

**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. 1 – Periodo attività: 01/01/2022 – 30/06/2022

ABSTRACT ATTIVITA' SEMESTRALE:

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

In particolare, le attività di ricerca hanno riguardato le seguenti Linee di Attività:

- ENEA (affidatario del progetto): LA1.1, LA1.14, LA1.17.

ATTIVITA' SVOLTE

<i>AFFIDATARIO / COBENEFICIARIO</i>	<i>SINTESI DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA SVOLTE, RISULTATI CONSEGUITI E RICADUTE SUL SETTORE PRODUTTIVO</i>
ENEA	<p>La <u>LA1.1 “Analisi di anomalie e guasti che inficiano la sicurezza e l’operatività del sistema elettrico</u> ha come obiettivo l’analisi della letteratura di settore finalizzata all’acquisizione di dati utili alla caratterizzazione dei comportamenti anomali dei diversi apparati di rete. Più nello specifico, i dati analizzati dovranno fornire elementi utili ad indagare le tempistiche e le dinamiche caratteristiche in corrispondenza di specifiche anomalie e di guasti. Gli output dell’analisi condotta costituiscono un input sia per la LA1.3 che per la LA1.16. In tale obiettivo, nel presente semestre si è proceduto prima a selezionare una lista di apparati di maggiore interesse per l’obiettivo della LA e, successivamente, ad individuare – per ciascuna categoria – le principali tipologie/categorie di anomalie e guasti. I risultati per ciascuna categoria sono di seguito sintetizzati.</p> <p><i>Analisi di anomalie e guasti per generatori fotovoltaici</i> L’analisi condotta ha evidenziato che le anomalie e i guasti più frequenti per i generatori fotovoltaici sono riconducibili ai seguenti fenomeni:</p> <ul style="list-style-type: none">• mismatching: effetto che si registra quando i moduli fotovoltaici, collegati in serie, non presentano i medesimi parametri elettrici di funzionamento tra loro con conseguente riduzione della producibilità dell’impianto. Il

mismatching può essere temporaneo (es. ombreggiamenti) o permanente (es. degradazione, moduli difettosi, ecc.) e si rileva quando i moduli sono esposti a diverse condizioni ambientali, intervengono fattori di deterioramento o presentano difetti costruttivi.

- corto circuito: guasto più comune nei moduli fotovoltaici, provoca riduzione o interruzione della produzione di energia elettrica.
- guasti al sistema PV includono: guasto da circuito aperto senza/con diodo di bypass, guasto al diodo di bypass, guasto agli array PV, guasto a terra, guasto “Line-to-line”, guasto alla “Box di giunzione”, guasti da arco elettrico, guasti al sistema di controllo MPPT, guasto all’inverter, guasto “Bridging”.

Analisi di anomalie e guasti per generatori eolici

L’analisi condotta sulle anomalie e sui guasti più frequenti per i generatori eolici ha evidenziato che le probabilità di guasto e di comportamento anomalo dei diversi componenti variano in funzione della diversa tipologia di generatore (es. on shore, off shore).

In generale, gli impianti di tipo on shore presentano un tasso di guasto inferiore rispetto a quelli off shore, a causa delle condizioni operative più critiche cui sono sottoposti questi ultimi (es. velocità del vento più elevata, azione corrosiva del sale marino, ecc.). A livello di sottosistema, i componenti con un *tasso di guasto* mediano più alto sono: componenti elettrici, sistema di controllo, pitch system, pale, hub; i componenti con un *tempo di fermo* (downtime) mediano più alto sono: trasmissione, generatore, alberi, cuscinetti, struttura. Nelle installazioni offshore, inoltre, date le difficoltà logistiche, il downtime è mediamente più elevato di quello delle installazioni onshore.

Analisi di anomalie e guasti degli elettrolizzatori

Nel caso degli elettrolizzatori, l’analisi delle anomalie e dei guasti è stata condotta per singoli sottosistemi dell’elettrolizzatore; più nello specifico, sono state identificate le cause più frequenti per i principali componenti, come di seguito evidenziato:

• Membrana

- a) Deterioramento meccanico (principali cause: perforazione del collettore di corrente, micro-perforazioni causati da imperfezione in fase di produzione della MEA, allargamento o restringimento, idratazione non uniforme, mancanza di acqua)
- b) Deterioramento termico (principali cause: stress termici, cicli termici)
- c) Deterioramento chimico e deterioramento elettrochimico (principali cause: contaminazione, attacchi radicalici)

• Catalizzatore

- a) Dissoluzione (principali cause: potenziale operativo troppo elevato, formazione di complessi di iridio (III) solubile durante la reazione di evoluzione dell’ossigeno, inversione di corrente nelle procedure di spegnimento)
- b) Passivazione del supporto (principali cause: potenziale operativo troppo elevato, ambiente altamente ossidante)

- c) Agglomerazione (principali cause: sintering ed incremento delle dimensioni dei siti attivi, cicli di carico e avvio/spegnimento)
- d) Dissoluzione dello ionomero (principali cause: alta densità di corrente, attacco chimico dei radicali)
- e) Contaminazione da cationi (principali cause: bloccaggio dei siti attivi da potenziale deposizione, sostituzione dei protoni dello ionomero da parte dei cationi)
- f) Danni meccanici (principali cause: pressione di serraggio non uniforme, dilatazione irregolare della membrana)

- **Piastra bipolare**

- a) Infragilimento da idrogeno (principali cause: assorbimento dell'idrogeno da parte delle piastre metalliche catodiche)
- b) Passivazione (principali cause: formazione di uno strato di ossido)
- c) Corrosione (principali cause: ossidazione del titanio, corrosione da acidi dell'acciaio)

- **Collettori di corrente**

- a) Deterioramento chimico (principali cause: passivazione e corrosione della piastra metallica)
- b) Deterioramento meccanico (principali cause: compressione anomala, infragilimento da idrogeno)

Lo studio condotto ha, infine, evidenziato che i guasti e le anomalie di funzionamento più frequenti si registrano nella membrana e al catalizzatore, mentre più rari sono i guasti di piastre bipolari e collettori di corrente.

Analisi di anomalie e guasti delle Fuel Cell

L'analisi della letteratura tecnica ha evidenziato la mancanza di dati sperimentali sulle anomalie e sui guasti associati alle fuel cell. La principale evidenza ottenuta dallo studio condotto nel semestre ha solo portato ad individuare che il 95% dei malfunzionamenti delle fuel cell è riconducibile alla membrana e al catalizzatore.

Analisi di anomalie e guasti associati alle Batterie

L'analisi condotta sulle anomalie e sui guasti più frequenti per le batterie ha identificato le seguenti principali tipologie:

- Corto circuito esterno: può causare surriscaldamento e innalzamento della pressione.
- Corto circuito interno: può causare esplosione ed è principalmente causata dal sovraccarico.
- Sovra-carica: può provocare la reazione dell'elettrodo positivo con l'elettrolita, con conseguente generazione di calore, innalzamento della pressione e conseguente incendio.
- Sotto-scarica: può provocare danni al catodo della cella elettrolitica, formazione di placche e dendriti e conseguente cortocircuito interno per perforazione del diaframma.
- Esposizione a calore esterno.

- Auto-riscaldamento.

Analisi di anomalie e guasti associati ai sistemi di conversione DC/DC e DC/AC

Nel presente periodo si è proceduto a identificare le principali anomalie e guasti associati ai sistemi di conversione DC/DC e DC/AC; le principali tipologie sono di seguito elencate:

- Guasto alla componentistica dello stadio di potenza dei convertitori.
- Guasti dovuti a problematiche dei circuiti stampati e piste di collegamento tra i diversi componenti elettronici.
- Corto circuito ai terminali del convertitore.
- Guasto a terra ai terminali del convertitore.

Analisi di anomalie e guasti di apparati di monitoraggio

Nel presente semestre si è proceduto a identificare le principali anomalie e guasti associati agli apparati di monitoraggio:

- Guasti meccanici: guasti imputabili al cedimento della struttura meccanica dell'apparato (es. degrado dei materiali, vibrazioni, shock esterni).
- Guasti Elettrici: guasti che inficiano le proprietà elettriche dell'apparato (es. perdita di isolamento, residuo anomalo di misurazione per blackout o sovraccarico dell'apparato).
- Altri guasti: guasti che possono inficiare la misurazione dovuti ad esempio al rumore, a errori di lettura (valore letto dall'apparato diverso da quello effettivo per una variazione del guadagno), a perdite di calibrazione o degrado delle prestazioni.

Lo studio ha evidenziato che i guasti degli apparati di monitoraggio dipendono fortemente dalle condizioni operative dell'ambiente in cui sono inseriti. I più comuni sono gli errori di lettura dovuti ad una errata calibrazione del sensore, a un degrado delle prestazioni, o a guasti di natura elettrica; meno frequenti sono i guasti di natura meccanica.

Analisi di anomalie e guasti di apparati di comunicazione

In tale fase si è proceduto a identificare le principali anomalie e guasti associati agli apparati di comunicazione come di seguito elencato:

- Guasti del supporto di comunicazione: guasti imputabili al mezzo di supporto e trasmissione (es. rottura fibra, eccessiva curvatura, connettori o rottura delle giunzioni).
- Guasto al ricevitore: guasti che riguardano un malfunzionamento del ricevitore, come un elevato tempo di ricezione del pacchetto dati.
- Integrità dei dati: guasti che inficiano l'integrità dei dati trasferiti, degradando l'accuratezza e l'affidabilità della trasmissione, e causati da alterazione o perdita di parte del pacchetto di dati trasmesso. Sono, generalmente, riconosciuti dal ricevitore mediante checksum.

L'analisi ha evidenziato che i guasti dovuti al mezzo di supporto sono più frequenti delle altre due tipologie.

Analisi di anomalie e guasti di apparati di controllo/automazione

Nel presente semestre sono stati identificate le principali tipologie di anomalie e guasti riconducibili ad apparati di controllo deputati all'automazione dei sistemi elettrici (es. SCADA, PLC, ecc.). Tali tipologie sono di seguite elencate:

- Guasti meccanici: guasti imputabili al cedimento della struttura meccanica dell'apparato (es. guasti ai moduli di ingresso e uscita dell'apparato, rottura del dispositivo di memoria, ecc.).
- Guasti elettrici (es. guasto al sistema di alimentazione dell'apparato di automazione).
- Anomalie di funzionamento (es. saturazione della memoria del dispositivo, errori logici di natura software, errori di collegamento tra i moduli, ecc.)
- Anomalie di comunicazione con altri dispositivi (es. sistemi di comunicazione dei dati in input all'apparato di controllo e/o di ricezione dell'apparato che riceve i dati dall'apparato controllato).

La LA1.14 “Predisposizione degli ambienti digitale e sperimentale propedeutici alle attività di sviluppo e testing”

ha come obiettivo la predisposizione degli ambienti digitale e sperimentale propedeutici alle attività di sviluppo e testing. In relazione all'ambiente digitale, nella LA verrà definita la struttura del tool, ovvero l'architettura logica che sarà adottata per lo sviluppo nella LA1.15. Con riferimento alla predisposizione dell'ambiente sperimentale, l'attività prevede la definizione delle specifiche delle attrezzature necessarie a condurre le attività sperimentali previste nella LA1.16 e all'acquisto delle relative attrezzature e materiali.

In particolare, nel presente semestre sono state condotte le seguenti attività:

- Verifica dei dispositivi di laboratorio: è stata effettuata una ricognizione delle attrezzature fisicamente presenti nei laboratori della NanoGrid SGRE dell'ENEA di Portici, valutandone l'adeguatezza rispetto alle procedure di caratterizzazione ipotizzate, e determinando la necessità di integrare le stesse con unità o moduli aggiuntivi.

La verifica condotta ha confermato la necessità di estensione del sistema Typhoon HIL presente nel laboratorio della sede ENEA di Portici, già ipotizzata in sede di redazione della proposta progettuale. Pertanto, nel semestre, si è proceduto all'identificazione delle caratteristiche e all'acquisto di un Core Extended HIL604 della Typhoon HIL.

- Identificazione degli accoppiamenti dispositivi/tecnologie da simulare.
- Configurazione dei dispositivi: è stata definita la configurazione di ogni dispositivo al fine di simulare efficacemente la tecnologia ad esso assegnata. Per ogni tecnologia è stato individuato il dispositivo, la modalità con la quale questo deve essere connesso alla rete di laboratorio (AC/DC, LV/MV, etc.) e i parametri funzionali del dispositivo stesso necessari a permettere l'adeguata emulazione della tecnologia assegnata.

La **LA1.17“Attività di diffusione del I SAL”** ha come obiettivo la divulgazione dei risultati del progetto, con una finalità prospettica orientata alla loro concreta fruizione da parte degli utilizzatori potenzialmente

	<p>interessati. Le azioni di disseminazione, saranno in particolare, concepite e realizzate con l'obiettivo di massimizzare l'impatto del progetto.</p> <p>L'attività condotta nel presente semestre è stata focalizzata sull'identificazione di riviste di interesse scientifico e divulgativo, di rilevanza nazionale e internazionale.</p>
--	---