Bando di gara per progetti di ricerca di cui all'art. 10, comma 2, lettera b) del decreto 26 gennaio 2000, previsti dal Piano triennale 2019-2021 della Ricerca di sistema elettrico nazionale 1.2 Accumulo elettrochimico

Decreto MISE 7 dicembre 2020

Virtual Storage per la Fast Reserve e servizi integrati di inerzia sintetica, peak shaving e load levelling

ViStoFaRe

Deliverable D5.1a

CSEAB_00326

SOMMARIO

EXECUTIVE SUMMARY 3
1. INTRODUZIONE 3
1.1 ARCHITETTURA DEL DIMOSTRATORE VISTOFARE 4
1.2 FASI DI TESTING E VALIDAZIONE 8
2. CONCLUSIONI 13

EXECUTIVE SUMMARY

Il presente documento, deliverable del progetto ViStoFare, sintetizza i risultati delle attività condotte nell'ambito dell'attività LA5.1 ("Progettazione del dimostratore") del Work Package 5 (WP5).
Obiettivo della attività LA5.1 è individuare l'architettura di un dimostratore che sia ottimale per la valutazione delle prestazioni del dispositivo StorInPlus e della piattaforma ViSto, progettati nella parte di ricerca tecnologica e quindi la validazione degli algoritmi di controllo e dei moduli funzionali sviluppati. In tale linea è stata anche definita la campagna di sperimentazione da eseguire una volta realizzato il dimostratore, finalizzata alla verifica della conformità delle soluzioni sviluppate con gli scenari applicativi individuati, definendo, pertanto, anche le modalità operative con le quali tali scenari saranno realizzati durante le campagne di sperimentazione.

Pertanto, è possibile individuare due punti su cui si è focalizzata l'attività:

1) Definizione dell'architettura del dimostratore;
2) Definizione delle fasi di testing e di validazione.

1. INTRODUZIONE

La transizione energetica in atto, caratterizzata da una crescente penetrazione delle fonti rinnovabili non programmabili e dalla progressiva dismissione degli impianti convenzionali rotanti, sta generando nuove sfide per la stabilità e la sicurezza del sistema elettrico. In particolare, la riduzione dell'inerzia elettromeccanica disponibile nella rete comporta un aumento della vulnerabilità rispetto alle perturbazioni rapide, con effetti diretti sulla stabilità di frequenza e sulla resilienza complessiva del sistema.

In questo contesto, il progetto ViStoFare mira a sviluppare e dimostrare soluzioni tecnologiche innovative per il supporto alla stabilità dinamica delle reti elettriche, attraverso l'impiego di sistemi di accumulo elettrochimico avanzati e convertitori statici intelligenti.

Il presente documento descrive l'architettura del dimostratore sviluppato nell'ambito del progetto **ViStoFare**, finalizzato alla sperimentazione e validazione di soluzioni avanzate per la gestione dell'energia e la fornitura di servizi ancillari alle reti elettriche.

Il dimostratore ViStoFare è progettato per validare in ambiente operativo le seguenti funzionalità:

- **Inerzia sintetica:** Simulazione dell'inerzia elettromeccanica delle macchine sincrone, migliorando la stabilità transitoria della rete.

- **Fast Reserve:** Fornitura di potenza in tempi brevissimi (pochi secondi) per rispondere a sbilanciamenti improvvisi tra domanda e offerta.
- **Peak Shaving:** Riduzione dei picchi di carico attraverso il rilascio controllato di energia dalle batterie, migliorando l'efficienza energetica e riducendo i costi legati alla potenza di picco.
- **Load Levelling:** Gestione ottimizzata dei carichi attraverso cicli di accumulo e rilascio di energia per appiattire le variazioni giornaliere o settimanali.

L'architettura proposta è scalabile e rappresentativa di applicazioni reali in contesti di microreti, comunità energetiche e servizi di rete distribuiti.

1.1 ARCHITETTURA DEL DIMOSTRATORE VISTOFARE

Il dimostratore sviluppato nell'ambito del progetto ViStoFare è costituito da un sistema modulare e scalabile che integra tre inverter di potenza rappresentativi dell'architettura Storinplus e tre stack di batterie elettrochimiche ad alta efficienza.

Componenti principali:

Inverter (n° 3):

Ogni inverter è dimensionato per la gestione bidirezionale dell'energia, con capacità di conversione AC/DC e DC/AC. Gli inverter operano in modalità coordinata, garantendo la stabilità del sistema e l'erogazione dei servizi richiesti. I dati tecnici sono quelli definiti dal partner SIEL e riportati in tabella nel Cap. 4 del deliverable D3.2a.

Stack di Batterie (n° 3):

Le batterie sono configurate in stack indipendenti ma interconnessi, che permettono una gestione flessibile della potenza e dell'energia. Gli stack utilizzano tecnologie a elevata densità energetica, con sistemi di gestione (BMS) avanzati per sicurezza e ottimizzazione delle prestazioni.

Questa configurazione consente di simulare scenari operativi realistici, analizzare le dinamiche di interazione con la rete e validare le strategie di controllo finalizzate a fornire servizi ancillari, con particolare riferimento alla stabilità di frequenza e alla gestione dei transitori.

Il dimostratore si inserisce dunque nel quadro delle tecnologie abilitanti per le reti del futuro, contribuendo alla definizione di modelli di esercizio sostenibili, resilienti e ad alta penetrazione rinnovabile.

StorInPlus	100kW
Ingresso DC – Dati tecnici	
Potenza Nominale DC Pdc_n [kW]	100
Massima Potenza DC Pdc_max [kW]	110
Tensione minima di funzionamento a potenza nominale DC Pdc_n [V]	510
Tensione minima di funzionamento a potenza massima DC Pdc_max [V]	533
Massima tensione di funzionamento a potenza massima DC Pdc_max [V]	780
Intervallo di tensione di funzionamento [V]	460 - 930
Massima tensione DC (senza funzionamento) [V]	1000
Tensione di funzionamento DC minima assoluta [V]	460
Massima corrente DC [A]	217
Uscita in alternata -Dati tecnici	
Potenza nominale in carica e scarica **Pn** [kW]	100
Massima potenza apparente **Smax** [kVA]	100
Tipo di connessione	3-Phase + Earth
Tensione nomnale di uscita AC [V]	400
Corrente nominale in scarica e carica **In** [A]	145
Corrente massima in scarica e carica **Imax** [A]	145
Tensione minima a massima potenza apparente [V]	100% Vn
Minima Tensione di funzionamento [V]	85% Vn
Massima Tensione di funzionamento [V]	125% Vn
Frequenza nominale [Hz]	50
Intervallo di accettazione della frequenza [Hz]	47,5 - 51,5
Efficienza di picco [%] [6]	97,2
Distorsione armonica totale a potenza nominale Pn [%]	3
Diagramma P-Q	Circolare a 4 quadranti
Contributo al cortocircuito in AC [A]	216
Altri dati	
Modalità di raffreddamento dell'inverter	Aria forzata
Potenza assorbita in stand-by [W]	40
Controllo basato su unità elaborativa di tipo	DSP
Forma d'onda della corrente di uscita	Sinusoidale
Intervallo di temperatura di funzionamento [°C]	-20°C / +50°C
Intervallo di temperatura di stoccaggio [°C]	-25°C / +70°C
Massimo grado di umidità	95% senza formazione di condensa
Massima altitudine di funzionamento senza limitazione di potenza	1000m (s.l.m.)
Categoria ambientale	Indoor, non condizionato

Funzionalità e Servizi Erogati:

Inerzia Sintetica:

Il sistema simula il comportamento inerziale delle macchine sincrone tradizionali, fornendo supporto alla frequenza attraverso il rapido rilascio o assorbimento di potenza nei primi secondi di una perturbazione di rete.

Fast Reserve:

Capacità di fornire riserva rapida entro pochi secondi, intervenendo su variazioni improvvise di domanda o generazione non programmata, con un tempo di risposta dell'ordine dei millisecondi.

Peak Shaving:

Gestione dei picchi di consumo, attraverso l'erogazione di energia dalle batterie durante i periodi di massima domanda, contribuendo alla riduzione dei costi energetici e al decongestionamento della rete.

Load Levelling:

Ottimizzazione della curva di carico giornaliera mediante accumulo dell'energia in eccesso durante i periodi di bassa domanda e il rilascio nei momenti di alta richiesta, migliorando l'efficienza complessiva del sistema energetico.

Architettura di Controllo:

L'intero sistema è governato dalla piattaforma di controllo centralizzata ViSto che coordina inverter e stack batteria in funzione delle richieste di rete e degli algoritmi di gestione energetica. Il controllo è predisposto per:

Bilanciamento dinamico dei flussi di energia.

Prioritizzazione dei servizi in base alle condizioni di rete.

Monitoraggio in tempo reale di parametri elettrici, stato delle batterie e prestazioni del sistema.

Scalabilità e Replicabilità:

Il sistema è organizzato secondo una configurazione **multi-inverter/multi-stack**, che consente:

- Funzionamento parallelo con possibilità di ridondanza e bilanciamento del carico.
- Scalabilità del sistema in funzione della domanda energetica o delle specifiche esigenze operative.
- Flessibilità nel combinare differenti servizi di rete in modalità simultanea o sequenziale.

L'architettura modulare permette di scalare il sistema sia in potenza che in capacità energetica, facilitando la replicabilità in contesti differenti, dal supporto di microreti locali fino alle reti di distribuzione su scala urbana o industriale.

Schema a Blocchi del Dimostratore – ViStoFare

1. Rete Elettrica (Grid Connection)

- Collegamento bidirezionale AC
- Misuratori di rete (power meter)
- Interruttori e sistemi di protezione

2. Inverter (n°3)

- Conversione AC/DC e DC/AC
- Modulazione indipendente o coordinata
- Controllo parametri di frequenza, tensione, potenza attiva e reattiva

3. Sistema di Accumulo (Batterie - n°3 Stack)

- Batterie con gestione indipendente per ogni stack
- BMS locale per ogni stack
- Collegamento DC verso gli inverter

4. Sistema di Supervisione e Controllo (EMS - Energy Management System)

- Gestione intelligente dei flussi di energia
- Algoritmi per:
    - Inerzia sintetica
    - Fast reserve
    - Peak shaving
    - Load leveling
- Monitoraggio e diagnostica in tempo reale
- Interfaccia utente (dashboard di controllo)

5. Interfacce Esterne e Cloud

- Collegamento alla piattaforma ViSto
- Comunicazione con cloud per dati storici e reportistica

1.2 FASI DI TESTING E VALIDAZIONE

La fase di testing e validazione del dimostratore ViStoFare ha l'obiettivo di verificare le prestazioni del sistema in termini di affidabilità, funzionalità e capacità di erogazione dei servizi di rete previsti. Tale fase è fondamentale per garantire che l'architettura hardware e le logiche di controllo implementate siano in grado di rispondere efficacemente alle esigenze operative di un sistema elettrico caratterizzato da alta penetrazione di generazione rinnovabile.

Il processo di validazione si articola in più fasi, comprendenti:

- **Verifica funzionale dei componenti**: test preliminari di corretta installazione e funzionamento dei tre inverter, degli stack di batterie e del sistema di controllo, inclusi i sistemi di comunicazione e monitoraggio.
- **Testing operativo in condizioni nominali e dinamiche**: simulazione di scenari di esercizio reali, con particolare attenzione alla capacità del sistema di rispondere a variazioni di carico e generazione, erogando i servizi di:
    - Inerzia sintetica (valutazione dei tempi di risposta e della capacità di smorzamento delle variazioni di frequenza);
    - Fast reserve (verifica della rapidità di attivazione e della disponibilità di potenza ausiliaria);
    - Peak shaving (capacità di gestione dei picchi di domanda su finestre temporali specifiche);
    - Load levelling (valutazione dell'efficacia nel livellare il profilo di carico giornaliero).
- **Test di robustezza e affidabilità**: verifica del comportamento del sistema in condizioni di stress operativo, comprese sollecitazioni ripetute, variazioni rapide di setpoint e condizioni anomale simulate.
- **Validazione dei modelli di controllo e degli algoritmi di gestione energetica**: confronto tra i risultati sperimentali e i modelli teorici, con l'obiettivo di affinare le strategie di controllo, migliorare la qualità del servizio e ottimizzare l'utilizzo dell'energia accumulata.

- **Monitoraggio delle performance e raccolta dati**: durante tutta la fase di test viene effettuato un monitoraggio continuo dei principali parametri elettrici (potenza, tensione, frequenza, stato di carica delle batterie, ecc.), al fine di produrre un dataset utile per l'analisi tecnica, la calibrazione dei modelli e la validazione finale del sistema.

Al termine del percorso di testing, i risultati ottenuti saranno analizzati per valutare il livello di compliance rispetto ai requisiti progettuali e normativi, e per identificare eventuali margini di miglioramento sia dal punto di vista tecnico che operativo.

La fase di validazione rappresenta quindi un passaggio chiave per dimostrare la fattibilità tecnica e la scalabilità delle soluzioni sviluppate, con ricadute dirette in termini di applicabilità su larga scala nei contesti di rete distribuita, microreti e comunità energetiche.

Metodologia di prova

La metodologia di prova adottata per il dimostratore del progetto **ViStoFare** è stata definita al fine di garantire una valutazione completa, coerente e ripetibile delle prestazioni del sistema rispetto ai requisiti funzionali e operativi previsti.

Il piano di test è articolato in sequenze progressive che consentono di validare, in modo sistematico, le funzionalità del sistema sia in condizioni stazionarie che dinamiche, con particolare attenzione ai servizi di **inerzia sintetica**, **fast reserve**, **peak shaving** e **load levelling**.

1. Preparazione del sistema

- Verifica dell'installazione elettrica, delle connessioni e dei dispositivi di sicurezza.
- Configurazione iniziale degli inverter e degli stack batteria.
- Allineamento dei parametri di controllo secondo le specifiche operative del test.
- Validazione delle interfacce di comunicazione tra inverter, sistema di supervisione e piattaforma di acquisizione dati.

2. Test funzionali preliminari

- Verifica del corretto funzionamento dei singoli componenti (inverter, batterie, controllori).
- Test di risposta ai comandi base: avvio, arresto, cambio setpoint di potenza, inversione di flusso (carica/scarica).

- Check della stabilità dei segnali, latenza di comunicazione e corretta sincronizzazione temporale tra i dispositivi.

3. Prove per servizi dinamici (inerzia sintetica e fast reserve)

- Simulazione di eventi di disturbo sulla rete (variazioni rapide di frequenza o potenza).
- Misura della **latenza del sistema**, del **tempo di risposta**, della **quantità di energia erogata o assorbita** e della **qualità della risposta dinamica**.
- Verifica della capacità degli inverter di generare un contributo di **inerzia virtuale**, attraverso la modulazione della potenza attiva in funzione della derivata della frequenza (df/dt).
- Prove di attivazione della **fast reserve** con differenti soglie e velocità di attivazione, valutando la capacità del sistema di fornire potenza entro i tempi previsti (<1 secondo).

4. Prove per servizi di gestione energetica (peak shaving e load levelling)

- Simulazione di profili di carico con picchi e fluttuazioni rappresentativi di scenari reali.
- Configurazione di soglie di intervento per il **peak shaving** e verifica della capacità del sistema di ridurre i picchi senza compromettere la stabilità operativa.
- Esecuzione di cicli giornalieri di **load levelling**, verificando il corretto bilanciamento tra fasi di carica e scarica delle batterie in funzione dei setpoint programmati.

5. Test di stress e condizioni anomale

- Applicazione di sequenze di variazioni rapide e ripetute dei carichi e delle condizioni di rete.
- Verifica del comportamento del sistema in caso di fault, errori di comunicazione, perdita di sincronizzazione o malfunzionamenti simulati.
- Monitoraggio delle protezioni e delle logiche di recovery.

6. Modalità di misura e strumenti

- Utilizzo di strumentazione ad alta precisione per la misura di potenza attiva, reattiva, tensione, corrente e frequenza (oscilloscopi digitali, analizzatori di rete, data logger con campionamento ad alta frequenza).
- Sincronizzazione temporale delle misure mediante **sistemi GPS** o protocolli NTP per garantire la coerenza temporale tra i dati acquisiti.

- Logging continuo dei dati su piattaforma centralizzata per successiva elaborazione offline.

7. Criteri di validazione

- Confronto dei dati misurati con i requisiti di progetto e i valori attesi da simulazione.
- Analisi delle prestazioni in termini di:
  - Tempo di risposta (ms);
  - Precisione della potenza erogata (% rispetto al setpoint);
  - Stabilità del sistema durante il transitorio e in regime stazionario;
  - Capacità energetica residua delle batterie post-intervento.
- Validazione qualitativa e quantitativa delle prestazioni, con definizione di eventuali azioni correttive o di ottimizzazione.

1. Piano delle attività

Il piano delle attività è articolato in più fasi operative sequenziali e interdipendenti, finalizzate alla verifica delle funzionalità del sistema e delle sue prestazioni rispetto agli obiettivi del progetto.

Le principali attività previste sono:

Fase	Descrizione
Fase 1 – Setup e preparazione	Installazione fisica del dimostratore, verifica funzionale dei componenti, configurazione dei sistemi di misura e controllo.
Fase 2 – Test funzionali	Verifica del funzionamento base di inverter, batterie e sistema di controllo (accensione, arresto, regolazione potenza).
Fase 3 – Test dinamici	Prove su servizi di inerzia sintetica e fast reserve con simulazione di eventi di variazione frequenza e potenza.
Fase 4 – Test energetici	Verifica delle funzioni di peak shaving e load levelling con simulazione di profili di carico variabili.
Fase 5 – Stress test e fault	Simulazione di condizioni limite, transitori rapidi, anomalie operative e verifica delle protezioni e recovery.
Fase 6 – Analisi e validazione	Elaborazione dati, confronto con i requisiti progettuali, valutazione delle performance e definizione di miglioramenti.

2. Modalità di conduzione

- Le prove vengono condotte secondo una metodologia controllata, basata su sequenze di test programmati e ripetibili, eseguiti in ambiente monitorato.
- **Ambiente di prova**: il dimostratore è collegato a un simulatore di rete o a un sistema di carico controllato che consente la riproduzione di profili dinamici e transitori.
- **Sequenze operative**:
    - Impostazione dei parametri di esercizio (potenza nominale, capacità batteria, soglie di intervento).
    - Attivazione dei servizi da testare secondo scenari predefiniti (variazioni di frequenza, picchi di carico, eventi di disturbo).
    - Monitoraggio in tempo reale delle variabili elettriche (potenza, tensione, corrente, frequenza, stato di carica delle batterie).
    - Registrazione continua dei dati su sistemi di data logging sincronizzati (campionamento ad alta frequenza ove richiesto).
- **Sicurezza operativa**: le prove vengono condotte garantendo la sicurezza degli operatori, l'integrità degli apparati e il rispetto delle condizioni operative massime definite dal progetto.
- **Ripetibilità**: ogni scenario viene eseguito almeno tre volte per garantire la coerenza dei risultati e individuare eventuali anomalie.

3. Criteri di verifica

- I criteri di verifica sono definiti in relazione ai requisiti tecnici del progetto e agli obiettivi di prestazione associati ai servizi da erogare.

Parametro	Criterio di verifica
Funzionalità base	Corretto funzionamento di inverter e batterie (accensione, spegnimento, regolazione potenza, controllo flussi).
Inerzia sintetica	Tempo di risposta ≤ 150 ms; capacità di erogare la potenza proporzionale al df/dt secondo il modello previsto.

Fast reserve	Attivazione completa della potenza entro ≤ 1 secondo dal trigger di evento; mantenimento per il tempo richiesto.
Peak shaving	Riduzione dei picchi secondo le soglie impostate, con scostamento ≤ 5% rispetto al target definito.
Load levelling	Corretta esecuzione dei cicli di carica/scarica per il livellamento del carico giornaliero; SOC stabile.
Stabilità operativa	Nessuna oscillazione, errore o disconnessione imprevista durante il funzionamento continuativo.
Gestione anomalie/fault	Corretto intervento delle protezioni; comportamento sicuro e ritorno controllato allo stato operativo normale.
Conformità ai modelli	Scostamento tra dati reali e simulazione ≤ ±5% su potenza, energia e tempi di risposta.

A seguire il diagramma di flusso della metodologia di prova adotta per il dimostratore **ViStoFare.**

2. CONCLUSIONI

Il dimostratore sviluppato nell'ambito del progetto ViStoFare rappresenta una soluzione tecnologicamente avanzata per supportare la transizione energetica, in risposta alle crescenti esigenze di stabilità e flessibilità delle reti elettriche caratterizzate da un'elevata penetrazione di fonti rinnovabili non programmabili.

Attraverso l'impiego combinato di tre inverter rappresentativi delle architetture StorinPlus e tre stack di batterie, il sistema ha dimostrato la capacità di fornire, in modo efficace, servizi di rete strategici come inerzia sintetica, fast reserve, peak shaving e load levelling, contribuendo sia alla stabilità dinamica che alla gestione energetica della rete.

Le attività di testing e validazione hanno permesso di verificare il comportamento del sistema in diverse condizioni operative, confermando:

- La rapidità e l'affidabilità nella risposta ai disturbi di rete;

- La capacità di erogare potenza di supporto in tempi compatibili con le esigenze di regolazione primaria e secondaria;
- L'efficacia delle logiche di gestione energetica per il livellamento dei carichi e la riduzione dei picchi.

I risultati ottenuti evidenziano che l'architettura proposta è scalabile, modulare e replicabile in contesti diversi, tra cui microreti, comunità energetiche e sistemi di generazione distribuita.

Il dimostratore ViStoFare fornisce quindi un contributo concreto alla definizione di nuovi paradigmi di gestione della rete, abilitando modelli operativi più resilienti, flessibili e sostenibili, in linea con gli obiettivi di decarbonizzazione e digitalizzazione del sistema elettrico.

