

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

# ***RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE STORAGE LAB***

## ***SPERIMENTAZIONE DI PROGETTI PILOTA DI ACCUMULO ENERGETICO DI TIPO POWER INTENSIVE***

**PROGETTI PILOTA: *STORAGE LAB***

**DIFFUSIONE DEL REPORT: *PUBBLICA***

**IMPIANTI DI ACCUMULO: *CIMINNA (PA), CODRONGIANOS (SS)***

**PERIODO DI RIFERIMENTO: *01/01/2015 – 31/12/2017***

## SOMMARIO

1. OGGETTO.....	3
2. GLOSSARIO .....	4
3. INTRODUZIONE .....	9
4. CONTESTO LEGISLATIVO E REGOLATORIO DI RIFERIMENTO .....	11
5. APPROCCIO ALLA SPERIMENTAZIONE .....	12
6. MODULE SCALE - TEST PRESSO I LABORATORI .....	14
6.1 PREMESSE .....	14
6.2 PERFORMANCE ANALYSIS – LIFE TIME .....	16
7. DESCRIZIONE GENERALE DEGLI IMPIANTI GRID SCALE .....	21
7.1 DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CODROGIANOS .....	21
7.2 DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CIMINNA .....	23
7.3 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI CONDUZIONE, CONTROLLO E MONITORAGGIO .....	26
7.4 MODALITÀ DI CONDUZIONE E DISPACCIAMENTO.....	28
7.5 PREGRESSO STORICO E STATO DI AVANZAMENTO.....	30
8. GRID-SCALE - TEST IN SITO .....	32
8.1 GENERALITÀ .....	32
8.2 PERFORMANCE ANALYSIS – PROVE DI RENDIMENTO E CAPACITÀ RESIDUA .....	32
8.3 PERFORMANCE ANALYSIS – PROVE AD HOC CON SEGNALI SIMULATI .....	36
9. GRID-SCALE - ESERCIZIO CONTINUATIVO .....	45
9.1 INTRODUZIONE.....	45
9.2 PERFORMANCE ANALYSIS – RENDIMENTO DI ESERCIZIO.....	45
9.3 PERFORMANCE ANALYSIS – PERDITE MEDIE E CONSUMI DEI SERVIZI AUSILIARI .....	53
9.4 PERFORMANCE ANALYSIS – DISPONIBILITA' .....	56
9.5 ANALISI EVENTI SIGNIFICATIVI.....	65
9.6 ASSERVIMENTO AL SISTEMA DI DIFESA.....	74
10. COSTI SOSTENUTI .....	81
11. CONCLUSIONI .....	82
APPENDICE A.....	86
MODULE SCALE - TEST DI INVECCHIAMENTO .....	86
APPENDICE B.....	91
GRID SCALE – TEST IN SITO.....	91
APPENDICE C.....	93
GRID SCALE – ESERCIZIO CONTINUATIVO.....	93
APPENDICE D.....	97
PROSSIMI SVILUPPI – VIRTUAL STORAGE PLANT.....	97

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

## 1. OGGETTO

Il presente documento rappresenta il Rapporto relativo ai risultati della sperimentazione nel triennio 2015-2017 dei Progetti Pilota di accumulo energetico “Power Intensive” di Terna, aventi come oggetto la sperimentazione di sistemi di accumulo installati nelle Isole Sardegna e Sicilia in corrispondenza di porzioni di rete AT della Rete di Trasmissione Nazionale. Tali progetti, sono anche denominati nel loro insieme “Storage Lab”.

Il documento è predisposto in accordo a quanto previsto nelle delibere e determinazioni di riferimento emesse dall’ARERA (in particolare 43/2013/R/EEL, 227/2014/R/EEL, det. 17 luglio 2014, n. 12/14). Il presente rapporto racchiude i principali risultati del primo triennio di sperimentazioni ed un’analisi delle evidenze più rilevanti al fine di valutare l’efficacia dei progetti pilota e la loro fattibilità. Le analisi qui riportate si intendono di sintesi ed integrative di quanto già reso disponibile nei rapporti di sperimentazioni relativi agli anni 2015, 2016 e 2017.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

## 2. GLOSSARIO

Ai fini del presente documento si applicano le seguenti definizioni ed acronimi:

- **Autoscarica:** processo elettrochimico non controllato mediante il quale il contenuto di energia chimica immagazzinata, ovvero il SOC, tende a decrementarsi;
- **Batteria:** cfr. Energy Storage System
- **Battery Management System:** sistema di controllo delle batterie avente funzioni di monitoraggio, regolazione e protezione, nonché di interfacciamento con il sistema di controllo del PCS che aziona le batterie al fine dell'attuazione di fasi di carica, scarica e stand-by. In particolare, il BMS gestisce:
  - i sistemi e i dispositivi di protezione e sicurezza
  - i sistemi e i dispositivi di controllo, monitoraggio e diagnostica
  - i servizi ausiliari;
- **BMS:** cfr. Battery Management System
- **Carica continuativa:** indica una fase di funzionamento caratterizzata da una fase di carica senza interposizioni di fasi di stand-by o fasi di scarica;
- **Carica completa:** indica una fase di funzionamento caratterizzata da una fase di carica che termina al raggiungimento di un limite superiore garantito di energia immagazzinabile in una batteria. Il valore di tale limite superiore è da intendersi pari al valore massimo di energia immagazzinata che garantisce il rispetto dei valori di vita utile;
- **CC (Constant Current):** processo o fase di carica/scarica con cui il modulo batteria o il SdA viene caricato/scaricato a corrente costante, nel rispetto dei vincoli tecnici e di mantenimento delle prestazioni di vita utile del sistema;
- **Ciclo:** indica una fase di funzionamento costituita da fasi di carica, fasi di scarica e fasi di stand-by della batteria tali per cui il valore finale di energia immagazzinata in una batteria o in un assemblato di batterie e le relative variabili di stato sono pari al valore iniziale;
- **Ciclo standard:** ciclo di riferimento costituito da una fase di scarica continuativa alla Potenza continuativa di scarica, partendo da un SOC pari a 100% e con un DOD pari all'80%, seguito da una fase di carica alla Potenza continuativa di carica, fino al raggiungimento di un SOC pari al 100% e senza interposizione di fasi di stand-by;
- **Ciclo completo:** indica un ciclo caratterizzato da una profondità di scarica (cfr. DOD) pari al 100%;
- **Curva di capability:** curva, identificata nel piano cartesiano P,Q (x,y), che descrive le possibili condizioni di funzionamento del ESS in termini di potenza attiva, sia in accumulo che restituzione, e di potenza reattiva, sia in sovraeccitazione che in sottoeccitazione. Tale curva intercetta necessariamente:
  - per tensioni al punto di connessione comprese tra  $95\% \leq V \leq 110\%$  del valore nominale e frequenze comprese tra  $46,5 \text{ Hz} \leq f \leq 52,5 \text{ Hz}$ , la semiretta positiva dell'asse x per valori pari o superiori alla Potenza continuativa di scarica;
  - per tensioni al punto di connessione comprese tra  $95\% \leq V \leq 110\%$  del valore nominale e frequenze

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

- comprese tra  $46,5 \text{ Hz} \leq f \leq 52,5 \text{ Hz}$ , la semiretta negativa dell'asse x per valori assoluti pari o superiori alla potenza continuativa di carica;
- per tensioni al punto di connessione comprese tra  $95\% \leq V \leq 105\%$  del valore nominale e frequenze comprese tra  $46,5 \text{ Hz} \leq f \leq 52,5 \text{ Hz}$ , la semiretta positiva dell'asse y alla potenza reattiva nominale, quest'ultima pari almeno alla Potenza nominale (funzionamento in sovraeccitazione);
- per tensioni al punto di connessione comprese tra  $95\% \leq V \leq 105\%$  del valore nominale e frequenze comprese tra  $46,5 \text{ Hz} \leq f \leq 52,5 \text{ Hz}$ , la semiretta negativa dell'asse y alla potenza reattiva nominale, quest'ultima pari almeno alla Potenza nominale (funzionamento in sottoeccitazione);

Ogni punto all'interno della curva descrive un possibile stato di funzionamento stabile del ESS.

- **Curva di overload capability:** curva, analoga a quella di capability, che descrive le sovraccaricabilità dell'ESS in termini di potenza attiva e reattiva, su di un piano cartesiano P,Q (x,y).
- **CV (Constant Voltage):** tipicamente fase finale di carica con cui viene ultimata la carica del modulo batteria o del SdA mantenendo la tensione ai suoi capi costante e pari a un valore massimo indicato dal costruttore, nel rispetto dei vincoli tecnici e di mantenimento delle prestazioni di vita utile del sistema;
- **DOD:** cfr. Profondità di scarica;
- **Energy Storage System (ESS):** sistema per l'accumulo di energia basato su reazioni elettrochimiche;
- **Energia Nominale:** cfr. Energia nominale lorda;
- **Energia nominale lorda:** massima energia erogabile durante una scarica completa a potenza continuativa di scarica che sia preceduta da una fase di carica completa, nel rispetto delle prestazioni di vita utile;
- **Energia iniziale:** energia lorda misurata nel primo test eseguito sul sistema di accumulo;
- **Energia finale:** energia lorda misurata dopo un determinato numero di cicli di carica e scarica sul sistema di accumulo;
- **Fase di carica:** stato di funzionamento durante il quale le reazioni elettrochimiche innescate all'interno della batteria in maniera controllata ne incrementano il contenuto di energia chimica immagazzinata. In particolare, durante tale fase i moduli batterie prelevano energia elettrica dalla rete convertendola in maniera controllata in energia chimica;
- **Fase di scarica:** stato di funzionamento durante il quale le reazioni elettrochimiche innescate all'interno della batteria in maniera controllata ne decrementano il contenuto di energia chimica immagazzinata. In particolare, durante tale fase i moduli batterie rilasciano energia elettrica verso la rete a seguito di una conversione in maniera controllata dell'energia chimica immagazzinata;
- **Fase di stand-by:** stato di funzionamento durante il quale non sussistono reazioni elettrochimiche controllate all'interno della batteria e il contenuto di energia chimica immagazzinata rimane inalterato;
- **Fine vita utile:** condizione nella quale il ESS o il modulo batteria presenta un'energia nominale lorda pari all'80% rispetto alla prima misura effettuata durante le prove;

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

- **Funzionamento in isola:** Funzionamento dell'ESS connesso elettricamente all'impianto di connessione, quando questo è elettricamente non collegato alla RTN;
- **HVDC:** High Voltage Direct Current, sistema di trasmissione di energia elettrica in corrente continua;
- **ILF:** cfr. Integratore Locale di Frequenza;
- **Integratore Locale di Frequenza:** funzione del regolatore di frequenza che interviene automaticamente, quando l'errore di frequenza  $\Delta f$  è, in valore assoluto, maggiore di un valore prestabilito. Il suo compito è di eseguire una regolazione locale di tipo integrale in aggiunta alla regolazione primaria contribuendo, con gradienti di potenza prodotta sostenibili dal ESS, al ristabilimento della frequenza nominale;
- **Invecchiamento:** andamento di una caratteristica prestazionale del ESS o del modulo batteria in funzione del tempo, del numero di cicli effettuati, della temperatura ed altri agenti atmosferici, di altri parametri
- **Lifetime (Vita Utile):** indica, in maniera congiunta e non additiva:
  - il numero di cicli completi equivalenti effettuabili o il numero di cicli effettuabili a prefissati DOD,
  - il numero di anni di funzionamento garantiti,
  - il numero di scariche profonde effettuabili,
  - prima che l'energia nominale di una batteria si riduca al di sotto di predeterminati valori;
- **PCS:** cfr. Power Conversion System;
- **Potenza Nominale:** maggior valore tra il massimo valore di potenza che può essere erogato in uscita da una batteria in modo controllato durante una scarica continuativa, in un ciclo completo e senza degrado delle prestazioni; e il massimo valore di potenza che può essere imposto in ingresso ad una batteria in modo controllato in un ciclo completo durante una fase di carica continuativa e senza degrado delle prestazioni;
- **Power Conversion System:** ovvero sistema di conversione statica in grado di interfacciare le batterie al connection point della Unità di Accumulo, avente la funzione di comandare e controllare fasi di carica, scarica e stand-by delle batterie, nonché in grado di attuare comandi inviati dal Sistema di Controllo d'Impianto (SCI). Il PCS si intende equipaggiato di:
  - ponti bidirezionali di conversione statica ac/dc, filtri
  - sistemi di protezione e sicurezza
  - sistemi di controllo, monitoraggio e diagnostica
  - servizi ausiliari (condizionamento, etc.)
  - ogni sistema o apparecchiatura necessario a garantire le prestazioni ed il corretto funzionamento;
- **Profondità di scarica:** variazione percentuale subita dal SOC durante una fase di scarica;
- **Punto di connessione:** nodo elettrico di connessione del ESS alle sbarre MT dell'impianto di connessione;
- **Rendimento lordo:** rapporto percentuale tra l'energia immessa e quella prelevata da un ESS (misurata al punto di connessione) o da un modulo batteria durante un ciclo standard;

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

- **Rendimento netto:** rapporto tra l'energia immessa e quella prelevata da un ESS (misurata al punto di connessione) o da un modulo batteria durante un ciclo standard, al netto del consumo dei servizi ausiliari;
- **RTN:** Rete di Trasmissione elettrica Nazionale;
- **RTU:** Remote Terminal Unit, apparecchiatura di campo di interfacciamento del sistema di controllo SCADA tra centro remoto e campo;
- **Scarica continuativa:** indica una fase di funzionamento caratterizzata da una fase di scarica senza interposizioni di fasi di stand-by o fasi di carica;
- **Scarica completa:** indica una fase di funzionamento caratterizzata da una fase di scarica che termina al raggiungimento di un limite inferiore garantito di energia immagazzinabile in una batteria. Tale limite inferiore è da intendersi come valore minimo di energia immagazzinata che garantisce il rispetto delle prestazioni di vita utile;
- **SCI:** cfr. Sistema di Controllo Integrato;
- **SdA:** cfr. Sistema di Accumulo elettrochimico;
- **SCCT:** Sistema Centrale Controllo e Teleconduzione di Terna;
- **SE:** Stazione Elettrica;
- **Servizi ausiliari (SA):** sistemi e dispositivi necessari per il corretto e sicuro funzionamento di ogni componente costituente il ESS, nonché per il rispetto delle relative prestazioni di esercizio dichiarate. Essi si intendono comprensivi anche dei sistemi per la misura dei loro assorbimenti di energia in qualsiasi condizione di esercizio;
- **Sistema di Accumulo elettrochimico:** insieme di dispositivi, apparecchiature, infrastrutture e sistemi in grado assorbire, immagazzinare e rilasciare energia elettrica prelevata dall'impianto di connessione a seguito di comandi imposti dal TSO (o dal SCS) o da regolatori locali. A titolo esemplificativo e non esaustivo, il ESS si compone di assemblati batterie, PCS, trasformatori, sistema di controllo integrato locale, servizi ausiliari, apparecchiature di manovra e protezione (compreso interruttore MT di interfaccia) e, in generale, ogni apparecchiatura o sistema necessario al suo corretto e sicuro funzionamento;
- **Sistema di Controllo Integrato d'Impianto:** sistema locale di gestione e controllo integrato locale, avente la funzione di conduzione, di controllo e protezione della sezione MT e BT dell'impianto, nonché di interfaccia tra le Unità di Accumulo ed i sistemi centrali di teleconduzione di Terna (SCCT) al fine della conduzione e del dispacciamento delle unità;
- **SOC:** cfr. Stato di carica;
- **Sovraccaricabilità:** indica la capacità del ESS di operare a potenze, sia attive che reattive, al di fuori della curva di capability senza che ne vengano pregiudicate le performance dichiarate. La sovraccaricabilità è definita dai seguenti valori:
  - Massime potenze attive in scarica per tempi da 1 sec a 15 min (con incrementi di 1 sec)
  - Massime potenze attive in carica per tempi da 1 sec a 15 min (con incrementi di 1 sec)
  - Massime potenze reattive in sovraeccitazione per tempi da 1 sec a 15 min (con incrementi di 1 sec)

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

- Massime potenze reattive in sottoeccitazione per tempi da 1 sec a 15 min (con incrementi di 1 sec);
- **Sovraccaricabilità in carica:** massima potenza attiva sostenibile dal ESS in fase di carica per 1 minuto continuativo;
- **Sovraccaricabilità in scarica:** massima potenza attiva sostenibile dal ESS in fase di scarica per 1 minuto continuativo;
- **SSdA:** Stazione Sperimentale di Accumulo;
- **Statismo:** rapporto tra la variazione della frequenza,  $\Delta f$ , espressa in per unit della frequenza nominale (50 Hz), e la corrispondente variazione della potenza elettrica,  $\Delta P$ , misurata a regime e calcolata in per unit della Potenza nominale, conseguente all'azione del regolatore di frequenza;
- **Stato di carica:** espresso in percentuale rispetto all'energia nominale lorda, è il rapporto tra l'integrale nel tempo della potenza erogabile in uscita da una batteria mediante una scarica completa e la rispettiva energia nominale lorda;
- **UPDM:** Unità Periferica dei sistemi di Difesa e Monitoraggio.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

### 3. INTRODUZIONE

Il progetto Storage Lab è un progetto fortemente sperimentale e dalle connotazioni di un “laboratorio di accumulo energetico”, che prevede l’installazione di sistemi di accumulo multi-tecnologici, per lo più di tipo “Power Intensive”, ovvero caratterizzati dall’erogazione, per brevi tempi, di elevate potenze.

Come descritto nel Piano di Difesa per la Sicurezza del Sistema Elettrico Nazionale 2012-2015, il progetto Storage Lab consiste nell’installazione di 16 MW di impianti di accumulo nelle sole due Isole Maggiori (Sardegna e Sicilia), poiché caratterizzate dalle seguenti specificità:

- architettura delle reti e possibilità di esercizio delle stesse in modalità “isola di frequenza” oppure con assetti di rete caratterizzati da ridotta potenza di corto circuito ed energia regolante se confrontata con gli assetti tipici delle reti continentali (ad esempio in caso di fuori servizio parziale o totale del collegamento SA.PE.I. e della relativa capacità di regolazione in Sardegna, o del collegamento Sorgente-Rizziconi in Sicilia): in queste condizioni, assumono maggiore valenza le risorse rapide nella regolazione anche se di piccola taglia a causa del loro contributo reso al Sistema;
- elevata adeguatezza alla sperimentazione dei sistemi di accumulo per i servizi di rete, facilitando le analisi di esercizio e di fine-tuning delle implementazioni;
- opportunità di messa a punto e sperimentazione dei sistemi di accumulo in reti elettriche “complesse” (e.g.: coordinamento con collegamenti in corrente continua HVDC, compensatori sincroni);
- integrazione dei sistemi di accumulo in Sistemi Elettrici caratterizzati da elevata penetrazione di fonti energetiche rinnovabili non programmabili, contribuendo a favorire lo studio e l’implementazione della mitigazione e della riduzione dell’inerzia rotante del parco di generazione.

Con tali premesse, mediante un procedimento di gara pubblico sono state approvvigionate tecnologie di tipo “Lithium Based” (ovvero tecnologie basate sull’utilizzo del litio per la realizzazione dell’elettrodo positivo), tecnologie Zebra (acronimo derivante da un precedente brevetto denominato “*Zero Emission Battery Research Activities*” su tecnologie cosiddette ai sali fusi ad alta temperatura di funzionamento), e di tipo “Flusso”, ovvero a circolazione di elettrolita (cfr. Figura 1), opportunamente suddivise tra i siti di Codrongianos (Sardegna) e Ciminna (Sicilia). Inoltre, a completamento del portafoglio tecnologico del progetto, è prevista l’installazione di un sistema basato su supercapacitori.



Figura 1 Fornitori delle tecnologie di batterie elettrochimiche installate al 31 Dicembre 2017

Tramite il progetto Storage Lab, Terna ha la possibilità di sperimentare le principali tecnologie di accumulo disponibili sul mercato, in maniera tale da poterne validare l'integrazione con i Sistemi di Difesa Terna, valutandone performance e potenzialità per applicazioni orientate all'incremento della sicurezza di gestione del Sistema Elettrico Nazionale (SEN), ovvero che non richiedono grandi capacità di accumulo, ma elevate efficienze nei cicli parziali di carica/scarica e rapidi tempi di risposta.

Tali obiettivi sono perseguiti attraverso:

- attività di testing svolte dai laboratori italiani accreditati su moduli batterie rappresentativi delle diverse tecnologie installate;
- specifiche campagne di test eseguite sui sistemi di accumulo di taglia "grid-scale" installati negli Storage Lab di Codrongianos (SS) e Ciminna (PA);
- l'esercizio dei sistemi on-grid a supporto dell'erogazione di servizi essenziali, quali la regolazione di frequenza primaria, la regolazione di frequenza secondaria e l'asservimento al Sistema di Difesa;
- applicazioni e funzionalità innovative potenzialmente implementabili in futuro nel Codice di Rete per le risorse del Dispacciamento.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

#### 4. CONTESTO LEGISLATIVO E REGOLATORIO DI RIFERIMENTO

La Concessione per le attività di trasmissione e dispacciamento dell'energia elettrica nel territorio nazionale, della quale Terna è titolare, prevede, all'articolo 7, lettera k, che il Concessionario possa realizzare e gestire impianti per l'accumulo dell'energia elettrica al fine di garantire la sicurezza del Sistema Elettrico Nazionale ed il buon funzionamento dello stesso, nonché il massimo sfruttamento della produzione da fonti rinnovabili e l'approvvigionamento di risorse per i servizi di dispacciamento.

Il Decreto Legislativo 3 Marzo 2011, n. 28 (Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE) all'articolo 17 comma 3, dispone che tra gli interventi previsti da Terna nel Piano di Sviluppo della Rete di Trasmissione Nazionale possano essere inclusi i sistemi di accumulo dell'energia elettrica finalizzati a "favorire il dispacciamento degli impianti non programmabili", in quanto interventi considerati necessari per assicurare l'immissione ed il ritiro integrale dell'energia prodotta dagli impianti a fonte rinnovabile.

Il D.Lgs 93/11 stabilisce che, in attuazione di quanto programmato nel Piano di sviluppo della RTN, il gestore del sistema di trasmissione nazionale può realizzare e gestire sistemi di accumulo diffuso di energia elettrica mediante batterie.

Poste le premesse sopra riportate, come dichiarato nel Piano di Difesa 2012-2015, Terna ha proposto l'installazione di Sistemi di Accumulo (SdA) a risposta rapida, in grado di contrastare il decadimento (o l'innalzamento) della frequenza a fronte di squilibri tra generazione e carico.

La Deliberazione 43/2013/R/EEL dell'11 febbraio 2013<sup>1</sup> ha quindi approvato i due progetti pilota denominati "Power Intensive" (Storage Lab).

La sperimentazione dovrà permettere di valutare le prestazioni delle diverse tecnologie di accumulo, dei singoli Sistemi di Accumulo (SdA) e della complessiva Stazione Sperimentale di Accumulo (SSdA), e l'attitudine delle diverse tecnologie di accumulo elettrochimico a svolgere le funzionalità sperimentate (risposta alle perturbazioni, mantenimento nel tempo delle proprietà caratteristiche degli accumulatori). In particolare, ciò permetterà di osservare la risposta del SdA nel suo complesso (e in particolare del suo sistema di regolazione) a fronte di perturbazioni (reali o simulate) della rete.

Con la comunicazione del 14 aprile 2014, Terna ha comunicato all'Autorità, fornendo opportune motivazioni, che i suddetti siti hanno subito delle variazioni rispetto alle previsioni originarie e che i nuovi siti scelti per la sperimentazione risultavano essere Ciminna (Sicilia) e Codrongianos (Sardegna). L'istanza di Terna è stata quindi accolta dall'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico con la deliberazione 227/2014/R/EEL del 22 maggio 2014<sup>2</sup>.

La definizione delle modalità operative della sperimentazione dei sistemi di accumulo Power intensive, dei relativi indicatori di monitoraggio e degli obblighi informativi, sono riportati nella Determinazione 17 luglio 2014 n. 12/14<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Per la deliberazione completa: <http://www.autorita.energia.it/allegati/docs/13/043-13.pdf>

<sup>2</sup> Per la deliberazione completa: <http://www.autorita.energia.it/allegati/docs/14/227-14.pdf>

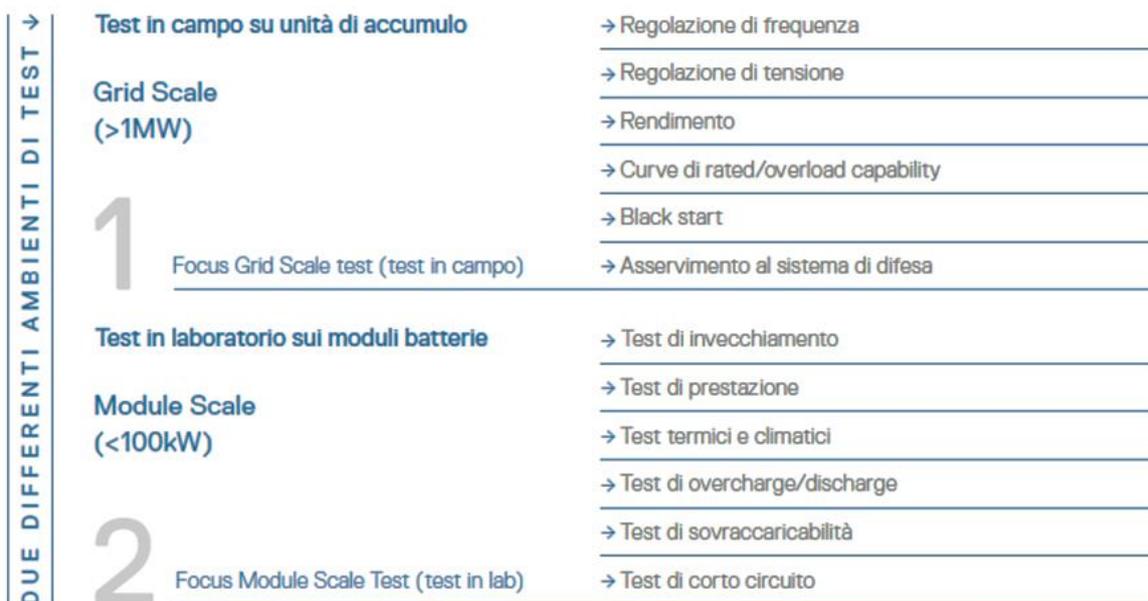
<sup>3</sup> Per la deliberazione completa: <http://www.autorita.energia.it/allegati/docs/14/012-14diuc.pdf>

## 5. APPROCCIO ALLA SPERIMENTAZIONE

L'elevata componente innovativa del progetto Storage Lab ha reso necessario ideare un approccio alla sperimentazione tale da permettere di costruire un track-record di riferimento per un settore che presenta standard normativi ancora in definizione, e che sia allo stesso tempo basato su criteri oggettivi di comparazione tra tecnologie di natura differente e che tenga conto di una molteplicità di applicazioni di tipo "utility scale".

Il programma sperimentale prevede a tal fine due ambienti di test, in campo ed in laboratorio, necessari per la valutazione, per ciascuna tecnologia, dei principali fattori chiave ed indici di performance che, tipicamente, vengono utilizzati nelle analisi costi-benefici:

- **Grid Scale Test:** test condotti in sito su sistemi di accumulo di taglia pari a circa 1 MW;
- **Module Scale Test:** test eseguiti in ambiente di laboratorio su moduli batterie di taglia inferiore a 100 kW ma comunque rappresentativi della tecnologia ai fini della caratterizzazione di installazioni utility scale.



<b>OBIETTIVO</b>	Collezionare sufficiente know-how per essere in grado di selezionare la miglior tecnologia a fronte di ogni applicazione, integrarle tra loro e con i tool di Terna in maniera ottimale.	Lo Storage Lab ha lo scopo di analizzare le performance delle tecnologie selezionate durante il loro esercizio asservito al Sistema.  Tecnologie considerate per la fase di testing comparativa: → Lithium-Ion → Zebra → Flusso → Altre (Supercaps...)
------------------	--	---

<b>LAB</b>	Test sui moduli eseguiti da: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">     </div>
------------	---

Figura 2 Approccio alla sperimentazione

I test svolti in sito, ai sensi della Determinazione del 17 Luglio 2014 n.12/14, sono costituiti da una serie di attività e di prove volte a identificare le caratteristiche di ciascuna tecnologia al fine di identificare la più adatta per i diversi servizi oggetto della sperimentazione. La Determinazione prevede infatti che le prestazioni dei Sistemi di Accumulo (SdA) siano valutate mediante una sperimentazione continuativa sul campo. Tale sperimentazione prevede di testare non solo il funzionamento del SdA in esercizio normale e in condizioni critiche, ma anche di valutarne il degrado delle prestazioni e delle caratteristiche nominali (capacità, rendimento e tempo di risposta) a seguito delle strategie di esercizio implementate, tramite un monitoraggio continuativo dell’esercizio e lo svolgimento di specifiche campagne di test periodiche.

Alle attività di sperimentazione continuativa svolte in sito si affiancano le attività di test in laboratorio necessarie per la caratterizzazione delle performance principali dei moduli batterie, al fine di avere una rappresentazione esaustiva, per ciascuna tecnologia, sia del comportamento delle tecnologie in particolari condizioni di stress (test di overcharge, test di overdischarge e test di corto circuito), sia dei alcuni dei principali indicatori che tipicamente vengono utilizzati nelle analisi costi-benefici dei sistemi di accumulo (test di invecchiamento, test di prestazione, test termici, creazione del circuito equivalente).

L’unione dei risultati della sperimentazione in sito e dei test svolti in laboratorio permette di determinare per ciascuna tecnologia i fattori chiave riportati nella figura seguente, che rappresentano gli indici di performance più significativi ai fini della comparazione e la validazione delle differenti tecnologie di accumulo quando asservite al Sistema Elettrico Nazionale.

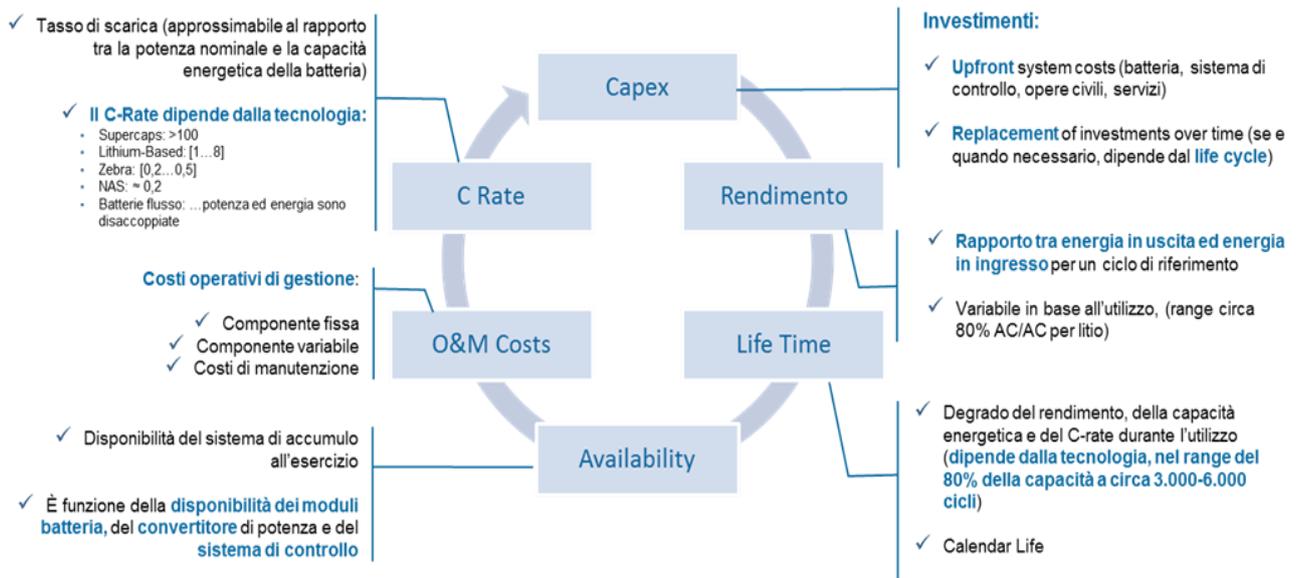


Figura 3 Indici di performance per la valutazione e comparazione delle tecnologie di accumulo

Nel seguito del documento verrà riportata una sintesi delle evidenze più rilevanti riscontrate durante i primi tre anni di sperimentazione sui progetti pilota Storage Lab, corredate da analisi finali dei risultati volte ad approfondire alcuni dei fattori chiave sopra riportati, con particolare riferimento a *Life Time*, *Availability* e *Rendimento*. Tali indici di performance sono infatti ritenuti determinanti per la comparazione e la valutazione delle diverse tecnologie per applicazioni “utility-scale”, anche in contesti differenti dall’asservimento al TSO.

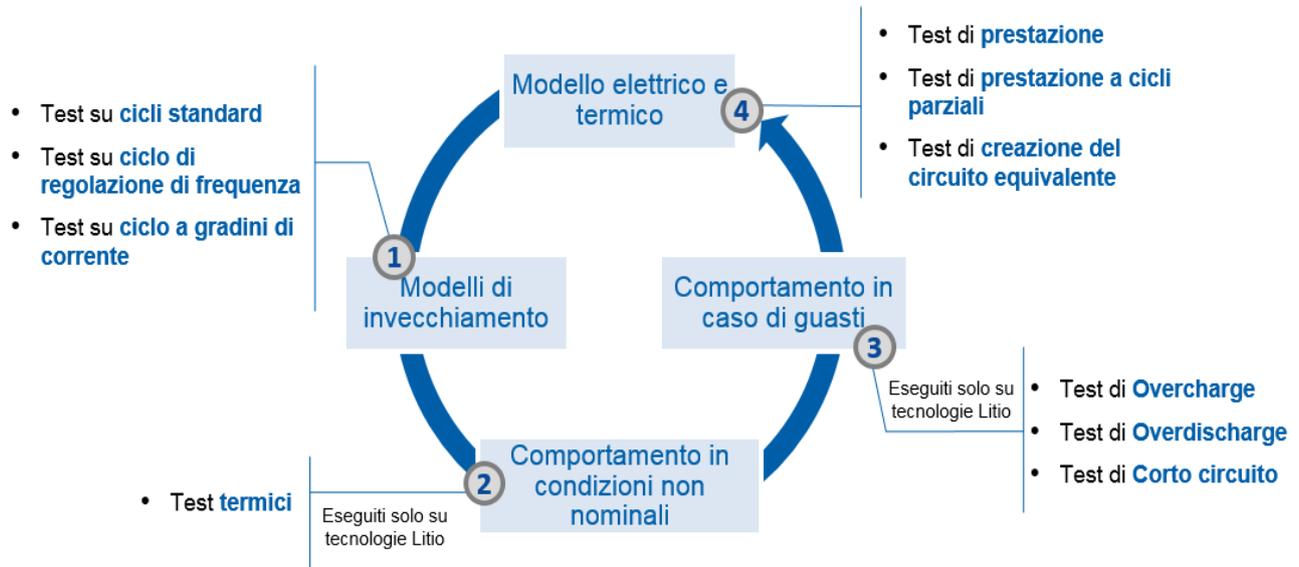
## 6. MODULE SCALE - TEST PRESSO I LABORATORI

### 6.1 PREMESSE

I test condotti in laboratorio su moduli batterie sono finalizzati alla verifica della rispondenza dei prodotti approvigionati rispetto a quanto dichiarato dai fornitori in fase di gara, nonché all’esecuzione di ulteriori test ai fini di acquisire un maggiore know-how sulle soluzioni maggiormente idonee da installare sulla RTN ai fini delle esigenze di rete. I test sono stati perciò definiti allo scopo di:

- creare un modello di invecchiamento;
- creare un modello elettrico e termico della batteria;
- valutare il comportamento in condizioni di funzionamento non nominali;
- valutare il comportamento in caso di guasto.

A tal fine, si è prevista l’esecuzione di molteplici test, tra cui: test di invecchiamento basato su cicli standard e su cicli rappresentativi di un utilizzo dedicato alla regolazione di frequenza, test di invecchiamento su gradini di corrente, test di prestazione per valutazione di rendimento e capacità energetica (condotti su cicli completi e cicli parziali), prove per la determinazione del circuito equivalente, test termici, test di overcharge, test di overdischarge e test di corto circuito.



**Figura 4 Strategia dei test di valutazione moduli**

Per alcune tipologie di test, le modalità e le procedure di test sono strettamente calate in funzione della tecnologia del modulo batterie e, in alcuni casi, le caratteristiche costruttive dei moduli non permettono l’esecuzione di alcuni test. Ad esempio, le caratteristiche fisiche e costruttive delle batterie Zebra (che prevedono un BMS integrato direttamente nel modulo in grado di proteggerlo da un qualsiasi funzionamento anomalo) non permettono l’esecuzione dei test termici, dei test di overcharge ed overdischarge, del test di

sovraccarico e del test di corto circuito. Per quanto riguarda le tecnologie di accumulo di tipo *Flusso*, non sono stati previsti test in laboratorio in quanto la complessità della tecnologia e le sue peculiari caratteristiche costruttive e di funzionamento non permettono di testare soluzioni *Module Scale* al di sotto dei 50 kWh né di eseguire alcuni dei test previsti.

Si riportano nel seguito le analisi comparative svolte sui risultati di *Life Time* ottenuti per le diverse tecnologie quando sottoposte a tre diverse tipologie di cicli di invecchiamento. Le attività di test in laboratorio sono state infatti principalmente orientate allo svolgimento dei test di invecchiamento, in particolare col duplice fine di validare i dati di vita utile dichiarati dai fornitori e di confrontare i risultati derivanti dai test basati su *cicli standard* (test eseguiti presso le fabbriche o i laboratori degli stessi fornitori, sotto la sorveglianza di personale dei laboratori italiani commissionati per la verifica dei test) e con quelli ottenuti dall'applicazione continuativa dei *cicli di regolazione di frequenza* e dai *cicli a gradini di corrente* (entrambi i test sono eseguiti presso i laboratori italiani) (cfr. Figura 5).

Si riporta in appendice A una descrizione dettagliata delle procedure di test relative ai tre test di invecchiamento proposti, e si rimanda ai rapporti di sperimentazione 2016 e 2017 per le analisi specifiche effettuate su ciascuna tecnologia.

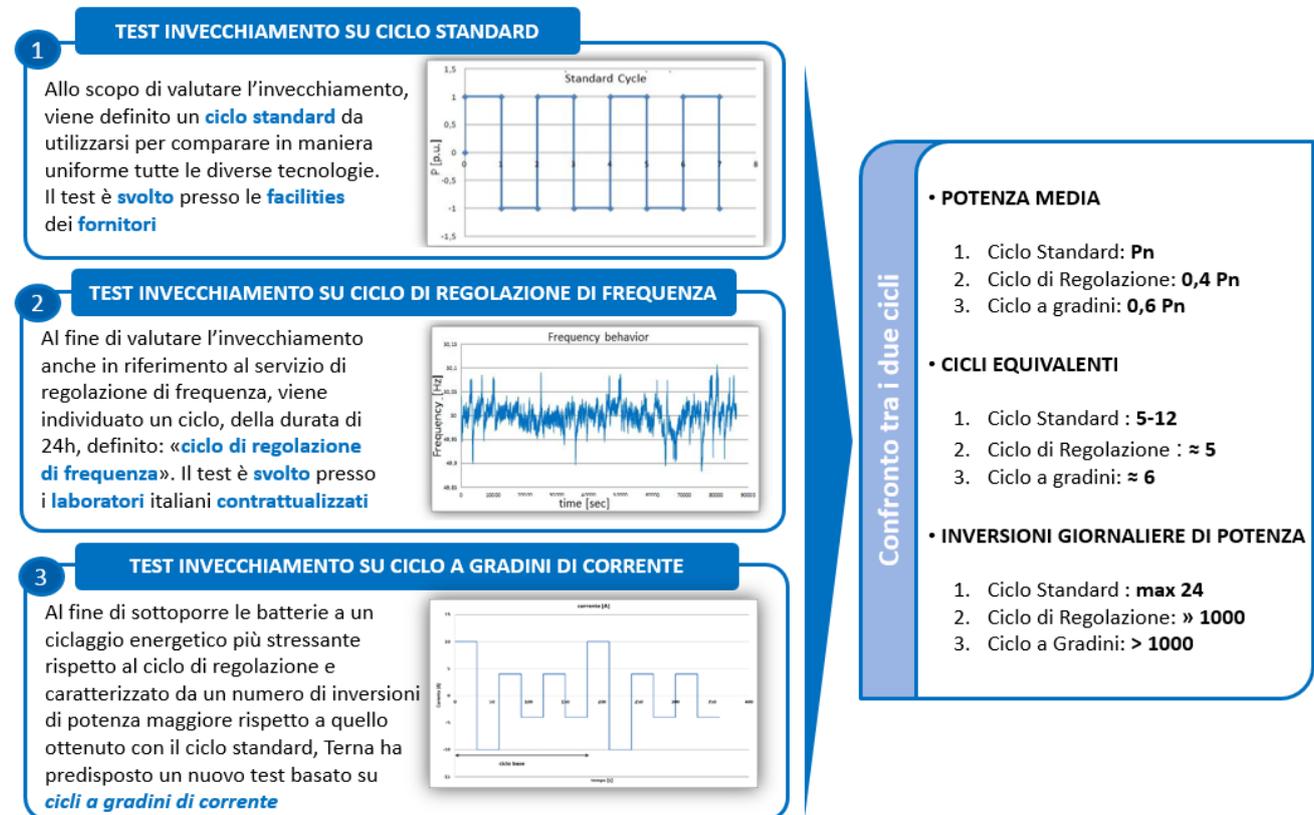


Figura 5 Confronto caratteristiche dei cicli utilizzati per i tre test di invecchiamento proposti

## 6.2 PERFORMANCE ANALYSIS – LIFE TIME

I test di invecchiamento sono finalizzati a comprendere i principali fattori che possono aver impatto sul decadimento delle prestazioni dei moduli batterie durante il loro utilizzo per applicazioni di supporto alla gestione delle reti. A tal fine, si riporta di seguito un'analisi volta a confrontare il decadimento sulle tre tipologie di ciclaggio registrato per le diverse tecnologie in modo tale da rendere evidenti le peculiarità di ciascun sistema in termini di degrado delle performance quando sottoposte a differenti tipi di ciclaggio e le applicazioni per le quali risulterebbero di conseguenza più adatte.

In Figura 6 è riportato il grafico di confronto tra gli andamenti delle curve relative ai test di invecchiamento su cicli standard per tutti i fornitori. Il SdA 5 e il SdA 7 hanno effettuato un maggior numero di cicli rispetto agli altri fornitori, mostrando il degrado minore in termini di energia scaricabile tra i sistemi a base Litio (a parità di cicli equivalenti considerati). La tecnologia del SdA 4, dopo i 3000 cicli equivalenti previsti dal test, presenta una capacità residua inferiore al valore soglia di DOD dell'80%, e pari infatti a 76%, dimostrandosi la tecnologia di accumulo con le performance peggiori in termini di invecchiamento sul ciclo standard tra quelle approvigionate. Per quanto riguarda le tecnologie Zebra, il SdA 2, risulta caratterizzata da un degrado della capacità energetica trascurabile per effetto dell'esecuzione continuativa del ciclo standard, mentre il SdA 3 evidenzia un rapido invecchiamento a partire dal 700° ciclo.

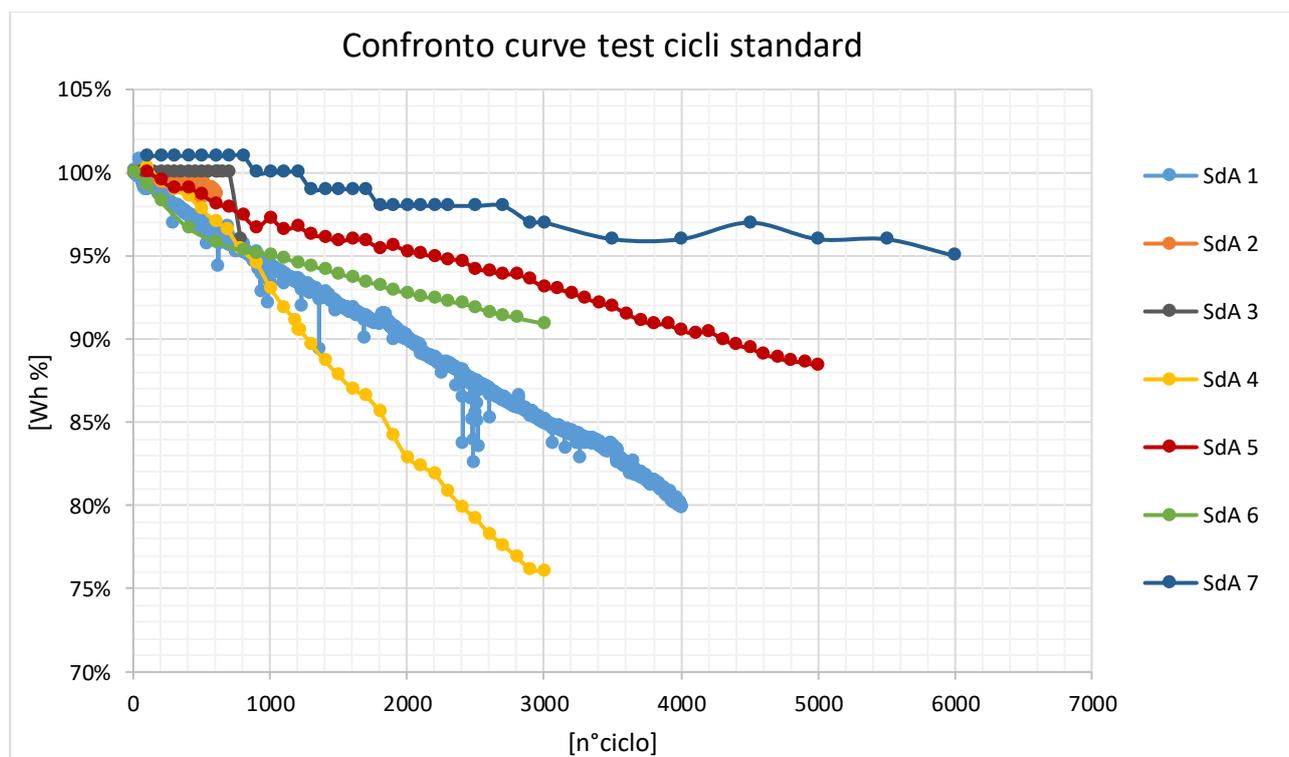
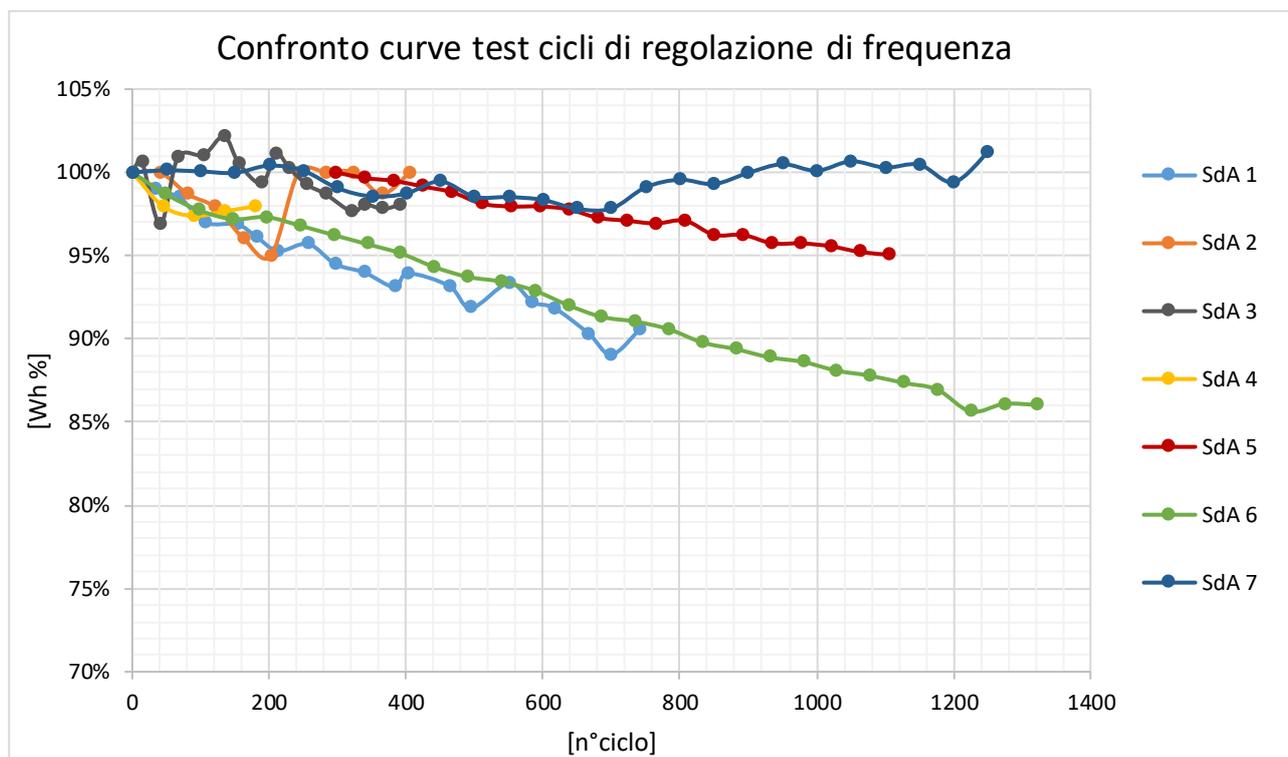
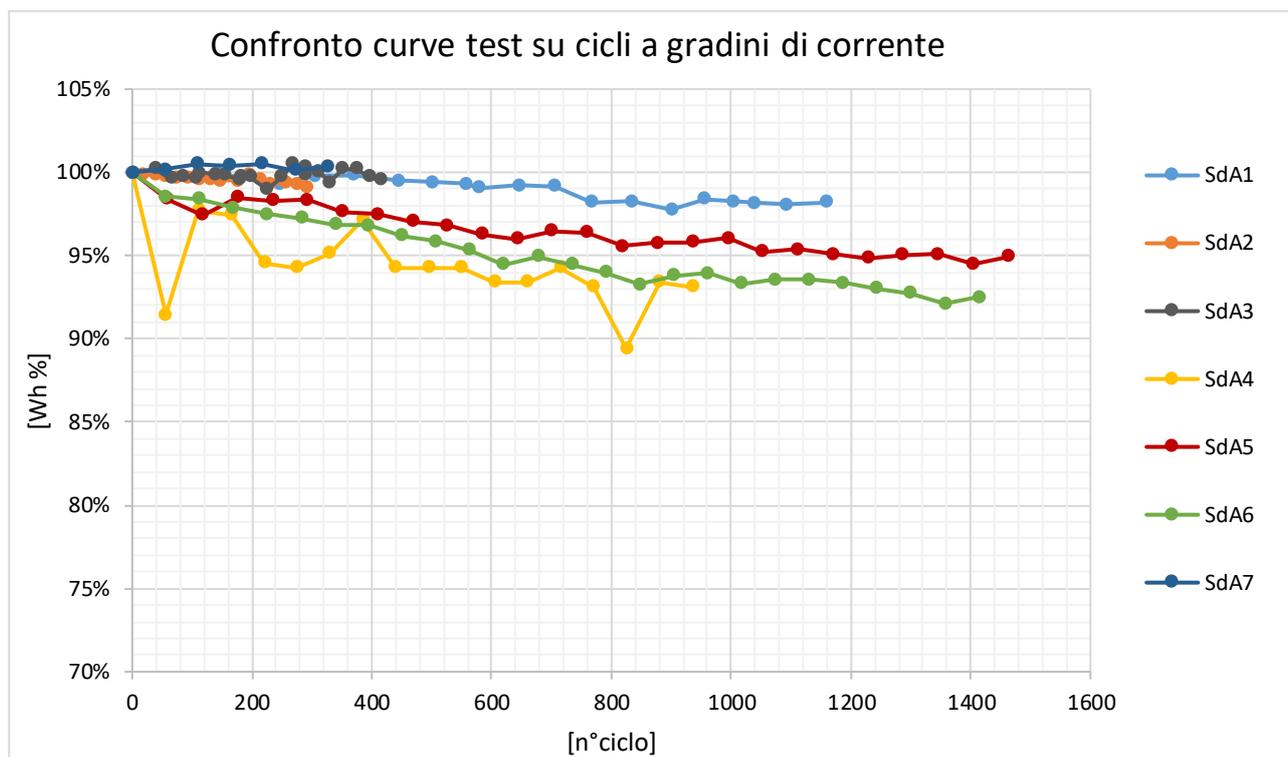


Figura 6 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli standard



**Figura 7 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli di regolazione di frequenza**

Il grafico in Figura 7 riporta le curve risultanti del test di invecchiamento su cicli di regolazione di frequenza per tutti i fornitori. Anche in questo caso, le tecnologie Litio meno affette dall'esecuzione continua del ciclo (caratterizzato da un numero elevato di inversioni di potenza) sono il SdA 5 e il SdA 7, che, risultano essere non influenzate dalla tipologia di ciclo e dalle sue caratteristiche in termini energetici e di potenza. Esse infatti mostrano lo stesso tasso di decadimento dell'energia scaricabile per entrambi i test. A parità di cicli considerati (700), il degrado maggiore si è registrato per il SdA 1 e il SdA 6, che soffrono in maniera molto più marcata l'esecuzione continuativa del ciclo di regolazione di frequenza rispetto a quello standard. Non è possibile invece trarre delle conclusioni oggettive sul comportamento del SdA 4 quando sottoposto al ciclo di regolazione di frequenza, a causa del numero ridotto di cicli effettuati (circa un ordine di grandezza inferiore rispetto a quello delle altre tecnologie Litio). Per quanto riguarda le tecnologie Zebra, non si registra un invecchiamento evidente in termini di riduzione della capacità scaricabile rispetto a quella nominale. Il minor numero di cicli equivalenti effettuati per tali tecnologie è legato al maggior contenuto energetico dei sistemi testati (da 6 a 20 volte maggiore rispetto alle tecnologie Litio considerate). Infatti, a parità di numero di giornate di ciclaggio continuative e quindi a parità di energia ciclata e di capacità scaricata, la taglia dei moduli Zebra testati implica inevitabilmente un minor numero di cicli equivalenti effettuabili.



**Figura 8 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli a gradini di corrente**

In Figura 8 sono riportate le curve risultanti del test di invecchiamento su cicli a gradini di corrente per tutti i fornitori. A parità di cicli equivalenti, il SdA 1 e il SdA 7 sono le tecnologie Litio che mostrano il tasso di decadimento dell'energia scaricabile inferiore. Si ricorda che il SdA 7 ha eseguito un numero di cicli equivalenti inferiore rispetto alle altre tecnologie Litio, pari a circa 326 cicli equivalenti, poiché il test, in corso durante il 2017, è stato concluso l'anno seguente. Il SdA 4, il SdA 5 e il SdA 6 hanno mostrato un degrado delle performance superiore rispetto al SdA 1. A parità di cicli equivalenti eseguiti, si consideri ad esempio il ciclo 900°, il SdA 5 e il SdA 6 presentano infatti un valore di capacità residua pari al 93,1%, 93,8% e 95,8% rispettivamente, rispetto al 98,2% registrato per il SdA 1. Il SdA 4 si dimostra anche in questo caso la tecnologia con le performance peggiori. Per quanto riguarda le tecnologie Zebra, sia il SdA 2 che il SdA 3 presentano un ridotto decadimento delle performance in termini di riduzione della capacità scaricabile rispetto a quella nominale ed in linea con quelle ottenute per il SdA 1 e il SdA 7.

I risultati sopra esposti, riassunti per una più semplice fruizione in Figura 9, permettono di desumere le seguenti risultanze:

- alcune tecnologie non sono influenzate dalla tipologia di ciclo e dalle sue caratteristiche in termini energetici e di potenza (in particolare, SdA 5 e SdA 7);
- la tecnologia SdA 4 dopo i 3000 cicli equivalenti previsti dal test, presenta una capacità residua inferiore al valore soglia di DOD dell'80%, e pari infatti al 76%, dimostrandosi la tecnologia di accumulo con le performance peggiori in termini di invecchiamento sul ciclo standard tra quelle approvigionate;

- le tecnologie Zebra non mostrano un invecchiamento evidente in termini di riduzione della capacità scaricabile rispetto a quella nominale quando sottoposte al ciclo di regolazione di frequenza e al ciclo a gradini di corrente;
- alcune tecnologie Litio (es. SdA 1 e SdA 6) soffrono in maniera molto più marcata l'esecuzione continuativa del ciclo di regolazione di frequenza e del ciclo a gradini di corrente (seppur in maniera inferiore) rispetto a quello standard.

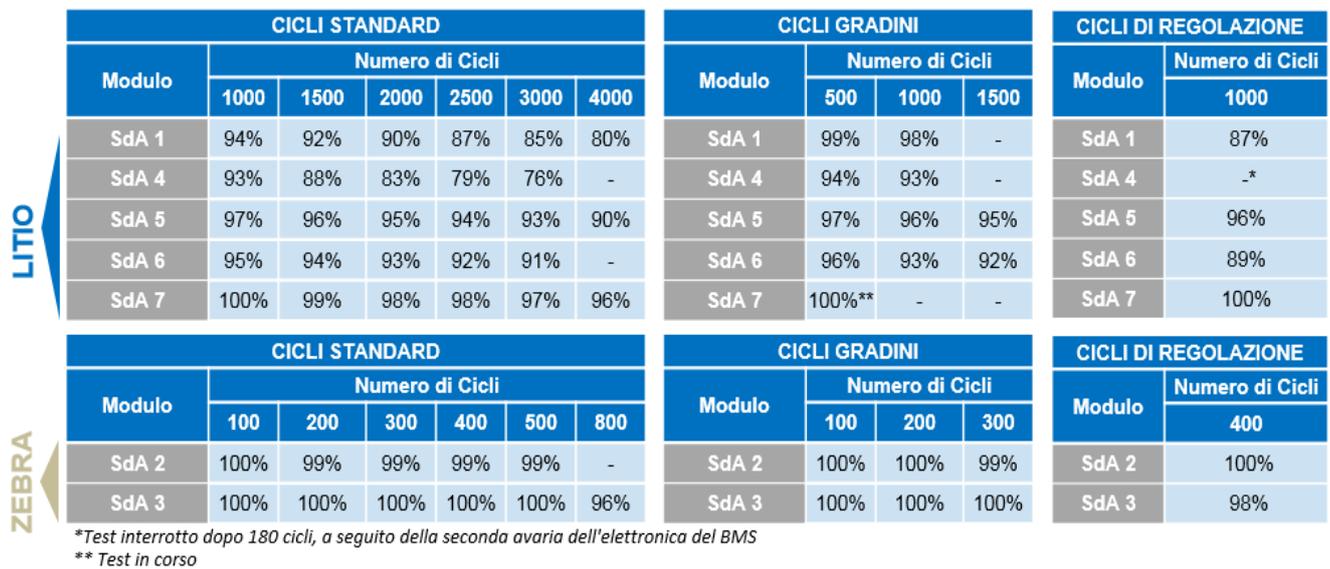


Figura 9 Comparazione risultati test di invecchiamento su ciclo standard e su ciclo di regolazione di frequenza

In generale, dall'analisi comparativa svolta, è evidente, come alcune tecnologie presentino un invecchiamento maggiore rispetto ad altre, qualora dedicate ad applicazioni che richiedano frequenti inversioni di potenza (es. regolazione primaria di frequenza). L'effetto sul degrado della capacità nominale è tuttavia molto diverso al variare delle tecnologie, anche tra sistemi caratterizzati da chimiche molto simili (cfr. Figura 10).

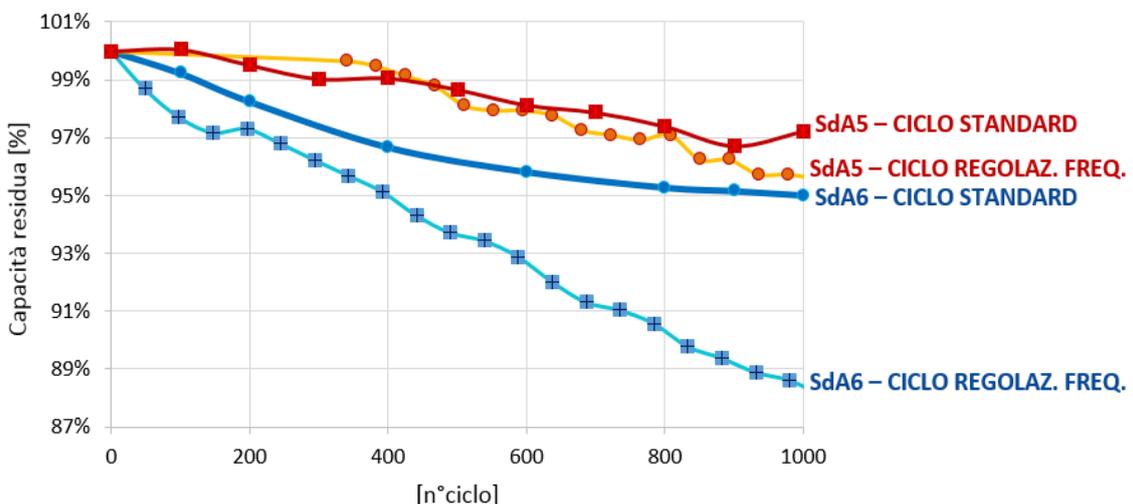


Figura 10 Degrado capacità nominale su ciclo standard e di regolazione di frequenza per le tecnologie Litio SdA 5 e SdA 6

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

Il numero di cicli equivalenti di vita utile è infatti fortemente influenzato, per ciascuna tecnologia, dal pattern di utilizzo (forma del profilo di scambio di potenza, numero di inversioni, ciclaggio continuativo o con presenza di stand-by, etc.) e non è quindi possibile dare una risposta univoca su quale tecnologia sia effettivamente caratterizzata dal più elevato *Life Time*. Tuttavia, appare evidente che il numero cicli vita indicati dal fornitore nelle specifiche tecniche di prodotto e/o in fase di gara possa trovare applicazione solo per uno specifico e ben preciso pattern di utilizzo, al di fuori del quale le prestazioni della tecnologia possono essere notevolmente differenti.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

## 7. DESCRIZIONE GENERALE DEGLI IMPIANTI GRID SCALE

### 7.1 DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CODROGIANOS

#### GENERALITÀ

La stazione elettrica di trasformazione di Codrongianos è connessa all'unica dorsale a 380 kV della Sardegna, "Fiumesanto – Selargius", e si trova nel comune omonimo in provincia di Sassari. La stazione presenta tre livelli di tensione: 380 kV, 220 kV e 150 kV. La scelta di ubicare lo Storage Lab in questa Stazione Elettrica è legata anche all'opportunità di sviluppare sinergie con un altro innovativo impianto della RTN, rappresentato dall'installazione di due compensatori sincroni necessari al corretto funzionamento del collegamento HVDC Sa.Pe.I.

#### CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE ELETTRICA DI CODROGIANOS

La Stazione Elettrica può essere concettualmente suddivisa nell'area ospitante i Sistemi di Accumulo (SdA), e nell'area, denominata "Set-Up MT", composta da:

- Stallo di trasformazione 15kV/150kV;
- Container MT contenente il quadro MT;
- Container BT contenente il quadro di distribuzione dei servizi ausiliari;
- Container SPCC contenente il sistema di controllo, conduzione e monitoraggio dell'impianto;
- Trasformatori MT/BT, Trasformatori Formatori di Neutro (TFN), Gruppo Elettrogeno.

In generale quindi il Set-Up MT costituisce l'insieme delle apparecchiature e dispositivi necessari al collegamento dei SdA alla RTN, nonché gli apparati ed i sistemi hardware e software d'interfacciamento verso i sistemi centrali Terna di conduzione e controllo remoto. I sistemi di accumulo sono connessi ad un quadro MT caratterizzato due semisbarre a 15kV, con cavi a terminale sconnettibile al fine di consentire un agevole scambio tra SdA nei quadri a fini sperimentali. Nelle posizioni standard, i SdA sono stati distribuiti tra le due semisbarre in maniera tale da poter disporre, per quanto possibile, di due gruppi il più possibile simmetrici in termini di potenza connessa (Figura 11). Ciascuna semisbarra è quindi connessa tramite apposito collegamento in cavo allo stallo di trasformazione.

Dalle due sbarre MT viene anche derivata l'alimentazione per i servizi ausiliari tramite due appositi trasformatori MT/BT (di cui uno in funzionamento ridondante). L'alimentazione dei servizi ausiliari è inoltre ulteriormente garantita, in maniera ridondante alle precedenti, tramite installazione di un gruppo elettrogeno (Figura 12).

Il controllo, la conduzione e il monitoraggio dell'impianto Storage Lab avviene tramite la comunicazione tra i centri remoti Terna con il sistema locale denominato Scada Lab: quest'ultimo permette, durante le fasi di sperimentazione e durante l'ordinario esercizio, la conduzione ed il controllo da remoto della sezione di potenza di impianto nonché il comando ed il controllo di tutti i sistemi di accumulo sottesi.

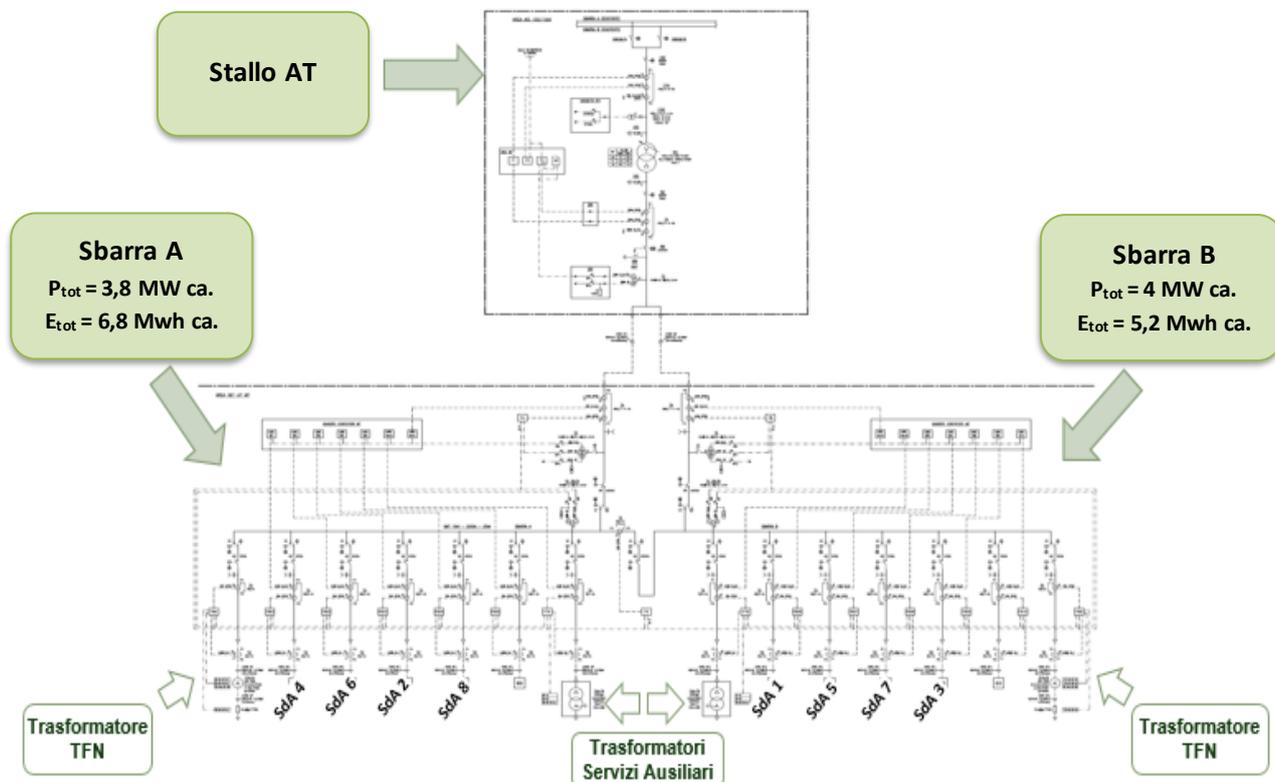


Figura 11 Schema unifilare MT/AT di impianto – Codrongianos

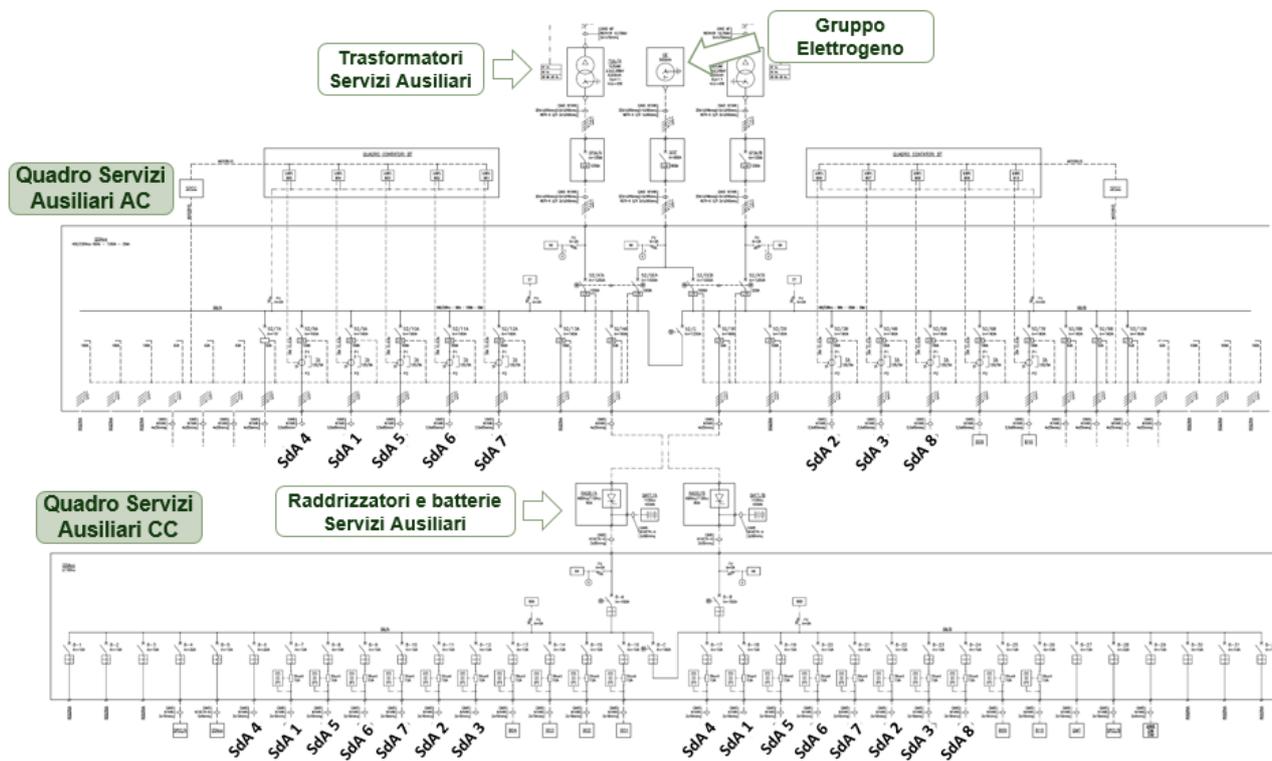


Figura 12 Schema unifilare BT – servizi ausiliari - Codrongianos

## SISTEMI DI ACCUMULO INSTALLATI NELLA STAZIONE ELETTRICA DI CODRONGIANOS

I SdA installati nello Storage Lab di Codrongianos sono basati su diverse tecnologie e chimiche di accumulo elettrochimico. I sistemi installati sul sito sono riportati in Tabella 1, dove per ogni soluzione sono indicati i valori nominali di potenza ed energia.

Fornitore	Tipologia	Potenza Installata [MW]	Energia [MWh]
<b>SdA 1</b>	Lithium-Based	1	1,23
<b>SdA 2</b>	Zebra	1,2	4,15
<b>SdA 3</b>	Zebra	1	2,00
<b>SdA 4</b>	Lithium-Based	1,2	0,97
<b>SdA 5</b>	Lithium-Based	1	0,92
<b>SdA 6</b>	Lithium-Based	1	0,54
<b>SdA 7</b>	Lithium-Based	1	1,02
<b>SdA 8</b>	Flusso - Vanadio	0,4	1,10

Tabella 1 Sintesi SdA installate presso la SE Codrongianos al 31/12/2017

## 7.2 DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CIMINNA

### GENERALITÀ

La Stazione Elettrica di Ciminna è ubicata nel comune di Ciminna, in provincia di Palermo, all'interno dell'esistente SE 220/150 kV denominata Ciminna, situata in contrada Palmeri s.n.c. dell'omonimo comune. La stazione di Ciminna è composta dalle sezioni a 380 kV (attualmente esercita per esigenze di rete a 220 kV) e a 150 kV, entrambe in aria, e sono in servizio n. 2 ATR 220/150 kV da 250 MVA.

### CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE ELETTRICA DI CIMINNA

La Stazione Elettrica può essere concettualmente suddivisa nell'area ospitante i Sistemi di Accumulo (SdA), e nell'area, denominata Set Up MT, composta da:

- Stallo di trasformazione 150kV/20kV;
- Edificio Comandi SET UP contenente i quadri MT, BT e SPCC;
- Trasformatori MT/BT, Trasformatori Formatori di Neutro (TFN), Gruppo Elettrogeno.

In generale, quindi, il Set Up MT costituisce l'insieme delle apparecchiature e dispositivi necessari al collegamento dei SdA alla RTN, nonché l'hardware e il software d'interfacciamento verso i sistemi centrali Terna.

Ogni SdA è collegato al SET UP MT tramite dei cavi in Media Tensione i quali saranno attestati da una parte al quadro di interfaccia di ogni singolo SdA e dall'altra al quadro MT ubicato all'interno della sala MT dell'Edificio Comandi SET UP. L'impianto è esercito in MT mediante un sistema a due semi-sbarre a 20 kV con cavi a terminale sconnettibile al fine di consentire un agevole scambio tra SdA a fini sperimentali. Nelle

posizioni standard, i SdA sono stati distribuiti tra le due sbarre in maniera tale da poter disporre, per quanto possibile, di due gruppi il più possibile bilanciati in termini di potenza (Figura 13). Ciascuna semisbarra è quindi connessa tramite apposito collegamento allo stallo di trasformazione.

Il quadro MT è installato all'interno del locale quadri denominato Edificio Comandi Set UP a cui si attestano i vari sistemi di accumulo, i trasformatori per l'alimentazione dei servizi ausiliari ed il trasformatore formatore di neutro di neutro.

Su ciascuno dei due quadri attestati alla relativa sbarra sono presenti i seguenti arrivi/partenze:

- n° 1 arrivo da trasformatore AT/MT;
- n° 1 partenza per trasformatore MT/BT A;
- n° 4 partenze per gli assemblati batterie;
- n° 1 partenza per trasformatore formatore di neutro TFN A;
- n° 1 scomparto misure.

I due quadri sono tra loro collegati mediante congiuntore di sbarra.

I servizi ausiliari dell'impianto sperimentale vengono alimentati tramite due trasformatori MT/BT collegati alle sbarre MT dell'impianto (Figura 14).

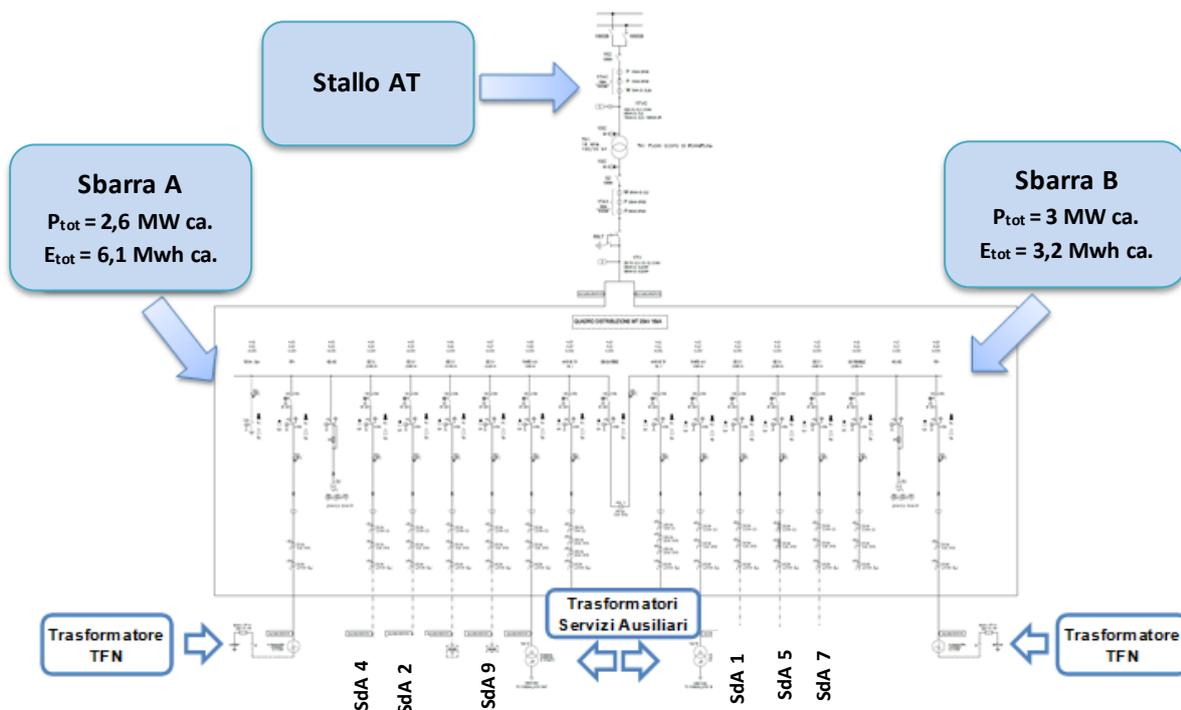


Figura 13 Schema unifilare MT/AT di impianto – Ciminna

Tali trasformatori, di potenza nominale di 400 kVA, sono dimensionati in modo da poter alimentare singolarmente l'intero carico. Diversamente da quanto previsto per le stazioni Terna, le alimentazioni dei

trasformatori, anziché essere esterne alla stazione, vengono derivate direttamente dal quadro MT dello Storage Lab. In caso di mancanza di entrambe le alimentazioni principali, i servizi ausiliari vengono alimentati mediante un gruppo elettrogeno da 500 kVA. I due trasformatori MT/BT alimentano il quadro di bassa tensione in corrente alternata al quale afferisce anche l'alimentazione del gruppo elettrogeno. Analogamente al quadro di media tensione, anche il quadro di bassa tensione è costituito da due sottoquadri denominati rispettivamente QBTA e QBTB.

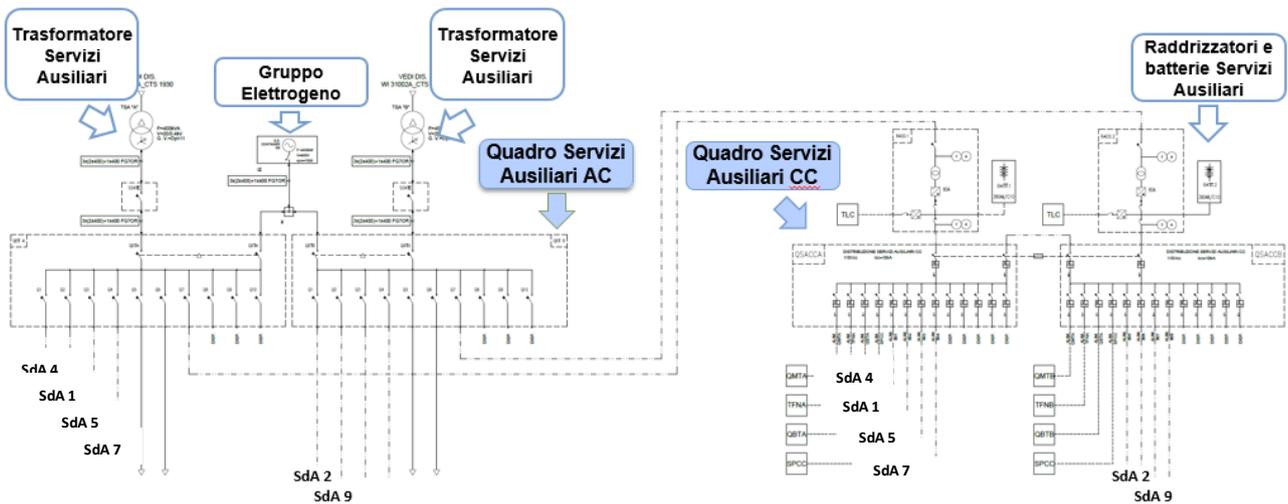


Figura 14 Schema unifilare BT – servizi ausiliari Ciminna

Il controllo, la conduzione e il monitoraggio dell'impianto Storage Lab siciliano avviene in maniera del tutto analoga a quanto descritto per l'impianto di Codrongianos.

### SISTEMI DI ACCUMULO INSTALLATI NELLA STAZIONE ELETTRICA DI CIMINNA

I SdA installati nello Storage Lab di Ciminna sono basati su diverse tecnologie e chimiche di accumulo elettrochimico. I sistemi installati sul sito sono riportati in Tabella 2, dove per ogni soluzione sono indicati i valori nominali di potenza ed energia.

Fornitore	Tipologia	Potenza Installata [MW]	Energia [MWh]
<b>SdA 1</b>	Lithium-based	1	1,23
<b>SdA 2</b>	Zebra	1,2	4,15
<b>SdA 4</b>	Lithium-based	0,9	0,54
<b>SdA 5</b>	Lithium-based	1	0,92
<b>SdA 7</b>	Lithium-based	1	1,02
<b>SdA 9</b>	Flusso - Vanadio	0,45	1,44

Tabella 2 Sintesi SdA installate presso la SE Ciminna al 31/12/2017

### 7.3 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI CONDUZIONE, CONTROLLO E MONITORAGGIO

Per la connessione, il dispacciamento ed il monitoraggio dei sistemi di accumulo sono necessari sistemi di comando, controllo e monitoraggio appositamente studiati.

Ciascun sistema di accumulo è dotato di un proprio sistema di controllo integrato (SCI) che gestisce i sistemi di controllo delle batterie (BMS) e del convertitore (PCS) nonché dialoga con il sistema di controllo centrale locale denominato Scada LAB ai fini della conduzione da remoto della unità di accumulo.

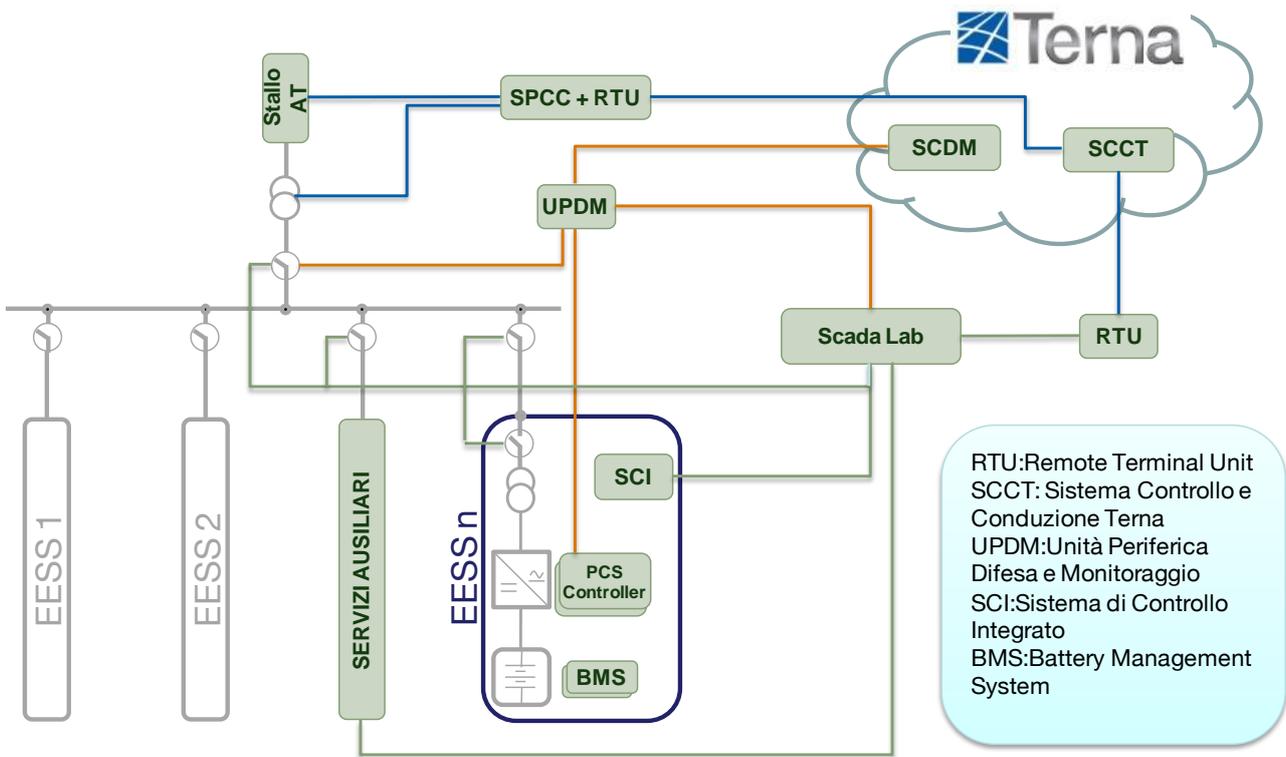


Figura 15 Flussi logici degli impianti Storage Lab

Allo Scada Lab è quindi demandata la funzione di interfacciare i sistemi di controllo delle singole unità di accumulo con il sistema di teleconduzione e controllo centrale Terna (SCCT). La coesistenza di differenti tecnologie in sito richiede per lo Scada Lab lo sviluppo di sistemi e logiche di controllo ad elevato contenuto innovativo, tali rendere la conduzione da remoto sufficientemente semplice e sintetica ma allo stesso tempo indipendente dalle peculiarità intrinseche delle differenti tecnologie costituenti le singole unità di accumulo. L'architettura dei sistemi di controllo in sito è riportata nella figura seguente.

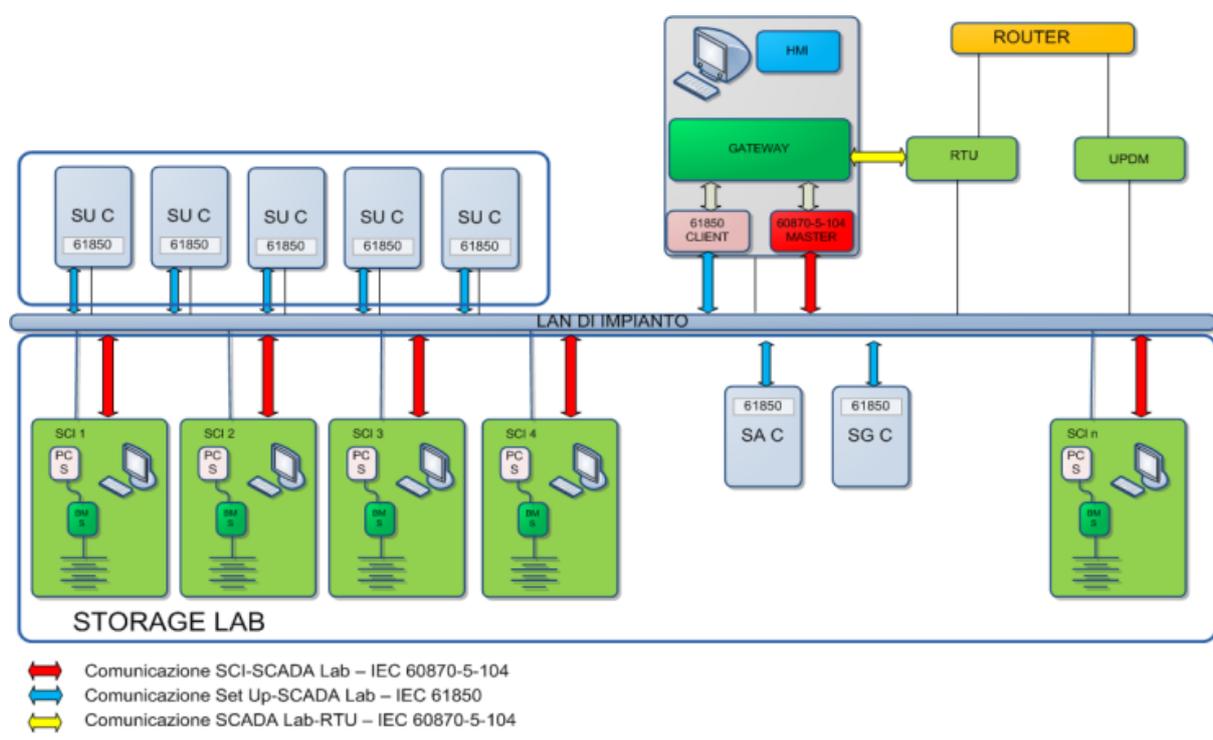


Figura 16 Architettura del sistema di controllo Storage Lab

L'architettura dei sistemi di controllo è progettata prevedendo un opportuno grado di ridondanza nell'interfacciamento delle apparecchiature, nonché prevedendo la coesistenza di diversi protocolli di comunicazione.

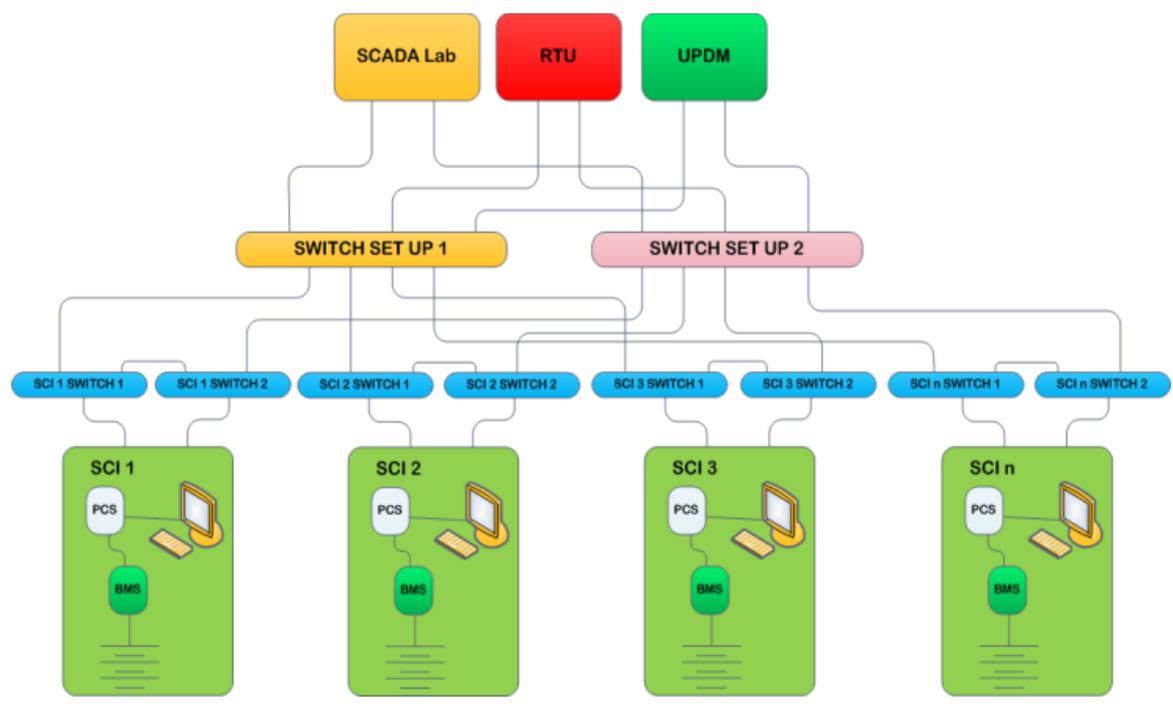


Figura 17 Architettura della LAN Storage Lab

I singoli sistemi di controllo SCI ed il sistema centrale locale Scada Lab sono dotati di apposite interfacce HMI (Human Machine Interface) che permettono di controllare e monitorare a livello locale anche i sottosistemi “moduli batterie” e “PCS” di cui si costituisce una unità di accumulo (si riporta a seguire una maschera esemplificativa del HMI dello Scada Lab).

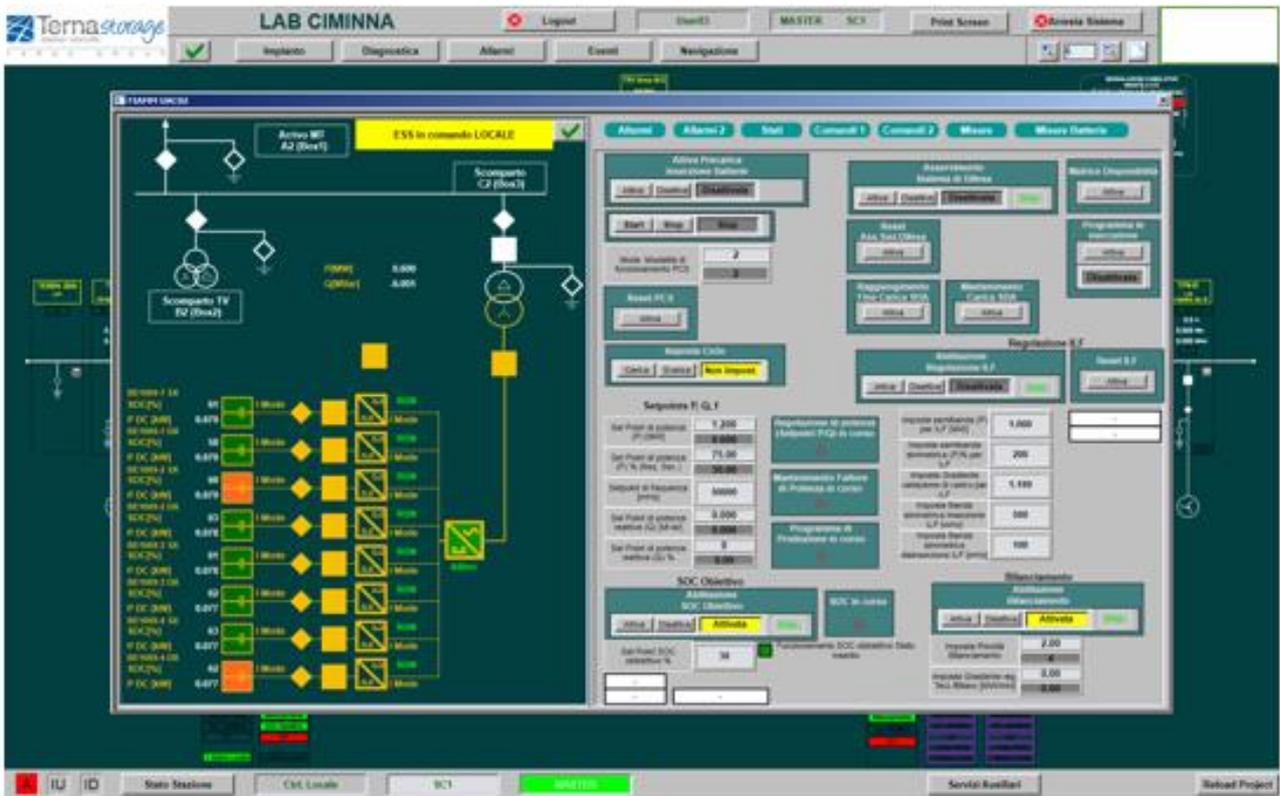


Figura 18 Esempio interfaccia grafica da Scada Lab (locale)

L’operatore di sala può quindi controllare e comandare sinteticamente le unità di accumulo attivando singolarmente, per ciascuna di esse, i servizi di rete e le funzionalità di dispacciamento previste.

#### 7.4 MODALITÀ DI CONDUZIONE E DISPACCIAMENTO

##### I SERVIZI DI RETE E FUNZIONALITÀ DI DISPACCIAMENTO IN ESERCIZIO

Si riporta di seguito il set di funzionalità e di servizi di rete in esercizio al 31/12/2017 e correntemente utilizzato nell’esercizio dei SdA dei due impianti Storage Lab.

Le funzionalità e servizi di rete rilasciati all’esercizio permettono di condurre gli impianti conformemente alle prescrizioni dell’ARERA e a quanto previsto nel Piano di Difesa Terna 2012-2015, consentendo quindi di valutare i benefici apportati dai vari SdA al supporto della sicurezza di esercizio della RTN (e.g. regolazione di frequenza primaria, asservimento al Sistema di Difesa), di valorizzare il carattere innovativo e sperimentale del progetto (e.g. asservimento alla regolazione secondaria f-P, SOC-obiettivo) e di verificare l’attitudine delle

diverse tecnologie di accumulo a svolgere le funzionalità sperimentate (e.g. islanding, time-to-phase inversion).

Il set di servizi e funzioni di rete attualmente rilasciati all'esercizio è il seguente:

1. Servizio di regolazione primaria di frequenza (Funzionalità automatica, di norma sempre attiva)
2. Integratore Locale di Frequenza - ILF (Funzionalità automatica, di norma sempre attiva)
3. Servizio di regolazione secondaria f-P (Funzionalità automatica, rilasciata sperimentalmente<sup>4</sup>)
4. Servizio di bilanciamento: capacità del sistema di inseguire un set-point di potenza attiva esogeno
5. Funzionalità di raggiungimento dello stato di carica (SOC) obiettivo

La capability nominale (P, Q) di un SdA può essere asservita esclusivamente ad un servizio di rete oppure simultaneamente a più servizi in potenza attiva e/o reattiva, attivando/disattivando opportunamente ciascun servizio, impostando le dovute parametrizzazioni e l'indice di priorità di esecuzione rispetto agli altri servizi. In particolare, impostando l'indice di priorità per ciascun servizio, il quale può assumere un valore nel range [1, 4] (Tabella 3), è possibile stabilire un merit order in merito alla priorità di attivazione, mentre per mezzo della parametrizzazione dei servizi è possibile modulare i contributi di potenza per ciascun servizio, impostandone i limiti dei massimi/minimi contributi, ad esempio:

- per la regolazione primaria di frequenza, impostando i limiti massimi [ $P_{min}$ ,  $P_{max}$ ] rispettivamente di massimo scambio di potenza in carica e massimo scambio di potenza in scarica;
- per la regolazione secondaria di frequenza, definendo il range [ $SB+$ ,  $SB-$ ] attraverso l'impostazione del valore di semi-banda SB.

Le funzioni di Integratore Locale di Frequenza (ILF), SOC Obiettivo ed Asservimento al Sistema di Difesa prescindono dall'attribuzione di un ordine di priorità di servizi in potenza attiva o reattiva, in quanto sempre prioritarie quando attive. L'attivazione di una di queste funzioni comporta l'esecuzione della potenza da essa richiesta a discapito dei servizi precedentemente attivi.

I servizi di rete, di cui ai punti 1-5 precedenti, sono a oggi disponibili per l'esercizio in teleconduzione, senza limitazione di orario e/o limitazioni dovute all'assenza di personale in sito. La conduzione avviene a livello di singolo SdA con possibile predisposizione futura per la conduzione dell'intera SSdA a livello aggregato. Infine, è disponibile per la teleconduzione anche l'attivazione del ciclo pre-programmato di calibrazione, richiesto da alcuni SdA (SdA1, SdA2, SdA7, SdA3).

Si rimanda al report pubblico 2016 e 2017 per maggiori dettagli sui singoli servizi e funzioni di rete.

Ordini di priorità (merit order)	Regolazione primaria di frequenza	1
	Regolazione secondaria f-P	2
	Bilanciamento	3
	Regolazione di tensione	4

**Tabella 3 Ordine di priorità comandi/servizi di rete impostato per ciascun SdA – Storage Lab**

<sup>4</sup> Per il sito di Ciminna, è prevista un'attivazione continuativa, mentre per il sito di Codrongianos l'attivazione è gestita su indicazione del CCT in base ad eventuali esigenze di rete.

## 7.5 PREGRESSO STORICO E STATO DI AVANZAMENTO

La Tabella 4 e la Tabella 5 indicano per gli SdA installati rispettivamente presso la SE di Codrongianos e di Ciminna le date di consegna alla teleconduzione da remoto, che sancisce l'inizio della fase di sperimentazione relativa all'esercizio continuativo in asservimento alle esigenze di rete.

Fornitore	Data di consegna al telecontrollo
<b>SdA1</b>	18/11/2015
<b>SdA2</b>	18/09/2015
<b>SdA3</b>	06/02/2017
<b>SdA4</b>	14/01/2016
<b>SdA5</b>	16/11/2015
<b>SdA6</b>	23/11/2017 <sup>5</sup>
<b>SdA7</b>	27/07/2015
<b>SdA8</b>	23/12/2016

Tabella 4 Date di consegna al telecontrollo – Codrongianos

Fornitore	Data di consegna al telecontrollo
<b>SdA1</b>	29/12/2015
<b>SdA2</b>	10/09/2015
<b>SdA4</b>	29/12/2015
<b>SdA5</b>	29/12/2015
<b>SdA7</b>	30/09/2015
<b>SdA9</b>	23/12/2016

Tabella 5 Date di consegna al telecontrollo – Ciminna

Durante il primo anno di sperimentazione, che ha visto la messa in esercizio della maggior parte degli SdA, sono state eseguite attività di test relative a fasi specifiche di commissioning dei fornitori e a prove effettuate per la valutazione dei parametri caratteristici dei sistemi batteria (prove di rendimento e capability). Inoltre, sono stati eseguiti test per la misura dei tempi di risposta dei sistemi batteria sollecitati a rapide inversioni di potenza attiva (inversione rapida tra fase di carica e quella di scarica a potenza nominale), i quali hanno dimostrato l'idoneità di tali tecnologie al supporto del mantenimento di opportuni livelli di sicurezza di gestione delle reti, ovvero l'efficacia dei sistemi al servizio del sistema di difesa (UPSM, isola, etc.).

Le attività condotte durante il secondo e il terzo anno di esercizio di sperimentazione sono state prevalentemente orientate a valutare le performance reali dei sistemi di accumulo in varie condizioni di funzionamento, in maniera da individuare il migliore mix di tecnologie idoneo per differenti applicazioni utili al contesto italiano ed integrare ottimamente le tecnologie nei sistemi centrali di conduzione e dispacciamento del gestore di rete. In particolare, la sperimentazione continuativa in sito prevede di testare non solo il funzionamento del SdA in esercizio normale e in condizioni critiche, ma anche di valutarne il

<sup>5</sup> Non sono presenti sufficienti dati sull'esercizio per il triennio di sperimentazione. L'analisi delle prestazioni del sistema a servizio della rete elettrica nazionale verrà riportata a partire dal rapporto inerente l'anno 2018.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

degrado delle prestazioni a seguito delle strategie di esercizio implementate, sia in termini di energia scaricata e di rendimento energetico sia in termini di risposta (dinamica e di regime) a determinate perturbazioni. Le attività in sito sono perciò state condotte come di seguito specificato:

- Monitoraggio dei sistemi durante l'uso continuativo in asservimento all'esercizio della RTN;
- Prove per la valutazione dei parametri caratteristici, ovvero test condotti appositamente per caratterizzare il degrado delle prestazioni dei sistemi di accumulo in termini di rendimento e capacità energetica;
- "Prove ad hoc", ovvero test condotti su appositi segnali forzati in ingresso al sistema di accumulo al fine di valutarne la sensibilità e la rapidità di risposta.

Nel corso del secondo semestre del 2017, sono state terminate le attività di collaudo del sistema litio SdA6 presso il SSdA di Codrongianos. Il sistema è stato conseguentemente consegnato all'esercizio, come elemento della Rete Elettrica Nazionale, il 23/11/2017. Relativamente al triennio di sperimentazione di pertinenza del presente report, non sono quindi presenti sufficienti dati sull'esercizio dell'SdA6, le cui prestazioni a servizio della rete elettrica nazionale verranno riportate e analizzate a partire dal prossimo rapporto inerente l'anno 2018.

Nel corso del secondo semestre 2017, è stato inoltre aggiudicato il Bando di Gara per l'approvvigionamento dei sistemi di accumulo basati su tecnologia a supercapacitori, che andranno a completare il portfolio tecnologico in sperimentazione nel progetto Storage Lab. Il Bando ha visto tuttavia come aggiudicatario un unico fornitore su un solo sito. Dato il contenuto altamente innovativo e la complessità dell'applicazione della tecnologia supercapacitore in asservimento alle esigenze del TSO, è stata indicata la Stazione Elettrica di Codrongianos come sito per l'installazione della nuova tecnologia. Tale scelta è stata essenzialmente dettata dall'esigenza di avere un presidio costante e continuativo del sistema, garantito dall'installazione presso la SSdA di Codrongianos poiché sede dell'Unità Impianti Terna.

Infine, a completamento del progetto Storage Lab, durante il corso del 2017 sono state avviate le prime attività di ricerca per la realizzazione di un innovativo e avanzato sistema di controllo, conduzione e monitoraggio. Il sistema, denominato Virtual Storage Lab (VSP), attualmente in sviluppo, gestirà le diverse tecnologie di accumulo in maniera aggregata e ottimizzata, al fine di enfatizzare le sinergie tra diversi sistemi di accumulo e massimizzare le performance di ciascuno di essi e dell'intera SSdA. Per maggiori dettagli sulle innovative funzionalità che compongono il VSP, si rimanda all'appendice D.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

## 8. GRID-SCALE - TEST IN SITO

### 8.1 GENERALITÀ

In questo capitolo si riportano i risultati dei test effettuati in sito per la valutazione periodica dei parametri caratteristici degli accumulatori, secondo quanto richiesto dall'Allegato A della Delibera ARERA 12/14.

La Delibera prevede che le prestazioni dei SdA siano valutate mediante una sperimentazione continuativa sul campo. Tale sperimentazione prevede di testare non solo il funzionamento del SdA in esercizio normale e in condizioni critiche (cfr. Capitolo 9), ma anche di valutarne il degrado delle prestazioni a seguito delle strategie di esercizio implementate, sia in termini di energia scaricata che di rendimento.

### 8.2 PERFORMANCE ANALYSIS – PROVE DI RENDIMENTO E CAPACITÀ RESIDUA

A seguire si richiama brevemente la procedura di prova del test di rendimento netto.

Il calcolo del rendimento netto del sistema di accumulo viene effettuato mediante la seguente formula:

$$\eta_{netto} = \frac{E_{out} - E_{aux,out}}{E_{in} + E_{aux,in}}$$

Essendo:

- $E_{out}$  l'energia totale restituita dal sistema di accumulo sul punto di connessione MT nella fase di scarica;
- $E_{aux,out}$  l'energia assorbita dagli ausiliari c.a. e c.c. dal punto di connessione BT durante la fase di scarica;
- $E_{in}$  l'energia assorbita dal sistema di accumulo dal punto di connessione MT durante la fase di carica;
- $E_{aux,in}$  l'energia assorbita dagli ausiliari c.a. e c.c. dal punto di connessione BT durante la fase di carica.

Le prestazioni del sistema di accumulo vengono valutate effettuando un ciclo di riferimento con accumulo e rilascio di energia verso la rete. Le misure vengono acquisite all'inizio, nel corso ed al termine della prova.

Il ciclo di riferimento è definito dal fornitore del sistema di accumulo, a partire dalle indicazioni della specifica tecnica del sistema, e si compone di tre distinte fasi di funzionamento:

- Fase di scarica continuativa alla potenza nominale;
- Fase di carica continuativa alla potenza nominale;
- Eventuali fasi di riposo interposte tra le fasi di funzionamento.

Ogni fornitore ha indicato il ciclo di riferimento da lui definito, ed in particolare, la durata della fase di carica ( $t_{carica}$ ), di scarica ( $t_{scarica}$ ) e delle eventuali fasi intermedie di riposo ( $t_{riposo}$ ). Eventuali rampe o limitazioni nella fase di scarica o carica sono state dettagliate e motivate. Le condizioni delle variabili di stato del sistema di accumulo (SOC, tensione, temperatura) all'inizio ed alla fine del ciclo di riferimento devono essere tra loro uguali, tenuto conto delle tolleranze di misura.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

L'alimentazione dei servizi ausiliari in c.a. è assorbita dal quadro BT di piazzola. I servizi ausiliari BT dei sistemi di accumulo vengono alimentati da uno dei TR MT/BT del set-up Storage Lab. La porzione di rete MT dello Storage Lab viene connessa alla rete AT mediante il trasformatore elevatore d'impianto.

Al fine di ridurre l'effetto degli errori di misura, il primo test di rendimento netto eseguito in sito durante i collaudi è stato svolto effettuando tre cicli di riferimento; per i test successivi invece, ripetuti con cadenza periodica, viene effettuato un solo ciclo di riferimento (o qualora fosse necessario anche un numero maggiore), previa opportuna predisposizione del sistema. Di seguito si riportano, per ogni SdA relativamente alle stazioni di accumulo di Codrongianos e di Ciminna, i risultati delle prove di rendimento nel corso di triennio di sperimentazione e in fase di collaudo. In quest'ultimo caso, si riporta solamente il valore mediato sui tre cicli di prova effettuati e si rimanda ai report pubblici precedenti e al report dei collaudi per maggiori dettagli. Si fa presente infine che a causa delle indisponibilità riscontrate durante il semestre e talvolta di sopraggiunte esigenze di esercizio non è stato possibile svolgere per tutti i sistemi di accumulo le prove di rendimento e capacità programmate per il periodo di riferimento.

#### **PARAMETRI CARATTERISTICI CODRONGIANOS**

Nella Tabella 6 e Tabella 7 sono riportati per ciascun SdA della SE di Codrongianos, i risultati delle prove di rendimento netto effettuate in fase di collaudo, a confronto con i risultati delle prove eseguite durante i tre anni di sperimentazione. Dalla loro analisi è possibile osservare come in alcune situazioni non è stato possibile eseguire i test programmati semestralmente, per via di prolungate indisponibilità che ne hanno impedito l'esecuzione. Infatti, nei semestri in cui l'SdA ha mostrato un breve periodo di disponibilità, si è preferito dare maggiore priorità alla sperimentazione in esercizio rispetto all'esecuzione dei test, in modo tale da poter valutare le prestazioni dei sistemi al servizio del Sistema Elettrico Nazionale. Si fa inoltre notare come al secondo semestre 2017, per l'SdA 1 di tecnologia litio e l'SdA 2 di tecnologia Zebra, i test per determinare il degrado delle prestazioni non siano andati a buon fine a causa di varie anomalie di funzionamento riscontrate sulle tecnologie e non risolte nel corso del semestre, non permettendo quindi di determinarne i valori di rendimento netto e di energia residua.

		RENDIMENTO NETTO					
		(Valore misurato in sito includendo il consumo dei servizi ausiliari)					
		IIH 2014	IIH 2015	IH 2016	IIH 2016	IH 2017	IIH 2017
Lithium Based	SdA1	-	82,4%*	83,0%	-	84,6%	Failed
	SdA4	-	84,4%*	-	83,8%	-	84,8%
	SdA5	-	85,5%*	91,2%	89,3%	-	91,6%
	SdA6	-	-	80,8%*	-	-	79,4%
	SdA7	86,6%*	-	91,0%	93,9%	-	-
Zebra	SdA2	-	80,5%*	78,3%	-	79,6%	Failed
	SdA3	-	-	77,0%*	-	71,6%	71,2%
Flusso	SdA8	-	-	-	65,2%*	-	-

**Tabella 6 Risultati prova - Rendimento netto – Codrongianos**

		CAPACITÀ ENERGETICA [kWh]					
		(Valore misurato in scarica durante l'esecuzione del ciclo di rendimento)					
		IIH 2014	IIH 2015	IH 2016	IIH 2016	IH 2017	IIH 2017
Lithium Based	SdA1	-	1013*	990	-	883	Failed
	SdA4	-	970*	-	915	-	915
	SdA5	-	915*	930	915	-	863
	SdA6	-	-	515*	-	-	480
	SdA7	1000*	-	960	990	-	-
Zebra	SdA2	-	4253*	4330	-	4122	Failed
	SdA3	-	-	1975*	-	1500	750
Flusso	SdA8	-	-	-	1545*	-	-

**Tabella 7 Risultati prova - Capacità residua - Codrongianos**
**PARAMETRI CARATTERISTICI CIMINNA**

Nella Tabella 8 e Tabella 9 sono riportati per ciascun SdA della SE di Ciminna, i risultati delle prove di rendimento netto effettuate in fase di collaudo, a confronto con i risultati ottenuti durante le prove eseguite durante i tre anni di sperimentazione. Anche tra gli SdA del sito di Ciminna si sono verificate situazioni in cui non è stato possibile eseguire i test programmati per via di prolungate indisponibilità. Nel secondo semestre

\* test di rendimento eseguito in fase di collaudo

2017, i test eseguiti sull'SdA 2 e SdA 4 di tecnologia litio e l'SdA 4 di tecnologia Zebra, non sono andati a buon fine a causa di anomalie riscontrate sia lato batteria che PCS.

		RENDIMENTO NETTO					
		(Valore misurato in sito includendo il consumo dei servizi ausiliari)					
		IH 2015	IIH 2015	IH 2016	IIH 2016	IH 2017	IIH 2017
Lithium Based	SdA1	-	83,1%*	83,0%	-	85,2%	Failed
	SdA4	-	80,6%*	84,7%	81,8%	-	Failed
	SdA5	-	85,7*	89,0%	86,0%	-	-
	SdA7	-	85,5%*	85,3%	86,0%	-	87,8%
Zebra	SdA2	79,9%*	-	78,2%	79,0%	-	Failed
Flusso	SdA9	-	-	-	65,2%*	-	-

Tabella 8 Risultati prova - Rendimento netto - Ciminna

		CAPACITÀ ENERGETICA [kWh]					
		(Valore misurato in scarica durante l'esecuzione del ciclo di rendimento)					
		IH 2015	IIH 2015	IH 2016	IIH 2016	IH 2017	IIH 2017
Lithium Based	SdA1	-	1057*	940	-	1040	Failed
	SdA4	-	533*	550	530	-	Failed
	SdA5	-	927*	920	860	-	-
	SdA7	-	990*	970	970	-	950
Zebra	SdA2	4224*	-	4204	4012	-	Failed
Flusso	SdA9	-	-	-	1450*	-	-

Tabella 9 Risultati prova - Capacità residua – Ciminna

## PRINCIPALI EVIDENZE TEST DI RENDIMENTO

A seguito dei test eseguiti durante i tre anni di sperimentazione sono stati riscontrati rendimenti comprensivi delle perdite nel range 81-93% per le tecnologie Lithium-based, e nel range 77-79% per l'SdA 2 di tecnologia Zebra. Tali valori dimostrano che quando i sistemi vengono ciclati su cicli standard di riferimento, i rendimenti si mantengono prossimi a quelli della tecnologia stessa. Al contrario, il SdA 3 di tecnologia Zebra installato nel sito di Codrongianos, presenta gravosi fenomeni di degrado delle prestazioni, facendo registrare una riduzione della capacità residua pari al 63%. Tale invecchiamento precoce non è stato registrato durante l'esecuzione dei test in laboratorio sia per via del limitato intervallo temporale utilizzato per lo svolgimento degli stessi, nonché per il differente profilo d'uso. Considerati i risultati ottenuti a seguito del test di

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

rendimento, è evidente come tale sistema non sia adatto per il tipo di utilizzo sperimentato in sito. Si rimanda all'appendice B per maggiori approfondimenti sui risultati ottenuti durante i test di rendimento eseguiti in sito.

### 8.3 PERFORMANCE ANALYSIS – PROVE AD HOC CON SEGNALI SIMULATI

Le prove *ad hoc* con segnali simulati, previste dalla Determina 12/14, mirano a caratterizzare la risposta dei Sistemi di Accumulo ad opportuni input (sintetizzati in modo fittizio) in ingresso ai sistemi di controllo dei singoli SdA. In particolare, le prove sono finalizzate a valutare la sensibilità e la rapidità di risposta in funzione di variazioni di frequenza e tensione dalle caratteristiche prestabilite e riproducibili, come descritto al paragrafo 2.1 dell'Allegato A della Determina n.12/14. Le prove con variazioni di frequenza sono definite in modo tale da valutare le prestazioni di risposta "inerziale" del SdA in regolazione primaria per diversi andamenti della perturbazione, compreso il repentino passaggio da sovralfrequenza a sottofrequenza. Per quanto riguarda le prove con variazioni di tensione, lo scopo è quello di testare le prestazioni con diversi valori di potenza attiva scambiata con la rete tramite delle perturbazioni a gradino del set-point di tensione, tali da non pregiudicare il corretto esercizio del sistema. Le prove *ad-hoc* sono descritte in termini di obiettivi, condizioni iniziali e caratteristiche della perturbazione nella Tabella 1 dell'Allegato A della Determina 12/14, a cui si rimanda per approfondimenti.

Le prove effettuate sono state svolte correttamente per tutti gli SdA sottoposti al test. Di seguito sono riportati i risultati più significativi di alcune delle prove svolte nel corso del biennio di sperimentazione. Al fine di poter meglio apprezzare la risposta dinamica dei sistemi in risposta alle rampe richieste, è stato impostato uno statismo pari al 2%. Tale parametro è stato modificato per le prove a gradino, e portato ad un valore pari allo 0,5%.

**GRADINO DI FREQUENZA A SALIRE (PROVA 1A DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2017**

La prova prevede una perturbazione a gradino della frequenza, con un passaggio dal valore nominale a 51,5 Hz (valore mantenuto per 15 minuti). Nel grafico viene rappresentata la variazione dei registri interni del sistema di controllo (SCI) del SdA 4 di Codrongianos a seguito della perturbazione della prova. Dalla figura si può apprezzare come la variazione di potenza vada a regime dopo circa 1 s dall'inizio dell'evento.

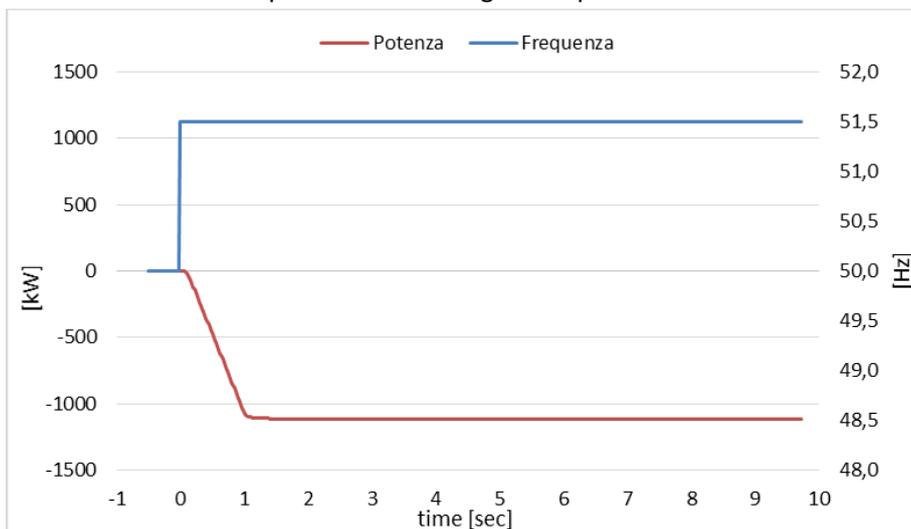


Figura 19 Risposta SdA 4- Codrongianos

**GRADINO DI FREQUENZA A SCENDERE (PROVA 1B DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2017**

La prova in questione prevede una perturbazione a gradino di frequenza a scendere, dal valore nominale a 47,5 Hz (valore mantenuto per 15 minuti). In figura viene rappresentata la variazione dei registri interni del sistema di controllo del SdA 2 di Codrongianos a seguito della perturbazione. Il SdA si pone in fase di scarica alla potenza di sovraccarico in un tempo pari a 2580 ms.

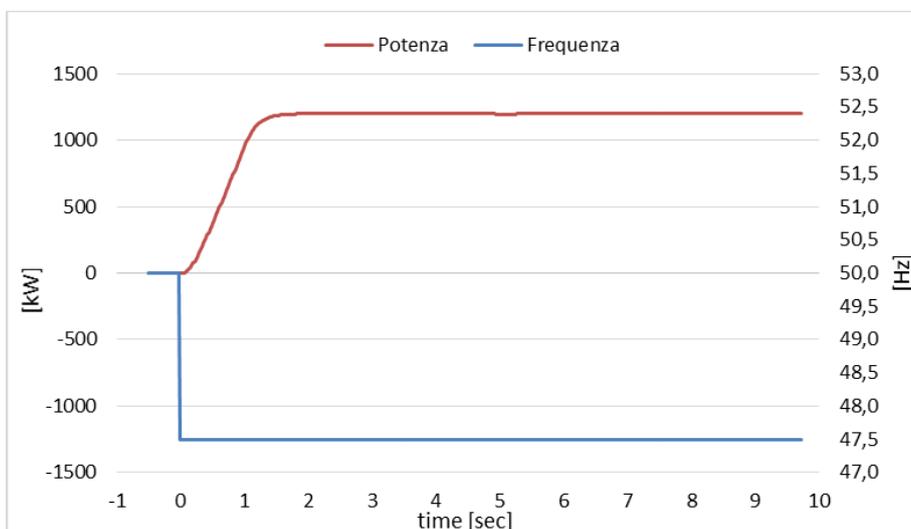


Figura 20 Risposta SdA 2 – Codrongianos

**SEQUENZA RAMPE OPPOSITE SENZA PIANEROTTOLO (PROVA 2A DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2016**

Tale prova prevede una perturbazione di frequenza costituita da una rampa a salire (+1,8 Hz/s) fino ad una frequenza massima di 51,5 Hz e una successiva rampa a scendere (-1 Hz/s) fino ad una frequenza minima di 47,5 Hz (valore mantenuto per 15 minuti). Lo scopo è quello di determinare le performance del SdA in caso di rapide e opposte variazioni di frequenza, come quelle che possono essere causate da eventi di sovralfrequenza seguiti da scatto di gruppi di generazione con conseguente sottofrequenza.

Nelle dinamiche riportate in figura si può apprezzare come il SdA 5 a Codrongianos segua la perturbazione muovendosi dapprima in assorbimento (sovralfrequenza) e quindi in erogazione (sottofrequenza), assorbendo ed erogando la potenza di sovraccarico a seguito degli eventi di frequenza. Come per le prove precedenti, è possibile osservare la persistenza del contributo di regolazione per tutta la durata dell'intervallo richiesto, pari a 15 minuti.

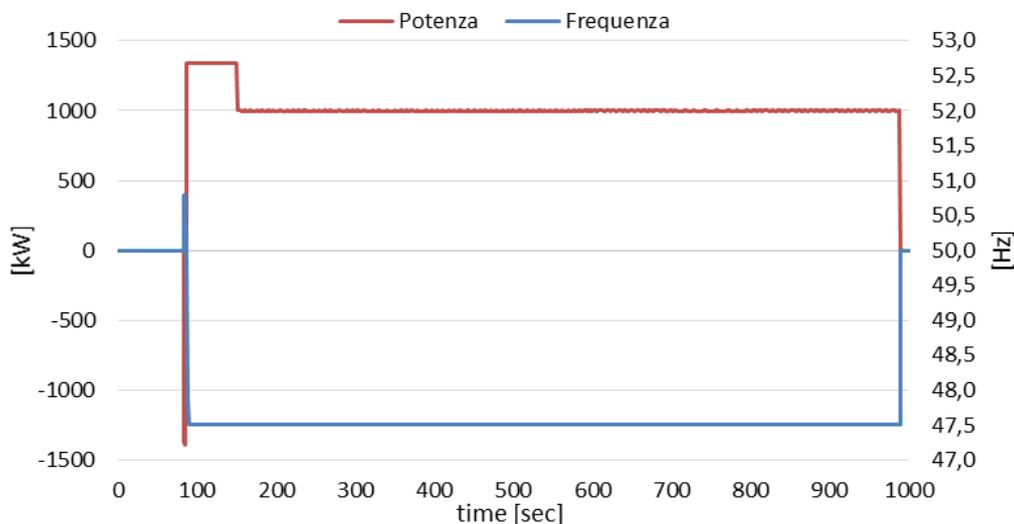


Figura 21 Prova 2a - Risposta SdA 5 - Codrongianos

**RAMPA DI SOTTO FREQUENZA CON RECUPERO IN PRIMARIA (PROVA 3A DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2016**

La prova prevede una rampa a scendere (-0,25 Hz/s) fino a 49,5 Hz, mantenuta per 2 secondi, e quindi una successiva rampa a salire (+0,08 Hz/s) della durata di 6 secondi, con mantenimento del valore finale per 5 minuti. Nei 10 minuti precedenti alla perturbazione l'SdA è posto in erogazione a potenza nominale. La prova ha l'obiettivo di valutare le prestazioni di sovraccaricabilità del SdA in presenza di un disturbo di frequenza severo. Nella figura seguente è riportata la risposta del SdA 5 a Codrongianos durante la perturbazione in frequenza. È possibile osservare come negli intervalli temporali precedenti e successivi alla perturbazione la potenza erogata è pari al valore nominale. Per tutta la durata della perturbazione il SdA si pone, come previsto, nelle condizioni di scarica ad un valore pari alla relativa potenza di sovraccarico.

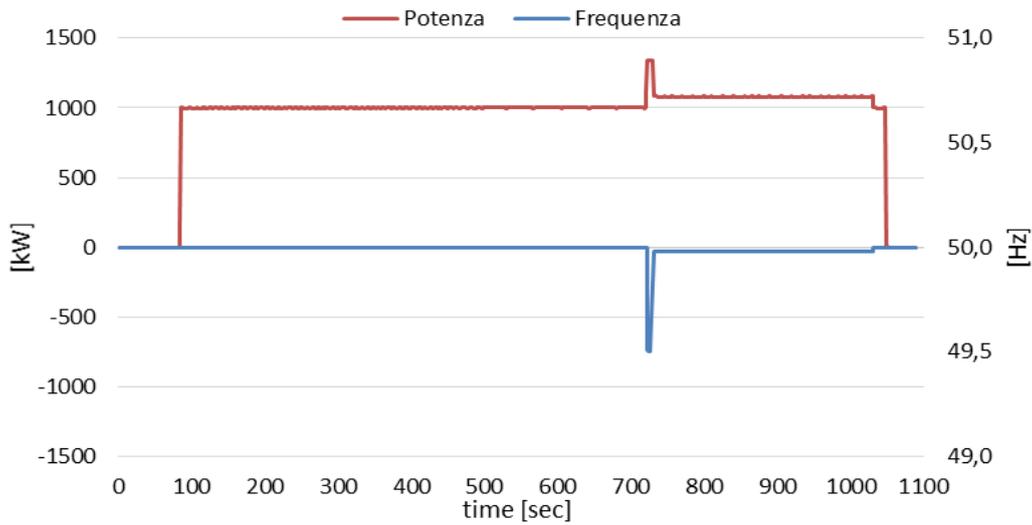


Figura 22 Prova 3a - Risposta SdA 5 - Codrongianos

**RAMPA DI SOVRA FREQUENZA CON RECUPERO IN PRIMARIA (PROVA 3B DELLA DETERMINA N.12/14) E RAMPA ESTREMA DI FREQUENZA CON RECUPERO IN PRIMARIA (PROVA 3C DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2016**

La prova 3b prevede una rampa a +0,90 Hz/s fino a 51,4 Hz, mantenuta per 2 secondi, e una successiva rampa a -0,08 Hz/s della durata di 10 secondi. La prova 3c prevede una rampa a +1,80 Hz/s fino a 51,5 Hz e una successiva rampa a -0,06 Hz/s fino a 50,3 Hz (valore mantenuto per 5 minuti). Le prove hanno lo scopo di valutare le prestazioni della SdA in presenza di un disturbo di frequenza severo (es. perdita di un polo o di due poli del SAPEI in export, rispettivamente).

Nella figura seguente sono riportati gli andamenti in potenza del SdA 5 di Codrongianos oggetto dei due test. In analogia ai test precedenti i profili rispettano la perturbazione posta in input ponendosi dapprima in stato di assorbimento e quindi variando la potenza attiva in uscita secondo la variazione dello scarto di frequenza. Negli andamenti riportati è possibile notare come il SdA assorba a seguito delle perturbazioni la potenza di sovraccarico, per poi assorbire la potenza nominale quando la potenza regolante richiesta è inferiore ai limiti di overload capability raggiunti.

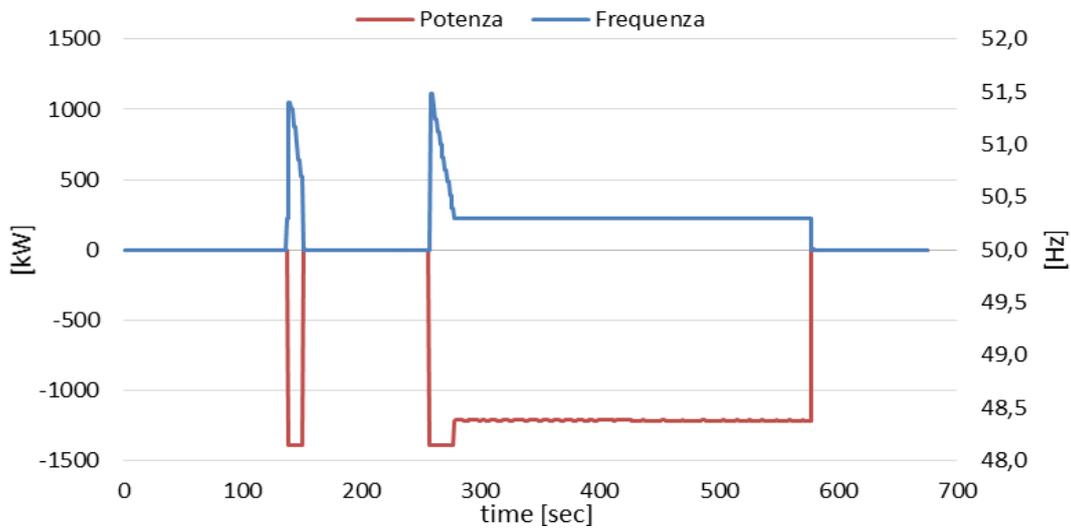


Figura 23 Prova3b e 3c - Risposta SdA 5 Codrongianos

In Figura 24 è possibile osservare la risposta del SdA 2 di Ciminna all’evento oggetto della prova 3b. È possibile notare come il sistema d’accumulo si porti inizialmente in condizioni di sovraccarico e poi assorba in modo continuativo la potenza nominale.

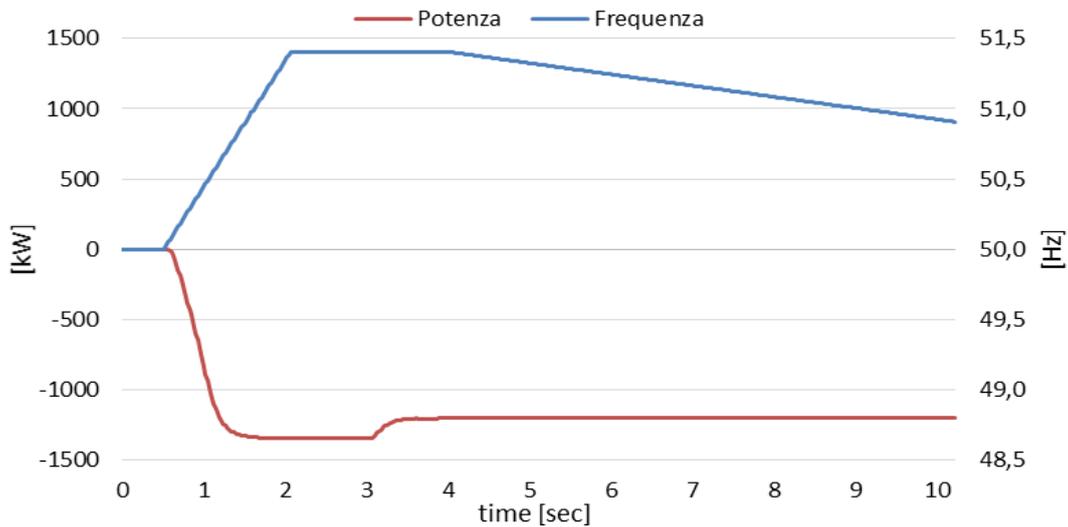


Figura 24 Prova 3a - Risposta SdA 2 Ciminna

**GRADINO DI FREQUENZA A SALIRE CON SCAMBIO INIZIALE NON NULLO (PROVA 4A DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2017**

La prova in questione prevede una perturbazione a gradino, dal valore nominale a 51,5 Hz (valore mantenuto per 15 minuti). Per i 10 minuti precedenti alla perturbazione, il SdA è posto in erogazione ad un valore pari al 70% della potenza nominale. L’obiettivo della prova è di caratterizzare le prestazioni del SdA in regolazione di frequenza a partire da scambio iniziale di potenza attiva non nullo e con inversione di potenza a gradino. Nel grafico seguente è riportato l’andamento della frequenza e della potenza scambiata per il SdA 2 di Codrongianos durante la perturbazione prevista dalla prova. A seguito della variazione di frequenza, avviene

chiaramente un'inversione di potenza da erogazione ad assorbimento. Il SdA mostra un gradiente tale da portarsi da +840kW a -1200 kW in un tempo di circa 2000 ms.

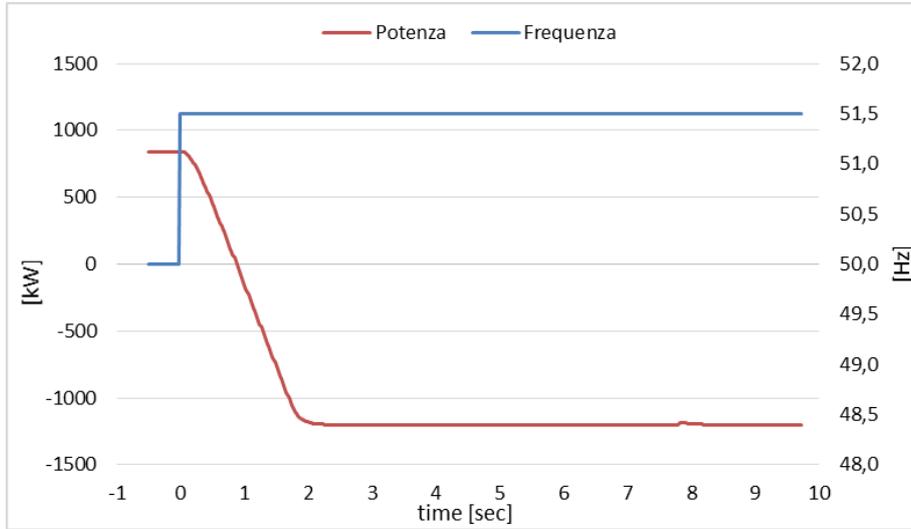


Figura 25 Risposta SdA 2 – Codrongianos

**GRADINO DI FREQUENZA A SALIRE CON SCAMBIO INIZIALE NON NULLO (PROVA 4B DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2017**

La prova 4b prevede una perturbazione di sovralfrequenza pari a 51.5 HZ (mantenuta per 15 minuti), atta a caratterizzare la risposta del SdA a seguito di un gradino in assorbimento. Infatti, per i dieci minuti precedenti la perturbazione, il SdA è posto in assorbimento ad un valore pari al 70% del valore nominale. In Figura 26 si può osservare la risposta del SdA 4 di Codrongianos all'evento di sovralfrequenza, con conseguente gradino in assorbimento. Il SdA mostra un gradiente tale da portarsi da -700 a kW alla potenza di 1100 kW in meno di 1000 ms.

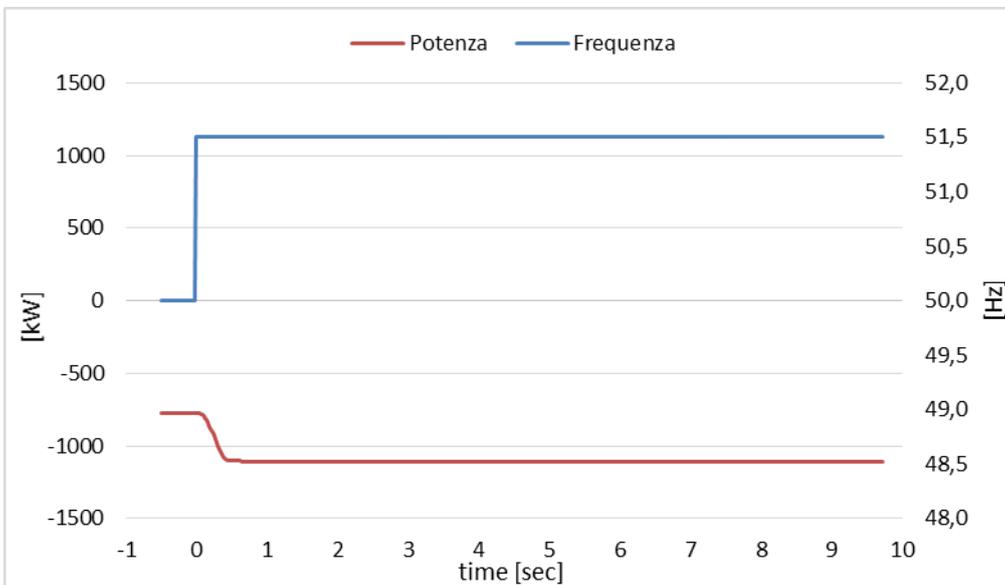
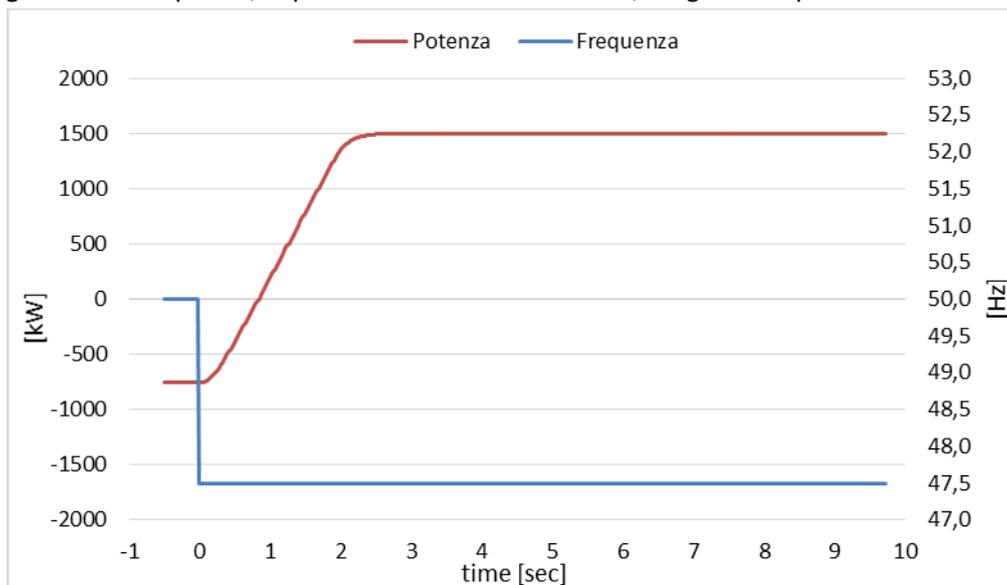


Figura 26 Risposta SdA 4 - Codrongianos

**GRADINO DI FREQUENZA A SCENDERE CON SCAMBIO INIZIALE NON NULO (PROVA 5A DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2017**

La prova 5a è caratterizzata da una perturbazione istantanea di frequenza con gradino a 47,5 Hz. Per i 10 minuti precedenti alla perturbazione, il SdA è posto in assorbimento ad un valore pari al 70% della potenza nominale. La prova ha obiettivi analoghi alla 4a, considerando in questo caso un gradino di frequenza a scendere. Nel grafico è riportata la risposta in potenza del SdA 2 di Codrongianos. All'atto della perturbazione il sistema di accumulo sta assorbendo in carica una potenza attiva pari al 70% della potenza nominale e, a seguito del gradino di frequenza, si porta in condizioni di scarica, erogando la potenza di sovraccarico.


**Figura 27 Risposta SdA 2 – Codrongianos**

**GRADINO DI FREQUENZA A SCENDERE CON SCAMBIO INIZIALE NON NULO (PROVA 5B DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2017**

La prova prevede una perturbazione di frequenza analoga a quella descritta per il test 5a, con la differenza che, per i dieci minuti precedenti la perturbazione, il SdA è posto in erogazione ad un valore pari al 70% del valore nominale. Nel grafico è riportata la risposta in potenza del SdA 4 di Codrongianos. All’atto della perturbazione il sistema di accumulo eroga in carica una potenza attiva pari al 70% della potenza nominale e, a seguito del gradino di frequenza, si porta in condizioni di scarica, erogando la potenza di sovraccarico. Il SdA 4 mostra un gradiente di variazione di potenza tale da portarsi da -840kW a 1600 kW in circa 1000 ms.

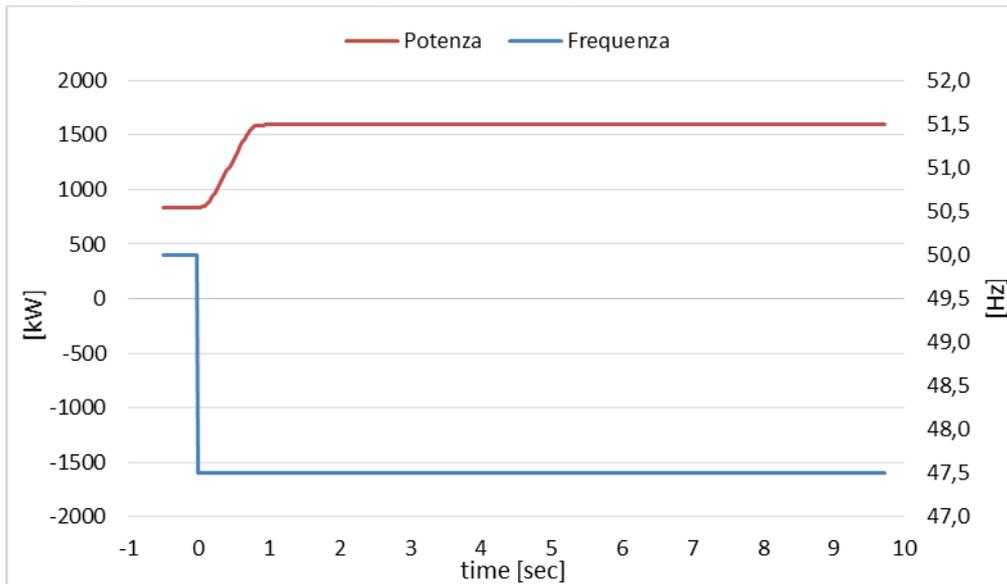


Figura 28 Risposta SdA 4 – Codrongianos

**RAMPA DI FREQUENZA CON CONTRIBUTO REATTIVO (PROVA 6B DELLA DETERMINA N.12/14) – ANNO 2016**

La prova è caratterizzata da una rampa discendente di frequenza della durata di 0,5 secondi, dal valore nominale fino ad una frequenza minima di 49 Hz. Per i 10 minuti precedenti alla perturbazione, il SdA è posto in erogazione con un contributo reattivo pari al 20% del valore nominale. La prova ha l’obiettivo di caratterizzare le prestazioni del SdA di regolazione di frequenza/tensione e sovraccaricabilità.

Dalla Figura 30 si evince come il SdA 5 a Ciminna stia erogando un contributo di reattivo pari a circa 280kVAr. Tale potenza reattiva viene mantenuta dal SdA per tutta la durata della prova. L’andamento della potenza attiva è tale da portare ad un aumento progressivo della potenza attiva secondo la natura della perturbazione oggetto di test. Grazie alla possibilità di poter disporre del sovraccarico del PCS inoltre, il contributo attivo e reattivo vengono erogati entrambi senza alcuna limitazione.

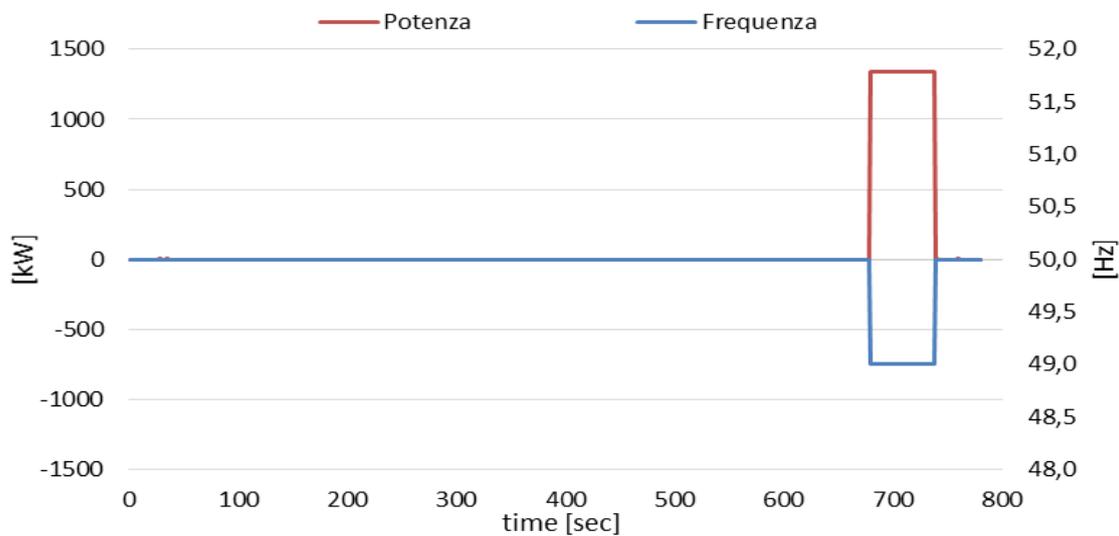


Figura 29 Risposta 6b - SdA 5 Ciminna: Potenza attiva VS Frequenza

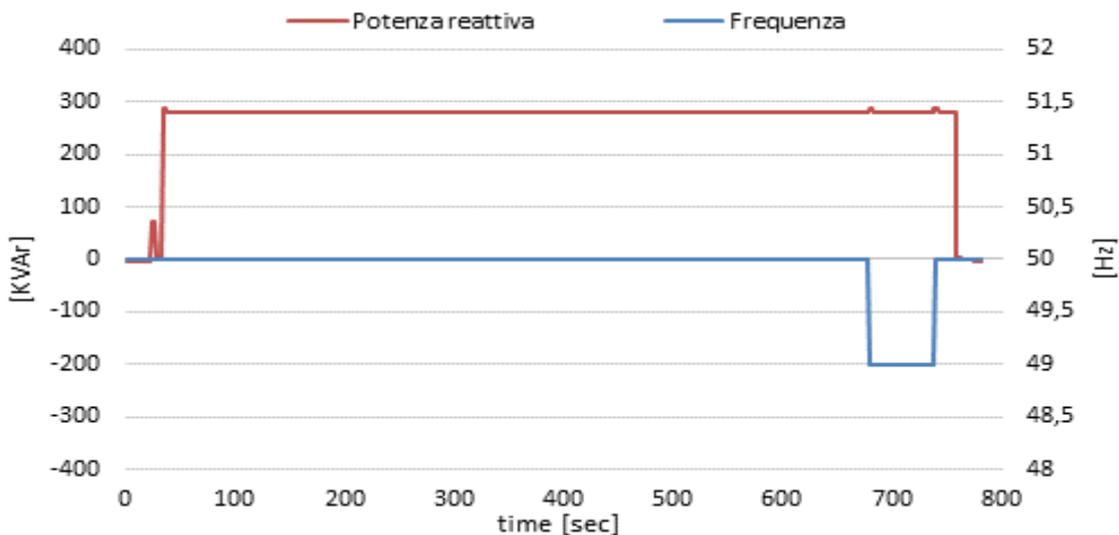


Figura 30 Prova 6b – SdA 5 Ciminna: Potenza reattiva VS Frequenza

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

## 9. GRID-SCALE - ESERCIZIO CONTINUATIVO

### 9.1 INTRODUZIONE

Al fine di fornire una panoramica completa dell'esercizio continuativo degli impianti Storage Lab in asservimento ai servizi di rete, nei paragrafi seguenti viene svolta un'analisi quanto più esaustiva del funzionamento di ciascuna SSdA e dei singoli SdA consegnati al telecontrollo. In particolare, sono riportate le analisi e gli indicatori di performance di esercizio come di seguito descritti:

- energia complessivamente scambiata dall'impianto SSdA (con dettaglio per singolo SdA) e relativi rendimenti di esercizio;
- stima delle perdite medie di esercizio per l'asservimento continuativo degli SdA ai servizi di rete (effettuata per singola tecnologia e non dipendente dal sito di installazione), e valutazione dell'assorbimento medio dei servizi ausiliari per ciascun SdA e per sito, riferita al ciclo standard round-trip di prova;
- principali cause di indisponibilità all'esercizio per ogni SSdA;
- casi significativi di regolazione degli SdA in risposta ad eventi di rete particolarmente rilevanti;

Le analisi di seguito riportate si riferiscono al biennio 2016-2017, essendo la maggior parte dei sistemi stati consegnati al telecontrollo a fine 2015. Per maggiori approfondimenti sui risultati si rimanda all'appendice C.

### 9.2 PERFORMANCE ANALYSIS – RENDIMENTO DI ESERCIZIO

#### FLUSSI DI ENERGIA E RENDIMENTO DELLA STAZIONE – CODRONGIANOS

In accordo con quanto specificato nella Determina 12/14 in relazione agli indicatori sintetici di esercizio, si riporta in Figura 31 e in Figura 32 l'energia misurata in ingresso ed in uscita dai singoli SdA rispettivamente nell'anno 2016 e 2017 di sperimentazione. L'energia è valutata considerando le letture dei contatori lato MT aggregate su base mensile, mettendo in evidenza il contributo delle singole tecnologie ai flussi in ingresso e in uscita globali della SSdA.

Si riportano inoltre in Tabella 10 gli indicatori sintetici semestrali di rendimento, calcolati sia per i singoli SdA che per l'intera stazione di accumulo, mentre in Figura 33 si rappresenta l'andamento nei due anni di sperimentazione del rendimento medio mensile netto e lordo della SSdA, valutato a partire dai dati sull'energia estratti dalla lettura dei contatori lato MT. L'analisi dei rendimenti complessivi di SSdA di seguito riportata mostra un progressivo decremento del rendimento medio semestrale lordo e netto, nel passaggio dal primo al secondo anno di sperimentazione. Infatti, mentre nell'anno 2016 il rendimento lordo e netto è pari a circa il 26% e 21% rispettivamente, nel secondo anno di sperimentazione si osserva un decremento rispettivamente di circa 6 e 5 punti percentuali. Su tale risultato incide l'entrata in esercizio dell'SdA 7, caratterizzato da rendimenti medi mensili inferiori rispetto alle altre tecnologie.

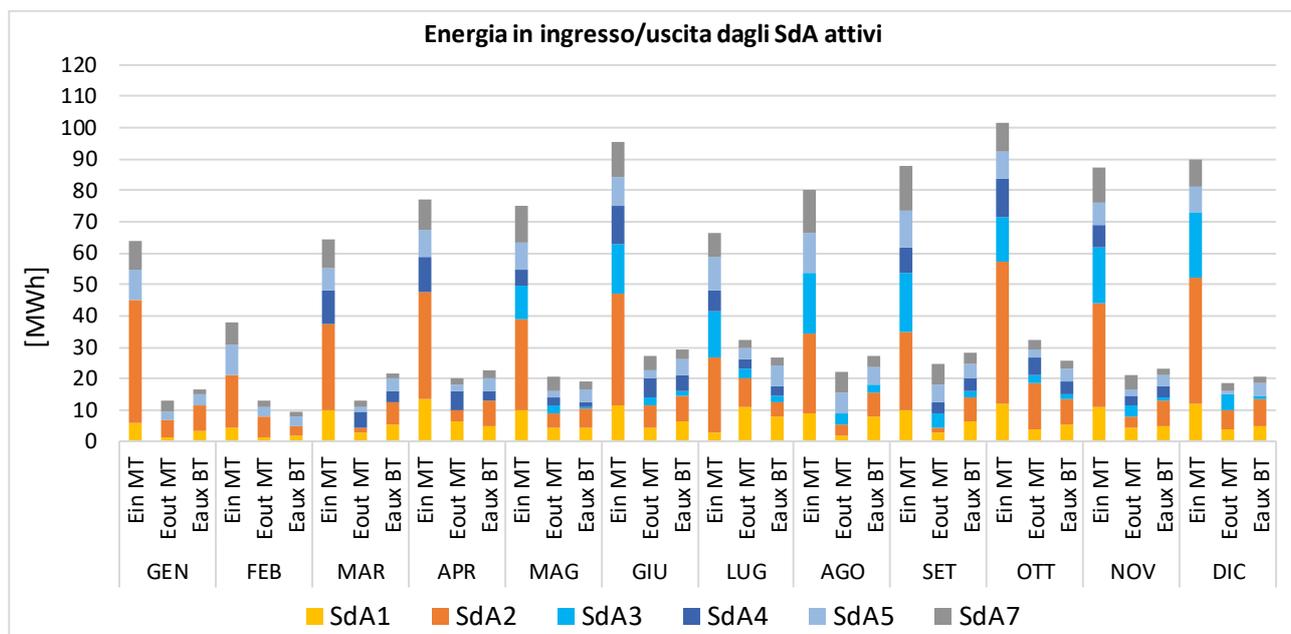


Figura 31 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Codrongianos – Anno di sperimentazione 2016

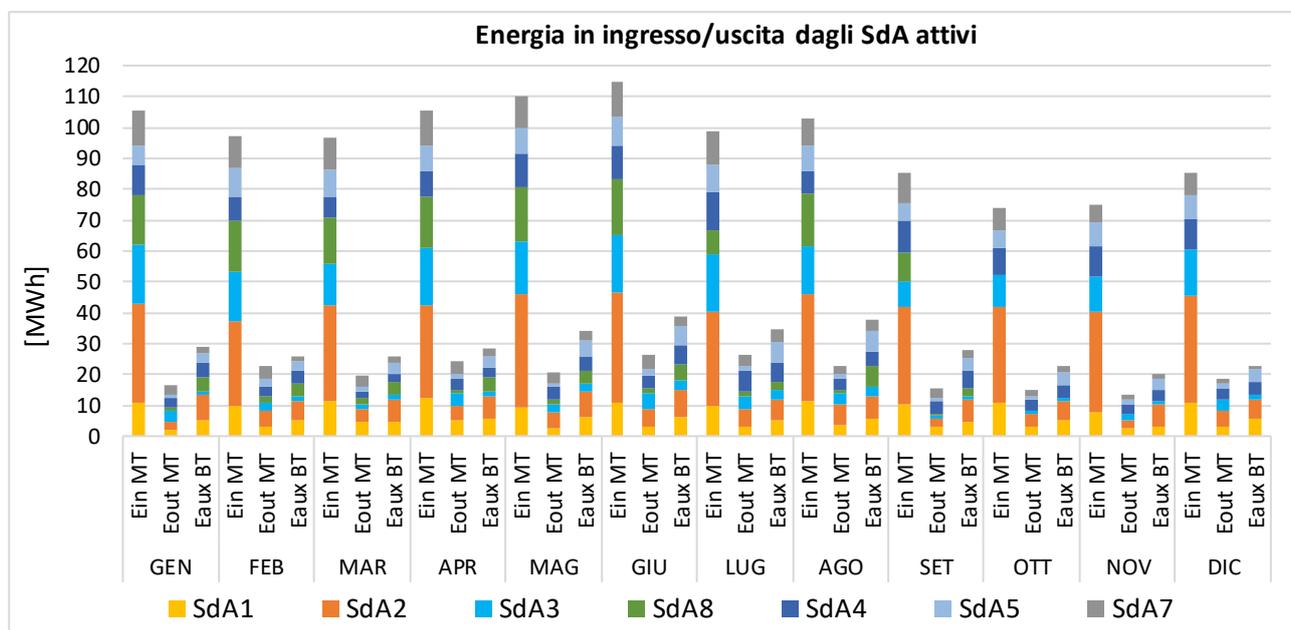


Figura 32 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Codrongianos – Anno di sperimentazione 2017

Come già evidenziato nei precedenti rapporti pubblici, è importante tenere presente che i rendimenti di esercizio registrati non sono da soli significativi per la valutazione delle performance degli SdA in asservimento al servizio di regolazione primaria per la rete di trasmissione nazionale. Infatti, per la metodologia di calcolo applicata, i valori ottenuti sono sostanzialmente riconducibili ai ridotti volumi di energia scambiata per l'erogazione dei servizi di rete e alle perdite che devono essere sostenute per il mantenimento del servizio di regolazione. Il beneficio relativo a tale servizio è infatti non valutabile tramite i

volumi di energia scambiata e quindi per mezzo del rendimento ma dall'attivazione permanente del servizio di regolazione primaria e dalla disponibilità e funzionamento continuativo dei SdA in riserva primaria.

Fornitore	I semestre 2016		II semestre 2016		I semestre 2017		II semestre 2017	
	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$
<b>SSdA</b>	<b>26%</b>	<b>20%</b>	<b>27%</b>	<b>21%</b>	<b>20%</b>	<b>16%</b>	<b>22%</b>	<b>16%</b>
<b>SdA1</b>	34%	23%	30%	19%	31%	21%	29%	20%
<b>SdA2</b>	18%	15%	19%	16%	15%	12%	14%	12%
<b>SdA3</b>	20%	19%	21%	19%	18%	17%	18%	16%
<b>SdA8</b>	-	-	-	-	10%	8%	12%	9%
<b>SdA4</b>	52%	39%	44% <sup>7</sup>	30%	38% <sup>8</sup>	26% <sup>7</sup>	43% <sup>7</sup>	29% <sup>7</sup>
<b>SdA5</b>	26%	18%	33%	23%	20%	13%	19%	11%
<b>SdA7</b>	32%	26%	38%	31%	33%	27%	27%	21%

Tabella 10 Rendimenti medi semestre anno di sperimentazione 2016 vs 2017 dei vari SdA e della SSdA – Codrongianos

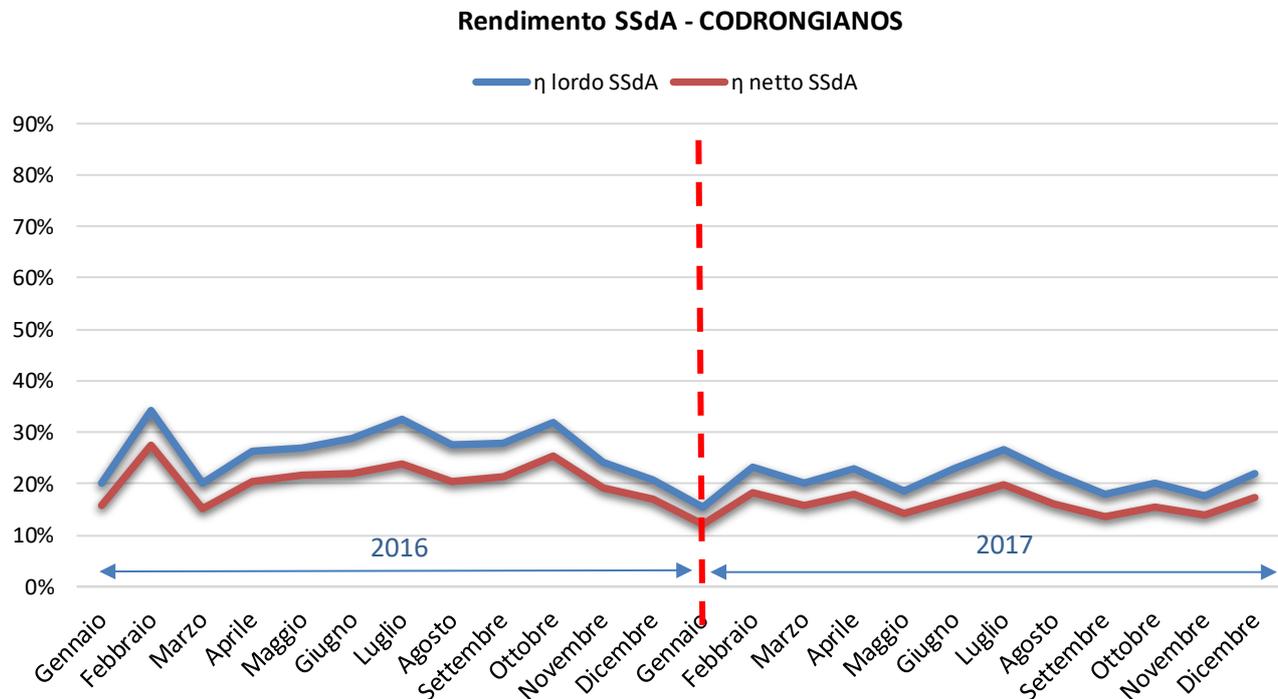


Figura 33 Rendimenti mensili SSdA anno di sperimentazione 2016 e 2017 – Codrongianos

<sup>7</sup> L'elevato valore di rendimento del SdA 4 è stato affetto dai frequenti periodi di indisponibilità.

<sup>8</sup> L'elevato valore di rendimento del SdA 4 è attribuibile alla polarizzazione dell'energia scambiata per il servizio di bilanciamento e alle attivazioni ripetute della funzionalità SOC obiettivo per evitare gli sbilanciamenti tra le stringhe e tra i due container batterie e i possibili danni da sovraccarica che possono derivarne.

### FLUSSI DI ENERGIA E RENDIMENTO DELLA STAZIONE - CIMINNA

Anche per il sito di Ciminna, si riporta in Figura 34 e Figura 35 l'energia misurata in ingresso ed in uscita dai singoli SdA rispettivamente nell'anno 2016 e 2017 di sperimentazione. Le energie sono valutate considerando le letture dei contatori lato MT aggregate su base mensile, mettendo in evidenza il contributo delle singole tecnologie ai flussi in ingresso e in uscita globali della SSdA.

L'analisi dei rendimenti complessivi di SSdA riportata in Tabella 11 mostra una forte crescita dei rendimenti medi semestrali nel corso dell'anno 2016. In particolare, il rendimento lordo e netto rispettivamente, si è portato dal 31% e 24% del primo semestre di sperimentazione a valori pari a l'80% e il 74% del secondo semestre 2016. Nel 2017 si registra al contrario una lieve decrescita dei rendimenti, sebbene i valori registrati si mantengano superiori rispetto all'inizio della sperimentazione. Dal confronto tra i volumi scambiati con la rete (grafici in Figura 34 e Figura 35) e il rendimento medio mensile registrato (Figura 36) è facile osservare come l'attivazione contemporanea di tutti i servizi di rete rilasciati (avvenuta nel mese di Ottobre 2016 – rif. appendice C), che comporta un notevole incremento dei volumi energetici scambiati, consenta di minimizzare l'incidenza degli assorbimenti degli ausiliari e delle perdite di esercizio.

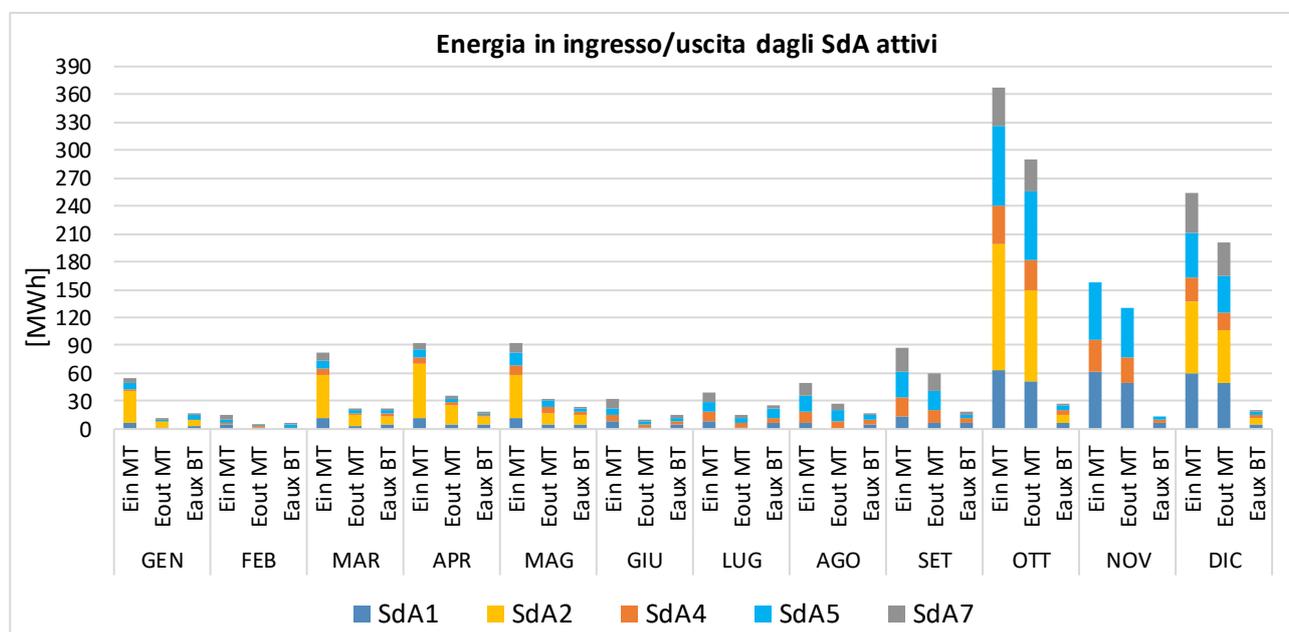


Figura 34 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Ciminna – Anno di sperimentazione 2016

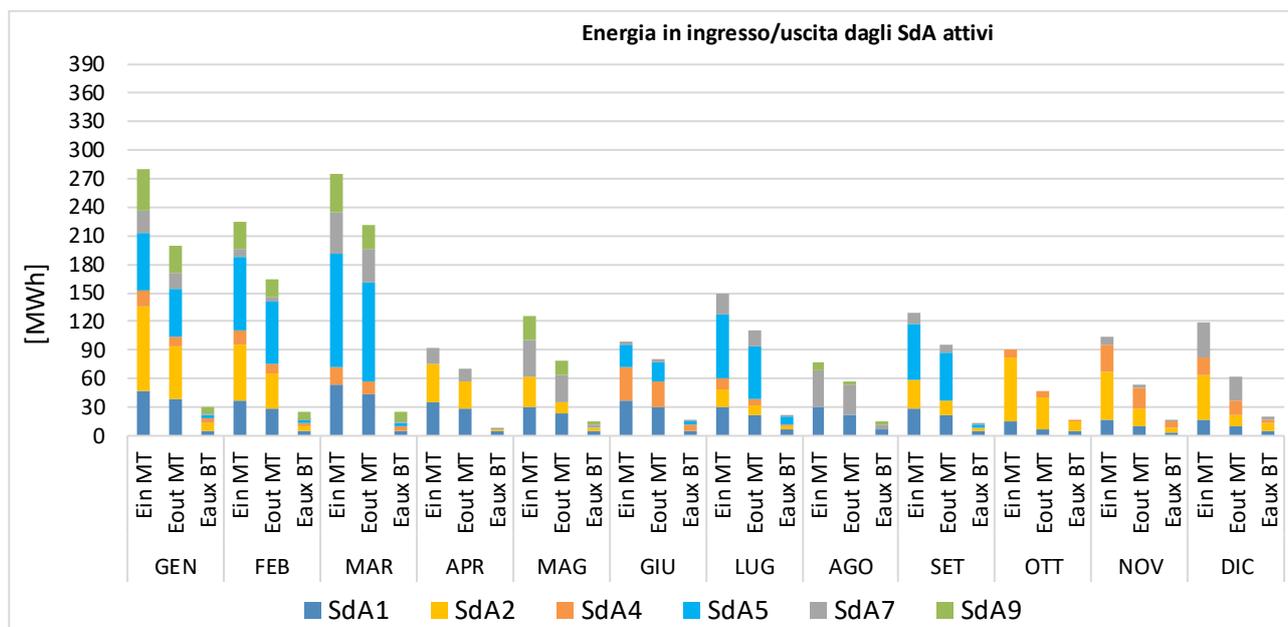


Figura 35 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Ciminna – Anno di sperimentazione 2017

Fornitore	I semestre 2016		II semestre 2016		I semestre 2017		II semestre 2017	
	$\eta_{lordo}$	$\eta_{netto}$	$\eta_{lordo}$	$\eta_{netto}$	$\eta_{lordo}$	$\eta_{netto}$	$\eta_{lordo}$	$\eta_{netto}$
<b>SSdA</b>	<b>31%</b>	<b>24%</b>	<b>80%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>67%</b>	<b>63%</b>	<b>55%</b>
<b>SdA1</b>	36%	26%	82%	75%	79%	70%	66%	54%
<b>SdA2</b>	26%	22%	72% <sup>9</sup>	67% <sup>9</sup>	59%	54%	40%	37%
<b>SdA9</b>	-	-	-	-	61%	51%	45%	32%
<b>SdA4</b>	41%	30%	80%	69%	69%	56%	73%	60%
<b>SdA5</b>	36%	25%	85%	80%	85%	79%	<b>63%</b>	<b>55%</b>
<b>SdA7</b>	22%	18%	84%	80%	77%	71%	66%	54%

Tabella 11 Rendimenti medi semestre anno di sperimentazione 2016 vs 2017 dei vari SdA e della SSdA – Ciminna

<sup>9</sup> Il valore di rendimento del SdA 2 nel secondo semestre 2016 è affetto dai frequenti periodi di indisponibilità

### Rendimento SSdA - CIMINNA

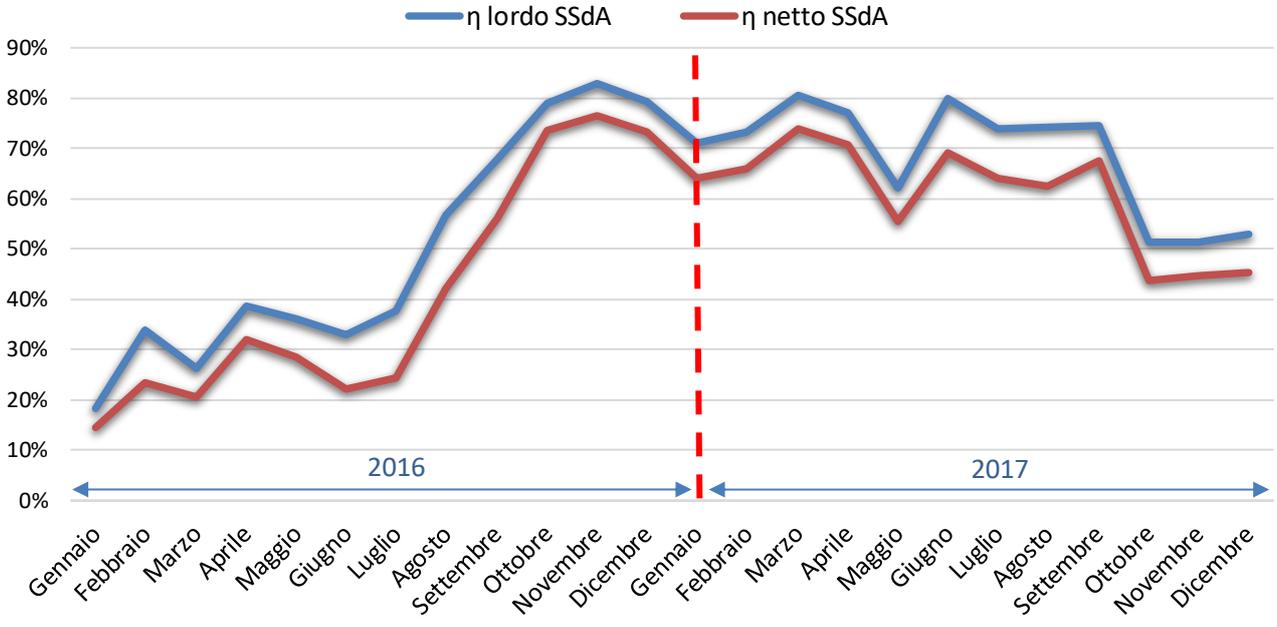


Figura 36 Rendimenti mensili SSdA anno di sperimentazione 2016 e 2017 – Ciminna

#### FLUSSI DI ENERGIA E RENDIMENTO DELLA STAZIONE – SSdA A CONFRONTO

Si riporta in Figura 37 e Figura 38 un confronto tra l'energia misurata in ingresso ed in uscita dai singoli SdA comuni ad entrambi i siti rispettivamente nel corso dell'anno 2016 e 2017 di sperimentazione. Le energie sono valutate considerando le letture dei contatori lato MT aggregate su base semestrale, mettendo in evidenza il contributo delle singole tecnologie ai flussi in ingresso e in uscita globali della SSdA.

Come si evince dalla Figura 37, durante il corso del primo semestre dell'anno 2016, i volumi di energia scambiata da ciascun SdA con la rete sono comparabili tra i due siti. Per ovvi motivi questa evidenza si traduce in valori di rendimento confrontabili tra due SdA di una medesima tecnologia installata in entrambe le SSdA (Tabella 12).

Al contrario, durante il corso del secondo semestre 2016 e dell'anno 2017, gli SdA installati presso il sito di Ciminna hanno scambiato con la rete un volume di energia superiore rispetto agli SdA installati presso l'SSdA di Codrongianos; tali valori notevolmente superiori sono giustificati dall'attivazione in esercizio continuativo di tutti i servizi di rete rilasciati e, in particolare, della regolazione secondaria. In termini di rendimento, un maggiore scambio di volumi di energia si traduce in rendimenti notevolmente superiori (Tabella 13) per via di una minore incidenza degli assorbimenti degli ausiliari e delle perdite di esercizio.

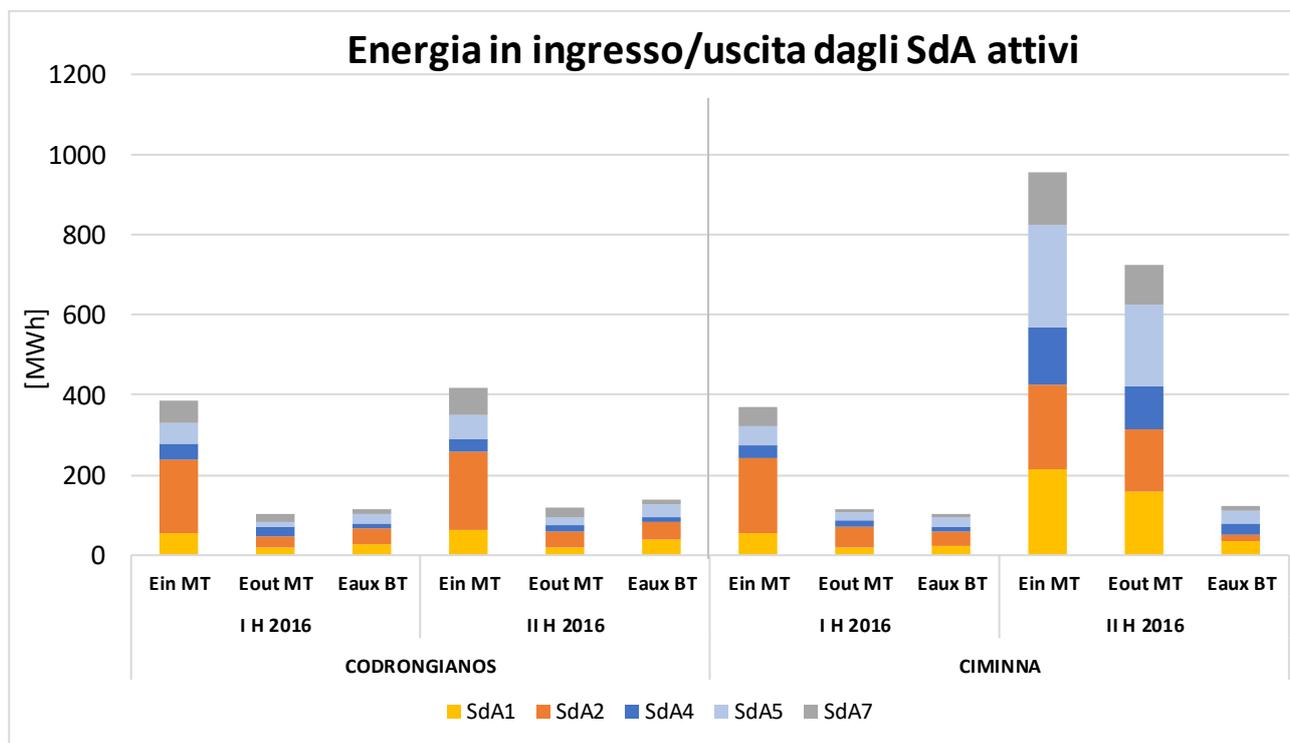


Figura 37 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Codrongianos e Ciminna – Anno di sperimentazione 2016

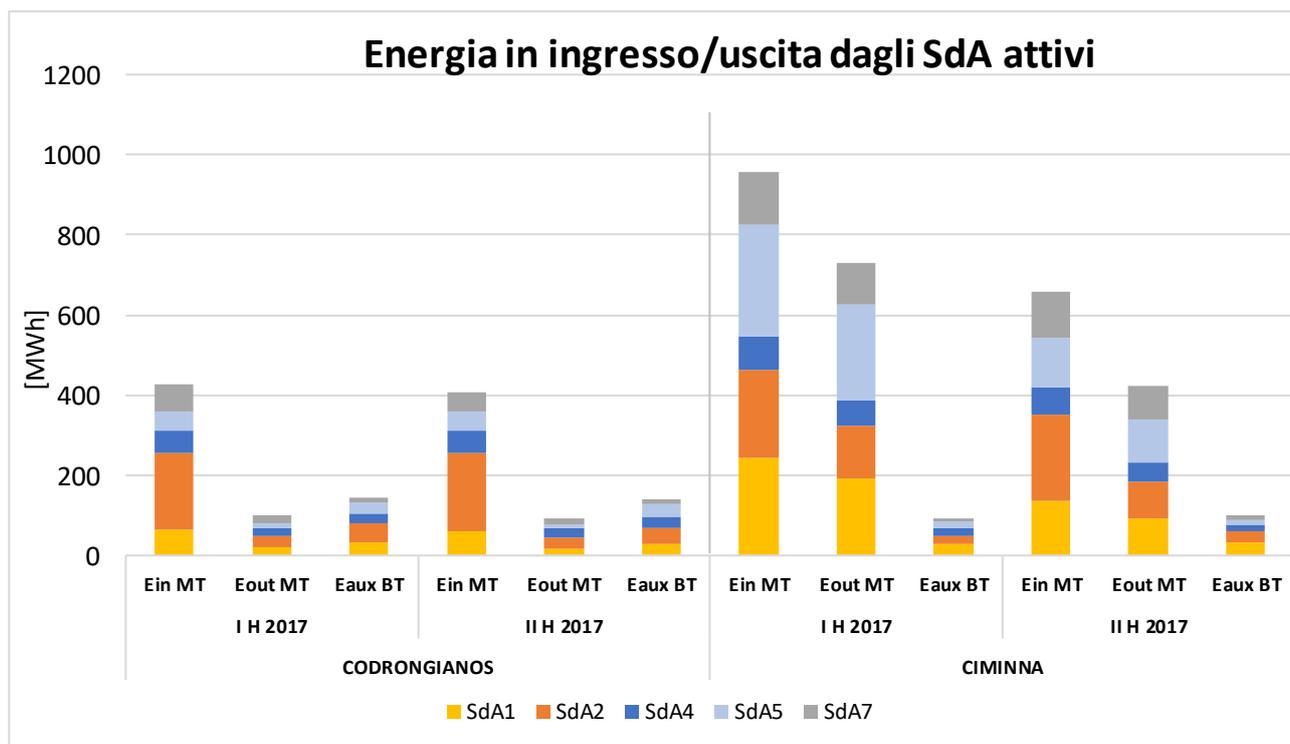


Figura 38 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Codrongianos e Ciminna – Anno di sperimentazione 2017

	I semestre 2016				II semestre 2016			
	Codrongianos		Ciminna		Codrongianos		Ciminna	
	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$
<b>SdA1</b>	34%	23%	36%	26%	30%	19%	82%	75%
<b>SdA2</b>	18%	15%	26%	22%	19%	16%	72%	67%
<b>SdA4</b>	52%	39%	41%	30%	44%	30%	80%	69%
<b>SdA5</b>	26%	18%	36%	25%	33%	23%	85%	80%
<b>SdA7</b>	32%	26%	22%	18%	38%	31%	84%	80%

Tabella 12 rendimenti medi semestrali SdA comuni alle due SSdA – Anno di sperimentazione 2016

	I semestre 2017				II semestre 2017			
	Codrongianos		Ciminna		Codrongianos		Ciminna	
	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$	$\eta_{\text{lordo}}$	$\eta_{\text{netto}}$
<b>SdA1</b>	32%	21%	80%	71%	29%	20%	69%	56%
<b>SdA2</b>	14%	12%	61%	56%	14%	12%	41%	36%
<b>SdA4</b>	38%	26%	72%	59%	43%	29%	74%	61%
<b>SdA5</b>	20%	13%	85%	81%	19%	11%	85%	78%
<b>SdA7</b>	33%	27%	78%	73%	28%	21%	72%	66%

Tabella 13 rendimenti medi semestrali SdA comuni alle due SSdA – Anno di sperimentazione 2016

Infine, si riporta in Figura 39 l'andamento del rendimento netto medio mensile registrato nelle due SSdA in esame. Il grafico evidenzia come dal secondo semestre 2016 in poi, i maggiori scambi energetici della SSdA di Ciminna rispetto alla SSdA di Codrongianos, abbiano portato a far registrare valori mensili netti del rendimento di stazione circa 3 volte superiori rispetto a quelli ottenuti per il secondo sito. Come già evidenziato, tale risultato è stato raggiunto grazie all'attivazione in esercizio continuativo della regolazione secondaria che ha permesso la minimizzazione dell'incidenza degli assorbimenti degli ausiliari e delle perdite di esercizio.

I risultati presentati dimostrano effettivamente come l'indice di performance legato all'efficienza di esercizio sia significativo solo se valutato in correlazione all'assetto reale con cui sono stati eserciti i SdA durante il periodo di riferimento.

### Rendimento SSdA - CODRONGIANOS

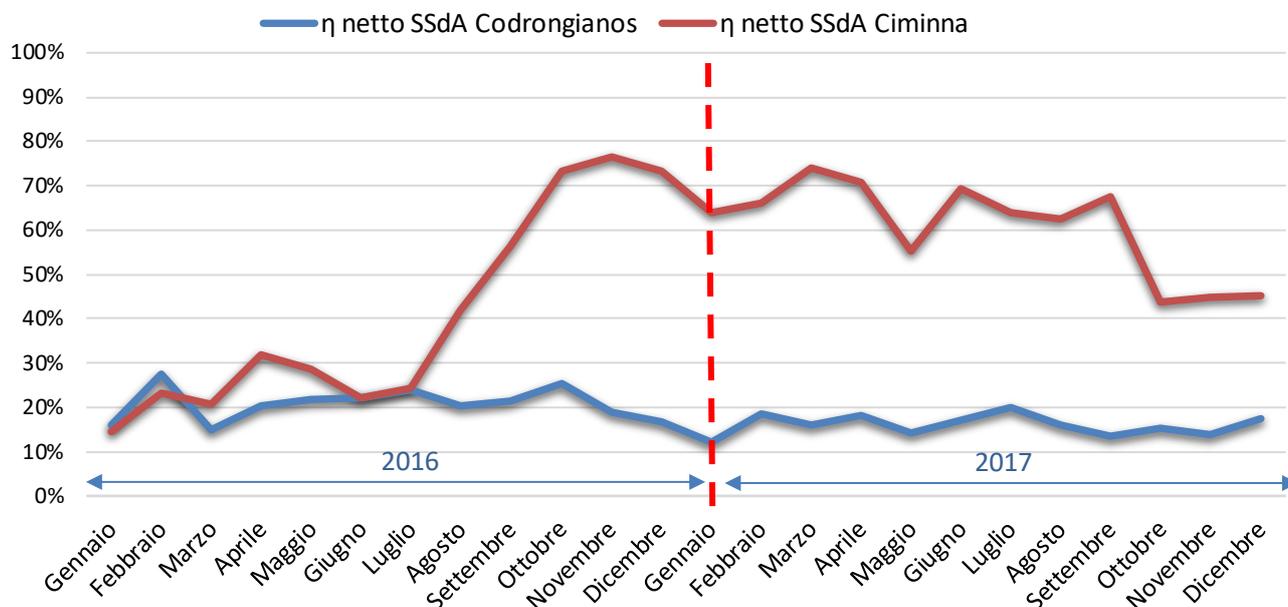


Figura 39 Rendimenti mensili netti SSdA Ciminna e Codrongianos - anno di sperimentazione 2016 e 2017

Dal confronto tra i valori di rendimento registrati durante l'esercizio continuativo sopra esposti e quelli registrati durante le prove di rendimento netto (rendimenti comprensivi delle perdite nel range 80-93% per le tecnologie Lithium-based, e nel range 77-79% per la tecnologia Zebra SdA 2) è possibile osservare come i sistemi installati presso il SSdA di Ciminna abbiano presentato rendimenti registrati durante l'esercizio continuativo elevati ed in linea con i dati di targa, poiché utilizzati con cicli di carica-scarica prossimi a quelli standard. Tuttavia, nel caso dell'SSdA di Codrongianos, si è osservato come il rendimento decresca drasticamente poiché i cicli di utilizzo prevedono volumi di energia scambiata inferiori rispetto a quelli dei cicli standard.

#### 9.3 PERFORMANCE ANALYSIS – PERDITE MEDIE E CONSUMI DEI SERVIZI AUSILIARI

##### STIMA DELLE PERDITE MEDIE PER L'ASSERVIMENTO CONTINUATIVO DEGLI SdA AI SERVIZI DI RETE

La valutazione delle perdite è effettuata analizzando i dati di monitoraggio di ogni fornitore relativamente agli intervalli temporali in cui la potenza regolante scambiata dal SdA con la rete è pari a zero. Infatti, anche quando la potenza richiesta al sistema per l'erogazione dei servizi di rete è nulla in corrispondenza del punto di connessione alla sbarra AC MT, è sempre possibile misurare un flusso netto di energia in uscita dalla sezione DC dei sistemi di accumulo. Ciò è dovuto al fatto che il SdA è soggetto a perdite per il mantenimento continuativo della condizione di regolazione attiva. Il valore di energia così determinato includerà le perdite di mantenimento dell'ESS (perdite PCS, perdite per isteresi sui trasformatori, perdite sui filtri, etc.) e l'assorbimento necessario per l'alimentazione dei riscaldatori delle batterie delle tecnologie Zebra. Poiché la valorizzazione di alcuni dei fattori di perdita è legata alla variabilità delle condizioni esterne, la stima delle perdite medie per ciascun SdA viene proposta considerando una giornata di riferimento per la stagione estiva (indicativamente i mesi più caldi dell'anno: luglio/agosto) ed una giornata di riferimento per la stagione

invernale (indicativamente il mese più freddo dell'anno: gennaio). In particolare, in Tabella 14 e Tabella 15 sono riportati tali risultati in riferimento rispettivamente al primo e al secondo anno di sperimentazione. In Tabella 15 sono riportate anche le stime ottenute per i sistemi basati sulla tecnologia flusso, entrati in esercizio a dicembre 2016. Per quanto riguarda il SdA 8, installato presso la SSdA di Codrongianos, la valutazione delle perdite di mantenimento non è stata possibile a causa di problematiche legate alla registrazione del dato relativo alla sezione DC del SdA sui registri del sistema di controllo.

L'analisi dei valori riportati nelle tabelle, mostra chiaramente come per entrambi gli anni di sperimentazione le perdite dei sistemi Litio siano mediamente allineate intorno ai 7 kW/MW e poco influenzate dalla stagionalità, in quanto non determinate da elementi il cui funzionamento sia strettamente dipendente dalla temperatura ambiente. I valori più elevati registrati per le tecnologie Zebra (SdA 2 e 3) sono invece legati agli assorbimenti dei riscaldatori utilizzati per il mantenimento della temperatura di esercizio dei moduli. Il sistema flusso SdA 9 presenta invece valori intermedi tra i due sistemi, caratterizzato complessivamente da assorbimenti superiori rispetto ai sistemi Litio ma comunque inferiori rispetto ai sistemi sodio in quanto i consumi principali relativi agli assorbimenti delle pompe per la circolazione dell'elettrolita sono computati tramite i contatori dei servizi ausiliari (si vedano a tal proposito i valori riportati in Tabella 16 e Tabella 17).

Fornitore	Perdite medie di mantenimento [kW/MW installato]	
	Giornata estiva	Giornata invernale
<i>SdA 1</i>	9,0	9,6
<i>SdA 2</i>	26,6	33,25
<i>SdA 3</i>	21,0	21,8
<i>SdA 4</i>	4,2	3,3
<i>SdA 5</i>	9,1	6,4
<i>SdA 7</i>	7,2	7,6

Tabella 14 Perdite medie di esercizio in riferimento a ciascun fornitore di SdA riferite all'anno 2016 di sperimentazione

Fornitore	Perdite medie di mantenimento [kW/MW installato]	
	Giornata estiva	Giornata invernale
<i>SdA 1</i>	10,0	9,0
<i>SdA 2</i>	34,4	33,4
<i>SdA 3</i>	18,4	20,5
<i>SdA 4</i>	4,0	3,2
<i>SdA 5</i>	9,4	6,3
<i>SdA 7</i>	7,2	7,5
<i>SdA 8</i>	NA	NA
<i>SdA 9</i>	14,3	13,3

Tabella 15 Perdite medie di esercizio in riferimento a ciascun fornitore di SdA riferite all'anno 2017 di sperimentazione

#### STIMA DEI CONSUMI PER I SERVIZI AUSILIARI DURANTE UN CICLO STANDARD

Il secondo parametro considerato per la valorizzazione dei costi di esercizio è relativo ai consumi dei servizi ausiliari, misurati durante l'esecuzione dei cicli standard round-trip. I valori fanno riferimento ai test di

energia nominale e rendimento effettuati nelle stazioni di Codrongianos e Ciminna durante la fase di collaudo e accettazione. I consumi dei servizi ausiliari sono in questo caso valorizzati come potenza media richiesta durante l'esecuzione del ciclo. Tale valorizzazione viene introdotta al fine di confrontare in condizioni analoghe la potenza media richiesta da ogni SdA per il sostentamento dei propri servizi ausiliari. Si fa tuttavia presente che il funzionamento dei SdA durante il ciclo standard non rispecchia le condizioni di normale esercizio dei SdA in asservimento ai servizi di rete, durante il quale gli assorbimenti dei servizi ausiliari (quali ad esempio sistemi di controllo BMS/PCS e sistemi di condizionamento e ventilazione) possono variare sensibilmente a seconda delle differenti condizioni di carico e della durata temporale di erogazione continuativa di potenza da parte del SdA.

Fornitore	Potenza media richiesta dai servizi ausiliari [kW/MW installato]
	CODRONGIANOS
<i>SdA 1</i>	10,4
<i>SdA 2</i>	11,8
<i>SdA 3</i>	4,1
<i>SdA 4</i>	8,5
<i>SdA 5</i>	22,9
<i>SdA 6</i>	33,6
<i>SdA 7</i>	10,6
<i>SdA 8</i>	35,9

Tabella 16 Potenza media (kW/MW installato) richiesta per il sostentamento dei servizi ausiliari BT – SSdA Codrongianos

Fornitore	Potenza media richiesta dai servizi ausiliari [kW/MW installato]
	CIMINNA
<i>SdA 1</i>	20,5
<i>SdA 2</i>	11,4
<i>SdA 4</i>	7,0
<i>SdA 5</i>	21,2
<i>SdA 7</i>	16,2
<i>SdA 9</i>	35,8

Tabella 17 Potenza media (kW/MW installato) richiesta per il sostentamento dei servizi ausiliari BT – SSdA Ciminna

Dall'analisi dei valori riportati nella Tabella 16 e nella Tabella 17 è possibile trarre alcune considerazioni:

- Il sistema Zebra SdA 3 a Codrongianos fa registrare la potenza media minore richiesta dai propri servizi ausiliari durante l'esecuzione del ciclo standard. Si deve però tener presente che i riscaldatori interni ai moduli sono alimentati tramite lo stesso BUS DC del PCS e dei moduli batterie e quindi i loro consumi non sono misurati dai contatori BT dei servizi ausiliari. Sono invece compresi tra le perdite di esercizio, come riportato nella sezione precedente.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

- Le considerazioni riportate per il SdA 3 di Codrongianos sono valide anche per il SdA 2 di entrambe le SSdA, per il quale i consumi dei servizi ausiliari riportati in tabella sono analoghi a quelli registrati per le tecnologie Litio.
- Il SdA 5 e il SdA 6 a Codrongianos e il SdA 5 a Ciminna sono caratterizzati da potenze medie, richieste per il sostentamento dei servizi ausiliari durante i cicli standard, maggiori tra tutti gli SdA Litio e Zebra in esercizio sia per il sito di Codrongianos che di Ciminna, riconducibili prevalentemente ai maggiori consumi del sistema di condizionamento (HVAC) dei due container batterie, per il SdA 5, e alla somma degli assorbimenti del sistema HVAC e delle ventole dei rack batterie e dei convertitori, per il SdA 6.
- I due sistemi basati su tecnologia flusso a circolazione di elettrolita, pur mostrando differenze tecnologiche e realizzative poiché forniti da due diversi costruttori, hanno fatto registrare durante l'esecuzione del ciclo di standard una potenza media richiesta dai propri ausiliari analoga tra loro. Questa è tuttavia superiore a quella registrata per gli altri sistemi. Ciò è dovuto alla presenza di sistemi come le pompe di circolazione dell'elettrolita e i circuiti di raffreddamento/riscaldamento dello stesso non presenti nelle altre tecnologie e che determinano un maggiore assorbimento da parte dei circuiti ausiliari. Questo è inoltre una delle principali cause dei rendimenti più bassi registrati per queste tecnologie proprio durante l'esecuzione del ciclo di riferimento.

#### 9.4 PERFORMANCE ANALYSIS – DISPONIBILITA'

Nell'anno 2016 e 2017 di sperimentazione, numerose anomalie e guasti hanno causato l'indisponibilità dei vari SdA all'esercizio. Tali indisponibilità possono essere di vario tipo, ma sono principalmente dovute a guasti/anomalie riscontrati sui convertitori PCS e sui moduli batterie, compresi i sistemi BMS, e sugli ausiliari di impianto. Si evidenzia inoltre che durante il corso dei due anni di riferimento, in modo particolare nell'anno 2016 a Ciminna e nell'anno 2017 a Codrongianos, sono stati svolti i test di energia nominale e rendimento e le prove ad hoc previste dalla Deliberazione ARERA 12/14, con conseguenti ulteriori periodi di indisponibilità all'esercizio dei singoli SdA.

Nei grafici di Figura 40 e Figura 41 per Codrongianos e di Figura 42 e Figura 43 per Ciminna, vengono riportate le principali indisponibilità relative ai singoli SdA. I grafici riportano anche le ore di indisponibilità relativamente alle principali cause, rapportate alle ore di esercizio per ogni fornitore.

I grafici di Figura 40 e Figura 41 mostrano l'indisponibilità percentuale delle unità installate presso il sito di Codrongianos riferite rispettivamente all'anno di sperimentazione 2016 e 2017. Le ore di indisponibilità totali annuali (ovvero la somma delle ore di indisponibilità di ciascun SdA installato presso lo Storage Lab), sono passate da 7700 dell'anno 2016 a 7081 del 2017, con una riduzione di circa l'8%, grazie alla generale decrescita delle indisponibilità di tutti gli altri SdA, fatta eccezione per il SdA 2 che al contrario manifesta un incremento delle ore di indisponibilità. L'indisponibilità annuale dell'SdA 2 infatti è passato dal 14,4% al 15,6% nel passaggio dal primo al secondo anno di sperimentazione. Si segnala inoltre l'entrata in esercizio del sistema flusso SdA 8 nell'anno 2017 di sperimentazione, il quale ha manifestato un elevato numero di ore di indisponibilità, prevalentemente concentrato nel 2H 2017, a causa di anomalie registrate a livello batteria e PCS e un guasto particolarmente importante allo SCI.

Complessivamente, nei due anni di sperimentazione, i sistemi che hanno mostrato le performance migliori in termini di disponibilità al servizio sono stati il SdA 7 e il SdA 5, entrambi a tecnologia litio.

I grafici di Figura 42 e Figura 43 mostrano l'indisponibilità percentuale delle unità installate presso il sito di Ciminna, rispettivamente nell'anno 2016 e 2017 di sperimentazione. Le ore di indisponibilità totali (ovvero la somma delle ore di indisponibilità di ciascun SdA installato presso lo Storage Lab), sono incrementate notevolmente nel passaggio dal primo al secondo anno di sperimentazione, portandosi da 7686 ore a 22169 ore totali. Tutte le tecnologie infatti, fatta eccezione del SdA 1, hanno fatto registrare un notevole incremento delle ore di indisponibilità. In modo particolare, le problematiche riconducibili ad anomalie dovute allo sbilanciamento dello stato di carica delle stringhe, manifestatosi in maniera maggiore durante l'anno 2017 nell'SdA 4, nell'SdA 5 e nell'SdA 7, hanno inciso per il 34,9% del totale delle ore di indisponibilità. Si segnala inoltre l'entrata in esercizio del sistema a tecnologia flusso SdA 9 durante il 1H 2017, il quale ha contribuito da solo per il 27% del totale delle ore di indisponibilità dell'SsDA, per via di lunghi periodi di indisponibilità causati da problematiche a livello batteria. Il SdA 1 e il SdA 5 nel primo anno di sperimentazione, e il solo SdA 1 nel secondo anno di sperimentazione, si sono dimostrati i sistemi con il minor numero di ore di indisponibilità e unici continuativamente disponibili all'esercizio.

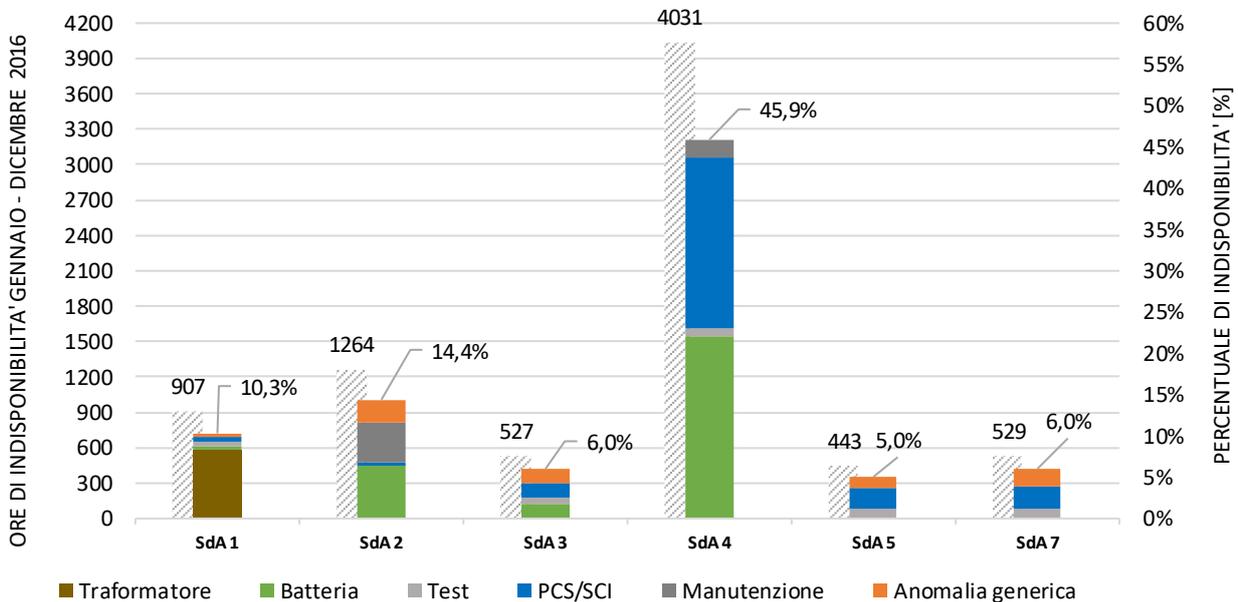


Figura 40 Analisi indisponibilità anno 2016 dei vari SdA nel sito di Codrongianos

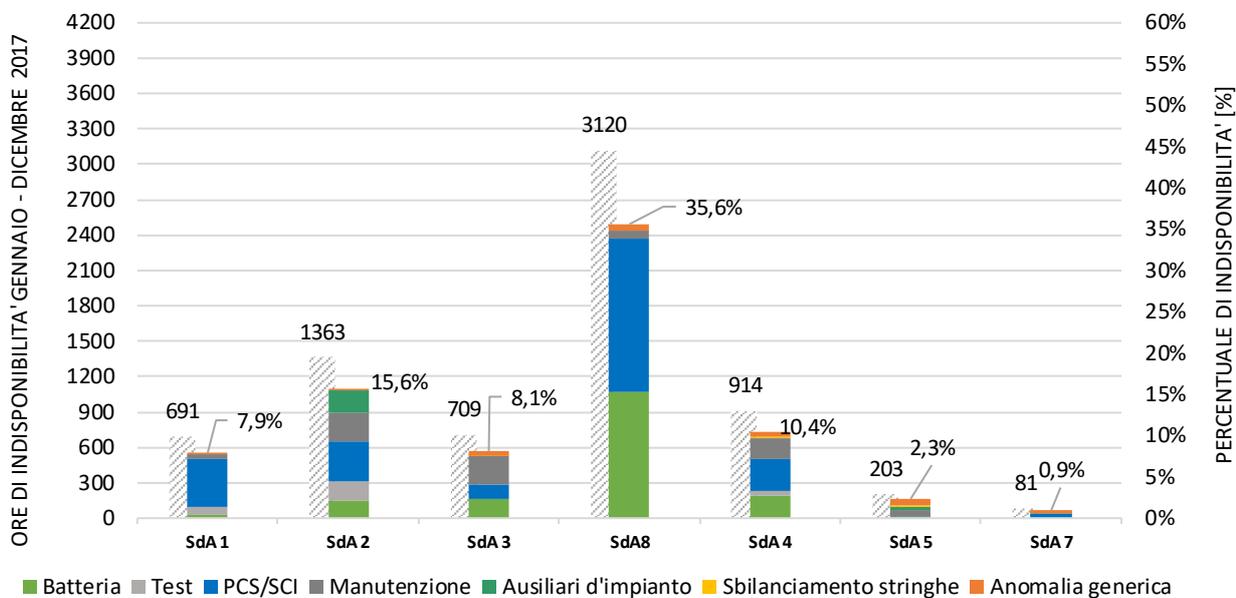


Figura 41 Analisi indisponibilità anno 2017 dei vari SdA nel sito di Codrongianos

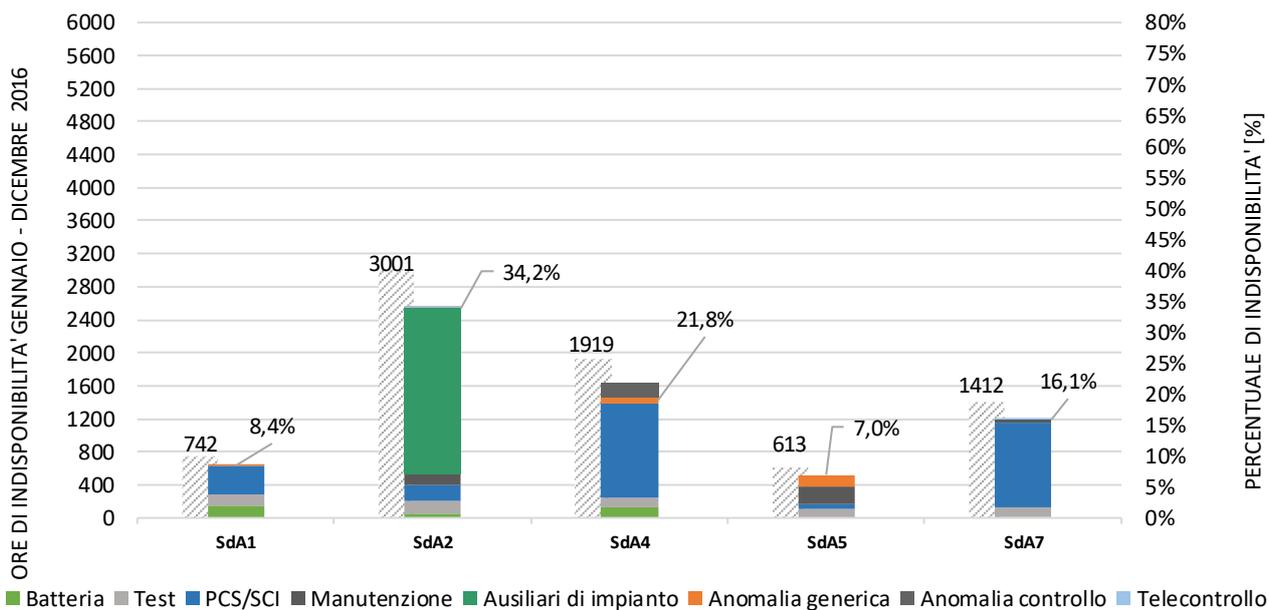
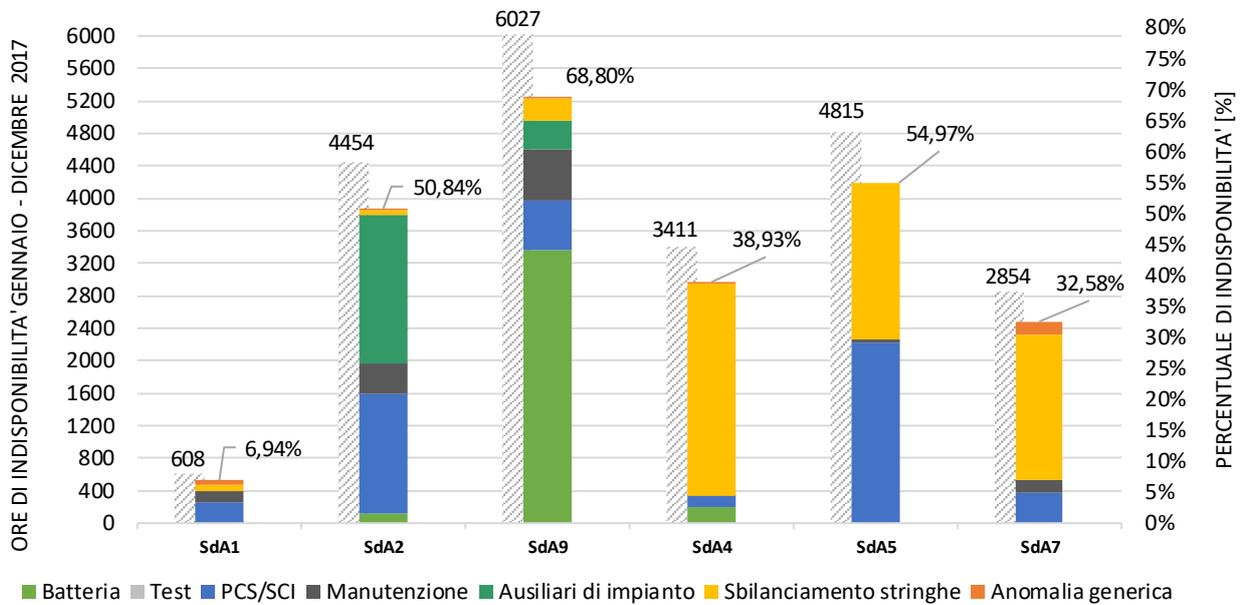


Figura 42 Analisi indisponibilità anno 2016 dei vari SdA nel sito di Ciminna



**Figura 43 Analisi indisponibilità anno 2017 dei vari SdA nel sito di Ciminna**

Si riporta di seguito un'analisi di dettaglio delle ore e delle cause di indisponibilità che hanno caratterizzato la singola tecnologia mettendo a confronto i due siti di Ciminna e Codrongianos.

### SdA 1

In Figura 44 sono riportate le ore di indisponibilità e l'indisponibilità percentuale rispetto al totale delle ore annuali, del sistema a tecnologia litio SdA 1 installato sia nel sito di Ciminna che di Codrongianos.

L'indisponibilità si presenta in lieve decremento nel passaggio dall'anno 2016 all'anno 2017 e pressoché costante nel confronto tra i due siti. Si segnala un'anomalia al trasformatore del sistema installato presso il sito di Codrongianos, manifestatasi nel corso del 1H 2016, che ha inciso per circa l'81% sul totale delle ore di indisponibilità dell'intero anno. Infine, è facile osservare come le anomalie verificatesi sui convertitori PCS e sullo SCI di sistema si attestino come maggiore causa di indisponibilità in entrambi i siti e entrambi gli anni di sperimentazione, al netto dell'anomalia del trasformatore.

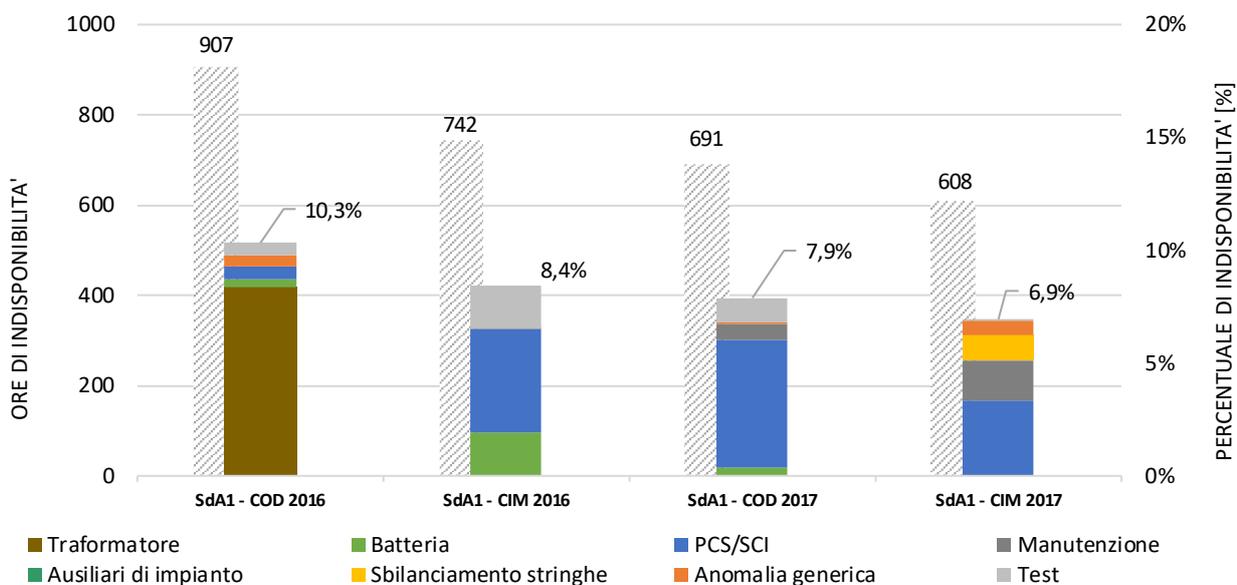


Figura 44 Analisi indisponibilità anno 2016 e 2017 del SdA1 nel sito di Ciminna e Codrongianos

## SdA 2

Il grafico sottostante riporta le ore di indisponibilità e l'indisponibilità percentuale rispetto al totale delle ore annuali, del sistema a tecnologia zebra SdA 2 installato sia nel sito di Ciminna che di Codrongianos. Dalla sua analisi emerge un disallineamento tra il tasso di indisponibilità registrato nei due siti. In modo particolare, si evidenzia come sul sito di Ciminna si siano verificati maggiori disservizi, ed in crescita nel passaggio dal primo al secondo anno di sperimentazione, principalmente causati da anomalie degli ausiliari del sistema. Al contrario, l'indisponibilità nel sito di Codrongianos si mantiene pressoché costante nei due anni, e pari mediamente al 15%.

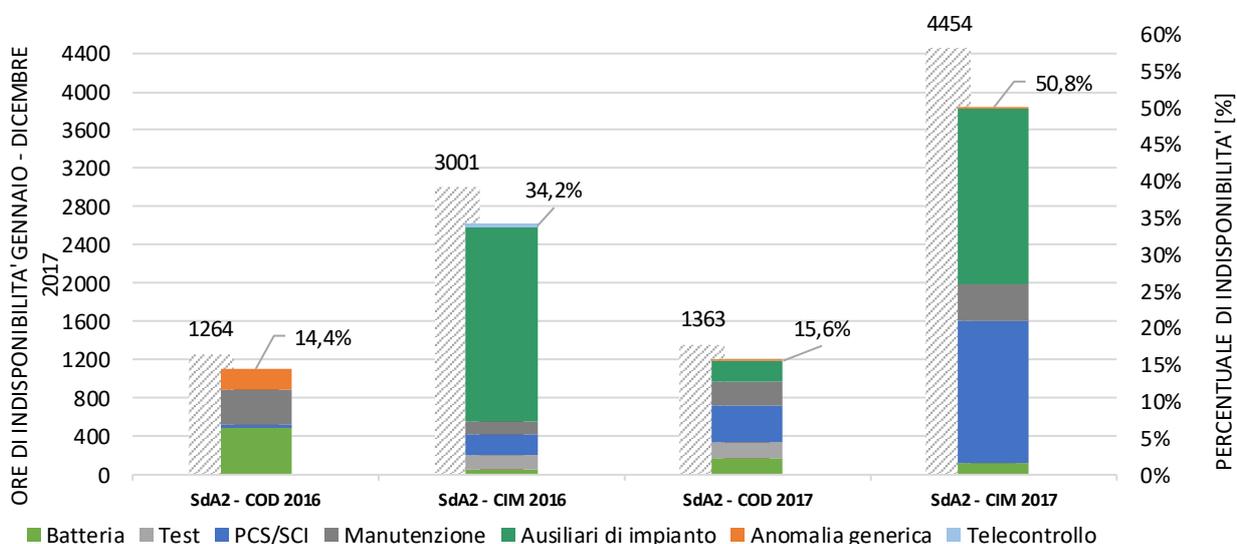


Figura 45 Analisi indisponibilità anno 2016 e 2017 del SdA 2 nel sito di Ciminna e Codrongianos

### SdA 3

La Figura 46 riporta le ore di indisponibilità e l'indisponibilità percentuale rispetto al totale delle ore annuali, del sistema a tecnologia zebra SdA 3 installato nel solo sito di Codrongianos.

L'indisponibilità presenta una crescita del circa 35%, causata principalmente dagli interventi di manutenzione da parte del fornitore, che hanno richiesto nell'anno 2017 un numero di ore pari a circa 300. Al contrario, si mantengono pressoché costanti durante i due anni di sperimentazione, le ore di indisponibilità dovute a guasti/anomalie sui moduli batteria e sui convertitori PCS.

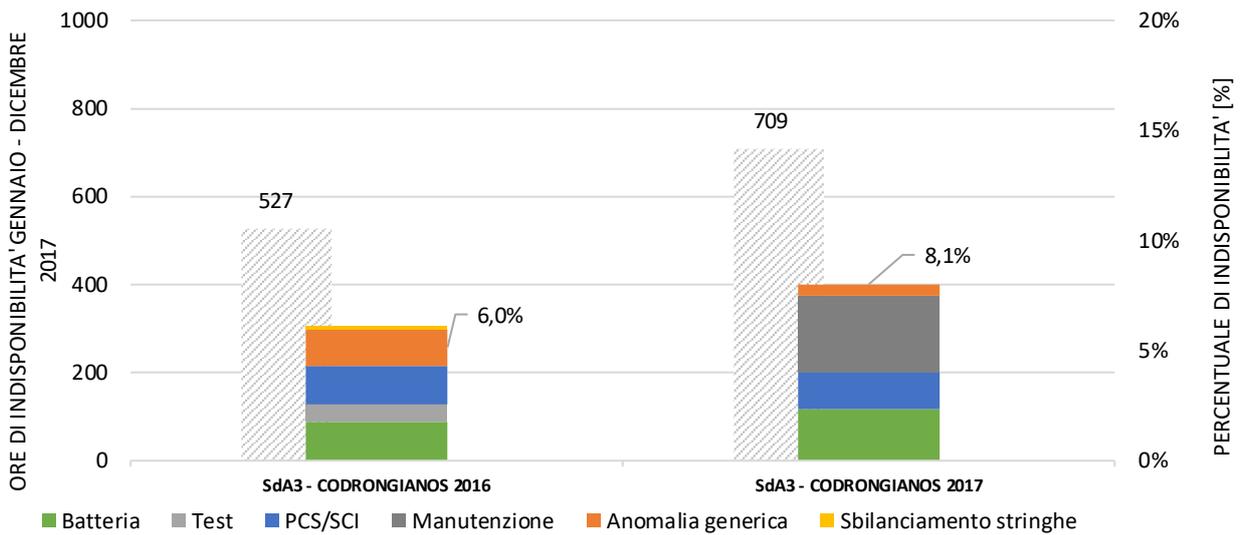


Figura 46 Analisi indisponibilità anno 2016 e 2017 del SdA 3 nel sito di Codrongianos

### SdA 4

Il grafico di Figura 47 presenta le ore di indisponibilità e l'indisponibilità percentuale rispetto al totale delle ore annuali, del sistema a tecnologia litio SdA 4 installato nel sito di Ciminna e di Codrongianos.

Come è possibile osservare, il SdA 4 ha manifestato nel sito di Codrongianos nell'anno 2016 e nel sito di Ciminna nell'anno 2017, un notevole periodo di indisponibilità, pari rispettivamente a circa il 46% e 39% delle ore totali annuali. Nel primo caso, il sistema è stato caratterizzato da lunghi periodi di indisponibilità causati, nel secondo semestre 2016, da anomalie dei moduli batteria, e nel primo semestre 2016, da guasti sul convertitore PCS. Nel secondo caso invece, l'indisponibilità è stata causata da una non corretta gestione dello stato di carica tra le stringhe e tra i container batteria, incidendo per l'88% del totale dell'indisponibilità.

Si evidenzia infine come, seppur in misura differente, le anomalie che si sono sempre verificate in entrambi i siti ed in entrambi gli anni di sperimentazione, sono principalmente dovute a guasti/anomalie riscontrati sui convertitori PCS e sui moduli batterie.

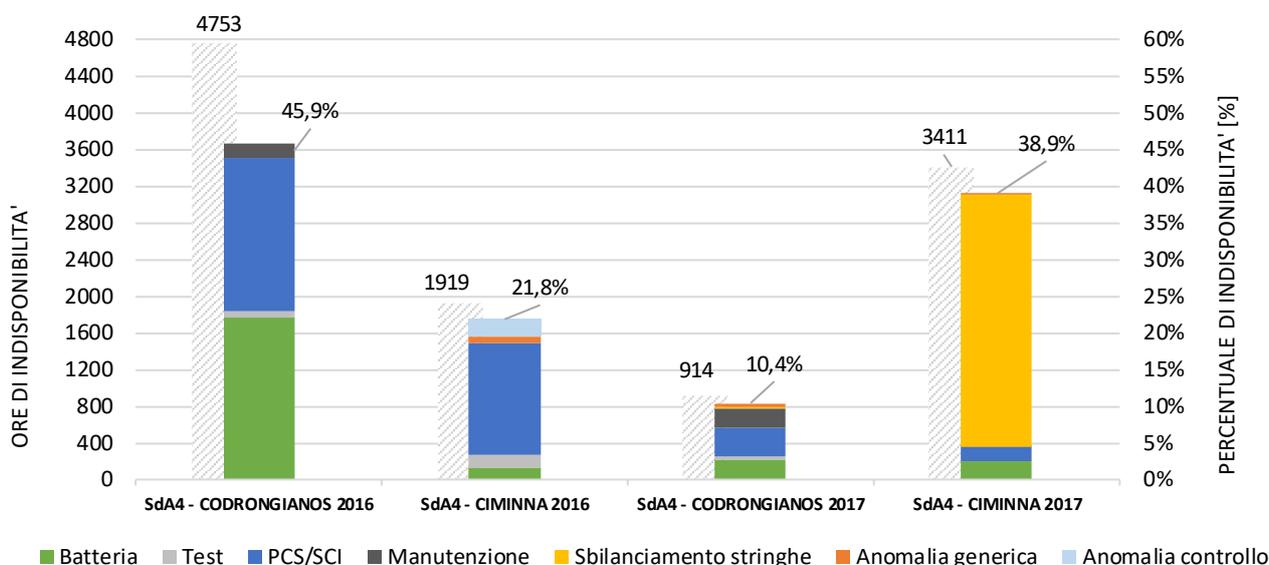


Figura 47 Analisi indisponibilità anno 2016 e 2017 del SdA 4 nel sito di Ciminna e Codrongianos

### SdA 5

Il grafico di Figura 48 presenta le ore di indisponibilità e l'indisponibilità percentuale rispetto al totale delle ore annuali, del sistema a tecnologia litio SdA 5 installato sia nel sito di Ciminna che di Codrongianos.

Fatta eccezione per l'anno di sperimentazione 2017 presso il sito di Ciminna, il sistema litio in esame mostra un tasso di indisponibilità all'esercizio decisamente irrisorio, che si aggira tra il 2% ed il 7%.

Nel sito di Ciminna, durante il corso dell'anno 2017, il sistema ha inizialmente fatto registrare numerose ore di indisponibilità dovute a guasti sul sistema di conversione, e successivamente ad anomalie nella gestione del bilanciamento delle stringhe e dei container batteria. Queste anomalie hanno portato il sistema ad una indisponibilità annuale pari al 55%.

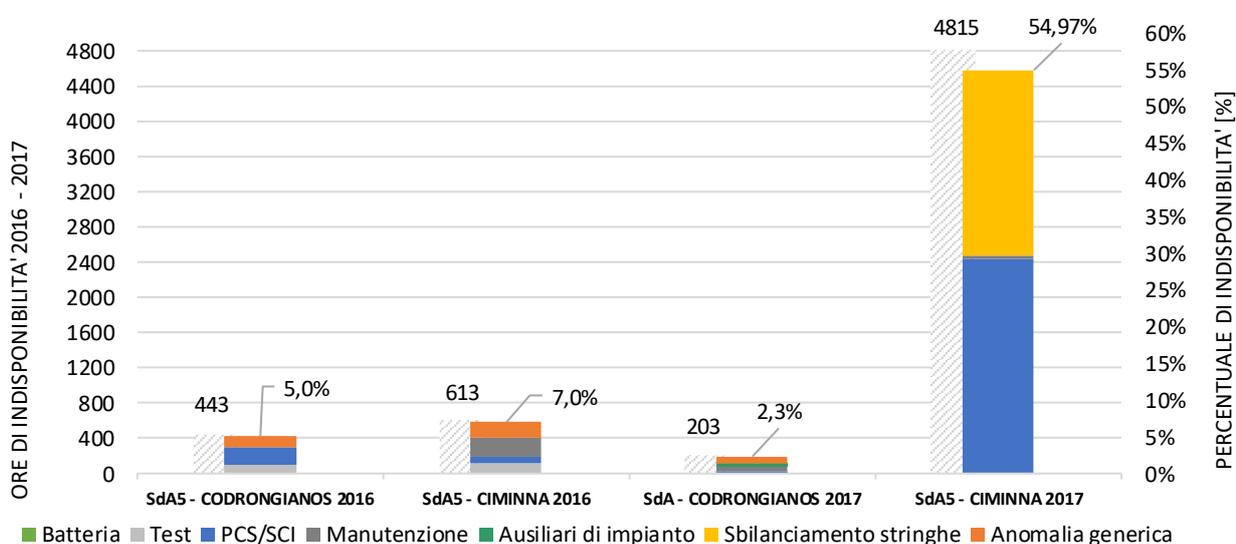


Figura 48 Analisi indisponibilità anno 2016 e 2017 del SdA 5 nel sito di Ciminna e Codrongianos

## SdA 7

Il grafico sottostante presenta le ore di indisponibilità e l'indisponibilità percentuale rispetto al totale delle ore annuali, del sistema a tecnologia litio SdA 7 installato sia nel sito di Ciminna che di Codrongianos.

Il sistema presenta un disequilibrio nel tasso di indisponibilità tra i due siti in esame. Presso il sito di Codrongianos, infatti, il sistema presenta un'indisponibilità in decrescita nel passaggio dal 2016 al 2017, facendo registrare nell'anno 2017 un valore inferiore all'1% di indisponibilità annuale. Nel sito di Ciminna al contrario, durante il corso del 2017, il sistema ha fatto registrare numerose ore di indisponibilità dovute principalmente anomalie nella gestione del bilanciamento delle stringhe e dei container batteria. Si segnalano inoltre diversi guasti ed anomalie registrati sul sistema di conversione PCS, che si sono verificati, seppur in misura differente, in entrambi i siti.

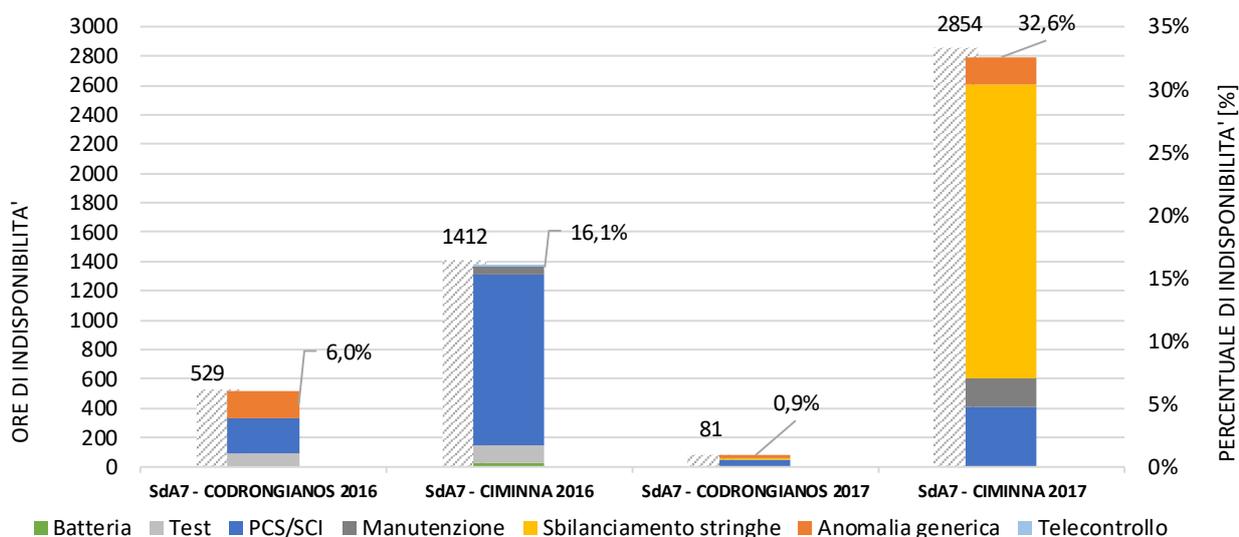


Figura 49 Analisi indisponibilità anno 2016 e 2017 del SdA 7 nel sito di Ciminna e Codrongianos

## SdA 8 – SdA 9

La figura sottostante mostra le ore di indisponibilità e l'indisponibilità percentuale rispetto al totale delle ore annuali, dei due sistemi a tecnologia flusso installati presso il sito di Ciminna e Codrongianos. Si ricorda che entrambe le tecnologie sono entrate in esercizio nel secondo anno di sperimentazione, ed i dati sono perciò riferiti al solo anno 2017.

Entrambi i sistemi mostrano un notevole tasso di indisponibilità, in modo particolare l'SdA 9 del sito di Ciminna, il quale presenta un valore pari a circa il 69%. In merito al sistema installato presso il sito di Codrongianos, si evidenzia che un guasto avvenuto a settembre 2017 è stato fortemente impattante in termini di indisponibilità, poiché, a seguito del fallimento del fornitore avvenuto ad agosto 2017, non è stato possibile risolvere l'anomalia e ripristinare il sistema.

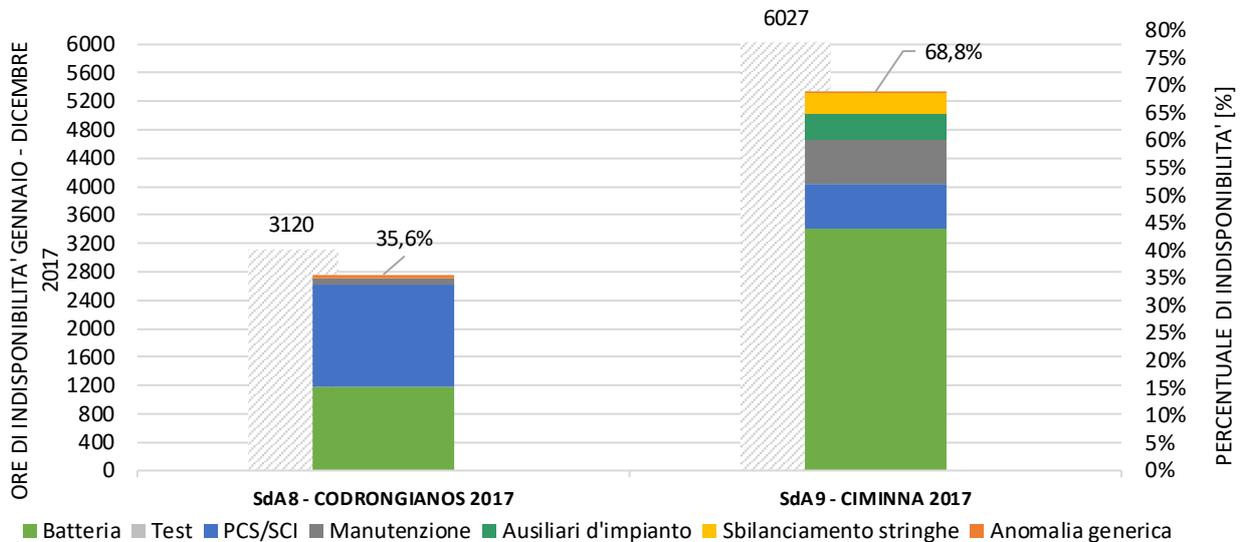


Figura 50 Analisi indisponibilità anno 2017 del SdA 8 nel sito di Codrongianos e dell'SdA 9 nel sito di Ciminna

Dalle analisi di ciascuna tecnologia sopra esposte, è emerso come tra i fornitori con tecnologia litio, il SdA 5 e l'SdA 7 a Codrongianos e il SdA 1 a Ciminna presentino le maggiori performance in termini di disponibilità. Al contrario, i sistemi a tecnologia flusso si attestano tra i sistemi caratterizzati dal maggior tasso di indisponibilità.

In generale, eccezione fatta per alcuni sistemi, tutti gli SdA hanno mostrato dei tassi di indisponibilità non trascurabili, che implicano la necessità di manutenzione continuativa e programmata.

Infine, in Tabella 18 è riportata la disponibilità media semestrale di entrambe le SSdA per entrambi gli anni di sperimentazione. L'indice è calcolato come la somma delle ore di disponibilità di ciascuna tecnologia rapportata alla somma totale delle ore di esercizio di ogni sistema nel periodo di riferimento. La tabella permette un confronto tra i quattro semestri e le due stazioni di accumulo, mostrando per il sito di Codrongianos un progressivo incremento della disponibilità dal 1H 2016 al 1H 2017, che decresce nuovamente nell'ultimo semestre. Il sito di Ciminna al contrario mostra un drastico decremento della disponibilità semestrale.

Il confronto delle indisponibilità tra la SSdA di Codrongianos e la SSdA di Ciminna mette in evidenza un divario piuttosto consistente tra le disponibilità dei due impianti. Tuttavia, è necessario far notare che i guasti più impattanti sulla SSdA di Ciminna sono dovuti ad anomalie sulla gestione delle stringhe e dei container con conseguenti indisponibilità del PCS e dello SCI del sistema ed anomalie degli ausiliari di sistema (come per il SdA 2). Si tratta quindi di indisponibilità con carattere di casualità, pertanto non riscontrate presso il sito di Codrongianos.

Sito	Disponibilità media semestrale			
	1H 2016	2H 2016	1H 2017	2H 2017
<b>Codrongianos</b>	82,50%	86,00%	94,80%	82,30%
<b>Ciminna</b>	82,20%	83,00%	66,30%	49,50%

Tabella 18 Disponibilità media semestrale SSdA Codrongianos e Ciminna

## 9.5 ANALISI EVENTI SIGNIFICATIVI

Al fine di illustrare il comportamento e le performance dei SdA in regolazione, vengono selezionati a titolo esemplificativo i seguenti eventi avvenuti nell'anno 2016 e 2017:

SITO	DATA	ORA	TIPOLOGIA DI EVENTO
Codrongianos	28 Gennaio 2016	12:27	Transitorio in sottofrequenza ( $f_{max}=49,84$ Hz)
Codrongianos	29 Giugno 2016	09:24	Transitorio in sottofrequenza ( $f_{max}=49,78$ Hz)
Ciminna	5 Dicembre 2016	20:00	Transitorio in sottofrequenza ( $f_{min}=49,90$ Hz)
Codrongianos	25 Giugno 2017	00:22	Transitorio in sovralfrequenza ( $f_{max}=50,21$ Hz)
Ciminna	22 Luglio 2017	21:27	Transitorio in sottofrequenza ( $f_{max}=49,97$ Hz)

### Evento Codrongianos 28 Gennaio 2016

Di seguito vengono riportate le risposte di alcuni SdA in servizio durante l'evento di sottofrequenza (49,84Hz) verificatosi nel sito di Codrongianos alle ore 12:27 del 28 Gennaio 2016.

#### a) RISPOSTA SdA 2

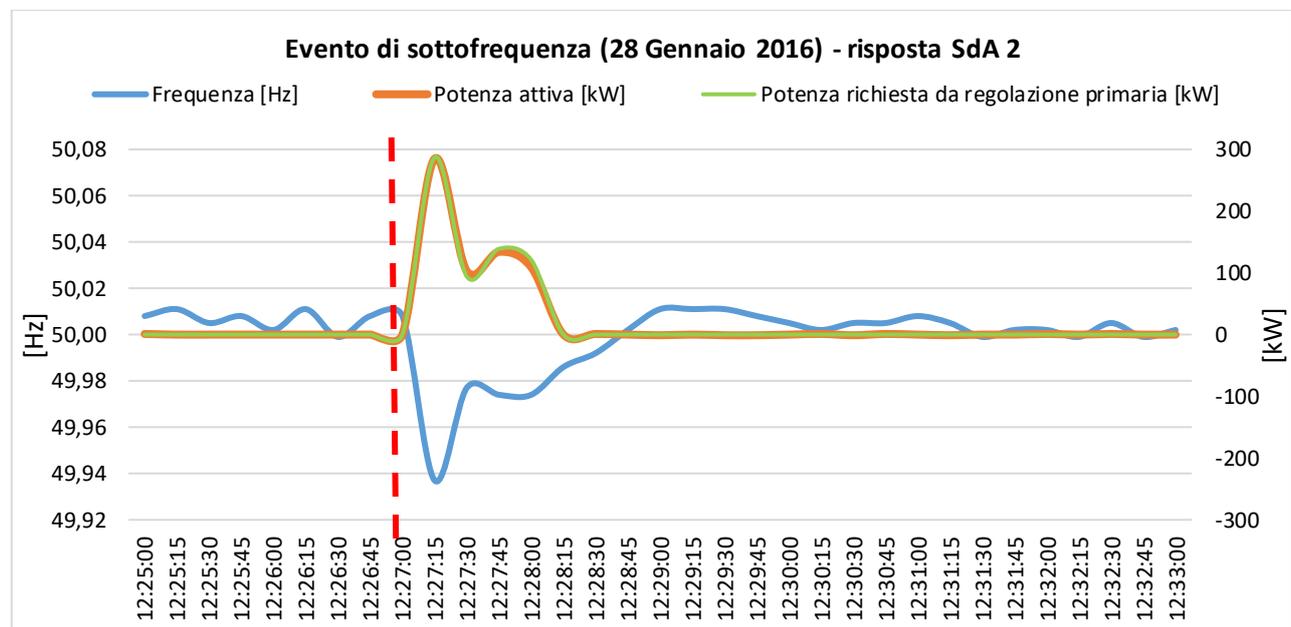


Figura 51 Evento di sottofrequenza (28 Gennaio 2016): risposta SdA 2

Dal grafico precedente è possibile notare la risposta del SdA 2 perfettamente in linea con la richiesta di potenza per il servizio di regolazione primaria di frequenza e in grado di far fronte al transitorio di sottofrequenza. In circa 1 minuto viene ristabilita la frequenza nominale pari a 50 Hz.

#### b) RISPOSTA SdA 7

Dalla Figura 52 è possibile osservare che come nel caso del SdA 7, la risposta del SdA 7 risulta perfettamente in linea con le esigenze di regolazione primaria di frequenza. L'andamento della potenza richiesta da

regolazione primaria è coincidente con quello della potenza attiva a dimostrazione che in questo arco temporale l'unico servizio a richiedere potenza è proprio la regolazione primaria di frequenza.

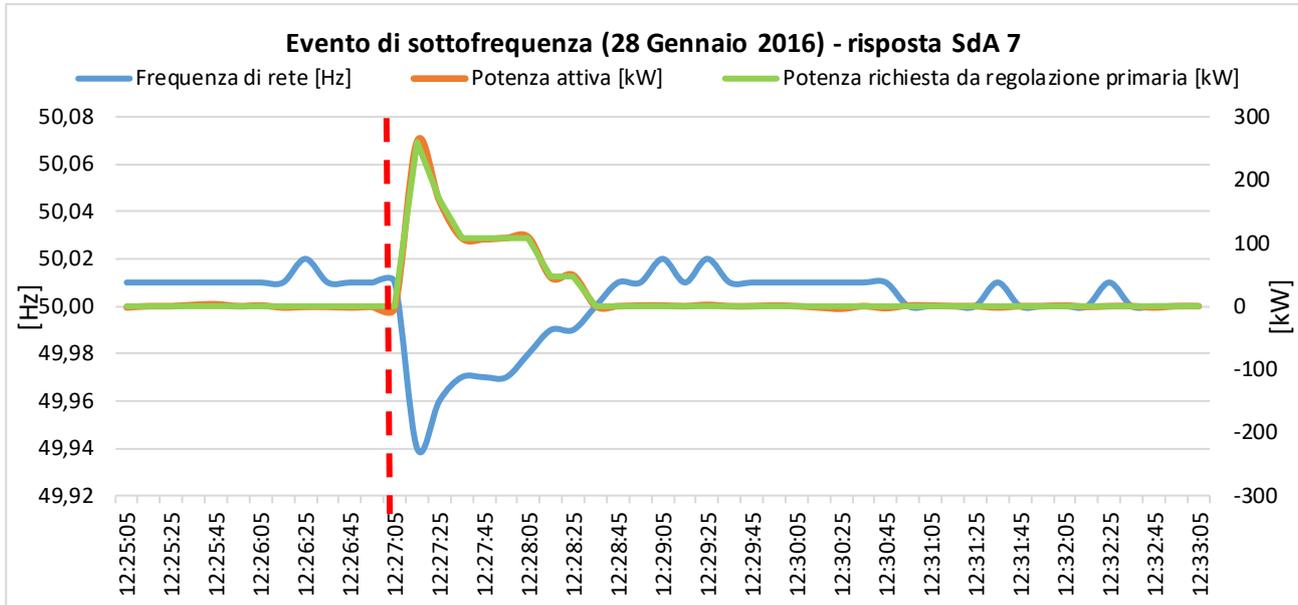


Figura 52 Evento di sottofrequenza (28 Gennaio 2016): risposta SdA 7

**Evento Codrongianos 29 Giugno 2016**

Di seguito vengono riportate la risposta del SdA 3 in servizio durante l'evento di sottofrequenza (49,78Hz) verificatosi nel sito di Codrongianos alle ore 09:24 del 29 Giugno 2016.

**a) RISPOSTA SdA 3**

Dal grafico seguente è possibile notare la risposta del SdA 3, perfettamente in linea con la richiesta di potenza per il servizio di regolazione primaria di frequenza. Al verificarsi dell'evento di sottofrequenza, infatti, la richiesta di potenza da parte del servizio di regolazione primaria viene completamente soddisfatta. Si può notare come gli andamenti delle due curve, infatti, siano quasi perfettamente coincidenti. La frequenza nominale viene ristabilita in circa 3 minuti.

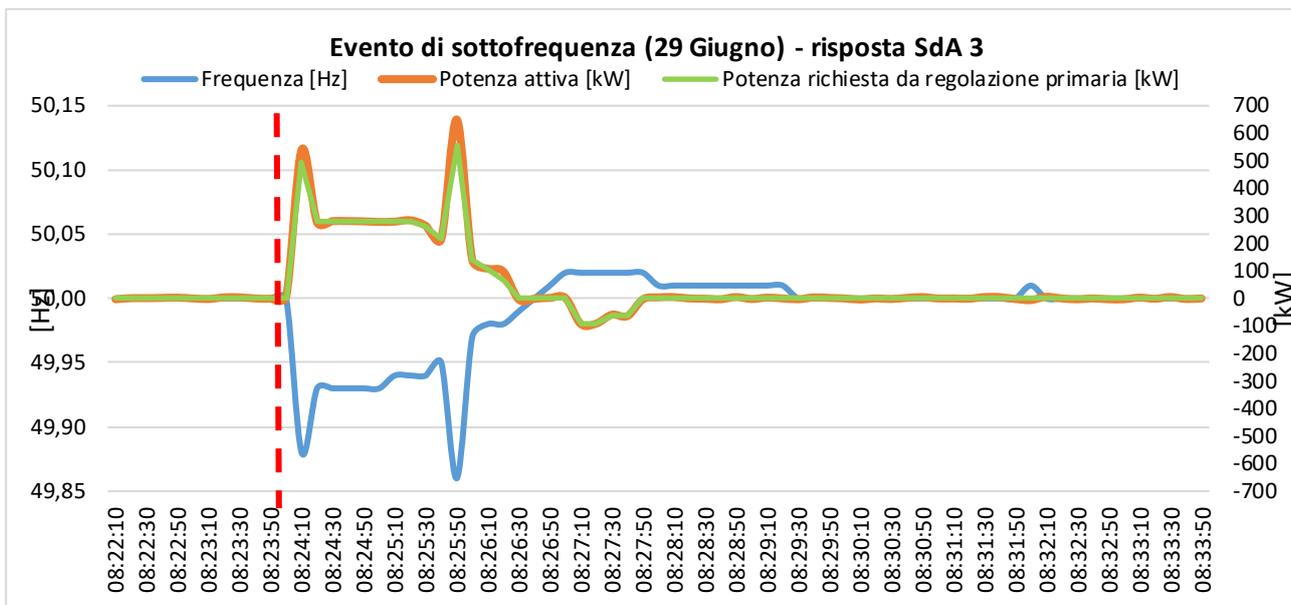


Figura 53 Evento di sottofrequenza (29 Giugno 2016): risposta SdA 3

**Evento Ciminna 5 Dicembre 2016**

Di seguito viene riportata la risposta di alcuni SdA in servizio durante l'evento di sottofrequenza ( $f_{min}=49,90\text{Hz}$ ) verificatosi nel sito di Ciminna alle ore 20:00 del 5 Dicembre 2016.

**a) RISPOSTA SdA 1**

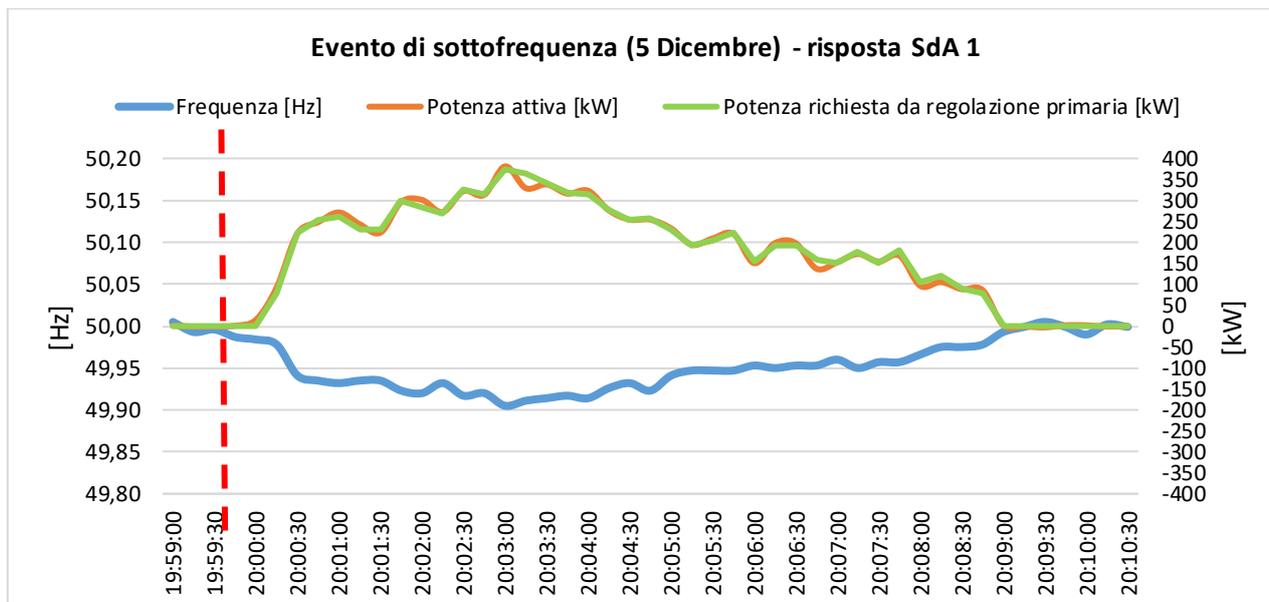
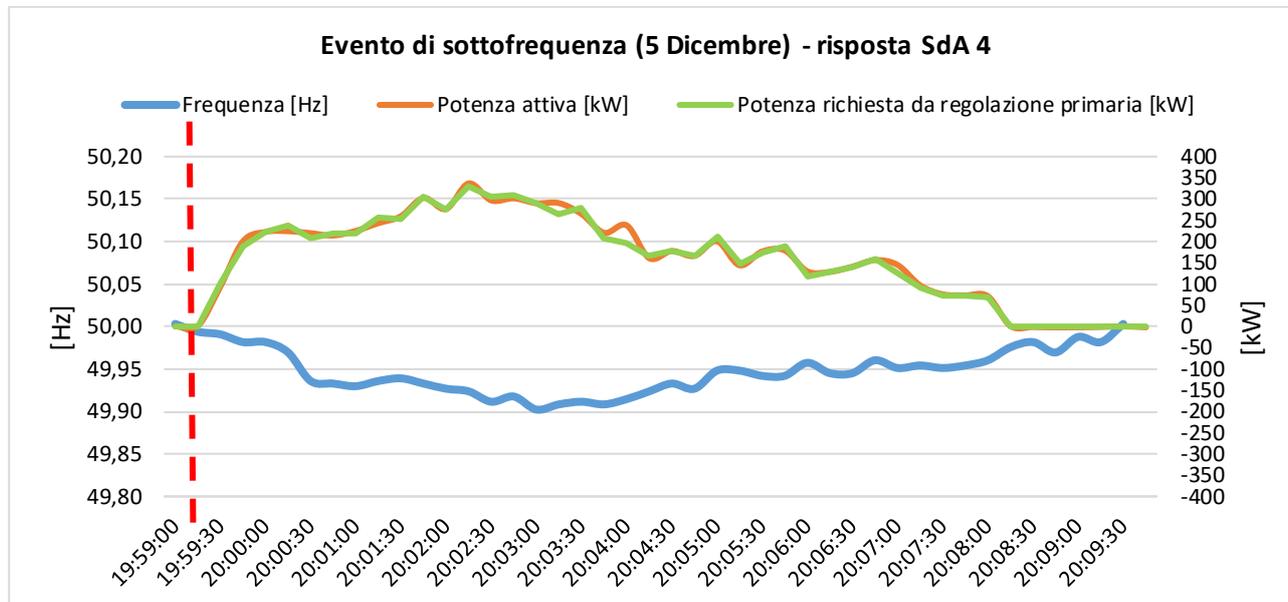


Figura 54 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 1

La Figura 54 mostra la risposta del SdA 1 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. In questo caso, il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 370 kW, richiesta attesa completamente dal SdA. La frequenza nominale viene ristabilita in circa 9 minuti.

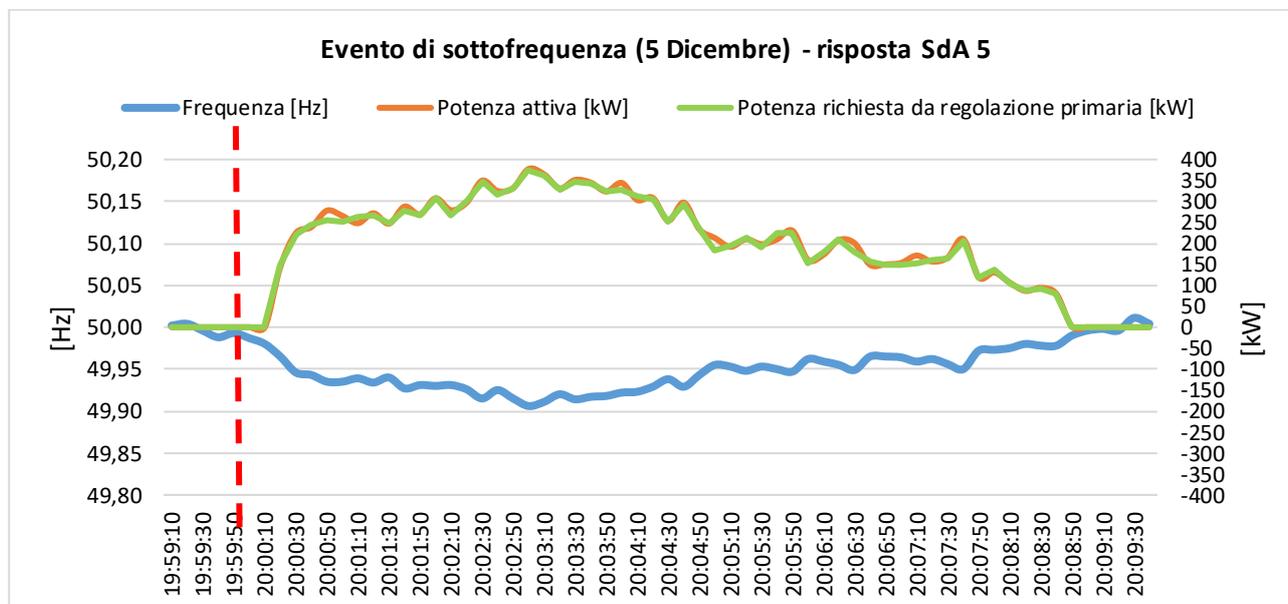
**b) RISPOSTA SdA 4**



**Figura 55 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 4**

La Figura 55 mostra la risposta del SdA 4 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. Il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 330 kW, richiesta attesa anche in questo caso dal SdA. La frequenza nominale viene ristabilita in circa 10 minuti.

**c) RISPOSTA SdA 5**

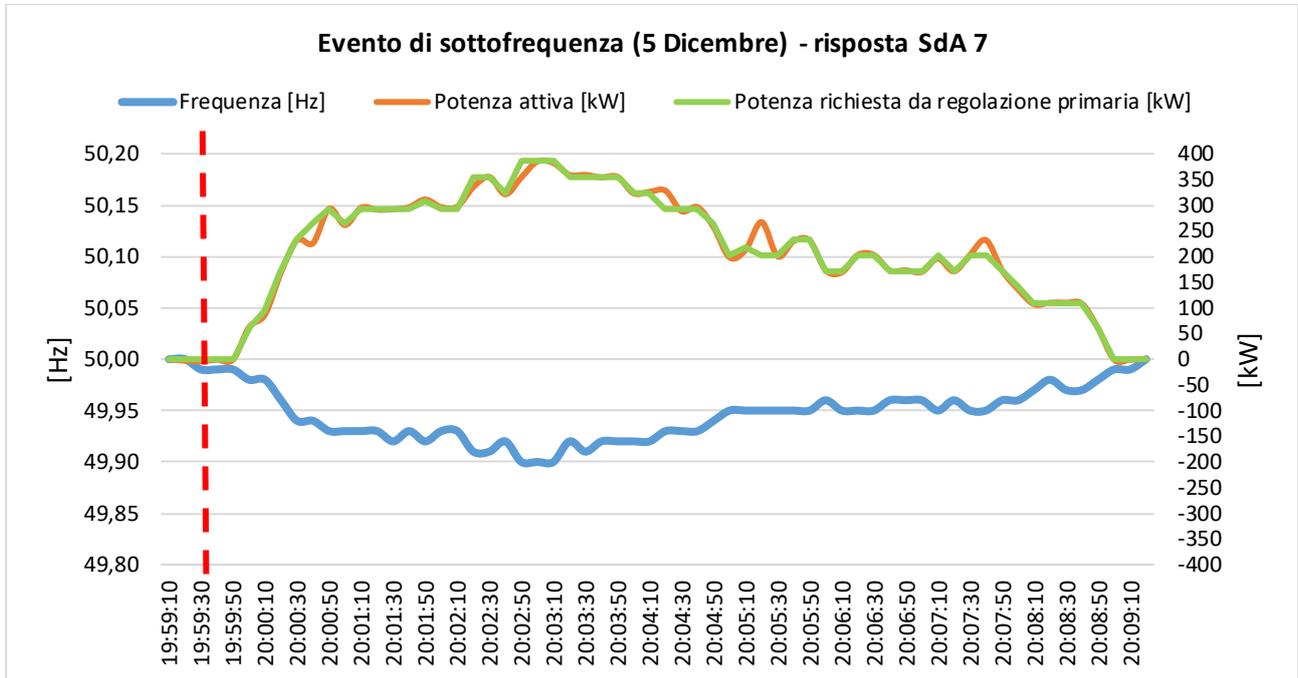


**Figura 56 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 5**

La Figura 56 mostra la risposta del SdA 5 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. Il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 370 kW,

similmente a quanto richiesto al SdA 1. L'erogazione di potenza è perdurata per tutta la durata dell'evento, per poi terminare alle ore 20:08 circa, in corrispondenza del ripristino del valore nominale della frequenza.

**d) RISPOSTA SdA 7**



**Figura 57 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 7**

Dal grafico di Figura 57 è possibile osservare la risposta del SdA 7 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. In questo caso il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 385 kW. La frequenza nominale viene ristabilita in circa 10 minuti.

**Evento Codrongianos 25 Giugno 2017**

Di seguito vengono riportate le risposte di alcuni SdA in servizio durante l'evento di sovralfrequenza (50,21Hz) verificatosi nel sito di Codrongianos alle ore 00:22 del 25 Giugno 2017.

**a) RISPOSTA SdA 1**

La Figura 58 mostra la risposta del SdA 1 al transitorio di sovralfrequenza del 25 Giugno. È possibile notare l'erogazione in parallelo di più servizi, ovvero del bilanciamento e della regolazione primaria di frequenza. Infatti, prima dell'evento di sovralfrequenza il sistema stava erogando una potenza in scarica pari a circa 500 kW in bilanciamento. Al verificarsi dell'evento, il servizio di regolazione primaria di frequenza determina un picco di richiesta di potenza in carica pari a circa 870 kW, attesa dal SdA in maniera congrua passando dallo stato di scarica a quello di carica con un picco di potenza in carica pari a circa 370 kW. Il sistema quindi eroga simultaneamente sia il servizio di bilanciamento che quello di regolazione primaria in quanto richieste soddisfacenti all'interno della propria capability.

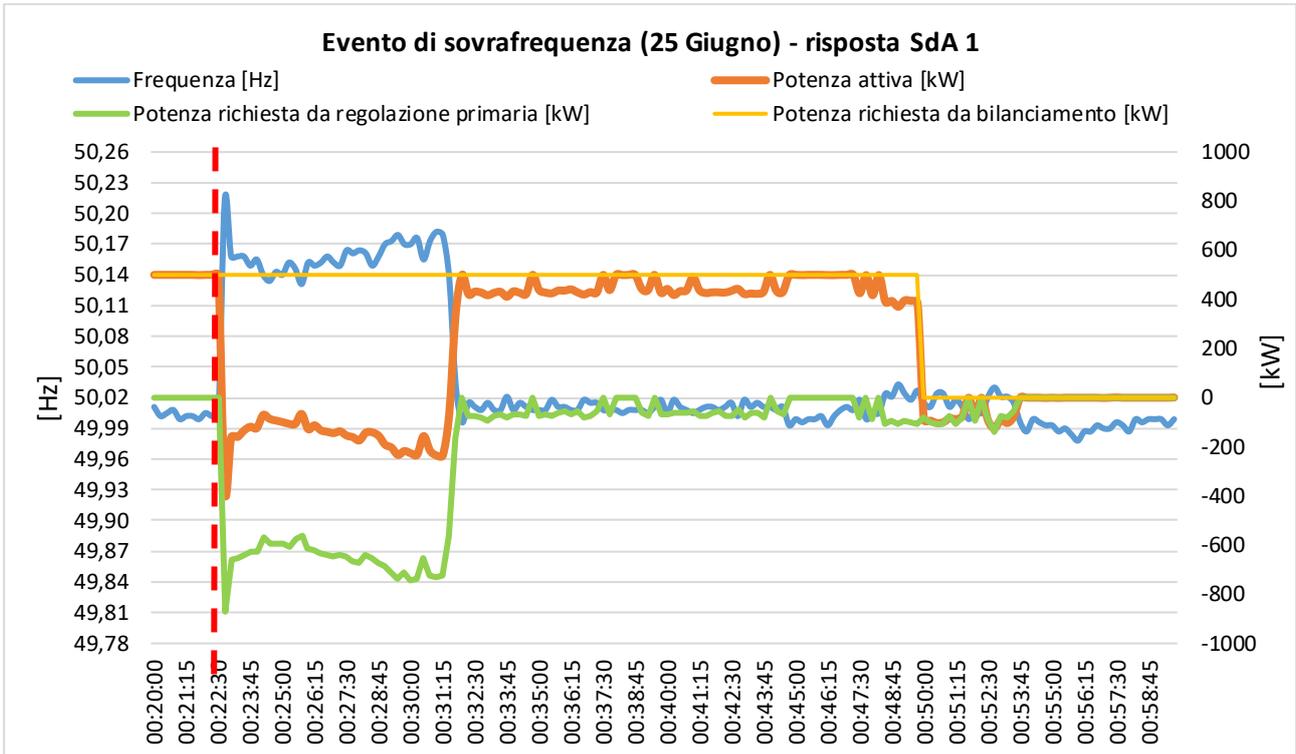


Figura 58 Evento di sovrافrequenza (25 Giugno 2017): risposta SdA 1

**b) RISPOSTA SdA 2**

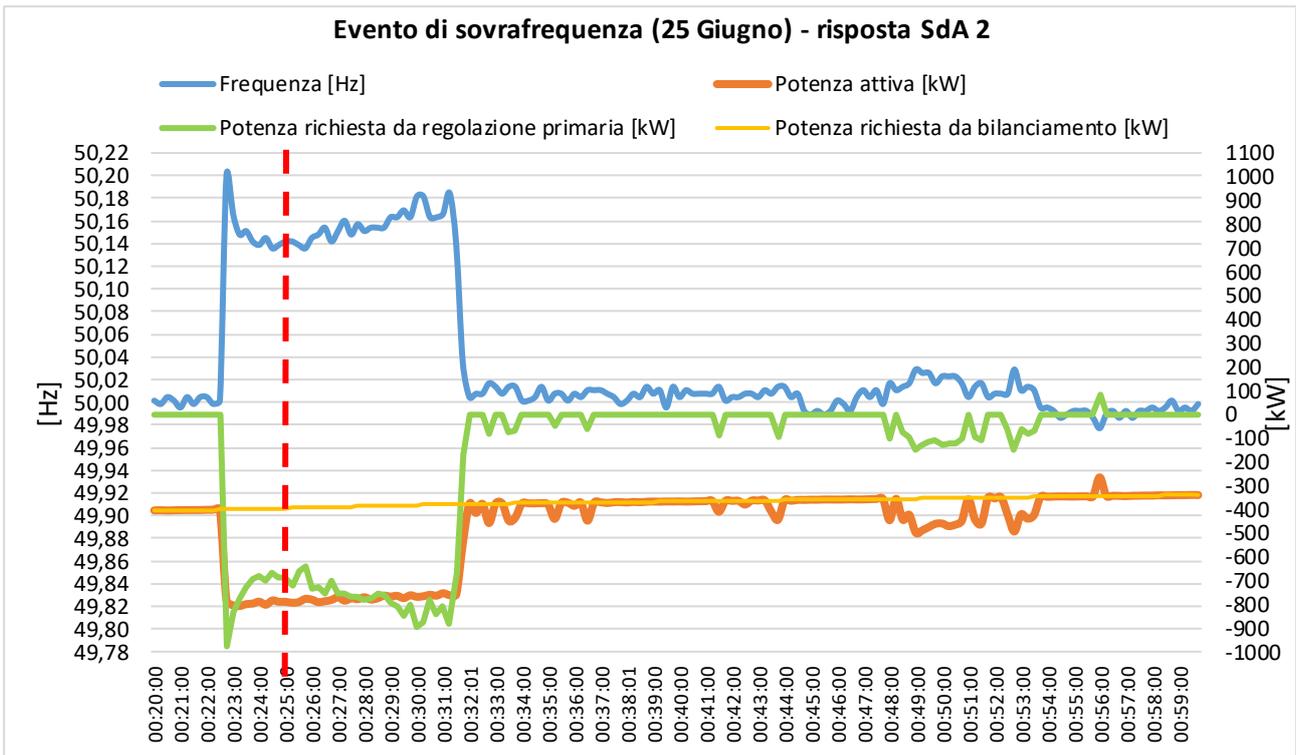
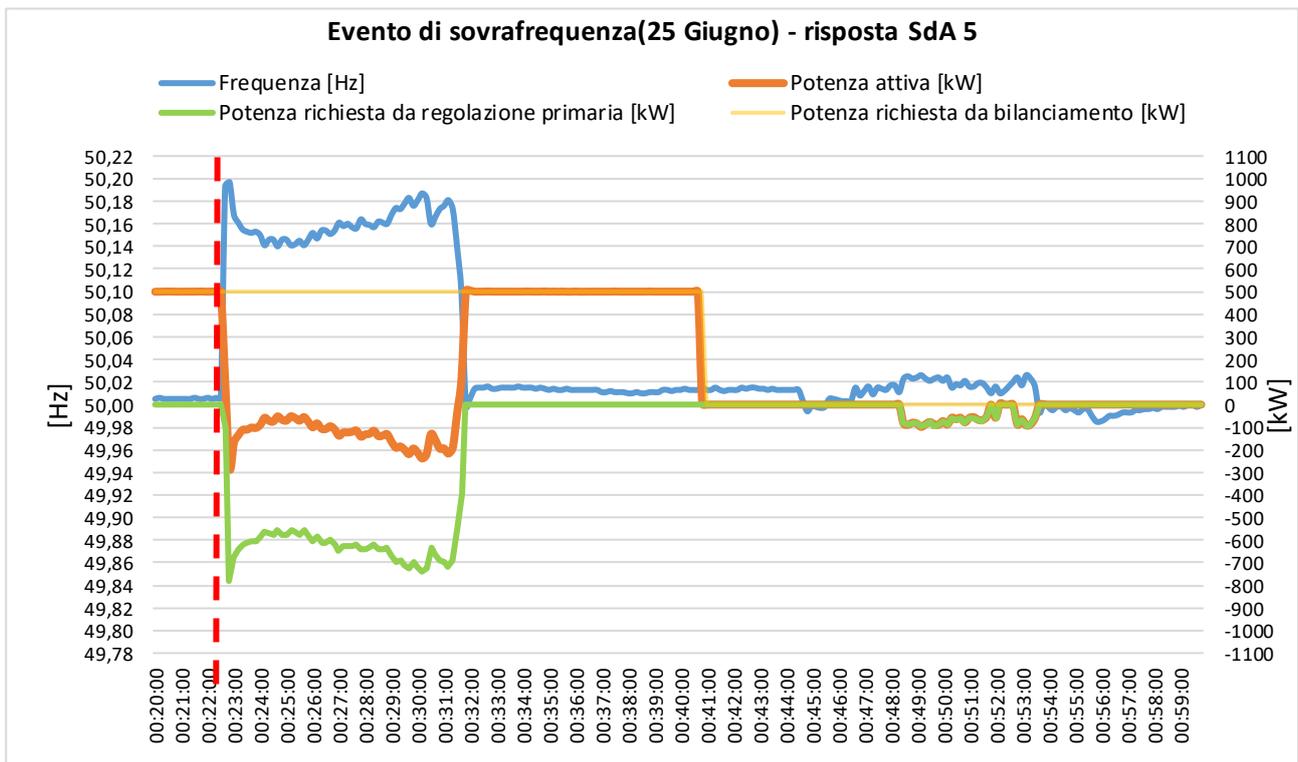


Figura 59 Evento di sovrافrequenza (25 Gennaio 2017): risposta SdA 2

La Figura 59 mostra la risposta del SdA 2 al transitorio di sovralfrequenza del 25 Giugno. È possibile notare anche in questo caso l'erogazione in parallelo del servizio di bilanciamento e di regolazione primaria di frequenza. In questo caso però il bilanciamento richiede una potenza in carica di circa 400 kW. Al verificarsi dell'evento, il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica pari a circa 980 kW, soddisfatta in maniera prioritaria rispetto al bilanciamento, fino al limite consentito dalla capability in carica del sistema. Questa è infatti limitata a circa 800 kW dallo Stato di Carica del SdA 2 pari al 60%, al momento del verificarsi della sovralfrequenza. È interessante inoltre notare come, al ridursi della richiesta del servizio di regolazione primaria di frequenza, il sistema riprenda ad assorbire anche la potenza richiesta dal servizio di bilanciamento in quanto richieste soddisfaccibili contemporaneamente all'interno della propria capability.

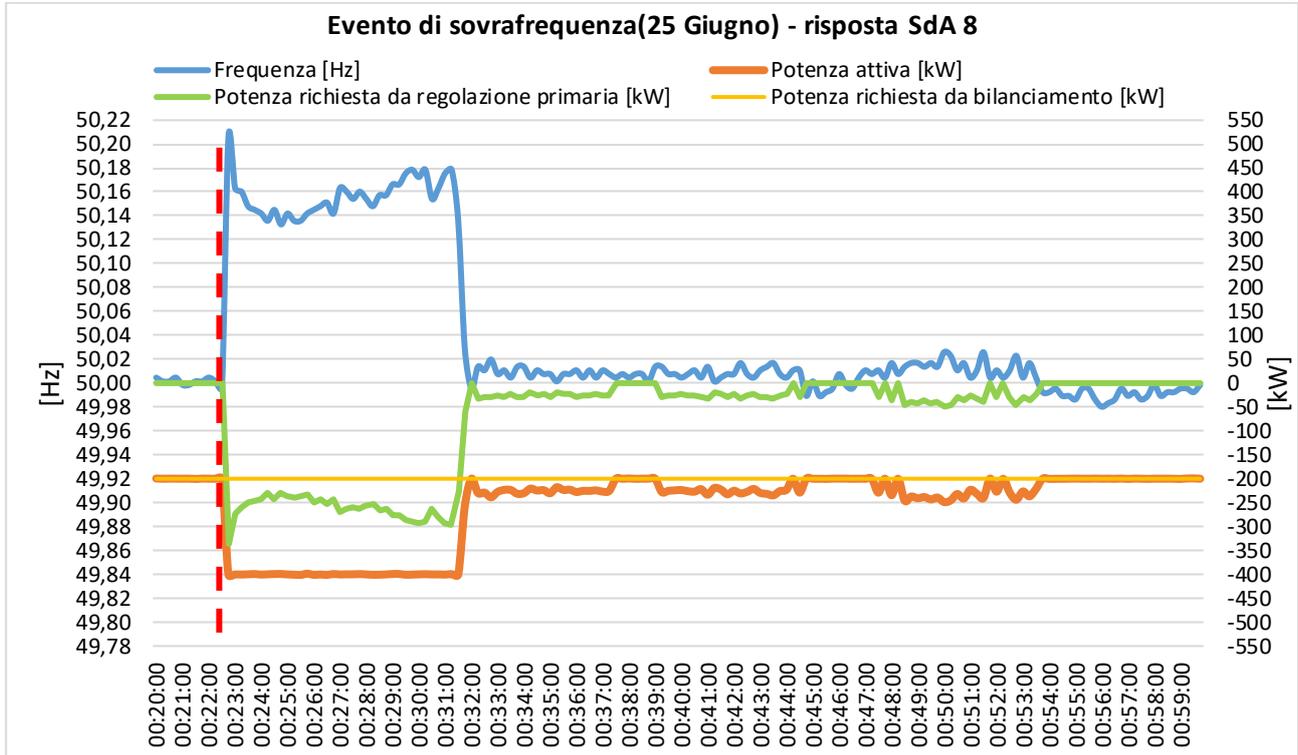
**c) RISPOSTA SdA 5**



**Figura 60 Evento di sovralfrequenza (25 Gennaio 2017): risposta SdA 5**

La Figura 60 mostra la risposta del SdA 5 al transitorio di sovralfrequenza del 25 Giugno. In analogia, al SdA 1, il SdA 5 si trova in scarica in bilanciamento a circa +500 kW, prima del verificarsi della sovralfrequenza, a seguito della quale il servizio di regolazione primaria di frequenza richiede una potenza in carica di circa 800 kW, soddisfatta passando dallo stato di scarica a quello di carica ed assorbendo una potenza di 300 kW. All'annullarsi della richiesta di regolazione primaria di frequenza, il sistema si pone nuovamente in bilanciamento in scarica a 500kW.

**d) RISPOSTA SdA 8**



**Figura 61 Evento di sovrافrequenza (25 Gennaio 2017): risposta SdA 8**

La Figura 61 mostra la risposta del SdA 8 al transitorio di sovrافrequenza del 25 Giugno. Come nel caso precedente del SdA 2, il sistema si trova in stato di carica a 200 kW in risposta alla richiesta del servizio di bilanciamento. Al verificarsi dell’evento il SdA soddisfa prioritariamente la richiesta della regolazione primaria di 336 kW in carica, e in secondo luogo quella del bilanciamento fino al limite consentito dalla propria capability, ovvero 400 kW.

**Evento Ciminna 22 Luglio 2017**

Di seguito viene riportata la risposta di alcuni SdA in servizio durante l’evento di sottofrequenza ( $f_{min}=49,97$  Hz) alle ore 21:27 del 22 Luglio 2017.

**a) RISPOSTA SdA 1**

La figura mostra la risposta del SdA 1 al transitorio di sottofrequenza del 22 Luglio. Al verificarsi dell’evento il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in scarica con picchi fino a circa 200 kW. L’evento è seguito da un successivo evento di sovrافrequenza che determina una richiesta in carica di regolazione primaria pari a circa -180 kW. In questo caso è presente inoltre anche una richiesta di regolazione secondaria, dapprima in scarica e poi in carica. Le richieste simultanee dei due servizi vengono soddisfatte dal SdA per tutta la durata dell’evento, con un andamento della potenza verso la rete che rispecchia la somma delle due richieste.

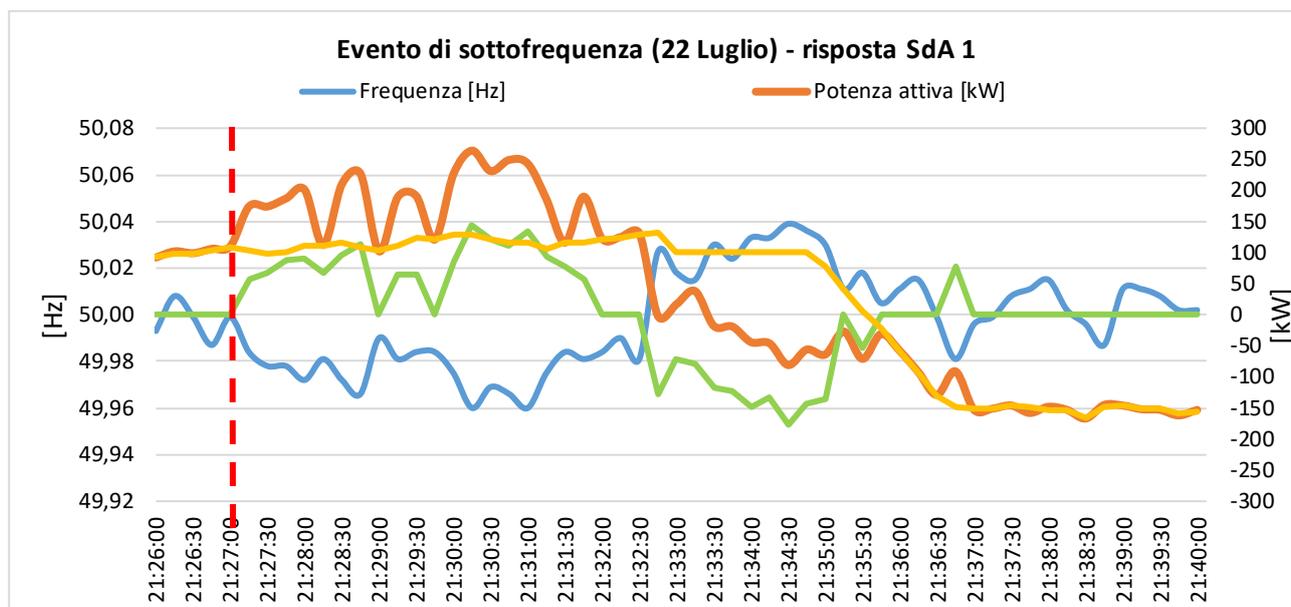


Figura 62 Evento di sottofrequenza (22 Luglio 2017): risposta SdA 1

**b) RISPOSTA SdA 2**

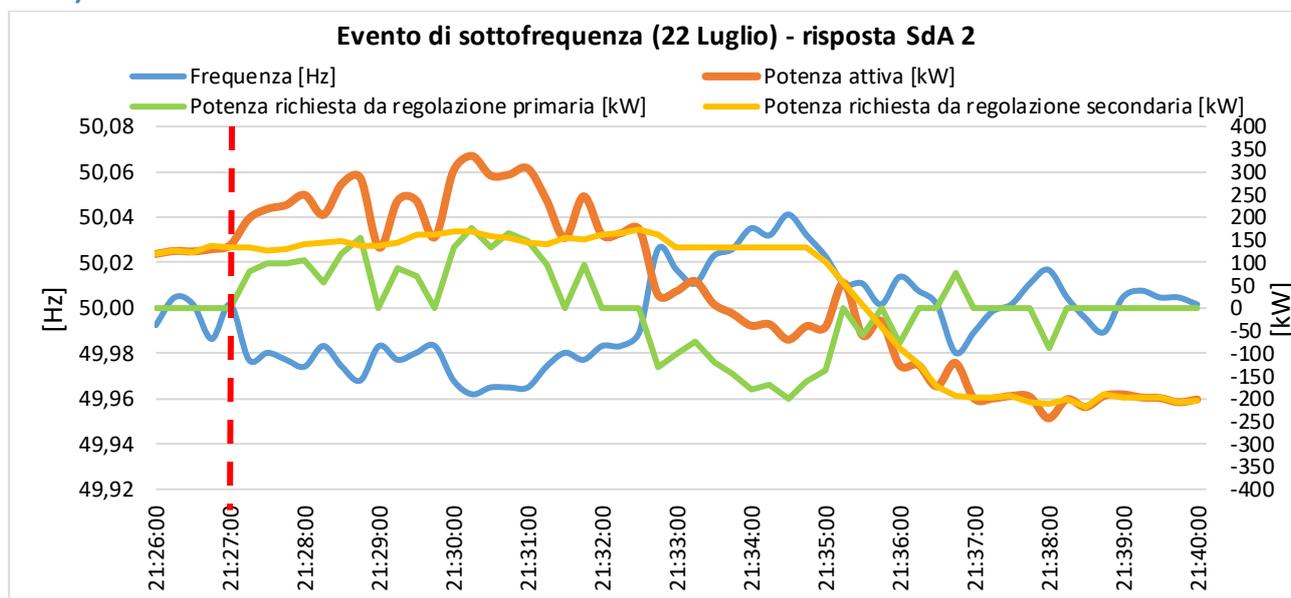


Figura 63 Evento di sottofrequenza (22 Luglio 2017): risposta SdA 2

La figura mostra la risposta del SdA 2 al transitorio di sottofrequenza del 22 Luglio. In analogia a quanto visto per il SdA 1, il SdA 2 risponde alla richiesta di regolazione primaria e secondaria in maniera coerente, con picchi fino a 330 kW in scarica e -200 kW in carica.

Le richieste simultanee dei due servizi vengono soddisfatte dal SdA per tutta la durata dell'evento, con un andamento della potenza verso la rete che rispecchia la somma delle due richieste

9.6 ASSERVIMENTO AL SISTEMA DI DIFESA

**TIME TO PHASE INVERSION**

Scopo del test è quello di verificare la rapidità e stabilità di risposta dei sistemi di accumulo elettrochimico (ESS) a seguito della ricezione del comando di massima erogazione imposto. Si tratta di un test con effettivo scambio di potenza attiva, tale da simulare le azioni richieste e derivanti da un possibile asservimento dei sistemi di accumulo all'architettura del sistema di difesa Terna. Il comando di inversione di fase è infatti eseguito attraverso l'unità UPDM installata in impianto.

Il SdA viene posto in condizioni di carica a potenza nominale (-1000kW) prima del comando da UPDM in maniera tale da richiedere con lo stesso l'inversione a gradino di potenza del sistema, sino al massimo valore in rilascio.

Nella figura seguente è rappresentato sia l'andamento della potenza del SdA (blu) che il comando dell'UPDM (rosso) in maniera tale da poter stimare non solo il tempo di inversione del PCS, ma anche il complessivo tempo di attuazione del comando.

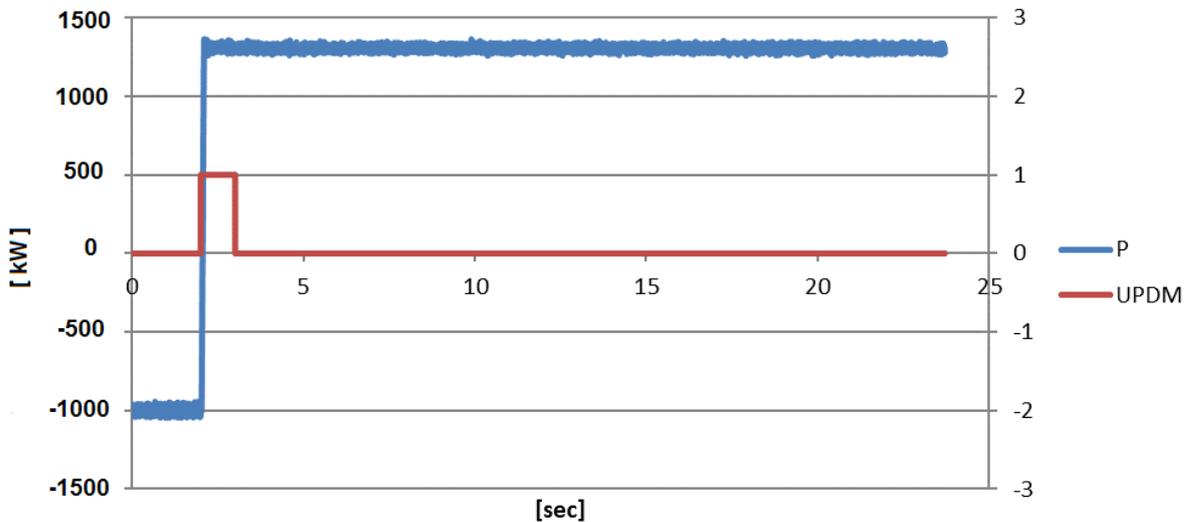


Figura 64 Andamento della potenza a seguito del comando UPDM di massima erogazione

Nella figura successiva è visibile un dettaglio degli andamenti riportati. È possibile verificare come dopo circa 20ms dalla ricezione del comando il PCS inizia a variare potenza, per completare l'inversione (con sovraccarico, abilitato per lo svolgimento della prova) in circa 100ms.

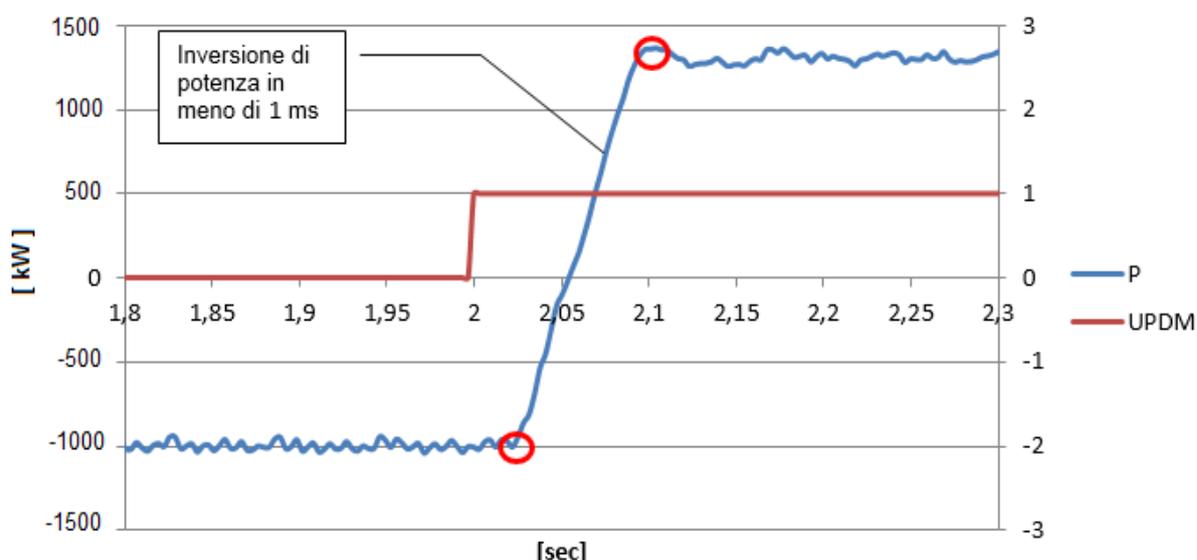


Figura 65 Dettaglio dell'andamento della potenza attiva a seguito del comando UPDM di massima erogazione

## INTEGRAZIONE DEI SISTEMI DI ACCUMULO CON ALTRE RISORSE

Nell'ambito degli effetti di manovre e interazioni con altri convertitori presenti in rete si riportano i risultati dei test effettuati il 29 Novembre 2015 in Sardegna. L'obiettivo della prova effettuata è quello di utilizzare quattro SdA dello Storage Lab di Codrongianos per sostenere il funzionamento di una rete in isola, mantenendo in esercizio il Compensatore Sincro tramite i sistemi di accumulo stessi. I sistemi di accumulo sostengono il sistema in isola il tempo necessario al ripristino delle condizioni normali di funzionamento e al conseguente pieno accesso alle risorse offerte dalla RTN.

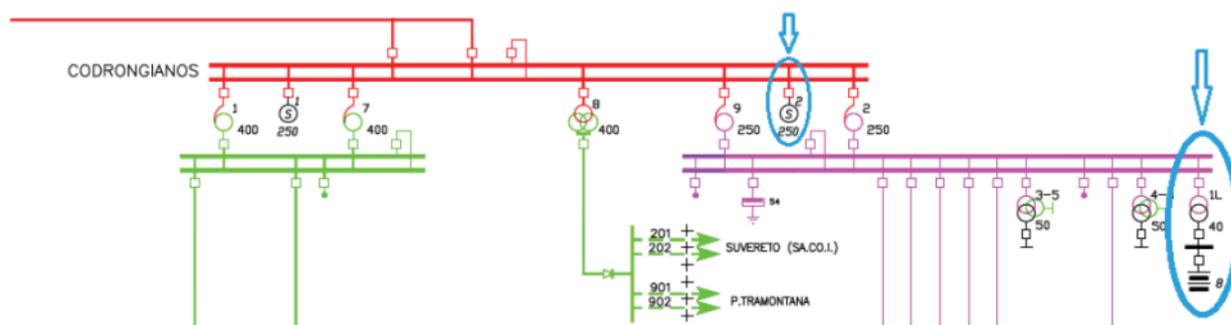


Figura 66 Schema unifilare d'impianto del sito di Codrongianos

In figura sono evidenziati il compensatore sincrono ed il sistema di accumulo.

La prova, che nel suo complesso ha fornito un esito positivo, ha avuto una durata complessiva di 35 minuti.

La figura seguente mostra l'andamento della frequenza, all'atto dell'apertura dell'interruttore di parallelo delle due sbarre A e B (formazione dell'isola), sulla porzione di rete formata da:

- Compensatore sincrono (250 MVA)
- Autotrasformatore 380/150 kV (250 MVA)

- Trasformatore 150/15 kV (40 MVA)
- Sistemi di sbarre (sbarra A) 380 kV/150 kV
- SSdA

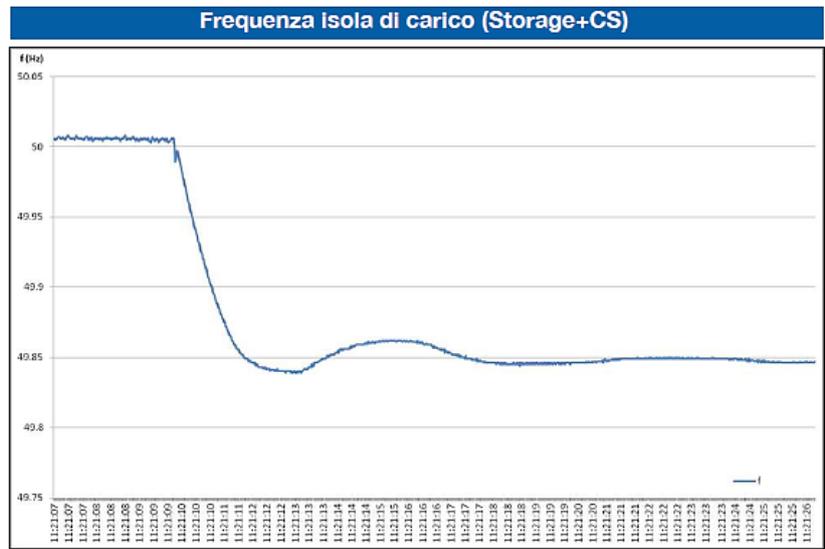


Figura 67 Andamento della frequenza vista dal compensatore all'apertura dell'interruttore di parallelo sbarre

Le due figure seguenti, invece, riportano gli andamenti della tensione e della frequenza sulle due sbarre all'atto della richiusura dell'interruttore di parallelo (fase finale della prova).

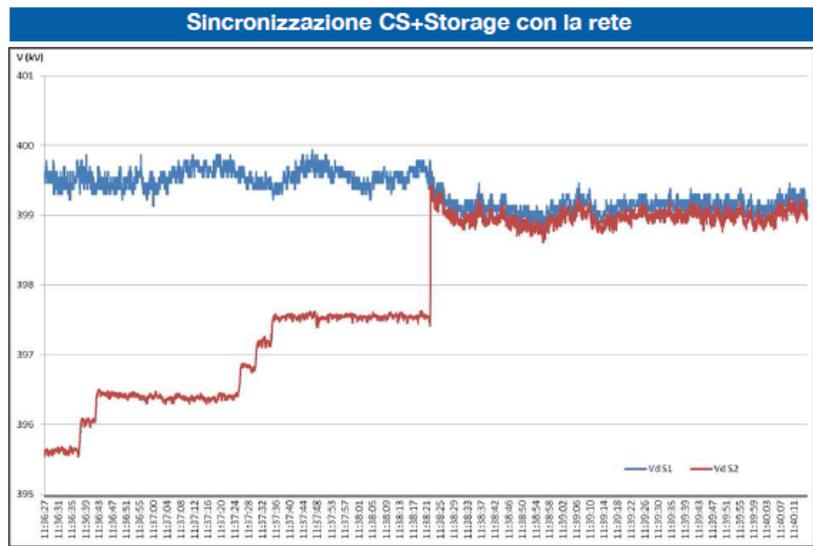
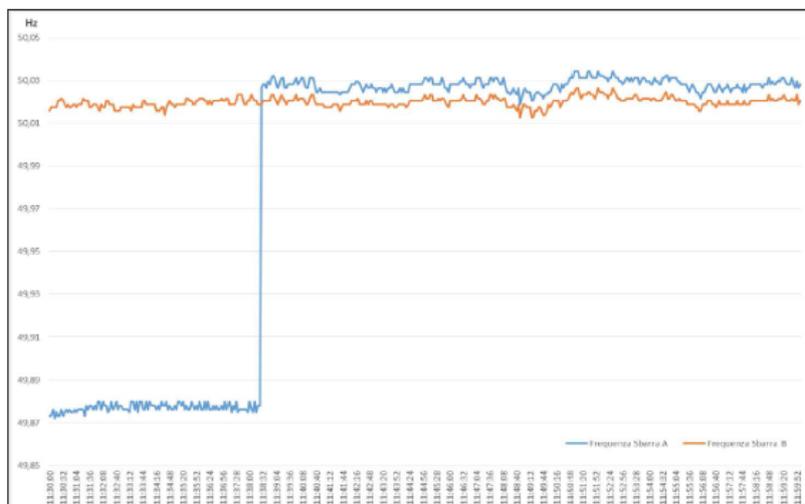
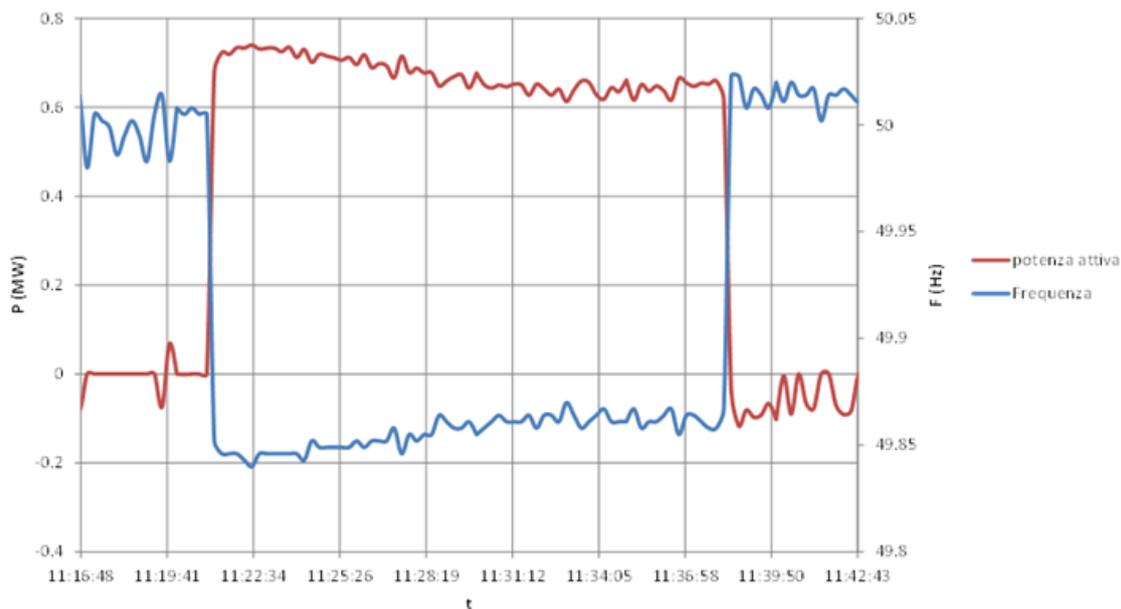


Figura 68 Tensione e frequenza all'atto della chiusura dell'interruttore di parallelo tra le sbarre A e B



**Figura 69 Tensione e frequenza all'atto della chiusura dell'interruttore di parallelo tra le sbarre A e B**

Le registrazioni “lente” dei sistemi di misura e monitoraggio in sito evidenziano la coerenza dei contributi di potenza attiva fornita dai vari sistemi con il profilo di frequenza. Di seguito, a titolo esemplificativo, sono riportati i contributi di uno dei SdA.



**Figura 70 Risposta del PCS SdA 2: andamenti di frequenza e potenza attiva**

Di seguito, invece, vengono riportate le registrazioni oscillografiche (cd. “veloci”) delle protezioni dell’ATR 400/150 kV di Codrongianos nelle varie fasi della prova:

1. Creazione dell’isola (apertura del K a 380 kV di Codrongianos);
2. Funzionamento in isola “a regime”;
3. Riconnessione con la rete.

### 1. Creazione dell'isola

La figura seguente mostra come, all'apertura dell'interruttore, il compensatore inizi a rallentare con un gradiente di circa 0,13 Hz/s; dopo circa 500 ms le batterie erogano la potenza attiva richiesta per fermare la variazione di frequenza; dopo 3 s il transitorio si è concluso con una frequenza attestata a  $\approx 49,85$  Hz e una deviazione di  $\approx 0,3\%$ .

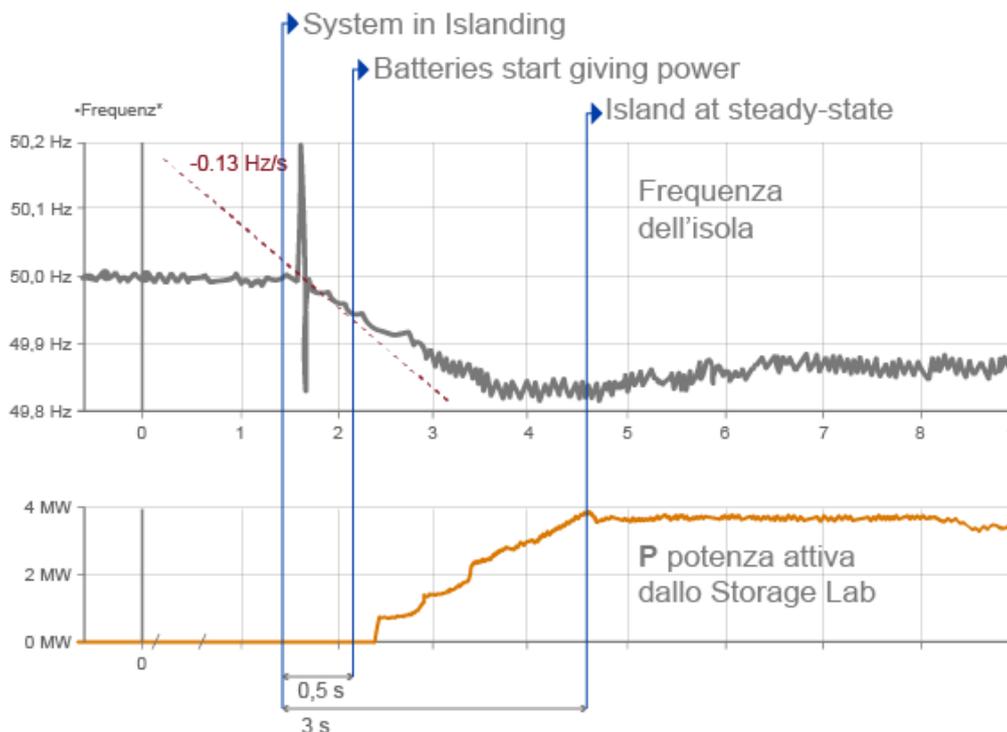


Figura 71 Frequenza e potenza attiva registrate all'atto della formazione dell'isola

### 2. Funzionamento in isola a regime

Le figure seguenti riportano rispettivamente l'andamento istantaneo della frequenza, e l'andamento istantaneo delle tensioni di fase, durante il funzionamento in isola a regime.

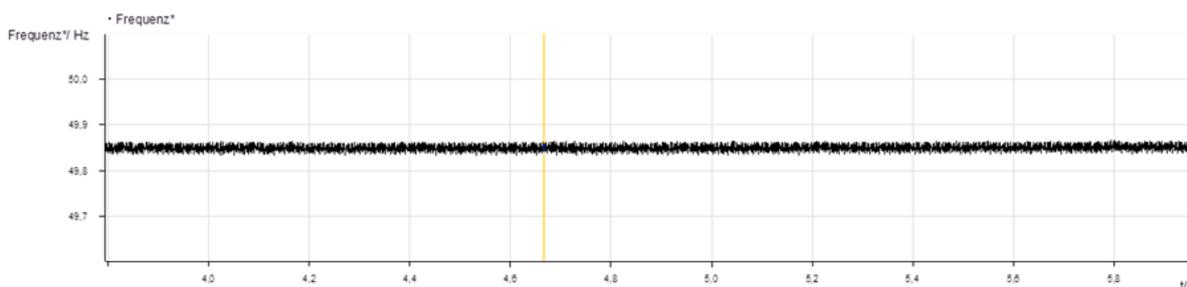


Figura 72 Andamento istantaneo della frequenza durante il funzionamento in isola a regime

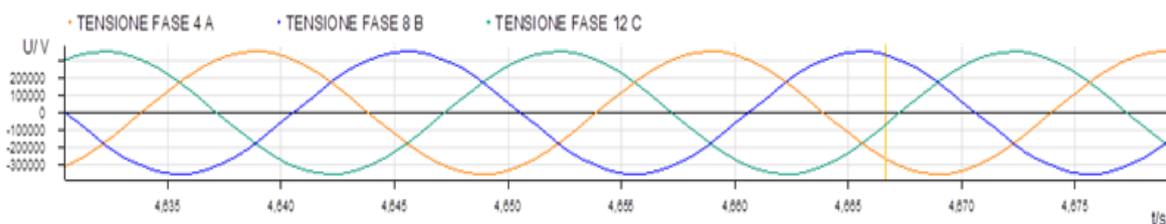


Figura 73 Andamento istantaneo delle tensioni di fase durante il funzionamento in isola a regime

Le due figure permettono di apprezzare la stabilità della frequenza ed il livello di qualità delle tensioni durante il funzionamento a regime.

### 3. Riconnessione alla rete

Le figure seguenti riportano rispettivamente l'andamento istantaneo della frequenza, e l'andamento istantaneo di potenza attiva e reattiva, all'atto della richiusura dell'interruttore di parallelo.

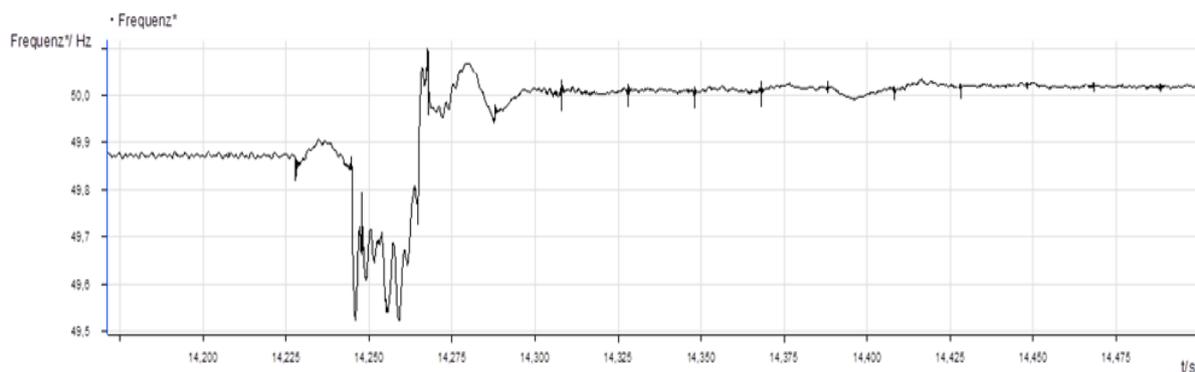


Figura 74 Andamento istantaneo della frequenza all'atto della richiusura dell'interruttore di parallelo

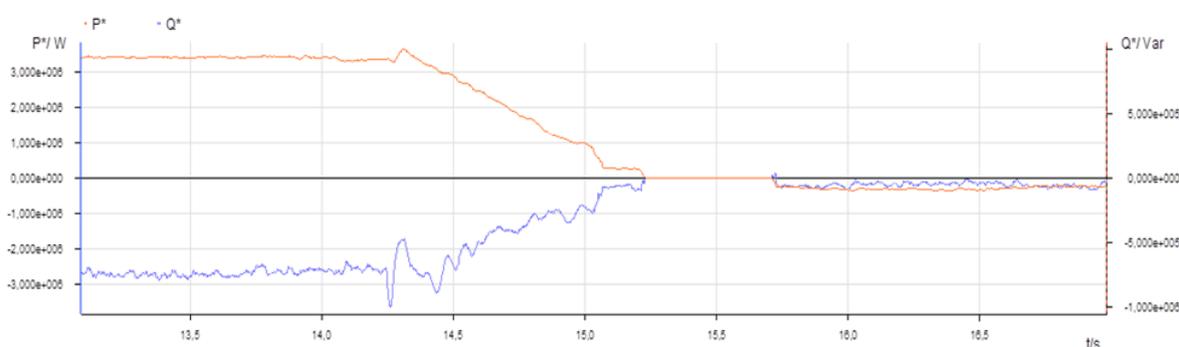


Figura 75 Andamento istantaneo di potenza attiva e reattiva all'atto della richiusura dell'interruttore di parallelo

Per concludere, i parametri misurati confermano l'esito positivo della prova effettuata e la potenzialità del sistema storage-compensatore venutasi a creare. Di fatto, è stato creato un mini-sistema dotato di inerzia meccanica sintetica con estrema rapidità di regolazione della frequenza e della riserva reattiva.

La SSdA è stata in grado di sostenere la porzione di rete isolata grazie alla tempestiva attivazione della regolazione primaria di frequenza.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

Come mostrato nei grafici precedenti, i tempi di risposta della SSdA per il controllo della frequenza sono stati ottimi, come anche gli andamenti delle tensioni durante il funzionamento dell'isola a regime. La SSdA ha quindi garantito il funzionamento del compensatore sincrono entro i limiti di esercizio richiesti.

## 10. COSTI SOSTENUTI

Nella tabella seguente si presentano i costi di investimento sostenuti da Terna dall'avvio del progetto fino al 31 dicembre 2019 per i due impianti pilota di Codrongianos e Ciminna. Tali costi sono legati all'installazione dei sistemi batteria (batterie, impianto di potenza, OOCC e progettazione, sicurezza e altri servizi), all'esecuzione dei test sui moduli batteria da parte dei laboratori commissionati e al costo del personale.

<b>COSTI DI INVESTIMENTO – PROGETTO PILOTA STORAGE LAB</b>
<b>Progressivo al 2019 [k€]</b>
<b>~ 44.300</b>

Tabella 19 Costi investimento – Progressivo al 31/12/2019

In Tabella 20 si riporta infine il prospetto dei costi operativi legati alle attività di O&M, sia ordinaria che straordinaria, sostenuti fino all'anno 2019 di sperimentazione. Tale voce rappresenta i costi operativi del personale sostenuti per garantire l'esercizio dei sistemi e i costi legati agli interventi di reperibilità su guasto, riparazioni e controlli non programmati. Dall'anno 2018, in tale voce sono imputati anche i costi legati alle attività svolte dai fornitori e all'acquisto di apparecchiature sostituite per guasto/anomalia. Si ricorda infatti che le garanzie biennali di esercizio sono scadute per quasi la totalità dei sistemi nel corso del secondo semestre 2017.

	<b>COSTI PER IMPIANTO STORAGE LAB</b>
<b>DESCRIZIONE</b>	<b>Progressivo al 2019 [€]</b>
Attività O&M	<b>€ 126.000 ÷ € 225.000</b>

Tabella 20 Prospetto costi O&M Storage Lab – Progressivo al 31/12/2019

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

## 11. CONCLUSIONI

Il presente documento riporta gli esiti principali della sperimentazione condotta durante il triennio di sperimentazione sulle unità di accumulo presenti nei due progetti pilota Storage Lab di Codrongianos e Ciminna, nonché sui moduli testati in laboratorio.

Sfruttando l'analisi comparata in riferimento agli esiti della sperimentazione riportata nei precedenti rapporti annuali, tale documento è predisposto fornendo aggiornamenti sui tre segmenti principali:

1. esiti dei test condotti in laboratorio su moduli rappresentativi delle tecnologie installate in sito;
2. reportistica delle prove periodiche effettuate in sito sulle unità di accumulo;
3. analisi dell'esercizio continuativo delle unità di accumulo in sito;

Relativamente alle attività di sperimentazione condotte presso i laboratori, si riportano gli esiti dei test condotti durante i tre anni di sperimentazione. Viene proposto il confronto tra il decadimento delle prestazioni dei moduli, mostrando le curve di invecchiamento di ciascun modulo a seguito dei test basati su cicli standard, sui cicli di regolazione di frequenza e su cicli a gradini di corrente.

Allo stato attuale risulta ancora in corso il solo test su ciclo a gradini di corrente per il SdA 7.

Le evidenze della sperimentazione relative ai test di invecchiamento su cicli standard dimostrano che (a parità di cicli equivalenti considerati):

- il SdA 7 e il SdA 5 hanno subito il degrado minore in termini di energia scaricabile tra i sistemi a base Litio;
- il SdA 4, dopo i 3000 cicli equivalenti previsti dal test, presenta una capacità residua inferiore al valore soglia di DOD dell'80%, e pari infatti al 76%, dimostrandosi la tecnologia di accumulo con le performance peggiori in termini di invecchiamento sul ciclo standard tra quelle approvvigionate;
- il SdA 2 a tecnologia Zebra è caratterizzato da un degrado della capacità energetica trascurabile per effetto dell'esecuzione continuativa del ciclo standard, mentre il SdA 3 di medesima tecnologia evidenzia un rapido invecchiamento a partire dal 700-esimo ciclo.

Relativamente ai risultati dei test di invecchiamento su ciclo di frequenza, si possono desumere le seguenti risultanze:

- le tecnologie Litio meno affette dall'esecuzione continua del ciclo (caratterizzato da un numero elevato di inversioni di potenza) sono il SdA 5 e il SdA 7, non influenzate dalla tipologia di ciclo e dalle sue caratteristiche in termini energetici e di potenza. Esse infatti mostrano lo stesso tasso di decadimento dell'energia scaricabile per entrambi i test di invecchiamento;
- il degrado maggiore è riscontrato per i SdA 6 e SdA 1, che soffrono in maniera molto più marcata l'esecuzione continuativa del ciclo di regolazione di frequenza rispetto a quello standard;
- non è possibile trarre conclusioni definitive sul comportamento dell'SdA 4 quando sottoposto al ciclo di regolazione di frequenza, a causa del numero ridotto di cicli effettuati (circa un ordine di grandezza inferiore rispetto a quello delle altre tecnologie Litio);

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

- le tecnologie Zebra non mostrano un invecchiamento evidente in termini di riduzione della capacità scaricabile rispetto a quella nominale.

In relazione ai risultati dei test di invecchiamento su cicli a gradini di corrente, sono emerse le seguenti evidenze:

- i sistemi SdA 1 e SdA 7 mostrano, tra le tecnologie Litio, il tasso più basso di decadimento dell'energia scaricabile a parità di cicli equivalenti. Si ricorda tuttavia che il SdA 7 ha eseguito un numero di cicli equivalenti inferiore rispetto alle altre tecnologie Litio, pari a circa 326 cicli equivalenti, poiché il test è ancora in corso;
- a parità di cicli equivalenti eseguiti, il SdA 6, il SdA 4 e il SdA 5 mostrano un degrado delle performance superiori rispetto all'SdA 1;
- i due sistemi a tecnologia Zebra, presentano un ridotto decadimento delle performance in termini di riduzione della capacità scaricabile rispetto a quella nominale, in linea con quelle ottenute per il SdA 1 e SdA 7.

Sinteticamente, i risultati dei test di laboratorio finora condotti dimostrano come il SdA 4 sia risultato quello più problematico relativamente sia alla gestione in sicurezza di determinate condizioni di abuso sia al degrado delle prestazioni derivato dall'esecuzione continuativa dei cicli standard. La non ottimale realizzazione del modulo e del relativo BMS ha inoltre impedito l'esecuzione corretta del test di invecchiamento sul ciclo di regolazione di frequenza, non consentendo di ottenere un numero sufficiente di dati per svolgere un corretto confronto con le altre tecnologie.

In generale, dall'analisi comparata svolta, è evidente, come alcune tecnologie presentino un invecchiamento maggiore rispetto ad altre, qualora dedicate ad applicazioni che richiedano frequenti inversioni di potenza (es. regolazione primaria di frequenza). Si consideri ad esempio il SdA 1, il quale presenta un invecchiamento sensibilmente più marcato rispetto al SdA 5 della medesima famiglia tecnologica. I ruoli tra i due SdA si invertono quando sottoposti a ciclo a gradini di corrente, caratterizzato da uno scambio di volumi energetici maggiori rispetto al primo ciclo ma con minore sollecitazione in termini di frequenza di inversioni di potenza. Il solo SdA 7 mostra un debole legame tra l'invecchiamento e le caratteristiche del ciclo di test, attestandosi come il sistema dal più elevato *Life Time*.

È perciò possibile affermare che il degrado della capacità nominale per ciascuna tecnologia è fortemente influenzato dal pattern di utilizzo (forma del profilo di scambio di potenza, numero di inversioni, ciclaggio continuativo o con presenza di stand-by, etc.), e anche tecnologie caratterizzate da chimiche molto simili possono presentare, a parità di ciclo, un degrado della vita utile molto differente. Tuttavia, appare evidente che il numero cicli vita indicati dal fornitore nelle specifiche tecniche di prodotto e/o in fase di gara possa trovare applicazione solo per uno specifico e ben preciso pattern di utilizzo, al di fuori del quale le prestazioni della tecnologia possono essere notevolmente differenti.

Parallelamente, sono state condotte in sito varie attività di test, allo scopo di valutare mediante una sperimentazione sul campo il degrado delle prestazioni dei SdA a seguito delle strategie di esercizio implementate, sia in termini di energia scaricata e di rendimento energetico sia in termini di risposta dinamica e di regime a determinate perturbazioni. In particolare, sono stati riscontrati rendimenti

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

comprensivi delle perdite nel range 80-93% per le tecnologie Lithium-based, e nel range 77-79% per la tecnologia Zebra SdA 2. Si presentano invece gravosi fenomeni di degrado delle prestazioni sul sistema a tecnologia Zebra SdA 3. I risultati dell'ultimo semestre 2017 hanno infatti mostrato un ulteriore invecchiamento, già osservato durante il test svolto nel 1H 2016, con una riduzione della capacità residua pari al 63%.

Tale risultato mette in evidenza come l'esercizio continuativo per il servizio di regolazione primaria abbia dato luogo ad un degrado delle prestazioni dell'SdA 3 molto diverso rispetto a quello ottenuto durante il test di invecchiamento in laboratorio sul ciclo di regolazione di frequenza, in cui si è registrato un degrado del 2% dopo circa 400 cicli equivalenti. Questa differenza è probabilmente riconducibile al limitato numero di cicli eseguiti in laboratorio rispetto a quelli effettivamente svolti durante l'esercizio continuativo. È evidente dunque come tale tecnologia non sia adatta per applicazioni in regolazione di frequenza, come quelle richieste dalla attuale sperimentazione.

Dall'analisi comparata tra i risultati ottenuti in laboratorio a seguito del test di invecchiamento a cicli di regolazione di frequenza, il cui obiettivo è quello di simulare un utilizzo continuativo dedicato al servizio di regolazione primaria di frequenza, e i risultati ottenuti in sito a Codrongianos a seguito delle campagne di test di rendimento condotte sui SdA, eserciti durante l'intero periodo di sperimentazione con il solo servizio di regolazione primaria attiva, è emerso come l'SdA 7 e SdA 5 abbiano mostrato, in entrambi i test, il minor tasso di decadimento dell'energia scaricabile. In particolare, i sistemi hanno presentato in laboratorio un tasso di decadimento non significativo (0% e 4% rispettivamente), ed in sito una riduzione della capacità residua pari rispettivamente all'1% e 6%.

I risultati ottenuti presso il sito di Ciminna risultano al momento difficilmente confrontabili con i dati misurati durante i test di invecchiamento, anche in considerazione dell'attivazione discontinua dei servizi di rete che ha caratterizzato il sito di Ciminna durante l'anno 2016 di sperimentazione. Pertanto, per un confronto più di dettaglio, occorre attendere un periodo di sperimentazione più significativo per quanto riguarda i test grid-scale.

In merito all'analisi dell'esercizio continuativo delle unità di accumulo, vengono valutati in particolare: la disponibilità annuale e i rendimenti netti e lordi semestrali.

In relazione al livello di disponibilità si segnala un valore in crescita del SSdA di Codrongianos, che passa dall'85,4% dell'anno 2016 all'88,5% dell'anno 2017, per via di un decremento delle indisponibilità da parte di tutte le tecnologie, a meno dell'SdA 2 che manifesta un incremento dell'indisponibilità di circa un punto percentuale. Si evidenzia che l'indisponibilità registrata durante l'anno 2017 è fortemente influenzata dalla tecnologia flusso SdA 8, entrato in esercizio il 23 dicembre 2016, il quale ha contribuito in maniera evidente sul totale delle ore di indisponibilità. Al netto del sistema flusso, la disponibilità della SSdA sarebbe pari a 92,5%. Si segnala a tal proposito un evidente fermo impianto del sistema summenzionato, pari a circa 5 mesi. Il sistema non è stato ripristinato prima di tale periodo per via del fallimento del fornitore, avvenuto ad agosto 2017.

Per il sito di Ciminna si segnala un drastico calo della disponibilità della SSdA che passa dal 91,2% del primo anno di sperimentazione, al 57,8% del secondo anno. Tale risultato è fortemente influenzato dalla crescita delle indisponibilità di tutte le tecnologie, eccetto il SdA 1. Le tecnologie che hanno influito in misura maggiore all'incremento delle ore di indisponibilità sono il SdA 9 e SdA 5.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

In generale, tra i fornitori con tecnologia al litio si evidenziano le ottime performance in termini di disponibilità dell'SdA 5 e dell'SdA 7 a Codrongianos, e dell'SdA 1 a Ciminna. Di contro, come sopra riportato, entrambi i sistemi a tecnologia flusso sono stati caratterizzati dal maggior tasso di indisponibilità.

Il confronto delle indisponibilità tra la SSdA di Codrongianos e la SSdA di Ciminna mette quindi in evidenza un divario piuttosto consistente tra le disponibilità semestrali dei due impianti. Tuttavia, è necessario far notare che i guasti più impattanti sulla SSdA di Ciminna sono dovuti ad anomalie sulla gestione delle stringhe e dei container con conseguenti indisponibilità del PCS e dello SCI del sistema ed anomalie degli ausiliari di sistema. Si tratta quindi di indisponibilità con carattere di casualità, pertanto non riscontrate presso il sito di Codrongianos. Nel caso dell'SdA 9 a tecnologia flusso, le elevate indisponibilità sono dovute ad anomalie costruttive e di assemblaggio del sistema ed anomalie/guasti sugli stack di conversione e sul sistema di controllo integrato. Il SdA 9 è tuttavia presente solo a Ciminna e le indisponibilità di cui è stata affetta non trovano pertanto un riscontro diretto presso il sito di Codrongianos.

La valutazione delle performance dei SdA in esercizio continuativo in termini di rendimento netto e lordo è fortemente influenzata dall'attivazione o meno del servizio di regolazione secondaria di frequenza. Tale servizio è stato infatti attivato sperimentalmente solo presso il sito di Ciminna. Proprio per tale motivo, il sito di Ciminna presenta un rendimento nettamente superiore rispetto a quello di Codrongianos.

Nonostante il rendimento rappresenti un indice sintetico e importante per l'analisi e la valutazione delle performance delle diverse tecnologie, i soli rendimenti di esercizio non sono tuttavia sufficienti per la valutazione delle performance degli SdA in asservimento alla rete di trasmissione nazionale. Infatti, per la metodologia di calcolo applicata, i valori più bassi ottenuti per l'impianto di Codrongianos sono sostanzialmente riconducibili ai ridotti volumi di energia scambiata per l'erogazione del solo servizio di regolazione primaria di frequenza e alle perdite che devono essere sostenute per il mantenimento di tale servizio di regolazione. In questo caso, la valutazione delle prestazioni dei sistemi di accumulo non deve tenere in considerazione solo i volumi di energia scambiata, e quindi il rendimento, ma deve considerare soprattutto il beneficio derivante dall'attivazione continuativa e permanente del servizio di regolazione primaria e dalla disponibilità e funzionamento continuativo dei SdA in riserva primaria.

Allo scopo di analizzare le potenzialità delle tecnologie installate e l'innovatività dei servizi e delle funzioni implementate, sono riportati alcuni casi di utilizzo dei sistemi di accumulo in risposta ad eventi reali di entità rilevante. Gli eventi analizzati hanno permesso di dimostrare la capacità dei sistemi di accumulo di fornire, con ottime prestazioni nella risposta alle variazioni di frequenza, il servizio di regolazione primaria di frequenza ed il servizio di regolazione secondaria di frequenza.

**APPENDICE A**
**MODULE SCALE - TEST DI INVECCHIAMENTO**

I test di invecchiamento sono finalizzati a comprendere i principali fattori che possono aver impatto sul decadimento delle principali prestazioni dei moduli batterie durante il loro utilizzo per applicazioni di supporto alla gestione delle reti. A tal fine, i test di invecchiamento sono condotti su tre differenti tipologie di cicli: ciclo standard, ciclo di regolazione di frequenza e ciclo a gradini di corrente.

**Test di invecchiamento - Cicli standard**

Durante la fase di gara si è reso necessario individuare un ciclo, definito “standard”, da utilizzarsi per comparare in maniera uniforme le diverse tecnologie approvvigionate. Il ciclo è stato definito senza il supporto di alcuno standard specifico per i sistemi grid-scale, poiché non disponibili ai tempi della gara.

Il ciclo, come definito nella specifica tecnica di gara, presenta le seguenti caratteristiche:

1. Scarica a potenza nominale, con DOD 80%;
2. Carica completa a potenza nominale;
3. Nessuna fase di stand-by tra una fase e l'altra.

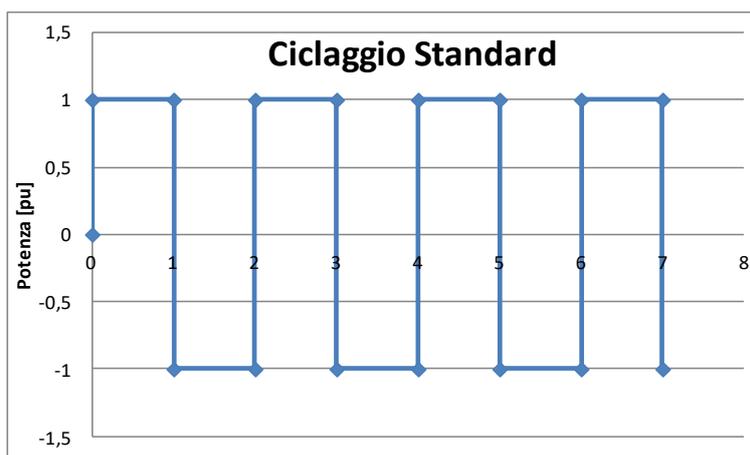


Figura 76 Ciclo standard proposto dal Committente

A seguito di colloqui con i fornitori il ciclo è stato poi applicato in forma modificata a seconda delle possibilità di ciascuna tecnologia in modo da rispettarne le rispettive peculiari caratteristiche: in tutti i casi si è comunque cercato di limitarne le differenze, per rimanere quanto più fedeli al ciclo originale definito nella specifica di gara.

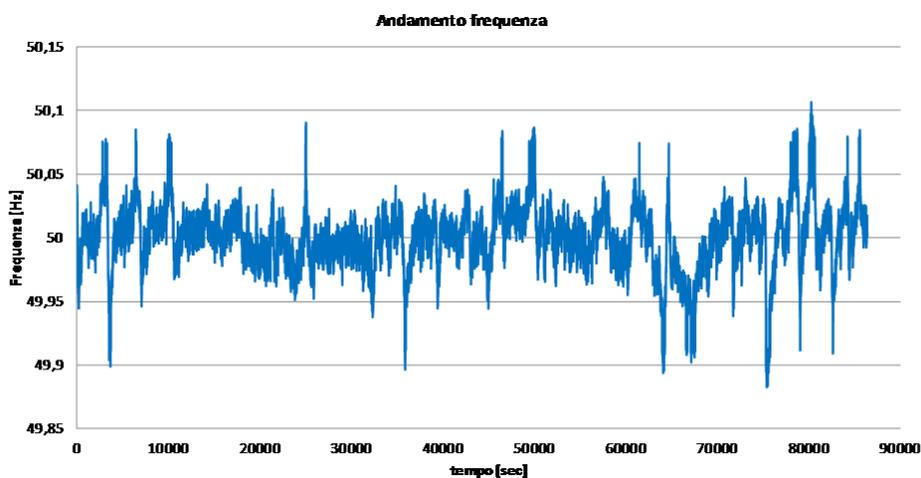
**Test di invecchiamento - Cicli di regolazione di frequenza**

Lo scopo del test è verificare le performance del modulo batteria quando sottoposto al ciclo di regolazione della frequenza. Per perseguire tale obiettivo, i moduli batteria sono stati sottoposti ad un profilo di potenza tale da simulare per i moduli un utilizzo continuativo dedicato al servizio di regolazione primaria di frequenza. Il profilo di frequenza individuato, della durata di 24h, ed a cui tutti i fornitori si sono attenuti, è desunto da un giorno di misure reali e modificato per ottenere una serie replicabile e rappresentativa di un periodo lungo

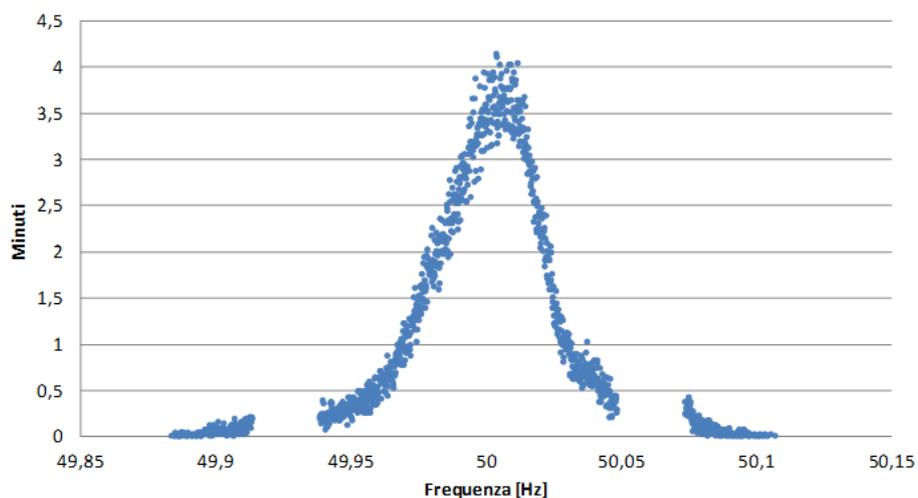
(valore medio 50 Hz, massime deviazioni superiori a 100 mHz). La prova è stata eseguita secondo la seguente procedura:

1. Ispezione iniziale
2. Cicli di pre-condizionamento
3. Misura dei parametri principali
4. Effettuazione del ciclo di regolazione ogni  $10 \pm 2$  giorni per le batterie Litio, ogni 28 giorni per le Zebra, ritorno al punto 3 (in particolare si verifica l'energia lorda, determinandone l'eventuale variazione rispetto al valore iniziale).

I cicli di pre-condizionamento variano da un fornitore all'altro. Il profilo del ciclo di regolazione di frequenza è composto da 86400 set-point di potenza (uno per ogni secondo delle 24h che compongono il ciclo).



**Figura 77 Andamento della frequenza  
Distribuzione dei valori di frequenza**



**Figura 78 Distribuzione dei valori di frequenza durante il ciclo**

I parametri e le condizioni di test per l'erogazione del servizio sono invece i seguenti:

- **Statismo:** 0,075%;
- **Banda Morta:** 0 mHz.
- **SOC iniziale:** 100%;
- **SOC max :**100% (non sono previste fasi di over-charge);
- **SOC min:** 0% (non sono previste fasi di over-discharge);
- Raggiunto SOC min ricarica fino a SOC 100% e ripresa del ciclo di regolazione dal punto in cui è stato interrotto;
- Ogni 10 giorni (12 per SdA 5, 28 per SdA 2) esecuzione del ciclo di riferimento per la determinazione dei principali parametri di batteria.

La scelta di una banda morta pari a 0 deriva dalla volontà di creare un ciclo di lavoro più "stressante" rispetto alla reale implementazione on-grid. Tale scelta dovrebbe permettere di apprezzare un invecchiamento nelle performance dei moduli anche con un tempo di test limitato rispetto alla vita utile dichiarata.

Impostando un valore di statismo pari allo 0,075% si è invece voluto sperimentare la calibrazione maggiormente performante (minimo valore impostabile, tenendo conto delle caratteristiche degli impianti), la quale corrisponde circa al contributo totale disponibile in corrispondenza di una deviazione di frequenza di circa due volte la deviazione standard della distribuzione.

L'erogazione della potenza, nel rispetto dei parametri e limitazioni di cui sopra, è rappresentato nella Figura 79 per un sistema con un rapporto Energia/Potenza pari a 1.

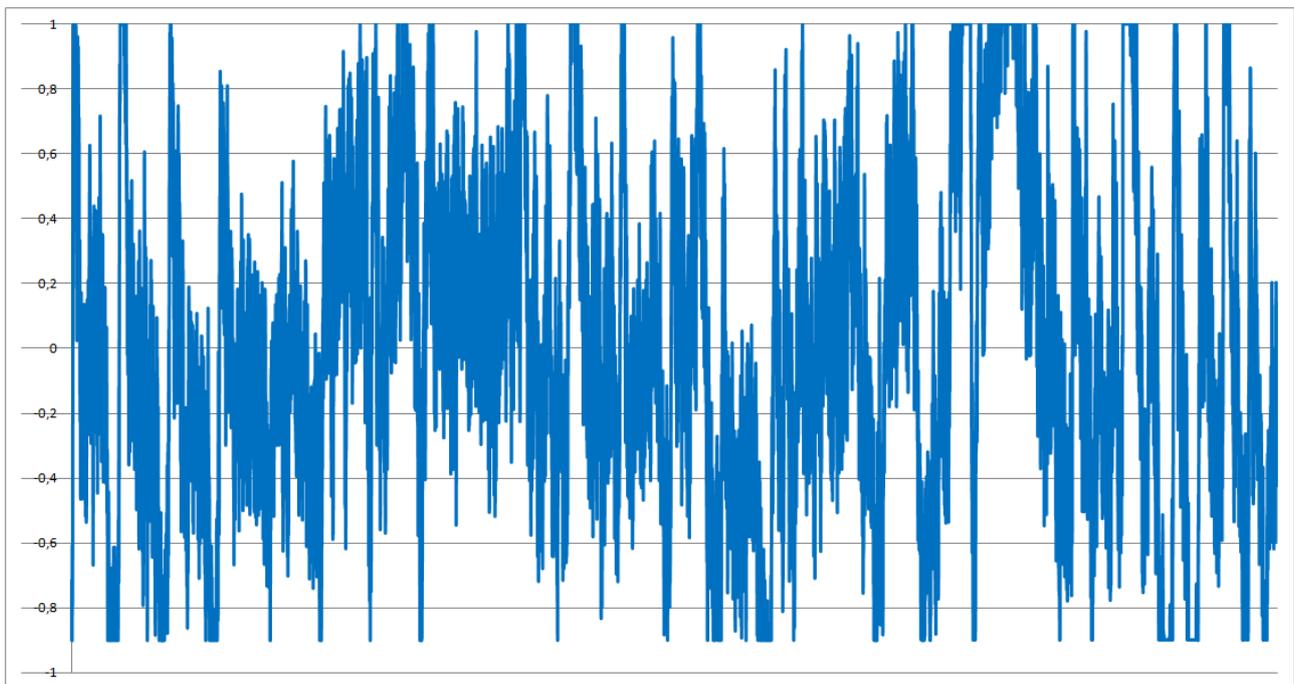
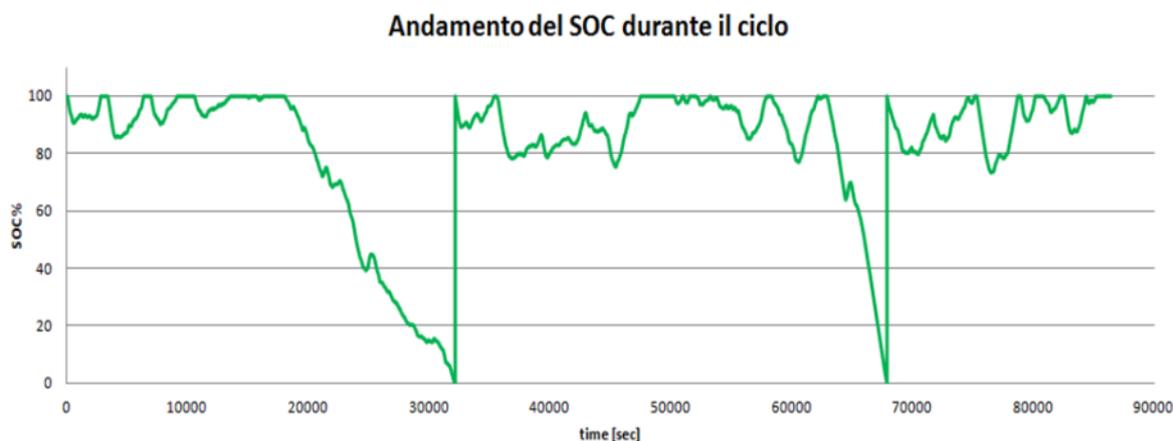


Figura 79 Andamento della potenza richiesta in %



**Figura 80 Andamento del SOC durante il ciclo di regolazione di frequenza**

Con rapporti E/P=1 (litio) il ciclo corrisponde a circa 5 cicli equivalenti, dove per numero di cicli equivalente si intende il valore ottenuto dividendo l'energia scaricata durante il ciclo di regolazione per l'energia nominale del modulo. Per le batterie Zebra, invece, l'effettuazione del ciclo di regolazione richiede una programmazione più complessa a causa del rapporto E/P più elevato e della particolare gestione della batteria da parte del BMS (il BMS del modulo Zebra gestisce automaticamente le differenti modalità di ricarica possibili).

#### Test di invecchiamento - Cicli a gradini di corrente

L'obiettivo del test è quello di verificare l'invecchiamento del modulo sottoposto al ciclaggio, energeticamente più stressante rispetto al ciclo di regolazione di frequenza e al contempo caratterizzato da un numero di inversioni di potenza (circa 500) maggiore rispetto a quello ottenuto con il ciclo standard.

Il ciclo presenta le caratteristiche di seguito riportate, consistendo in 6 fasi alternate di scarica e carica della durata di 30 secondi ciascuno (cfr. figura seguente):

1. 30 secondi scarica a 1C;
2. 30 secondi carica a 1C;
3. 30 secondi scarica a 0,2C;
4. 30 secondi carica a 0,2C;
5. 30 secondi scarica a 0,2C;
6. 30 secondi carica a 0,2C.

Il profilo proposto prevede un bilancio di capacità teorica nullo (fasi di carica e scarica coincidenti).

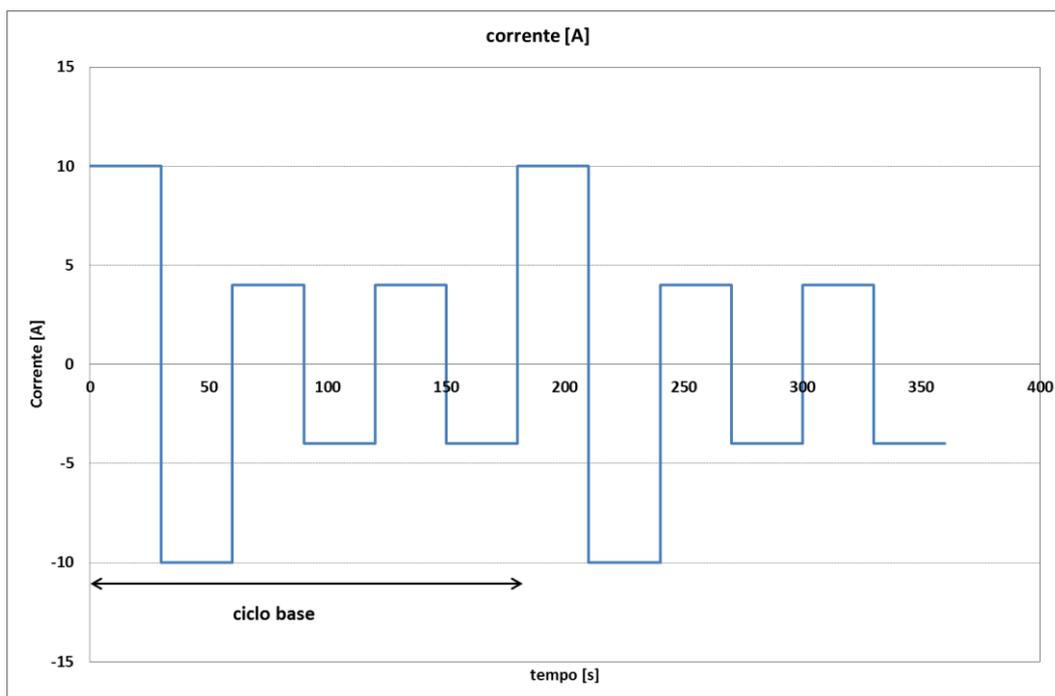


Figura 81 Esemplicativo di ciclo base di test di invecchiamento su cicli a gradini di corrente

Il test viene eseguito secondo la seguente procedura:

- 1) Ispezione iniziale;
- 2) Cicli di pre-condizionamento;
- 3) Misura dei parametri principali tramite ciclo di riferimento del fornitore;
- 4) Effettuazione continua del ciclo;
- 5) In caso venga raggiunto il SOC 0%, effettuazione di una carica a potenza nominale fino alla condizione di SOC iniziale. Conclusa la ricarica, ripresa del ciclo dal punto 4.
- 6) Non sono previste fasi di over-charge e di over-discharge

La fase di pre-condizionamento a cui il modulo viene sottoposto, realizzata prima dell'inizio del test di invecchiamento, è finalizzata alla stabilizzazione dei moduli di batteria. Successivamente, per la misura della capacità residua, viene eseguito un ciclo di riferimento che viene realizzato secondo direttive indicate da ciascun fornitore.

## APPENDICE B

### GRID SCALE – TEST IN SITO

#### Prove di rendimento

L'obiettivo della prova è quello di valutare la variazione delle prestazioni del sistema di accumulo a seguito dell'invecchiamento causato dall'esercizio continuativo. La prova viene eseguita effettuando un ciclo di riferimento, definito dal fornitore, che prevede una prima fase di carica ed una successiva fase di scarica verso la rete.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati ottenuti durante le campagne di test, espressi in termini di rendimento netto (che include il consumo dei servizi ausiliari), ed energia scaricata. Al fine di poter destagionalizzare i risultati ottenuti, si riporta inoltre il valore della temperatura media misurata durante le ore di esecuzione della prova.

SSdA CIMINNA				
	PROVA	Temperatura media ambiente [°C]	Energia in scarica [kWh]	$\eta$ [%]
<b>SdA1</b>	Collaudo – IIH 2015	32	1057	83,1
	IH 2016	13	940	83
	IH 2017	13	1040	85,2
	IIH 2017	Test Failed		
<b>SdA 2</b>	Collaudo – IH 2015	16	4224	79,9
	IH 2016	11	4204	78,2
	IIH 2016	22	4012	79
	IIH 2017	Test Failed		
<b>SdA 4</b>	Collaudo – IIH 2015	13	533	80,6
	IH 2016	13	550	84,7
	IIH 2016	27	530	81,8
	IIH 2017	Test Failed		
<b>SdA 5</b>	Collaudo – IIH 2015	26	927	85,7
	IH 2016	11	920	89
	IIH 2016	26	860	86
<b>SdA 7</b>	Collaudo – IIH 2015	22	990	85,5
	IH 2016	12	970	85,3
	IIH 2016	28	970	86
	IIH 2017	13	950	87,8
<b>SdA 9</b>	Collaudo – IIH 2016	14	1450	65,2

Tabella 21 rendimento netto ed energia misurata in scarica durante il ciclo di rendimento – Ciminna

SSdA CODRONGIANOS				
	PROVA	Temperatura media ambiente [°C]	Energia in scarica [kWh]	$\eta$ [%]
<b>SdA 1</b>	Collaudo - IIH 2015	18	1013	82,4
	IH 2016	24	990	83
	IH 2017	10	883	84,6
	IIH 2017	Test Failed		
<b>SdA 2</b>	Collaudo – IIH 2015	29	4253	80,5
	IH 2016	14	4330	78,3
	IH 2017	21	4122	79,6
	IIH 2017	Test Failed		
<b>SdA 3</b>	Collaudo – IH 2016	14	1975	77
	IH 2017	16	1500	71,6
	IIH 2017	17	750	71,2
<b>SdA 4</b>	Collaudo – IIH 2015	13	970	84,4
	IIH 2016	17	915	83,8
	IIH 2017	13	915	84,8
<b>SdA 5</b>	Collaudo – IIH 2015	34	915	85,5
	IH 2016	14	930	91,2
	IIH 2016	32	915	89,3
	IIH 2017	12	863	91,6
<b>SdA 6</b>	Collaudo – IH 2016	21	515	80,8
	IIH 2017	27	480	79,4
<b>SdA 7</b>	Collaudo – IIH 2014	14	1000	86,6
	IH 2016	18	960	91
	IIH 2016	32	990	93,9
<b>SdA 8</b>	Collaudo – IIH 2016	14	1545	65,2

Tabella 22 rendimento netto ed energia misurata in scarica durante il ciclo di rendimento – Codrongianos

**APPENDICE C**
**GRID SCALE – ESERCIZIO CONTINUATIVO**
Energia scambiata dagli SdA nel corso del biennio di sperimentazione

2016																		
GENNAIO			FEBBRAIO			MARZO			APRILE			MAGGIO			GIUGNO			
Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	
SdA1	5,7	1,2	3,2	4,3	1,1	1,9	10,0	2,6	5,4	13,2	6,4	4,7	10,1	4,3	4,5	11,4	4,2	6,4
SdA2	39,6	5,5	8,2	16,7	6,7	2,7	27,3	1,8	6,9	34,5	3,3	8,2	28,9	4,5	6,1	35,5	7,1	8,0
SdA3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,8	2,6	0,6	15,9	2,6	1,9
SdA4	Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			10,9	5,1	3,8	11,2	6,5	3,3	4,9	2,6	1,4	12,4	6,3	4,7
SdA5	9,6	2,9	3,8	10,1	3,3	3,5	7,2	1,3	3,7	8,5	1,9	4,1	8,8	2,0	3,8	9,3	2,6	5,2
SdA7	8,9	3,2	1,5	7,1	2,0	1,3	8,8	2,1	1,9	9,6	2,2	2,5	11,8	4,4	2,5	10,8	4,4	3,0
LUGLIO			AGOSTO			SETTEMBRE			OTTOBRE			NOVEMBRE			DICEMBRE			
Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	
SdA1	2,9	10,8	7,8	9,1	2,0	7,8	9,8	2,8	6,4	12,1	4,0	5,5	11,1	4,3	4,9	11,9	3,6	5,0
SdA2	24,1	9,1	4,6	25,5	3,4	7,7	25,0	1,6	7,5	45,2	14,5	7,7	32,8	3,4	8,1	40,4	6,2	8,3
SdA3	14,4	3,1	2,0	19,0	3,6	2,6	19,2	4,7	2,2	14,3	2,4	1,6	17,8	3,8	1,2	20,5	5,1	1,3
SdA4	6,6	3,0	3,3	Indisponibile all'esercizio			8,1	3,4	3,9	12,5	6,0	4,4	7,2	3,0	3,5	Indisponibile all'esercizio		
SdA5	10,9	3,7	6,5	12,9	6,3	5,8	11,5	5,4	4,7	8,6	2,3	4,1	7,4	2,2	3,5	8,2	1,2	4,0
SdA7	7,6	2,5	2,8	13,7	6,7	3,5	14,5	6,7	3,3	9,2	3,1	2,2	11,0	4,3	1,8	9,0	2,5	1,8

Tabella 23 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Codrongianos – Anno di sperimentazione 2016

2017																		
GENNAIO			FEBBRAIO			MARZO			APRILE			MAGGIO			GIUGNO			
Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	
SdA1	10,8	2,2	5,2	9,7	2,8	5,0	11,5	4,4	4,7	12,1	4,9	5,6	9,3	2,6	6,0	10,7	3,2	6,4
SdA2	32,1	2,4	8,3	27,4	5,2	6,5	30,7	4,3	7,2	30,1	4,9	7,1	36,4	5,1	8,6	35,6	5,7	8,8
SdA3	19,1	3,3	1,0	16,3	2,8	1,3	13,6	1,8	1,4	18,5	3,8	1,9	17,3	2,7	2,2	18,9	4,8	2,9
SdA8	16,0	1,2	4,5	16,4	2,1	4,3	15,1	1,6	4,1	16,9	1,5	4,3	17,7	1,4	4,4	18,0	1,8	5,0
SdA4	9,9	3,2	4,5	7,9	3,3	3,9	6,4	2,5	2,8	8,0	3,2	3,2	11,0	4,4	4,7	11,0	4,3	6,5
SdA5	6,2	0,9	3,3	9,0	2,5	3,3	8,9	1,5	3,8	8,6	1,9	3,9	8,1	1,0	5,2	9,1	2,1	6,2
SdA7	11,2	3,0	1,9	10,6	4,0	1,7	10,6	3,3	1,9	11,2	3,8	2,3	10,3	3,3	2,7	11,4	4,3	3,3
LUGLIO			AGOSTO			SETTEMBRE			OTTOBRE			NOVEMBRE			DICEMBRE			
Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	Ein MT	Eout MT	Eaux BT	
SdA1	9,7	2,8	5,3	11,4	3,6	5,7	10,3	2,8	4,8	10,9	2,9	4,9	7,5	2,5	3,2	11,1	3,3	5,6
SdA2	30,6	5,8	6,5	34,8	6,9	7,1	31,4	2,7	6,9	30,9	4,4	6,3	32,7	2,4	6,8	34,6	5,2	6,5
SdA3	18,7	4,2	3,2	15,4	3,4	3,3	8,2	0,9	1,4	10,5	1,0	1,2	11,6	2,3	1,2	15,0	3,4	1,3
SdA8	7,5	1,7	2,4	17,1	0,8	6,9	9,3	0,9	2,6	Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio		
SdA4	12,4	6,8	6,6	6,9	3,5	4,5	10,8	4,2	5,3	8,5	3,6	3,9	9,6	3,2	3,7	9,5	3,5	4,3
SdA5	8,7	1,6	6,6	8,5	1,9	6,5	5,3	1,0	4,3	6,1	1,0	4,3	7,9	1,3	3,7	8,0	1,5	3,8
SdA7	11,1	3,6	3,7	9,1	2,3	3,7	10,2	2,8	2,7	7,3	2,0	2,0	5,9	1,4	1,5	7,3	1,8	1,4

Tabella 24 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Codrongianos – Anno di sperimentazione 2017

Durante il biennio di sperimentazione gli SdA installati presso il sito di Codrongianos sono stati eserciti con il servizio di regolazione primaria attiva combinato con il servizio di bilanciamento per il ripristino del SOC a valori di maggiore adeguatezza per l'esercizio continuativo e la sperimentazione.

	<b>2016</b>																	
	<b>GENNAIO</b>			<b>FEBBRAIO</b>			<b>MARZO</b>			<b>APRILE</b>			<b>MAGGIO</b>			<b>GIUGNO</b>		
	<b>Ein MT</b>	<b>Eout MT</b>	<b>Eaux BT</b>															
<b>SdA1</b>	6,0	1,5	3,0	4,2	2,2	1,3	11,6	3,7	4,9	12,0	5,7	4,5	11,3	4,9	4,9	8,6	1,5	5,7
<b>SdA2</b>	35,3	6,7	6,4	0,0	0,0	0,0	46,7	12,1	8,0	59,0	19,8	8,4	46,8	12,5	10,2	0,0	0,0	0,0
<b>SdA4</b>	1,1	0,0	0,6	2,5	1,1	1,0	6,9	1,8	4,1	6,2	3,3	2,0	10,2	6,3	3,0	6,1	3,4	2,2
<b>SdA5</b>	6,6	1,5	5,4	3,0	0,6	3,3	8,4	2,0	3,6	7,8	3,7	2,5	13,7	7,1	3,9	6,8	3,2	4,4
<b>SdA7</b>	5,4	0,2	0,9	5,8	1,3	1,5	8,3	1,8	1,4	8,0	3,2	1,7	9,7	2,2	2,1	10,2	2,3	3,1
	<b>LUGLIO</b>			<b>AGOSTO</b>			<b>SETTEMBRE</b>			<b>OTTOBRE</b>			<b>NOVEMBRE</b>			<b>DICEMBRE</b>		
	<b>Ein MT</b>	<b>Eout MT</b>	<b>Eaux BT</b>															
<b>SdA1</b>	8,5	1,0	7,1	6,8	0,6	5,8	13,3	6,2	6,0	63,5	52,2	7,2	61,9	50,3	5,9	59,4	49,4	4,9
<b>SdA2</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	135,8	96,7	7,3	0,0	0,0	0,0	78,0	56,1	6,2
<b>SdA4</b>	10,9	5,3	5,6	11,8	7,7	4,6	20,8	14,5	5,1	40,6	33,0	5,5	34,3	27,2	4,7	25,0	19,6	4,5
<b>SdA5</b>	10,2	4,8	10,1	18,2	12,3	4,4	28,0	20,2	4,5	86,3	73,8	4,9	61,5	53,2	2,6	49,4	40,4	3,7
<b>SdA7</b>	10,1	3,8	3,2	12,5	7,3	2,3	26,0	18,7	2,4	41,8	34,7	2,5	0,0	0,0	0,0	42,0	35,5	1,8

Tabella 25 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Ciminna – Anno di sperimentazione 2016

2017																		
GENNAIO			FEBBRAIO			MARZO			APRILE			MAGGIO			GIUGNO			
Ein MT	Eout MT	Eaux BT																
SdA1	47,7	38,7	4,9	37,0	28,2	4,5	53,6	43,6	5,2	36,0	29,4	4,5	30,8	22,9	4,4	37,2	29,4	5,9
SdA2	88,6	56,0	8,5	59,1	37,5	4,8	Indisponibile all'esercizio			39,8	27,9	3,1	31,6	11,8	3,9	Indisponibile all'esercizio		
SdA9	43,8	28,4	7,2	28,9	17,5	7,4	40,3	24,8	9,1	Indisponibile all'esercizio			25,5	14,7	4,6	Indisponibile all'esercizio		
SdA4	16,2	10,1	4,4	14,7	9,5	4,0	18,5	13,1	4,3	Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			34,6	27,5	6,0
SdA5	60,5	50,2	3,9	77,5	65,3	3,5	119,5	104,3	4,1	Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			24,6	20,8	3,2
SdA7	23,9	15,9	1,7	7,1	6,0	0,6	42,9	36,0	2,2	15,7	13,4	1,0	38,2	29,2	2,8	3,3	2,1	0,6
LUGLIO			AGOSTO			SETTEMBRE			OTTOBRE			NOVEMBRE			DICEMBRE			
Ein MT	Eout MT	Eaux BT																
SdA1	29,5	22,3	6,2	29,5	21,7	7,2	28,7	22,6	4,7	15,3	7,2	5,2	17,0	10,8	3,5	16,4	9,6	4,7
SdA2	19,9	9,2	3,2	Indisponibile all'esercizio			30,8	15,1	3,7	67,1	32,8	9,5	50,0	18,0	5,7	46,7	12,9	8,2
SdA9	Indisponibile all'esercizio			9,5	4,3	3,8	Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio		
SdA4	10,6	7,0	3,1	Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			9,0	7,0	1,8	28,6	22,2	5,3	19,7	14,0	4,5
SdA5	66,7	55,9	7,0	Indisponibile all'esercizio			57,4	49,3	3,6	Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio			Indisponibile all'esercizio		
SdA7	22,7	15,7	3,1	38,8	31,8	3,8	11,5	8,4	1,2	Indisponibile all'esercizio			7,7	2,2	1,3	35,6	25,9	2,3

Tabella 26 Energia in ingresso/uscita dai SdA in servizio – Ciminna – Anno di sperimentazione 2017

I servizi di regolazione di frequenza (primaria e secondaria f-P) presso il sito di Ciminna sono stati attivati progressivamente nel secondo semestre 2016, prima del quale i sistemi sono stati esercitati in maniera tale da poterne verificare le funzionalità principali, ma con uno stato di attivazione dei servizi discontinuo. A partire da Ottobre 2016 i servizi di regolazione di frequenza (primaria e secondaria f-P) sono stati invece mantenuti attivi. Pertanto, si consideri che i valori di rendimento mensile riportato nel paragrafo 9.2 riferito al periodo Gennaio-Settembre 2016 non sono rappresentativi di condizioni di esercizio reale.

	<b>RAPPORTO DI FINE SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB</b>	08/10/2018
		Rev.00

## APPENDICE D

### PROSSIMI SVILUPPI – VIRTUAL STORAGE PLANT

Nell'ambito del progetto Storage Lab è stato previsto lo sviluppo di un sistema di controllo, conduzione e monitoraggio avanzato, denominato *Virtual Storage Plant (VSP)*, da installare nelle stazioni elettriche di Codrongianos (SS) e Ciminna (PA). Il sistema avanzato VSP sarà in grado di interfacciarsi con i sistemi di controllo delle singole tecnologie al fine di consentire l'utilizzo ottimo dei sistemi di accumulo installati e la massimizzazione delle sinergie tra soluzioni con caratteristiche di performance ed invecchiamento molto differenti.

L'innovativo sistema di controllo, conduzione e monitoraggio integrerà 5 funzionalità distinte:

1. **Controllo e conduzione:** il sistema di controllo e conduzione dell'impianto dovrà permettere la gestione delle singole unità di accumulo (UAC) secondo due livelli di controllo:
  - Conduzione in locale, attraverso l'interfaccia HMI del sistema di controllo centrale dell'impianto
  - Conduzione da remoto da SCCT
2. **Monitoraggio avanzato:** questa funzionalità ha lo scopo di fornire un sistema di monitoraggio dei dati indipendente dai singoli SdA. Il sistema permetterà di ridurre il più possibile le elaborazioni off-line delle misure e le fasi di allineamento tra dati non sincroni, evitando di utilizzare dei sistemi non progettati e non dedicabili a tal scopo (ad esempio, l'Archiviatore del Sistema di Controllo SCCT di Terna, che è concepito esclusivamente per tracciare le informazioni scambiate tra campo e centro ai fini della conduzione e del controllo da remoto degli impianti).
3. **Virtualizzazione (Aggregazione UAC):** il VSP permetterà la gestione virtualizzata dell'impianto, ovvero permetterà di gestire un insieme configurabile di unità di accumulo come se si trattasse di una singola unità funzionale. In questa condizione è pertanto necessario definire delle grandezze sintetiche relative all'unità di accumulo equivalente (UAE) considerata (*aggregazione*) che permettano di identificare condizioni accettabili di funzionamento per l'insieme delle unità considerate e, similmente, delle logiche di *disaggregazione* che permettano di identificare i segnali da inviare alle singole unità a partire dai setpoint globali impostati per l'unità di accumulo equivalente.
4. **Ottimizzazione:** questa funzionalità, attraverso l'integrazione all'interno del VSP di modelli dei SdA, informazioni relative all'autoconsumo, perdite, invecchiamento delle batterie, rendimenti nelle diverse condizioni di esercizio ecc, permetterà l'esercizio dei SdA secondo logiche avanzate di ottimizzazione.
5. **Testing avanzato:** tale funzionalità consentirà l'effettuazione di specifiche prove di rendimento e performance sui singoli SdA, nonché la rappresentazione dei risultati e la comparazione delle differenti tecnologie.