

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA abbia reso disponibile un applicativo (tool) open source, installabile in ambiente Windows, dedicato alla valutazione dell'adeguatezza, dell'affidabilità, della sicurezza e della resilienza delle reti elettriche e che, pertanto, dia accesso ai modelli sviluppati nelle diverse LA implementative: LA 1.4, LA 1.5, LA 1.6, LA 1.9, LA 1.10. Inoltre, la LA 1.15 dovrà fornire un rapporto tecnico che fungerà da manuale l'uso per il tool.

Gli esperti potranno verificare la presenza di una sezione del tool in cui verranno resi disponibili (a valle delle approvazioni degli esperti stessi) il rapporto tecnico della LA 1.15 (coincidente con il manuale d'uso dell'applicativo) e i manuali d'uso LA messi a disposizione per i software delle altre LA (LA 1.9, LA 1.10).

1.16: Attività di testing dei modelli di valutazione per l'adeguatezza, la sicurezza e la resilienza delle reti elettriche e caratterizzazione sperimentale dei componenti

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che la LA renderà disponibile un rapporto tecnico di sintesi degli output della sperimentazione. Inoltre, la LA dovrà fornire alla LA 1.3 i dati in output dalle caratterizzazioni simulate, emulative e sperimentali dei dispositivi analizzati. Quest'ultimo output non prevede una verifica diretta, ma i relativi dati forniti dalle caratterizzazioni saranno inclusi nel rapporto tecnico di sintesi della LA.

1.17 e 1.18: Attività di diffusione del I e del II SAL

Test di verifica: al fine di valutare la rispondenza tra risultati ottenuti e risultati attesi, si potrà verificare che, nel triennio: siano state prodotte, da parte di ENEA e dei co-beneficiari, almeno 9 pubblicazioni di rilievo internazionale; sia stato organizzato un workshop di disseminazione dei risultati; i ricercatori coinvolti nel progetto abbiano partecipato a eventi e tavole rotonde del settore a livello nazionale e internazionale.