

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

RAPPORTO PUBBLICO ANNO 2017 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: *01/01/2017 – 31/12/2017*

SOMMARIO

1.	OGGETTO	3
2.	GLOSSARIO	4
3.	INTRODUZIONE.....	9
4.	CONTESTO LEGISLATIVO E REGOLATORIO DI RIFERIMENTO	10
5.	APPROCCIO ALLA SPERIMENTAZIONE	11
6.	MODULE SCALE TEST PRESSO LABORATORI.....	14
6.1	PREMESSE	14
6.2	TEST DI INVECCHIAMENTO: PROCEDURA DI TEST	16
6.3	TEST DI INVECCHIAMENTO: RISULTATI	23
7.	DESCRIZIONE GENERALE DEGLI IMPIANTI GRID SCALE	35
7.1	DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CODROGIANOS	35
7.2	DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CIMINNA	37
7.3	CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI CONDUZIONE, CONTROLLO E MONITORAGGIO	40
8.	GRID-SCALE TEST: PROVE PERIODICHE EFFETTUATE IN SITO.....	44
8.1	GENERALITÀ	44
8.2	PROVE DI RENDIMENTO NETTO	44
8.3	PROVE AD HOC CON SEGNALI SIMULATI.....	51
9.	MODALITÀ DI CONDUZIONE E DISPACCIAMENTO DEI PROGETTI PILOTA	60
9.1	I SERVIZI DI RETE E FUNZIONALITÀ DI DISPACCIAMENTO IN ESERCIZIO	60
10.	ANALISI INDICI DI PERFORMANCE DELL'ESERCIZIO CONTINUATIVO	63
10.1	GENERALITÀ	63
10.2	STIMA DELLE PERDITE MEDIE PER L'ASSERVIMENTO CONTINUATIVO DEGLI SdA AI SERVIZI DI RETE.....	63
10.3	STIMA DEI CONSUMI PERI I SERVIZI AUSILIARI DURANTE UN CICLO STANDARD	64
10.4	ANALISI CAUSE E GRADO DI INDISPONIBILITÀ ALL'ESERCIZIO NEL PERIODO DI RIFERIMENTO	65
10.5	CASI REALI RAPPRESENTATIVI DELL'ESERCIZIO DEI SISTEMI DI ACCUMULO	69
11.	DESCRIZIONE DEI COSTI SOSTENUTI.....	77
12.	CONCLUSIONI	79
	APPENDICE A	85
	GRID SCALE – TEST IN SITO.....	85

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

1. OGGETTO

Il presente documento rappresenta il Rapporto a diffusione pubblica relativamente all'anno 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, anche denominati nel loro insieme "Storage Lab", rientrano nel programma di installazione di sistemi di accumulo di complessivi 40 MW previsti da Terna nel Piano di Difesa 2012.

Il documento descrive le fasi di esercizio dei Sistemi di Accumulo presenti nello "Storage Lab", secondo quanto previsto nelle delibere di riferimento emesse dall'ARERA (in particolare 43/2013/R/EEL e 227/2014/R/EEL).

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		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

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		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;

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		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 Δf 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;

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		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)

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		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, Δf , espressa in per unit della frequenza nominale (50 Hz), e la corrispondente variazione della potenza elettrica, ΔP , 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.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

3. INTRODUZIONE

Il progetto Storage Lab prevede l'installazione di sistemi di accumulo multi-tecnologici volti a sperimentare le principali tecnologie disponibili sul mercato, in maniera tale da poterne caratterizzare performance e caratteristiche tecniche di rilievo e individuare le funzionalità più adatte per il loro utilizzo a servizio della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN). Tali obiettivi sono perseguiti attraverso:

- la descrizione delle specifiche attività di testing svolte presso laboratori qualificati su moduli batterie;
- l'esecuzione di prove 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 attraverso l'erogazione di servizi e funzionalità a carattere cosiddetto "Power Intensive", ovvero applicazioni caratterizzate da elevata rapidità di risposta della risorsa combinate ad un ampio range di escursione delle variazioni della potenza scambiata con la rete.

Come descritto nel Piano di Difesa 2012, le aree individuate per l'implementazione degli impianti Storage Lab sono appartenenti alle due Isole Maggiori (Sardegna e Sicilia), in quanto 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.

I contenuti del presente documento richiamano pertanto ad alcuni dei risultati ottenuti durante le attività di sperimentazione condotte nell'anno 2017 presso i siti di Ciminna (PA) e Codrongianos (SS), nonché presso laboratori italiani accreditati.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		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 e 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 2013¹ 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 2014².

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. 12/14³.

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

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

³ 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 delle tecnologie di accumulo interessate tale da permettere di costruire un track-record di riferimento per un settore che presenta standard normativi ancora in definizione, 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.

Obiettivo della sperimentazione è inoltre quello di acquisire un livello di know-how tale da consentire di selezionare la miglior tecnologia adatta per ciascuna applicazione, ed integrare tra loro le diverse tecnologie in maniera ottimale in asservimento all'esercizio del Sistema Elettrico.

Con tali premesse, la strategia di studio e validazione tecnologica adottata prevede due distinti ambienti di test:

- **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.

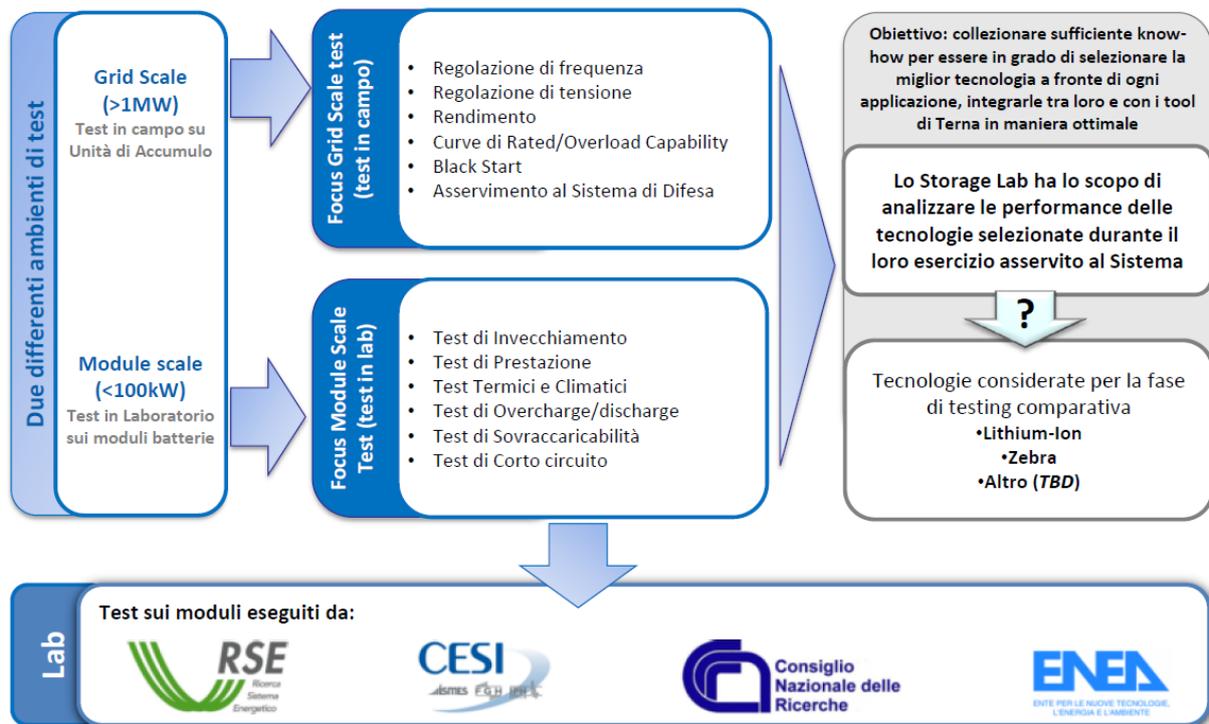


Figura 1 Approccio alla sperimentazione

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 Delibera prevede infatti 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, ma anche di valutarne il 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, 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 le prestazioni dei sistemi di accumulo;
- "Prove ad hoc", ovvero test condotti su appositi segnali forzati in ingresso al sistema di accumulo.

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). In particolare, 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.

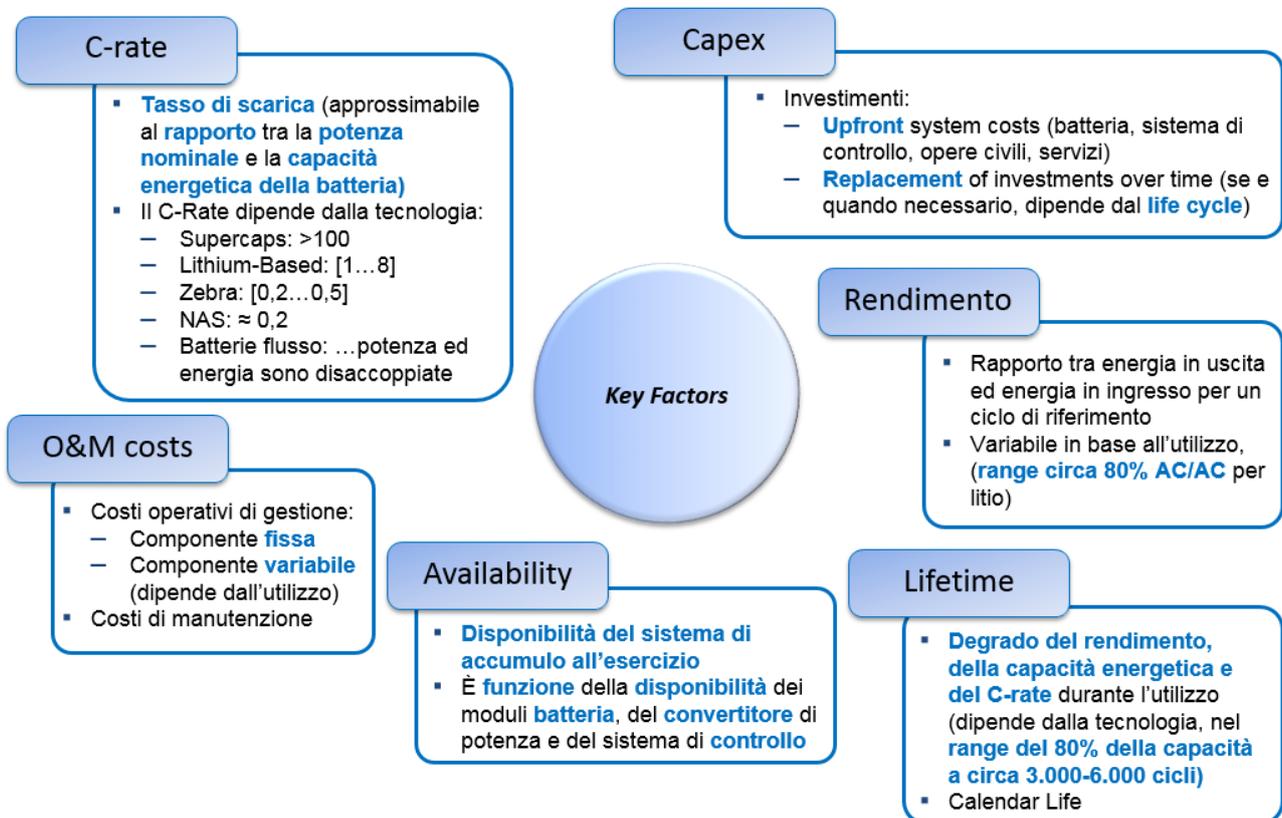


Figura 2 Indici di performance per la valutazione e comparazione delle tecnologie di accumulo

Con tali premesse, mediante un procedimento di gara pubblico sono state approvvisionate tecnologie di tipo “Lithium Based” (ovvero tecnologie basate sull’utilizzo del litio per la realizzazione dell’elettrodo positivo) e 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), opportunamente suddivise tra i siti di Codrongianos e Ciminna. Inoltre, a completamento del “Piano di Difesa 2013-2016”, che prevedeva l’installazione di ulteriori tecnologie di accumulo elettrochimico in aggiunta a quelle Litio e Sodio, nel corso del 2016 sono state installate nei siti di Codrongianos e Ciminna due tecnologie di batterie elettrochimiche di tipo “Flusso”, ovvero a circolazione di elettrolita (cfr. Figura 3).



Figura 3 Fornitori delle tecnologie di batterie elettrochimiche installate al 31 Dicembre 2017

Si precisa che, poiché i risultati dei test rappresentano dati sensibili ai fini della diffusione pubblica, il documento non presenta indicazione esplicita del nome del fornitore nelle tabelle di sintesi dei risultati, utilizzando la dicitura SdA #N per identificare il sistema di accumulo oggetto di test.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

6. MODULE SCALE TEST PRESSO LABORATORI

6.1 PREMESSE

I test condotti in laboratorio su moduli batterie sono finalizzati alla verifica della rispondenza dei prodotti approvvigionati 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.

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 e 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.

Data la significatività del test ai fini della comparazione tecnologica, di seguito si riporta la descrizione sintetica dei risultati dei test di invecchiamento relativi all'anno in esame per le tecnologie installate, precisando che per alcuni moduli le prove sono ancora in corso. In particolare, si evidenziano nei grafici i confronti tra il decadimento delle prestazioni dei moduli dichiarato dal fornitore, il decadimento derivante dai test su cicli standard e il decadimento derivante dai cicli di regolazione di frequenza e dai cicli a gradini di corrente (nei casi in cui siano già presenti i risultati dei test svolti sulla specifica tecnologia).



Figura 4 Strategia dei test di valutazione moduli

6.2 TEST DI INVECCHIAMENTO: PROCEDURA DI TEST

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* (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), *ciclo di regolazione di frequenza* e *ciclo a gradini di corrente* (entrambi i test sono eseguiti presso i laboratori italiani) (cfr. figura seguente).

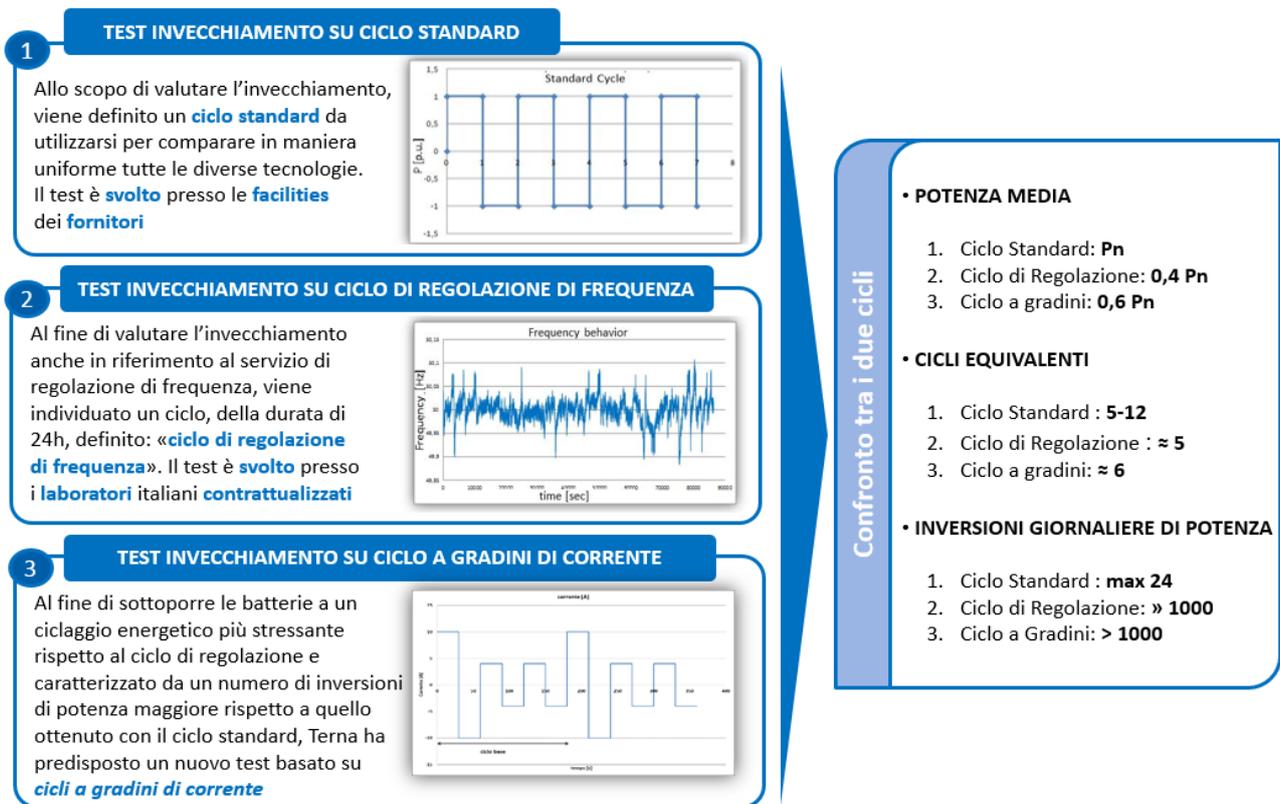


Figura 5 Confronto caratteristiche dei cicli utilizzati per i tre test di invecchiamento proposti

Test di invecchiamento su 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.

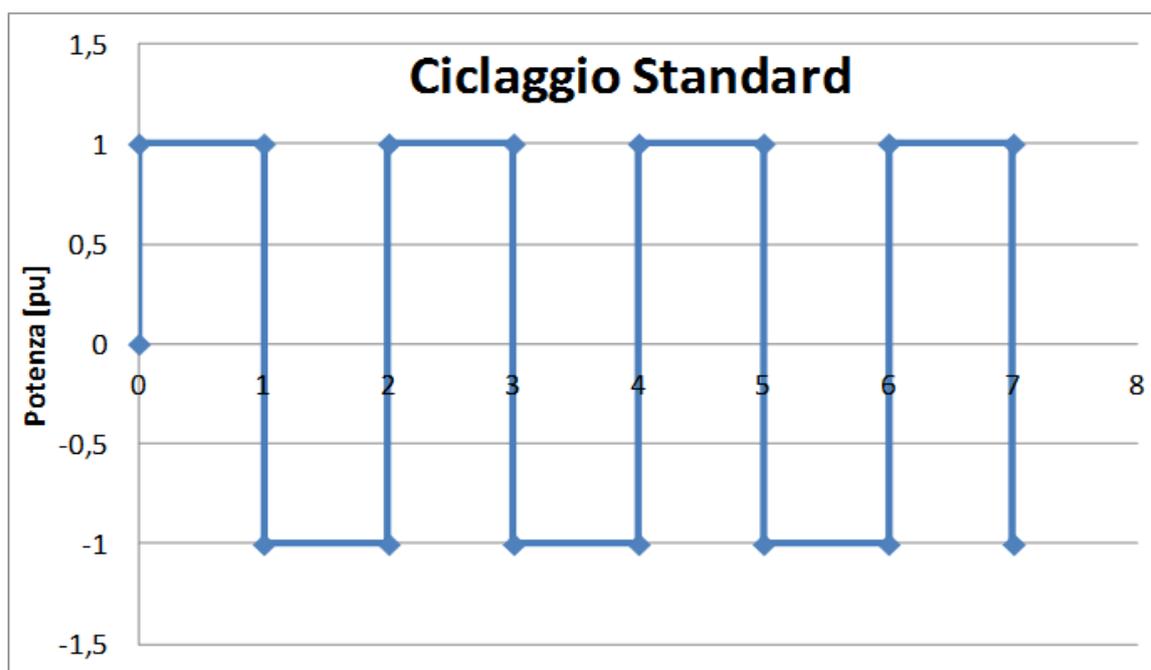


Figura 6 Ciclo standard proposto dal Committente

Test di invecchiamento su ciclo di regolazione di frequenza

Per valutare le varie tecnologie ai fini dell'erogazione dei servizi di rete, è stata avviata una campagna di prove al fine di condurre dei test di ciclaggio su speciali profili di potenza rappresentativi dei servizi desiderati. In particolare, si è deciso di far eseguire alle diverse tecnologie un profilo di potenza tale da simulare per i moduli un utilizzo continuativo dedicato al servizio di regolazione primaria di frequenza.

In questo caso il profilo di frequenza individuato, della durata di 24h, 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).

Precisando che tutti i fornitori si sono attenuti a tale modello, la prova viene 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 ± 2 giorni per le batterie Litio, ogni 28 giorni per le Zebra, ritorno al punto 3 (check-up parametrico).

I cicli di pre-condizionamento variano da un fornitore all'altro.

Il test prevede l'effettuazione del ciclo di regolazione di frequenza: tale profilo è composto da 86400 set-point di potenza (uno per ogni secondo delle 24h che compongono il ciclo), il cui andamento è stato fornito da Terna.

I parametri per l'erogazione del servizio sono 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 SAMSUNG, 28 per FIAMM) esecuzione del ciclo di riferimento per la determinazione dei principali parametri di batteria.

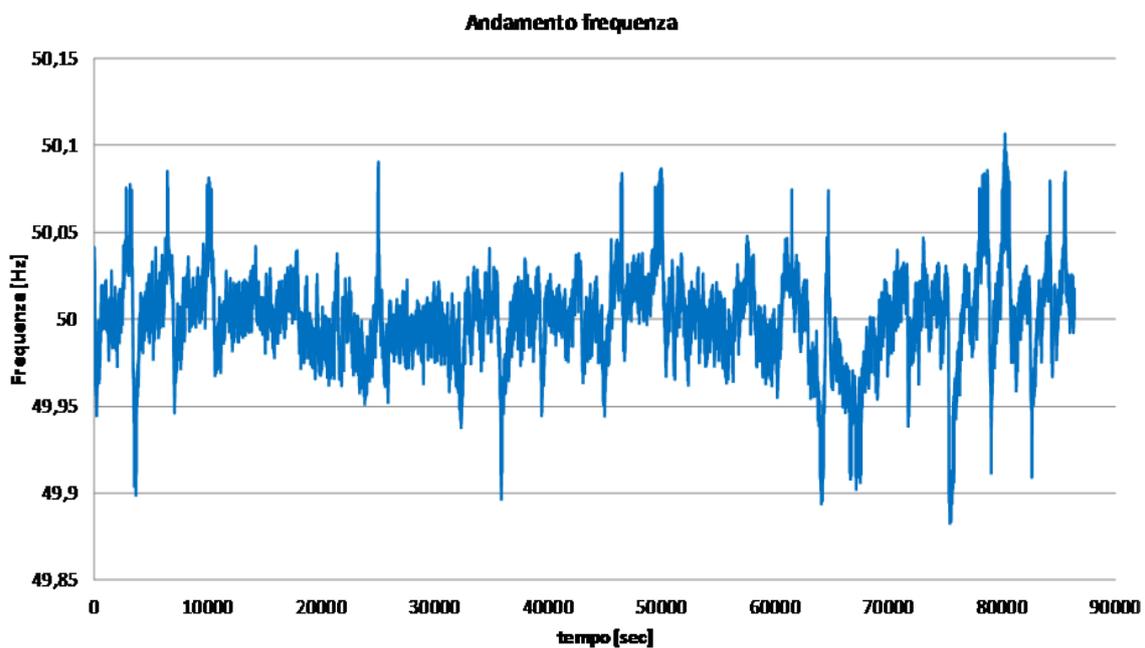


Figura 7 Andamento della frequenza

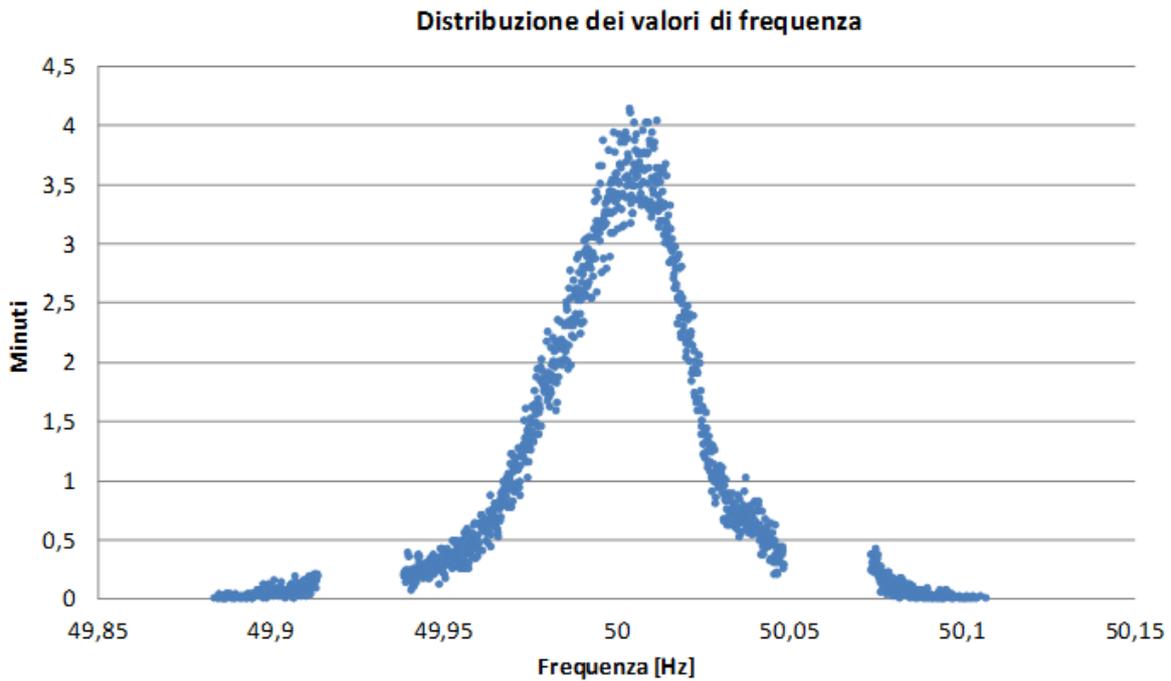


Figura 8 Distribuzione dei valori di frequenza durante il ciclo

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 è stata orientata, tra l’altro, dall’opportunità di riuscire ad 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 9 per un sistema con un rapporto Energia/Potenza pari a 1.

Andamento potenza richiesta per regolazione di frequenza

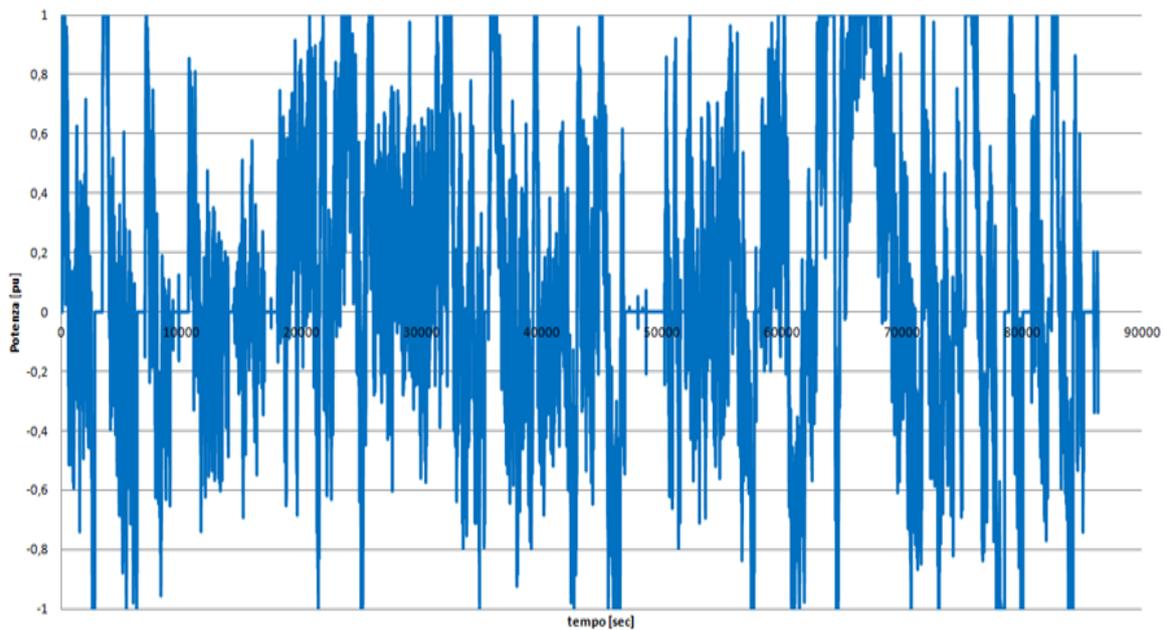


Figura 9 Andamento della potenza richiesta in %

Andamento del SOC durante il ciclo

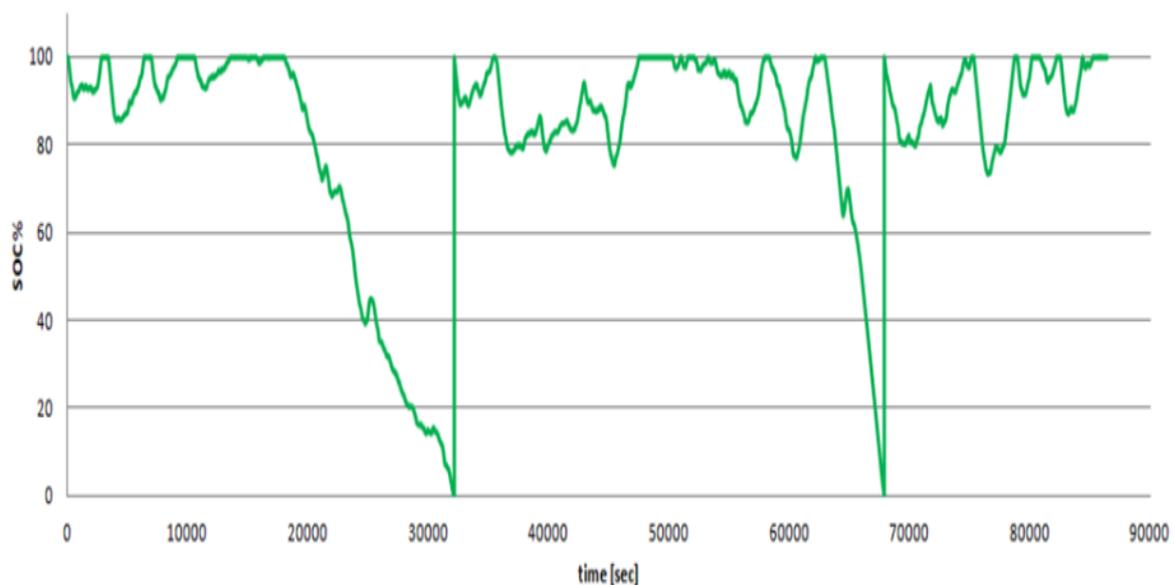


Figura 10 Andamento del SOC durante il ciclo di regolazione di frequenza

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

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

batteria da parte del BMS (il BMS del modulo Zebra gestisce automaticamente le differenti modalità di ricarica possibili).

Test di invecchiamento su cicli a gradini di corrente

I risultati preliminari dei test di invecchiamento sul ciclo standard e sul ciclo di regolazione di frequenza (cfr. report precedente) hanno mostrato che l'esecuzione continua dei cicli standard causa sui moduli testati (sia litio che zebra) un invecchiamento inferiore rispetto a quello riscontrato durante l'esecuzione del test sui cicli di regolazione di frequenza, nonostante il ciclo standard sia caratterizzato da uno scambio energetico⁴ maggiore e sia termicamente più gravoso. I risultati ottenuti sui cicli di regolazione di frequenza hanno infatti mostrato un andamento peggiorativo del valore di energia scaricabile dal modulo rispetto a quanto mostrato durante l'esecuzione continua dei cicli standard eseguiti dai fornitori.

È stato quindi predisposto da Terna un nuovo test di invecchiamento basato su *cicli a gradini di corrente*, determinato in modo tale da sottoporre le batterie a un ciclaggio energetico più stressante rispetto al ciclo di regolazione di frequenza e al contempo caratterizzato da un numero di inversioni di potenza 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 ciascuna (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.

⁴ Lo scambio energetico e il numero di inversioni sono riferiti ai valori calcolati sul ciclo equivalente

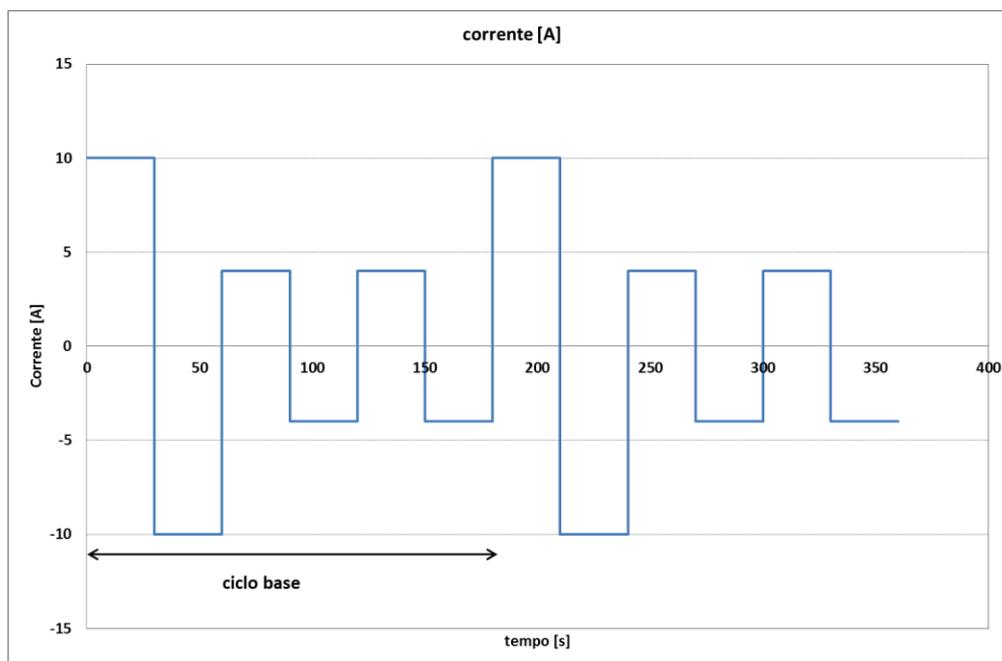


Figura 11 Esempio di ciclo base di test di invecchiamento su cicli a gradini di corrente

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

6.3 TEST DI INVECCHIAMENTO: RISULTATI

Modulo SdA 1 – Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard, su cicli di regolazione di frequenza e su cicli a gradini di corrente per il SdA 1, riferite ad un modulo caratterizzato da un'energia nominale di 2,48 kWh.

Cicli standard

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	4000
Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi:	4000
Energia iniziale:	2,59 kWh
Energia attuale:	2,07 kWh

Cicli di regolazione di frequenza

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli eseguiti:	741
Energia iniziale:	2,45 kWh
Energia attuale:	2,23 kWh

Cicli a gradini di corrente

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	1158
Energia iniziale:	2,39 kWh
Energia attuale:	2,35 kWh

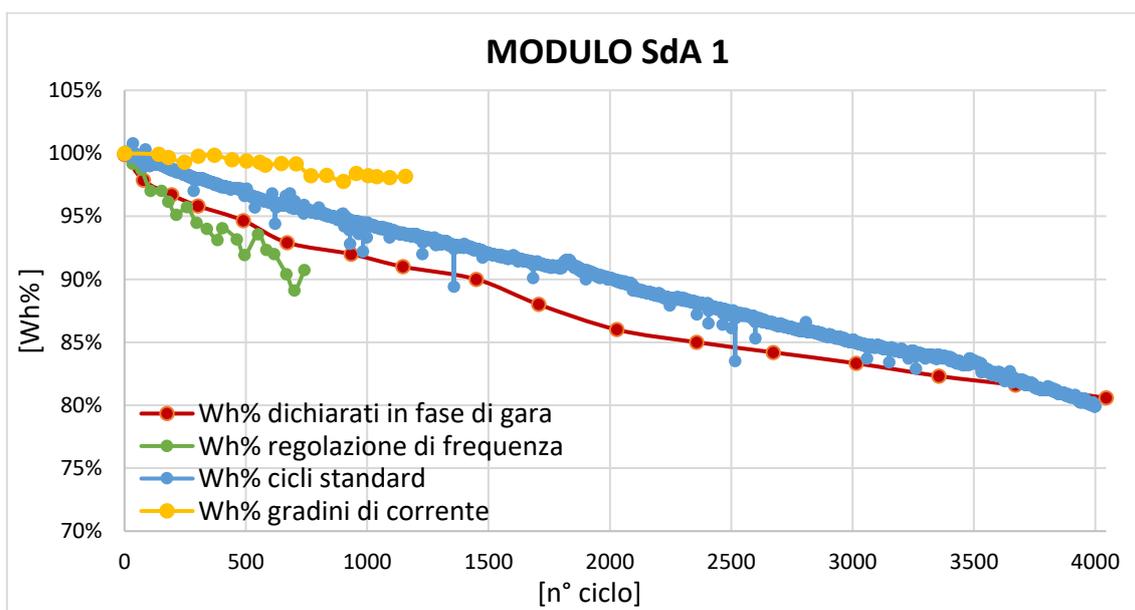


Figura 12 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 1

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

I risultati finali dei test di invecchiamento eseguiti sul modulo SdA 1 mettono in evidenza come effettivamente il ciclo di frequenza provochi un degrado della capacità (in termini di Wh scaricati) superiore rispetto a quello ottenuto con l'esecuzione continua dei cicli standard, a parità di cicli equivalenti considerati. Tuttavia, il risultato del test di invecchiamento sui cicli standard ha mostrato una progressiva convergenza del degrado registrato con quello dichiarato dal fornitore in fase di gara, con valori di capacità residua pari al circa l'80% su 4000 cicli equivalenti eseguiti. Si fa inoltre notare come nonostante il ciclo a gradini di corrente sia caratterizzato da un numero maggiore di inversioni in potenza rispetto a quelle tipiche di un ciclo standard, non si registra un peggioramento delle performance rispetto a quest'ultimo. Il confronto finale mostra infatti come il ciclo a gradini di corrente sia quello meno gravoso relativamente al decadimento del valore di energia scaricabile dal modulo.

Modulo SdA 2 - Zebra

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard, cicli di regolazione di frequenza e su cicli a gradini di corrente per il SdA 2. Mentre il ciclo standard è stato eseguito su un modulo batteria composto da 10 celle poste in serie, sia il ciclo di regolazione di frequenza che il ciclo a gradini di corrente sono stati eseguiti su un modulo caratterizzato da un'energia nominale pari a 22,5 kWh.

Cicli standard

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	4500
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	600
Energia iniziale:	0,91 kWh
Energia attuale:	0,90 kWh

Cicli di regolazione di frequenza

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli eseguiti:	405
Energia iniziale:	22,06 kWh
Energia attuale:	21,93 kWh

Cicli a gradini di corrente

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	303
Energia iniziale:	22,03 kWh
Energia attuale:	21,25 kWh

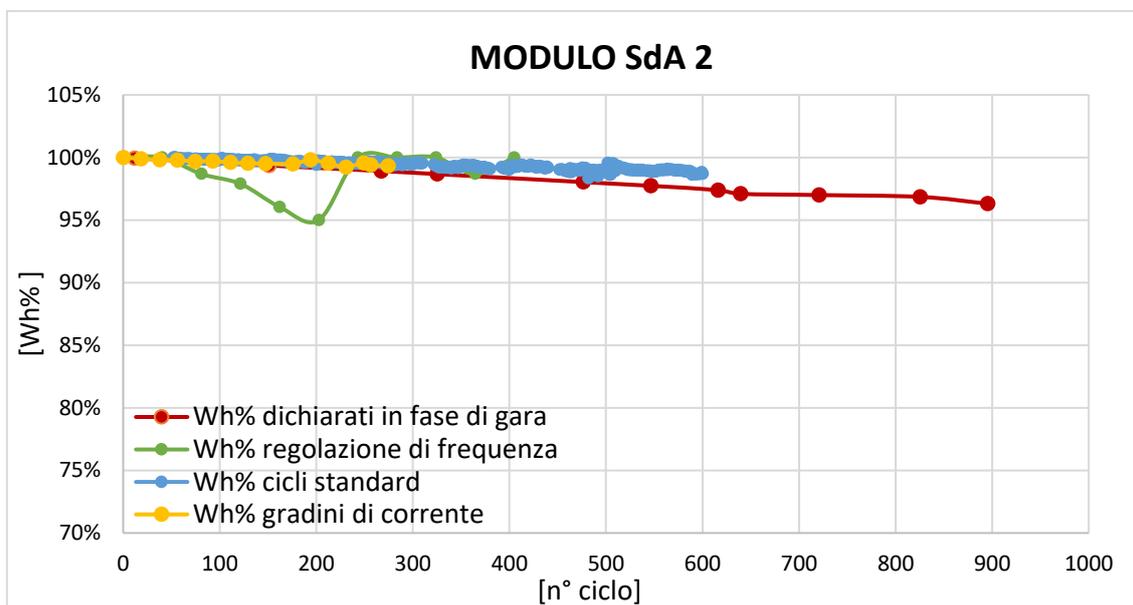


Figura 13 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 2

I risultati mostrano come il ciclo di regolazione di frequenza abbia provocato un degrado minimale sulla capacità energetica della batteria, paragonabile a quello registrato al termine dell'esecuzione dei cicli standard. Dal confronto tra il ciclo a gradini di corrente e il ciclo standard, si può osservare come, nonostante il primo sia caratterizzato da un numero maggiore di inversione di potenza rispetto al secondo, la riduzione della capacità in seguito all'invecchiamento è confrontabile tra i due cicli.

Il confronto finale tra i tre cicli di invecchiamento, mette in evidenza come la tecnologia Zebra del SdA 2 non presenti un apprezzabile degrado delle prestazioni energetiche a seguito dei test di invecchiamento considerati (sia per ciclaggi energetici continuativi che per continue inversioni di potenza).

Modulo SdA 3 - Zebra

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard, cicli di regolazione di frequenza e cicli a gradini di corrente per il SdA 3. Mentre il ciclo standard è stato eseguito su un modulo composto da 10 celle poste in serie, il ciclo di regolazione di frequenza è stato eseguito su un intero modulo caratterizzato da una energia nominale pari a 20 kWh.

Cicli standard

Stato del test:

Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:

Numero di cicli effettivamente eseguiti:

Energia iniziale:

Energia attuale:

Concluso

4500

937

0,92 kWh

0,83 kWh

Cicli di regolazione di frequenza

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	390
Energia iniziale:	21,74 kWh
Energia attuale:	21,38 kWh

Cicli a gradini di corrente

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	414
Energia iniziale:	21,85 kWh
Energia attuale:	21,76 kWh

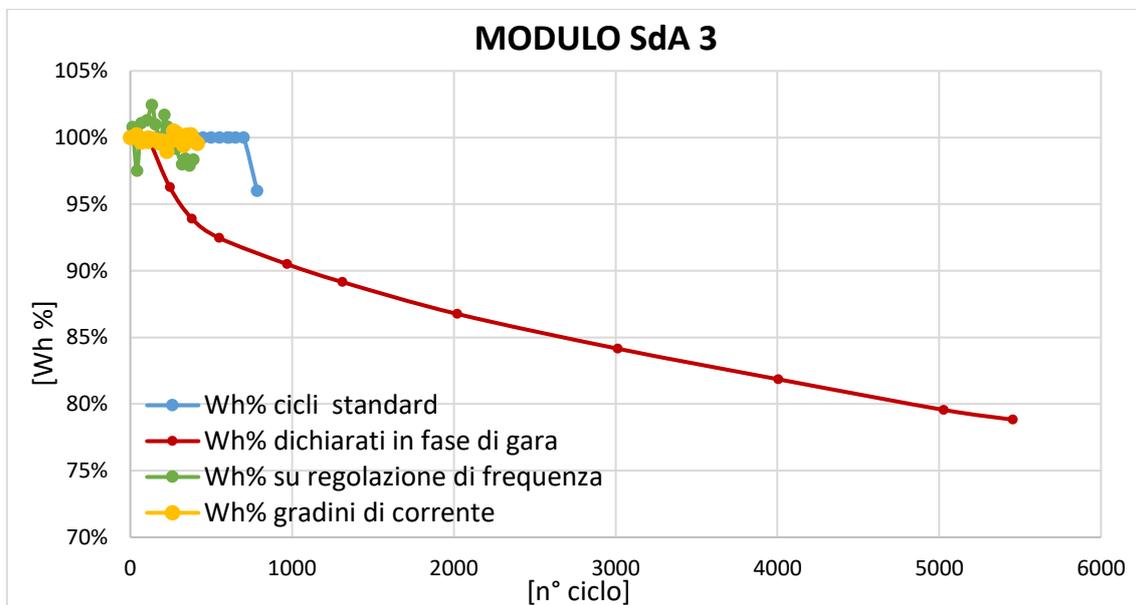


Figura 14 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 3

I risultati dei test di invecchiamento mettono in evidenza un degrado finale causato dall'esecuzione continua del ciclo di frequenza (in termini di Wh scaricati) superiore, seppur comunque contenuto, rispetto a quello ottenuto con l'esecuzione continua dei cicli standard, a parità di cicli considerati (400 cicli equivalenti). I picchi registrati sul test di regolazione sono dovuti in parte ad assestamenti della capacità a seguito dei test e in parte ad aggiustamenti software effettuati dal fornitore durante l'esecuzione del ciclo. I risultati relativamente al ciclo a gradini di corrente mettono in evidenza un degrado in linea con quello registrato con i precedenti due test (a parità di numero di cicli equivalenti confrontati). Tuttavia, il dato finale di invecchiamento del ciclo standard, ottenuto a circa 1000 cicli equivalenti, mette in evidenza un degrado significativo, con una riduzione della capacità residua del 10% negli ultimi 300 cicli di esecuzione del test.

Modulo SdA 4 – Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard, su cicli di regolazione di frequenza e su cicli a gradini di corrente per il SdA 4, riferite ad un modulo caratterizzato da un'energia nominale di 4 kWh.

Cicli standard

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	3000
Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi:	3000
Energia iniziale:	3,77 kWh
Energia attuale:	3,09 kWh

Cicli di regolazione di frequenza

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	180
Energia iniziale:	3,43 kWh
Energia attuale:	3,36 kWh

Cicli a gradini di corrente

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	935
Energia iniziale:	3,50 kWh
Energia attuale:	3,26 kWh

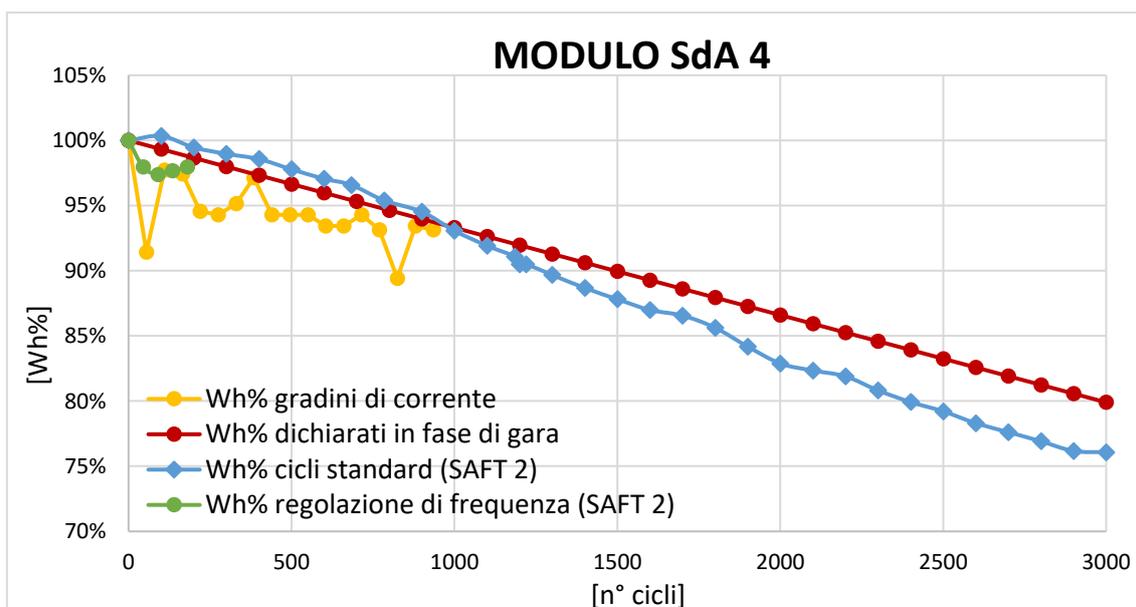


Figura 15 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 4

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

Durante l'esecuzione del ciclo di regolazione di frequenza è stato riscontrato per la seconda volta un guasto sul BMS del modulo batteria che ha causato l'interruzione del test al 180° ciclo. A causa dell'interruzione del test, i dati a disposizione non sono sufficienti per effettuare un confronto oggettivo tra il degrado provocato dal ciclo di regolazione e dal ciclo standard. Risulta invece significativo l'invecchiamento causato dall'esecuzione continua del ciclo standard presso la facility del fornitore: al termine dei 3000 cicli previsti, il degrado registrato sulla capacità energetica (in termini di Wh erogabili in scarica) è superiore al 20%, attestandosi intorno al 24%. Infine, i risultati riportati per il ciclo a gradini evidenziano un trend di invecchiamento con un degrado di poco superiore rispetto a quello riscontrato con l'esecuzione del ciclo standard. Le evidenze riscontrate per i tre test di invecchiamento mostrano pertanto come la tecnologia litio SdA 4 presenti un sensibile degrado delle prestazioni energetiche per differenti tipologie di ciclo.

Modulo SdA 5 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 5, riferite ad un modulo caratterizzato da un'energia nominale pari a 3,55 kWh.

Cicli standard

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	5000
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	5000
Energia iniziale:	3,53 kWh
Energia attuale:	3,12 kWh

Cicli di regolazione di frequenza

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	1105
Energia iniziale:	3,55 kWh
Energia attuale:	3,34 kWh

Cicli a gradini di corrente

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	1462
Energia iniziale:	3,47 kWh
Energia attuale:	3,34 kWh

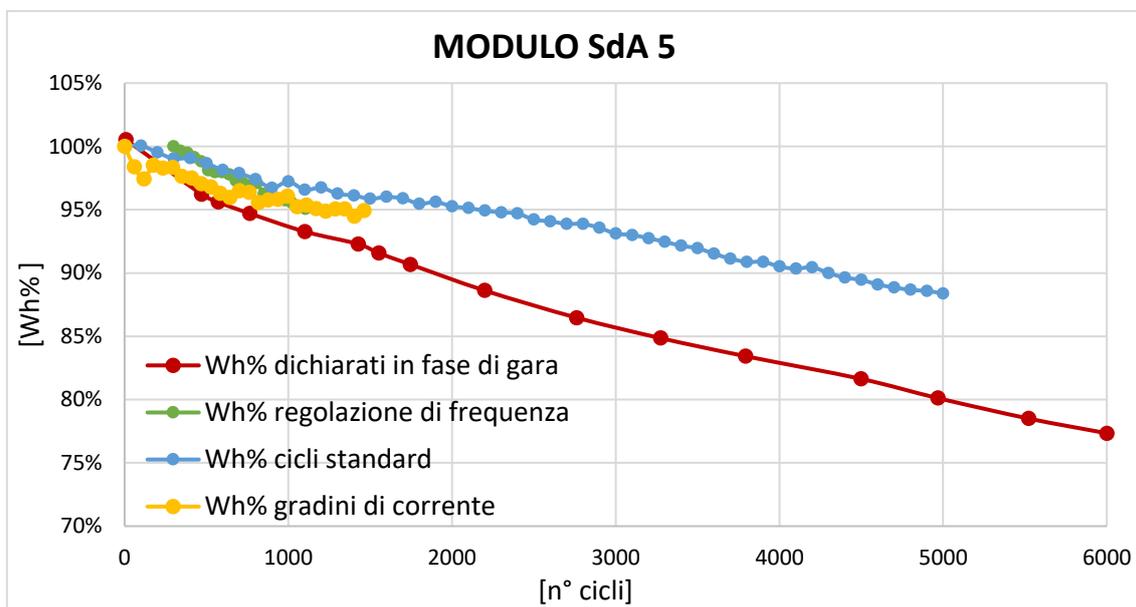


Figura 16 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 5

I risultati mostrano come il ciclo di regolazione di frequenza abbia provocato un degrado sulla capacità energetica della batteria di poco superiore a quello registrato al termine dell'esecuzione dei cicli standard. Il ciclo a gradini di corrente ha causato una riduzione delle performance in linea con quello registrato a seguito dell'esecuzione del ciclo di regolazione di frequenza, nonostante i due cicli presentino delle caratteristiche differenti sia in termini di inversioni di potenza che di energia ciclata. Il confronto finale dei risultati mette in evidenza come la tecnologia del SdA 5 non sia particolarmente sensibile alle diverse caratteristiche dei tre cicli di invecchiamento, mostrando un degrado delle prestazioni energetiche inferiore rispetto a quello dichiarato in fase di gara (sia per ciclaggi energetici continuativi che per continue inversioni di potenza).

Modulo SdA 6 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 6, riferite ad un modulo caratterizzato da un'energia nominale pari a 3,2 kWh.

Cicli standard

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	3000
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	3000
Energia iniziale:	3,27 kWh
Energia attuale:	2,97 kWh

Cicli di regolazione di frequenza

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	1323
Energia iniziale:	3,18 kWh
Energia attuale:	2,80 kWh

Cicli a gradini di corrente

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	1414
Energia iniziale:	3.23 kWh
Energia attuale:	3,05 kWh

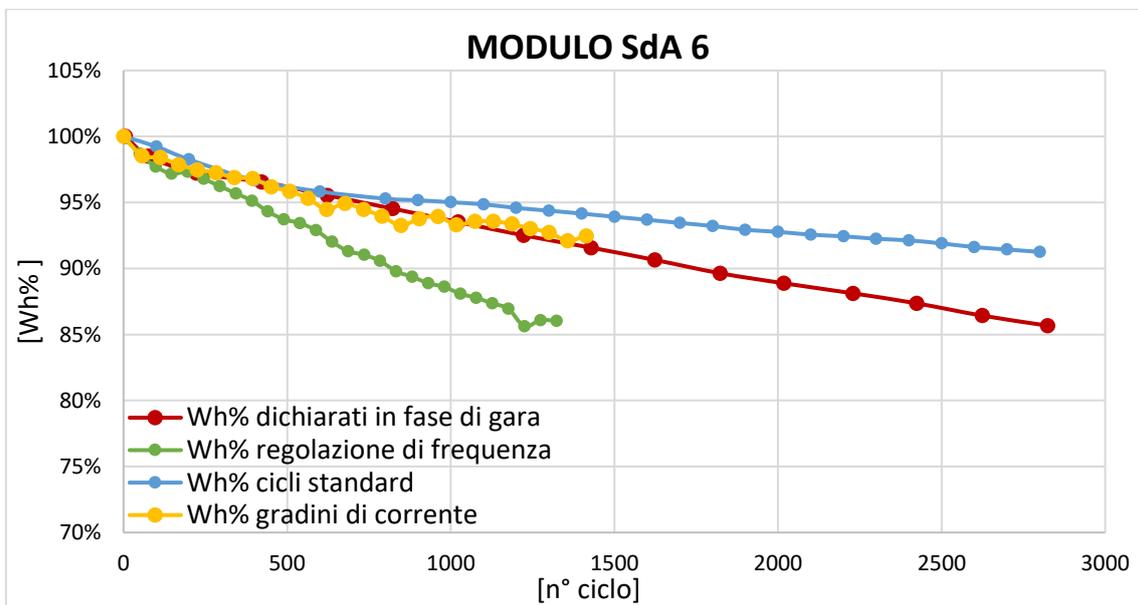


Figura 17 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 6

I risultati mostrano come il ciclo di regolazione di frequenza abbia provocato un degrado sulla capacità energetica della batteria sensibilmente superiore sia rispetto a quello registrato al termine dell'esecuzione dei cicli standard che rispetto a quello registrato al termine dell'esecuzione dei cicli a gradini di corrente. In questo caso, il degrado riscontrato a seguito dell'esecuzione continuativa del ciclo a gradini di corrente è caratterizzato da valori intermedi rispetto a quelli registrati sul ciclo di regolazione di frequenza e sul ciclo standard.

Il confronto finale, infine, mette in evidenza come la tecnologia del SdA 6 sia sensibile a cicli caratterizzati da continue inversioni di potenza, mostrando un degrado delle prestazioni energetiche particolarmente gravoso a seguito dell'esecuzione continuativa del ciclo di regolazione di frequenza, rispetto al ciclo a gradini di corrente e all'esecuzione continuativa del ciclo standard.

Modulo SdA 7 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 7, riferite al modulo di *Tipologia B* caratterizzato da un'energia nominale pari a 1,1 kWh.

Cicli standard

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	6000
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	6000
Energia iniziale:	1,11 kWh
Energia finale:	1,04 kWh

Cicli di regolazione di frequenza

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli effettivamente eseguiti :	1250
Energia iniziale:	1,10 kWh
Energia finale:	1,11 kWh

Cicli a gradini di corrente

Stato del test:	In corso
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	326
Energia iniziale:	1,12 kWh
Energia attuale:	1,12 kWh

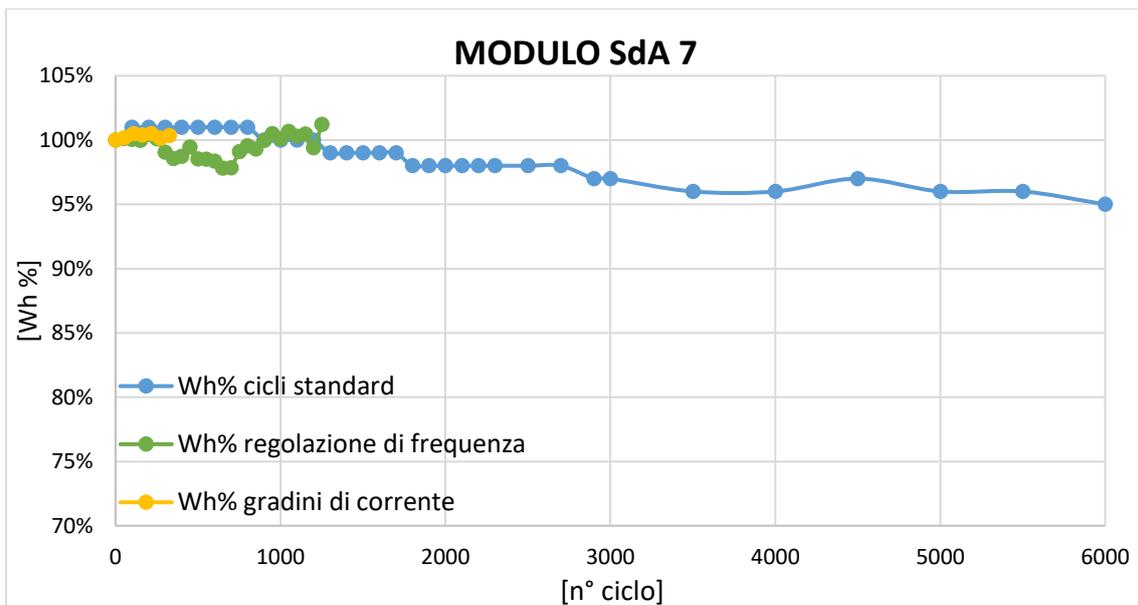


Figura 18 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 7

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

I risultati mostrano come il ciclo di regolazione di frequenza abbia provocato un degrado sulla capacità energetica della batteria in linea con quello registrato al termine dell'esecuzione dei cicli standard.

I test di invecchiamento a gradini di corrente, iniziati a Settembre 2017 ed ancora in corso, hanno eseguito circa 326 cicli. La capacità energetica del modulo non presenta segni di degrado a seguito dei cicli fino ad ora eseguiti.

Il confronto finale mette in evidenza come la tecnologia del SdA 7 non sia particolarmente sensibile alle diverse caratteristiche dei tre cicli. Il SdA 7 presenta inoltre un invecchiamento minimale sul ciclo standard, evidenziando una riduzione del contenuto energetico scaricabile pari solamente al 5% dopo 6000 cicli equivalenti.

CONFRONTO RISULTATI TEST DI INVECCHIAMENTO SU CICLI STANDARD, SU CICLI DI REGOLAZIONE DI FREQUENZA E SU CICLI A GRADINI DI CORRENTE TRA I DIVERSI FORNITORI

Nell'anno di sperimentazione 2017, il test di invecchiamento sul ciclo standard è stato concluso dal SdA1 e dal SdA4, mentre il test su ciclo a gradini di corrente è stato concluso dal SdA2 ed è ancora in corso per il SdA7.

Si ritiene dunque opportuno riportare alcuni grafici riepilogativi che mettano a confronto l'invecchiamento subito dalle diverse tecnologie in modo 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 19 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 approvvigionate. 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.

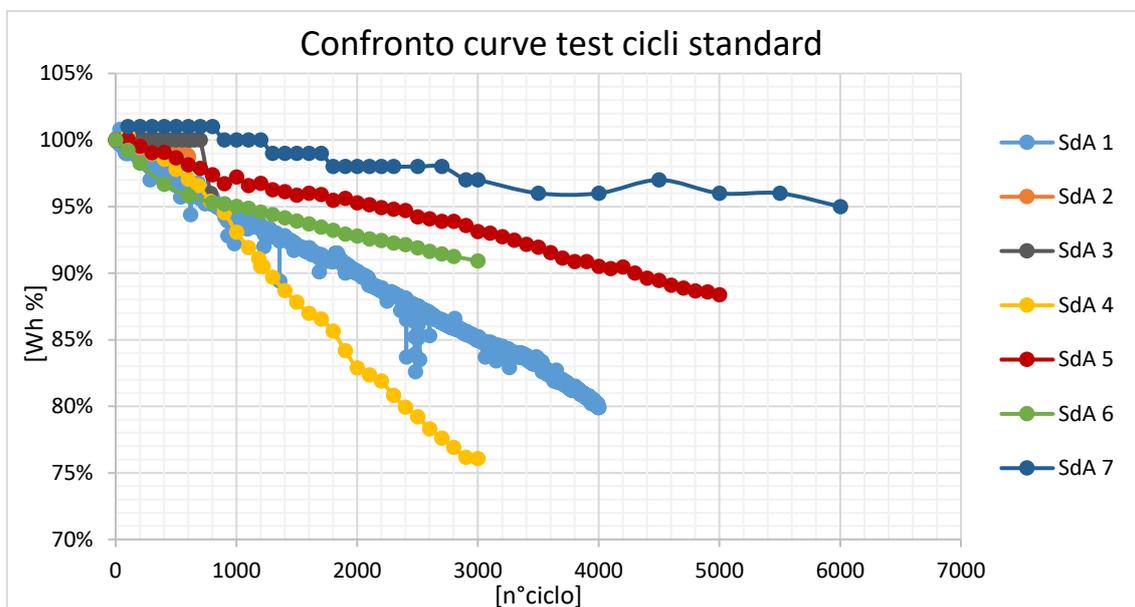


Figura 19 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli standard

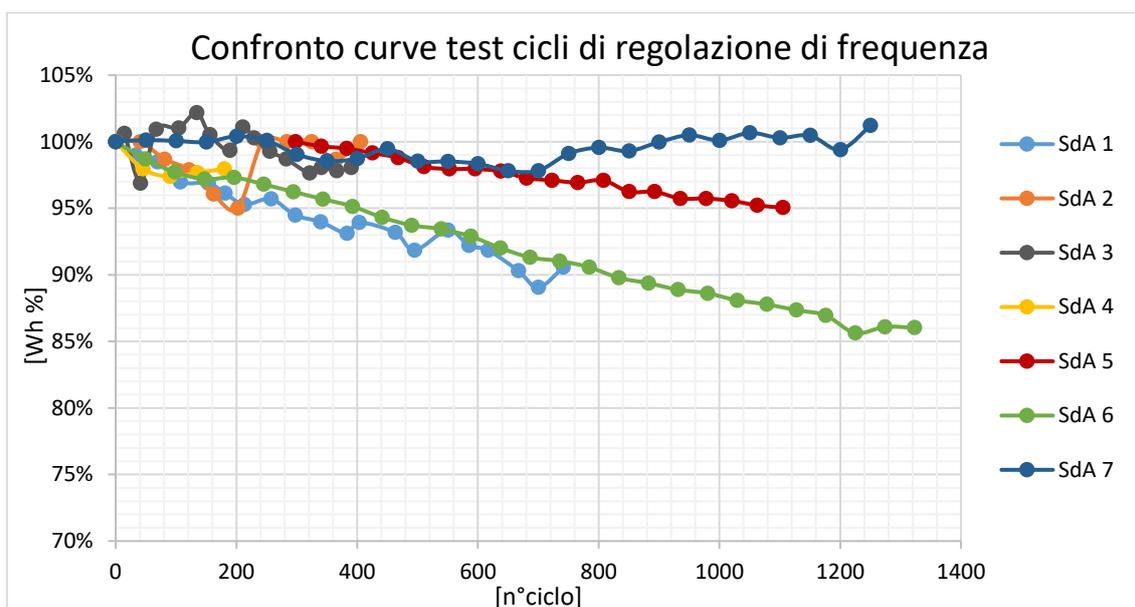


Figura 20 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli di regolazione di frequenza

Il grafico in Figura 20 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, come già evidenziato nei paragrafi precedenti, 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.

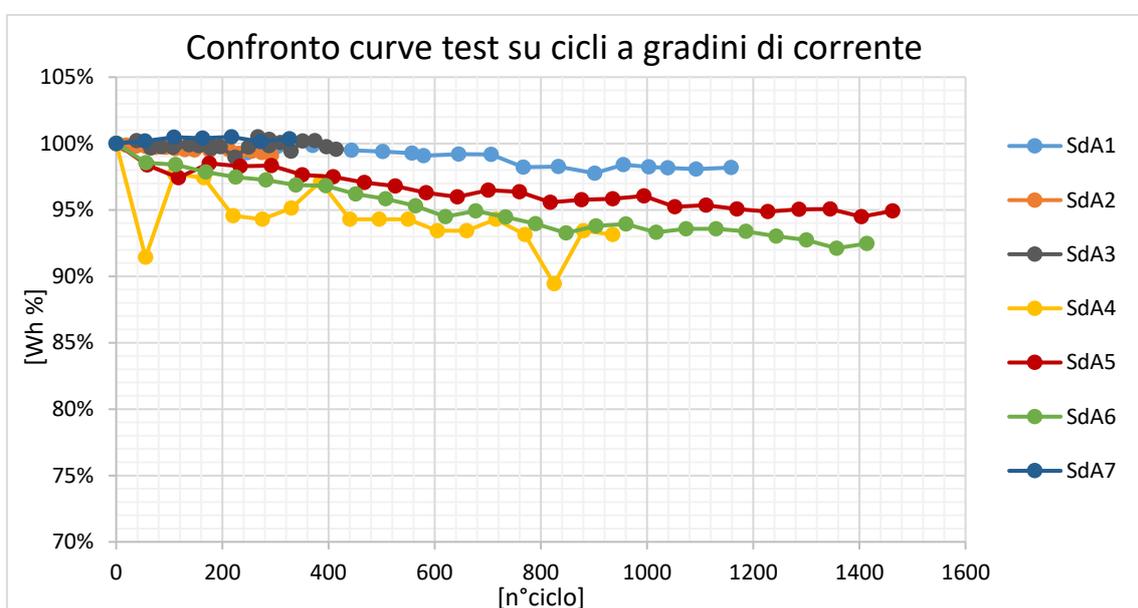


Figura 21 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli a gradini di corrente

In Figura 21 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 è ancora in corso. 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.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		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 22). 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 23).

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.

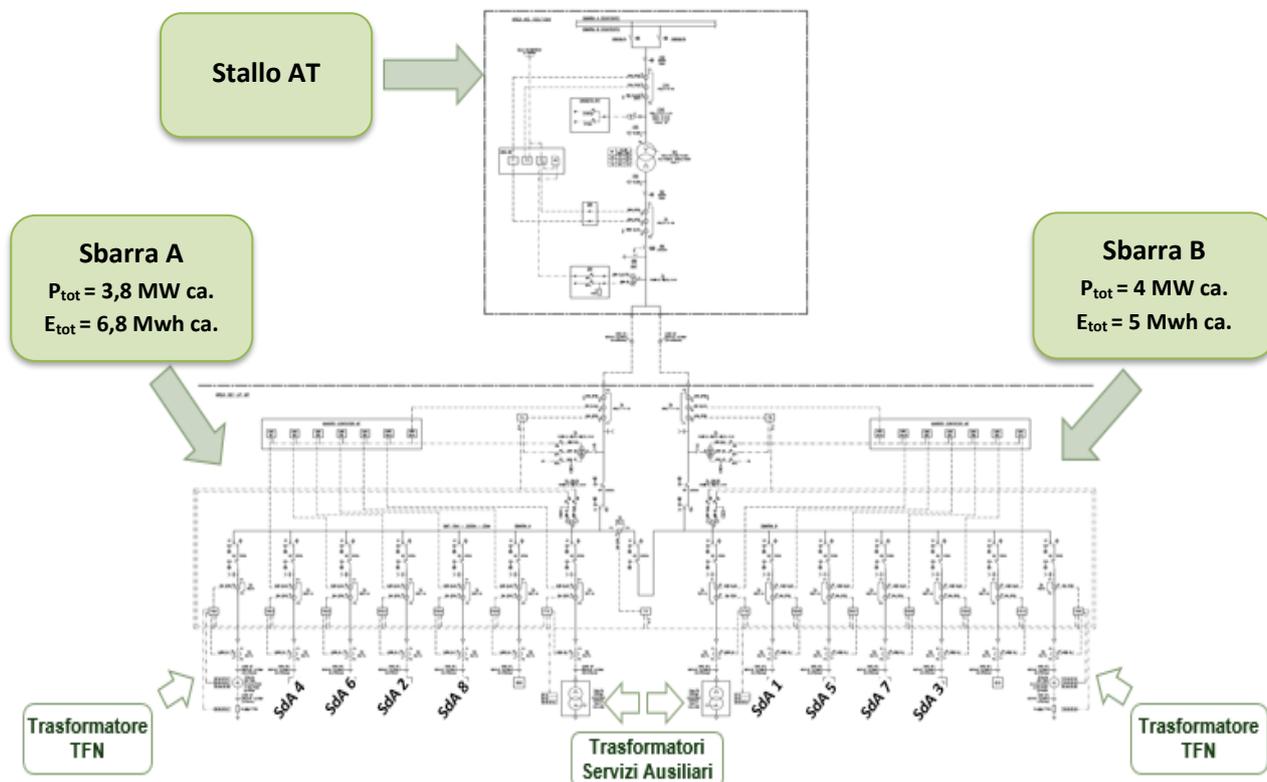


Figura 22 Schema unifilare MT/AT di impianto – Codrongianos

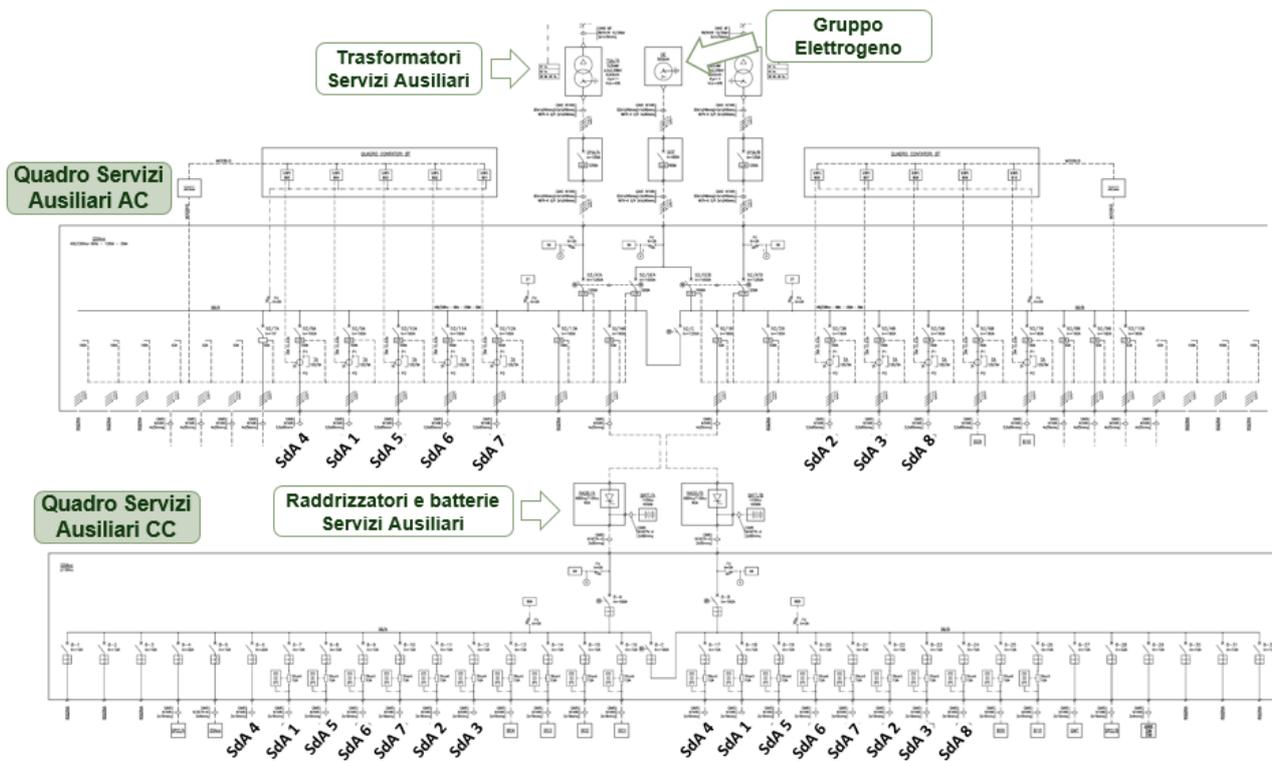


Figura 23 Schema unifilare BT – servizi ausiliari - Codrongianos

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]
SdA 1	Lithium-Based	1	1,23
SdA 2	Zebra	1,2	4,15
SdA 3	Zebra	1	2,00
SdA 4	Lithium-Based	1,2	0,97
SdA 5	Lithium-Based	1	0,92
SdA 6	Lithium-Based	1	0,54
SdA 7	Lithium-Based	1	1,02
SdA 8	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 24). 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.

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 25).

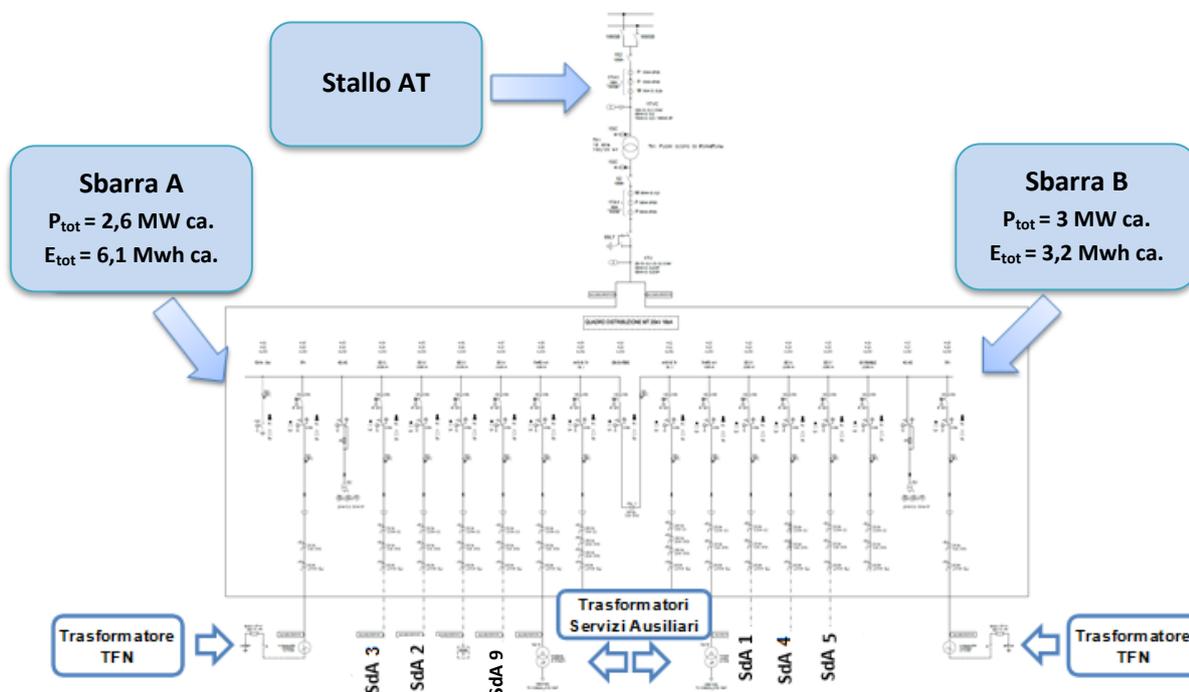


Figura 24 Schema unifilare MT/AT di impianto – Ciminna

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.

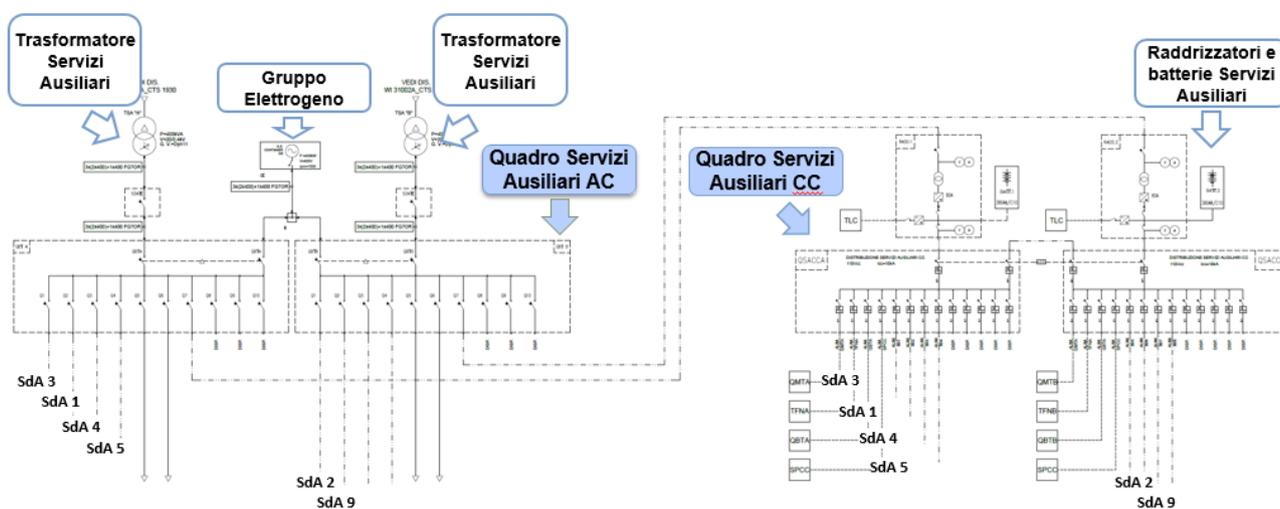


Figura 25 Schema unifilare BT – servizi ausiliari Ciminna

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]
<i>SdA 1</i>	Lithium-based	1	1,23
<i>SdA 2</i>	Zebra	1,2	4,15
<i>SdA 3</i>	Lithium-based	0,9	0,54
<i>SdA 4</i>	Lithium-based	1	0,92
<i>SdA 5</i>	Lithium-based	1	1,02
<i>SdA 9</i>	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 e 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.

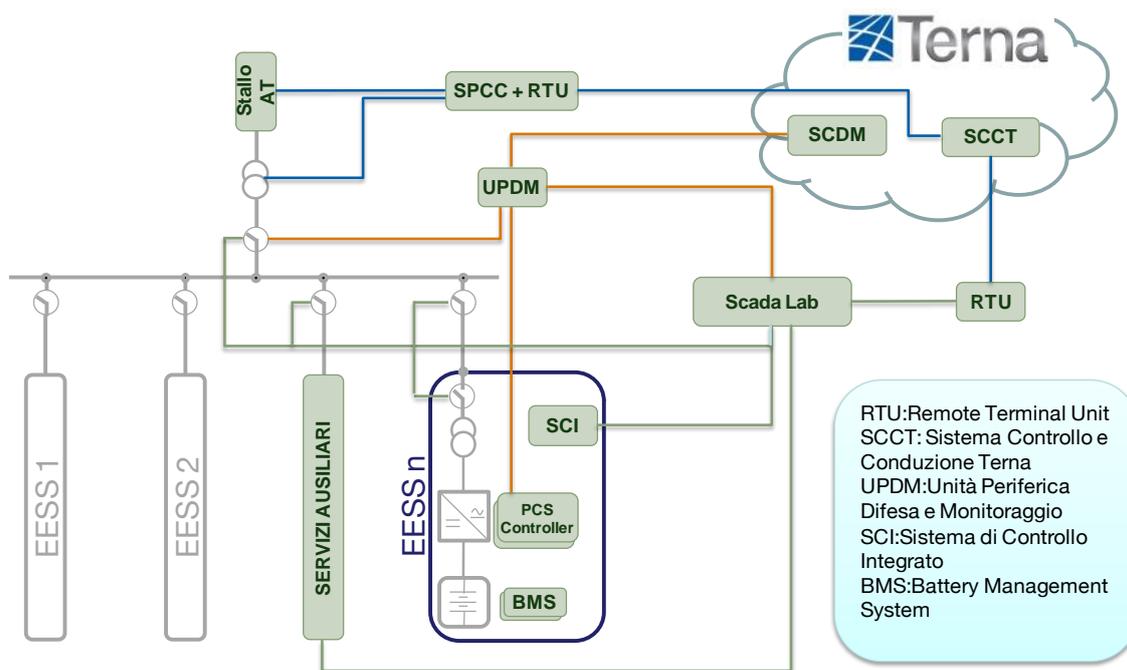


Figura 26 Flussi logici degli impianti Storage Lab

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 a 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.

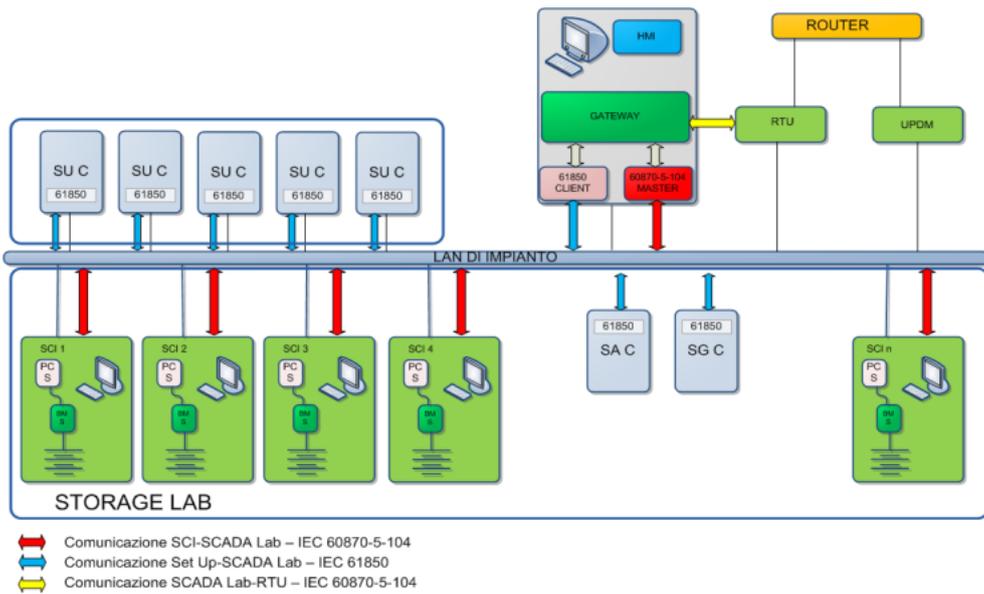


Figura 27 Architettura del sistema di controllo Storage Lab

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.

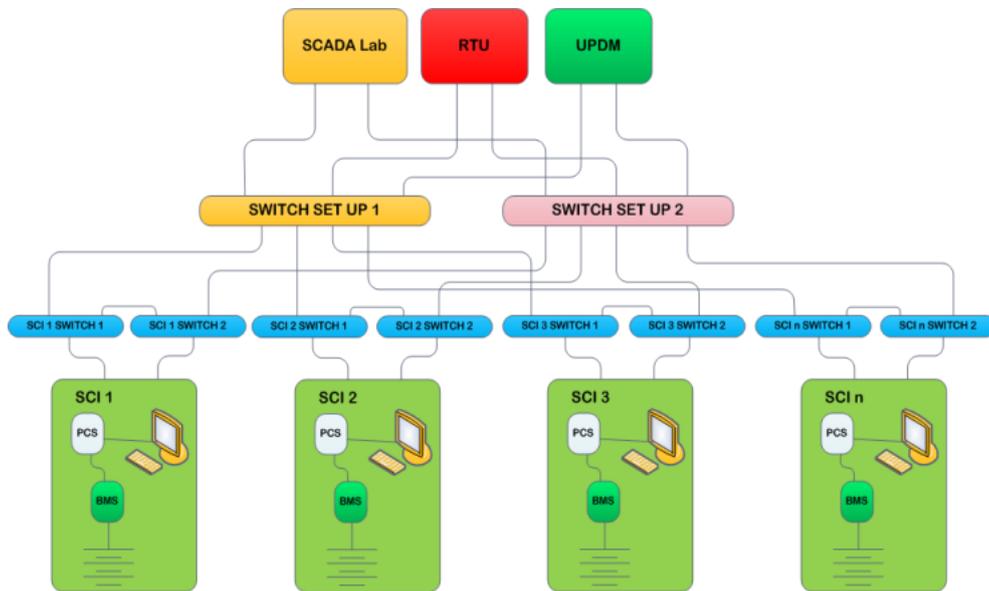


Figura 28 Architettura della LAN Storage Lab

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, mediante (si riporta a seguire un maschera esemplificativa del HMI dello Scada Lab).

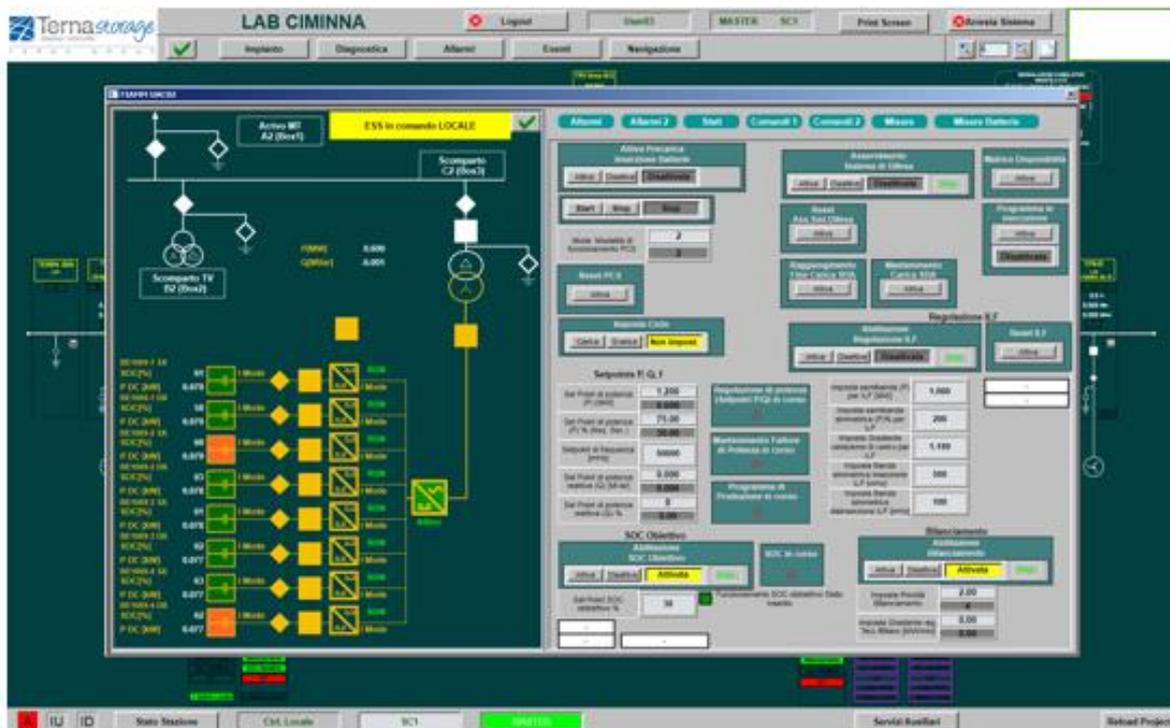


Figura 29 Esempio interfaccia grafica da Scada Lab (locale)

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

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.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

8. GRID-SCALE TEST: PROVE PERIODICHE EFFETTUATE 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, e le prove *ad hoc* svolte per la valutazione della risposta degli SdA a opportuni input in ingresso, 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, ma anche di valutarne il 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.

8.2 PROVE DI RENDIMENTO NETTO

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.

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.

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. Nei paragrafi successivi si riportano, per ogni SdA relativamente alle stazioni di accumulo di Codrongianos e di Ciminna, i risultati delle prove di rendimento eseguite nell'anno 2017. Al fine di determinare il degrado subito a seguito dell'esercizio continuativo, sono riportati per confronto i valori di rendimento ed energia scaricata relativi alle prove svolte durante il 2016 e in fase di collaudo. In quest'ultimo caso, si riporta solamente il valore mediato sui tre cicli di prova effettuati e si rimanda al report pubblico 2015 per maggiori dettagli.

PARAMETRI CARATTERISTICI CODRONGIANOS

SdA 1- Lithium-based

In Tabella 3 sono riportati i risultati mediati sui tre cicli effettuati per la prova di rendimento netto eseguita in fase di collaudo in data 01/10/2015, a confronto con i risultati ottenuti per i test eseguiti nel 2016 e nel 2017.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo – IH2015	1013	82,4
IH 2016	990	83,0
IH 2017	883	84,6
IIH 2017	Test Failed	

Tabella 3 Risultati prova di rendimento netto – SdA 1 Codrongianos

Il test di rendimento e capacità eseguito durante la prova del primo semestre 2017 ha mostrato un calore di energia scaricata inferiore rispetto ai risultati emersi in fase di collaudo, evidenziando un possibile degrado delle prestazioni da verificare tramite i successivi test periodici. Tuttavia, il test eseguito per determinare il degrado delle prestazioni al termine del secondo semestre del 2017 non ha permesso di determinare i valori di rendimento netto e di energia residua a causa dell'interruzione non prevista del test. Il problema riscontrato è dovuto a un blocco in scarica del sistema per sovracorrente legata a una bassa tensione di stringa, con conseguente allarme del sistema per SOC inferiori all'8%. Tale condizione non pregiudica l'esercizio del sistema ma non permette di eseguire correttamente il test per la valutazione della capacità residua.

Sda 2 – Zebra

La Tabella 4 riporta i risultati della prova di rendimento netto effettuata in fase di collaudo in data 25/07/2015, confrontati con i risultati delle prove effettuate nel 2016 e nel 2017.

L'energia scaricata durante la ripetizione del ciclo nel primo semestre 2017 ha mostrato risultati coerenti con quelli emersi nella precedente prova, non evidenziando quindi alcun fenomeno di invecchiamento di rilievo. Si notifica inoltre che durante l'esecuzione della prova del IH 2017, non erano disponibili 25 moduli batterie, e quindi l'energia effettivamente scaricata è stata pari a 3,719 MWh. Il valore riportato in tabella viene

calcolato proporzionalmente al fine di stimare l'energia che sarebbe stata scaricata in condizioni nominali. Il test di rendimento e capacità eseguito per determinare il degrado delle prestazioni al termine del secondo semestre del 2017 non ha invece permesso di determinare i valori di rendimento netto e di energia residua a causa di errori di regolazione della potenza da parte del PCS, che hanno portato all'allarme e alla disconnessione di alcuni blocchi batteria durante la fase di carica. Tale condizione non consente di eseguire correttamente il test per la valutazione della capacità residua che potrà essere eseguito solo a valle dell'intervento del fornitore.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2015	4253	80,5
IH 2016	4330	78,3
IH 2017	4122	79,6
IIH 2017	Test Failed	

Tabella 4 Risultati prova di rendimento netto – SdA 2 Codrongianos

SdA 3 - Zebra

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di rendimento netto effettuata in fase di collaudo in data 22-24/03/2016, confrontati con i risultati delle prove effettuate a seguito dell'esercizio.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IH 2016	1975	77,0
IH 2017	1500	71,6
IIH 2017	750	71,2

Tabella 5 Risultati prova di rendimento netto– SdA 3 Codrongianos

L'energia scaricata durante le prove del 2017 evidenzia chiaramente il significativo degrado delle prestazioni del SdA 3 a seguito dell'esercizio continuativo in sito. In particolare, l'energia residua attuale del sistema è pari a circa il 37% di quella nominale. Tale risultato mette in luce come la tecnologia del SdA 3 sia affetta da un gravoso invecchiamento precoce che ne compromette inevitabilmente le performance di esercizio, sia in termini di energia estraibile che di potenza massima utilizzabile.

SdA 4 – Lithium-Based

In Tabella 6 sono riportati i risultati della prova di rendimento netto effettuata in fase di collaudo in data 03/12/2015, confrontati con i risultati delle prove effettuate nel 2016 e nel 2017.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2015	970	84,4
IIH 2016	915	83,8
IIH 2017	915	84,8

Tabella 6 Risultati prova di rendimento netto – SdA 4 Codrongianos

L'energia scaricata durante la ripetizione del ciclo è coerente con i risultati emersi nella precedente prova e durante i test di collaudo. Dal confronto con i valori di rendimento registrati nelle prove precedenti non si evidenziano pertanto fenomeni di invecchiamento di rilievo.

SdA 5 – Lithium-Based

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di rendimento netto, effettuata in fase di collaudo in data 30/07/2015, a confronto con i risultati delle prove, relative al 2016 e al 2017.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2015	915	85,5
IH 2016	930	91,2
IIH 2016	915	89,3
IIH 2017	863	91,6

Tabella 7 Risultati prova di rendimento netto – SdA 5 Codrongianos

L'energia scaricata durante l'ultima prova effettuata è inferiore rispetto ai risultati emersi in fase di collaudo e durante i test del 2016, evidenziando un possibile degrado delle prestazioni. Si ritiene tuttavia opportuno attendere i risultati delle future prove al fine di dedurre eventuali fenomeni di invecchiamento.

Relativamente al valore di rendimento ottenuto, si riscontra un allineamento con quanto riscontrato durante le prove del 2016. Il discostamento con i valori relativi al test effettuato in fase di collaudo è riconducibile ai consumi energetici dei sistemi ausiliari, decisamente superiori durante il collaudo effettuato nel periodo estivo rispetto a quelli del periodo invernale a causa del funzionamento pressoché continuativo del sistema di condizionamento di entrambi i container batteria.

SdA 6 – Lithium-Based

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di rendimento netto effettuata in data 17/05/2016 durante le fasi iniziali di collaudo, a confronto con la prova relativa al secondo semestre 2017.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IH 2016	515	80,8
IIH 2017	480	79,4

Tabella 8 Risultati prova di rendimento netto – SdA 6 Codrongianos

L'energia scaricata durante il test relativo al 2017 è in linea con i risultati emersi in fase di collaudo. Non si evidenziano pertanto fenomeni di invecchiamento di rilievo o degrado delle prestazioni né in termini di capacità residua né in termini di rendimento.

SdA 7 – Lithium-Based

In Tabella 9 sono riportati i risultati della prova di rendimento netto, effettuata in fase di collaudo in data 14/12/2014, a confronto con i risultati delle prove, relative al 2016.

L'energia scaricata durante il test di Settembre 2016 è in linea con i risultati emersi nei precedenti test e in

fase di collaudo. Non si evidenziano pertanto fenomeni di invecchiamento di rilievo o degrado delle prestazioni, in termine di capacità residua. Tuttavia, è possibile riscontrare una certa variazione tra i valori dei rendimenti ottenuti nel 2016 rispetto a quello relativo alla prova di collaudo effettuata a dicembre 2014. In questo caso, il minore rendimento è legato alla maggiore energia caricata durante il ciclo di collaudo, a fronte di consumi degli ausiliari misurati dai contatori BT molto simili a quelli riscontrati durante le successive prove.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo	1000	86,6
IH 2016	960	91,0
IIH 2016	990	93,9

Tabella 9 Risultati prova di rendimento netto– SdA 7 Codrongianos

SdA 8 – Flusso-Vanadio

In Tabella 10 sono riportati i risultati della prova di rendimento netto, effettuata in data 01/12/2016 durante le fasi iniziali di collaudo. Non è stato possibile svolgere svolti ulteriori test prestazionali sul SdA a causa del prolungato periodo di indisponibilità legato all'impossibilità del fornitore di eseguire le prestazioni richieste.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2016	1545	65,2

Tabella 10 Risultati prova di rendimento netto– SdA 8 Codrongianos

PARAMETRI CARATTERISTICI CIMINNA

SdA 1 – Lithium-Based

La Tabella 11 riporta i risultati della prova di rendimento netto, svolta in fase di collaudo in data 27/10/2015, a confronto con i risultati ottenuti durante i test effettuati nel 2016 e nel 2017.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2015	1057	83,1
IH 2016	940	83,0
IH 2017	1040	85,2
IIH 2017	Test Failed	

Tabella 11 Risultati prova di rendimento netto – SdA 1 Ciminna

Con la prova effettuata a febbraio 2017, si è potuto valutare come l'energia scaricata sia in linea con quella ottenuta in fase di collaudo, permettendo quindi di escludere eventuali fenomeni di invecchiamento ipotizzati a seguito dei risultati della prova del 2016. Occorre tuttavia precisare che tale prova era stata eseguita in assenza di una stringa e quindi il valore dell'energia scaricata era stato ottenuto tramite un calcolo proporzionale sull'energia effettivamente scaricata dal sistema nelle condizioni della prova.

Tuttavia, il test di rendimento e capacità eseguito per determinare il degrado delle prestazioni al termine del secondo semestre del 2017 non ha permesso di ottenere i valori di rendimento netto e di energia residua a causa di un'interruzione anomala del test. Il problema riscontrato è dovuto a un blocco in scarica del sistema per sovracorrente legata a una bassa tensione di stringa, con conseguente allarme del sistema per SOC inferiori al 17%. Tale condizione non pregiudica l'esercizio del sistema ma non permette di eseguire correttamente il test per la valutazione della capacità residua.

SdA 2 - Zebra

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di rendimento netto, svolta in fase di collaudo in data 10/02/2015, a confronto con i risultati delle prove svolte nel periodo di sperimentazione.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IH 2015	4224	79,9
IH 2016	4204	78,2
IIH 2016	4012	79,0
IIH 2017	Test Failed	

Tabella 12 Risultati prova di rendimento netto– SdA 2 Ciminna

Il test di rendimento e capacità eseguito per determinare il degrado delle prestazioni al termine del secondo semestre del 2017 non ha permesso di individuare i valori di rendimento netto e di energia residua a causa di errori di regolazione della potenza da parte del PCS. Tale condizione non consente di eseguire correttamente il test per la valutazione della capacità residua che potrà essere eseguito solo a valle dell'intervento del fornitore del PCS.

SdA 3 – Lithium - Based

Nella tabella successiva si riportano i risultati delle prove di rendimento netto, effettuate in fase di collaudo in data 10/12/2015 e durante il periodo di sperimentazione.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2015	533	80,6
IH 2016	550	84,7
IIH 2016	530	81,8
IIH 2017	Test Failed	

Tabella 13 Risultati prova di rendimento netto – SdA 3 Ciminna

Il test di rendimento e capacità eseguito per determinare il degrado delle prestazioni al termine del secondo semestre del 2017 non ha permesso di individuare i valori di rendimento netto e di energia residua a causa della presenza di una o più celle con capacità ridotta in uno dei 27 moduli della stringa 2 del container batterie, con conseguente interruzione della fase di scarica del test ad un SOC pari al 27%. Tale condizione non pregiudica l'esercizio del sistema ma non permette di eseguire correttamente il test per la valutazione della capacità residua.

Relativamente al valore di rendimento ottenuto, è necessario far notare come la prova effettuata a nel IH 2016 abbia permesso di ottenere un rendimento maggiore rispetto a quello ottenuto per la prova di collaudo e il test del IIH 2016. La variabilità del rendimento è riconducibile ai sistemi ausiliari, che nel caso della prova del I semestre 2016 hanno fatto registrare consumi inferiori del 20-30% rispetto a quelli registrati negli altri due test.

SdA 4 – Lithium-Based

La tabella sottostante riporta i risultati delle prove di rendimento netto effettuate in fase di collaudo in data 20/09/2015 e durante il periodo di sperimentazione. A causa dei prolungati periodi di indisponibilità e dei ritardi negli interventi dei fornitori, non è stato possibile effettuare i test nell'anno 2017.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2015	927	85,7
IH 2016	920	89,0
IIH 2016	860	86,0

Tabella 14 Risultati prova di rendimento netto – SdA 4 Ciminna

L'energia scaricata durante la ripetizione del ciclo nel secondo semestre 2016 è inferiore ai risultati emersi nella precedente prova. Si ritiene opportuno attendere i risultati delle future prove al fine di dedurre eventuali fenomeni di invecchiamento. Si evidenzia inoltre uno scostamento tra i valori di rendimento ottenuti durante la prova di Ottobre 2016 e il test di collaudo con quanto ottenuto con il test del I semestre 2016: tale differenza è riconducibile ai consumi energetici dei sistemi ausiliari, decisamente inferiori durante il test effettuato in pieno periodo invernale a causa del maggiore consumo del sistema di condizionamento di entrambi i container batteria riconducibile a periodi più caldi, quali Settembre ed Ottobre.

SdA 5 – Lithium-Based

In Tabella 15 si riportano i risultati della prova di rendimento netto, svolta in fase di collaudo in data 16/07/2015 a confronto con i risultati dei test effettuati nel periodo di sperimentazione.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo - IIH 2015	990	85,5
IH 2016	970	85,3
IIH 2016	970	86,0
IIH 2017	950	87,8

Tabella 15 Risultati prova di rendimento netto– SdA 5 Ciminna

L'energia scaricata durante la ripetizione del ciclo nel secondo semestre 2017 è coerente con i risultati emersi nelle precedenti prove e con i valori ottenuti in fase di collaudo. Non si evidenziano pertanto fenomeni di invecchiamento di rilievo.

SdA 9 – Flusso-Vanadio

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di rendimento netto, effettuata in data 05-06/12/2016 durante le fasi iniziali di collaudo. Non sono stati svolti ulteriori test prestazionali sul SdA. Non è stato possibile svolgere ulteriori test prestazionali sul SdA a causa del prolungato periodo di indisponibilità legato all'impossibilità del fornitore di eseguire le prestazioni richieste.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
Collaudo – IIH 2016	1450	65,2

Tabella 16 Risultati prova di rendimento netto– SdA 6 Ciminna

Per maggiori approfondimenti sui risultati ottenuti durante le campagne di test di rendimento eseguite nei due siti, si rimanda all'appendice A.

8.3 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 delle prove svolte nel corso del 2017. 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)

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.

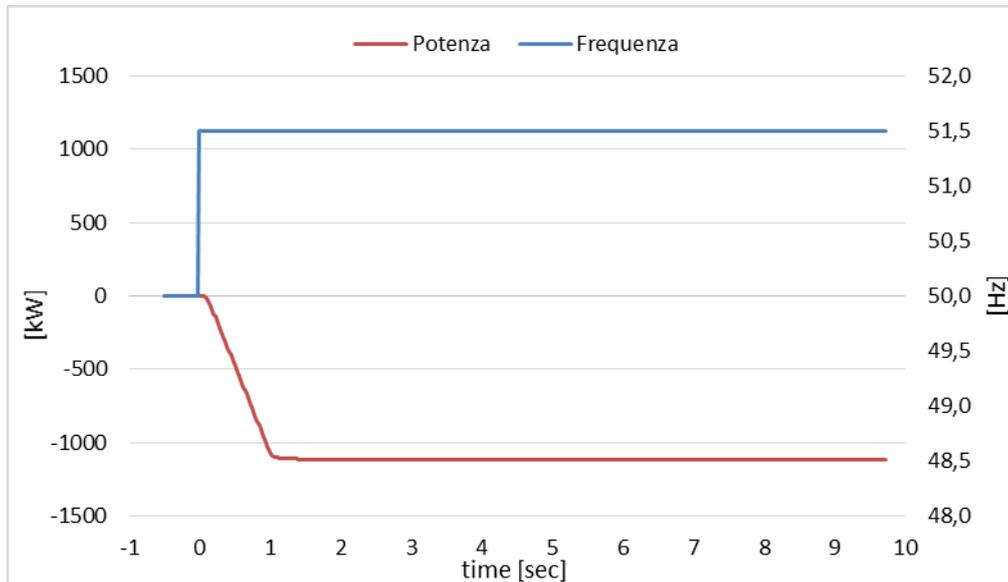


Figura 30 Risposta SdA4- Codrongianos

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

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.

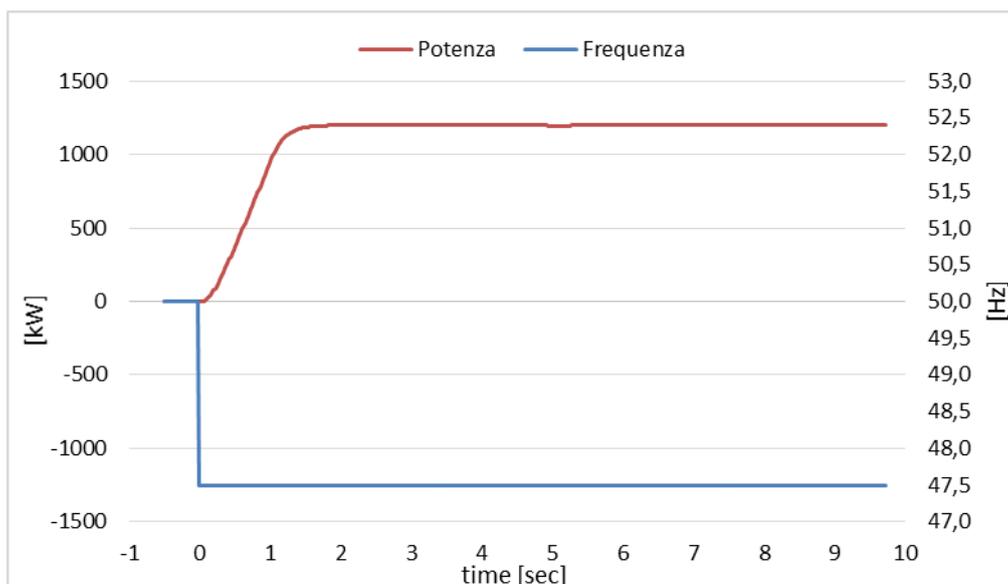


Figura 31 Risposta SdA2 - Codrongianos

SEQUENZA RAMPE OPPOSTE SENZA PIANEROTTOLO (PROVA 2A DELLA DETERMINA N.12/14)

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 1 di Codrongianos segua la perturbazione muovendosi dapprima in assorbimento (sovralfrequenza) e quindi in erogazione (sottofrequenza), assorbendo ed erogando la potenza nominale a seguito degli eventi di frequenza.

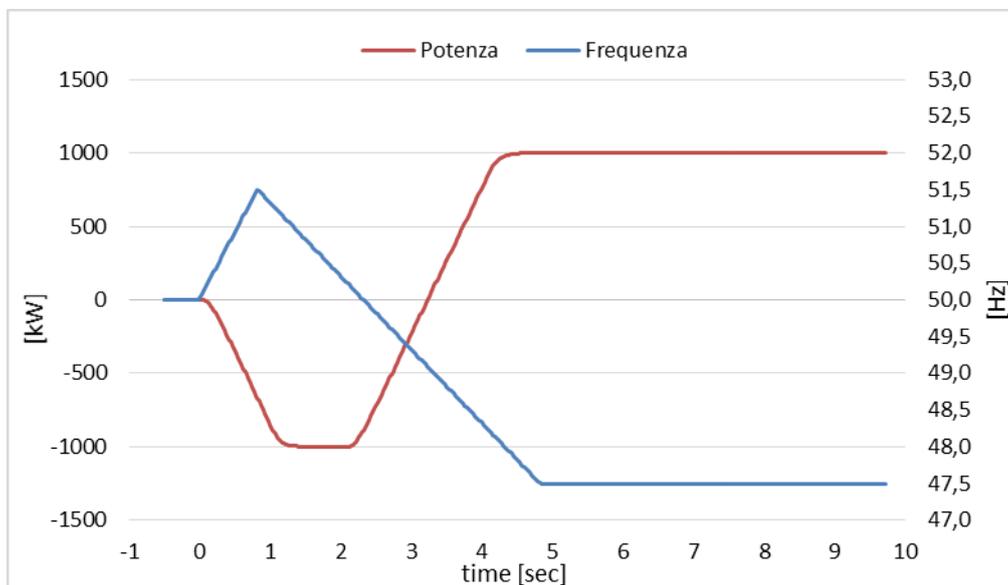


Figura 32 Risposta SdA1 - Codrongianos

SEQUENZA RAMPE OPPOSTE CON PIANEROTTOLO (PROVA 2B DELLA DETERMINA N.12/14)

La seguente prova è costituita da una rampa a salire (+1 Hz/s) fino ad una frequenza massima di 51,5 Hz mantenuta per 1 minuto, e da una successiva rampa a scendere (-1 Hz/s) fino ad una frequenza minima di 47,5 Hz (valore mantenuto per 15 minuti).

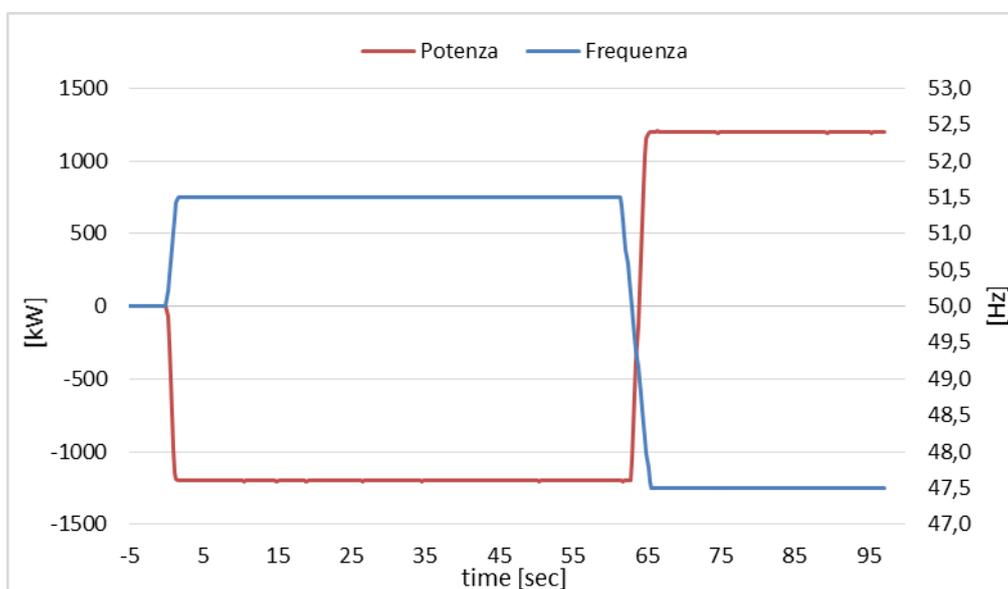
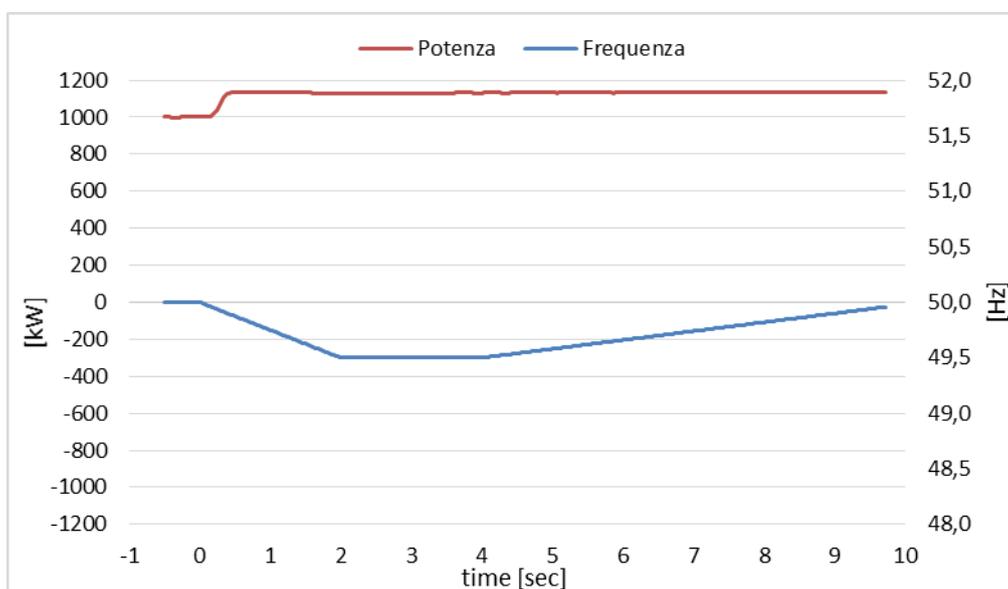


Figura 33 Risposta SdA2 – Codrongianos

Nella figura è riportato l'andamento della potenza del SdA 2 di Codrongianos a seguito della perturbazione. Si può notare come questa segua la perturbazione muovendosi dapprima in assorbimento (sovrافrequenza), sostenendo per tutta la durata della perturbazione la potenza nominale, e successivamente in erogazione (sottofrequenza), mantenendo il contributo di potenza nominale.

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

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 1 di Codrongianos durante la perturbazione in frequenza. È possibile osservare come negli intervalli temporali precedenti la perturbazione potenza erogata è pari al valore nominale. Per tutta la durata della perturbazione il SdA si pone in condizioni di scarica prossime al valore massima della relativa potenza di sovraccarico.


Figura 34 Risposta SdA1 - 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)

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). In Figura 35 è possibile osservare la risposta del SdA 1 di Codrongianos all'evento oggetto della prova 3b. È possibile notare come il sistema d'accumulo si porti in condizioni di sovraccarico e assorba in modo continuativo la potenza di sovraccarico.

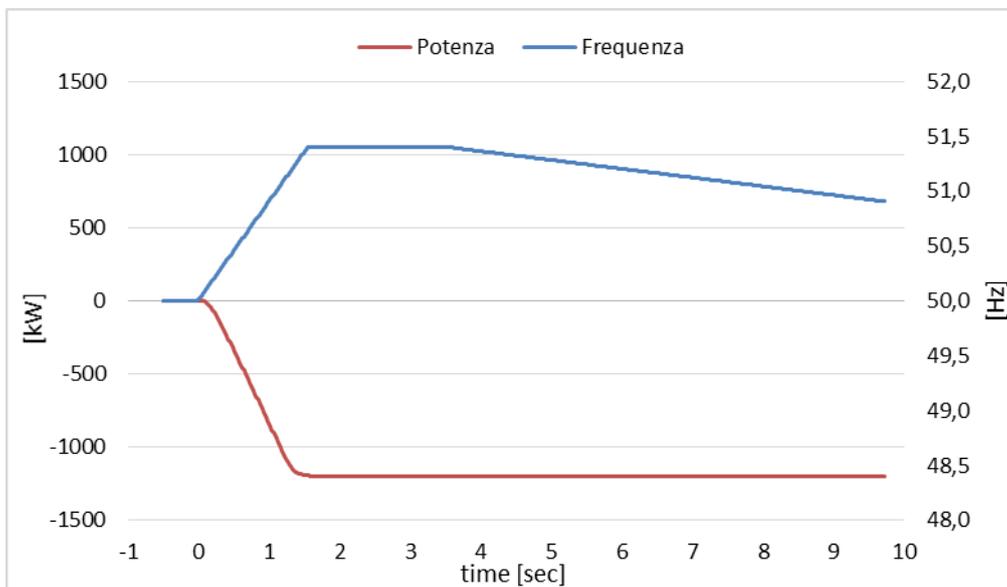


Figura 35 Risposta SdA1 - Codrongianos

Si riporta, infine, la risposta in potenza del SdA 1 di Codrongianos in relazione alla prova 3c. A seguito della rampa a salire di frequenza, il SdA va in assorbimento al valore massimo consentito dalla propria curva di capability (circa -1000 kW). Il SdA si mantiene quindi in carica alla potenza massima.

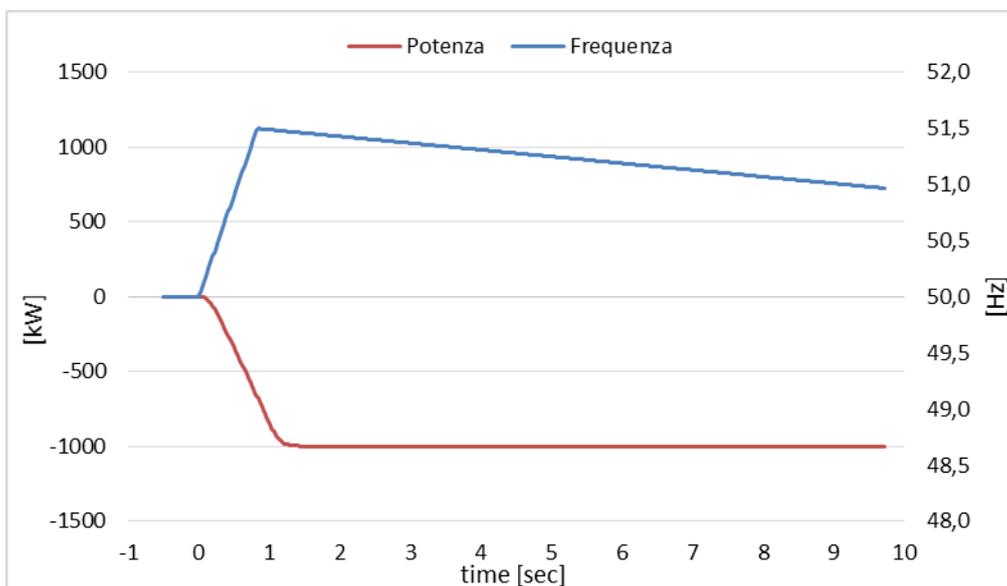


Figura 36 Risposta SdA1 - Codrongianos

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

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.

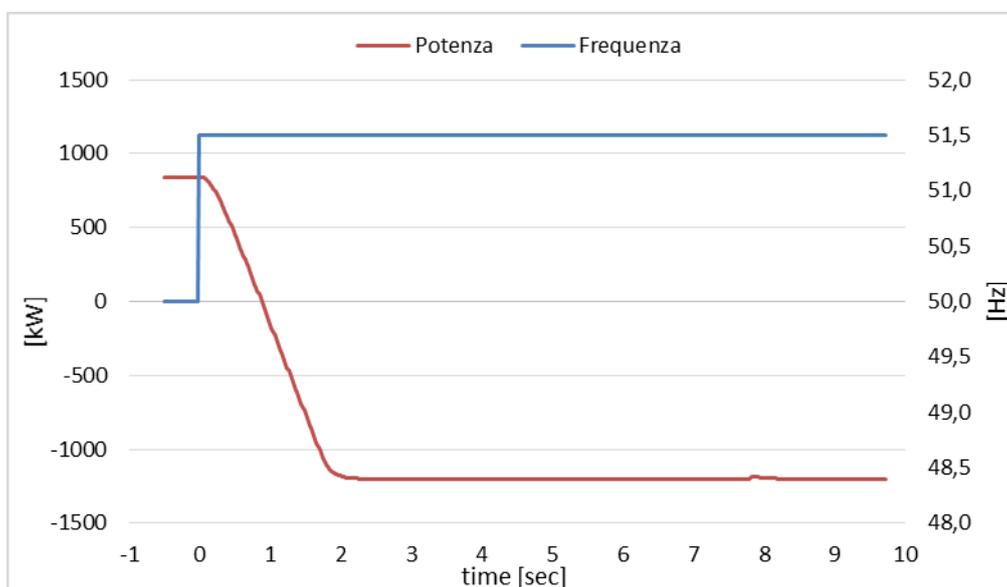


Figura 37 Risposta SdA2 – Codrongianos

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

La prova 4b prevede una perturbazione di sovrافrequenza 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 38 si può osservare la risposta del SdA4 di Codrongianos all'evento di sovrافrequenza, 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.

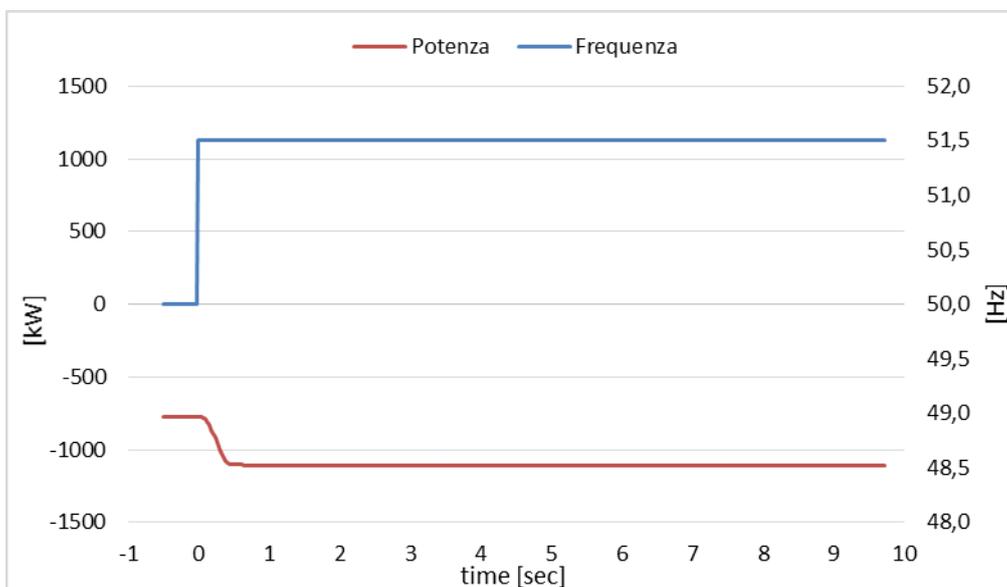


Figura 38 Risposta SdA4 - Codrongianos

GRADINO DI FREQUENZA A SCENDERE CON SCAMBIO INIZIALE NON NULLO (PROVA 5A DELLA DETERMINA N.12/14)

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 SdA2 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.

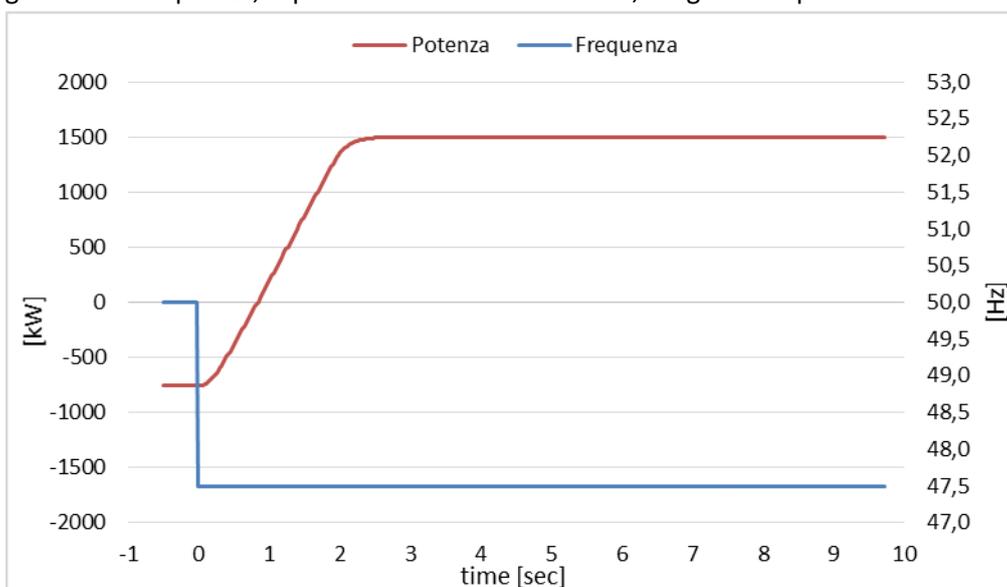


Figura 39 Risposta SdA2 - Codrongianos

GRADINO DI FREQUENZA A SCENDERE CON SCAMBIO INIZIALE NON Nullo (PROVA 5B DELLA DETERMINA N.12/14)

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 SdA4 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.

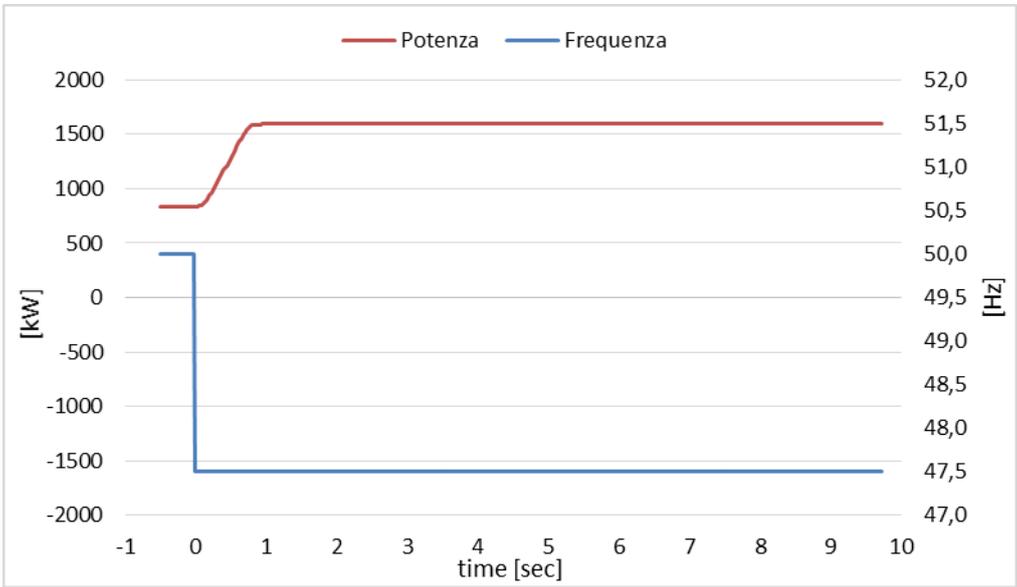


Figura 40 Risposta SdA4 - Codrongianos

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

9. MODALITÀ DI CONDUZIONE E DISPACCIAMENTO DEI PROGETTI PILOTA

9.1 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, inerzia sintetica) 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 sperimentalmente⁵)
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

Tutti i servizi sono espletabili in parallelo, in via del tutto automatica e sfruttando le potenzialità della funzione di SCI di gestione della capability di PCS in ragione dell'ordine di priorità impostato per ciascun servizio.

La capability nominale (P, Q) di un SdA può essere asservita esclusivamente a un servizio di rete oppure simultaneamente a più servizi in potenza attiva e/o reattiva. In dettaglio, i contributi di potenza per ciascun servizio possono essere modulati agendo sulle parametrizzazioni degli stessi, nonché 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.

Infine, è disponibile per la teleconduzione anche l'attivazione del ciclo pre-programmato di calibrazione, richiesto da alcuni SdA.

⁵ 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.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

REGOLAZIONE PRIMARIA DI FREQUENZA

La regolazione primaria di frequenza, come detto, servizio mantenuto sempre attivo per tutti i sistemi di accumulo, è implementata in conformità all'Allegato 15 del Codice di Rete ed è calibrata in modo che il contributo in potenza sia regolato in funzione dello scostamento di frequenza dalla condizione nominale e dal valore dello statismo impostato, pari a 0,5% per i sistemi installati nell'impianto di Codrongianos, e 0,4% per i SdA installati nell'impianto di Ciminna.

L'attivazione permanente del servizio implica la gestione e il funzionamento continuativo dei SdA in *riserva primaria*. L'utilizzo dei SdA come riserva per la regolazione primaria di frequenza prevede che essi siano eserciti sempre connessi alla rete con regolazione in stato ON di potenza attiva anche quando presentano riferimenti di potenza pari a 0. Tale scelta è attuata per poter compensare eventi rapidi di frequenza, che richiedano tempi di risposta attuabili solo con i SdA già connessi alla rete. Tuttavia, in tale configurazione, sussistono costantemente delle perdite sul circuito primario ed i servizi ausiliari risultano comunque sempre attivi: il beneficio di avere per ogni SdA circa 2 MW regolanti, sempre pronti a rispondere in caso di richiesta di potenza regolante da parte del servizio di regolazione primaria, comporta quindi il sostentamento delle perdite e dei servizi ausiliari dalle batterie dei SdA stessi o dalla rete, anche in condizioni di richiesta di potenza attiva scambiata con la rete pari a 0.

REGOLAZIONE SECONDARIA DI FREQUENZA

La regolazione secondaria di frequenza, come detto, è un servizio dal funzionamento automatico e avviato sperimentalmente. 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 (es. manutenzione collegamenti HVDC o fasi di esercizio al minimo tecnico), previa verifica che il segnale di livello sia effettivamente inviato dal regolatore secondario. La variazione della potenza attiva ΔP (positiva o negativa), conseguente alla ricezione del segnale di livello percentuale, è determinata nei limiti stabiliti dalla semi-banda di regolazione impostata in termini % della potenza disponibile in quell'istante (e/o in valore assoluto).

INTEGRATORE LOCALE DI FREQUENZA

L'Integratore Locale di Frequenza (ILF) è una funzionalità dell'SdA che concorre al ripristino della frequenza nominale. La funzione ILF si attiva automaticamente a fronte di errori di frequenza maggiori o uguali a una soglia parametrica di attivazione (banda di inserzione). All'atto della prima inserzione, l'ILF, in base a una lista di configurazione, lascia attivi, o attiva se non già attivi, determinati servizi. L'azione dell'ILF si disinserisce, senza resettare lo stato dell'integratore, quando la variazione di frequenza rientra nei limiti di una soglia parametrica (banda di disinserzione). La calibrazione dell'ILF è conforme alle prescrizioni del Codice di rete.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

RISERVA TERZIARIA E BILANCIAMENTO

L'utilizzo in bilanciamento non è programmato, e la Sala Controllo gestisce l'attivazione del servizio in funzione delle necessità del sistema. Dal punto di vista operativo, il servizio di bilanciamento può essere impiegato per eseguire un set-point di potenza attiva, su tutto l'arco di funzionamento ammesso dalla capability del SdA (sia esso per l'assorbimento o il rilascio di potenza attiva verso la RTN), proveniente dal sistema di controllo e conduzione Terna.

FUNZIONALITÀ SOC OBIETTIVO

Tale funzionalità è stata ideata con lo scopo di consentire all'operatore di condurre ciascun SdA ad un valore di SOC desiderato. Al fine di compensare i fenomeni di autoscarica e, eventualmente, gli effetti delle regolazioni, Terna ha stabilito di rendere parzialmente automatica tale funzionalità in maniera tale che il SdA, al di fuori di una banda morta di SOC predeterminata, riprenda a scambiare potenza con la rete in maniera tale da riportarsi al valore di stato di carica impostato.

CICLO DI CALIBRAZIONE

La funzione ciclo di calibrazione determina l'esecuzione di un pattern predefinito di potenza attiva e può essere attivata da SCI oppure da remoto con un comando ad hoc sintetico. La funzione risulta tipicamente utilizzata per eseguire automaticamente un ciclo completo secondo quanto prescritto dal fornitore di ciascun SdA, al fine di permettere un'adeguata ritaratura o ricalibrazione della misura dello stato di carica, nonché l'opportuno reset di alcune grandezze misurate ed elaborate dal BMS.

In generale, per tutti i SdA che necessitano del ciclo di calibrazione, quando la suddetta funzione viene attivata, essa inibisce l'erogazione di potenza per altre funzioni attive, anche per eventuali funzioni richiedenti regolazione di potenza reattiva.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

10. ANALISI INDICI DI PERFORMANCE DELL'ESERCIZIO CONTINUATIVO

10.1 GENERALITÀ

Al fine di fornire una panoramica completa dell'esercizio continuativo degli impianti Storage Lab in asservimento ai servizi di rete riportati nel capitolo 10, 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 di seguito riportate le analisi e gli indicatori di performance di esercizio come di seguito descritti:

- stima delle *perdite medie* di esercizio per l'asservimento continuativo degli SdA ai servizi di rete;
- valutazione dell'*assorbimento medio dei servizi ausiliari*, 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.

10.2 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) e una giornata di riferimento per la stagione invernale (indicativamente il mese più freddo dell'anno: gennaio).

Rispetto al perimetro del rapporto annuale 2016, sono riportate anche le stime ottenute per i sistemi basati sulla tecnologia flusso, entrati in esercizio a dicembre 2016. Per quanto riguarda il SdA8, 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 in Tabella 17 mostra chiaramente come 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 18).

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

Tabella 17 Perdite medie di esercizio in riferimento a ciascun fornitore di SdA (la nomenclatura è riferita al sito di Codrongianos, ad eccezione del SdA 9)

10.3 STIMA DEI CONSUMI PERI 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
SdA 1	10,4
SdA 2	11,8
SdA 3	4,1
SdA 4	8,5
SdA 5	22,9
SdA 6	33,6
SdA 7	10,6
SdA 8	35,9

Tabella 18 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
SdA 1	20,5
SdA 2	11,4
SdA 3	7,0
SdA 4	21,2
SdA 5	16,2
SdA 9	35,8

Tabella 19 Potenza media (kW/MW installato) richiesta per il sostentamento dei servizi ausiliari BT – SSdA Ciminna

Dall'analisi dei valori riportati nella Tabella 18 e nella Tabella 19 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.
- 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 4 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.

10.4 ANALISI CAUSE E GRADO DI INDISPONIBILITÀ ALL'ESERCIZIO NEL PERIODO DI RIFERIMENTO

Nel periodo di esercizio, 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 l'anno 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.

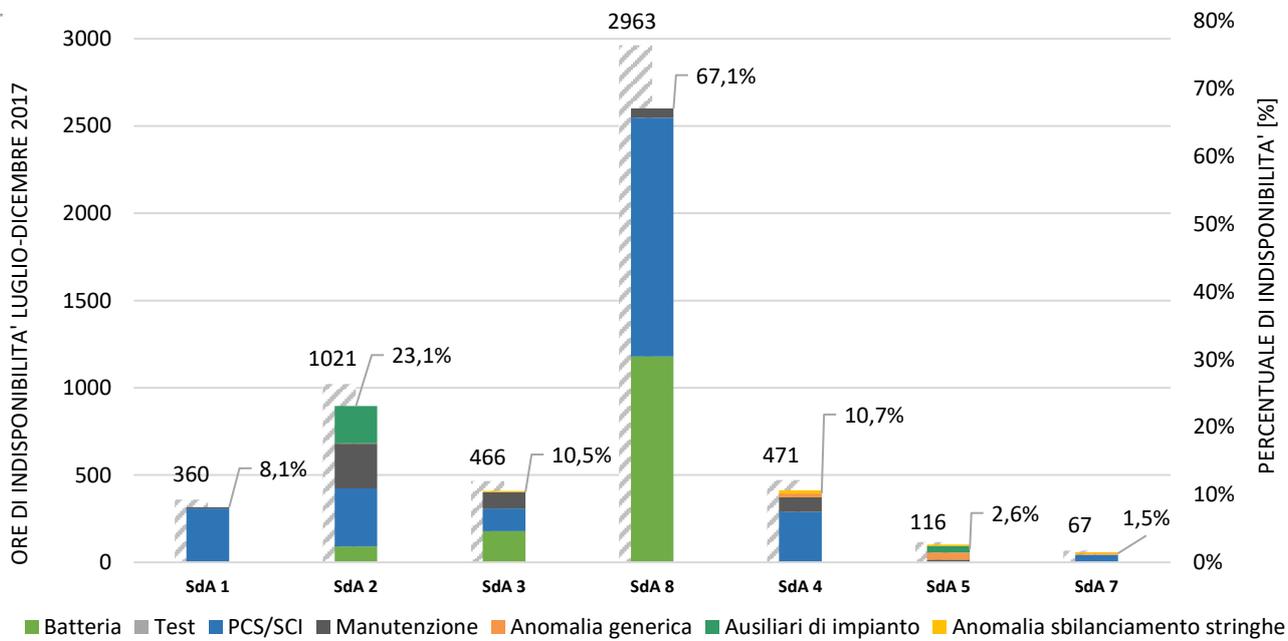


Figura 41 Analisi indisponibilità 2H 2017 dei vari SdA nel sito di Codrongianos

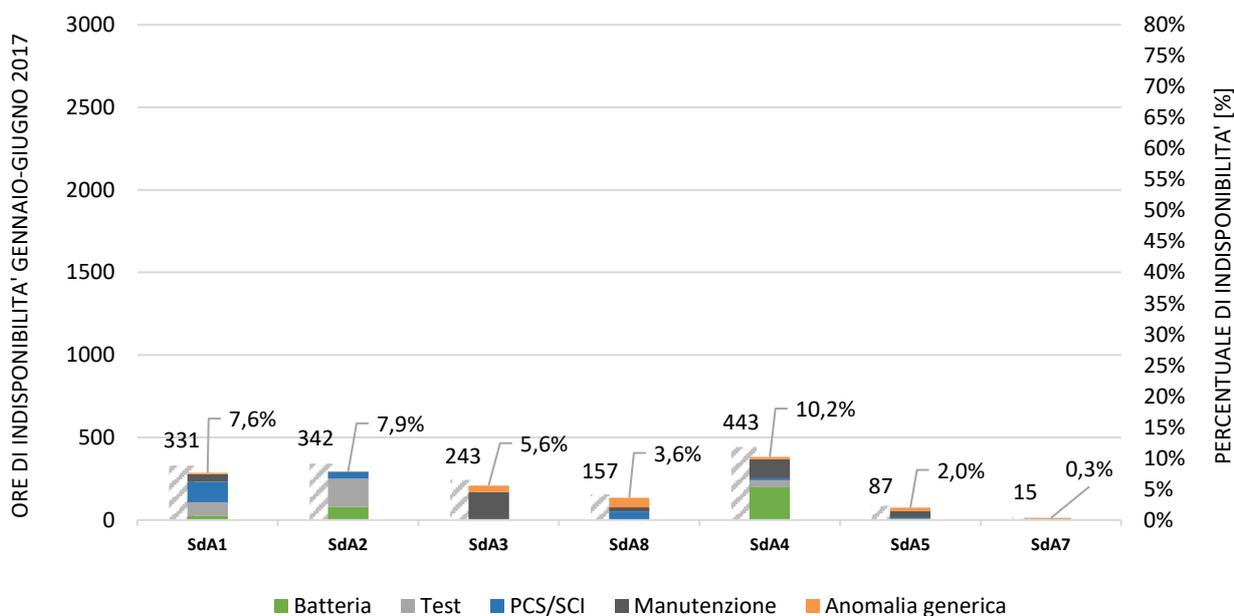


Figura 42 Analisi indisponibilità 1H 2017 dei vari SdA nel sito di Codrongianos

Nei grafici di Figura 41 e Figura 42 per Codrongianos e di Figura 43 e Figura 44 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.

Il grafico di Figura 41 mostra l'indisponibilità percentuale delle unità installate presso il sito di Codrongianos riferita al periodo di esercizio di ciascuna tecnologia nel semestre Luglio-Dicembre 2017. Per comparazione è possibile osservare in Figura 42 i risultati ottenuti nel primo semestre 2017. Le ore di indisponibilità totali (ovvero la somma delle ore di indisponibilità di ciascun SdA installato presso lo Storage Lab) sono passate nel corso del 2017 da 1617 a 5464. In generale, dal confronto dei due semestri, è emerso un aumento delle indisponibilità da parte di tutte le tecnologie, seppur in misura differente. Il sistema che ha contribuito in misura maggiore al drastico incremento delle ore di indisponibilità della SSdA è il SdA 8, che si è portato da un'indisponibilità pari al 3,6% del primo semestre 2017, al 67,3% del secondo semestre, manifestando anomalie a livello di batteria e PCS e un guasto particolarmente importante allo SCI. Complessivamente nel 2017, i sistemi che hanno mostrato le performance migliori in termini di disponibilità al servizio sono stati il SdA 5 e il SdA 7.

I grafici di Figura 43 e Figura 44 mostrano l'indisponibilità percentuale delle unità installate presso il sito di Ciminna nel secondo e primo semestre 2017, rispettivamente.

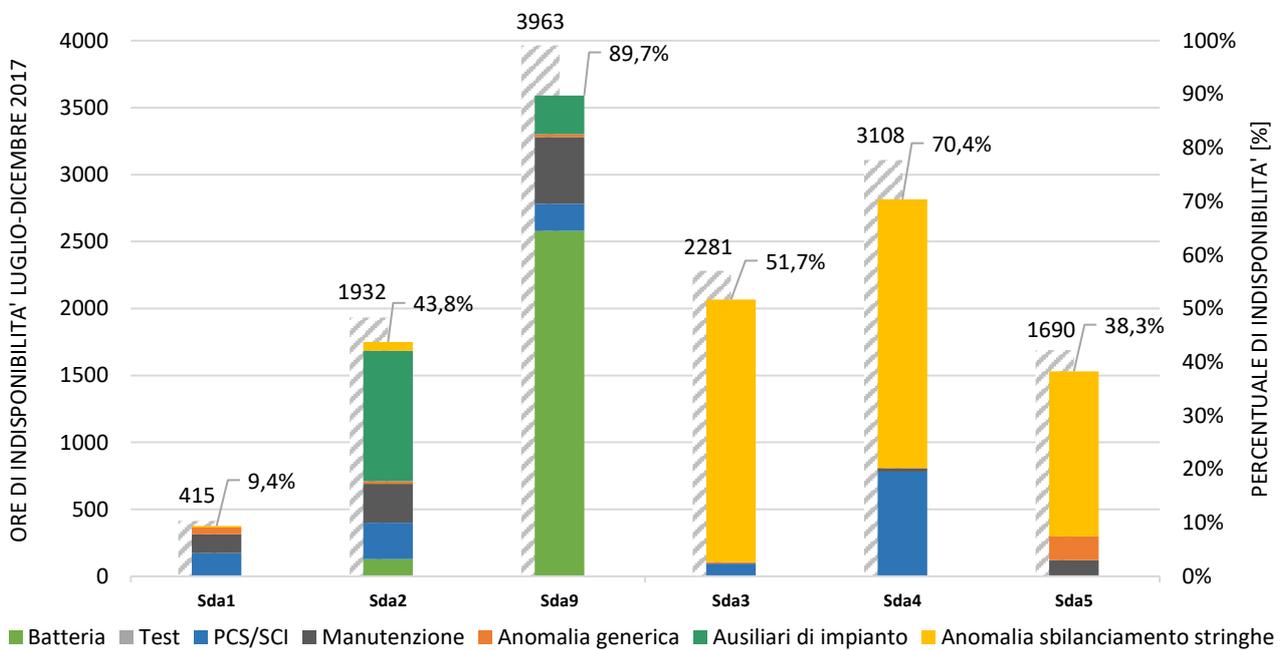


Figura 43 Analisi indisponibilità 2H 2017 dei vari SdA nel sito di Ciminna

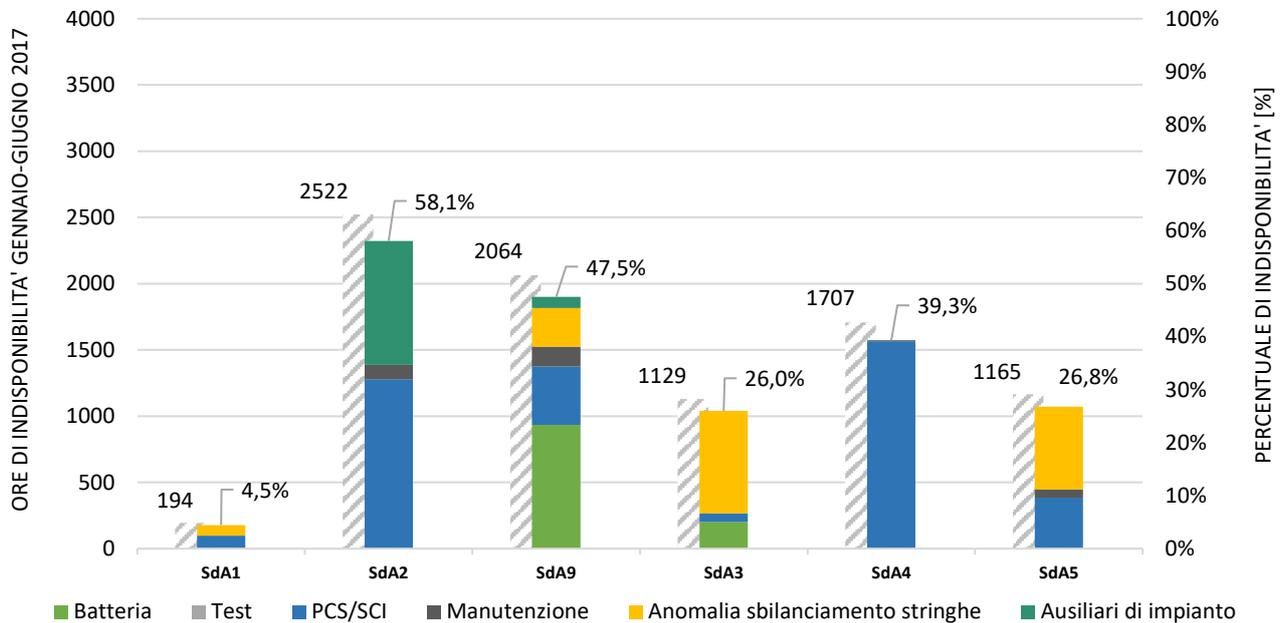


Figura 44 Analisi indisponibilità 1H 2017 dei vari SdA nel sito di Ciminna

Nel grafico di Figura 43 e Figura 44 sono riportate le indisponibilità percentuali delle unità riferita al periodo di esercizio di ciascuna tecnologia nel semestre Luglio-Dicembre 2017 e Gennaio-Giugno rispettivamente. Le ore di indisponibilità totali (ovvero la somma delle ore di indisponibilità di ciascun SdA installato presso lo Storage Lab) sono passate da 8779 del primo semestre 13389 del secondo semestre 2017, su cui incidono per circa il 30% (3963 ore) le indisponibilità del SdA 9 e per il 23% quelle del SdA 4.

Il SdA 5, che già nel primo semestre 2017 aveva fatto registrare una crescita del numero di ore di indisponibilità, conferma il trend anche nel secondo semestre 2017 con diverse indisponibilità legate a problematiche riconducibili ad anomalie dovute allo sbilanciamento dello stato di carica delle stringhe. Complessivamente nel 2017, il SdA1 si è dimostrato il sistema con il minor numero di ore di indisponibilità e l'unico continuamente disponibile all'esercizio.

Dal confronto dei tassi di indisponibilità degli SdA registrati nei due siti nel corso del 2017, emerge come in entrambe le SSdA i sistemi che hanno inciso maggiormente sull'indisponibilità totale di stazione sono quelli a tecnologia flusso SdA8 e SdA9, installati rispettivamente presso il sito di Codrongianos e Ciminna. Sebbene con un tasso di indisponibilità differente, anche il SdA2 a tecnologia Zebra si attesta in entrambi i siti come uno tra i sistemi con il maggiore tasso di indisponibilità all'esercizio. A Codrongianos, durante il corso del 2017, il SdA2 è stato indisponibile all'esercizio per 1363 ore all'anno, contro le 4454 registrate a Ciminna. Infine, si evidenzia come mentre nel sito di Codrongianos il SdA5 ha manifestato un tasso di indisponibilità pressoché irrisorio, il SdA4 di Ciminna di medesima tecnologia ha manifestato una indisponibilità pari al 55%, principalmente causata da guasti sul sistema di conversione e anomalie nella gestione del bilanciamento delle stringhe e dei container batteria.

In Tabella 20 è infine riportata la disponibilità media semestrale di entrambe le SSdA per entrambi i semestri del 2017. 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 due periodi e le due stazioni di accumulo, mostrando il decremento di disponibilità all'esercizio registrata nella seconda metà del 2017 su entrambi i siti ma particolarmente evidente per il sito di Ciminna.

Sito	Disponibilità media semestrale	
	1 Gennaio – 30 Giugno 2017	1 Luglio – 31 Dicembre 2017
Codrongianos	94,8%	82,3%
Ciminna	66,3%	49,5%

Tabella 20 Disponibilità media semestrale SSdA Codrongianos e Ciminna

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 SdA2). Si tratta quindi di indisponibilità con carattere di casualità, pertanto non riscontrate presso il sito di Codrongianos.

10.5 CASI REALI RAPPRESENTATIVI DELL'ESERCIZIO DEI SISTEMI DI ACCUMULO

EVENTI AL DI SOPRA DI UNA SOGLIA RILEVANTE

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

DATA	ORA	TIPOLOGIA DI EVENTO
25 Giugno	00:22	Transitorio in sovralfrequenza ($f_{\max}=50,21$ Hz)
22 Luglio	21:27	Transitorio in sottofrequenza ($f_{\max}=49,97$ Hz)

Tabella 21 Date eventi al di sopra di una soglia rilevante

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

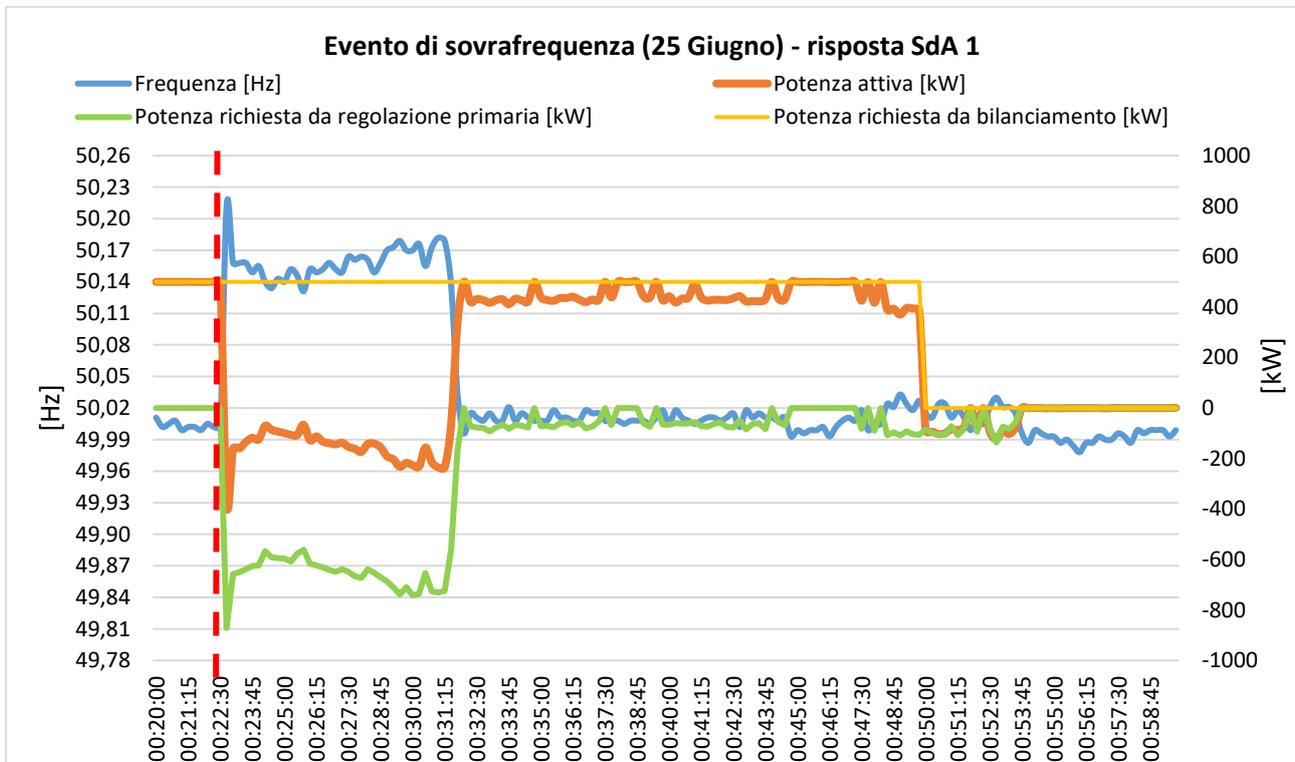


Figura 45 Evento di sovralfrequenza (25 Giugno 2017): risposta SdA 1

La Figura 45 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.

b) RISPOSTA SdA 2

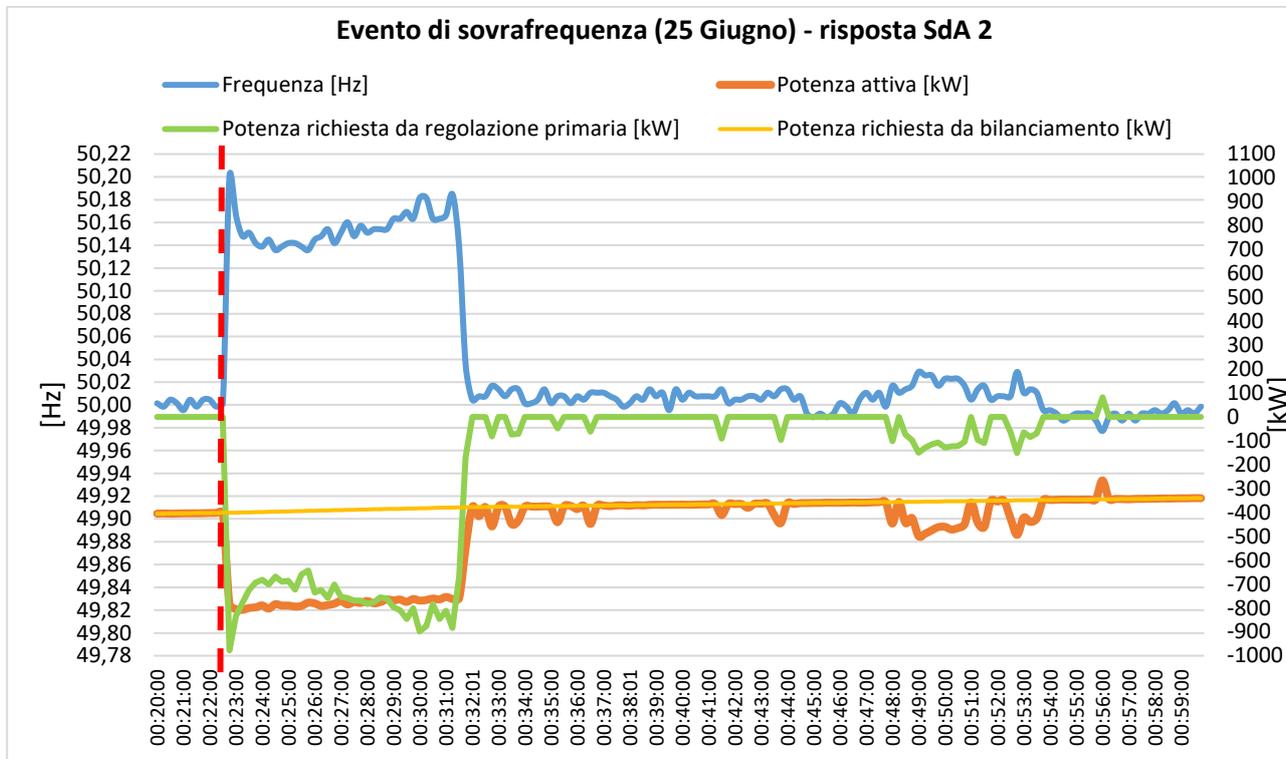


Figura 46 Evento di sovralfrequenza (25 Gennaio 2017): risposta SdA 2

Figura 46 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 soddisficibili contemporaneamente all'interno della propria capability.

c) RISPOSTA SdA 5

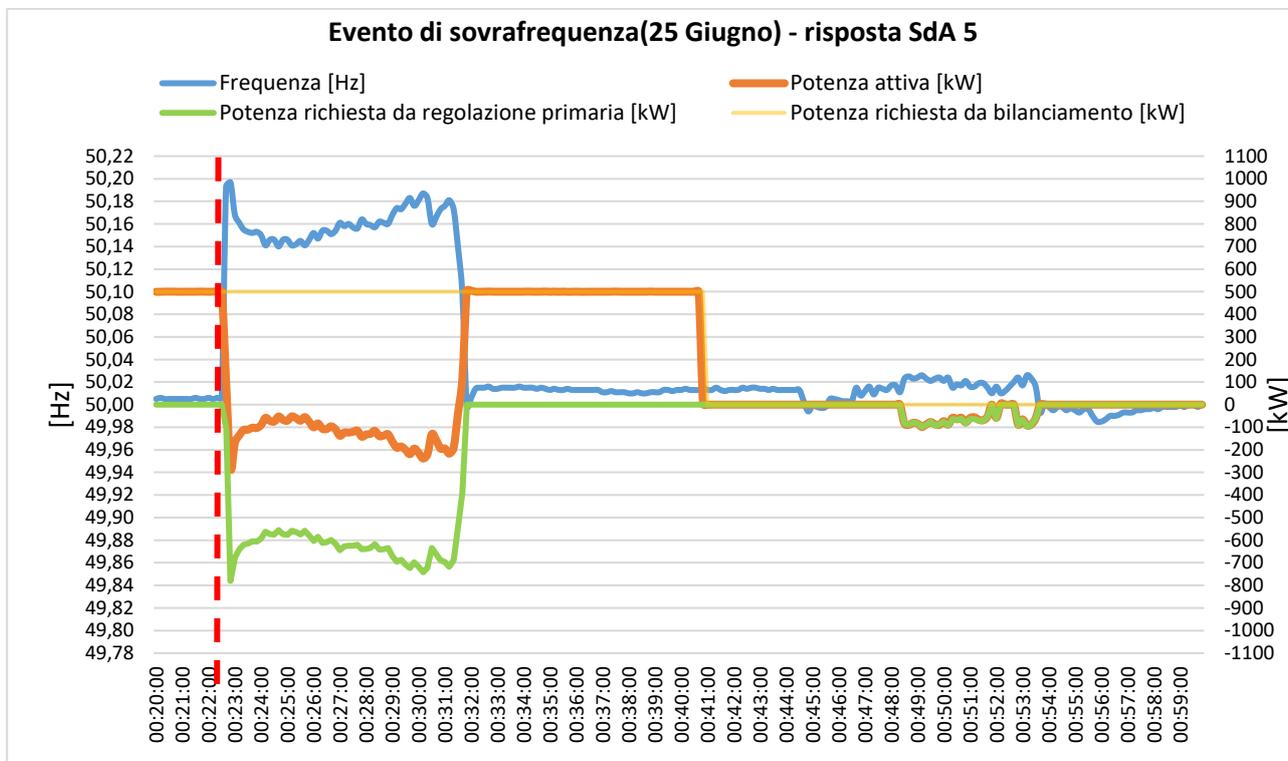


Figura 47 Evento di sovrافrequenza (25 Giugno 2017): risposta SdA 5

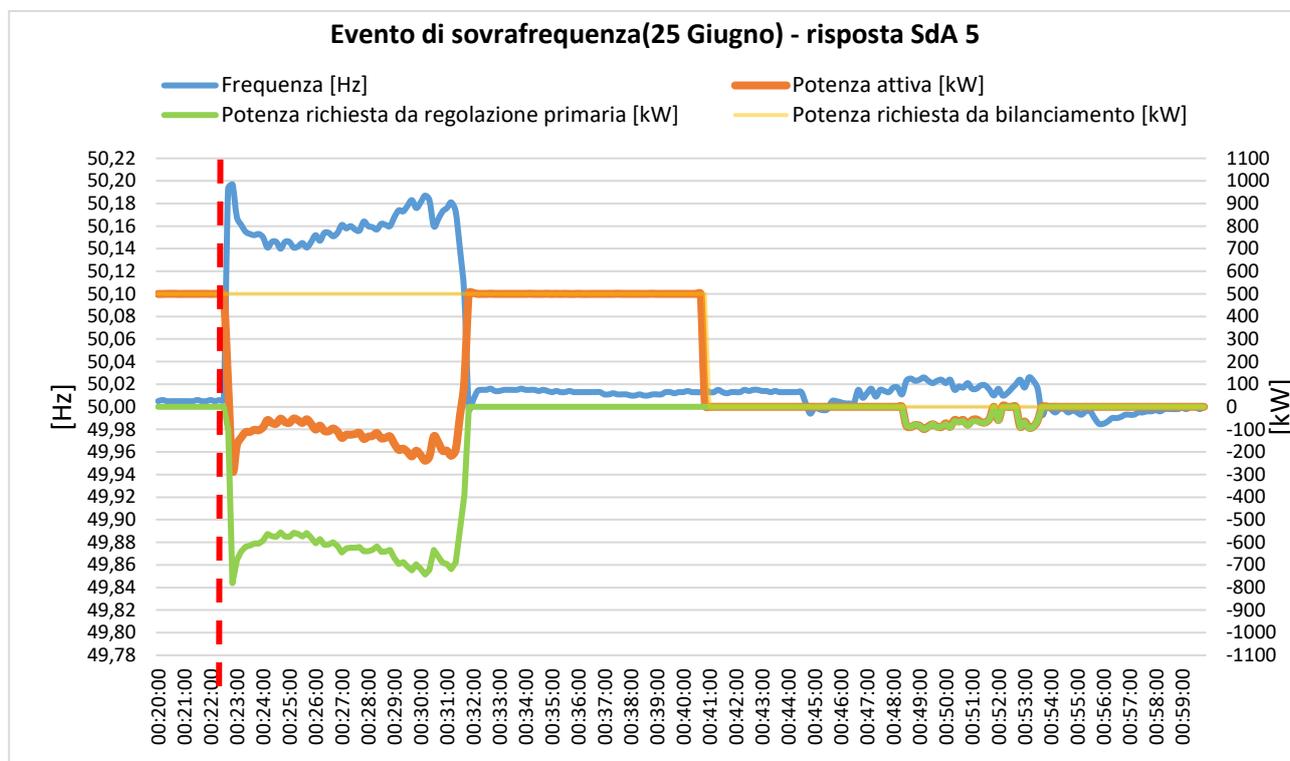


Figura 47 mostra la risposta del SdA 5 al transitorio di sovrافrequenza del 25 Giugno. In analogia al SdA 1, il SdA 5 si trova in scarica in bilanciamento a circa +500 kW, prima del verificarsi della sovrافrequenza, a seguito della quale il servizio di regolazione primaria di frequenza richiede una potenza 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

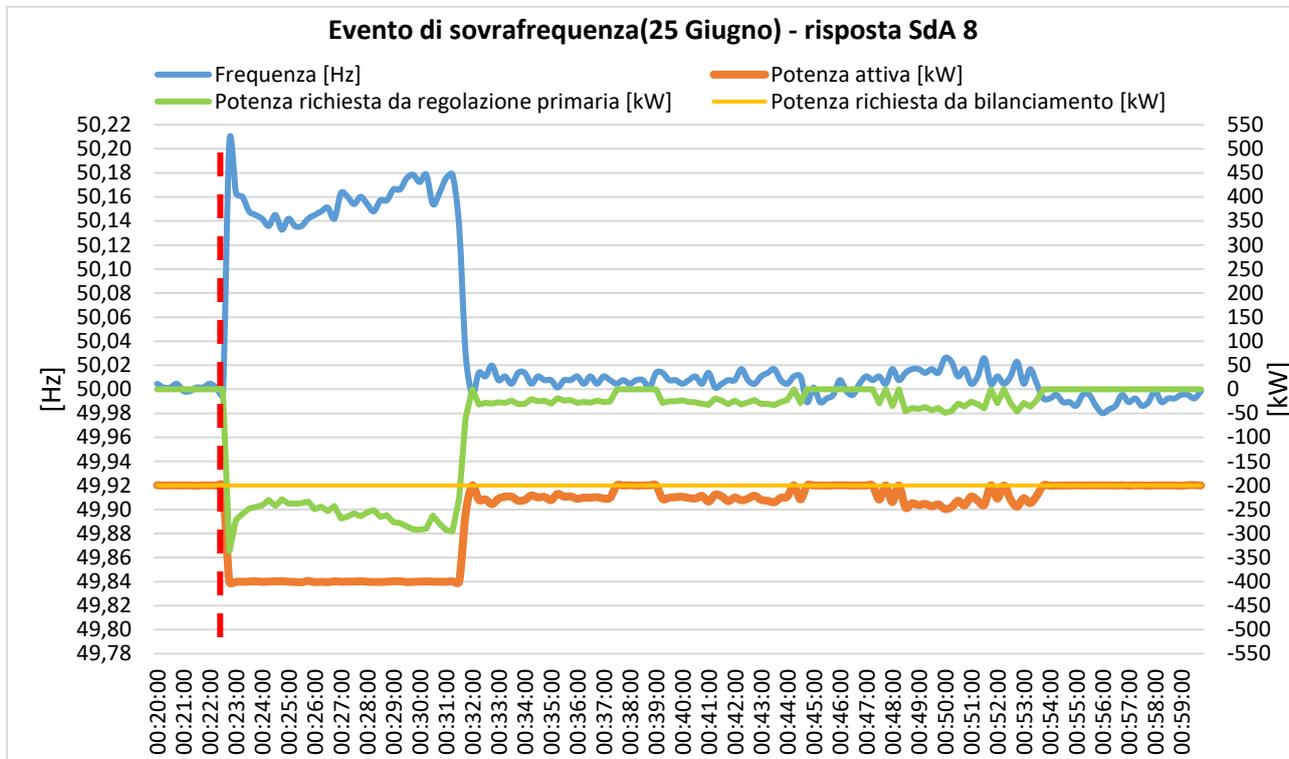


Figura 48 Evento di sovrافrequenza (25 Gennaio 2017): risposta SdA 8

La Figura 48 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

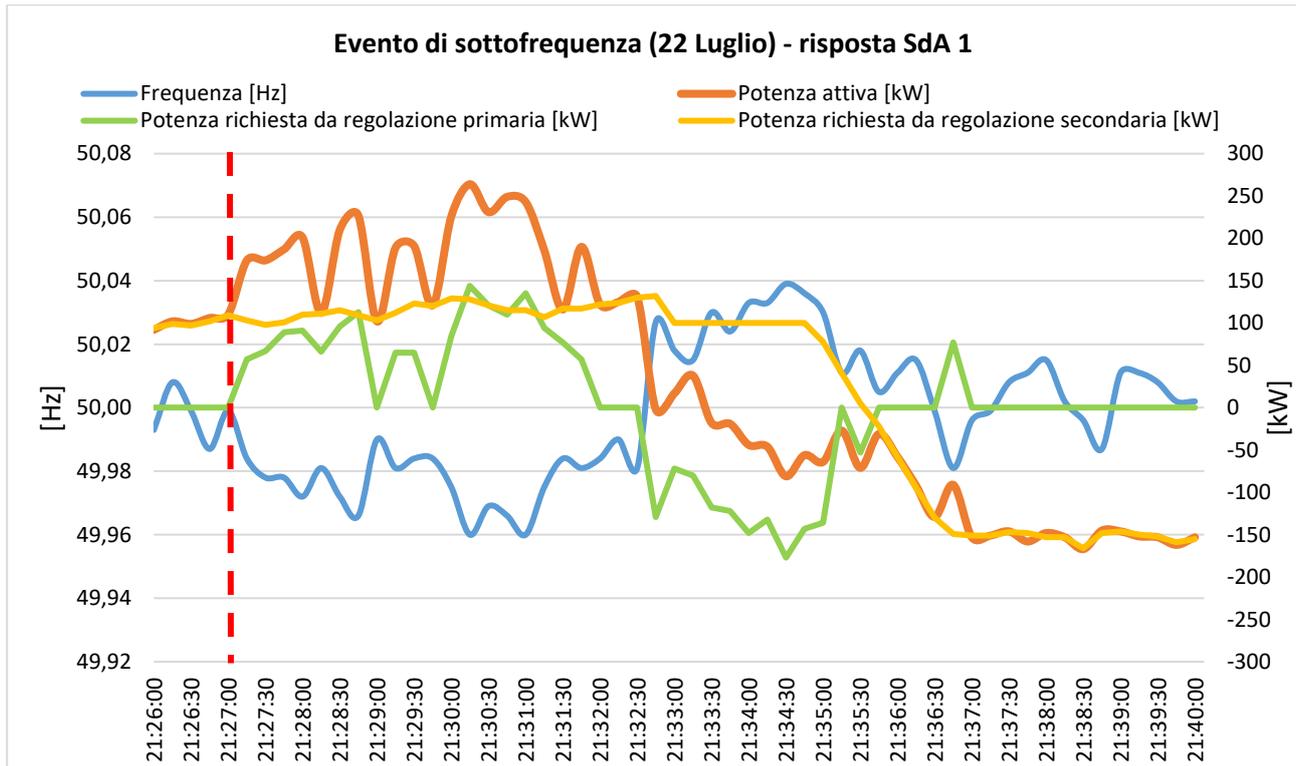


Figura 49 Evento di sottofrequenza (22 Luglio 2017): risposta SdA 1

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 sovralfrequenza 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.

b) RISPOSTA SdA 2

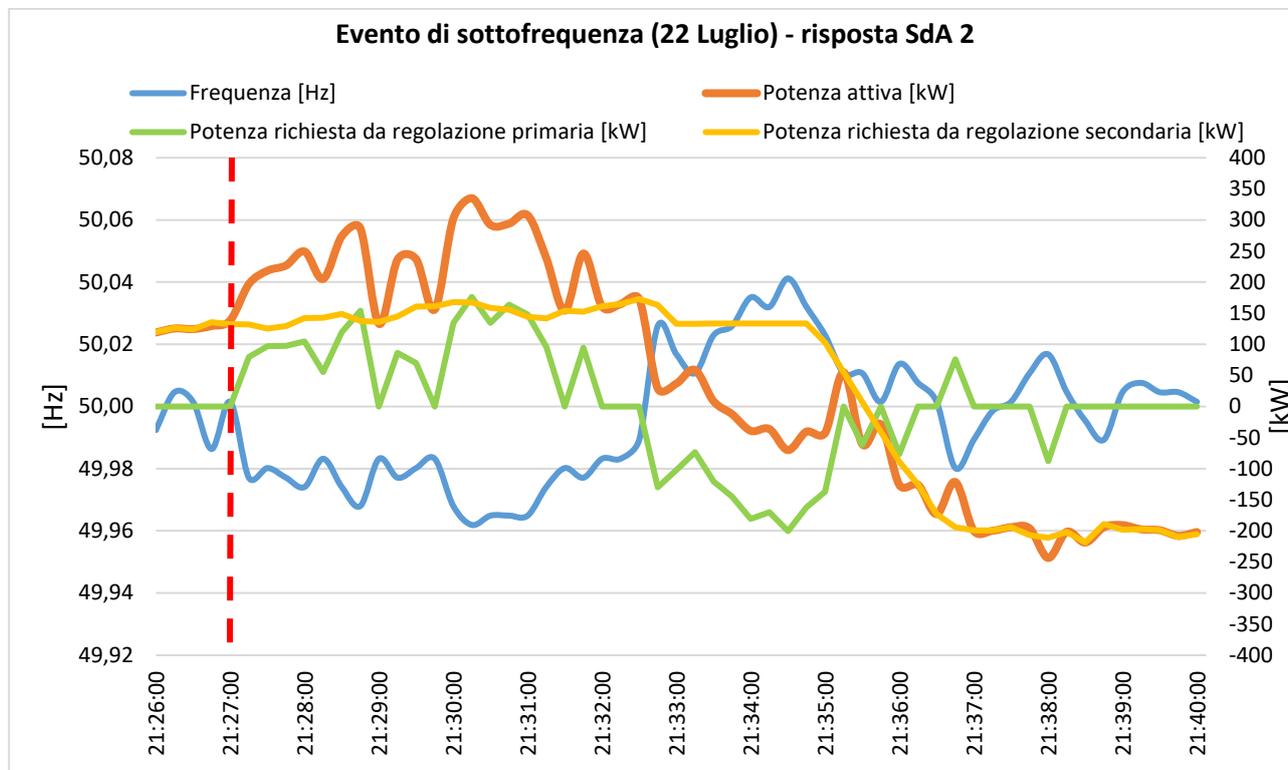


Figura 50 Evento di sottofrequenza (22 Luglio 2017): risposta SdA 2

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

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

11. DESCRIZIONE DEI COSTI SOSTENUTI

Nel seguito si dà evidenza del prospetto dei costi sostenuti per la realizzazione degli impianti. Per l'intero anno 2017 i costi sostenuti da Terna sono legati essenzialmente all'esecuzione dei test sui moduli batterie da parte dei laboratori commissionati e al costo del personale per la gestione dei progetti. Una parte dei costi sostenuti nel 2017 è inoltre da imputare a diversi servizi forniti da terze parti (es. vigilanza, sicurezza etc.). Nel prospetto di Tabella 22 si riassumono i costi di investimento sostenuti dall'avvio del progetto fino al 31 dicembre 2017 per i due progetti pilota di Codrongianos e Ciminna, secondo le quattro macro voci di costo dettagliate come di seguito:

1. SdA – Batterie + impianto di potenza:

- Costo Assemblati batterie;
- PCS;
- Trasformatore d'accoppiamento ed apparecchiature connessione dello EESS;
- Servizi ausiliari (alimentabili sia dal punto di connessione che da altra fonte in BT);
- Apparecchiature di manovra e protezione;
- Sistema di controllo integrato (SCI);
- Ogni altro elemento necessario a garantire la connessione ed il corretto funzionamento dell'EESS.

2. SdA – OOCC + progetto per autorizzazione + vigilanza:

- Opere civili di allestimento sito;
- Incarichi professionali per svolgimento attività in sito (CSP, CSE, Direzione Lavori, Assistenza di Cantiere, ecc);
- Connessioni RTN (Apparecchiature AT/MT, sistema di controllo locale, montaggi elettromeccanici, ecc);
- Eventuali compensazioni ambientali;
- Progetto per autorizzazione (PTO, DIA, SCIA etc.);
- Vigilanza.

3. Lab - Stress Test su Moduli:

- Acquisto di moduli di taglie compatibili con i test previsti;
- Esecuzione test da parte dei laboratori incaricati per le prove sperimentali sui moduli (CESI, ENEA, RSE, CNR).

4. Costo del personale:

- Costo personale per la gestione dei progetti e la verifica delle performance.

DESCRIZIONE	COSTI PER IMPIANTO STORAGE LAB
	2013-2017
Batterie + impianto di potenza	€ 14.000.000 ÷ € 18.000.000
LITIO	€ 6.000.000 ÷ € 7.500.000
ZEBRA	€ 5.000.000 ÷ € 7.500.000
FLUSSO	€ 2.500.000 ÷ € 3.000.000
OOCC + progetto	€ 4.000.000 ÷ € 4.500.000
Lab	€ 400.000 ÷ € 500.000
Costo del personale	€ 1.000.000 ÷ € 1.200.000
TOTALE COSTI [M€]	€ 19.000.000 ÷ € 24.000.000

Tabella 22 Prospetto costi Storage Lab – periodo 2013-2017

In Tabella 23 si riporta infine il prospetto dei costi operativi legati alle attività di O&M svolte nel 2017. Tale voce rappresenta i costi operativi del personale sostenuti per garantire l'esercizio dei sistemi e legati agli interventi di reperibilità su guasto, riparazioni e controlli non programmati.

DESCRIZIONE	COSTI PER IMPIANTO STORAGE LAB
	2017
Costo del personale O&M	€ 11.000 ÷ € 42.000

Tabella 23 Prospetto costi O&M StorageLab – anno 2017

Nell'anno 2017 non sono stati sostenuti altri costi: le attività svolte dai fornitori di manutenzione ordinaria e straordinaria e le apparecchiature sostituite per guasto/anomalia sono state ricomprese per la loro totalità all'interno della garanzia della fornitura.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

12. CONCLUSIONI

Il presente documento riporta gli esiti principali della sperimentazione condotta nell'anno 2017 sulle unità di accumulo presenti nei due progetti pilota, denominati Storage Lab, di Codrongianos e Ciminna, nonché i risultati più significativi dei test condotti in laboratorio su moduli rappresentativi delle tecnologie installate in sito. Le attività condotte in questo terzo anno di esercizio sperimentale sono state prevalentemente orientate a consolidare le valutazioni sulle 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 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.

Alle attività 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 di 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).

Le attività di test in laboratorio sono state 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 e con quelli ottenuti dall'applicazione continuativa dei cicli di regolazione di frequenza. I risultati, riassunti per una più semplice fruizione in Figura 51, permettono di desumere le seguenti risultanze (si faccia riferimento alla nomenclatura adottata per Codrongianos):

- 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 2 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;

- 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 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.

	CICLI STANDARD							CICLI GRADINI				CICLI DI REGOLAZIONE	
	Modulo	Numero di Cicli						Modulo	Numero di Cicli			Modulo	Numero di Cicli
		1000	1500	2000	2500	3000	4000		500	1000	1500		1000
LITIO	SdA 1	94%	92%	90%	87%	85%	80%	SdA 1	99%	98%	-	SdA 1	87%
	SdA 4	93%	88%	83%	79%	76%	-	SdA 4	94%	93%	-	SdA 4	.*
	SdA 5	97%	96%	95%	94%	93%	90%	SdA 5	97%	96%	95%	SdA 5	96%
	SdA 6	95%	94%	93%	92%	91%	-	SdA 6	96%	93%	92%	SdA 6	89%
	SdA 7	100%	99%	98%	98%	97%	96%	SdA 7	100%**	-	-	SdA 7	100%
	CICLI STANDARD							CICLI GRADINI				CICLI DI REGOLAZIONE	
	Modulo	Numero di Cicli						Modulo	Numero di Cicli			Modulo	Numero di Cicli
		100	200	300	400	500	800		100	200	300		400
ZEBRA	SdA 2	100%	99%	99%	99%	99%	-	SdA 2	100%	100%	99%	SdA 2	100%
	SdA 3	100%	100%	100%	100%	100%	96%	SdA 3	100%	100%	100%	SdA 3	98%

*Test interrotto dopo 180 cicli, a seguito della seconda avaria dell'elettronica del BMS
** Test in corso

Figura 51 Comparazione risultati test di invecchiamento su ciclo standard e su ciclo di regolazione di frequenza

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). L'effetto sul degrado della capacità nominale è tuttavia molto diverso al variare delle tecnologie, anche tra sistemi caratterizzati da chimiche molto simili. 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.). Questi risultati sono perciò di indiscutibile valore per la determinazione delle performance effettive delle tecnologie oggetto dello studio e per lo sviluppo di adeguati modelli da integrare nei sistemi di controllo e conduzione del gestore di rete.

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.

I test di rendimento netto hanno sostanzialmente confermato i risultati del precedente rapporto, riscontrando per le tecnologie installate nei due siti rendimenti comprensivi delle perdite nel range 81-93% per le tecnologie Lithium-based, e nel range 77-79% per la tecnologia Zebra SdA2. Per quanto riguarda il sistema Zebra SdA3, sono stati invece rilevati significativi fenomeni di degrado delle prestazioni e di invecchiamento precoce, con una riduzione della capacità residua pari al 63%. Tale risultato mette in

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

evidenza come l'esercizio continuativo per il servizio di regolazione primaria abbia dato luogo ad un degrado delle prestazioni della tecnologia 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 sistema non sia adatto per il tipo di utilizzo sperimentato in sito.

Inoltre, le prove *ad hoc* svolte nel 2017 hanno avuto lo scopo di verificare la risposta dei sistemi di accumulo ad opportuni input in ingresso, valutandone la sensibilità e la rapidità di risposta in funzione di variazioni di frequenza e tensione dalle caratteristiche prestabilite e riproducibili. Tutti i sistemi di accumulo sottoposti alle prove stabilite hanno risposto secondo quanto previsto, dimostrando adeguate prestazioni di risposta "inerziale" in regolazione primaria per diversi andamenti della perturbazione, compreso il repentino passaggio da sovralfrequenza a sottofrequenza. Questi risultati permettono di identificare tali tecnologie come risorse strategicamente valide ai fini del supporto al mantenimento degli opportuni livelli di sicurezza di gestione delle reti, soprattutto in caso di reti ad elevata penetrazione di rinnovabile.

L'asservimento delle unità di accumulo ai servizi di rete viene quindi riportato nella parte finale del report tramite la valutazione: delle perdite di esercizio, dei consumi dei servizi ausiliari e della disponibilità semestrale.

In relazione al livello di disponibilità (cfr. Figura 52) si segnala un valore in decrescita del SSdA di Codrongianos, che passa dal 94,8% del primo semestre 2017 all' 82,3% del secondo semestre 2017, per via dell'incremento delle indisponibilità da parte di tutte le tecnologie, seppur in misura differente. La tecnologia che ha contribuito in misura maggiore all'incremento delle ore di indisponibilità della SSdA è il sistema flusso SdA8, che si è portato da una indisponibilità pari al 3,6% del primo semestre 2017, al 67,3% del secondo semestre, manifestando anomalie a livello di batteria e PCS ed un guasto particolarmente importante allo SCI.

Anche per il sito di Ciminna si segnala un calo della disponibilità della SSdA che passa dal 66% del primo semestre 2017 a circa il 50% del secondo semestre 2017, risultato profondamente influenzato dalla crescita delle indisponibilità di quasi la totalità delle tecnologie. In questo caso, le cause di maggior indisponibilità sono riconducibili all'errata gestione del bilanciamento delle stringhe e dei container batteria, a guasti/anomalie riscontrati a livello batteria e sugli ausiliari di impianto. Si fa presente inoltre che i periodi prolungati di indisponibilità che hanno comportato il fuori servizio completo degli impianti per interi mesi sono da ricondursi anche alle lunghe tempistiche di intervento in sito dei fornitori, che in molteplici occasioni non sono stati in grado di intervenire tempestivamente una volta ricevuta la segnalazione del guasto. Per la SSdA di Ciminna, le tecnologie che hanno contribuito in misura maggiore al drastico incremento delle ore di indisponibilità della SSdA sono il sistema flusso SdA 9 e il sistema Litio SdA 4 (cfr. codifica Ciminna), che rispettivamente per il 90% e il 70% del secondo semestre 2017 sono state indisponibili all'esercizio. Tali risultati sono stati fortemente penalizzati dagli interventi ritardati e molto spesso non risolutivi dei fornitori che non hanno consentito di ripristinare gli impianti in tempi brevi e hanno costretto Terna a tenere gli SdA fuori servizio per lunghi periodi nel corso dell'anno.

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 con carattere di casualità, pertanto non riscontrate o riscontrate con un'incidenza inferiore presso il sito di Codrongianos per le medesime tecnologie. Nel caso della tecnologia flusso, le elevate indisponibilità sono dovute ad anomalie costruttive e di assemblaggio del sistema SdA9 ed anomalie/guasti sugli stack di conversione e sul sistema di controllo integrato. La tecnologia SdA9 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.

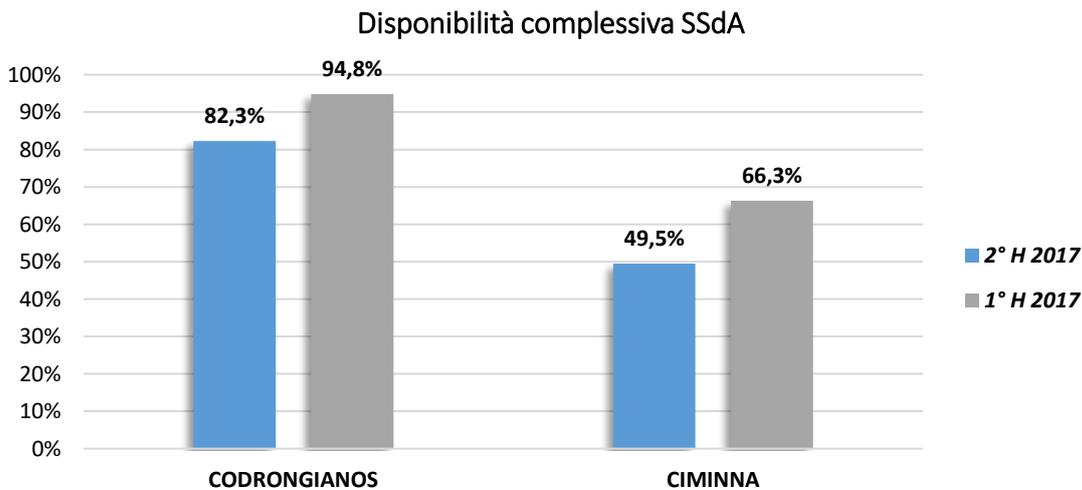


Figura 52 Confronto disponibilità semestrale SSdA per il 2017

La valutazione delle performance dei SdA in esercizio continuativo in termini di rendimento netto e lordo e quindi di perdite di esercizio è fortemente influenzata dall'attivazione o meno del servizio di regolazione secondaria di frequenza. Ciò è dovuto principalmente all'aumento di energia scambiata e, quindi, alla minore incidenza degli assorbimenti degli ausiliari e delle perdite di esercizio. Tale servizio è stato attivato sperimentalmente solo presso il sito di Ciminna. Facendo riferimento indicativamente ai risultati registrati nel secondo semestre 2017 (si veda la Figura 53), si evidenzia che mentre il rendimento netto medio della SSdA di Codrongianos è stato pari al 16% (invariato rispetto al primo semestre 2017), il rendimento netto medio della SSdA di Ciminna è stato pari al 55%, in calo rispetto al precedente semestre. Tale risultato è attribuibile principalmente alle numerose indisponibilità che quasi la totalità dei sistemi ha fatto registrare nell'arco del 2017 ed in particolare durante il secondo semestre. Esse sono infatti state tali da limitare fortemente l'energia scambiata nel verso della scarica con un aumento di contro del peso proporzionale dei servizi ausiliari, e tali da comportare la riduzione dell'energia scambiata per l'attivazione del servizio di regolazione secondaria di frequenza (in particolare nell'ultimo trimestre 2017).

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 di frequenza e dalla disponibilità e funzionamento continuativo dei SdA in riserva primaria.

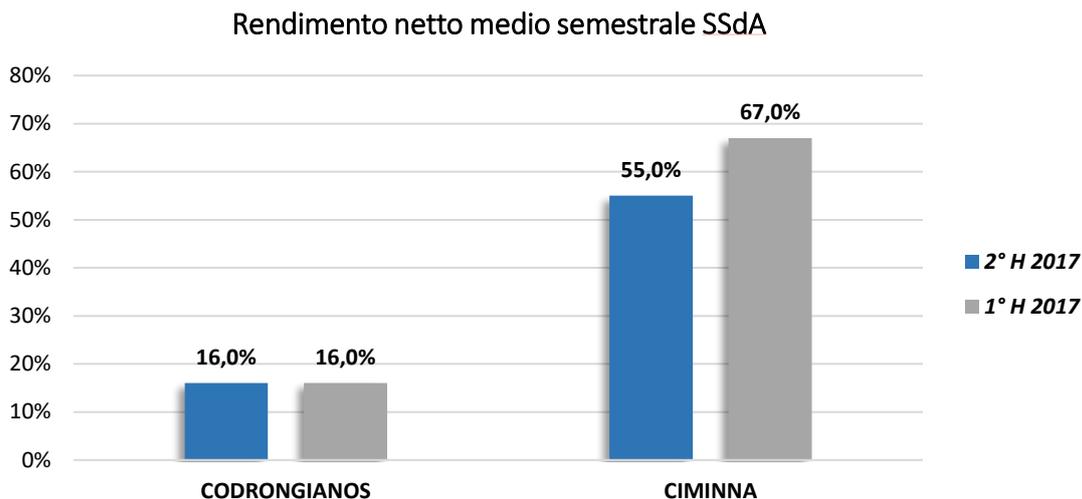


Figura 53 Confronto rendimenti semestrali SSdA per il 2017

Infine, allo scopo di analizzare le potenzialità delle tecnologie installate e l'innovatività dei servizi e delle funzioni implementate, sono riportati a conclusione del report la selezione e il commento di giornate di esercizio di particolare significatività per la sperimentazione. In tali giornate, per via di particolari eventi reali di esercizio riscontrati, si evidenzia come i sistemi di accumulo possano ottimamente integrarsi nei sistemi del TSO e quindi essere inquadrati come nuove risorse di flessibilità per gestione del sistema elettrico. Gli eventi analizzati hanno permesso di dimostrare la capacità dei sistemi di accumulo di fornire, con ottime prestazioni nella risposta alle variazioni di frequenza, sia il servizio di regolazione primaria di frequenza sia il servizio di regolazione secondaria di frequenza.

In conclusione, tramite lo Storage Lab, Terna ha avviato una importante sperimentazione con lo scopo di testare le performance delle principali tecnologie di accumulo disponibili sul mercato e valutarne la fattibilità tecnica a supporto dell'erogazione di servizi essenziali, quali la regolazione di frequenza primaria, regolazione di frequenza secondaria e l'asservimento al Sistema di Difesa, nonché testare applicazioni e funzionalità innovative potenzialmente implementabili in futuro nel Codice di Rete per le risorse del Dispacciamento. In questa ottica, si inquadrano i futuri sviluppi previsti per i progetti pilota Storage Lab di Terna:

- completamento del portafoglio tecnologico, tramite l'installazione di una soluzione di accumulo basata su supercapacitori;
- sperimentazione di funzionalità innovative volte a massimizzare e ottimizzare i benefici derivanti dall'utilizzo sinergico dei sistemi storage al servizio del dispacciamento nazionale.

In particolare, in relazione all'ultimo punto, si intende implementare presso entrambi gli Storage Lab un innovativo sistema di controllo, conduzione e monitoraggio, denominato *Virtual Storage Plant*, in grado di

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	28/09/2018
		Rev.00

gestire in maniera aggregata e ottimale i diversi sistemi di accumulo, sfruttandone sinergie e complementarità. Il *Virtual Storage Plant* permetterà infatti di estrarre il massimo valore dall'investimento grazie all'implementazione di logiche avanzate di conduzione e dispacciamento, che potranno essere utilizzate anche in ulteriori campi (es. «virtual power plant»).

APPENDICE A

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]	η [%]
SdA1	Collaudo – IIH 2015	32	1057	83,1
	IH 2016	13	940	83
	IH 2017	13	1040	85,2
	IIH 2017	Test Failed		
SdA 2	Collaudo – IH 2015	16	4224	79,9
	IH 2016	11	4204	78,2
	IIH 2016	22	4012	79
	IIH 2017	Test Failed		
SdA 3	Collaudo – IIH 2015	13	533	80,6
	IH 2016	13	550	84,7
	IIH 2016	27	530	81,8
	IIH 2017	Test Failed		
SdA 4	Collaudo – IIH 2015	26	927	85,7
	IH 2016	11	920	89
	IIH 2016	26	860	86
SdA 5	Collaudo – IIH 2015	22	990	85,5
	IH 2016	12	970	85,3
	IIH 2016	28	970	86
	IIH 2017	13	950	87,8
SdA 9	Collaudo – IIH 2016	14	1450	65,2

Tabella 24 rendimento netto ed energia misurata in scarica durante il ciclo di rendimento - Ciminna

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

Tabella 25 rendimento netto ed energia misurata in scarica durante il ciclo di rendimento – Codrongianos