

**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. 4 – Periodo attività: 01/07/2023 – 31/12/2023

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

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

ATTIVITA' SVOLTE

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
ENEA	La linea <u>LA 1.2 "Progettazione e sviluppo di modelli di predizione delle risorse di generazione e carico di reti e microreti elettriche"</u> mira a progettare e sviluppare modelli di previsione per le sorgenti di generazione da FER solare ed eolica e un modello di previsione per il carico elettrico da integrare nelle reti test per la fase di validazione sperimentale delle diverse funzionalità del tool. In generale, l'accuratezza dei modelli previsionali dipende fortemente, almeno nella fase di training iniziale del modello, dalla quantità di dati disponibili. Per poter allenare modelli di previsione - specialmente a medio / lungo termine - a partire dai dati, sono necessari dataset estesi. Occorre inoltre tener presente la collocazione di carichi e impianti di potenza, che ricadono nella medesima area in cui si colloca la rete da analizzare, oltre che la finalità di applicazione del modello per poter definire opportunamente l'orizzonte di previsione. In tali premesse, nel presente semestre, in accordo con i partner di progetto e con

il gruppo di ricerca ENEA responsabile dello sviluppo delle funzionalità (es. adeguatezza, ecc.) sono stati definiti gli orizzonti previsionali da applicare e contestualizzati i dati relativi alle reti test necessari ad avviare le fasi di sviluppo dei modelli previsionali. Successivamente, si è avviato lo studio della letteratura tecnico-scientifica con il fine di individuare dataset di consumo, produzione da FER e meteo, utilizzati in scenari previsionali da breve a lungo termine, considerando anche la loro disponibilità pubblica.

Son stati esaminati, in particolare, dataset di misure reali e sintetiche utilizzati per predire consumo e produzione rinnovabile su scala nazionale e sub-nazionale, con diversi orizzonti temporali.

Data la loro rilevanza, ci si è soffermati anche sulle previsioni meteo, generate da modelli fisici classici e da nuovi modelli di machine learning, che recentemente hanno mostrato risultati promettenti su previsioni a breve termine.

Per le previsioni a lungo termine invece, particolarmente rilevanti sono i database climatici, costruiti a partire da re-analisi di dati storici e proiezioni climatiche.

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 come obiettivo l’implementazione di un modello di anomaly detection per l’individuazione di anomalie dei componenti integrati in reti e microreti elettriche. Al fine di raggiungere tale obiettivo, nel presente semestre, è stata avviata la progettazione di un sistema per simulare la presenza di anomalie nei componenti di rete interessati. Più nello specifico, si è preliminarmente proceduto ad uno studio della letteratura di riferimento, da cui è emerso che l’occorrenza delle anomalie in un componente può essere modellata come un processo di Poisson. Di conseguenza, sono state avviate le operazioni necessarie per progettare e codificare in Python uno strumento in grado di generare un processo di Poisson per simulare l’occorrenza di anomalie all’interno di un componente generico, considerando un certo anomaly rate e una certa durata dell’anomalia.

Successivamente, sono state avviate le attività di progettazione e codifica in Python di uno strumento che consenta di applicare diversi tipi di perturbazioni a un segnale generico. Partendo dai risultati della LA1.1 e da uno studio della letteratura di riferimento, è stata, quindi, avviata un’attività di definizione dei diversi tipi di perturbazione al segnale misurato che le anomalie in un componente possono provocare. In questo modo, in base al tipo di anomalia selezionata per un determinato componente, sarà possibile perturbare opportunamente il segnale misurato. Parallelamente, è stata avviata l’attività di studio della letteratura riguardante gli approcci di anomaly detection applicabili al contesto delle reti e microreti elettriche.

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. Più nello specifico, l'utilizzatore finale potrà stimare, definito uno scenario energetico di partenza, la quantità di accumulo sufficiente a rendere il sistema elettrico analizzato adeguato considerando i seguenti target forniti dallo stesso utilizzatore: percentuale di elettrificazione; percentuale di generazione da FER; percentuale di generazione da energia solare rispetto alla generazione totale da RES; percentuale dei consumi per la produzione da H2. In relazione a tale obiettivo, si è proceduto, innanzitutto, a condurre un'analisi della letteratura scientifica finalizzata ad individuare possibili modelli da utilizzare come riferimento nel modello di calcolo. Lo studio condotto ha evidenziato l'indisponibilità di uno strumento opensource con le caratteristiche sopra descritte ma ha consentito di reperire alcuni lavori scientifici in cui erano ipotizzati modelli matematici per effettuare stime analoghe a quelle proposte dalla LA1.4.

Successivamente, sono stati selezionati gli scenari energetici prospettici (2030, 2040) da integrare nel modello. In linea generale, l'utente potrà definire un suo scenario energetico di riferimento ma – all'interno del sistema – saranno integrati i dati ottenuti considerando i dati target di scenari di riferimento scelti in questo semestre. La scelta, in particolare, è ricaduta sui seguenti scenari TERNA:

2030

- scenario di policy in linea con gli obiettivi **Fit-for-55 (FF55)**;
- scenario **Late Transition (LT)** sostanzialmente in linea con i “vecchi” obiettivi del Piano Nazionale Energia e Clima (PNIEC) di dicembre 2019

2040

- scenario **Late Transition** in continuità con quello del 2030;
- scenario **Global Ambition Italia (GA-IT)**;
- **Distributed Energy Italia (DE-IT)**.

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, in particolare, si è proceduto ad una preliminare definizione di un modello per la valutazione dell'adeguatezza di una rete elettrica che consideri sia l'impatto dell'affidabilità della fornitura sia gli effetti di possibili anomalie associate ai componenti di rete, come di seguito sintetizzato.

Il modello che si è scelto di adottare è basato su un metodo Monte Carlo di tipo probabilistico con generazione di stati indipendenti. Ogni stato del sistema sarà così costituito:

- Informazioni sulla fornitura elettrica di ciascuna utenza di rete;
- Estrazione casuale di un anno all'interno dell'orizzonte temporale di simulazione N così come fornito dalla LA1.2;

- Estrazione di un'ora all'interno dell'anno individuato al punto precedente
- Verifica della possibile presenza nella rete di componenti con comportamenti anomali (es. profili di generazione anomali) così come individuati nella LA1.3.

L'impatto della presenza di anomalie di rete sarà valutato mediante un'analisi in simulazione del modello di rete.

Al fine di misurare l'adeguatezza del sistema elettrico si è deciso di utilizzare le metriche di seguito riportate:

$$LOLE = \frac{\sum_{i=0}^M LOLE_i}{M}$$

$$EENS = \frac{\sum_{i=0}^M EENS_i}{M}$$

$$\beta = \frac{\sigma(LOLE)}{\sqrt{M*LOLE}}$$

Dove M rappresenta il numero di stati del sistema generati, $LOLE_i$ rappresenta la probabilità di perdita del carico associata allo stato i_{esimo} del sistema, $EENS_i$ è l'energia non fornita attesa calcolata per lo stato i_{esimo} del sistema, ed infine, β è il coefficiente di variazione ovvero la distanza della deviazione standard rispetto al valore medio calcolato per il valore finale del LOLE.

La linea **LA1.15 “Sviluppo di un tool per valutazioni di adeguatezza, affidabilità e resilienza di sistemi di potenza”** ha quale principale scopo l'implementazione di uno strumento software capace di rendere disponibile agli utenti i diversi modelli, ed i relativi output, implementati dalle altre linee di attività del progetto. Nel presente semestre, in particolare, si è proceduto ad avviare le operazioni necessarie alla progettazione in dettaglio ed alla codifica in ambiente Python necessaria alla realizzazione dell'interfaccia grafica del tool. La progettazione dell'interfaccia del tool ha tenuto conto dell'architettura e dell'albero di navigazione del software, definito all'interno della LA 1.14. È stata condotta una indagine tra gli strumenti grafici disponibili in ambiente Python, ed è stata individuata la libreria PySide2 attraverso la quale è stata disegnata e programmata l'interfaccia grafica. Il codice generato è stato reso adatto ad una esperienza d'uso efficace da parte dell'utente finale. Nella codifica dell'interfaccia grafica, particolare attenzione è stata posta alla possibilità di espandere la stessa in modo da ospitare le esigenze d'uso, in input ed in output, delle singole funzionalità che verranno sviluppate nelle altre linee di attività.

In aggiunta, è stata sviluppata una classe specifica per l'integrazione dello strumento opensource OpenDSS: la classe rende disponibile l'accesso, mediante codice Python, di tutte le funzionalità dello strumento. Una attività particolarmente onerosa ha visto l'implementazione di specifici “workaround” nei confronti delle numerose limitazioni dell'OpenDSS nei confronti degli elementi di conversione AC/DC e degli elementi DC. A

valle di uno studio approfondito, sono state implementate specifiche funzionalità attraverso le quali è possibile simulare le sezioni in corrente continua di una rete elettrica.

Infine, è stata avviata la progettazione ed implementazione del dizionario di rete, e della comunicazione di questo con l'interfaccia grafica. In parallelo, si sono avviate delle collaborazioni con i partner incaricati allo sviluppo delle singole funzionalità, al fine di finalizzare la progettazione del dizionario, e di implementare funzionalità specifiche di lettura/scrittura dei dati da parte delle singole sezioni del tool.

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”** include le attività sperimentali finalizzate al testing dei modelli di valutazione per l'adeguatezza, la sicurezza e la resilienza delle reti elettriche e alla caratterizzazione sperimentale dei componenti. Nel presente semestre sono state condotte le seguenti attività propedeutiche alla esecuzione delle attività sperimentali obiettivo della LA:

- individuazione dei componenti elettrici da caratterizzare sperimentalmente in condizioni di anomalia e/o guasto, quali cavi, giunti, convertitori per i quali non è stato possibile reperire dataset dalla letteratura di settore nell'ambito della LA1.1
- allestimento dell'ambiente sperimentale mediante progettazione di un sistema di testing per giunti in funzionamento reale e allestimento del circuito sperimentale per la caratterizzazione di componenti elettrici mediante camera climatica
- definizione dei casi sperimentali in termini di input e output attesi dalle attività di caratterizzazione e dei parametri di testing, quali ad esempio temperatura, umidità e condizioni di esercizio operative in termini di correnti e tensioni.
- predisposizione dell'infrastruttura del laboratorio al fine di emulare le sezioni di interesse della rete indagata mediante le attrezzature fisicamente presenti in laboratorio e il sistema HIL precedentemente descritto
- validazione dei cablaggi di potenza e di segnali tra ogni apparato hardware di laboratorio che si intende utilizzare e la piattaforma HIL al fine di garantire il controllo degli stessi
- definizione e sviluppo di modelli in ambiente di simulazione Hardware In the Loop (HIL) per l'analisi dei profili di funzionamento degli apparati in presenza di anomalie e guasti.
- sviluppo di modelli di valutazione per l'adeguatezza, la sicurezza e la resilienza di reti elettriche mediante l'utilizzo del tool Schematic Editor integrato nella piattaforma Typhoon HIL; tali modelli saranno applicati a casi studio di reti definiti nelle diverse LA di sviluppo (LA1.5, LA1.6, LA1.8, LA1.10) in condizioni di anomalie il cui profilo sarà fornito dalla LA1.3 con assegnati profili delle risorse definiti dalla LA1.2
- Individuazione degli indicatori per la quantificazione dell'adeguatezza, sicurezza e resilienza delle reti elettriche quali ad esempio ENS (Energy Not Supplied), TI (Tempo di interruzione),

	<p>EENS (Expected Energy Not Supplied) e LOLE (Loss of Load Expectation).</p> <p>La linea <u>LA1.18 “Attività di diffusione II SAL”</u> ha come obiettivo la disseminazione delle attività di progetto.</p> <p>In particolare, nel semestre è stato redatto e sottomesso il seguente articolo scientifico:</p> <p>Adinolfi, G.; Ciavarella, R.; Graditi, G.; Ricca, A.; Valenti, M. Innovative Method for Reliability Assessment of Power Systems: From Components Modeling to Key Indicators Evaluation. Electronics 2024, 13, 275. https://doi.org/10.3390/electronics13020275</p> <p>(data di conclusione del processo di revisione da parte della rivista e accettazione finale del lavoro: 28 Dicembre 2023; data di pubblicazione sul sito della rivista: 8 Gennaio 2024).</p> <p>Nel semestre, infine, è stata predisposta la documentazione tecnica e amministrativa per la gara relativa al videogioco di disseminazione, le cui specifiche erano state predisposte nei precedenti semestri.</p>
<p>UNIPA</p>	<p>La linea <u>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”</u> 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). In relazione a tale obiettivo, nel presente semestre, sono state individuate le reti benchmark, gli scenari di simulazione e sono state scritte le equazioni per effettuare l’Optimal Power Flow (OPF) giornaliero per determinare la riserva energetica di generatori e batterie e migliorare la continuità di servizio delle reti. Inoltre, si è proceduto a studiare, mediante ricerca bibliografica e metodologica, la letteratura tecnico-scientifica al fine di identificare il miglior modello statistico in grado di descrivere e sintetizzare la complessa relazione tra i vari fattori che interagiscono con le reti elettriche. La ricerca metodologica ha riguardato l’analisi approfondita dei diversi modelli statistici proposti nella letteratura scientifica e la valutazione della loro idoneità per l’applicazione nell’ambito specifico dell’impatto sulle reti elettriche. Inoltre, è stata effettuata la raccolta dei dati storici e sperimentali relativi alle prestazioni delle reti elettriche e dei dati meteorologici.</p> <p>La linea <u>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”</u> 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. In relazione a tale obiettivo, nel presente semestre, si è proceduto</p>

	<p>all'identificazione delle variabili che rappresentano le influenze esterne sulle reti elettriche. Inoltre, la raccolta dei dati storici e sperimentali relativi alle influenze esterne e agli aspetti di sicurezza, adeguatezza e resilienza delle reti elettriche ha richiesto una verifica dell'accuratezza, completezza e rappresentatività della gamma di situazioni e condizioni affrontate dalle reti elettriche. Lo studio è stato condotto preliminarmente tenendo conto delle configurazioni delle reti benchmark e delle risorse energetiche presenti al loro interno.</p>
<p>UNICA</p>	<p>La linea <u>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”</u> 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. In relazione a tale obiettivo, nel presente semestre, si sono individuate alcune reti elettriche di distribuzione di MT e BT nel database a disposizione dell'unità di ricerca di Cagliari, da usare come test per lo sviluppo dei tools previsti da questa LA e usabili anche da altre LA del progetto. Ove necessario, le reti sono state rese anonime e non riconducibili alla rete reale. Si è, inoltre, proceduto a condurre un'analisi bibliografica degli algoritmi per la risoluzione di Optimal Power Flow (OPF) bilanciati (per reti MT) e sbilanciati (per reti BT), concentrando l'attenzione sull'inserimento di modelli per rappresentare i Soft Open Point, da impiegare come ulteriore risorsa di flessibilità per la gestione delle reti MT insieme alle tipiche risorse energetiche di flessibilità (generazione distribuita, partecipazione della domanda, accumuli elettrici e veicoli elettrici) e predisporre e si sono ottenuti i seguenti risultati:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sono stati preparati e resi disponibili i file descrittivi delle reti test di MT e BT, necessari per popolare il database comune alla piattaforma software dell'intero progetto <p>La linea la <u>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”</u> 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. In relazione a tale obiettivo, nel presente semestre, si è avviata la selezione di altre reti elettriche su cui saranno svolti i test di verifica degli strumenti di calcolo che saranno sviluppati durante la LA1.8.</p>
<p>POLIBA</p>	<p>La linea <u>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”</u> 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</p>

elettrica, nell'ambito delle funzioni di controllo in supervisione dei sistemi SCADA/DMS (Distribution Management System). In relazione a tale obiettivo, nel presente semestre, si è proceduto alla realizzazione delle seguenti attività:

- Ricerca bibliografica e verifica della compatibilità di eventuali procedure di riconfigurazione ottimale con gli schemi di automazione FDIR solitamente in atto nei sistemi elettrici di distribuzione italiani (ad es. FRG, SNC, SFS).
- Determinazione dei vincoli di natura topologica da imporre all'interno delle logiche di riconfigurazione. In particolare, sono stati esaminati e formulati vincoli che permettano di rappresentare in forma matematica le relazioni tra diversi nodi di una rete di distribuzione. I nodi sono stati aggregati per zone, lì dove ogni zona rappresenta il complesso di elementi di rete (sbarre e linee) delimitati da uno switch, mentre l'intero sistema rappresentato con un grafo equivalente. Sono poi state definiti vincoli basati sulle relazioni di parentela tra zone. Mediante il metodo dei flussi artificiali, sono stati definiti vincoli di parentela per individuare zone *upstream* e *downstream*, e le zone con *ancestor* comune (tipicamente zone protette dallo stesso interruttore di cabina primaria, ma poste su laterali diversi di uno stesso feeder).
- Formulazione preliminare del problema di ONR secondo tecniche di Mixed Integer Linear Programming (MILP) su piattaforma *open-source* basata su linguaggio Python.

Le attività della LA1.10 hanno condotto ai seguenti risultati:

- Modello di riconfigurazione ottimale di un sistema di distribuzione. Formulazione del problema e minimizzazione dei principali indicatori di performance di rete (EENS, SAIDI, SAIFI, etc.).
- Scrittura di un primo draft del software ONR.

La linea **LA1.11 “Testing di modelli per la riconfigurazione delle reti e microrreti 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 nel corso dell'attività LA1.10. Verranno pertanto proposti degli scenari di test ed elaborati dei risultati che possano consentire la verifica degli impatti attesi in un periodo di esercizio di un anno. Nel presente semestre, si è proceduto alla realizzazione delle seguenti attività:

- Sviluppo di una interfaccia per importare i dati di rete scritti nel formato OpenDSS nell'ambiente Python utilizzato per la formulazione e soluzione del problema (Pyomo).
- Sviluppo di un algoritmo per la suddivisione automatica di un sistema di distribuzione in zone.
- Test e verifica dell'algoritmo di riconfigurazione ottimale su un sistema semplificato. È stata utilizzata la rete CIGRÉ - Medium Voltage Distribution Network, opportunamente modificata per definire un maggior numero di zone e di possibili configurazioni topologiche.

	<ul style="list-style-type: none"> • Test di comunicazione tra elementi fisici (protezioni IED) e ambiente di simulazione real-time. Test di comunicazione tra IED e scambio di messaggi con protocollo IEC 61850. • Analisi di possibili architetture di comunicazione per stabilire una piattaforma di co-simulazione real-time con ENEA. <p>Le attività della LA1.11 hanno condotto ai seguenti risultati:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparazione di primi <i>test results</i> e verifica della funzionalità del software. • Sketch della piattaforma di co-simulazione real-time geograficamente distribuita.
<p>POLITO</p>	<p>La <u>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”</u> 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 al dimensionamento preliminare del convertitore, alla selezione dei componenti chiave (moduli di potenza, condensatori, altri elementi reattivi) ed alla progettazione circuitale del convertitore. Si sono ottenuti i seguenti risultati:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Circuiti schematici e fisici • Bill of materials. <p>La <u>LA1.13 “Test P-HiL preliminare di un convertitore grid-forming con avanzata capacità diagnostica e funzionalità di supporto alla rete”</u> 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, si è proceduto alla definizione della struttura del banco di prova per il test preliminare, alla definizione del protocollo di comunicazione EterCAT tra convertitore e supervisore sia per le prove preliminari che per le attività future nel laboratorio ENEA, ed alla definizione del sistema real time PLECS RT-Box in uso per l’emulazione del comportamento degli emulatori delle reti DC e AC. Si sono ottenuti i seguenti risultati:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schema del banco per le prove preliminari • Descrizione dell’interfaccia EterCAT • Definizione del sistema RT-Box 3