

RAPPORTO PUBBLICO ANNO 2015 STORAGE LAB

SPERIMENTAZIONE DI PROGETTI PILOTA DI ACCUMULO POWER INTENSIVE

PROGETTO PILOTA: STORAGE LAB DIFFUSIONE DEL REPORT: PUBBLICA IMPIANTI DI ACCUMULO: CIMINNA (PA), CODRONGIANOS (SS) PERIODO DI RIFERIMENTO: 01/01/2015 – 31/12/2015



SOMMARIO

| 1. | | OGGETTO | | | | | |
|----|-----|--|------|--|--|--|--|
| 2. | | GLOSSARIO | | | | | |
| 3. | | INTRODUZIONE | | | | | |
| 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 | . 15 | | | | |
| | 6. | .3 TEST DI INVECCHIAMENTO: RISULTATI | . 19 | | | | |
| 7. | | GRID SCALE TEST | . 26 | | | | |
| | 7. | .1 DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CODROGIANOS | . 26 | | | | |
| | 7. | .2 DESCRIZIONE DELLO STORAGE LAB DI CIMINNA | . 32 | | | | |
| | 7. | .3 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DI CONDUZIONE, CONTROLLO E MONITORAGGIO | . 38 | | | | |
| | 7.4 | .4 ATTIVITA' PRELIMINARI DI COMMISSIONING | . 41 | | | | |
| | 7. | .5 PROVE PERIODICHE EFFETTUATE | . 43 | | | | |
| | 7. | .6 PROVE RELATIVE A SERVIZI E FUNZIONALITÀ DI RETE | . 56 | | | | |
| | 7. | .7 CASI REALI RAPPRESENTATIVI DELL'ESERCIZIO DEI SISTEMI DI ACCUMULO | . 66 | | | | |
| 8. | | COSTI DEL PROGETTO | . 69 | | | | |
| 9. | | CONCLUSIONI | . 70 | | | | |



Rev.00

1. OGGETTO

Il presente documento rappresenta il Rapporto a diffusione pubblica 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 collaudo e 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).



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;
 - o 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;
- **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% ≤ V ≤ 110% del valore nominale e frequenze comprese tra 46,5 Hz ≤ f ≤ 52,5 Hz, la semiretta positiva dell'asse x per valori pari o superiori alla Potenza continuativa di scarica;
 - \circ per tensioni al punto di connessione comprese tra 95% ≤ V ≤ 110% del valore nominale e frequenze
 - comprese tra 46,5 Hz ≤ f ≤ 52,5 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 Hz \leq f \leq 52,5 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% ≤ V ≤ 105% del valore nominale e frequenze comprese tra 46,5 Hz ≤ f ≤ 52,5 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).
- **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, senza degrado delle prestazioni dichiarate;
- 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;
- **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;
 - o il numero di anni di funzionamento garantiti;
 - il numero di scariche profonde effettuabili;
 - o 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:
 - o ponti bidirezionali di conversione statica ac/dc, filtri;
 - sistemi di protezione e sicurezza;
 - sistemi di controllo, monitoraggio e diagnostica;
 - o servizi ausiliari (condizionamento, etc.);
 - o 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;
- **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 capacita 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 e definita dai seguenti valori:
 - Massime potenze attive in scarica per tempi da 1 s a 15 min (con incrementi di 1 s);
 - Massime potenze attive in carica per tempi da 1 s a 15 min (con incrementi di 1 s);
 - Massime potenze reattive in sovraeccitazione per tempi da 1 s a 15 min (con incrementi di 1 s);
 - Massime potenze reattive in sottoeccitazione per tempi da 1 s a 15 min (con incrementi di 1 s);
- **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.



Rev.00

3. INTRODUZIONE

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

- specifiche attività di testing svolte presso laboratori qualificati su moduli di appropriate dimensioni;
- l'esecuzione di prove mirate eseguite sui sistemi "grid scale" installati;
- 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 2015 presso i siti di Ciminna (PA) e Codrongianos (SS).



Rev.00

4. CONTESTO LEGISLATIVO E REGOLATORIO DI RIFERIMENTO

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

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

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

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

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



Rev.00

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

Le attività di test in laboratorio vengono concentrate sulla caratterizzazione delle performance principali dei moduli batterie, al fine di avere una rappresentazione esaustiva, per ciascuna tecnologia, sia dei principali indicatori che tipicamente vengono utilizzati nelle analisi costi-benefici dei sistemi di accumulo,



sia del comportamento delle tecnologie in particolari condizioni di stress, verificando il mantenimento di condizioni minime di sicurezza.

Gli indicatori di performance suddetti sono: costo d'investimento, costo di operation e maintenance, rendimento, tasso di scarica (in termini esemplificativi energia disponibile in accumulo per taglia di potenza installata) e decadimento della vita utile (cfr. figura a seguire). I test condotti al fine della caratterizzazione dei suddetti indicatori sono: test di creazione del circuito equivalente, test di invecchiamento (condotti su differenti tipologie di cicli), test di prestazione (rendimento e capacità energetica, condotti per differenti cicli) e test termici.



Figura 2 Fornitori delle tecnologie installate

I test funzionali alla verifica del mantenimento di condizioni minime di sicurezza in situazioni di stress sono: test di overcharge, test di overdischarge e test di corto circuito.

In riferimento ai test in sito, ai sensi della Determinazione del 17 Luglio 2014 n.12/14, la sperimentazione prevede:

- "Prove ad hoc", ovvero test condotti su appositi segnali forzati in ingresso al sistema di accumulo;
- 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.

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 (cfr. figura a seguire).

| Dettaglio Tecnologie installate | | | | |
|-----------------------------------|--|------------|--|--|
| Lithium based | | Zel | bra | |
| BYD SAFT SAMSUNG SIEMENS | Litio Ferro Fosfato Litio Nichel Cobalto Alluminio Litio Manganese Litio Nichel Manganese Cobalto | FIAMM E | Nichel- Cloruro di Sodio Nichel- Cloruro di Sodio | |
| TOSHIBA | Litio titanato | | | |
| | | | | |

Figura 3 Fornitori delle tecnologie installate

Si precisa che, essendo presentando i risultati dei test dati trattati con i fornitori come *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.



6. MODULE SCALE TEST PRESSO LABORATORI

6.1 PREMESSE

I test condotti in laboratorio sui moduli batterie sono finalizzati alla:

- creazione di un modello di invecchiamento;
- creazione di un modello elettrico e termico della batteria;
- valutazione del comportamento in condizioni di funzionamento non nominali;
- valutazione del comportamento in caso di guasto.

A tal fine, si prevedono 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 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.

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, 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.



6.2 TEST DI INVECCHIAMENTO: PROCEDURA DI TEST

Il test di invecchiamento viene condotto su due differenti tipi di ciclo base: ciclo standard e ciclo di regolazione di frequenza, comparando tra loro il decadimento delle prestazioni dei moduli dichiarato dal fornitore in fase di approvvigionamento della tecnologia con il decadimento derivante dai test condotto in laboratorio per i suddetti cicli.

Test di invecchiamento su cicli standard

Durante la fase di approvvigionamento si è reso necessario individuare un ciclo, definito poi "standard", da utilizzarsi per comparare in maniera uniforme tutte le diverse tecnologie. 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, ha 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 4 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, si è deciso di far eseguire alle diverse tecnologie un profilo di potenza simulante il 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 setpoint 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 5 Andamento della frequenza





Distribuzione dei valori di frequenza

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

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

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





Figura 7 Andamento della potenza richiesta in percentuale

Con rapporti E/P=1 (tipicamente tecnologie litio), il ciclo corrisponde a circa 5 cicli equivalenti, dove il numero di cicli equivalenti è calcolato 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).



Andamento del SOC durante il ciclo

Figura 8 Andamento del SOC durante il ciclo di regolazione di frequenza



2,23 kWh

6.3 TEST DI INVECCHIAMENTO: RISULTATI

MODULI SdA 1 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 1, riferite ad un modulo di energia nominale pari a 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: | 1567 |
| Energia iniziale: | 2,59 kWh |
| Energia attuale: | 2,43 kWh |
| Cicli di regolazione di frequenza | |
| Stato del test: | Concluso |
| Numero di cicli eseguiti ad oggi: | 740 |
| Energia iniziale: | 2 <i>,</i> 45 kWh |

Energia attuale:



Figura 9 Confronto andamento dell'energia residua del modulo del SdA 1



MODULI 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 sistema composto da 10 celle poste in serie (ma comunque rappresentative del sistema), il ciclo di regolazione di frequenza è stato eseguito su un intero modulo.

Cicli standard

| Stato del test: Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara: Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: Energia iniziale: | Concluso 4500 600 0,91 kWh |
|--|-------------------------------------|
| Energia attuale: | 0,90 kWh |
| Cicli di regolazione di frequenza | |
| Stato del test: | In corso |
| Numero di cicli eseguiti ad oggi: | 203 |
| Energia iniziale: | 22,06 kWh |
| Energia attuale: | 20,96 kWh |



Figura 10 Confronto andamento dell'energia residua del modulo del SdA 2



MODULI SdA 3 - Zebra

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 3. Mentre il ciclo standard è stato eseguito su un sistema composto da 10 celle poste in serie (ma comunque rappresentative del sistema), il test di regolazione di frequenza è stato eseguito su un intero modulo con energia nominale pari a 20kWh.

| Cicli standard | |
|--|-----------|
| Stato del test: | In corso |
| Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara: | 4500 |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 11 |
| Energia iniziale: | 0,92 kWh |
| Energia attuale: | 0,92 kWh |
| | |
| Cicli di regolazione di frequenza | |
| Stato del test: | In corso |
| Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara: | 4500 |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 390 |
| Energia iniziale: | 21,74 kWh |
| | |



Figura 11 Confronto andamento dell'energia residua del modulo del SdA 3



MODULI SdA 4 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 4. Entrambi i cicli sono eseguiti su dei sistemi, esemplificativi della soluzione installata in sito, della medesima taglia.

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: | 684 |
| Energia iniziale: | 3,77 kWh |
| Energia attuale: | 3,64 kWh |
| Cicli di regolazione di frequenza | |
| Stato del test: | In corso |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 270 |
| Energia iniziale: | 3,70 kWh |
| Energia attuale: | 3,30 kWh |



Figura 12 Confronto andamento dell'energia residua del modulo del SdA 4



MODULI SdA 5 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 5.

Cicli standard

| Stato del test: | In corso |
|--|-------------------|
| Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara: | 5000 |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 4700 |
| Energia iniziale: | 3 <i>,</i> 53 kWh |
| Energia attuale: | 3,14 kWh |
| | |
| Cicli di regolazione di frequenza | |
| Stato del test: | Concluso |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 1105 |
| Energia iniziale: | 3 <i>,</i> 55 kWh |
| Energia attuale: | 3,34 kWh |

MODULO SdA 5 110% 100% 90% 80% [Wh %] 70% 60% -Wh% dichiarati in fase di gara 50% Wh% regolazione di frequenza 40% 30% 0 2000 3000 6000 1000 4000 5000 n° cicli

Figura 13 Confronto andamento dell'energia residua del modulo del SdA 5



MODULI SdA 6 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 6.

Cicli standard

| Stato del test: | Concluso |
|--|----------|
| Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara: | 3000 |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 3000 |
| Energia iniziale: | 3,27 kWh |
| Energia attuale: | 2,97 kWh |
| | |
| Cicli di regolazione di frequenza | |
| Stato del test: | Concluso |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 1323 |
| Energia iniziale: | 3,18 kWh |
| Energia attuale: | 2,80 kWh |







MODULI SdA 7 - Lithium-Based

Di seguito i risultati del test di invecchiamento su cicli standard e cicli di regolazione di frequenza per il SdA 7.

Cicli standard

| Stato del test: | Concluso |
|--|----------|
| Numero di cicli standard continuativi effettuabili dichiarato in fase di gara: | 6000 |
| Numero di cicli effettivamente eseguiti ad oggi: | 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 ad oggi: | 1250 |
| Energia iniziale: | 1,10 kWh |
| Energia finale: | 1,11 kWh |

MODULO SdA 7 105% 100% [Wh %] 95% 90% 85% - Wh% cicli standard -Wh% regolazione di frequenza 80% 1000 1500 2000 2500 3000 4000 0 500 3500 n° cicli

Figura 15 Confronto andamento dell'energia residua del modulo del SdA 7



Rev.00

7. GRID SCALE TEST

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. In Figura 16 è indicata la posizione della stazione elettrica nella rete elettrica isolana. La stazione presenta tre livelli di tensione: 380 kV, 220 kV e 150 kV.



Figura 16 Dettagli Stazione Elettrica Codrongianos

La stazione ospita al suo interno:

- Sezioni di alta tensione (380-220-150 kV);
- Il collegamento Sa.Co.I.;
- I compensatori sincroni;
- Le aree destinate a:
 - Fabbricati uffici (la Stazione ospita la sede lavorativa dell'Unità Impianti);
 - Fabbricati controllo;
 - Fabbricati servizi ausiliari;
 - Trasformatori;



Rev.00

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.

Nella planimetria di Figura 17 è visibile l'intera stazione elettrica di Codrongianos, nonché l'allocazione dello Storage Lab all'interno della stessa (Figura 18).



Figura 17 Planimetria Stazione Elettrica di Codrongianos



Rev.00



Figura 18 Panoramica Stazione Elettrica di Codrongianos

Caratteristiche della Stazione Elettrica di Codrongianos

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.

Per le soluzioni base Litio sono state predisposte delle piazzole rettangolari di dimensioni circa pari a 15X20m, mentre per le soluzioni ZEBRA sono state predisposte delle aree circa pari a 20X25m. Ciascun fornitore, una volta assegnata l'area di pertinenza, ha disposto i container costituenti i SdA secondo le peculiarità realizzative del proprio sistema.

Relativamente alla caratterizzazione elettrica dell'impianto, i sistemi di accumulo sono connessi ad un quadro MT caratterizzato due semisbarre a 15kV, con cavi a terminale sconnettibile al fine di consentire un agevole scambio tra SdA nei quadri a fini sperimentali. Nelle posizioni standard, i SdA sono stati distribuiti tra le due semisbarre in maniera tale da poter disporre, per quanto possibile, di due gruppi il più possibile simmetrici in termini di potenza connessa (Figura 19). Ciascuna semisbarra è quindi connessa tramite apposito collegamento in cavo allo stallo di trasformazione.



Rev.00



Figura 19 Schema unifilare MT/AT di impianto

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 20).



Figura 20 Schema unifilare BT – servizi ausiliari



Rev.00

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 (cfr. paragrafo 7.2).

Sistemi di accumulo installati nella Stazione Elettrica di Codrongianos

Di seguito viene riportato una breve presentazione dei Sistemi di Accumulo installati nello Storage Lab di Codrongianos.

Le tecnologie impiegate per i SdA sono molteplici:

- Zebra;
- Litio Ferro Fosfato;
- Litio Nichel Cobalto Alluminio;
- Litio Manganese;
- Litio Nichel Manganese Cobalto;
- Litio Titanato.

Per i dettagli delle sette soluzioni installate, le cui taglie sono riportate nella tabella seguente, si rimanda al seguito del paragrafo.

| 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 |

Tabella 1 Sintesi Potenze Installate SdA Codrongianos

SdA 1 - Lithium-Based

La soluzione del SdA 1, caratterizzata da una potenza nominale di 1 MW per 1,23 MWh di energia, è composta da due container da 40ft. Uno dei due container ospita i moduli batteria costituenti le stringhe della soluzione, mentre nel secondo sono contenuti tutti i sistemi di potenza necessari alla conversione dell'energia e alla connessione del SdA al quadro MT. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,2 MW, corrispondente ad un incremento del 20% rispetto alla potenza nominale.

Sda 2 - Zebra

La soluzione del SdA 2, caratterizzata da una potenza nominale di 1,2 MW per 4,15 MWh di energia, è composta da quattro container da 20ft e da un container da 40ft. Nel container da 40ft, sono contenuti



tutti i sistemi di potenza necessari alla conversione dell'energia e alla connessione del SdA al quadro MT, mentre nei quattro container da 20ft sono contenuti i moduli batteria. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,5MW, corrispondente ad un incremento del 25% rispetto alla potenza nominale.

<u>SdA 3 – Zebra</u>

La soluzione del SdA 3, caratterizzata da una potenza nominale di 1 MW e un'energia di 2MWh, è composto da due shelter, ovvero:

- shelter batterie;
- container standard da 40ft contenente il sistema di conversione, l'SCI, e gli elementi di connessione (quadro, trasformatore, etc.) all'impianto.

La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,3MW, corrispondente al 30% in più rispetto alla potenza nominale.

SdA 4 - Lithium-Based

La soluzione SdA 4, caratterizzata da una potenza di 1,2 MW per un'energia di 0,97 MWh, è costituita da un container di conversione da 40ft, e da due container batterie da 20ft contenenti gli assemblati batterie. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,6MW corrispondente al 33% in più rispetto alle condizioni nominali.

SdA 5 - Lithium-Based

La soluzione del SdA 5, caratterizzata da una potenza nominale pari a 1 MW e un'energia pari a 0,92 MWh, è composta da tre container da 40ft disposti a ferro di cavallo. Nei due container laterali sono contenuti gli assemblati batterie e i sistemi di conversione (due container speculari). Nel container centrale sono contenuti, oltre al Sistema di controllo, gli apparati di potenza (quadro, trasformatori) necessari alla connessione al quadro MT di impianto. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,4MW, ovvero superiore del 40% rispetto alle condizioni nominali.

SdA 6 - Lithium-Based

La soluzione del SdA 6, caratterizzata da una potenza nominale pari a 1 MW e un'energia pari a 0,54 MWh, è composta da un unico shelter di misure non standard. Lo stesso è suddiviso in più locali contenenti tutti i sistemi di potenza necessari alla conversione dell'energia e alla connessione del SdA al quadro MT.

SdA 7 - Lithium-Based

Il sistema del SdA 7, caratterizzato da una potenza nominale di 1 MW e un'energia pari a 1 MWh, si compone di due shelter da 40ft. Uno dei due container contiene gli assemblati batterie, mentre il secondo ospita al proprio interno il sistema di conversione, l'SCI, e gli elementi di connessione (quadro, trasformatore, etc.) all'impianto. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,3MW, corrispondente al 30% in più rispetto al valore di potenza nominale.



Rev.00

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. In Figura 21 è indicata la posizione della Stazione Elettrica nella rete elettrica siciliana.



Figura 21 Dettagli SE Ciminna

Nella planimetria di Figura 22 è possibile apprezzare l'intera stazione elettrica di Ciminna.

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.

Gli stalli che oggi compongono la sezione a 380 kV sono così distinti:

- n. 4 stalli "linea":
 - Linea Caracoli Ciminna 1 denominata "Caracoli 1";
 - Linea Caracoli Ciminna 2 denominata "Caracoli 2";
 - Linea Partinico Ciminna 1 denominata "Partinico 1";
 - o Linea Partinico Ciminna 2 denominata "Partinico 2";
- n. 2 stalli "ATR":
 - Primario ATR 1 tipo 220/150 kV da 250 MVA;
 - Primario ATR 2 tipo 220/150 kV da 250 MVA;
- n. 1 stallo "Parallelo sbarre" con sorpasso;
- n. 1 stallo "ATR" disponibile (ATR 3);



Mentre sull'esistente sezione a 150 kV si attestano:

- n. 7 stalli "linea";
- Linea 150 kV Prizzi Ciminna denominata "Prizzi";
- Linea 150 kV Guadalami Ciminna denominata "Guadalami";
- Linea 150 kV Villafrati Ciminna denominata "Villafrati";
- Linea 150 kV Brancaccio Ciminna (futura installazione) denominata "Brancaccio";
- Linea 150 kV Mulini Ciminna denominata "Mulini";
- Linea 150 kV Cappuccini Ciminna denominata "Cappuccini";
- Linea 150 kV Bagheria Ciminna denominata "Bagheria";
- n. 1 stallo "linea" in cavo:
 - o Cavo 150 kV C.P. Ciminna Ciminna denominata "C.P. Ciminna";
- n. 2 stalli "ATR":
 - Secondario ATR 1 tipo 220/150 kV da 250 MVA;
 - Secondario ATR 2 tipo 220/150 kV da 250 MVA;
- n. 1 stallo "Parallelo sbarre" con sorpasso;
- n. 5 stalli disponibili per future esigenze della stazione, di cui uno predisposto per un eventuale sistema di rifasamento 150kV.



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.

Relativamente all'area dei SdA, al fine di facilitare la logistica durante le fasi d'installazione, si è scelto di suddividere l'area in apposite piazzole di grandezza standard per tecnologia.

Analogamente a quanto fatto per Codrongianos, le soluzioni base Litio sono state predisposte delle piazzole rettangolari di dimensioni pari a 15X20m, mentre per le soluzioni ZEBRA sono state predisposte delle aree 20X25m.

Ciascun fornitore, una volta assegnata l'area di pertinenza, ha disposto i container costituenti l'SdA secondo le peculiarità del sistema stesso o secondo i propri criteri realizzativi, di cui verranno forniti dettagli nei paragrafi successivi. 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.





Figura 23 Schema unifilare MT/AT di impianto Ciminna

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.

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.



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

Come per il sito di Codrongianos, anche a Ciminna sono stati installati Sistemi di Accumulo con tecnologie differenti, tra cui:

- Zebra;
- Litio Ferro Fosfato;
- Litio Nichel Cobalto Alluminio;
- Litio Manganese;
- Litio Titanato.

Nella tabella seguente sono riportati i relativi dettagli in termini di potenza installata 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 |

Tabella 2 Sintesi Potenze Installate SdA Ciminna

Di seguito viene riportato una breve presentazione dei Sistemi di Accumulo installati nello Storage Lab di Ciminna.

SdA 1 - Lithium-Based

La soluzione del SdA 1, caratterizzata da una potenza nominale di 1 MW per 1,23 MWh di energia, è composta da due container da 40ft. Uno dei due container ospita i moduli batteria costituenti le stringhe della soluzione, mentre nel secondo sono contenuti tutti i sistemi di potenza necessari alla conversione dell'energia e alla connessione del SdA al quadro MT. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,2 MW, maggiore del 20% rispetto alle condizioni nominali.

SdA 2 - Zebra

La soluzione del SdA 2, caratterizzata da una potenza nominale di 1,2 MW per 4,15 MWh di energia, è composta da quattro container da 20ft e da un container da 40ft. Nel container da 40ft, sono contenuti tutti i sistemi di potenza necessari alla conversione dell'energia e alla connessione del SdA al quadro MT, mentre nei quattro container da 20ft sono contenuti i moduli batteria. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,5 MW, maggiore del 25% rispetto alle condizioni nominali.



SdA 3 - Lithium-Based

La soluzione del SdA 3, caratterizzata da una potenza di 900 kW per un'energia di 540 kWh, è costituita da un container di conversione e da un container batterie da 20ft contenenti gli assemblati batterie. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1100 kW, maggiore del 22% rispetto alle condizioni nominali.

SdA 4 - Lithium-Based

La soluzione del SdA 4, caratterizzata da una potenza nominale pari a 1 MW e un'energia pari a 0,916 MWh, è composta da tre container da 40ft disposti a ferro di cavallo. Nei due container laterali sono contenuti gli assemblati batterie e i sistemi di conversione (due apparati speculari). Nel container centrale sono contenuti, oltre al Sistema di controllo, gli apparati di potenza (quadro, trasformatori) necessari alla connessione al quadro MT di impianto. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,4 MW, maggiore del 40% rispetto alle condizioni nominali.

SdA 5 - Lithium-Based

Il SdA 5, caratterizzato da una potenza nominale di 1 MW e un'energia pari a 1 MWh, si compone di due shelter da 40ft. Uno dei due container contiene gli assemblati batterie, mentre il secondo ospita al proprio interno il sistema di conversione, l'SCI, e gli elementi di connessione (quadro, trasformatore, ecc.) all'impianto. La sovraccaricabilità in scarica di tale soluzione è pari a 1,3 MW, maggiore del 20% rispetto alle condizioni nominali.



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 24 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.





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 26 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).



Rev.00



Figura 27 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.



Rev.00

7.4 ATTIVITA' PRELIMINARI DI COMMISSIONING

Per i sistemi di accumulo presenti in Codrongianos e Ciminna vengono eseguite diverse prove propedeutiche alla messa in servizio. Tali prove possono essere raggruppate, a titolo esemplificativo, nelle seguenti macro-fasi:

- Fase A collaudo iniziale set-up: Fase preliminare di collaudo della sezione di impianto denominata SET UP (relativi quindi alla sezione di impianto interposta tra lo stallo al punto di consegna MT); in questa fase le prove sono condotte in locale seguendo gli standard Terna di normale messa in esercizio impianti, in assenza di scambio di potenza con la rete:
 - Tipologia prove;
 - Prova messa in tensione sez. MT;
 - Prova protezioni;
 - Prova servizi ausiliari;
 - Ecc..

All'esito positivo di tali prove il Set Up viene alimentato in maniera continua dalla RTN.

- Fase B collaudo SdA, insieme di prove preliminari e di pre-connessione (effettuate su ogni singolo SdA) propedeutiche alla chiusura dell'interruttore MT che permette la connessione stabile alla RTN del SdA oggetto di test:
 - Ispezione visiva per la verifica di completezza e adeguatezza della fornitura;
 - Esame documenti relativi a materiali ed apparecchiature costituenti la fornitura;
 - Esame di tutti i documenti relativi ai test ed alle certificazioni effettuate sulle apparecchiature e componenti;
 - Test di corretto funzionamento Sistema di Controllo e Protezione;
 - Ispezione visiva delle connessioni, test di isolamento e test di resistenza di isolamento (per ogni circuito) in accordo alla normativa vigente;
 - Test di tenuta alle sovratensioni in accordo alla normativa vigente;
 - Prova di corretto funzionamento servizi ausiliari;
 - Prova di continuità elettrica;
 - Prova di connessione all'impianto di connessione, con misura di tutti i parametri rilevanti (tensioni, corrente e frequenza);
 - Test del sistema di controllo integrato locale (SCI Fornitore).
- 3. Fase C collaudo SdA, insieme di prove di post-connessione (effettuate su ogni singolo SdA) finalizzate a verificare le performance on-grid degli SdA sia in termini di accertamento delle caratteristiche nominali che in termini di collaudo dei servizi richiesti:
 - Prova di corretto funzionamento del SdA all'interno del campo di funzionamento;
 - Test curve di capability e di overload capability;
 - Test di distorsione armonica e immunità;
 - Test di radioattività;
 - Test di radio interferenza;



- Test di energia nominale;
- Test rendimento netto dell'SdA;
- Prove dei servizi essenziali (regolazione di frequenza, regolazione di tensione, asservimento al sistema di difesa, etc.).

Per quanto concerne le prove inerenti esclusivamente i singoli SdA (fasi B e C), il commissioning può essere declinato nei seguenti step:

- 1. Esame preliminare;
- 2. Attività di pre-connessione;
- 3. Attività di post-connessione;
- 4. Test sui servizi essenziali (effettuati sia in conduzione locale sia in conduzione da remoto).

Ciascuno step è contraddistinto da una serie di prove il cui esito positivo determina l'adeguatezza del sistema fornito nel proseguire alla fase di collaudo successiva, fino all'inizio delle attività sperimentali, così come da Determinazione del 17 luglio 2014 n. 12/14, e successiva consegna alla tele-conduzione dei sistemi.

- 1. Esame preliminare: per l'implementazione dell'esame preliminare viene richiesto al fornitore di presentare il progetto esecutivo integrato con le variazioni tecniche rese necessarie in corso d'opera, con l'insieme delle specifiche tecniche dei componenti e degli apparati costituenti l'oggetto di fornitura, nonché il dossier di fine fabbricazione contenente tutte le certificazioni e i report di controllo relativi al sistema fornito. Attraverso l'analisi della documentazione presentata si verifica la completezza del sistema e l'adeguatezza dello stesso ad iniziare le fasi di collaudo successive. La verifica della rispondenza del sistema alla documentazione presentata avviene gradualmente con lo svolgimento delle diverse fasi di collaudo.
- 2. **Pre-connessione:** le attività inerenti la fase di pre-connessione sono volte a verificare che l'impianto possa essere connesso in sicurezza all'impianto di connessione realizzato da Terna.
- 3. **Post-connessione:** le attività di post connessione mirano a verificare il funzionamento nominale dei SdA nei range operativi definiti in specifica tecnica.
- 4. Test sui servizi essenziali: le attività mirano a verificare la capacità dei SdA ad erogare tutti i servizi di rete richiesti nel rispetto delle specifiche tecniche e delle modalità di esercizio ideate da Terna. Tali test sono stati condotti sia a livello del sistema di controllo dei singoli SdA, che a livello del sistema di controllo locale Terna (denominato Scada Lab), fino al collaudo dai centri di telecontrollo. Le prove sono inoltre state eseguite a diversi valori di SOC in maniera tale da caratterizzare esaustivamente le tecnologie.

I sistemi di accumulo, ad eccezione del SdA 6 per il sito di Codrongianos, hanno eseguito con esito positivo i suddetti test.

7.5 PROVE PERIODICHE EFFETTUATE

Premesse

In tale paragrafo si riportano i risultati relativi alle prove di capability ed al test di rendimento netto dei sistemi di accumulo.

Le prove di capability hanno l'obiettivo di verificare la curva di capability nominale e di sovraccarico all'interno del campo di funzionamento definito, in tensione e frequenza al punto di connessione, dai seguenti range:

- Tensioni comprese tra il 95% e 110% della tensione nominale;
- Frequenza compresa tra 46,5 Hz e 52,5 Hz.

La prova viene condotta imponendo da SCI i set-point di P e Q nei limiti della curva di capability dichiarata dal fornitore. I valori di potenza attiva e reattiva istantanea sono stati misurati sui contatori MT del SET-UP MT.

I punti di misura della capability in sovraccarico devono essere mantenuti per almeno un minuto. I punti di misura della capability nominale devono essere mantenuti per almeno 10 minuti.

Per quanto riguarda l'elaborazione dei risultati da parte del fornitore, per ciascun punto di funzionamento impostato durante la prova di capability deve essere verificato che i valori misurati siano concordi con le caratteristiche del sistema di accumulo dichiarate dal fornitore. Inoltre, si deve verificare che l'errore nella potenza attiva o reattiva misurate al Punto di Connessione MT, rispetto a quella impostata, sia inferiore allo 0,5% come richiesto nella specifica tecnica di riferimento.

Il rendimento netto tiene in considerazione il consumo dei servizi ausiliari mediante la formula:

 $\eta_{netto} = \frac{Energia_{out} - Energia_{ausiliari,out}}{Energia_{in} + Energia_{ausiliari,in}}$

Dove:

- Energia_{out} è l'energia scaricata dal sistema;
- *Energia_{ausiliari,out}* è l'energia assorbita dal sistema durante la fase di scarica, per alimentare i propri servizi ausiliari;
- *Energia*_{in} è l'energia caricata dal sistema;
- *Energia_{ausiliari,in}* è l'energia assorbita dal sistema in fase di carica, per alimentare i propri servizi ausiliari.

Le prestazioni dei sistemi di accumulo vengono valutate effettuando una serie di cicli di riferimento con accumulo e rilascio di energia verso la rete. Le misure sono acquisite all'inizio, in corso ed al termine della prova.



Parametri caratteristici Codrongianos

SdA 1 - Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 01/10/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|---------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 08:56 | 13:09 | 1004 | 82,4 |
| 2 | 14:11 | 18:30 | 1018 | 81,4 |
| 3 | 19:31 | 23:55 | 1018 | 83,3 |

Tabella 3 Risultati prova di rendimento netto SdA 1

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 19/12/2014.

| PUNTO DI | Potenza ir | npostata | Potenza rilevata | |
|-----------|------------|----------|------------------|----------|
| IMISUKA — | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] |
| 1 | 1200 | 0 | 1198 | 3 |
| 2 | -1200 | 0 | -1204 | -1 |
| 3 | 0 | 1200 | -3 | 1202 |
| 4 | 0 | -1200 | -2 | -1199 |
| 5 | 0 | 1000 | 2 | 1004 |
| 6 | 0 | -1000 | -2 | -998 |
| 7 | 1000 | 0 | 997 | 3 |
| 8 | -1000 | 0 | -1003 | -2 |
| | | | | |

Tabella 4 Risultati prova di capability SdA 1



SdA 2 - Zebra

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata dal 07/07/2015 al 09/07/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|-------|
| 07/07/2015 | 08:56 | 18:06 | 4028 | 80,78 |
| 08/07/2015 | 10:33 | 19:48 | 4066 | 80,80 |
| 09/07/2015 | 08:38 | 17:47 | 4019 | 80,24 |
| | Tabolla 5 Picul | tati prova di rond | imento netto SdA 2 | |

Tabella 5 Risultati prova di rendimento netto SdA 2

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 10/12/2014.

| PUNTO DI | Potenza in | npostata | Potenza rilevata | | |
|----------|------------|-------------|------------------|----------|--|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] | |
| 1 | 1500 | 0 | 1498 | 0,003 | |
| 2 | -1500 | 0 | -1505 | 0,003 | |
| 3 | 0 | 1500 | 0,005 | 1505 | |
| 4 | 0 | -1500 | -0,005 | -1496 | |
| 5 | 0 | 1200 | 0,002 | 1199 | |
| 6 | -1200 | 0 | -1203 | 0,002 | |
| 7 | 1200 | 0 | 1197 | 0,002 | |
| 8 | 0 | -1200 | -0,005 | -1199 | |

Tabella 6 Risultati prova di capability SdA 2



SdA 3 - Zebra

Il fornitore del SdA 3 non ha effettuato la prova di rendimento netto nell'anno 2015.

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 21/12/2015.

| PUNTO DI | Potenza i | mpostata | Potenza rilevata | |
|----------|-----------|----------|------------------|----------|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] |
| 1 | 0 | 1000 | 3 | 1002 |
| 2 | 0 | 1300 | 4 | 1302 |
| 3 | 0 | -1300 | 4 | -1301 |
| 4 | 1300 | 0 | 1300 | -3 |
| 5 | 0 | -1000 | -5 | -1001 |
| 6 | 1000 | 0 | 997 | -4 |
| 7 | -1300 | 0 | -1302 | 4 |
| 8 | -1000 | 0 | -1002 | 3 |
| | | | | |

Tabella 7 Risultati prova di capability SdA 3



SdA 4 - Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 03/12/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|---------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 08:15 | 13:00 | 975 | 85,58 |
| 2 | 13:00 | 17:40 | 975 | 84,23 |
| 3 | 17:40 | 22:25 | 960 | 83,33 |
| | | | | |

Tabella 8 Risultati prova di rendimento netto SdA 4

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 22/12/2014.

| PUNTO DI | Potenza i | mpostata | ata Potenza rilevata | |
|----------|-----------|----------|----------------------|----------|
| IMISUKA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] |
| 1 | 1600 | 0 | 1596 | 2 |
| 2 | -959 | 0 | -961 | 2 |
| 3 | 0 | 1600 | -5 | 1597 |
| 4 | 0 | -1600 | -2 | -1596 |
| 5 | 0 | 1200 | 2 | 1198 |
| 6 | 0 | -1200 | -3 | -1199 |
| 7 | 1200 | 0 | 1200 | 3 |
| 8 | -959 | 0 | -961 | 2 |
| | | | | |

Tabella 9 Risultati prova di capability SdA 4



SdA 5 - Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 30/07/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|----------------------|------------------------------|-------|
| 1 | 12:10 | 13:43 | 915 | 85,46 |
| 2 | 14:47 | 16:14 | 915 | 85,32 |
| 3 | 17:18 | 18:41 | 915 | 85,78 |
| | Taballa 10 Disu | ومحير المحتجب الفحقا | line out o la otto Cal A. F. | |

Tabella 10 Risultati prova di rendimento netto SdA 5

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 28/11/2014.

| PUNTO DI | Potenza in | npostata | Potenza rilevata | | |
|----------|------------|-------------|------------------|----------|--|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] | |
| 1 | 0 | -1330 | 5 | -1332 | |
| 2 | 1000 | 0 | 999 | 1 | |
| 3 | -1000 | 0 | -1004 | 4 | |
| 4 | 1400 | 0 | 1398 | 5 | |
| 5 | -1400 | 0 | -1404 | 5 | |
| 6 | 0 | 1400 | 2 | 1402 | |
| 7 | 0 | -1400 | 5 | -1403 | |
| 8 | 0 | 1330 | 3 | 1332 | |

Tabella 11 Risultati prova di capability SdA 5



SdA 6 - Lithium-Based

Il fornitore del SdA 6 non ha effettuato la prova di rendimento netto nell'anno 2015.

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 04/12/2015.

| PUNTO DI | Potenza i | mpostata Potenza rilevata | | a rilevata |
|----------|-----------|---------------------------|--------|------------|
| MISURA · | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] |
| 1 | 0 | -1080 | 5 | 1079 |
| 2 | 1080 | 0 | 1075 | 3 |
| 3 | -1080 | 0 | 1085 | 2 |
| 4 | 1152 | 0 | 1143 | 3 |
| 5 | -1152 | 0 | -1157 | 2 |
| 6 | 0 | 1152 | 6 | 1152 |
| 7 | 0 | -1152 | 5 | -1151 |
| 8 | 0 | 1080 | 3 | 1081 |
| | | | | |

Tabella 12 Risultati prova di capability SdA 6



SdA 7 - Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 14/12/2014.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|--|---------------------------------|-------|
| 1 | 13:08 | 16:11 | 990 | 86,44 |
| 2 | 16:15 | 19:18 | 1005 | 86,67 |
| 3 | 19:23 | 22:28 | 1005 | 86,71 |
| | Taballa 40 pter | the state of the state of the state of | the sector is started to day at | |

Tabella 13 Risultati prova di rendimento netto SdA 7

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 28/11/2014.

| PUNTO DI | Potenza in | npostata | Potenza rilevata | | |
|----------|------------|-------------|------------------|----------|--|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] | |
| 1 | 1300 | 0 | 1303 | -1 | |
| 2 | -1300 | 0 | -1307 | -1 | |
| 3 | 0 | 1300 | -2 | 1303 | |
| 4 | 0 | -1300 | 1 | -1306 | |
| 5 | 0 | 1000 | 3 | -1005 | |
| 6 | 1000 | 0 | 1003 | -2 | |
| 7 | -1000 | 0 | 1006 | -3 | |
| 8 | 0 | -1000 | -5 | -1003 | |

Tabella 14 Risultati prova di capability SdA 7



Parametri caratteristici Ciminna

SdA 1 Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 27/10/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|---------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 09:47 | 11:34 | 1041 | 83,1 |
| 2 | 12:38 | 14.41 | 1069 | 82,8 |
| 3 | 15:45 | 17:34 | 1060 | 83,5 |

Tabella 15 Risultati prova di rendimento netto SdA 1

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 19/02/2015.

| PUNTO DI | Potenza in | Potenza impostata | | Potenza rilevata | |
|----------|------------|-------------------|--------|------------------|--|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] | |
| 1 | 1200 | 0 | 1198 | -4 | |
| 2 | -1200 | 0 | -1204 | -2 | |
| 3 | 0 | 1200 | -1 | 1199 | |
| 4 | 0 | -1200 | -4 | -1204 | |
| 5 | 1000 | 0 | 998 | -2 | |
| 6 | -1000 | 0 | -1003 | -1 | |
| 7 | 0 | 1000 | 0 | 1001 | |
| 8 | 0 | -1000 | -2 | -1002 | |

Tabella 16 Risultati prova di capability SdA 1



SdA 2 - Zebra

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 10/02/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 09:41 | 18:23 | 4220 | 79,81 |
| 2 | 09:18 | 18:03 | 4221 | 79,67 |
| 3 | 09:12 | 17:52 | 4231 | 80,10 |
| | Taballa 47 Disc | to and the second set of the second | Para and a sector Call A D | |

Tabella 17 Risultati prova di rendimento netto SdA 2

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 22/12/2014.

| PUNTO DI | Potenza in | Potenza impostata | | Potenza rilevata | |
|----------|------------|-------------------|--------|------------------|--|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] | |
| 1 | 0 | 1500 | 3 | 1515 | |
| 2 | 0 | -1500 | -2 | -1496 | |
| 3 | 1500 | 0 | 1503 | 1 | |
| 4 | -1500 | 0 | -1508 | 8 | |
| 5 | -1200 | 0 | -1216 | 8 | |
| 6 | 1200 | 0 | 1201 | 9 | |
| 7 | 0 | -1200 | 0 | -1192 | |
| 8 | 0 | 1200 | 1 | 1214 | |

Tabella 18 Risultati prova di capability SdA 2



SdA 3 - Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 10/12/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|---------------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 08:00 | 10:26 | 530 | 80,46 |
| 2 | 12:26 | 14:47 | 540 | 80,85 |
| 3 | 16:47 | 19:10 | 530 | 80,61 |
| | Taballa 10 Biou | Itati prova di rong | limanta natta SdA 2 | |

Tabella 19 Risultati prova di rendimento netto SdA 3

Nella tabella successiva si riportano i risultati della prova di rendimento netto, effettuata in data 10/12/2015.

| PUNTO DI | Potenza in | otenza impostata | | rilevata |
|----------|------------|------------------|--------|----------|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] |
| 1 | 0 | 900 | 1 | 899 |
| 2 | 0 | -900 | 1 | -896 |
| 3 | 900 | 0 | 900 | 1 |
| 4 | -617 | 0 | -615 | 1 |
| 5 | 0 | 1100 | 1 | 1099 |
| 6 | 0 | -1100 | 1 | -1098 |
| 7 | 1100 | 0 | 1101 | 2 |
| 8 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. |

Tabella 20 Risultati prova di capability SdA 3



SdA 4 - Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 20/09/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|---------------|-----------------------------|-------|
| 1 | 10:20 | 12:38 | 940 | 87,69 |
| 2 | 12:41 | 14.55 | 930 | 86,67 |
| 3 | 15:00 | 17:40 | 910 | 82,69 |
| 3 | 15:00 | 17:40 | 910 | 82,69 |

Tabella 21 Risultati prova di rendimento netto SdA 4

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 11/12/2014.

| PUNTO DI | Potenza im | Potenza impostata | | Potenza rilevata | |
|----------|------------|-------------------|--------|------------------|--|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] | |
| 1 | 1400 | 0 | 1399 | -1 | |
| 2 | -1400 | 0 | 1404 | -1 | |
| 3 | 0 | -1400 | 1 | -1401 | |
| 4 | 0 | 1400 | -3 | 1400 | |
| 5 | 1000 | 0 | 998 | 1 | |
| 6 | -1000 | 0 | -1404 | -1 | |
| 7 | 0 | -1330 | -2 | -1332 | |
| 8 | 0 | 1330 | -1 | 1333 | |

Tabella 22 Risultati prova di capability SdA 4



SdA 5 - Lithium-Based

Di seguito i risultati relativi alla prova di rendimento netto effettuata in data 16/07/2015.

| CICLO | Ora inizio test | Ora fine test | Energia in scarica [kWh] | η [%] |
|-------|-----------------|--|------------------------------|-------|
| 1 | 13:16 | 16:14 | 990 | 85,06 |
| 2 | 16:15 | 19:07 | 990 | 85,81 |
| 3 | 19:09 | 22:01 | 990 | 85,69 |
| | Taballa 22 Disc | the state of the state of the state of | dimension in other Col A. E. | |

Tabella 23 Risultati prova di rendimento netto SdA 5

La tabella sottostante riporta i risultati della prova di capability, effettuata in data 17/12/2014.

| PUNTO DI | Potenza in | Potenza impostata | | Potenza rilevata | |
|----------|------------|-------------------|--------|------------------|--|
| MISURA | P [kW] | Q [kVAr] | P [kW] | Q [kVAr] | |
| 1 | 1300 | 0 | 1294 | 15 | |
| 2 | -1300 | 0 | -1297 | 4 | |
| 3 | 0 | 1300 | -10 | 1303 | |
| 4 | 0 | -1300 | 7 | -1290 | |
| 5 | 0 | -1000 | -4 | -998 | |
| 6 | 1000 | 0 | 994 | 13 | |
| 7 | -1000 | 0 | -998 | 3 | |
| 8 | 0 | 1000 | -7 | 1005 | |

Tabella 24 Risultati prova di capability SdA 5



Rev.00

7.6 PROVE RELATIVE A SERVIZI E FUNZIONALITÀ DI RETE

Nel seguente capitolo si riportano alcune attività sperimentali eseguite nel corso dell'anno 2015, descrivendo i servizi e le funzionalità disponibili, illustrando alcune prove specifiche condotte in sito ed, infine, analizzando alcuni casi di esercizio registrati sulle unità di accumulo in risposta ad alcuni eventi di interesse.

Servizi di rete e funzionalità di dispacciamento disponibili

Di seguito in tabella si riporta una breve descrizione dei servizi di rete rilasciati ai fini delle esigenze della RTN.

| Regolazione Primaria di frequenza | Il servizio di regolazione primaria, implementato in conformità all'Allegato 15 del Codice di Rete, è calibrato 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. |
|---|---|
| Regolazione Secondaria di frequenza | Tale servizio, la cui attivazione ha carattere strettamente sperimentale, consiste nell'eseguire, in conformità all'allegato 15 del Codice di Rete, una variazione dell'attuale valore di potenza sulla base di un segnale di livello in valore percentuale inviato dai centri Terna. Ricevuto il segnale di livello percentuale il SdA determina una variazione della potenza attiva ΔP (positiva o negativa) nei limiti stabiliti dalla semibanda di regolazione impostata in termini % della potenza disponibile in quell'istante (e/o in valore assoluto). |
| ILF | L'Integratore Locale di Frequenza 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. |
| Bilanciamento | Per tale servizio si intende la capacità del SdA di eseguire un set-point di potenza attiva, su tutto l'arco di funzionamento ammesso dalla capability del sistema (sia esso per l'assorbimento o il rilascio di potenza attiva verso la RTN), proveniente dal sistema di controllo e conduzione Terna. |

Tabella 25 Descrizione servizi di rete



Oltre ai servizi di rete sopra descritti, è stata inserita un'ulteriore funzionalità di dispacciamento denominata *Stato di carica obiettivo*, utile ai fini della predisposizione della UAC all'erogazione dei servizi di rete (raggiungimento dei SOC obiettivi ottimali per la massimizzazione del contributo) nonché ai fini del servizio di Bilanciamento.

Prove di regolazione secondaria F-P

Di seguito si riportano le modalità di funzionamento concepite per gli SdA in merito all'erogazione del servizio di regolazione secondaria, il cui utilizzo è di solo carattere sperimentale. Nell'applicazione che segue si può apprezzare la sovrapposizione del servizio di regolazione frequenza-potenza con un set-point di P impostato tramite il servizio di bilanciamento, come descritto dalla figura seguente:



Figura 28 Funzionamento della regolazione secondaria frequenza/potenza

Le Figure 32 e 33 riportano i risultati dei collaudi funzionali eseguiti su alcuni SdA nell'impianto Storage Lab di Ciminna nella fase di rilascio dei sistemi all'esercizio. Come si può notare il ritardo nella risposta è pressoché assente e la regolazione è risultata essere stabile e senza oscillazioni. I test, svolti in ottemperanza alle prescrizioni dell'Allegato 15 del Codice di rete, si compongono di due fasi, consecutive, necessarie a collaudare la stabilità della regolazione e la corretta gestione della capability del sistema a fronte dell'interazione di più servizi di rete contemporaneamente attivi:

- in una prima fase (filo alle ore 12:22 circa) il segnale di secondaria è sovrapposto ad un set-point di potenza a valore nullo. La potenza fornita dall'SdA varia quindi proporzionalmente tornando a 0 kW quando il segnale di livello è pari al 50%;
- in una seconda fase viene verificato lo stesso funzionamento con un set-point di potenza di valore non nullo (impostato alle ore 12:22 circa). Si può notare quindi come, in corrispondenza al segnale



di livello pari al 50%, il sistema si riporti a scambiare con la rete il valore di set-point richiesto;

- Durante lo svolgimento della prova, per entrambi i sistemi, sono stati configurati due valori costanti, ancorché dissimili, di semibanda.



Figura 29 Prova di regolazione secondaria f-P SdA 3



Figura 30 Prova di regolazione secondaria f-P SdA 4



Time to phase inversion

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

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

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





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



Figura 32 Dettaglio dell'andamento della potenza attiva a seguito del comando UPDM di massima erogazione

Integrazione dei sistemi di accumulo con altre risorse

Nell'ambito degli effetti di manovre e interazioni con altri convertitori presenti in rete si riportano i risultati dei test effettuati il 29 Novembre 2015 in Sardegna. Lo scopo della prova effettuata in tale data consiste nel mantenimento in esercizio del Compensatore Sincrono, presente nel sito sardo, tramite i sistemi di accumulo della SSdA.



Figura 33 Schema unifilare d'impianto del sito di Codrongianos

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

La prova, che nel suo complesso ha fornito un esito positivo, ha avuto una durata complessiva di 35 minuti. La figura seguente mostra l'andamento della frequenza sulla porzione di rete formata dal compensatore sincrono, dalla sbarra A (a 380 e a 150 kV), dal trasformatore 150/15 kV e dalla SSdA, all'atto dell'apertura dell'interruttore di parallelo delle due sbarre A e B (formazione dell'isola).





Figura 34 Andamento della frequenza vista dal compensatore all'apertura dell'interruttore di parallelo sbarre

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



Figura 35 Tensione e frequenza all'atto della chiusura dell'interruttore di parallelo tra le sbarre A e B



Figura 36 Tensione e frequenza all'atto della chiusura dell'interruttore di parallelo tra le sbarre A e B

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



Figura 37 Risposta del PCS SdA 2: andamenti di frequenza e potenza attiva

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

- Creazione dell'isola (apertura del K a 380 kV di Codrongianos);
- Funzionamento in isola "a regime";



• Riconnessione con la rete.

Creazione dell'isola

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



Figura 38 Frequenza e potenza attiva registrate all'atto della formazione dell'isola

Funzionamento in isola a regime

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









Figura 40 Andamento istantaneo delle tensioni di fase durante il funzionamento in isola a regime

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

Riconnessione alla rete

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







Figura 42 Andamento istantaneo di potenza attiva e reattiva all'atto della richiusura dell'interruttore di parallelo



Rev.00

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

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

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



7.7 CASI REALI RAPPRESENTATIVI DELL'ESERCIZIO DEI SISTEMI DI ACCUMULO

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 | |
|--|-------|--|--|
| 25 Settembre | 23:50 | Transitorio in sovrafrequenza (f _{max} =50.27 Hz) | |
| 22 Ottobre | 11:30 | Transitorio in sovrafrequenza (f _{max} =50.15 Hz) | |
| 13 Dicembre | 12:39 | Transitorio in sottofrequenza (f _{min} =49.82 Hz) | |
| Taballa 26 Data aventi al di conra di una caglia rilavanta | | | |

Tabella 26 Date eventi al di sopra di una soglia rilevante

Evento Codrongianos 25 Settembre 2015

L'immagine che segue riporta il comportamento del SdA 2 in risposta all'evento di sovrafrequenza avvenuto in Sardegna il 25 Settembre. Dagli andamenti riportati è possibile evincere come non solo il sistema abbia risposto adeguatamente al profilo di frequenza rilevato, ma anche come abbia fornito un contributo pari alla massima potenza assorbibile dal SdA, portandosi in regime di sovraccarico (potenza superiore a 1200kW).





Evento Codrongianos 22 Ottobre 2015

Nella figura seguente è possibile apprezzare la risposta della potenza richiesta da regolazione primaria in caso di sovrafrequenza, fino al ripristino della stessa al valore nominale: dalla figura si evince come l'andamento della potenza effettivamente assorbita da rete sia conforme alla richiesta della regolazione



primaria quanto non risultando attivi, nell'intervallo temporale in esame, altri servizi (ad eccezione dell'ILF, correttamente non innescatosi data l'intensità dell'evento).



Figura 44 Evento di sovrafrequenza (22 Ottobre 2015): risposta SdA 2

Evento Codrongianos 13 Dicembre 2015

Nella figura che segue è possibile notare la risposta della potenza richiesta da regolazione primaria nell'istante in cui inizia l'evento di sottofrequenza e negli intervalli di tempo successivi fino al ristabilimento della frequenza nominale pari a 50 Hz. L'andamento della potenza attiva scambiata è conforme al valore richiesto dalla regolazione, considerando che, nell'intervallo temporale in cui è avvenuto l'evento, non erano attivi altri servizi (a eccezione dell'ILF, correttamente non innescatosi data l'intensità dell'evento).







8. COSTI DEL PROGETTO

I costi sostenuti a fine 2015 complessivamente per i due impianti di Codrongianos e Ciminna sono paria a circa il 70% del valore complessivo del Progetto (pari a 50 Mln€). Per il completamento del Progetto non si prevedono attualmente extra-costi oltre quanto già dichiarato ed approvato.



Rev.00

9. CONCLUSIONI

Il presente documento riporta gli esiti principali della sperimentazione condotta nell'anno 2015 sulle unità di accumulo presenti nei due progetti pilota, denominati Storage Lab, di Codrongianos e Ciminna. Le attività di sperimentazione sono condotte prevedendo l'esecuzione di test in sito e test presso laboratori italiani accreditati, nonché prevedendo di dedicare le unità di accumulo in sito a periodi di operation in asservimento ad esigenze reali di rete. Tali attività sono quindi finalizzate 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.

Le attività di test in laboratorio vengono concentrate sulla caratterizzazione delle performance principali dei moduli batterie, al fine di avere una rappresentazione esaustiva, per ciascuna tecnologia, sia dei principali indicatori che tipicamente vengono utilizzati nelle analisi costi-benefici dei sistemi di accumulo, sia del comportamento delle tecnologie in particolari condizioni di stress, verificando il mantenimento di condizioni minime di sicurezza. In esito a tali test, le tecnologie vengono comparate determinando l'attitudine di ciascuna di esse all'asservimento di particolari applicazioni ed al funzionamento sicuro in determinate condizioni di stress: sinteticamente, i risultati dei test finora condotti dimostrano come le tecnologie siano realizzate per rispondere adeguatamente a definite condizioni di stress ed, allo stesso tempo, come alcune tecnologie non rispettino i valori di vita utile dichiarati dai fornitori qualora dedicate ad applicazioni che richiedono frequenti inversioni di potenza (es. regolazione primaria di frequenza). Inoltre, la comparazione evidenzia come le tecnologie Lithium-based presentino rendimenti mediamente superiori rispetto alle tecnologie Zebra.

Parallelamente, le attività di test condotte in sito relative a fasi specifiche di commissioning dei fornitori ed a prove effettuate per la valutazione dei parametri caratteristici degli accumulatori e del loro comportamento in asservimento ai servizi di rete, hanno sostanzialmente confermato, nel confronto degli esiti tra large e module scale test, i risultati delle indicazioni avute nei laboratori, riscontrando per le tecnologie installate rendimenti comprensivi delle perdite complessivamente nel range 80-86% e valori di capacità energetica congrui con i valori dichiarati dai fornitori.

Inoltre, le prove effettuate per la misura dei tempi di risposta di sistemi sollecitati ad inversioni rapide di potenza attiva (passaggio tra fase di carica e fase di scarica, e viceversa, alle potenze nominali) hanno fatto registrare tempi di inversione dell'ordine di poche centinaia di millisecondi, identificando 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 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. In tal senso, servizi di rete come la regolazione primaria di frequenza, la regolazione secondaria di frequenza, il servizio di bilanciamento, nonché alcune funzionalità a supporto del dispacciamento come l'attivazione automatica dell'integratore locale di frequenza, vengono dai sistemi di accumulo erogati in maniera maggiormente efficace se



confrontati con risorse tradizionali di pari taglia, principalmente per via della rapidità dei tempi di risposta e della capacità di lavorare nell'intera banda di potenza installata senza particolari vincoli tecnici. Infatti, agendo in maniera opportuna sulla parametrizzazione dei suddetti servizi (anche da remoto, sfruttando l'interfacciamento con i sistemi di controllo locali), è possibile ottimizzare in tempo reale il comportamento delle unità di accumulo nell'erogazione dei singoli servizi di rete attivabili, massimizzandone il valore complessivo in funzione delle attuali esigenze del Sistema.

Oltre questi aspetti, nel rapporto si è dato spazio ad una rappresentazione esemplificativa dello sviluppo di innovative funzionalità di conduzione e dispacciamento (es. funzionalità SOC obiettivo, gestione multipla di più servizi di rete in maniera simultanea, etc.), nonché all'esecuzione di campagne di test su assetti di rete complessi rappresentativi di possibili futuri scenari (es. funzionamento in islanding delle unità di accumulo in coordinamento con la presenza dei compensatori sincroni a supporto della sicurezza della rete), utili da un lato a conferire all'impianto ed alla sperimentazione ulteriore significatività, dall'altro ad incrementare nell'operatività dell'esercizio la resilienza e l'affidabilità della Rete di Trasmissione Nazionale.