

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

RAPPORTO PUBBLICO ANNO 2016 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: *01/01/2016 – 31/12/2016*

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	22
7.	DESCRIZIONE GENERALE DEGLI IMPIANTI GRID SCALE	32
7.1	DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CODROGIANOS	32
7.2	DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CIMINNA	34
7.3	CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI CONDUZIONE, CONTROLLO E MONITORAGGIO	37
8.	GRID-SCALE TEST: PROVE PERIODICHE EFFETTUATE IN SITO.....	40
8.1	GENERALITÀ	40
8.2	PROVE DI RENDIMENTO NETTO	40
8.3	PROVE AD HOC CON SEGNALI SIMULATI.....	46
9.	MODALITÀ DI CONDUZIONE E DISPACCIAMENTO DEI PROGETTI PILOTA	55
9.1	I SERVIZI DI RETE E FUNZIONALITÀ DI DISPACCIAMENTO IN ESERCIZIO	55
10.	ANALISI INDICI DI PERFORMANCE DELL'ESERCIZIO CONTINUATIVO	58
10.1	GENERALITÀ	58
10.2	STIMA DELLE PERDITE MEDIE PER L'ASSERVIMENTO CONTINUATIVO DEGLI SdA AI SERVIZI DI RETE.....	58
10.3	STIMA DEI CONSUMI PERI I SERVIZI AUSILIARI DURANTE UN CICLO STANDARD	59
10.4	ANALISI CAUSE E GRADO DI INDISPONIBILITÀ ALL'ESERCIZIO NEL PERIODO DI RIFERIMENTO	60
10.5	CASI REALI RAPPRESENTATIVI DELL'ESERCIZIO DEI SISTEMI DI ACCUMULO	64
11.	DESCRIZIONE DEI COSTI SOSTENUTI.....	70
12.	CONCLUSIONI	72

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

1. OGGETTO

Il presente documento rappresenta il Rapporto a diffusione pubblica relativamente all'anno 2016 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'AEEGSI (in particolare 43/2013/R/EEL e 227/2014/R/EEL).

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

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 un 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	27/04/2017
		Rev.01

- 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	27/04/2017
		Rev.01

- **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	27/04/2017
		Rev.01

- **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	27/04/2017
		Rev.01

- 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	27/04/2017
		Rev.01

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 2016 presso i siti di Ciminna (PA) e Codrongianos (SS), nonché presso laboratori italiani accreditati.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

4. CONTESTO LEGISLATIVO E REGOLATORIO DI RIFERIMENTO

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

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

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

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

La Deliberazione 43/2013/R/EEL dell'11 febbraio 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.

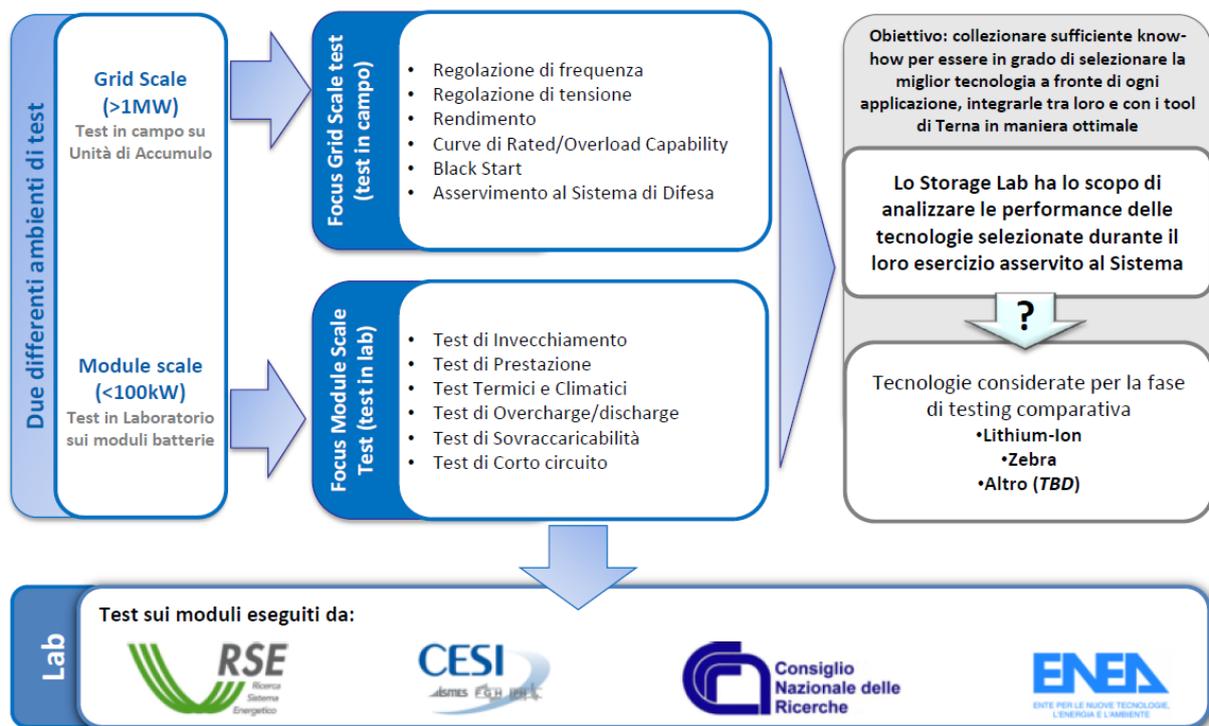


Figura 1 Approccio alla sperimentazione

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.

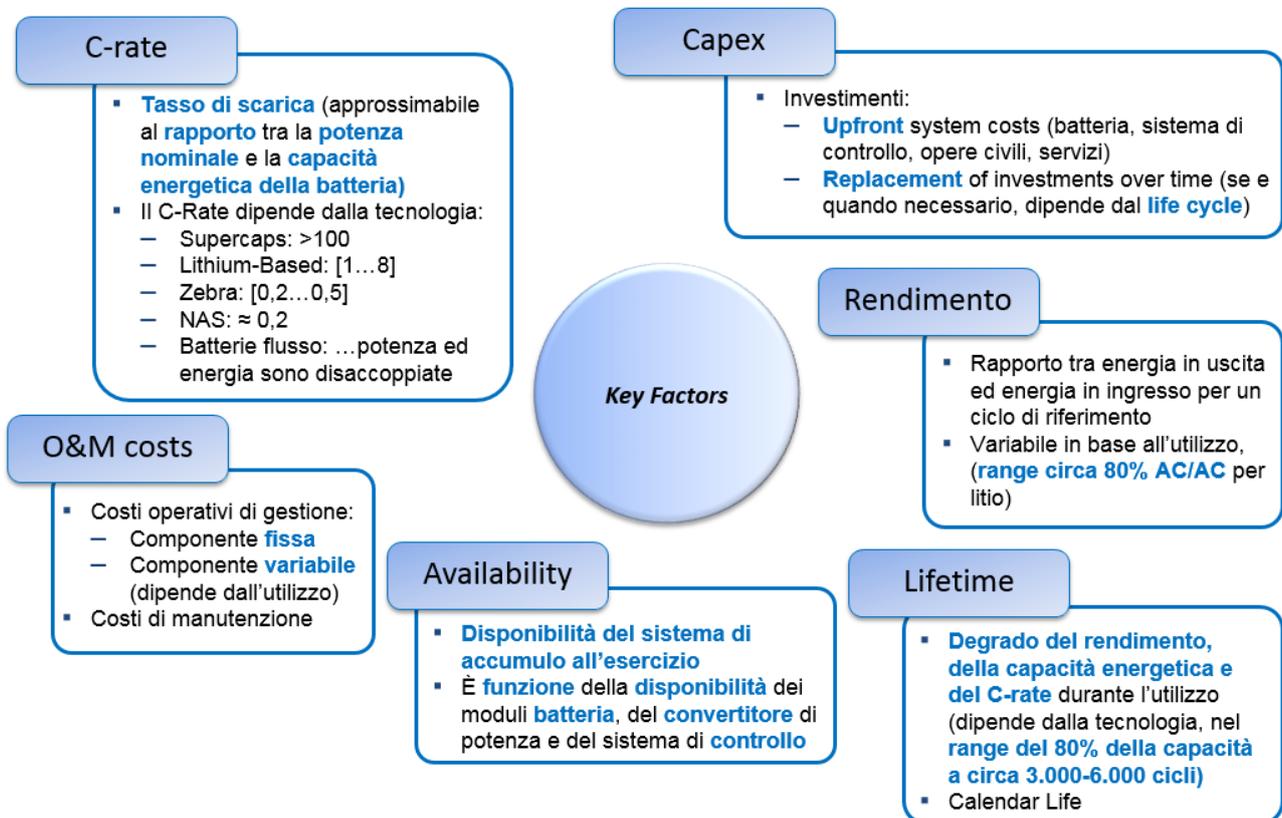


Figura 2 Indici di performance per la valutazione e comparazione delle tecnologie di accumulo

Con tali premesse, mediante un procedimento di gara pubblico sono state approvvigionate 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 2).



Figura 3 Fornitori delle tecnologie di batterie elettrochimiche installate al 31 Dicembre 2016

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	27/04/2017
		Rev.01

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 fornitore 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 ed, in alcuni casi, le caratteristiche costruttive dei moduli non permettono l'esecuzione di alcuni test. Ad esempio, le caratteristiche fisiche e costruttive delle batterie Zebra (che prevedono un BMS integrato direttamente nel modulo in grado di proteggerlo da un qualsiasi funzionamento anomalo) non permettono l'esecuzione dei test termici, dei test di overcharge ed overdischarge, del test di sovraccarico e del test di corto circuito.

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

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 ed 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).

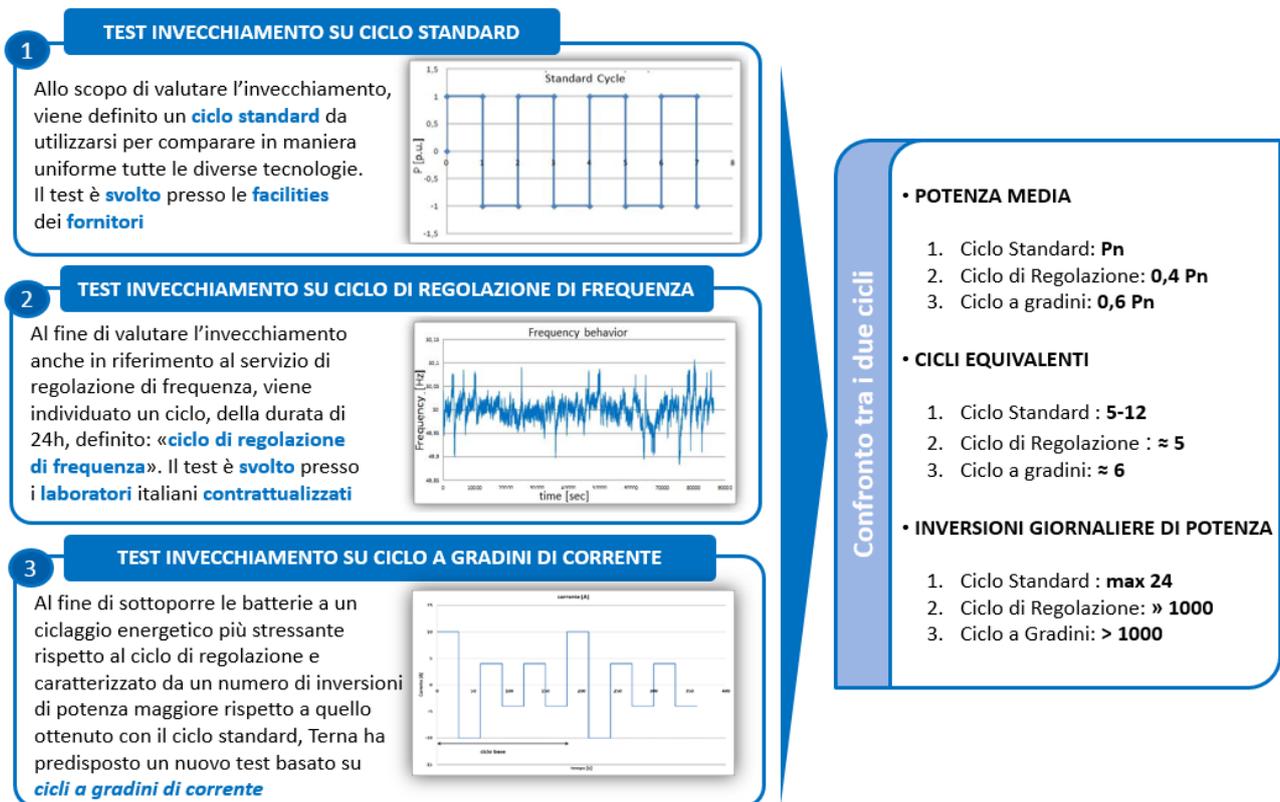


Figura 5 Confronto caratteristiche dei cicli utilizzati per i tre test di invecchiamento proposti

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.

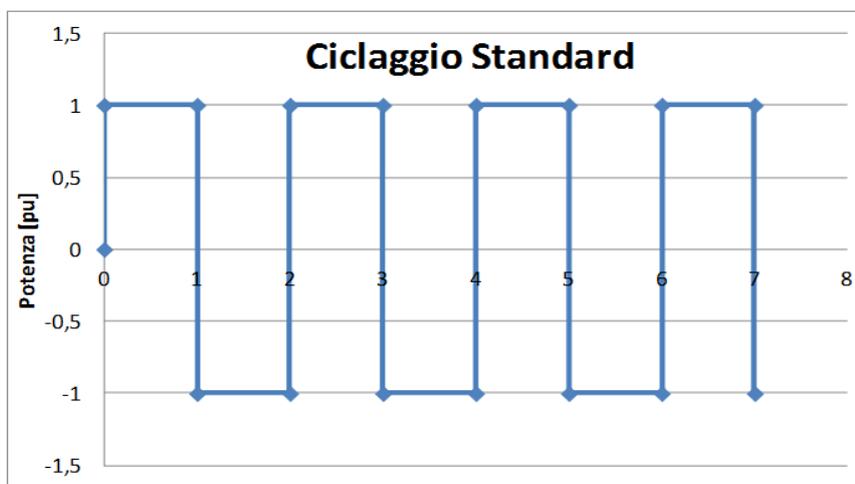


Figura 6 Ciclo standard proposto dal Committente

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.

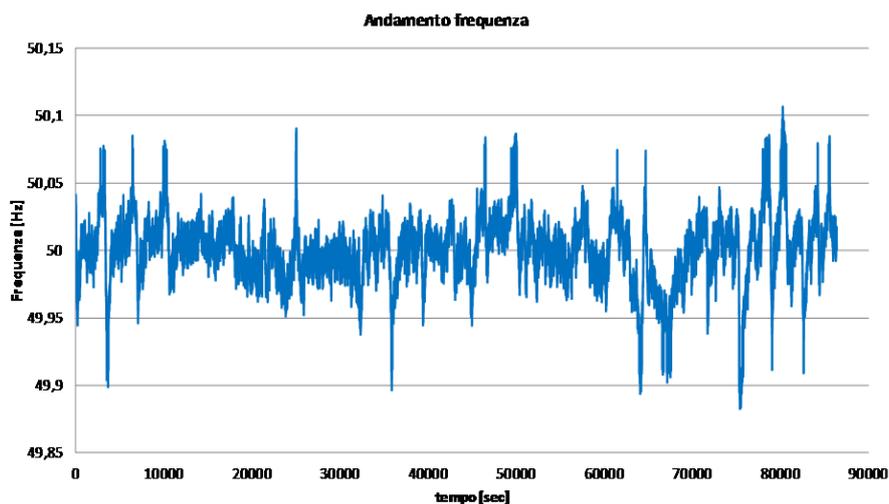


Figura 7 Andamento della frequenza

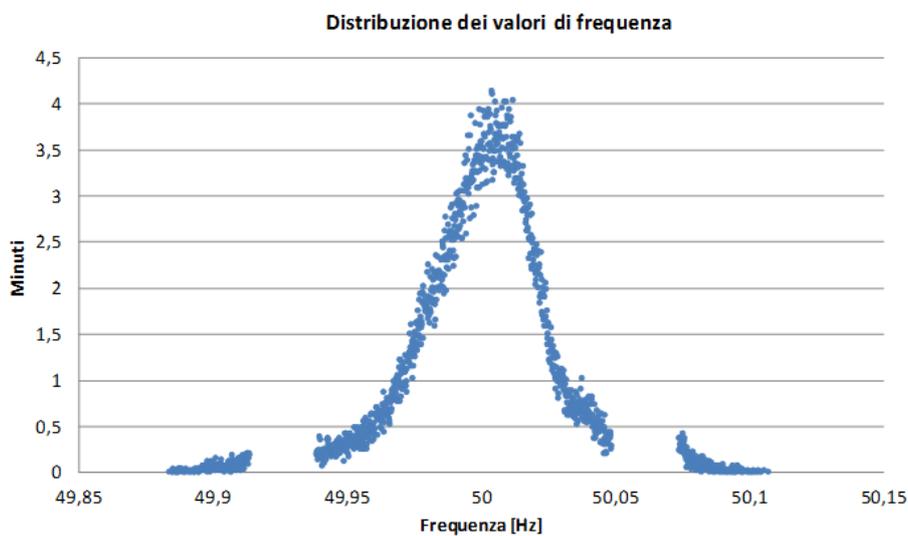


Figura 8 Distribuzione dei valori di frequenza durante il ciclo

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.

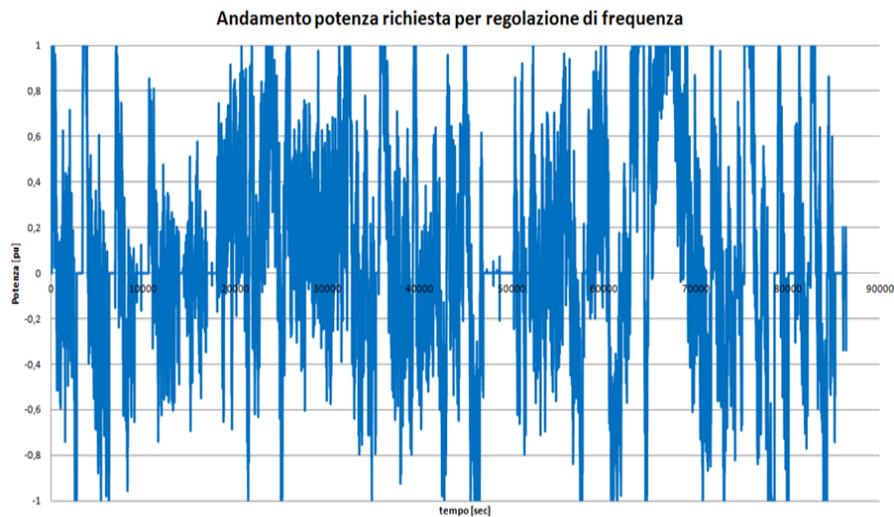


Figura 9 Andamento della potenza richiesta in %

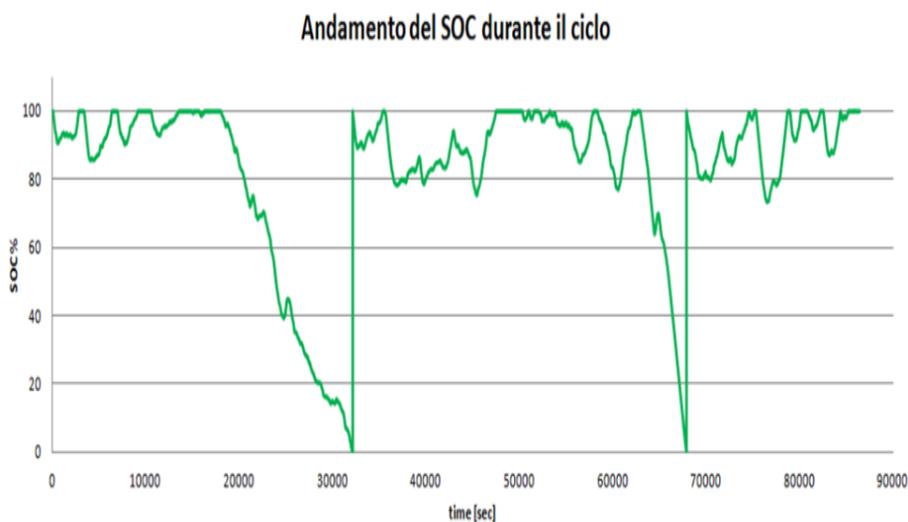


Figura 10 Andamento del SOC durante il ciclo di regolazione di frequenza

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 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.

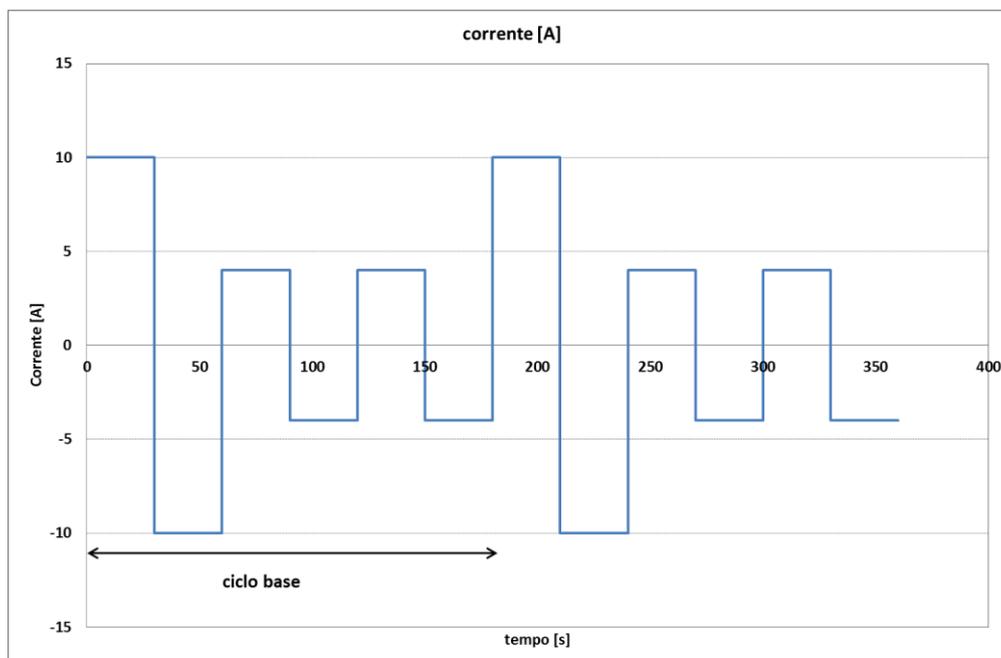


Figura 11 Esempio di ciclo base di test di invecchiamento su cicli a gradini di corrente

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

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

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:	In corso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	4000
Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi:	2515
Energia iniziale:	2,59 kWh
Energia attuale:	2,26 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

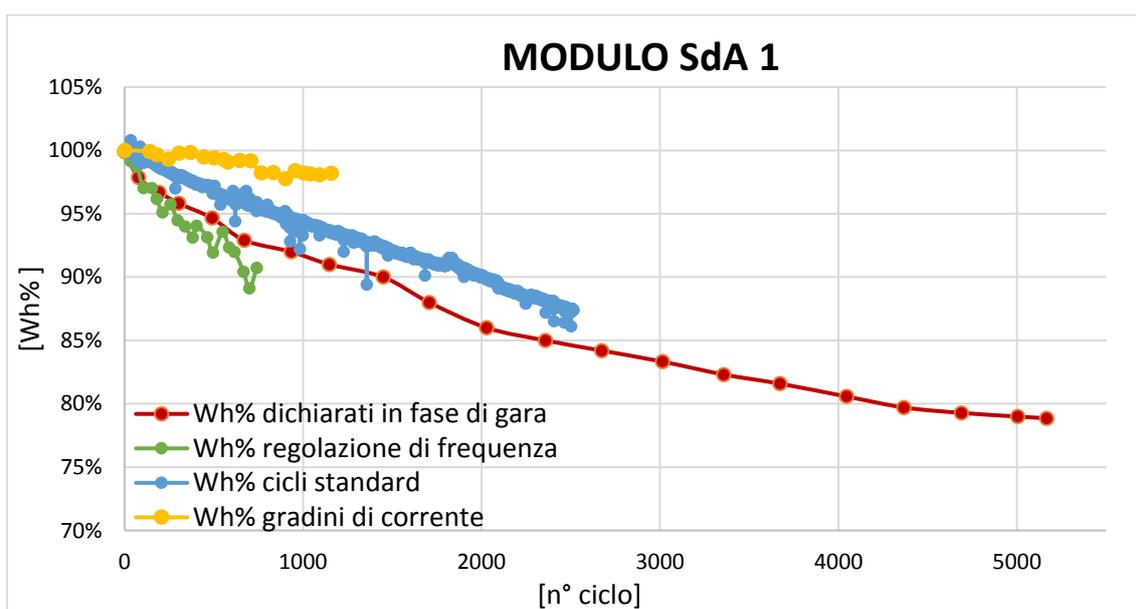


Figura 12 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 1

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. Inoltre, il confronto finale mostra 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 e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 2. Mentre il ciclo standard è stato eseguito su un modulo batteria composto da 10 celle poste in serie, il ciclo di regolazione di frequenza è stato eseguito su un modulo con 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

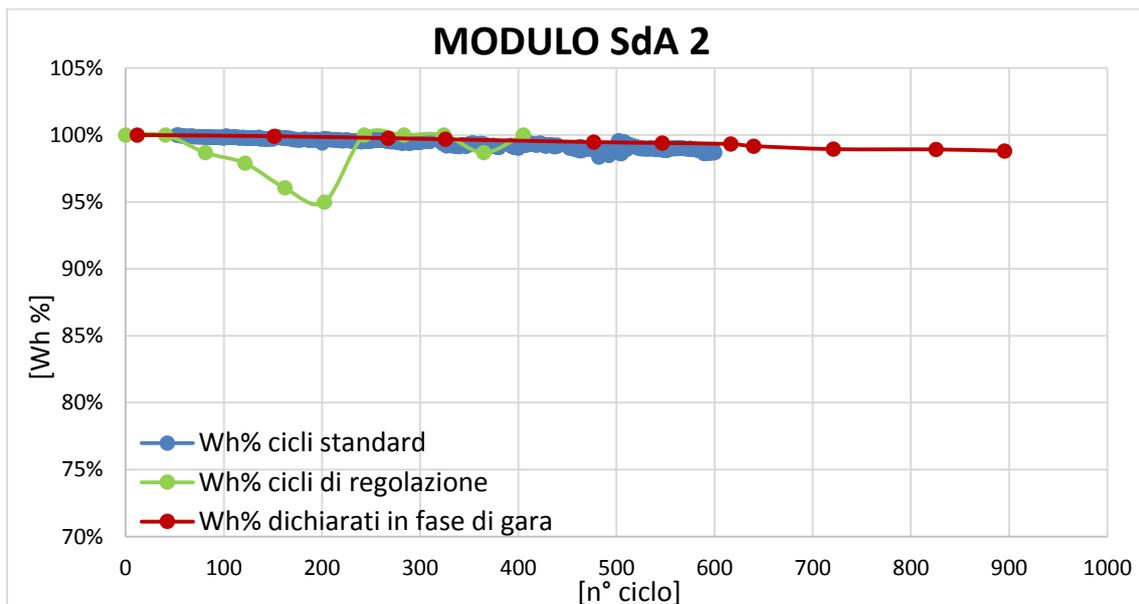


Figura 13 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 2

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. Il confronto finale infatti 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.

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.

Cicli standard

Stato del test:	Concluso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	4500
Numero di cicli effettivamente eseguiti:	937
Energia iniziale:	0,92 kWh
Energia attuale:	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	In corso
Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi:	224
Energia iniziale	21,85 kWh
Energia attuale	21,69 kWh

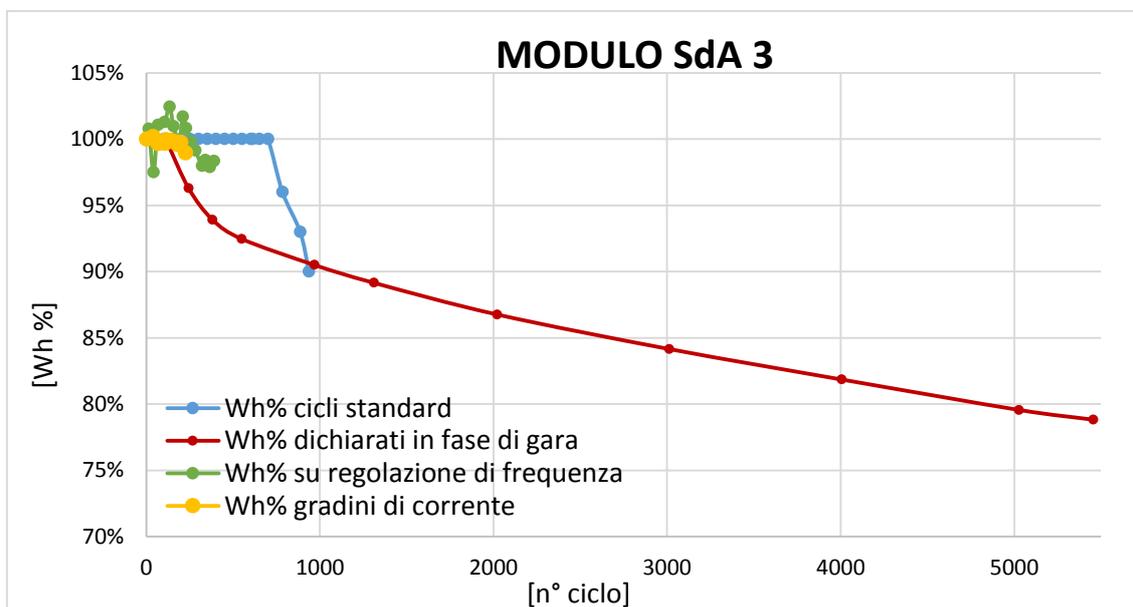


Figura 14 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 3

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). 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. 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 preliminari 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).

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:	In corso
Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara:	3000
Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi:	2200
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: **170**
Energia iniziale **3,50 kWh**
Energia attuale **3,26 kWh**

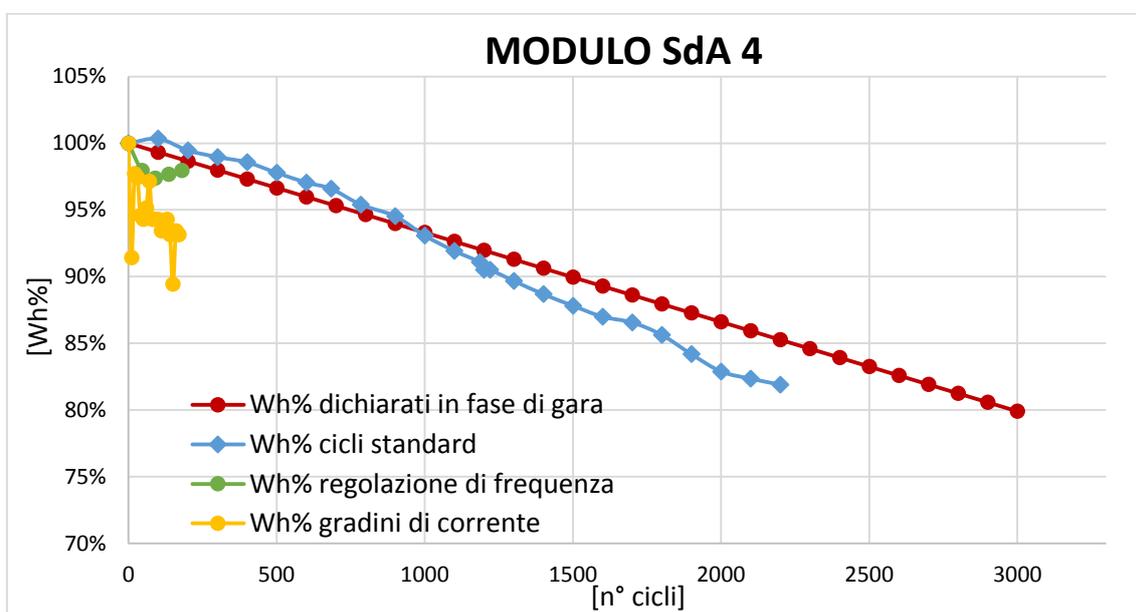


Figura 15 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 4

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 179° 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: dopo circa 2200 cicli il degrado registrato sulla capacità energetica estraibile risulta prossimo al 20%. Infine, i risultati riportati per il ciclo a gradini evidenziano una riduzione della capacità pari a circa l'8% in soli 170 cicli equivalenti.

Modulo SdA 5

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

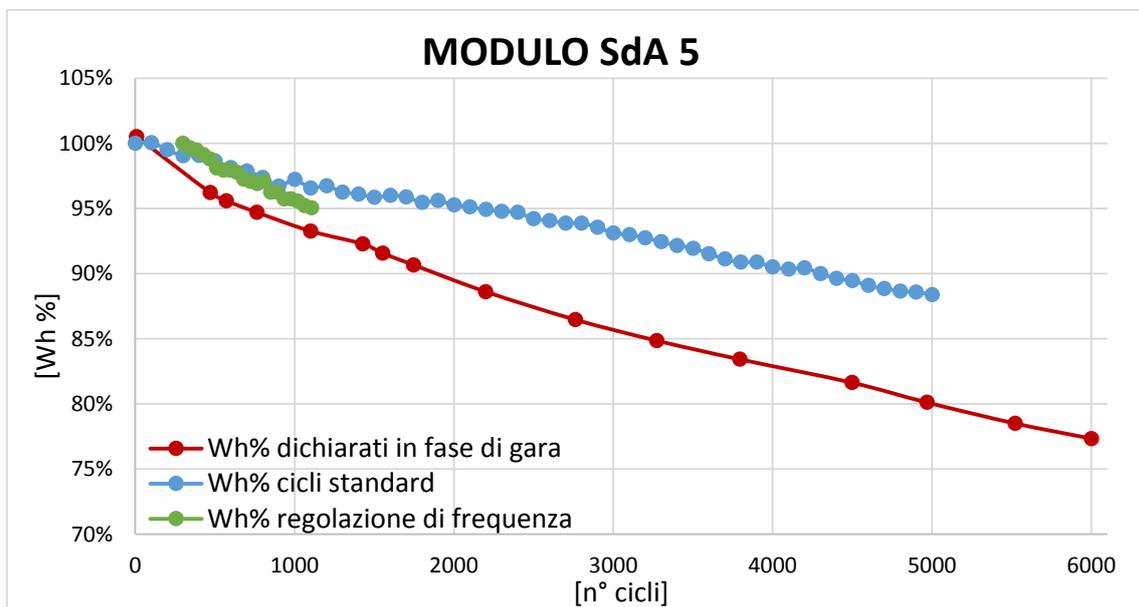


Figura 16 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 5

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 confronto finale infatti mette in evidenza come la tecnologia del SdA 5 non sia particolarmente sensibile alle diverse caratteristiche dei due cicli, mostrando un degrado delle prestazioni energetiche inferiore rispetto a quello dichiarato in fase di gara.

Modulo SdA 6

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**

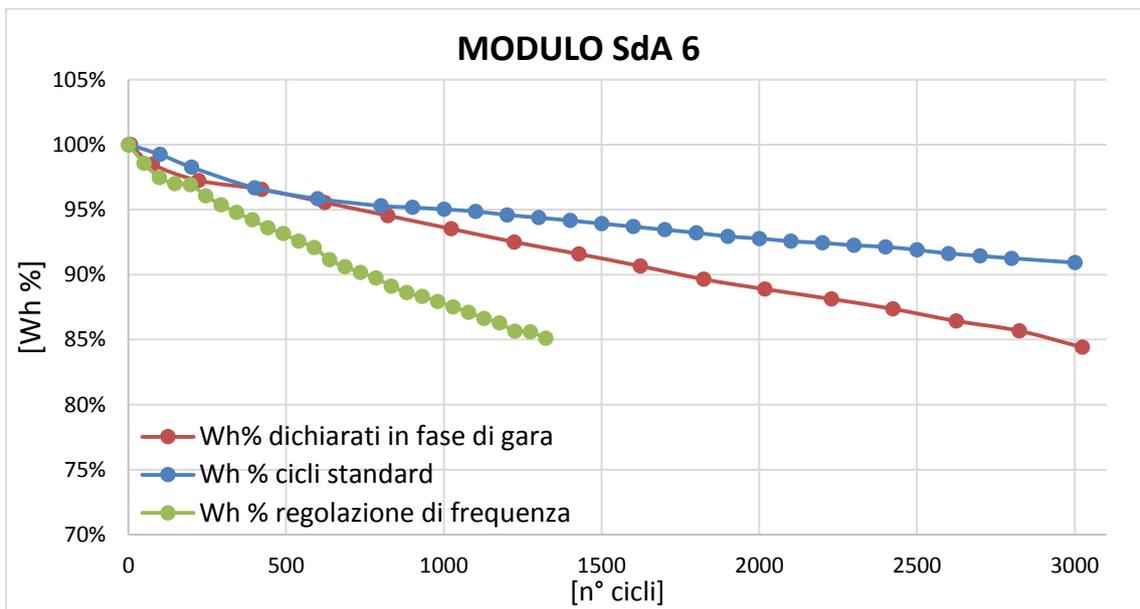


Figura 17 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 6

I risultati mostrano come il ciclo di regolazione di frequenza abbia provocato un degrado sulla capacità energetica della batteria sensibilmente superiore rispetto a quello registrato al termine dell'esecuzione dei cicli standard. Il confronto finale infatti mette in evidenza come il SdA 6 sia particolarmente sensibile alle diverse caratteristiche dei due cicli, mostrando un degrado delle prestazioni energetiche nettamente superiore a seguito delle continue inversioni di potenza che caratterizzano il ciclo di regolazione rispetto all'esecuzione continuativa del ciclo standard (energeticamente più gravoso).

Modulo SdA 7

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

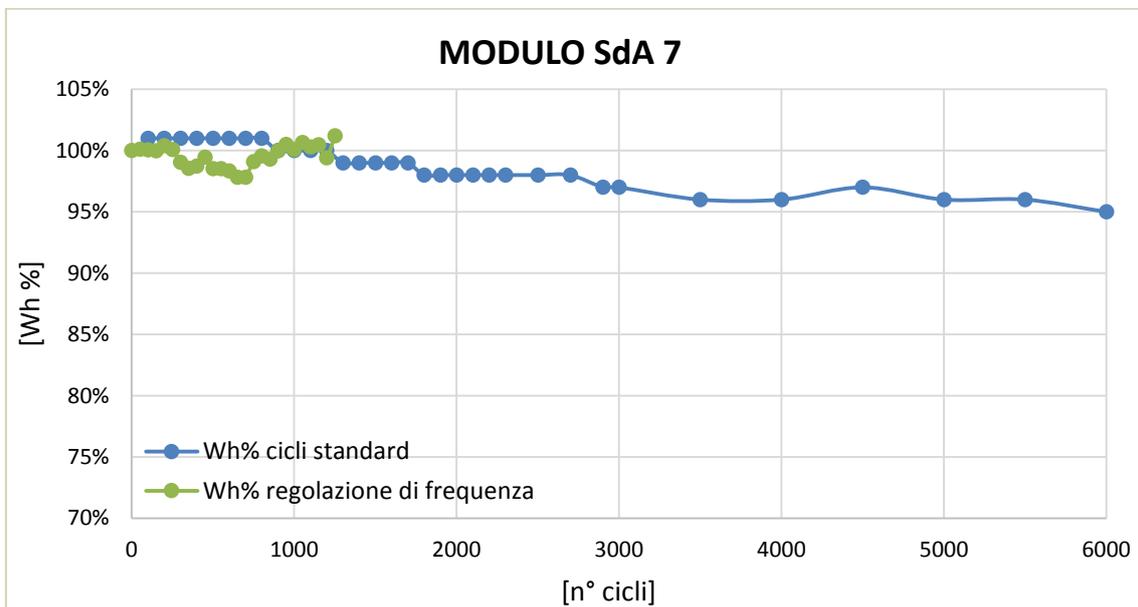


Figura 18 Confronto andamento dell'energia residua del modulo SdA 7

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. Il confronto finale infatti mette in evidenza come il SdA 7 non sia particolarmente sensibile alle diverse caratteristiche dei due cicli. Il modulo 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 E SU CICLI DI REGOLAZIONE DI FREQUENZA TRA I DIVERSI FORNITORI

Nell'anno di sperimentazione 2016, il test di invecchiamento sul ciclo di regolazione di frequenza è stato terminato da tutti i fornitori mentre il test sul ciclo standard è ancora in corso per il SdA 1 e il SdA 4. 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 tutte le tecnologie. 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). Il SdA 4, sulla base del numero di cicli effettuati ad oggi, risulta 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 caratterizzato da un degrado della capacità energetica trascurabile per effetto dell'esecuzione continuativa del ciclo standard.

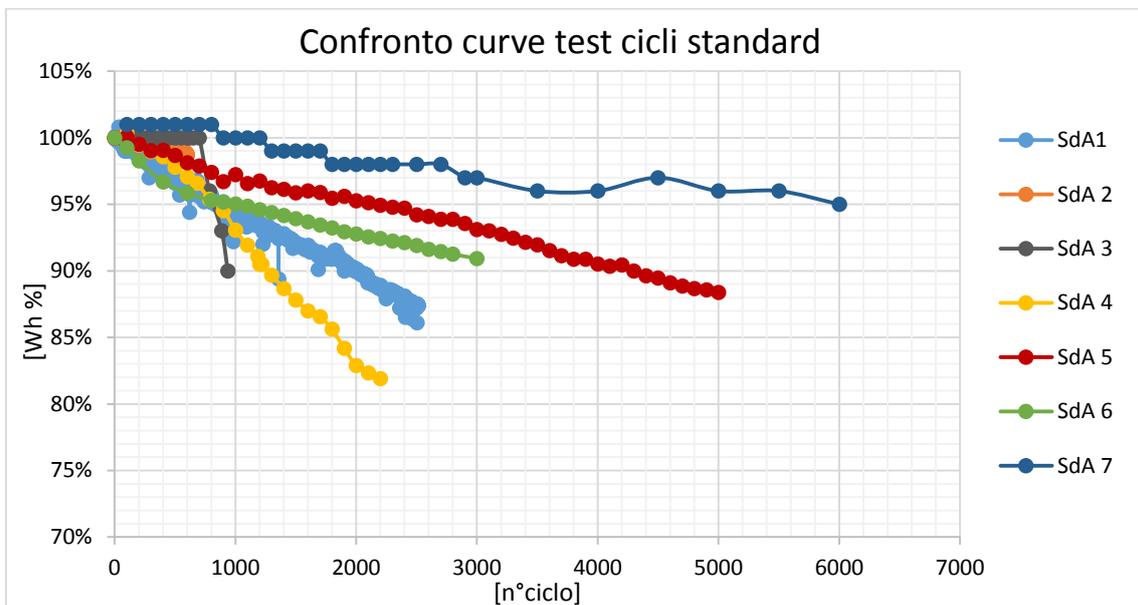


Figura 19 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli standard

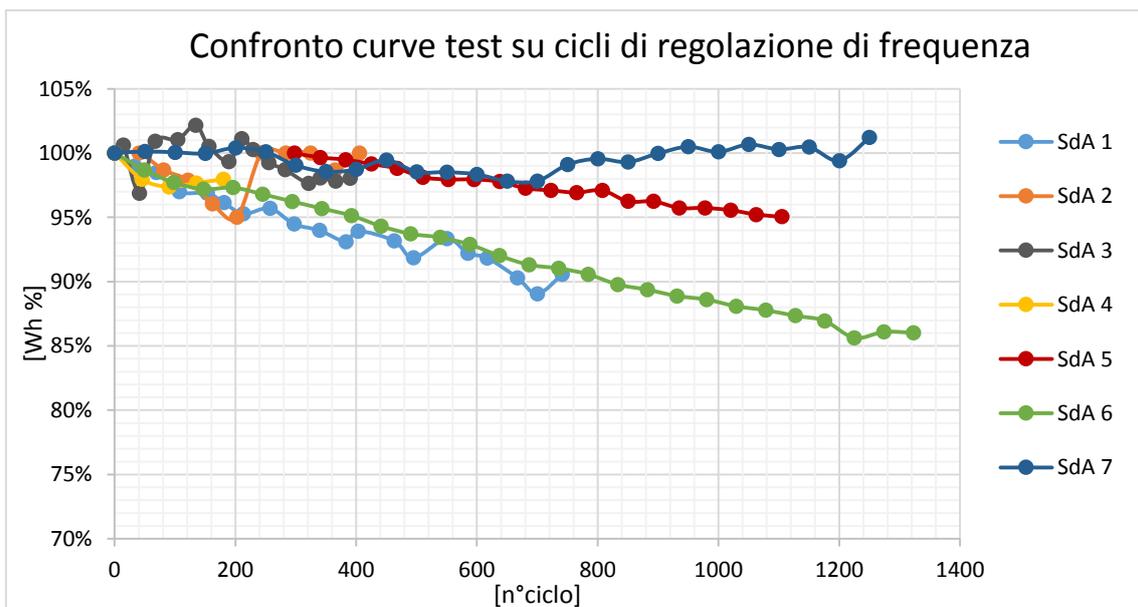


Figura 20 Confronto andamento dell'energia residua dei moduli su cicli di regolazione di frequenza

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

Il grafico in Figura 20 riporta le curve risultanti del test di invecchiamento su cicli di regolazione di frequenza per tutte le tecnologie. 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 i sistemi Lithium-Based SdA 6 e SdA 1, che soffrono in maniera molto più marcata l'esecuzione continuativa del ciclo di regolazione di frequenza rispetto a quello standard. Non è possibile 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 (SdA 2 e SdA 3), non si registra un invecchiamento evidente in termini di riduzione della capacità scaricabile rispetto a quella nominale.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

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 da 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 21). 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 22).

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.

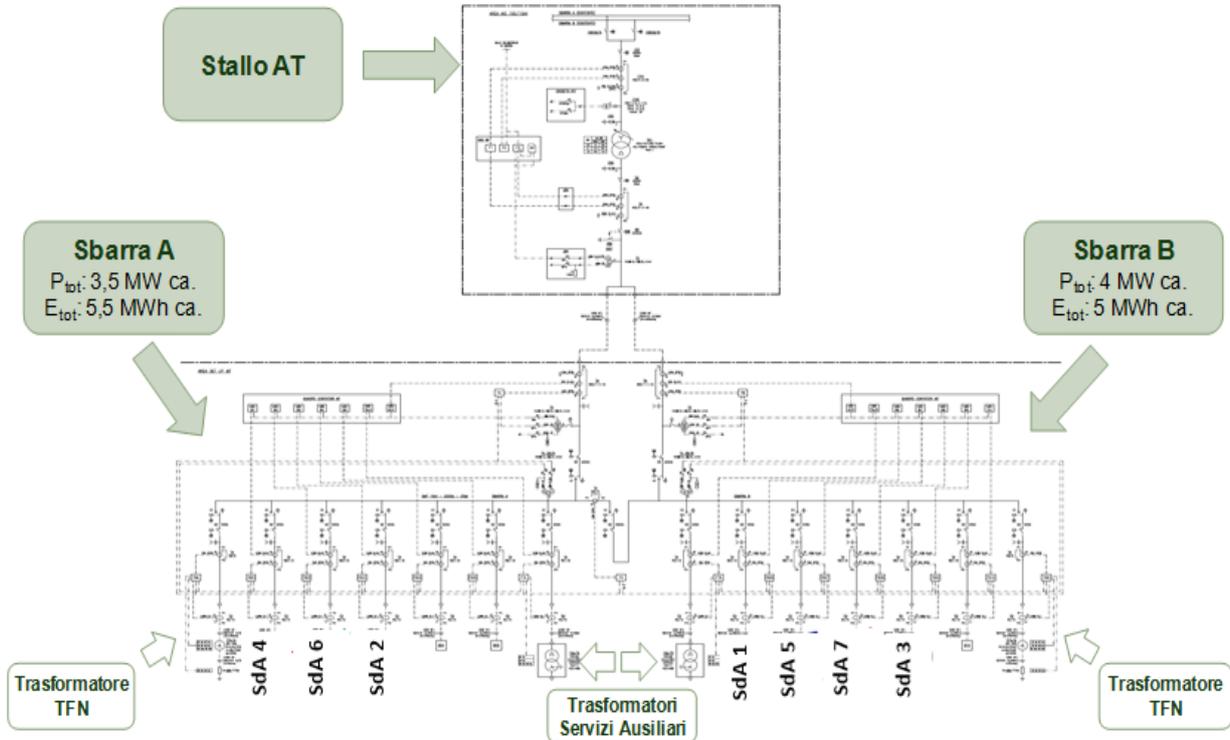


Figura 21 Schema unifilare MT/AT di impianto – Codrongianos

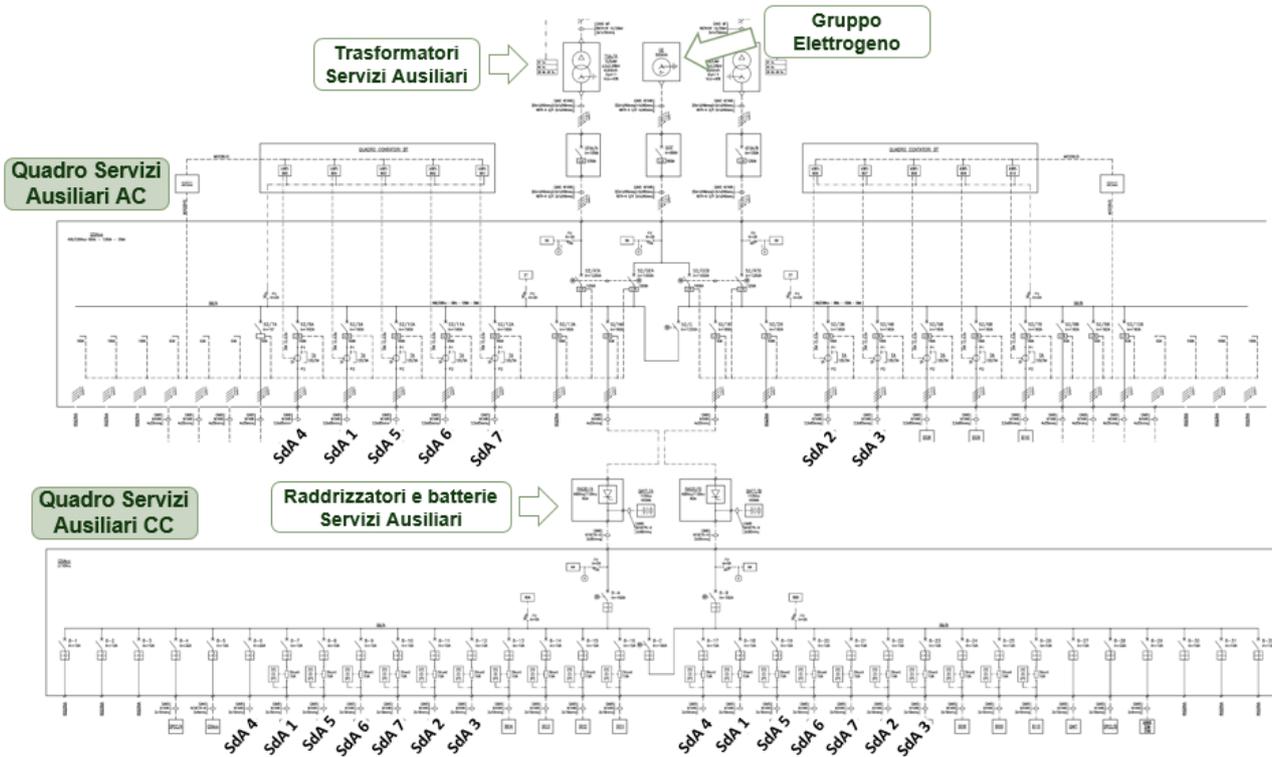


Figura 22 Schema unifilare BT – servizi ausiliari - Codrongianos

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 31/12/2016

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 23). 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 24).

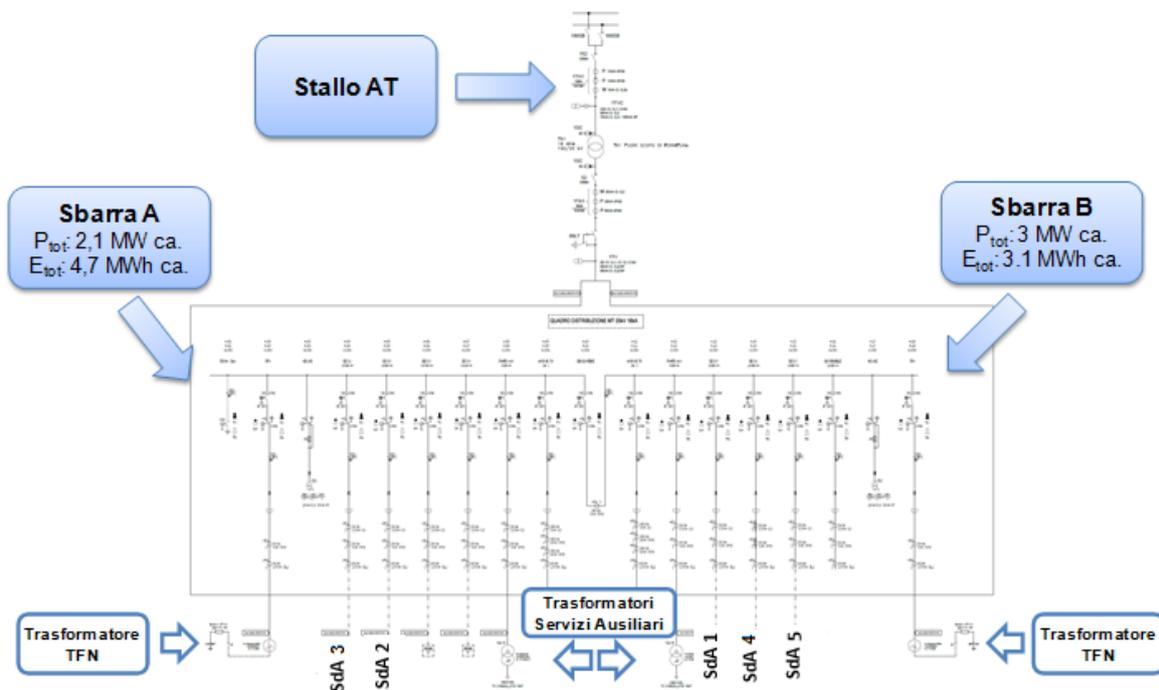


Figura 23 Schema unifilare MT/AT di impianto – Ciminna

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.

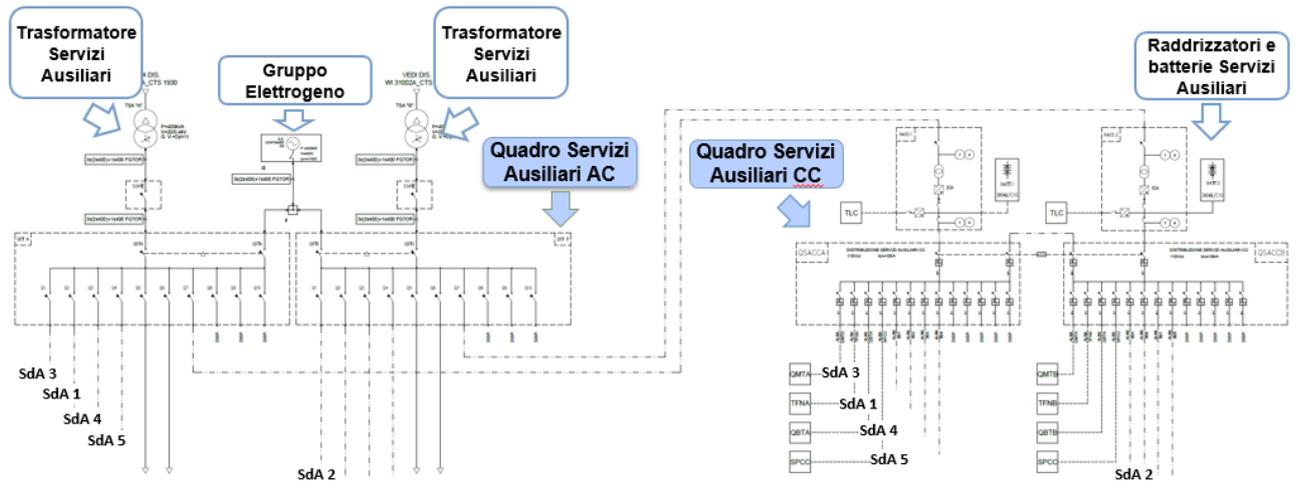


Figura 24 Schema unifilare BT – servizi ausiliari Ciminna

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]
SdA 1	Lithium-based	1	1,23
SdA 2	Zebra	1,2	4,15
SdA 3	Lithium-based	0,9	0,54
SdA 4	Lithium-based	1	0,92
SdA 5	Lithium-based	1	1,02
SdA 6	Flusso - Vanadio	0,45	1,44

Tabella 2 Sintesi SdA installate presso la SE Ciminna al 31/12/2016

7.3 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI CONDUZIONE, CONTROLLO E MONITORAGGIO

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

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

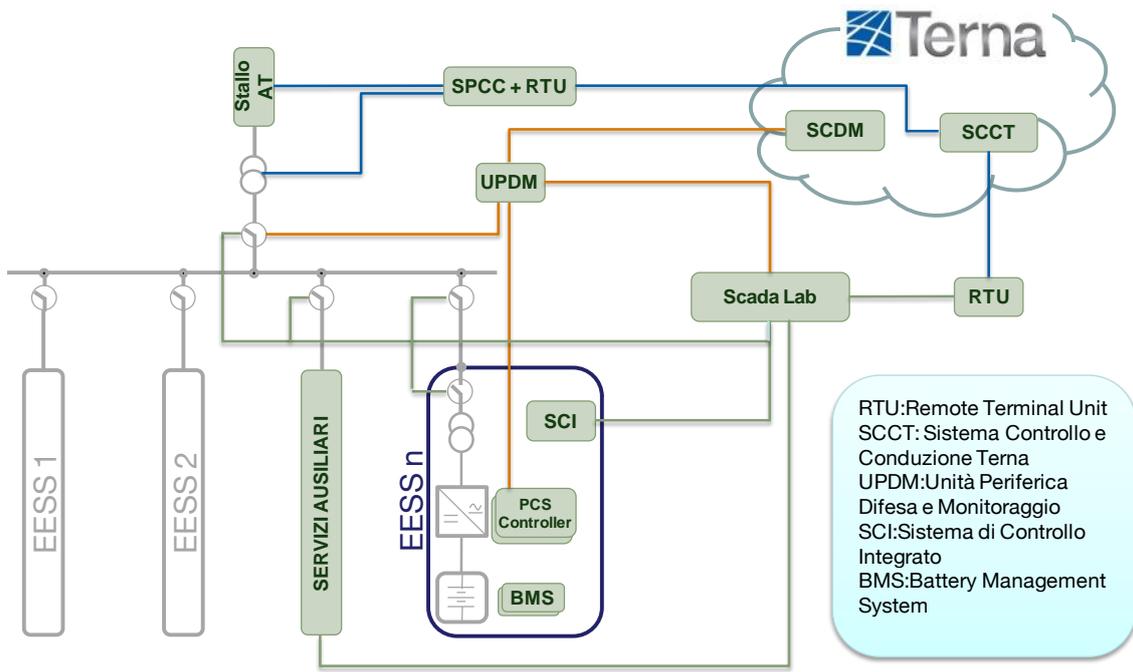


Figura 25 Flussi logici degli impianti Storage Lab

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

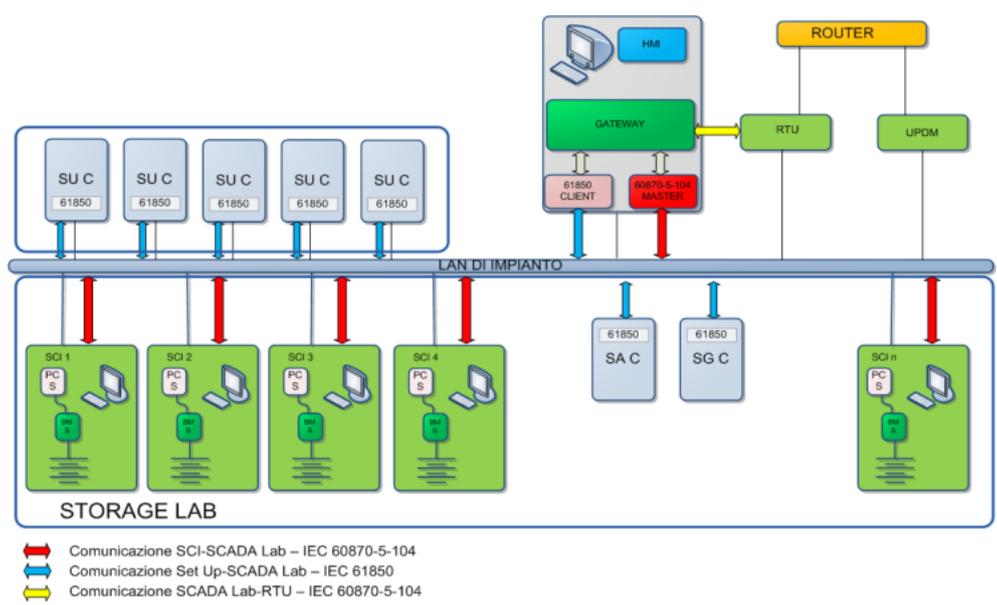


Figura 26 Architettura del sistema di controllo Storage Lab

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.

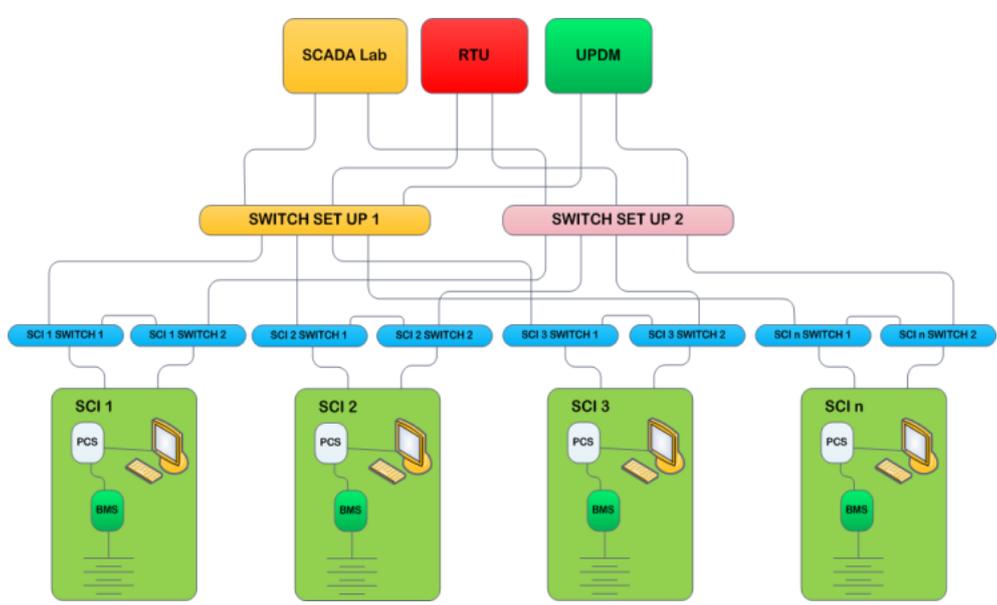


Figura 27 Architettura della LAN Storage Lab

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).

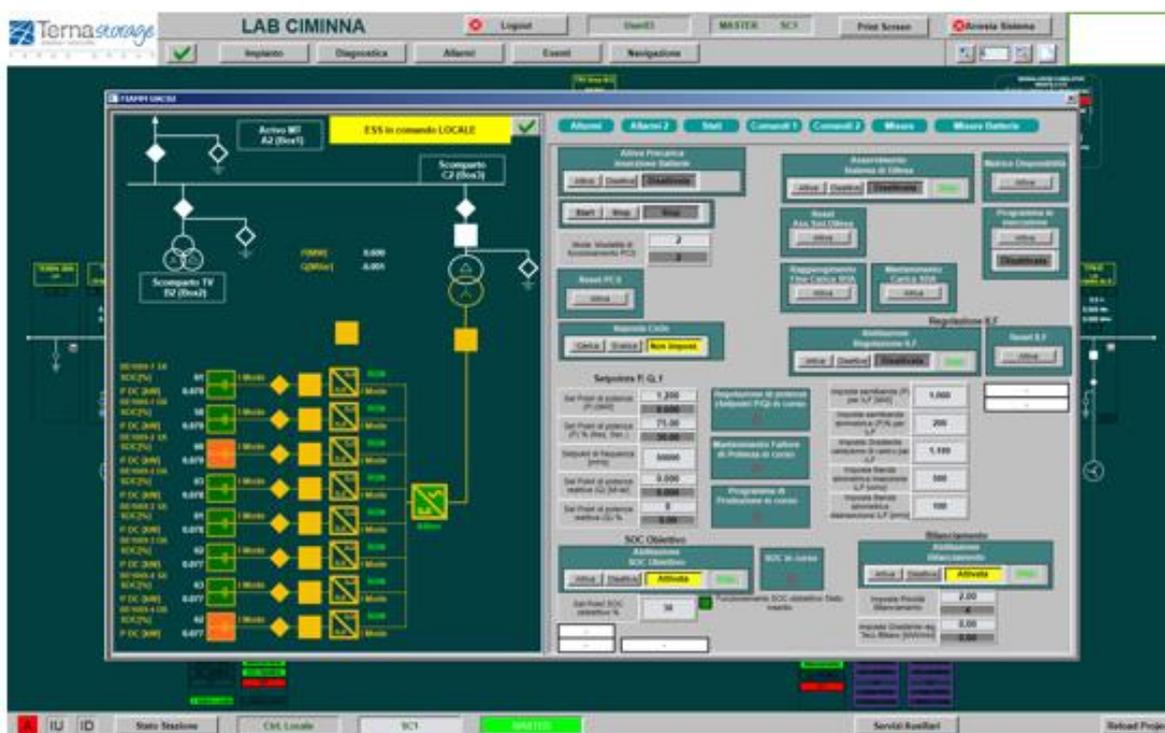


Figura 28 Esempio interfaccia grafica da Scada Lab (locale)

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

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

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 ad opportuni input in ingresso, secondo quanto richiesto dall'Allegato A della Delibera AEEGSI 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 2016. 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 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. È possibile inoltre osservare i risultati dell'ultima prova di rendimento netto, svolta in data 06/04/2016.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
01/10/2015	1013	82,4
06/04/2016	990	83,0

Tabella 3 Risultati prova di rendimento netto – Sda 1 Codrongianos

L'energia scaricata durante l'ultima ripetizione del ciclo è coerente con i risultati emersi nella precedente prova. Non si evidenzia pertanto alcun fenomeno di invecchiamento di rilievo.

Per esigente di esercizio, non è stata eseguita la prova di rendimento relativa al secondo semestre 2016.

Sda 2 - Zebra

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
25/07/2015	4253	80,5
03/02/2016	4330	78,3

Tabella 4 Risultati prova di rendimento netto – Sda 2 Codrongianos

L'energia scaricata durante la ripetizione del ciclo è coerente con i risultati emersi nella precedente prova. Non si evidenzia pertanto alcun fenomeno di invecchiamento di rilievo.

Per esigente di esercizio, non è stata eseguita la prova di rendimento relativa al secondo semestre 2016.

SdA 3 - Zebra

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di rendimento netto svolta in fase di collaudo, dal 22/03/2016 al 24/03/2016.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
22-24/03/2016	1975	77,0

Tabella 5 Risultati prova di rendimento netto– SdA 3 Codrongianos

Per esigenze di esercizio, non è stata eseguita la prova di rendimento relativa al secondo semestre 2016.

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 dell'ultima prova effettuata, relativa al secondo semestre 2016.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
03/12/2015	970	84,4
20/10/2016	915	83,8

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 con i flussi di energia rilevati in carica e scarica durante la prova. Dal confronto con i valori di rendimento registrati in fase di collaudo 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 primo e al secondo semestre 2016.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
30/07/2015	915	85,5
02/02/2016	930	91,2
02/09/2016	915	89,3

Tabella 7 Risultati prova di rendimento netto – SdA 5 Codrongianos

L'energia scaricata durante il test di Settembre 2016 è coerente 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.

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. Non sono stati svolti ulteriori test prestazionali sul SdA 6.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
17/05/2016	515	80,8

Tabella 8 Risultati prova di rendimento netto – SdA 6 Codrongianos

SdA 7 – Lithium-Based

In Tabella 9 sono riportati i risultati delle prove di rendimento netto.

L'energia scaricata durante il test di Settembre 2016 è coerente 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.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
14/12/2014	1000	86,6
21/01/2016	960	91,0
01/09/2016	990	93,9

Tabella 9 Risultati prova di rendimento netto– SdA 7 Codrongianos

PARAMETRI CARATTERISTICI CIMINNA

SdA 1 – Lithium-Based

La Tabella 10 riporta i risultati della prova di rendimento netto, svolta in fase di collaudo in data 27/10/2015.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
27/10/2015	1057	83,1
01/03/2016	940	83,0

Tabella 10 Risultati prova di rendimento netto – SdA 1 Ciminna

L'energia scaricata durante la seconda prova è inferiore ai risultati emersi in fase di collaudo. Si ritiene opportuno attendere i risultati delle future prove al fine di dedurre eventuali fenomeni di invecchiamento. A causa di un problema su una stringa, risolto solo a Dicembre, la prova di rendimento netto relativa al secondo semestre 2016 è stata svolta a febbraio 2017 e verrà riportata nel successivo rapporto di sperimentazione.

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, relative al primo e al secondo semestre 2016.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
10/02/2015	4224	79,9
02/03/2016	4204	78,2
05/10/2016	4012	79,0

Tabella 11 Risultati prova di rendimento netto– SdA 2 Ciminna

L'energia scaricata durante il test di Ottobre 2016 è coerente con i risultati emersi nei precedenti test e in fase di collaudo. Non si evidenziano pertanto fenomeni di invecchiamento di rilievo.

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 2016.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
10/12/2015	533	80,6
01/03/2016	550	84,7
04/10/2016	530	81,8

Tabella 12 Risultati prova di rendimento netto – SdA 3 Ciminna

L'energia scaricata durante il test di Ottobre 2016 è coerente con i risultati emersi nei precedenti test e in fase di collaudo. Non si evidenziano pertanto fenomeni di invecchiamento di rilievo.

SdA 4 – Lithium-Based

La tabella sottostante riporta i risultati delle prove di rendimento netto.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
20/09/2015	927	85,7
29/02/2016	920	89,0
03/10/2016	860	86,0

Tabella 13 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.

SdA 5 – Lithium-Based

In Tabella 14 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 2016.

PROVA	Energia in scarica [kWh]	η [%]
16/07/2015	990	85,5
10/03/2016	970	85,3
17/10/2016	970	86,0

Tabella 14 Risultati prova di rendimento netto– SdA 5 Ciminna

L'energia scaricata durante la ripetizione del ciclo a Ottobre 2016 è coerente con i risultati emersi nella precedente prova di Marzo e con i valori ottenuti in fase di collaudo. Non si evidenzia pertanto alcun

fenomeno di invecchiamento di rilievo.

PRINCIPALI EVIDENZE TEST DI RENDIMENTO

I risultati ottenuti nel secondo semestre sono in linea con quelli derivanti dalle prove svolte nel periodo di riferimento precedente e in fase di collaudo. Non sono stati di fatto rilevati fenomeni di degrado delle prestazioni. In alcuni casi specifici sono state individuate delle deviazioni sull'energia scaricata rispetto ai risultati emersi nelle precedenti prove. Tali evidenze dovranno essere verificate a seguito dei risultati delle future prove, al fine di dedurre eventuali effettivi fenomeni di invecchiamento.

In Figura 29 sono riportati in forma sintetica i risultati dei test di rendimento netto, in termini di valori medi valutati sugli esiti delle prove effettuate in entrambi i siti, comparati con i valori dei rendimenti rilevati per i moduli delle singole tecnologie durante le ispezioni in fabbrica. La tabella consente quindi una rapida comparazione dei valori di rendimento mediati sui cicli di prova fino ad ora effettuati sui due siti. Relativamente ai sistemi *Grid Scale*, le prestazioni migliori in termini di rendimento sono state ottenute dai sistemi litio SdA 5 e SdA 7, con rendimenti netti pari a circa l'88%. I sistemi Zebra si attestano, come previsto, su rendimenti inferiori rispetto alle tecnologie litio e compresi nel range 77-79%.

		Modulo	Grid Scale	BoS e Ausiliari
		 Round trip efficiency	 Rendimento netto (con AUX)	 Losses & Consumptions
		Valore rilevato durante le ispezioni in fabbrica	Valore misurato in sito includendo il consumo dei servizi ausiliari	Delta tra round trip efficiency del modulo e il rendimento netto grid scale
Lithium Based	SdA 1	94,5%	82,9%	-11,6%
	SdA 4	95,7%	83,3%	-12,4%
	SdA 5	97,0%	87,8%	-9,2%
	SdA 6	96,0%	80,8%	-15,2%
	SdA 7	96,0%	88,1%	-7,9%
Zebra	SdA 2	90,0%	79,2%	-10,8%
	SdA 3	89,9%	77,0%	-12,9%

Figura 29 Confronto valori medi prove di rendimento netto e efficienza sistema Module Scale

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

8.3 PROVE AD HOC CON SEGNALI SIMULATI

Durante il 2016, per entrambe le Stazioni dei Sistemi di Accumulo, sono state effettuate le prove *ad hoc* con segnali simulati, previste dalla Determina 12/14. Tali prove 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 riportate alcune misurazioni effettuate in entrambi gli Storage Lab, in riferimento ai risultati più significativi delle prove svolte. 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 al 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 seguente viene rappresentata la variazione dei registri interni del sistema di controllo (SCI) del SdA 7 di Codrongianos a seguito della perturbazione. Il sistema di controllo inizia a richiedere una variazione di potenza dopo 430 ms dall'inizio della perturbazione di frequenza. Il SdA inizialmente si pone, a seguito della perturbazione oggetto di test, in condizione di sovraccarico per una durata di circa 60 secondi. La condizione di *overload* è poi sostenuta ad intervalli regolari di 5 minuti durante l'esecuzione della prova, sfruttando appieno le potenzialità in sovraccarico del SdA. È possibile inoltre osservare la persistenza del contributo di regolazione per tutta la durata dell'intervallo richiesto, pari a 15 minuti.

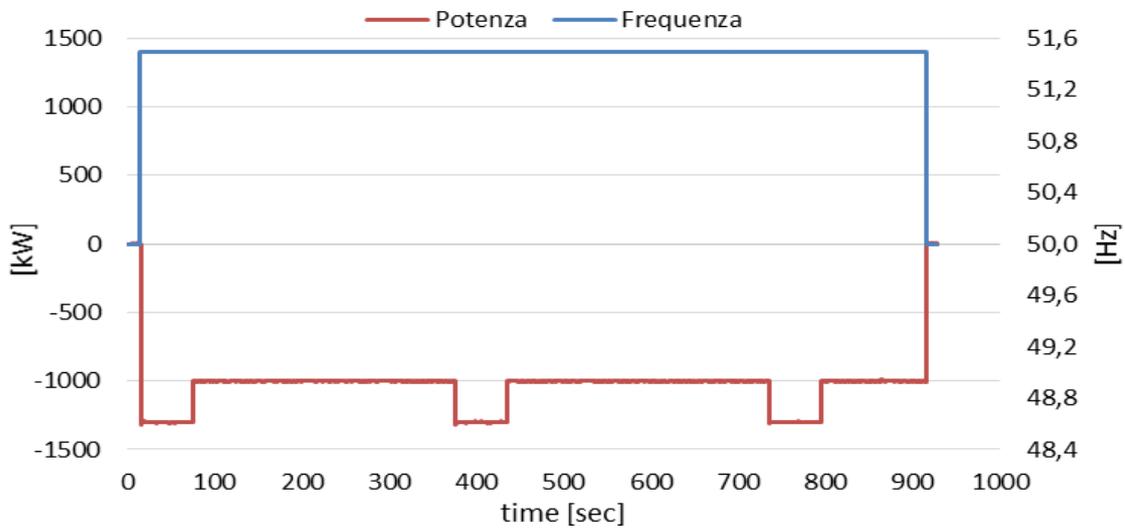


Figura 30 Prova 1a - Risposta SdA 7 - Codrongianos

In Figura 31 è inoltre riportata la risposta del Sda 3 di Ciminna alla perturbazione di frequenza oggetto della prova. Dalla figura si può apprezzare come la variazione di potenza vada a regime dopo 740 ms dall'inizio dell'evento.

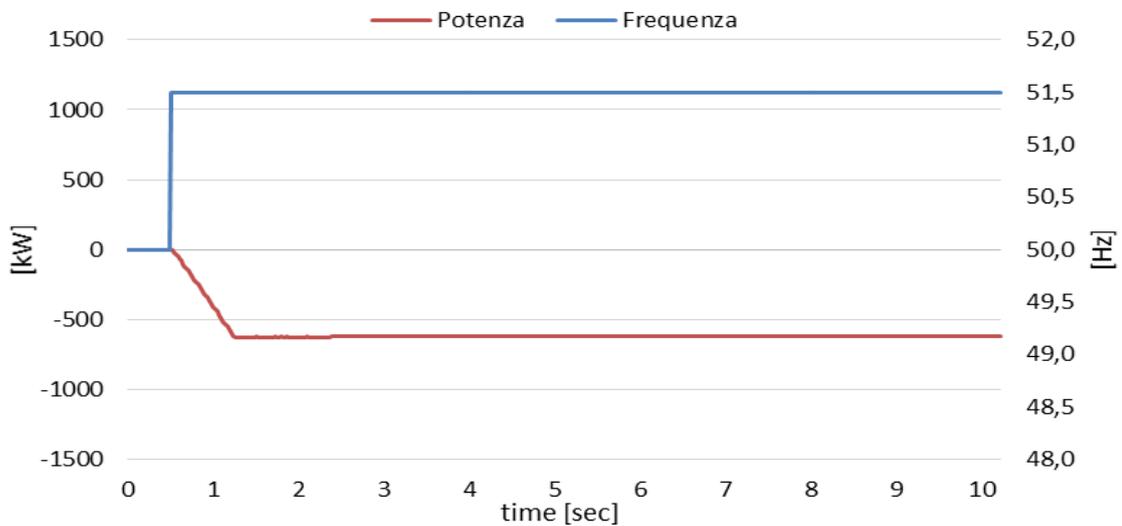


Figura 31 Risposta SdA 3 - Ciminna

SEQUENZA RAMPE OPPOSITE 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 sovrافrequenza seguiti da scatto di gruppi di generazione con conseguente sottofrequenza.

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

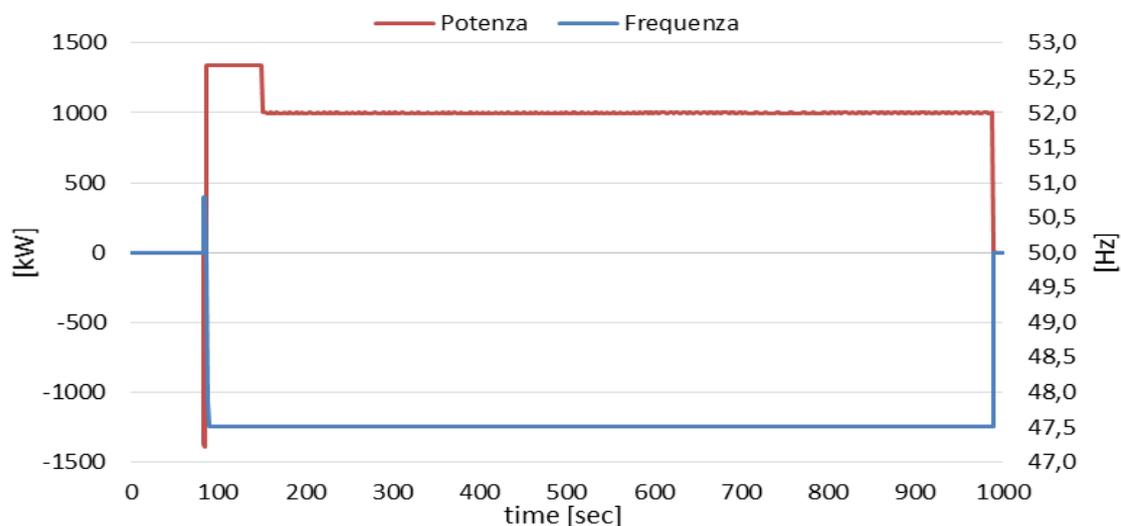


Figura 32 Prova 2a - Risposta SdA 5 - Codrongianos

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 5 a Codrongianos durante la perturbazione in frequenza. È possibile osservare come negli intervalli temporali precedenti e successivi alla perturbazione la potenza erogata è pari al valore nominale. Per tutta la durata della perturbazione il SdA si pone, come previsto, nelle condizioni di scarica ad un valore pari alla relativa potenza di sovraccarico.

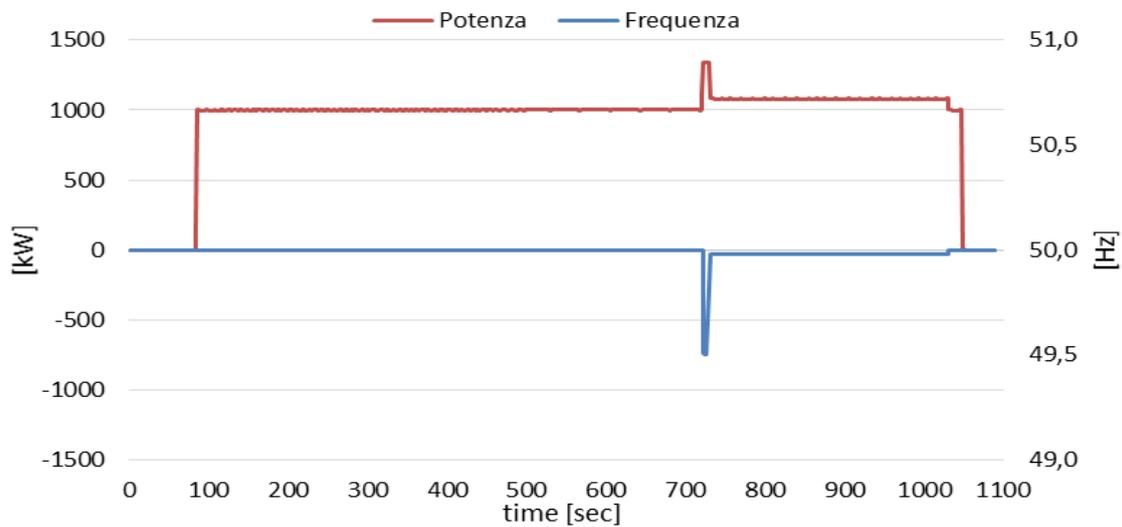


Figura 33 Prova 3a - Risposta SdA 5 - Codrongianos

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

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

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

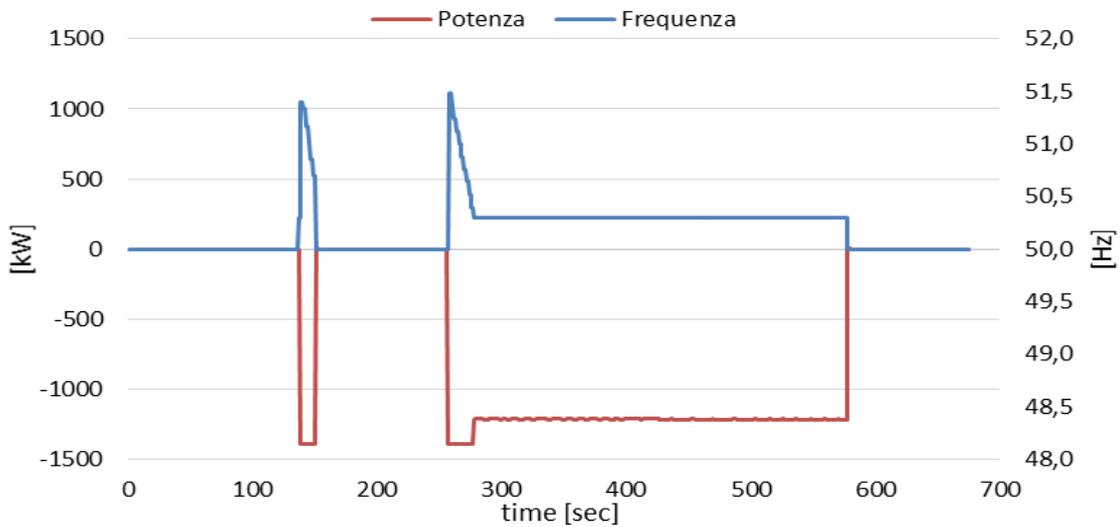


Figura 34 Prova3b e 3c - Risposta SdA 5 Codrongianos

In Figura 35 è possibile osservare la risposta del SdA 2 di Ciminna all’evento oggetto della prova 3b. È possibile notare come il sistema d’accumulo si porti inizialmente in condizioni di sovraccarico e poi assorba in modo continuativo la potenza nominale.

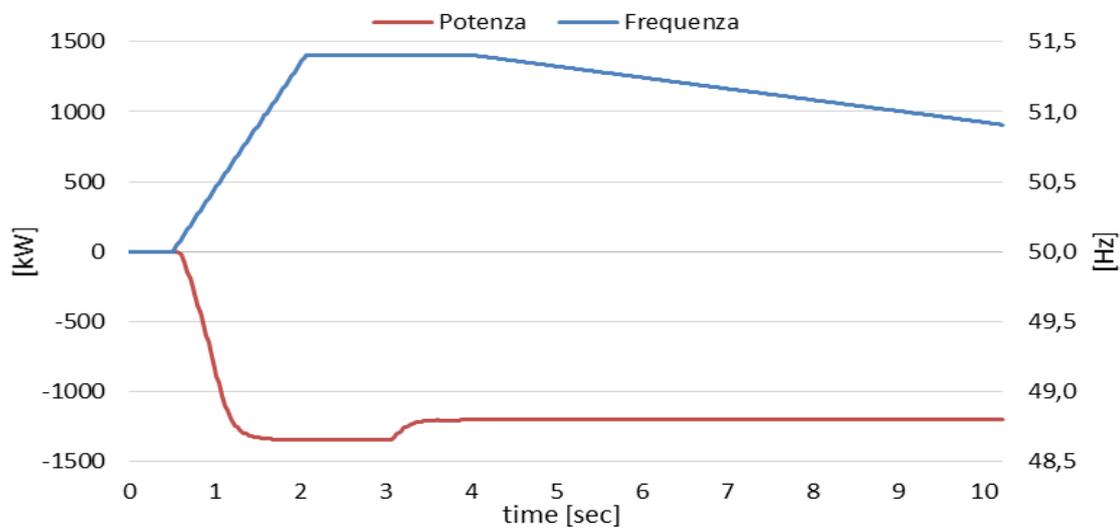


Figura 35 Prova 3a - Risposta SdA 2 Ciminna

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 7 di Codrongianos durante la perturbazione prevista dalla prova. A seguito della variazione di frequenza, avviene chiaramente un'inversione di potenza a gradino (da erogazione ad assorbimento).

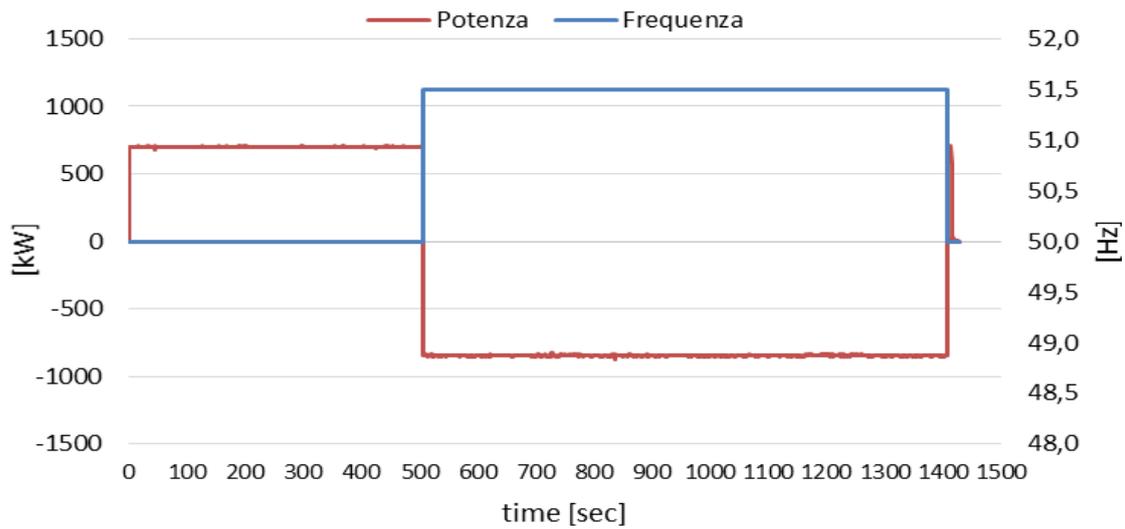


Figura 36 Prova 4a - Risposta SdA 7 Codrongianos

Di seguito è possibile inoltre osservare la risposta del SdA 1 a Ciminna. Anche in questo caso, è evidente la variazione di potenza con cui il sistema risponde all'evento, passando dall'erogazione in scarica di una potenza attiva pari al 70% della nominale all'assorbimento della potenza massima in carica.

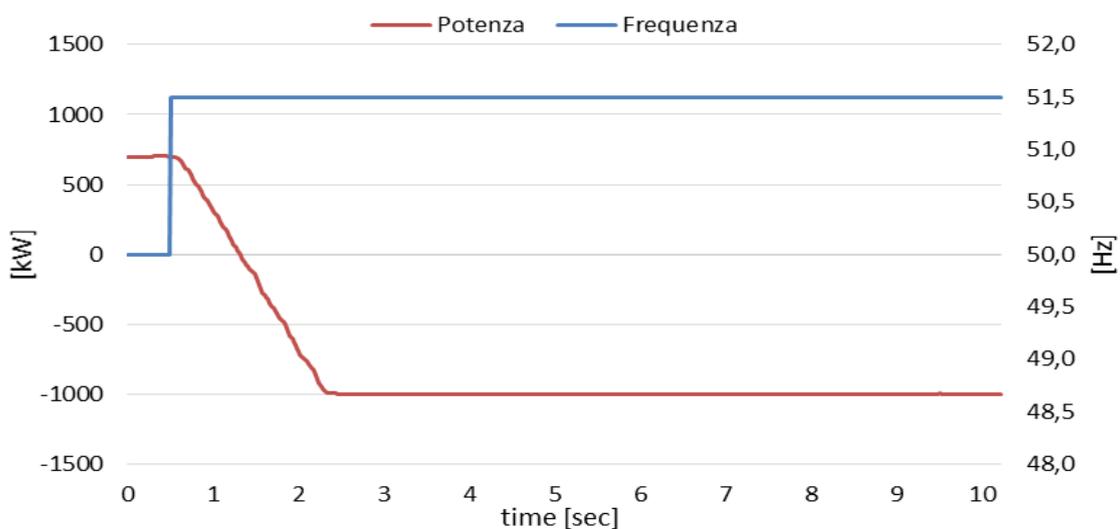


Figura 37 Prova 4a - Risposta SdA 1 Ciminna

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 SdA 7 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 ripetutamente per circa un minuto e ad intervalli di 5 minuti tra ogni erogazione.

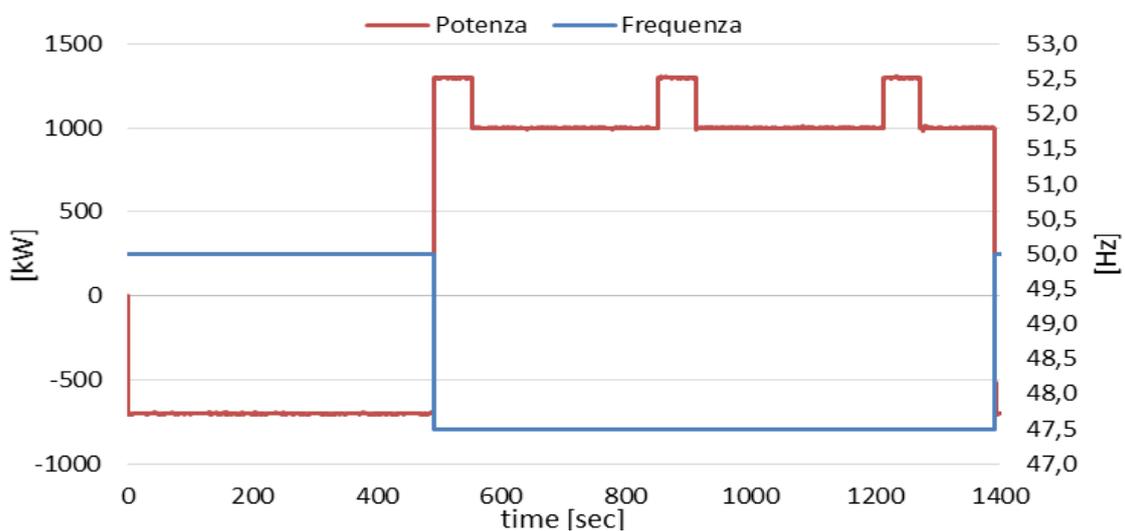


Figura 38 Prova 5a - Risposta SdA 7 Codrongianos

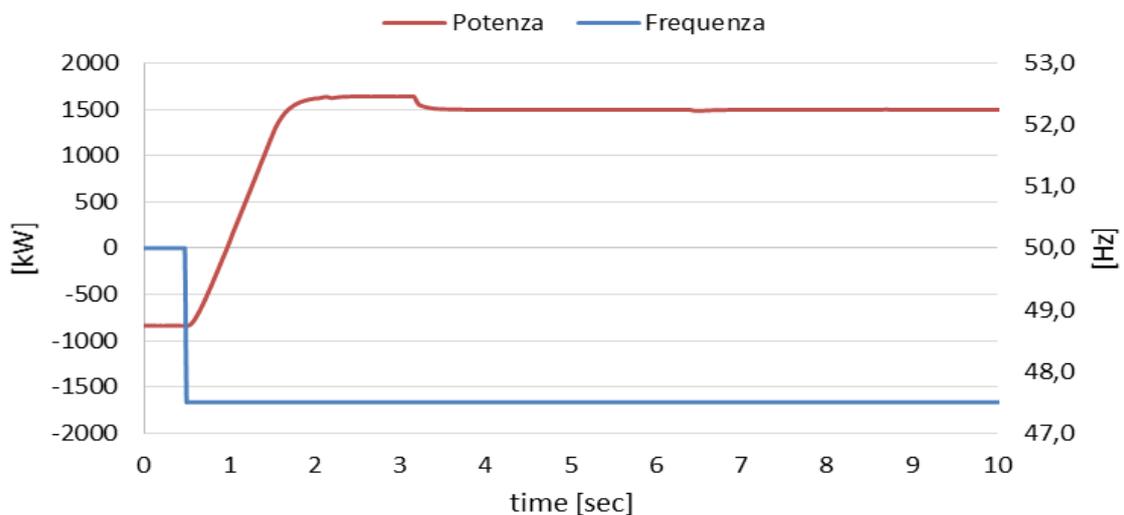


Figura 39 Prova 5a - Risposta SdA 2 Ciminna

In Figura 39 è riportato l'andamento della potenza del SdA 2 a Ciminna in risposta alla perturbazione della prova 5a. A seguito del gradino di sottofrequenza, il sistema risponde passando dalla condizione di scarica a quella di carica, sostenendo la potenza di sovraccarico per circa due secondi.

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

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

Dalla Figura 41 si evince come il SdA 4 a Ciminna stia erogando un contributo di reattivo pari a circa 280kVAr. Tale potenza reattiva viene mantenuta dal SdA per tutta la durata della prova. L'andamento della potenza attiva è tale da portare ad un aumento progressivo della potenza attiva secondo la natura della perturbazione oggetto di test. Grazie alla possibilità di poter disporre del sovraccarico del PCS inoltre, il contributo attivo e reattivo vengono erogati entrambi senza alcuna limitazione.

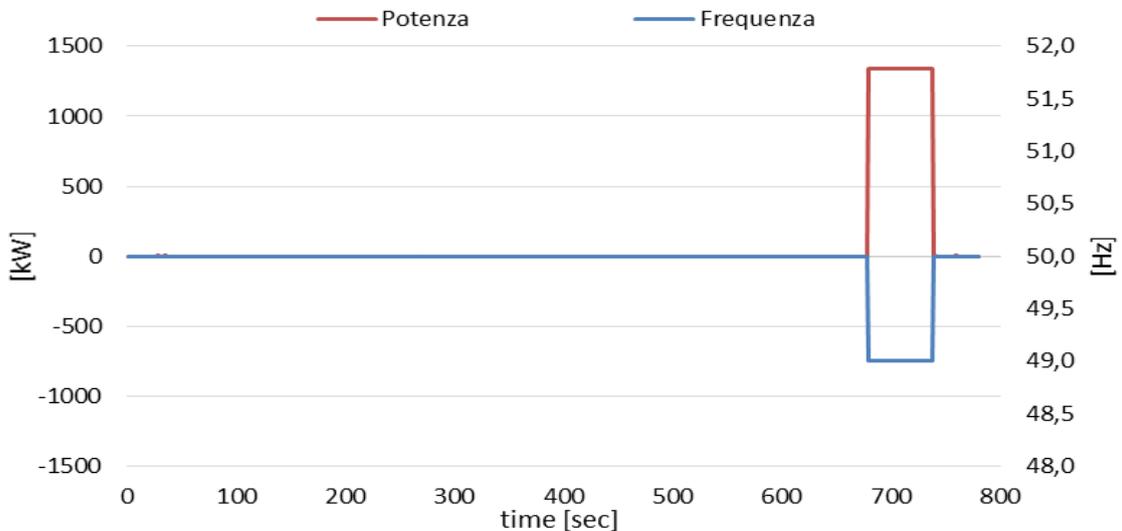


Figura 40 Risposta 6b - SdA 4 Ciminna: Potenza attiva VS Frequenza

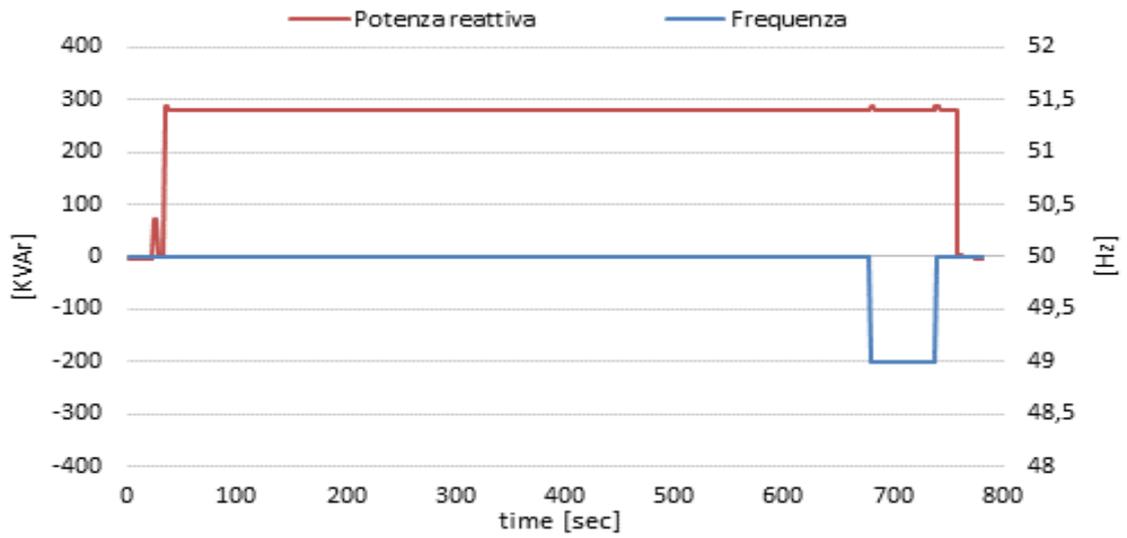


Figura 41 Prova 6b – SdA 4 Ciminna: Potenza reattiva VS Frequenza

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

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 31/12/2016 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'AEEGSI 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 ad 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	27/04/2017
		Rev.01

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	27/04/2017
		Rev.01

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 ed, 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 pre-determinata, 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.

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 di SdA 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, con particolare riferimento alla temperatura ambiente, la stima delle perdite medie per ciascun SdA viene proposta considerando sia una giornata di riferimento per la stagione estiva (indicativamente 15 agosto) sia una giornata di riferimento per la stagione invernale (indicativamente 31 dicembre), compatibilmente con le effettive disponibilità all'esercizio degli SdA.

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

Tabella 15 Perdite medie di esercizio in riferimento a ciascun fornitore di SdA (la nomenclatura è riferita al sito di Codrongianos)

L'analisi dei valori riportati in tabella 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.

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
<i>SdA 1</i>	10,4
<i>SdA 2</i>	11,8
<i>SdA 3</i>	4,1
<i>SdA 4</i>	8,5
<i>SdA 5</i>	22,9
<i>SdA 7</i>	10,6

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

Fornitore	Potenza media richiesta dai servizi ausiliari [kW/MW installato]
	CIMINNA
<i>SdA 1</i>	20,5
<i>SdA 2</i>	11,4
<i>SdA 3</i>	7,0
<i>SdA 4</i>	21,2
<i>SdA 5</i>	16,2

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

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

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

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

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 il semestre di riferimento sono stati svolti i test di energia nominale e rendimento e le prove ad hoc previste dalla Deliberazione AEEGSI 12/14, con conseguenti ulteriori periodi di indisponibilità all'esercizio dei singoli SdA.

Nei grafici di Figura 42 e Figura 43 per Codrongianos e di Figura 44 e Figura 45 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 42 mostra l'indisponibilità percentuale delle unità installate presso il sito di Codrongianos riferita al periodo di esercizio di ciascuna tecnologia nel semestre Luglio-Dicembre 2016. Per comparazione è possibile osservare in Figura 43 i risultati ottenuti nel primo semestre 2016. Le ore di indisponibilità totali (ovvero la somma delle ore di indisponibilità di ciascun SdA installato presso lo Storage Lab) sono passate da 4070 a 3631 con una riduzione di circa il 10%, grazie alla risoluzione delle problematiche sul trasformatore del SdA 1 e alla riduzione delle indisponibilità dei SdA 2 e 7. Il SdA 4 mantiene ancora un elevato tasso di guasto e di fermo impianto, risultando per entrambi i semestri il sistema caratterizzato dal maggior tasso di indisponibilità (circa 2000 ore).

ANALISI INDISPONIBILITA' CODRONGIANOS 2H2016

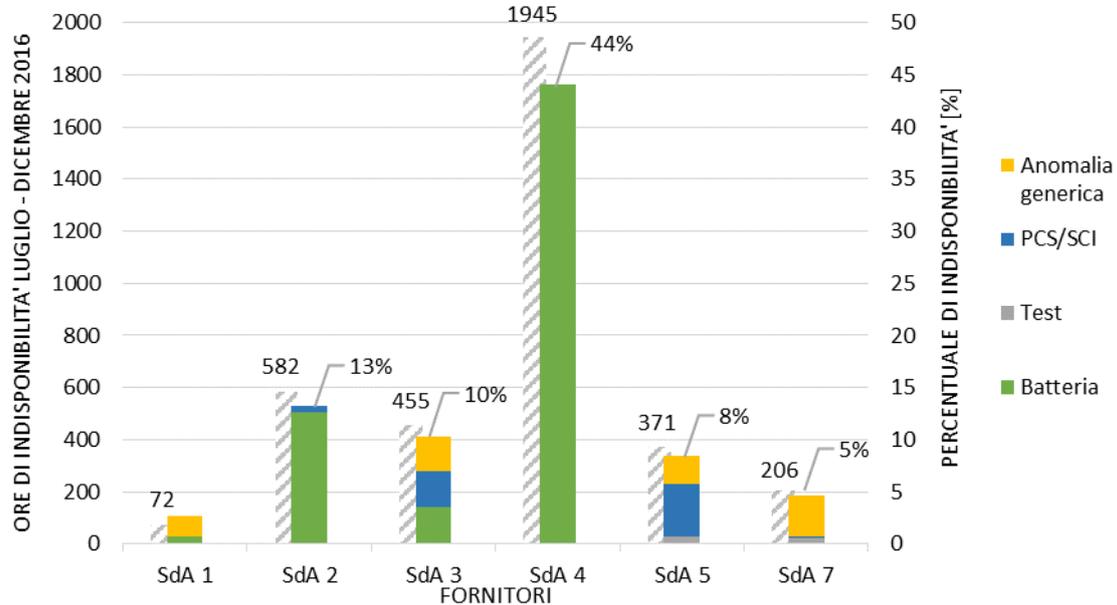


Figura 42 Analisi indisponibilità 2H 2016 dei vari SdA nel sito di Codrongianos

ANALISI INDISPONIBILITA' CODRONGIANOS 1H2016

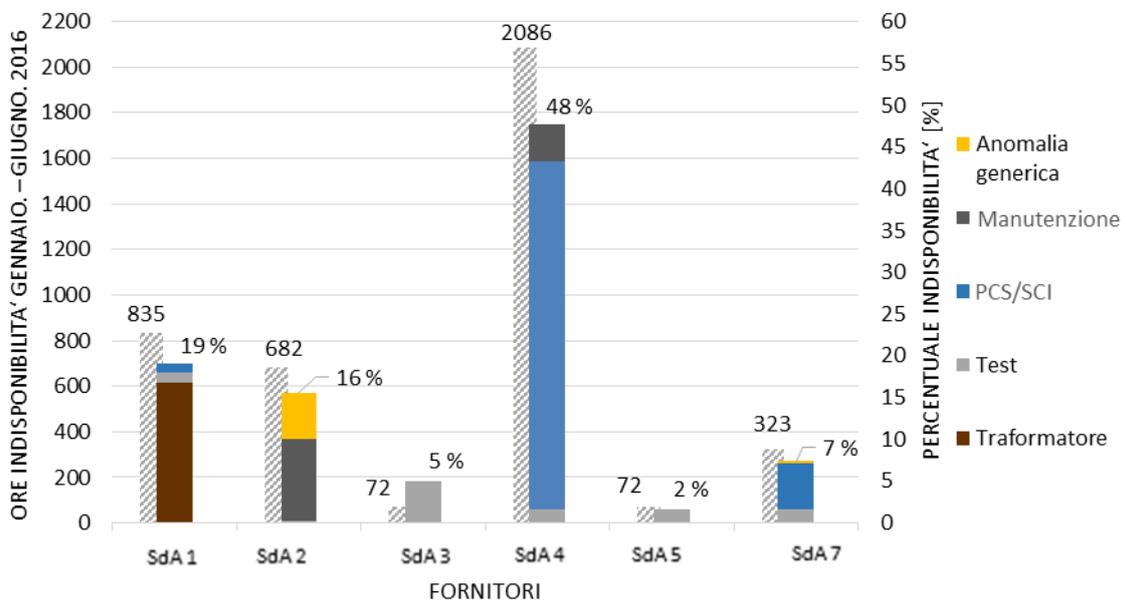


Figura 43 Analisi indisponibilità 1H 2016 dei vari SdA nel sito di Codrongianos

Il grafici di Figura 44 e di Figura 45 mostrano l'indisponibilità percentuale delle unità installate presso il sito di Ciminna nel secondo e primo semestre 2016, rispettivamente.

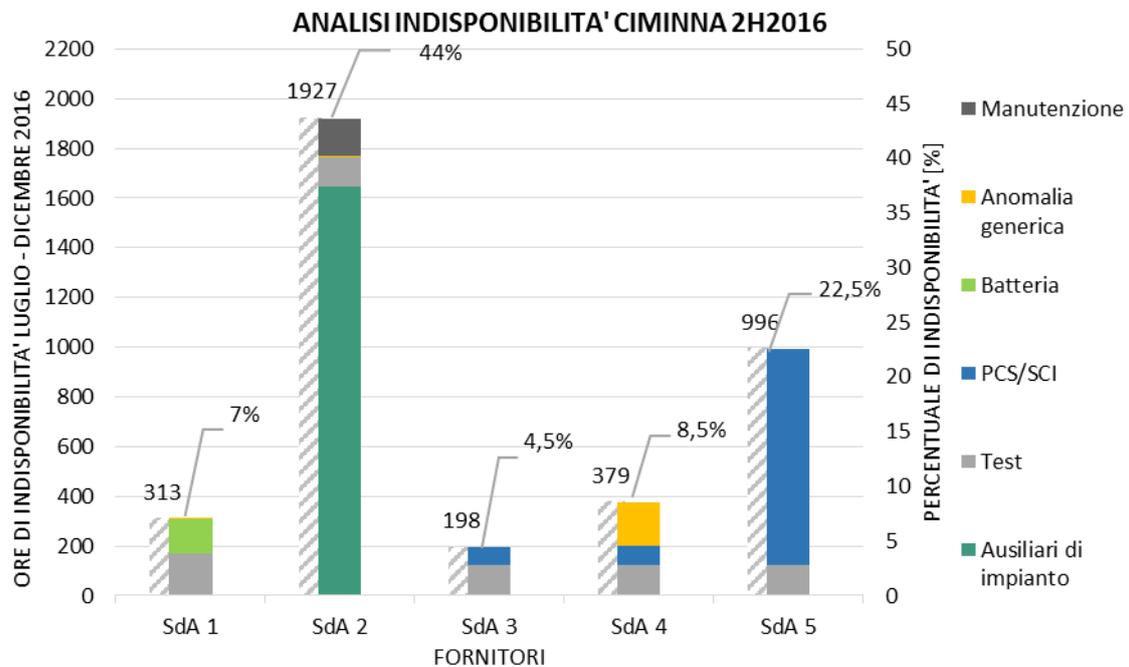


Figura 44 Analisi indisponibilità 2H2016 dei vari SdA nel sito di Ciminna

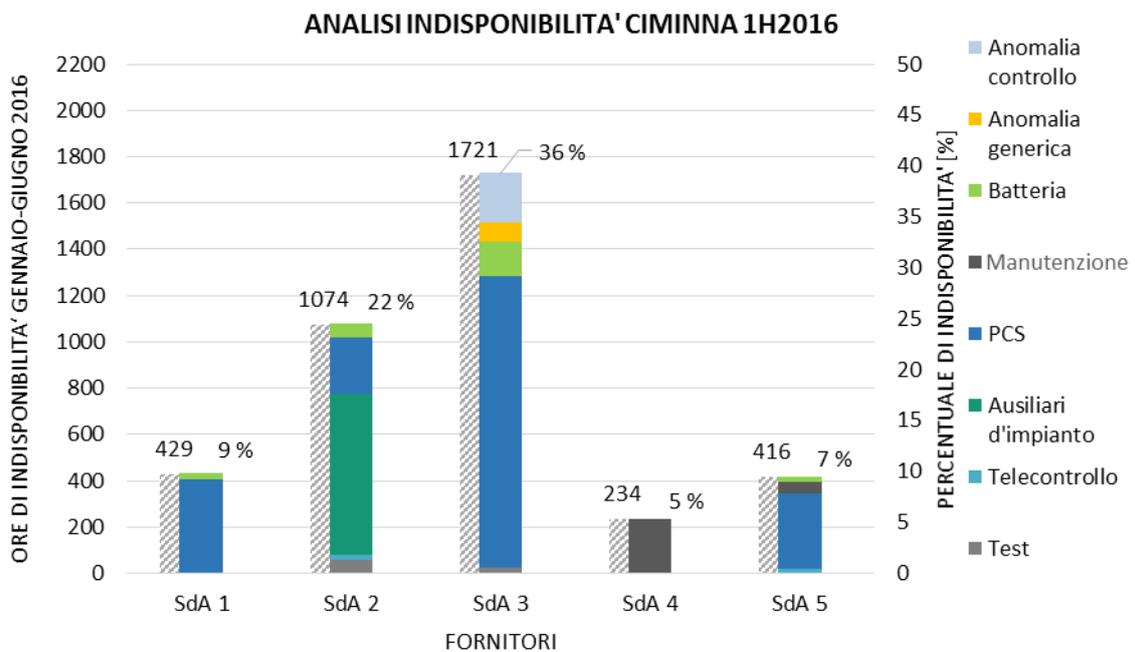


Figura 45 Analisi indisponibilità 1H2016 dei vari SdA nel sito di Ciminna

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

Le ore di indisponibilità totali (calcolate come somma delle ore di indisponibilità di ciascun SdA installato presso lo Storage Lab) sono rimaste sostanzialmente invariate (3820 del secondo semestre contro 3874 del primo). Tuttavia, occorre notare che nel secondo semestre sono state svolte le prove previste dalla Determina AEEGSI 12/14 (rendimento netto e energia nominale e prove *ad hoc*), che hanno reso indisponibili le unità per circa 120 ore. Inoltre, la distribuzione delle indisponibilità tra i vari SdA risulta profondamente modificata nel secondo semestre, con una drastica riduzione delle problematiche relative al SdA 3. Quest'ultimo infatti, contrariamente a quanto registrato nel primo semestre 2016, è risultato il SdA con il minor grado di indisponibilità nella seconda metà dell'anno. In contrazione anche le indisponibilità di SdA 1. Il SdA 2 risulta essere il sistema caratterizzato dal maggior tasso di indisponibilità (circa 2000 ore), in crescita rispetto al primo semestre 2016. Il SdA 5, che aveva fatto registrare un ridotto numero di ore di indisponibilità all'esercizio nel primo semestre 2016, è stato caratterizzato nella seconda metà dell'anno da guasti sul sistema di controllo e sul PCS che ne hanno limitato la disponibilità.

In Tabella 18 è infine riportata la disponibilità media semestrale delle SSdA per entrambi i semestri del 2016. 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, evidenziando l'incremento di disponibilità all'esercizio registrata nella seconda metà del 2016, soprattutto per il sito di Codrongianos

Sito	Disponibilità media semestre	
	1 Gennaio – 30 Giugno 2016	1 Luglio – 31 Dicembre 2016
Codrongianos	82,5%	86,0%
Ciminna	82,2%	83,0%

Tabella 18 Disponibilità media semestrale SSdA Codrongianos e Ciminna

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 2015:

DATA	ORA	TIPOLOGIA DI EVENTO
28 Gennaio	12:27	Transitorio in sottofrequenza ($f_{max}=49,84$ Hz)
29 Giugno	09:24	Transitorio in sottofrequenza ($f_{max}=49,78$ Hz)
5 Dicembre	20:00	Transitorio in sottofrequenza ($f_{min}=49,90$ Hz)

Tabella 19 Date eventi al di sopra di una soglia rilevante

Evento Codrongianos 28 Gennaio 2016

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

a) RISPOSTA SdA 2

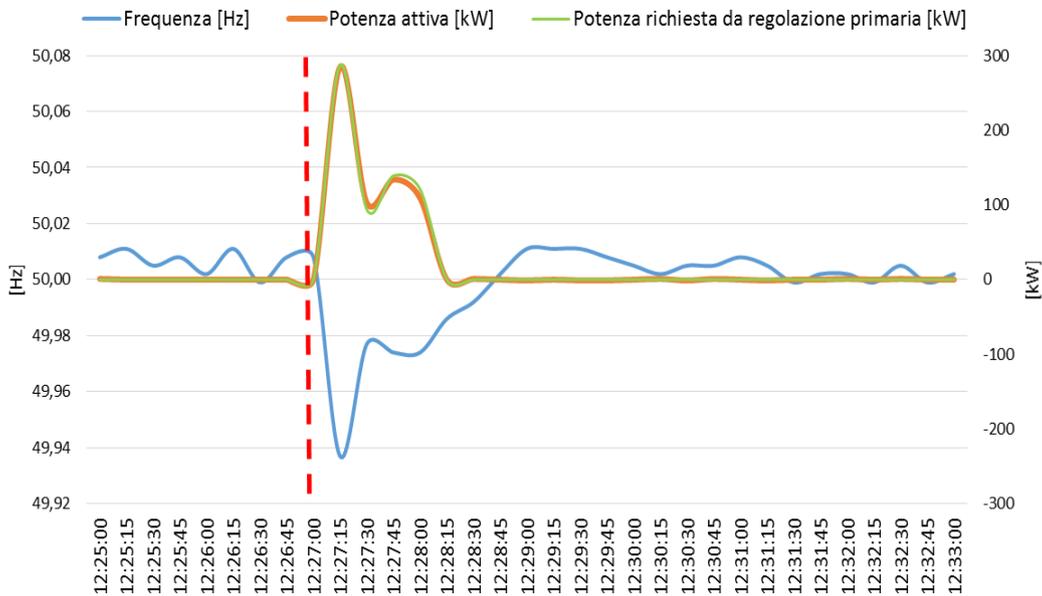


Figura 46 Evento di sottofrequenza (28 Gennaio 2016): risposta SdA 2

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

b) RISPOSTA SdA 7

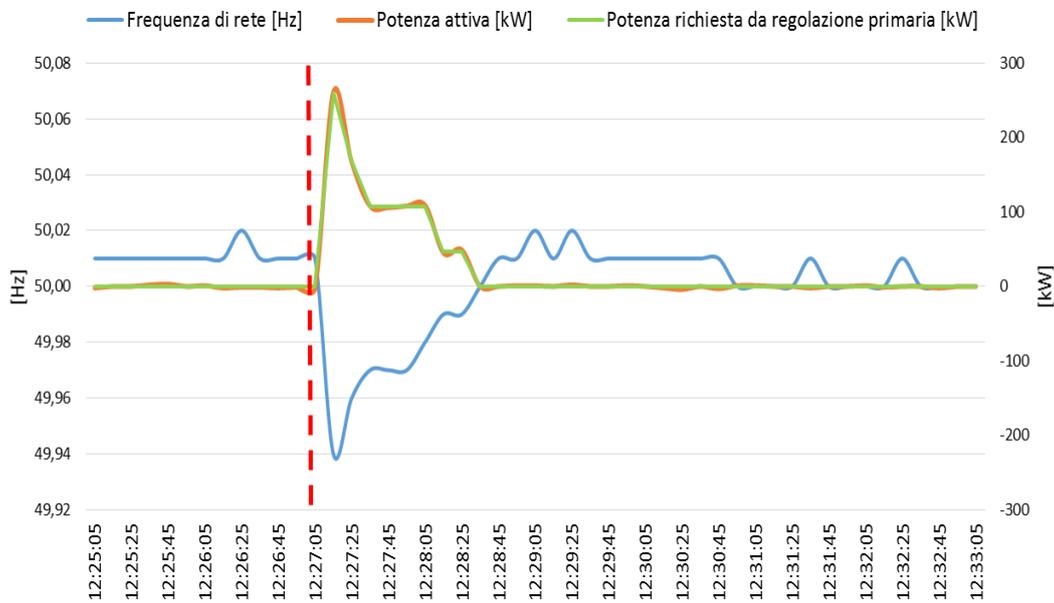


Figura 47 Evento di sottofrequenza (28 Gennaio 2016): risposta SdA 7

Come nel caso del SdA 2, la risposta del SdA 7 risulta perfettamente in linea con le esigenze di regolazione primaria di frequenza. L'andamento della potenza richiesta da regolazione primaria è coincidente con quello della potenza attiva a dimostrazione che in questo arco temporale l'unico servizio a richiedere potenza è proprio la regolazione primaria di frequenza.

Evento Codrongianos 29 Giugno 2016

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

a) RISPOSTA SdA 3

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

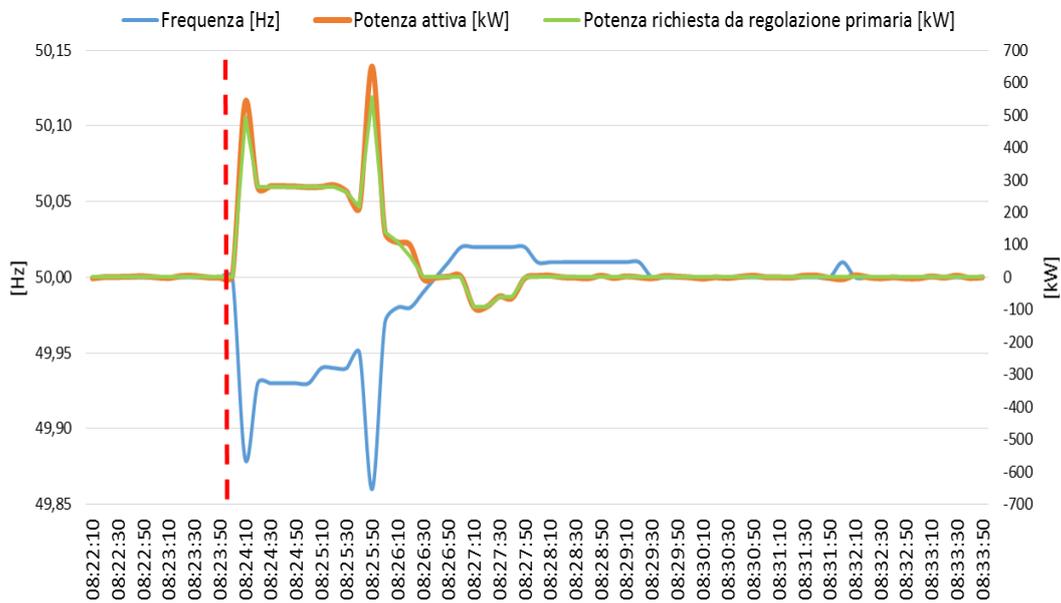


Figura 48 Evento di sottofrequenza (29 Giugno 2016): risposta SdA 3

Evento Ciminna 5 Dicembre 2016

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

a) RISPOSTA SdA 1

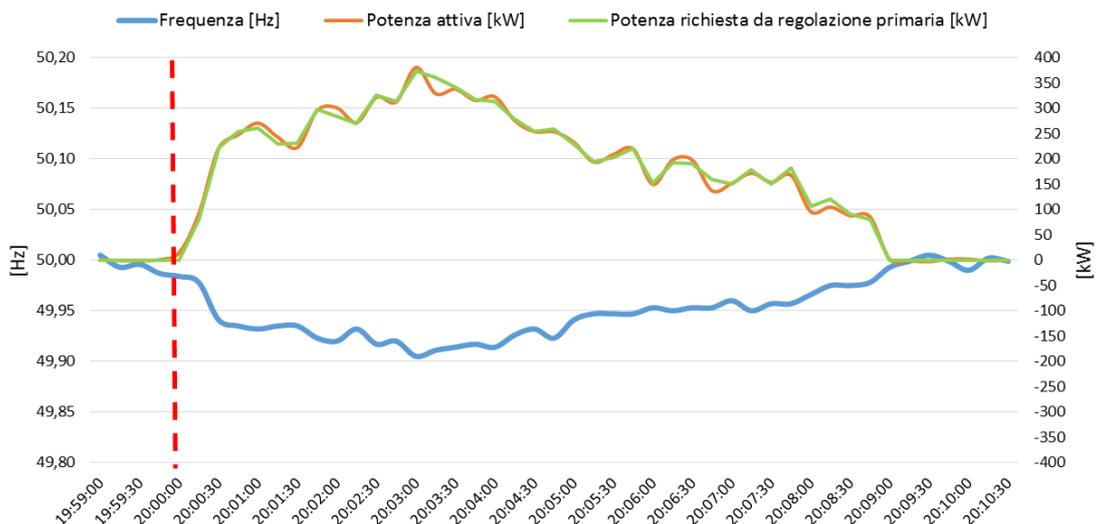


Figura 49 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 1

La Figura 49 mostra la risposta del SdA 1 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. In questo caso, il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 370 kW, richiesta attesa completamente dal SdA. La frequenza nominale viene ristabilita in circa 9 minuti.

b) RISPOSTA SdA 3

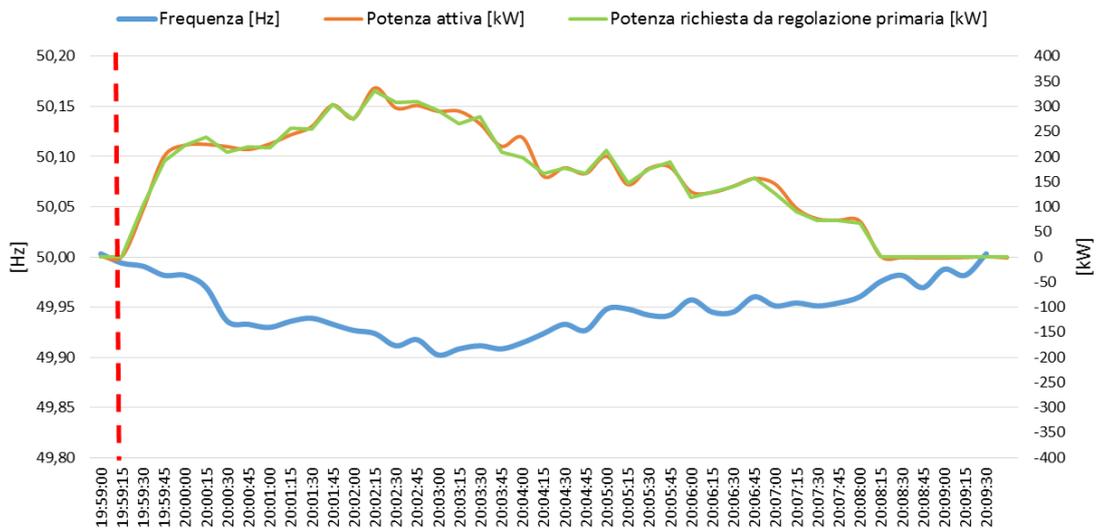


Figura 50 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 3

La Figura 50 mostra la risposta del SdA 3 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. Il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 330 kW, richiesta attesa anche in questo caso dal SdA. La frequenza nominale viene ristabilita in circa 10 minuti.

c) RISPOSTA SdA 4

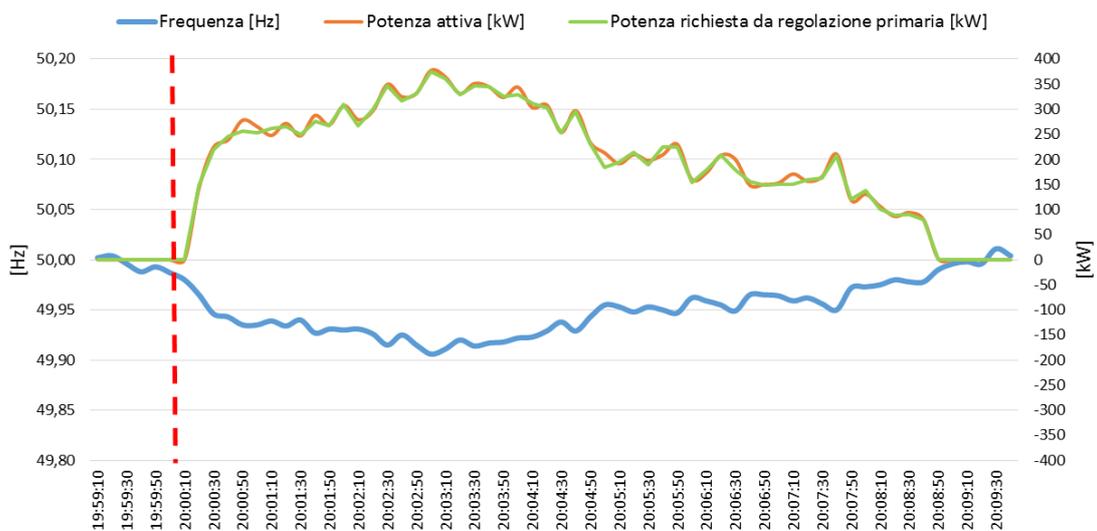


Figura 51 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 4

La Figura 51 mostra la risposta del SdA 4 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. Il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 370 kW, similmente a quanto richiesto al SdA 1. L'erogazione di potenza è perdurata per tutta la durata dell'evento, per poi terminare alle ore 20:08 circa, in corrispondenza del ripristino del valore nominale della frequenza.

d) RISPOSTA SdA 5

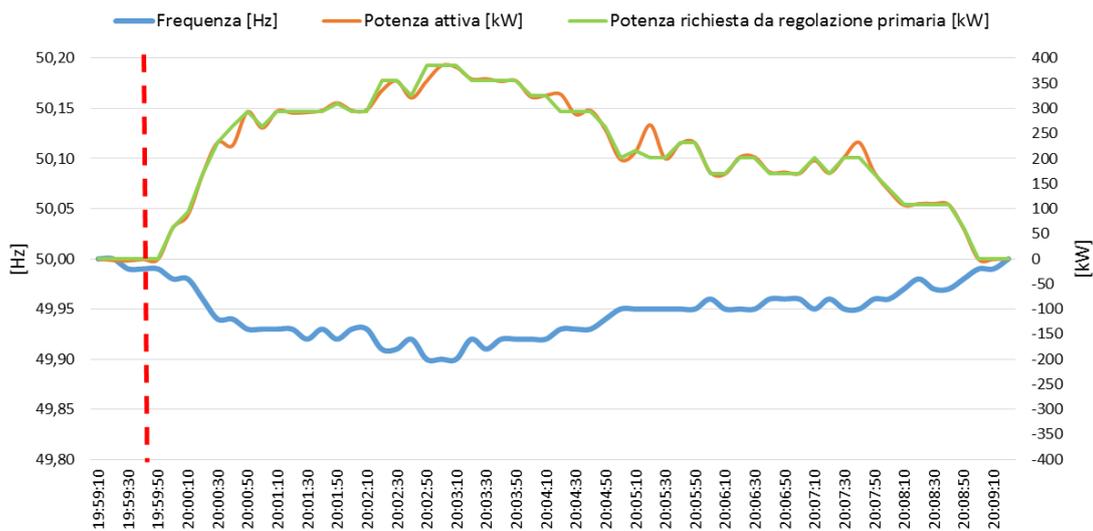


Figura 52 Evento di sottofrequenza (5 Dicembre 2016): risposta SdA 5

Dal grafico di Figura 52 è possibile osservare la risposta del SdA 5 al transitorio di sottofrequenza del 5 Dicembre. In questo caso il servizio di regolazione primaria di frequenza determina una richiesta di potenza in carica con picchi di circa 385 kW. La frequenza nominale viene ristabilita in circa 10 minuti.

CASO D'USO FUNZIONALITÀ SOC OBIETTIVO

Sebbene non sia riconducibile ad un evento in particolare, si ritiene di interesse illustrare una casistica di utilizzo della funzionalità SOC obiettivo. Tale funzionalità è stata ideata con lo scopo di consentire all'operatore di poter impostare, oltre ad un set point di potenza, anche un valore congruo di SOC giunto al quale, il SdA avrebbe cessato l'erogazione o l'assorbimento di potenza. Tuttavia, 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, nel caso in cui il SOC uscisse al di fuori di una banda morta determinata, riprenda a scambiare potenza con la rete in maniera tale da riportarsi al valore di stato di carica impostato in precedenza.

Nell'esempio riportato di seguito si può apprezzare come il SdA 5 a Ciminna, a seguito di un SOC obiettivo richiesto pari all'85% e con una potenza pari a 500kW, raggiunga lo stato di carica richiesto. Successivamente, a seguito della diminuzione dello stato di carica a causa di fenomeni di autoscarica, il SOC arriva all'80% (fuori

dalla banda morta impostata, pari al 5%). Pertanto il SdA, verificato che il SOC sia congruente con l'ultimo set-point di potenza impostato, riprende a caricarsi fino a riportarsi all'85%.

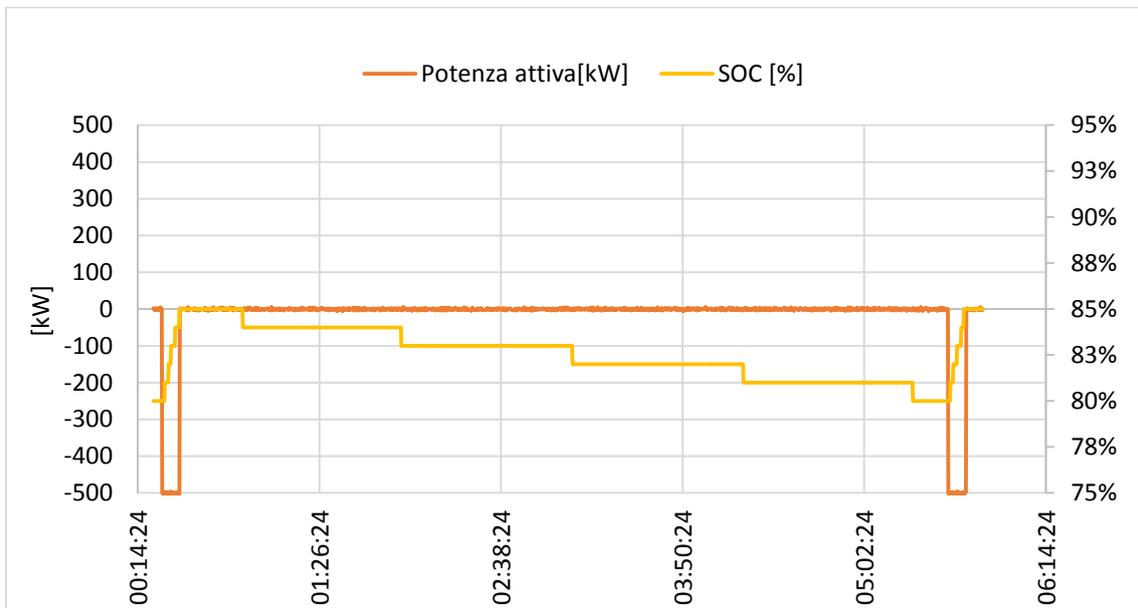


Figura 53 Caso d'uso SOC obiettivo (26 Giugno 2016) – risposta SdA 5 Ciminna

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

11. DESCRIZIONE DEI COSTI SOSTENUTI

Nel seguito si dà evidenza del prospetto dei costi sostenuti per la realizzazione degli impianti. Per l'intero anno 2016 i costi sostenuti da Terna sono legati all'installazione delle batterie *flusso* a circolazione di elettrolita (batterie, PCS, OOC e progettazione), all'esecuzione dei test sui moduli batterie da parte dei laboratori commissionati e al costo del personale.

Nel prospetto di Tabella 20 si riassumono i costi di investimento sostenuti dall'avvio del progetto fino al 31 dicembre 2016 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 – OOC + 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	
	2013-2016	
Batterie + impianto di potenza	€ 14.000.000 ÷ € 17.000.000	
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	€ 300.000 ÷ € 400.000	
Costo del personale	€ 900.000 ÷ € 1.100.000	
TOTALE COSTI [M€]	€ 19.000.000 ÷ € 23.000.000	

Tabella 20 Prospetto costi Storage Lab – periodo 2013-2016

In Tabella 21 si riporta infine il prospetto dei costi operativi legati alle attività di O&M svolte nel 2016. 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	
	2016	
Costo del personale O&M	€ 20.000 ÷ € 24.000	

Tabella 21 Prospetto costi O&M StorageLab – anno 2016

Nell'anno 2016 non sono stati sostenuti altri costi: le attività svolte dai fornitori di manutenzione ordinaria e straordinaria e le apparecchiature sostituite per guasto/anomalia rientrano all'interno della garanzia della fornitura.

	RAPPORTO PUBBLICO DELLA SPERIMENTAZIONE PROGETTI POWER INTENSIVE STORAGE LAB	27/04/2017
		Rev.01

12. CONCLUSIONI

Il presente documento riporta gli esiti principali della sperimentazione condotta nell'anno 2016 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 secondo anno di esercizio sperimentale sono state prevalentemente orientate a valutare le performance reali dei sistemi di accumulo in varie condizioni di funzionamento, in maniera da individuare il migliore mix di tecnologie idoneo per differenti applicazioni utili al contesto italiano ed integrare ottimamente le tecnologie nei sistemi centrali di conduzione e dispacciamento del gestore di rete. In particolare, la sperimentazione continuativa in sito prevede di testare non solo il funzionamento del SdA in esercizio normale e in condizioni critiche, ma anche di valutarne il 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 54, permettono di desumere le seguenti risultanze:

- alcune tecnologie non sono influenzate dalla tipologia di ciclo e dalle sue caratteristiche in termini energetici e di potenza (in particolare, SdA 5 e SdA 7);
- la tecnologia SdA 2 risulta prossima al raggiungimento del valore soglia di DOD pari all'80%, dimostrandosi la tecnologia di accumulo con le performance peggiori in termini di invecchiamento sul ciclo standard tra quelle approvigionate;
- le tecnologie Zebra non mostrano un invecchiamento evidente in termini di riduzione della capacità scaricabile rispetto a quella nominale quando sottoposte al ciclo di regolazione di frequenza;

- alcune tecnologie Litio soffrono in maniera molto più marcata l'esecuzione continuativa del ciclo di regolazione di frequenza rispetto a quello standard.

		CICLI STANDARD													
		Modulo	Numero di Cicli												
			100	200	300	400	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
LITIO	SdA 1	99,1%	98,7%	98,0%	97,3%	96,7%	95,7%	94,3%	92,1%	90,4%	87,3%				
	SdA 4	100,0%	99,0%	99,0%	99,0%	98,0%	97,0%	93,0%	88,0%	83,0%	82,0 (*)				
	SdA 5	100,0%	99,50%	99%	99,1%	98,7%	97,9%	97,2%	95,9%	95,3%	94,2%	93,1%	90,5%	88,4%	
	SdA 6	99,2%	98,3%	97,3%	96,7%	96,2%	95,5%	95,0%	93,9%	92,8%	91,9%	90,8%			
	SdA 7	101,0%	101,0%	101,0%	101,0%	101,0%	101,0%	100,0%	99,0%	98,0%	98,0%	97,0%	96,0%	96,0%	95,0%
ZEBRA	SdA 2	99,8%	99,4%	99,4%	99,0%	98,8%									
	SdA 3	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	90,0%							
		CICLI DI REGOLAZIONE													
		Modulo	Numero di Cicli												
			100	200	300	400	500	700	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
LITIO	SdA 1	97,0%	95,1%	94,5%	94,1%	91,9%	89,1%								
	SdA 4	97,0%	98,0% (**)												
	SdA 5	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	99,1%	97,1%	95,6%							
	SdA 6	97,7%	97,3%	96,2%	95,1%	93,7%	91,3%	88,6%	86,0% (***)						
	SdA 7	100,1%	100,4%	99,1%	98,7%	98,5%	97,8%	100,1%							
ZEBRA	SdA 2	-	-	100,0%	100,0%										
	SdA 3	101,3%	101,7%	98,0%	98,3%										

Figura 54 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). 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 81-90% per le tecnologie Lithium-based, e nel range 77-79% per le tecnologie Zebra, queste ultime caratterizzate, come previsto, da rendimenti inferiori rispetto alle tecnologie litio.

Inoltre, le prove *ad hoc* svolte nel 2016 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 sovrافrequenza a sottofrequenza. Tali 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 55) si segnala la riduzione delle ore complessive di indisponibilità (ovvero la somma delle ore di indisponibilità di ciascun SdA installato presso lo Storage Lab) relativamente al sito di Codrongianos dal primo al secondo semestre, passate da 4070 a 3631, con una riduzione di circa il 10% grazie alla risoluzione dei guasti principali riscontrati nella prima metà dell'anno. Si è dunque evidenziato un incremento di disponibilità all'esercizio dal 82,5% del semestre Gennaio-Giugno 2016 all'86% del periodo Luglio-Dicembre 2016. Il sito di Ciminna ha invece visto una sostanziale invarianza delle ore di indisponibilità complessive tra i due semestri (3820 del secondo semestre contro 3874 del primo), caratterizzati da una disponibilità media semestrale pari all'82,2% e all'83,0% rispettivamente. In generale, le cause di maggior indisponibilità sono riconducibili a guasti su celle/moduli batteria e anomalie/guasti dei convertitori PCS e del sistema di controllo SCI, e a interventi intempestivi degli ausiliari di impianto.

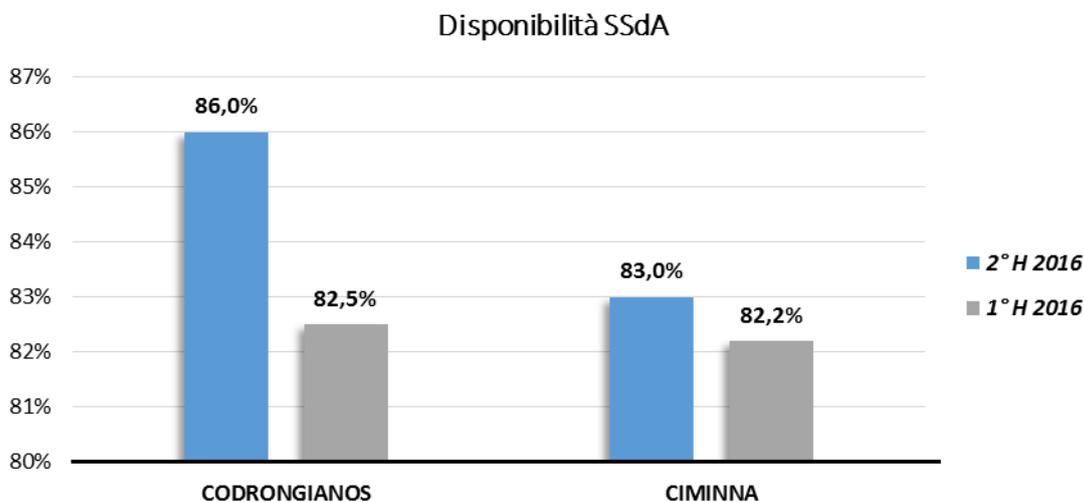


Figura 55 Confronto disponibilità semestrale SSdA per il 2016

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 2016 (si veda la Figura 56), si evidenzia che mentre il rendimento lordo per la SSdA di Codrongianos è stato mediamente pari al 27% (con un rendimento netto medio del 21%), il rendimento lordo medio della SSdA di Ciminna è stato pari all'80%, con un rendimento netto medio del 74%. In tale periodo,

tutti i SdA hanno fatto riscontrare rendimenti netti elevati, compresi tra l'83% e il 66%. È importante notare che il valore mensile massimo rilevato per la singola SdA (83%) è prossimo a quello ottenuto con i test di rendimento netto su ciclo standard, dimostrando come le prestazioni ottime dei sistemi registrate sul ciclo di prova siano ottenibili anche in condizioni di esercizio reali, qualora si incrementi il volume di energia scambiata dal SdA tramite l'attivazione di più servizi di rete

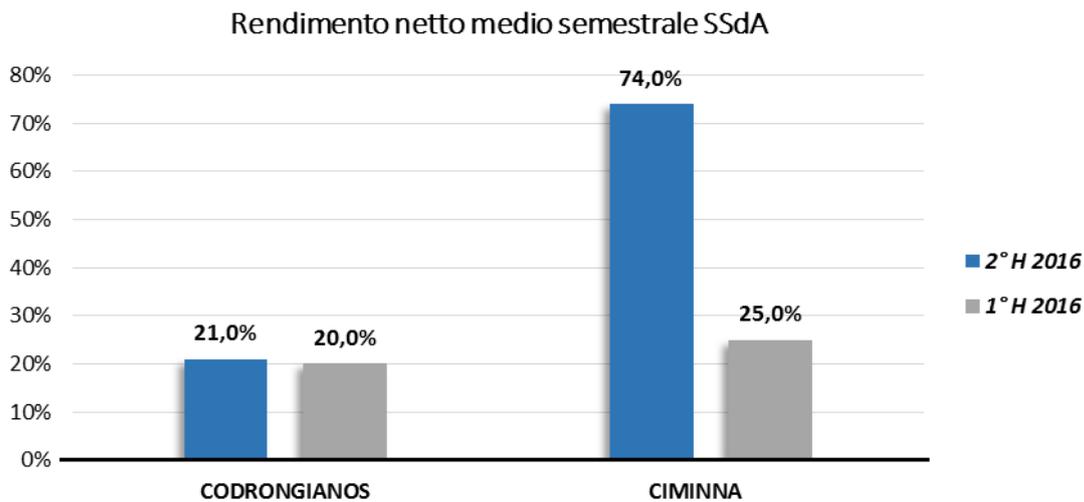


Figura 56 Confronto rendimenti semestrali SSdA per il 2016

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 ed 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 sia la capacità dei sistemi di accumulo di fornire, con ottime prestazioni nella risposta alle variazioni di frequenza, il servizio di regolazione primaria sia la possibilità di utilizzare in maniera efficace funzionalità innovative, quali il SOC obiettivo, durante l'esercizio continuativo.

L'importanza della sperimentazione condotta e dei risultati raggiunti tramite i progetti Storage Lab si può riassumere con la Figura 57, in cui l'unione delle evidenze della sperimentazione in sito e dei test svolti in laboratorio ha permesso di determinare per ciascun sistema di accumulo gli indici di performance più significativi ai fini della comparazione e la validazione delle differenti tecnologie di accumulo quando asservite al Sistema Elettrico Nazionale.

Sistemi di accumulo Grid Scale <i>(batterie, convertitore e sistema di controllo)</i>							
Parametri	SdA 1	SdA 4	SdA 5	SdA 6	SdA 7	SdA 2	SdA 3
Vita utile (*)	★★	★	★★	★★	★★★★	★★★★	★★★★
Rendimento <i>in sito su ciclo standard</i>	★★	★★★★	★★★★	★★	★★★★	★★	★
Availability	★★	★	★★★★	-	★★	★	★★
Necessità di calibrazione	★★	★★★★	★★★★	★★★★	★★	★	★
Costi €/MW (**)	★★★★	★★	★★	★★★★	★★★★	★	★
Costi €/MWh (**)	★★★★	★	★	★	★★	★★★★	★★★★



LITIO



ZEBRA

(*) Il confronto è riferito ai risultati dei test di invecchiamento che vengono effettuati sulle soluzioni Module Scale

(**) Il confronto è riferito ai costi per la soluzione Grid Scale offerta in sede di contratto

Figura 57 Comparazione qualitativa indici di performance delle tecnologie di accumulo installate presso gli Storage Lab