

23_24_EO_ENE_CRC_AU_ARE_17_00	AGOSTO 2023	RELAZIONE TECNICA SUL SISTEMA STORAGE	Massimiliano Pacifico	Arch. Paola Pastore	Ing. Leonardo Filotico
N. ELABORATO	DATA EMISSIONE	DESCRIZIONE	ESEGUITO	CONTROLLATO	APPROVATO

OGGETTO:

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

COMMITTENTE:

KHAKY ENERGY S.r.l.
Z.I. Lotto n.31
74020 San Marzano di S.G. (TA)

TITOLO:

A.16.b. IMPIANTO
A.16.b.24
Relazione tecnica sul sistema storage

PROJETTO engineering s.r.l.
società d'ingegneria

direttore tecnico
Ph.D. Ing. LEONARDO FILOTICO

Sede Legale: Via dei Mille, 5 74024 Manduria
 Sede Operativa: Z.I. Lotto 31 74020 San Marzano di S.G. (TA)
 tel. 099 9574694 Fax 099 2222834 cell. 349.1735914
 studio@projetto.eu
 web site: www.projetto.eu



P.IVA: 02658050733



NOME FILE
 A.16.b.24

SOSTITUISCE:

SOSTITUITO DA:

CARTA:
A4

SCALA:
 /

ELAB.
RE.17

INDICE

1 INTRODUZIONE	2
2 TECNOLOGIE ELETTROCHIMICHE	4
3 COSTI	12
4 IMPATTO AMBIENTALE	14
5 SOLUZIONE ADOTTATA	15
5.1 COMPARAZIONE TECNOLOGIE	19
5.2 DISMISSIONE	21
6 SCHEMA DEL SISTEMA BESS	22
7 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	24

1 INTRODUZIONE

L'energia prodotta dall'impianto eolico in progetto sarà integrata da un sistema di accumulo elettrochimico, denominato BESS (Battery Energy Storage System).

Un Sistema di accumulo è un insieme di dispositivi, apparecchiature e logiche di gestione e controllo, funzionale ad assorbire e rilasciare energia elettrica, previsto per funzionare in maniera continuativa in parallelo con la rete con obbligo di connessione di terzi o in grado di comportare un'alterazione dei profili di scambio con la rete elettrica (immissione e/o prelievo).

Una prima scelta relativa al tipo di accumulo da adottare in un particolare contesto sarà sicuramente condotta considerando i parametri prestazionali richiesti nello specifico campo applicativo, tra cui fondamentali risultano:

- Capacità [Ah]: quantità di carica elettrica che può essere estratta dal sistema durante la scarica. Nella maggior parte degli accumulatori elettrochimici, questo parametro non è univoco, ma dipende dal valore della corrente di scarica e dalla temperatura. La capacità nominale è la capacità corrispondente ad un particolare regime di scarica sufficientemente rappresentativo del regime di lavoro cui la batteria è destinata ad una temperatura di riferimento, tipicamente 25°C.
- Energia [Wh]: energia che il sistema fornisce durante la scarica, partendo da una condizione di piena carica fino alla scarica completa, data dal prodotto della capacità per la tensione dell'accumulatore. Anche questo parametro dipende dal regime di lavoro. Per confrontare sistemi di tipo diverso, si utilizzano parametri specifici quali l'energia e la potenza specifica riferite al peso in kg del sistema ed espresse rispettivamente in Wh/kg e W/kg.
- Efficienza energetica, o rendimento di carica-scarica: rapporto tra l'energia scaricata e l'energia spesa per riportare il sistema di accumulo nello stato di carica iniziale.
- Durata di vita: tempo di esercizio dell'accumulatore, che ha termine quando le prestazioni del sistema degradano sotto i limiti operativi. Questo parametro può essere espresso in anni o in cicli di carica-scarica, con una profondità di scarica generalmente compresa tra l'80% e il 90%. La durata di vita di un accumulatore dipende fortemente dalle modalità di lavoro e si riduce drasticamente se sottoposto ad una gestione non corretta.
- Stato di carica: SOC: quantità di carica presente nell'accumulatore, rapportata ad un valore di riferimento molto spesso coincidente con la capacità nominale espressa in percentuale.
- Profondità di scarica: DOD: quantità di carica in Ah erogata da un accumulatore completamente carico, rapportata alla sua capacità nominale. È normalmente espressa in percentuale (%).
- Costo specifico di realizzazione per unità di energia (Euro/kWh).

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

- Costo specifico di realizzazione per unità di potenza (Euro/kW).



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. Q204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. OH597

2 TECNOLOGIE ELETTROCHIMICHE

Gli accumulatori elettrochimici sono una tecnologia estremamente diffusa, in grado di trasformare in modo diretto energia chimica in energia elettrica. Il funzionamento di questa categoria di accumulatori si basa sui processi di ossido-riduzione e di elettrolisi che determinano una conversione reversibile dell'energia chimica in energia elettrica. Generalmente, sono costituiti da una struttura composta da due semi-celle separate da un setto poroso, ciascuna delle quali contiene un elettrodo (anodo e catodo) metallico immerso in soluzione elettrolitica (contenente generalmente ioni dello stesso metallo). Attraverso le reazioni di ossido-riduzione l'anodo, ossidandosi, cede elettroni al catodo che a sua volta si riduce; il flusso di elettroni generato viene successivamente intercettato da un conduttore. La reazione di elettrolisi, viceversa, permette la conversione dell'energia elettrica generata in energia chimica. L'elemento base di un sistema di accumulo elettrochimico è la cella elettrochimica, in grado di generare una tensione in CC (Corrente Continua) variabile e che può essere combinata in serie e/o parallelo per ottenere un accumulatore di dimensioni maggiori, chiamato comunemente batteria. Il sistema di accumulo elettrochimico completo può comprendere, oltre alla batteria, un sistema elettronico di gestione e monitoraggio, ausiliari (pompe, sistemi di ventilazione e/o climatizzazione, ecc.) ed eventualmente un convertitore elettronico nel caso in cui il sistema di accumulo debba essere interfacciato verso la rete elettrica. Le caratteristiche peculiari dei sistemi di accumulo elettrochimico sono: la modularità (con possibilità di sistemi da pochi kW a decine di MW) e flessibilità; tempi di risposta alle variazioni di carico veloci; elevato rapporto energia/potenza. Ulteriori vantaggi risiedono nella rapidità di installazione e nella possibilità di spostare il sistema in un altro punto della rete o di riconfigurarli in caso di necessità. Le numerose tipologie di accumulatori si differenziano per la coppia di specie elettrochimiche tra cui avviene la reazione, per il tipo di elettrolita e per le caratteristiche costruttive, mentre le caratteristiche funzionali dei dispositivi per uso stazionario dipendono dalle specifiche tecniche di applicazione. Le principali tipologie di accumulatori elettrochimici sono:

- gli accumulatori con elettrolita acquoso, che comprendono l'accumulatore al piombo acido, nichel/cadmio e nichel/ metal idruro;
- batterie a circolazione di elettrolita, che includono le batterie a flusso le batterie ad alta temperatura (sodio/zolfo, sodio/cloruro di nichel);
- le batterie agli ioni di litio;

Dal punto di vista "energetico" per operare una classificazione delle soluzioni tecnologiche per i sistemi di accumulo elettrochimici si può partire individuando alcune prestazioni chiave:

- Potenza Specifica (W/kg): che è la potenza generabile per ogni unità di peso del sistema di accumulo;
- Energia Specifica (Wh/kg); che indica l'energia erogabile per unità di peso;

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

- Efficienza energetica di carica/scarica (%): che indica il rapporto tra l'energia scaricata e l'energia necessaria per riportare il sistema in una condizione di carica completa;
- Durata: che misura il numero di cicli di carica e scarica durante la vita utile della batteria;
- Vita Utile (anni).

Un altro parametro rilevante per una batteria è costituito dal rendimento energetico, che è dato dal rapporto tra l'energia scaricata a potenza nominale, partendo da piena carica fino alla scarica completa, e l'energia fornita alla batteria per riportarla nello stato di carica iniziale. Nel caso di un sistema di accumulo completo, interfacciato in rete con un convertitore elettronico, è necessario comprendere nel calcolo il rendimento del convertitore e l'energia spesa per alimentare gli ausiliari (qualora non siano alimentati direttamente dalla batteria). Il rendimento amperometrico, o faradico, è dato dal rapporto tra la carica estratta dalla batteria partendo da piena carica (Stato di Carica-SOC pari a 100%) fino a piena scarica e la carica che è necessario fornire alla batteria per riportarla nello stato di carica iniziale. Alcune tecnologie hanno rendimenti amperometrici inferiori al 100% per la presenza di reazioni parassite (quali ad esempio l'elettrolisi dell'acqua che avviene nelle batterie a elettrolita acquoso in fase di ricarica). La Tabella 1, riporta il rendimento energetico, il rendimento amperometrico e la vita attesa per diverse tipologie di batterie.

Tabella 1 | Rendimenti e tempi di vita previsti per diverse tecnologie di accumulo elettrochimico

Tecnologia	Rendimento energetico %	Rendimento amperometrico %	Vita attesa (cicli) DOD %
Piombo	80	85	1000
Nichel/Cadmio	65	75	1000
Nichel/metal idruri	65	75	1500
Sodio/cloruro di nichel	85	100	4000
Sodio/zolfo	85	100	4500
Litio-ioni	90	100	5000
Flusso di elettrolita al vanadiuo (VRB)	75	85	10000

Volendo fornire una disamina esaustiva delle tecnologie di accumulo elettrochimico, si riporta nel prosieguo una sintetica descrizione delle principali tipologie di sistemi di accumulo elettrochimico: batterie ad alta temperatura, accumulatori al piombo acido, accumulatori al litio, batterie a flusso VRB.

- Batterie ad alta temperatura: Le batterie ad alta temperatura comprendono le batterie sodio/zolfo e quelle sodio/cloruro di nichel. Una caratteristica di tali sistemi è la temperatura interna di funzionamento particolarmente elevata. Tali batterie operano a una temperatura di circa 300°C, necessaria a mantenere allo stato fuso gli elettrodi e ad aumentare la conducibilità dell'elettrolita. La vita media di questo tipo di dispositivi è superiore a quella delle batterie al piombo ma, a causa dell'elevata temperatura d'esercizio, occorre prevedere adeguati sistemi di sicurezza. Queste batterie

si caratterizzano per una elevata energia specifica, alti rendimenti energetici, buona durabilità. Esse hanno tuttavia prestazioni generalmente inferiori rispetto a quelle al litio, pur presentando il vantaggio di essere totalmente indipendenti dalla temperatura ambiente. Inoltre, esse presentano il vantaggio di essere completamente riciclabili e avere una sicurezza intrinseca un po' più alta. Le caratteristiche dei dispositivi (batterie al sodio-cloruro di nickel) in termini di prestazioni sono riportate nella seguente tabella (Tabella 2).

Tabella 2 | Prestazioni degli accumulatori al Sodio/Cloruro di Nickel

Prestazioni Accumulatore al Sodio/Cloruro di Nickel	
Potenza specifica	170 W/kg
Energia specifica	160 Wh/kg
Efficienza energetica di carica/scarica	90 %
Durata	2500-3500 cicli
Vita calendariale	10-12 anni

- Gli accumulatori al piombo/acido sono costituiti da un elettrodo al piombo e da uno al biossido di piombo, immersi in una soluzione acquosa di acido solforico. Esistono molteplici tipologie di accumulatori al piombo acido, che possono essere raggruppate in due categorie principali:
 - accumulatori aperti, o VLA - Vented Lead Acid,
 - accumulatori ermetici, o VRLA - Valve Regulated Lead Acid.
- Gli accumulatori VLA, tuttora i più diffusi, sono caratterizzati dalla presenza di aperture che permettono l'uscita nell'ambiente circostante dei gas, essenzialmente idrogeno e ossigeno, prodotti durante la ricarica e trovano largo impiego in applicazioni stazionarie e nella trazione. Negli accumulatori VRLA, l'idrogeno prodotto sulla piastra negativa viene convogliato verso la piastra positiva dove si ricombina con l'ossigeno ricostituendo acqua. Gli accumulatori ermetici sono ormai ampiamente diffusi grazie al fatto di richiedere minore manutenzione, minore ingombro e di emettere quantità di idrogeno limitate. Tali accumulatori presentano due svantaggi principali, che ne hanno limitato l'impiego: la forte disomogeneità costruttiva; i gas prodotti si ricombinano completamente soltanto fino a un certo valore della corrente di ricarica, oltre il quale parte di essi viene evacuata nell'ambiente esterno attraverso le valvole di sicurezza, provocando un graduale consumo dell'elettrolita ed un accelerato degradamento della batteria. In genere gli accumulatori di tipo VLA hanno valori di energia specifica compresi tra 15 e 25 Wh/kg (corrispondenti ad una densità di energia di 30-50 Wh/l) e picchi di potenza specifica di 20-40 W/kg (40-80 W/l). Nelle realizzazioni speciali per la trazione elettrica stradale si raggiungono potenze specifiche di 70-80 W/kg. Gli accumulatori ermetici di tipo VRLA, essendo più compatti, hanno delle migliori prestazioni in termini di contenuto energetico, hanno, infatti, valori di energia specifica compresa tra 20 e 45 Wh/kg (40-90 Wh/l), con

picchi di potenza di 60-150 W/kg (120-300 W/l). Il valore effettivo della forza elettromotrice in realtà dipende da diversi fattori esterni, come la densità dell'elettrolita, la temperatura, lo stato di carica, la corrente circolante, lo stato di invecchiamento. Un altro fenomeno importante di cui tenere conto è il cosiddetto fenomeno dell'autoscarica. Nelle batterie al piombo l'autoscarica è dovuta a varie reazioni parassite che consumano lentamente le cariche presenti e portano nel tempo alla scarica completa della batteria. In condizioni normali l'autoscarica determina una riduzione della carica della batteria pari a circa il 2-3% al mese. La capacità nominale di un accumulatore è la capacità corrispondente ad un particolare regime di scarica sufficientemente rappresentativo del regime di lavoro cui la batteria è destinata. Generalmente per applicazioni stazionarie si assume come capacità nominale la capacità al regime delle 10 h. Le capacità di una cella al piombo disponibile industrialmente possono variare da poche decine fino a migliaia di Ah. La vita attesa di un accumulatore al piombo può variare in base alla tipologia e alla gestione. Una batteria tipo SLI ha una vita attesa di 3-4 anni, mentre un accumulatore aperto stazionario, gestito in tampone e correttamente mantenuto può arrivare ad una vita di oltre 20 anni. Il numero di cicli di carica/scarica di una cella al piombo, con una profondità di scarica dell'80%, è tra 500 e 800. Le caratteristiche degli accumulatori al piombo/acido in termini di prestazioni sono sintetizzate nella tabella seguente (Tabella 3).

Tabella 3 | Prestazioni degli accumulatori al piombo/acido

Prestazioni Accumulatore al Piombo/Acido	
Potenza specifica	150-300 W/kg
Energia specifica	50-80 Wh/kg
Efficienza energetica di carica/scarica	70-85 %
Durata	1500-2500 cicli
Vita calendariale	5-7 anni

- Gli accumulatori litio/ioni presentano numerose varianti e sono caratterizzati da un'elevata potenza specifica, motivo per il quale trovano largo impiego anche nella trazione elettrica. Lo svantaggio principale di queste soluzioni è la necessità dei sistemi di sicurezza che devono essere adottati per cautelarsi rispetto a potenziali situazioni di sovraccarico. La famiglia delle batterie al litio è piuttosto ampia ed è differenziata dal materiale catodico, che ne definisce le caratteristiche (Tabella 4):

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Tabella 4 | Confronto delle configurazioni chimiche delle Batterie Ioni-Litio

Key active material	lithium nickel manganese cobalt oxide	lithium manganese oxide	lithium nickel cobalt aluminum	lithium iron phosphate	lithium titanate oxide
Technology short name	NMC	LMO	NCA	LFP	LTO
Cathode	$\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$	LiMn_2O_4 (spinel)	LiNiCoAlO_2	LiFePO_4	variable
Anode	C (graphite)	C (graphite)	C (graphite)	C (graphite)	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$
Safety					
Power Density					
Energy Denisty					
Cell costs advantage					
Lifetime					
BESS performance					
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> -good properties combination -can be tailored for high power or high energy -stable thermal profile -can operate at high voltages 	<ul style="list-style-type: none"> -low cost due to manganese abundance -very good thermal stability -very good power capability 	<ul style="list-style-type: none"> -very good energy and good power capability -good cycle life in newer systems -long storage calendar life 	<ul style="list-style-type: none"> -very good thermal stability -very good cycle life -very good power capability -low costs 	<ul style="list-style-type: none"> -very good thermal stability -long cycle lifetime -high rate discharge capability -no solid electrolyte interphase issues
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> -patent issues in some countries 	<ul style="list-style-type: none"> -moderate cycle life insufficient for some applications -low energy performance 	<ul style="list-style-type: none"> -moderate charged state thermal stability wich can reduce safety -capacity can fade at temperature 40-70°C 	<ul style="list-style-type: none"> -lower energy density due to lower cell voltage 	<ul style="list-style-type: none"> -high cost of titanium -reduced cell voltage -low energy density

Source: International Renewable Energy Agency, based on Nitta et al., 2015; Müller et al., 2017; Blomgren, 2017; and data from Navigant Research (Tokash and Dehamna, 2016).

Sebbene esistano diverse tipologie di batterie litio-ioni, esse sono caratterizzate da una struttura comune, che include un anodo costituito da grafite, un catodo solitamente di un ossido litiato di un metallo di transizione (ad esempio ossido di cobalto, fosfato di ferro, ecc.), che garantisce una struttura a strati o a tunnel nella quale gli ioni litio possono essere inseriti ed estratti facilmente. Un elettrolita liquido o polimerico che permette la conduzione degli ioni litio agisce da collegamento tra l'elettrodo positivo e quello negativo, che risultano tra loro separati da un opportuno strato isolante elettronico costituito generalmente da una poliolefina. La ricerca nel settore delle celle al litio è molto intensa e lo è stata particolarmente negli ultimi anni, prefiggendosi obiettivi quali il miglioramento e lo sviluppo di nuovi materiali elettrodici ed elettrolitici, l'aumento delle prestazioni, della vita attesa e dell'affidabilità. Tra le finalità perseguite nelle attività di ricerca e sviluppo vi è anche quella relativa all'aumento delle capacità delle celle: al momento infatti la maggior parte della produzione delle batterie al litio è assorbita dal mercato dell'elettronica di consumo per cui le celle prodotte sono di

taglia limitata (al massimo pochi Ah). Tuttavia, la prospettiva di impiego delle celle per la propulsione dei veicoli elettrici e nel sistema elettrico ha portato alcuni produttori a sviluppare celle di taglia medio-grande (dell'ordine della decina di Ah). Le batterie al litio sono sistemi ad elevata energia e pertanto devono essere trattate con la massima cura. Gli abusi elettrici, meccanici e termici possono determinare processi, come ad esempio la fuga termica, in grado di danneggiare la cella e, nel caso peggiore, di determinare anche la gassificazione e il rilascio di vapori infiammabili del solvente presente nell'elettrolita. Per tali motivi, le celle Li-Ion sono spesso dotate di BMS per la gestione delle grandezze di cella quali tensione, corrente, temperatura, il quale regola la carica ed interviene nel caso in cui i parametri di funzionamento superino i limiti prefissati. Inoltre, sempre per motivi di sicurezza le celle sono spesso dotate di contenitori metallici robusti. Le batterie litio-ioni hanno un'energia specifica che può arrivare fino a 180 Wh/kg, corrispondente a una densità di energia di 270 - 380 Wh/l (la più elevata tra tutti i sistemi di accumulo elettrochimici). Le celle litio ioni-polimeri hanno valori di energia specifica e densità di energia molto simili (140 - 150 Wh/kg), mentre la potenza specifica può arrivare a 2800 W/kg. Il rendimento energetico è molto elevato per entrambe le tecnologie, con valori fino al 95% in funzione dalle condizioni operative. Il tempo di vita in cicli delle celle è di 5000 cicli con una profondità di scarica del 100%, ed è legato con legge logaritmica alla profondità di scarica. L'aspetto più critico relativo alle celle litio-ioni riguarda il degrado generalmente subito da questi dispositivi nel tempo; tale degrado induce una progressiva riduzione della capacità della batteria rispetto ai dati di fabbrica, anche in assenza di cicli di carica/scarica. Il range di temperatura di lavoro per questo tipo di batterie è molto ampio, può andare da -30 °C (per alcune celle di tipo commerciale fino a -60 °C) fino a 60 °C (la temperatura consigliata è 30 °C). Per le batterie litio-ioni, le prestazioni possono essere riassunte come di seguito riportato:

Tabella 5 | Prestazioni degli accumulatori agli ioni di litio

Prestazioni Accumulatore agli ioni di litio	
Potenza specifica	1000-2000 W/kg
Energia specifica	100-200 Wh/kg
Efficienza energetica di carica/scarica	85-95 %
Durata	4000-5000 cicli
Vita calendariale	12-15 anni

- Le batterie Redox a circolazione di elettrolita sono in grado di accumulare energia elettrica in soluzioni elettrolitiche utilizzando reazioni accoppiate di ossidoriduzione in cui sia i reagenti sia i prodotti di reazione, in forma ionica, sono disciolti in soluzione (non necessariamente acquosa). Nella batteria Redox al vanadio (VRFB), la coppia Redox (coppia degli elementi chimici in cui avviene lo scambio di

elettroni) è costituita da vanadio in differenti stati di ossidazione, V^{3+}/V^{2+} all'elettrodo positivo e V^{5+}/V^{4+} a quello negativo, disciolti in una soluzione di acido solforico.

Il vanadio è un metallo usato nella tecnologia delle VRFB perché permette di sfruttare i suoi quattro differenti stati di ossidazione. Le soluzioni di vanadio sono però molto corrosive, per cui bisogna evitare il contatto degli elettroliti con le diverse parti metalliche dell'impianto. La progettazione degli strumenti di misura, le tubazioni, le pompe e i serbatoi deve essere realizzata tenendo conto di questo fattore: solitamente si usano materiali plastici come il cloruro di polivinile (PVC) per le tubazioni e i serbatoi e strumenti di misura specificatamente adatti e inerti al contatto diretto con la soluzione di vanadio. Le batterie a flusso sono composte da un nucleo detto stack, costituito da un certo numero di celle elementari formate da piastre intervallate dalla membrana di scambio ionico ed elettricamente collegate in serie. Gli elettroliti rimangono separati e fatti circolare, tramite pompe, nelle condutture dai serbatoi allo stack e ritorno. Le celle si possono collegare idraulicamente in due modi, parallelo o serie. Il collegamento più usato è il parallelo (parallel feeding). In questo caso si ha una portata volumetrica non perfettamente uguale in tutte le celle della batteria mentre si riducono di molto l'energia di pompaggio e le perdite di pressione. Lo stato di carica di ogni singola cella è uguale allo SoC dell'elettrolita contenuto nei serbatoi e l'equalizzazione delle celle non è necessaria. La canalizzazione, comune alle celle, crea delle correnti di shunt che riducono l'efficienza della batteria.

La temperatura influenza il funzionamento della batteria: temperature esterne al range 0-40°C possono creare problemi al sistema di circolazione dell'elettrolita. Le basse temperature addensano il liquido e la circolazione nello stack diventa difficoltosa, aumentando sensibilmente perdite di carico e costi di efficienza energetica. Al contrario, le alte temperature tendono a far precipitare i sali di vanadio, soprattutto quando la batteria è carica, ostruendo quindi i circuiti idraulici. La durata di vita della batteria è teoricamente illimitata, poiché gli elettrodi/elettroliti non partecipano direttamente alle reazioni di cella se non come portatori di elettroni. Ciò nonostante, fenomeni di leakage interno e degradazioni dei componenti concorrono inevitabilmente a limitare il tempo di vita dei dispositivi. Lo stack e le altre parti del sistema, possono essere sostituite nel corso della vita della batteria, è quindi possibile raggiungere una vita attesa di 10.000 cicli e oltre, corrispondenti a circa 20 anni di utilizzo continuativo. Per le batterie a flusso la vita utile è di 15-20 anni, le prestazioni possono essere riassunte come di seguito riportato:

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Tabella 6 | Prestazioni per le batterie a flusso

Prestazioni per le batterie a flusso	
Potenza specifica	75-150 W/kg
Energia specifica	15-60 Wh/kg
Efficienza energetica di carica/scarica	60-85 %
Durata	>15000 cicli



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. Q204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. OHS97

3 COSTI

Il livello di maturità tecnologica degli accumulatori elettrochimici varia in funzione della specifica tipologia di batteria. In generale, gli accumulatori elettrochimici, data l'ampia gamma di dimensioni in cui sono disponibili e la loro notevole flessibilità, occupano uno spazio significativo all'interno del mercato globale dei sistemi di accumulo. Le batterie al piombo-acido, nonostante abbiano raggiunto una buona maturità sia tecnologica che commerciale, sono ancora oggetto di attività di ricerca finalizzate a migliorarne le prestazioni. Si cerca in particolare di aumentare il tempo di vita della batteria studiando nuove tipologie di elettrodi, sulla stima dello stato di carica della batteria e sullo sviluppo di sistemi di gestione (Battery Management Interface – BMI) e diagnostica per semplificare e migliorare la gestione della batteria. Le batterie al piombo acido, il sistema di accumulo elettrochimico a TRL più elevato e con prezzo inferiore, risultano pesanti e ingombranti e, per tale ragione, stanno cedendo quote di mercato alle batterie agli ioni di litio. Queste ultime, seppure con un livello di maturità tecnologica leggermente inferiore, si stanno velocemente diffondendo nel settore delle applicazioni energetiche. Date le migliori prestazioni in termini di durata, efficienza e densità di energia, infatti, le batterie litio ioni rappresentano oggi il sistema di accumulo più diffuso. Il loro costo, che ad oggi non consente di classificarle come sistema competitivo dal punto di vista economico, si sta velocemente riducendo grazie alla diffusione su larga scala. Entrando nel dettaglio di quelle che sono le specifiche tecnologie di accumulatori ioni/litio, ovvero le batterie agli ioni di litio (1), celle litio-ioni-polimeri (2), celle litio metallo-polimeri (3), le prime, sono le più diffuse e tecnicamente mature.

Una stima dei costi per le principali tipologie di accumulo elettrochimico è di seguito riportata, nella quale sono riassunti, in particolare, i costi di installazione (espressi in euro/kWh) e i costi di Operation&Maintenance annuali (variabili e fissi). Per il calcolo dei costi di O&M variabili si è ipotizzato che il sistema compia un ciclo di scarica/carica giornaliero a DOD 80%.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Tabella 7 | Confronto tra i costi di diversi dispositivi di accumulo elettrochimici

Tecnologia	Costo di installazione (euro/kWh di capacità)	Costi O&M fissi (euro/kWh di capacità*anno)	Costi O&M variabili (euro/kWh scaricati*anno)
Piombo	300	15	0,087
Nichel/Cadmio	800	15	0,304
Nichel/metal idruri	800	15	0,304
Sodio/cloruro di nichel	560	10	0,034
Sodio/zolfo	500	10	0,031
Litio-ioni	500	10	0,023
Flusso di elettrolita al vanadio (VRB)	800	15	0,013



SR EN ISO 9001:2015
Certificate No. Q204



SR EN ISO 14001:2015
Certificate No. E145



SR EN ISO 45001:2018
Certificate No. OHS97

4 IMPATTO AMBIENTALE

L'impatto ambientale delle batterie connesso al fine vita dei sistemi di accumulo, come facilmente intuibile, è variabile con la tecnologia. Lo smaltimento degli accumulatori elettrochimici è obbligatorio e di responsabilità del produttore (o del system integrator); il costo dello smaltimento incide sul prezzo di vendita del prodotto e cambia in funzione della specifica tecnologia, come sinteticamente descritto di seguito:

- Le batterie al piombo hanno un costo di smaltimento molto ridotto, a fine vita devono essere conferite gratuitamente al COBAT (consorzio che gestisce il riciclo e lo smaltimento delle batterie), e vengono riciclate quasi interamente (si riesce a recuperare oltre il 90% del materiale costituente la batteria, che può essere riutilizzato per costruirne altre).
- La tecnologia nichel/cadmio è quella con il peggior impatto ambientale, in quanto il cadmio è un materiale altamente inquinante, e per questo motivo è in parte stata sostituita dalle batterie nichel/metal idruri.
- Per le batterie litio ioni sono state sviluppate procedure di riciclaggio dei materiali strategici di cui sono costituite, come le terre rare, i metalli e lo stesso litio che non sono però ancora applicate diffusamente data la scarsa convenienza economica connessa al recupero. Risulta, anche per questo tipo di batterie, ovviamente, obbligatorio il conferimento al produttore o al COBAT per la gestione del processo. Le batterie a flusso di elettrolita al vanadio sono composte prevalentemente da materiali plastici (stack, tubature dell'impianto idraulico, serbatoi) completamente riciclabili. Lo smaltimento dell'elettrolita, che contiene una concentrazione di acido solforico leggermente inferiore rispetto all'accumulatore al piombo, deve seguire le modalità di trattamento dei rifiuti speciali. Tutti gli altri materiali che costituiscono il sistema si possono riciclare.

5 SOLUZIONE ADOTTATA

Gli storage elettrochimici sono caratterizzati da una dinamica di sviluppo in crescita come "servizi di rete" con il crescente volume di investimenti per "batterie" da impiegarsi per il controllo e la stabilizzazione delle infrastrutture di trasmissione e distribuzione. La tecnologia più promettente, per le applicazioni di accumulo distribuito di taglia piccola-media, è quella delle batterie agli ioni di litio che, come già detto, presenta una vita attesa molto lunga (fino a 5000 cicli di carica/ scarica a DOD 80%), un rendimento energetico significativamente alto (generalmente superiore al 90%), elevata energia specifica. Queste batterie lavorano bene sia in potenza che in energia, risultando adatte quindi a coprire quasi tutte le applicazioni, sia quelle tradizionali, sia quelle a supporto del sistema elettrico, e sono le più utilizzate per la trazione elettrica. Le caratteristiche delle batterie litio-ioni in termini di prestazioni relative alla potenza specifica, energia specifica, efficienza e durata, rendono queste tecnologie di accumulo particolarmente interessanti per le applicazioni "in potenza" e per il settore dell'automotive. Attualmente è in corso una rilevante attività di ricerca nel settore degli accumulatori al litio, ad esempio, avendo una densità di potenza molto alta e una vita attesa lunga possono essere impiegate in applicazioni di Power Quality. Altri settori di utilizzo possono essere le telecomunicazioni, UPS, in accoppiamento con generatori a fonte rinnovabile e in generale nei casi in cui è necessario ridurre gli spazi, dal momento che hanno una densità di energia e di potenza molto elevate. Le batterie litio-ione sono installate in container per facilitarne il trasporto. Il sistema è stato progettato per essere utilizzato per la regolazione della frequenza e per compensare le fluttuazioni della potenza in presenza di generatori eolici.

Ogni "assemblato batterie" è gestito, controllato e monitorato, in termini di parametri elettrici e termici, dal proprio sistema BMS (Battery Management System – Sistema di controllo batterie). La configurazione finale del sistema BESS, in termini di numero di sistemi di conversione e di numero di moduli batteria, sarà effettuata in funzione delle scelte progettuali che verranno condivise con il fornitore del sistema. La principale struttura che caratterizza l'intervento in esame è costituita dai container che ospiteranno i moduli batterie, i moduli PCS e i servizi ausiliari. La struttura dei containers sarà del tipo autoportante metallica, per stazionamento all'aperto, costruita in profilati e pannelli coibentati. La struttura consentirà il trasporto, nonché la posa in opera in un unico blocco sui supporti, con tutte le apparecchiature già installate a bordo e senza che sia necessario procedere allo smontaggio delle varie parti costituenti il singolo container. L'unica eccezione riguarderà i moduli batteria, che se necessario, saranno smontati e trasportati a parte. Le interazioni di questi componenti con l'atmosfera sono praticamente irrilevanti. Le batterie sono sigillate e posizionate all'interno dei container metallici. Anche durante la fase di cantiere non saranno presenti significativi interazioni con l'atmosfera. Il cantiere prevede prevalentemente l'utilizzo di mezzi di sollevamento

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

e la realizzazione di montaggi elettromeccanici. Le attività di scavo sono limitate alla realizzazione dei cunicoli cavi e delle fondazioni dei container.

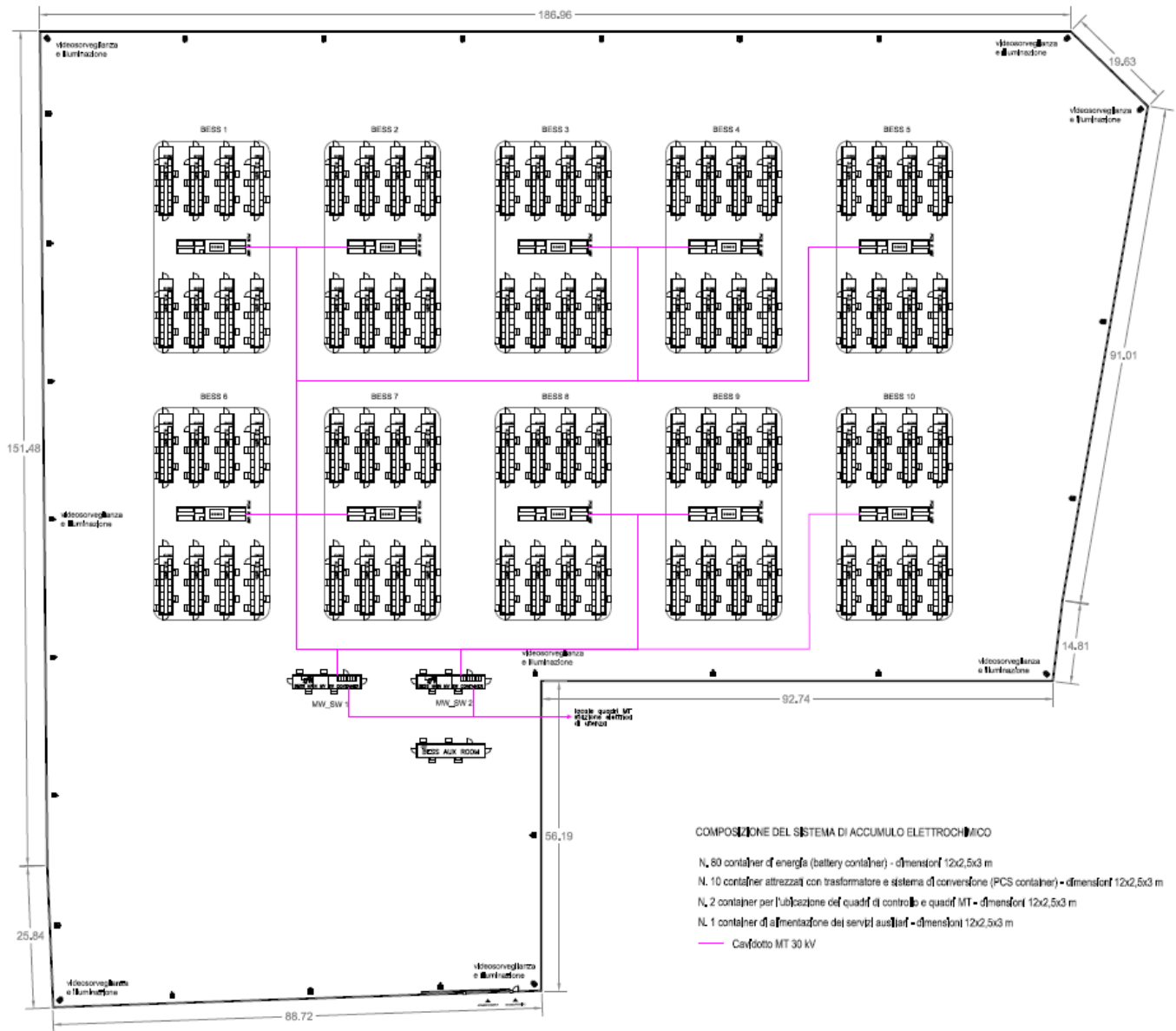
L'impianto di accumulo di energia in progetto è formato complessivamente dai seguenti container delle dimensioni di 12x2,5x3 m:

- n. 80 container di energia della capacità di 2,5 MWh;
- n. 10 container di conversione e trasformazione;
- n. 2 container contenenti i quadri di controllo e i quadri MT;
- n. 1 container per l'ubicazione del trasformatore e del quadro MT/BT che fornirà l'alimentazione elettrica agli impianti ausiliari.



Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

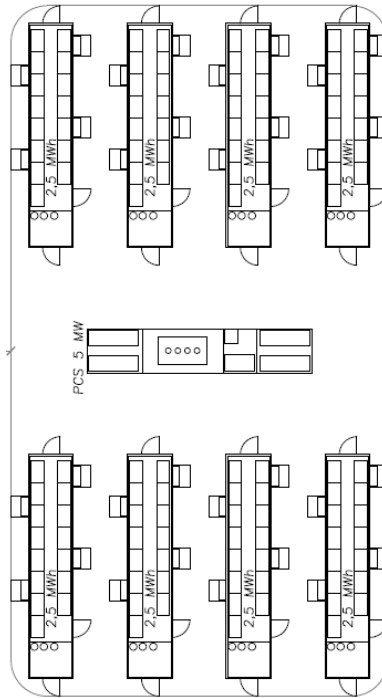
Figura 1 | Planimetria del sistema BESS



L'impianto è distribuito su 10 sottosistemi dotate ciascuna di n. 8 container batterie e n. 1 container di trasformazione e conversione, il trasformatore MT/BT ha una potenza di 5 MW, il quale sarà connesso ai quadri elettrici della cabina di sezionamento attraverso cavi HEPRZ1 18/30 kV 3x1x150 mm² posati in cavidotto.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Figura 2 | Sottosistema BESS



Le cabine costituite dai quadri elettrici di sezionamento saranno connesse alla stazione elettrica utente 36/30 kV mediante cavidotto HEPRZ1 18/30 kV 3x1x630 mm².

I tratti di elettrodotto interrato interni all'impianto saranno costituiti da terne composte da 3 cavi unipolari realizzati con conduttore in alluminio, isolante in XLPE, schermatura in rame e guaina esterna in polietilene.

Ciascuna terna avrà le seguenti caratteristiche elettriche:

Tabella 8 | Caratteristiche tecniche cavo HEPRZ1

CARATTERISTICHE CAVO HEPRZ1 18/30 kV	
Tensione di esercizio U _o /U - U _m (kV)	18/30 - 36
Frequenza nominale (Hz)	50
Temperatura massima di esercizio (°C)	105
Temperatura minima di esercizio (°C)	-15
Temperatura massima di cortocircuito (°C)	250
Temperatura del terreno (°C)	25
Raggio minimo di curvatura (mm)	15 D (D=Diametro esterno)

5.1 COMPARAZIONE TECNOLOGIE

In relazione alla scelta della tecnologia delle batterie si rappresenta che la scelta della tecnologia al litio è legata ad una serie di vantaggi rispetto alle altre tecnologie.

In particolare, in termini di stabilizzazione della tensione durante la fase di scarica le batterie al piombo hanno una decrescita di tensione che viene influenzata dal valore della corrente di scarica, invece le batterie al litio sono in grado di mantenere una tensione quasi costante per tutto il ciclo di scarica.

In relazione ai picchi di energia richiesta, premesso che se ad una batteria è richiesta un'energia elevata, la batteria scenderà istantaneamente di tensione e risalirà quando il carico pesante viene spento, si evidenzia come:

- Nelle batterie al piombo il calo di tensione è notevole e in alcuni casi può causare spegnimenti e commutazioni indesiderate.
- Le batterie al litio, invece, hanno una maggiore stabilità ed efficienza poiché il calo di tensione è minore a parità di energia richiesta

L'utilizzo di batterie al litio consente inoltre di eliminare la formazione di sostanze pericolose durante la fase di ricarica, infatti, le batterie al piombo vengono ricaricate tramite una reazione chimica che avviene al loro interno e che produce emissioni potenzialmente pericolose, per questa ragione devono essere ricaricate in locali appositi, definiti "sale ricariche". Inoltre, nelle fasi di ricarica le batterie si surriscaldano facendo evaporare l'acqua presente al loro interno: è quindi necessario provvedere a riempire nuovamente l'acqua regolarmente.

Le batterie al litio, invece, sono prive di emissioni e quindi la ricarica può essere effettuata in qualunque luogo. Per di più, questa tipologia di batterie non necessita di alcun tipo di manutenzione o riempimento.

In termini di costi di installazione e gestione si mette in evidenza che:

- le batterie al litio sono più leggere e meno ingombranti di quelle al piombo, ciò consente quindi di minimizzare i volumi degli shelter atti a contenere le batterie e più in generale la superficie occupata dalle strutture con conseguente riduzione di costi. Inoltre, il minor peso delle batterie riduce sia i costi di trasporto che di sostituzione delle batterie.
- per quanto attiene il costo delle batterie se si valuta solamente il prezzo d'acquisto delle due tipologie di batterie, la batteria al piombo sembra notevolmente più conveniente, costando circa quattro volte meno di una batteria al litio; tuttavia, il costo effettivo di ogni kWh nell'arco di vita di una batteria varia decisamente in quanto le batterie al litio hanno durata di vita circa 4/5 volte superiore a quelle al

piombo. In conclusione, si può indicativamente asserire che il costo del kWh erogato da una batteria al litio è di circa il 25% inferiore rispetto a quello erogato da batterie al piombo.

Per quanto riguarda la valutazione di batterie al nichel-cadmio si è a priori escluso l'utilizzo di tale tecnologia a causa dell'elevata tossicità del cadmio, che comporterebbe una complessa gestione del fine vita delle batterie. In ogni caso, le batterie al litio presentano caratteristiche tecniche migliori rispetto a quelle al NiCd che, nel caso teorico di una valutazione di fattibilità, avrebbero comunque ricondotto a scegliere la tecnologia al litio. In particolare:

- le batterie al Ni-Cd, a differenza delle batterie al litio hanno un effetto memoria ed hanno una capacità specifica inferiore della stessa dimensione. In particolare, nel caso di batterie NiCd, carichi discontinui come quello che caratterizza gli accumuli elettrochimici per regolazione delle reti di energia, possono provocare una perdita della capacità di carica sino al 30%. Questo effetto non si verifica con le batterie agli ioni di litio. La batteria agli ioni di litio può essere caricata in qualsiasi momento indipendentemente dal livello di carico, senza danneggiare le cellule;
- Le batterie agli ioni di litio hanno una maggiore densità di energia e quindi a parità di potenza e capacità di carica possono pesare, mediamente il 40% di meno di batterie al NiCd;
- premesso che i sistemi di accumulo elettrolitici in oggetto intervengono sulla rete con cicli non programmabili diventa rilevante anche minimizzare la perdita di capacità delle batterie dovuta ai periodi di inattività. Da questo punto di vista le batterie al litio offrono performance notevolmente superiori rispetto alle batterie al NiCd, in particolare si può considerare che le batterie al litio presentano correnti di auto scarica indicativamente pari al 25% rispetto a quelle alle batterie al NiCd con conseguente limitazione dei costi di esercizio.

Nella tabella seguente si riassumono le principali caratteristiche delle varie tipologie di batterie:

Tabella 9 | Caratteristiche principali degli accumulatori

SPECIFICA	PIOMBO-ACIDO	Ni-Cd	LITIO-FOSFATO
Energia Specifica (Wh/kg)	30-50	40-80	90-120
Resistenza interna	molto bassa	molto bassa	molto bassa
N° di cicli (Profondità di scarica 80%)	200-300	1000	1000-2000
Tempo di ricarica	8-16h	1-2h	1-2h
Auto scarica mensile	5%	20%	<5%
Requisiti di manutenzione	3-6 mesi	Scarica ogni 90 giorni	Nessun intervento
Impatto ambientale	Molto elevato	Molto elevato	Molto elevato
Efficienza	~ 90%	~70% - carica lenta	~ 99%

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

~ 90% - carica veloce

Si precisa infine che i dati tecnici forniti sono indicativi e che la configurazione finale del sistema di accumulo elettrolitico in termini di numero di sistemi di conversione e di numero di moduli batteria, sarà effettuata in funzione delle scelte progettuali che verranno condivise con il fornitore del sistema, così come il numero di container in cui sono alloggiare le batterie.

21

5.2 DISMISSIONE

Il processo di decommissioning, riciclaggio e smaltimento dei materiali costituenti il sistema BESS sarà attuato in conformità alle leggi nazionali, europee ed internazionali vigenti (tra le quali European Directive on batteries and accumulators 2006/66/EC), assicurandone il rispetto anche nel caso di modifiche e/o integrazioni di quest'ultime dal momento in cui l'impianto verrà messo in esercizio.

Il fornitore del sistema BESS fornirà idonea documentazione nella quale verranno descritte le modalità gestionali e gli aspetti di sicurezza.

Dal 1° gennaio 2009, in virtù del D.Lgs. 188, datato 20 novembre 2008, è stato esteso in Italia l'obbligo di recupero delle pile e degli accumulatori non basati sull'uso di piombo bensì sull'impiego di altri metalli o composti. Tale decreto recepisce e rende effettiva la direttiva europea 2006/66/CE.

A fine vita il sistema di accumulo sarà disassemblato e, in conformità alle leggi vigenti, trasportato verso un centro autorizzato di raccolta e riciclaggio.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

6 SCHEMA DEL SISTEMA BESS

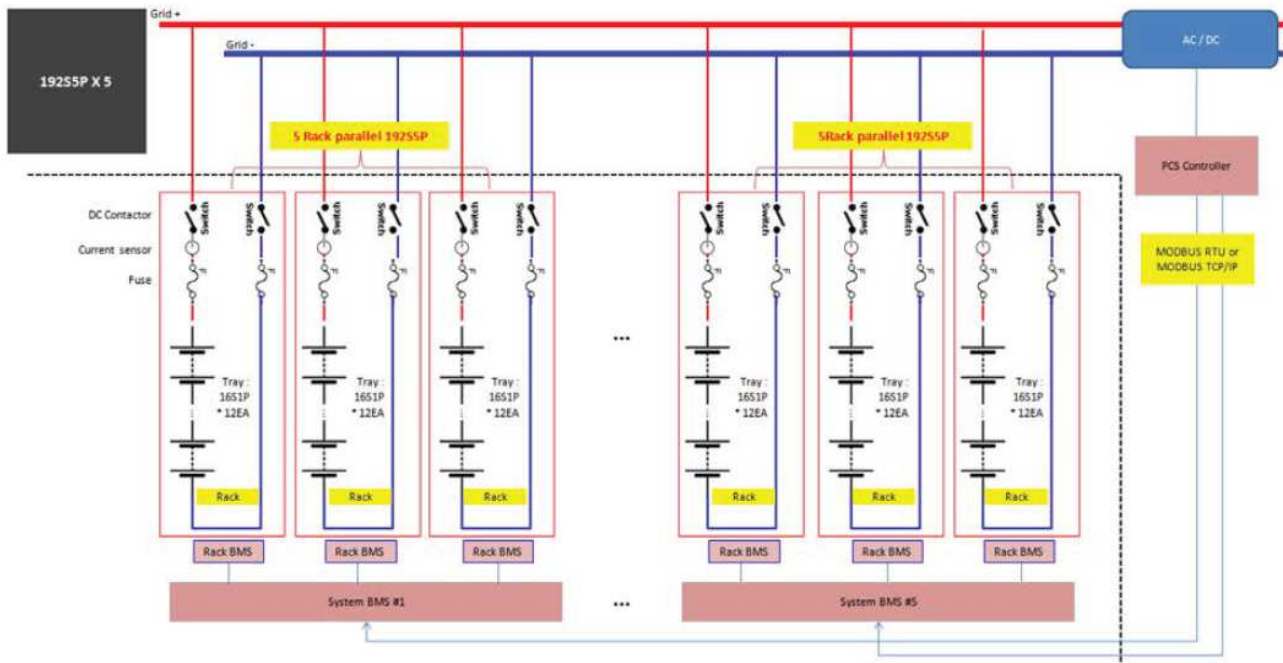
Nel caso specifico saranno utilizzati accumulatori a ioni di litio (LMO) che permettono di ottenere elevate potenze specifiche in rapporto alla capacità nominale.

Le batterie sono alloggiati all'interno di container e sono raggruppate in stringhe da 192 elementi ciascuna. Le stringhe vengono messe in parallelo e associate a ciascun PCS attraverso un Power Center che consente l'interfaccia con il PCS.

Le batterie sono di tipo ermetico e sono in grado di resistere, ad involucro integro, a sollecitazioni termiche elevate ed alla fiamma diretta. Esse non costituiscono aggravio al carico di incendio.

Nella figura seguente è riportato lo schema unifilare semplificato di una stringa di batterie.

Figura 3 | Schema unifilare semplificato di una stringa di batterie



Data la specificità del sistema di accumulo considerato, che prevede una interfaccia in corrente alternata, lo schema di inserzione considera l'inserimento del sistema di accumulo in corrente alternata sul corrispondente quadro di arrivo nel locale MT dell'edificio di stazione utente.

Progetto dell'impianto eolico denominato "Serra della Croce" della potenza complessiva di 48 MW con storage da 50 MW da realizzare nei Comuni di Stigliano (MT) e Aliano (MT).

Si ritiene opportuno precisare che la norma stabilisce che è necessario prevedere che l'impianto stesso sia in grado, se richiesto, di gestire il monitoraggio da remoto dei flussi energetici e/o il telecomando del sistema di accumulo a seguito di segnali inviati dal Distributore.



7 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 186/1968 "Regola dell'arte" negli impianti elettrici;
- D.M. 37/2008 Attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici;
- Norma CEI 64-8 parte 4 Prescrizioni per la sicurezza;
- Norma CEI 64-8 parte 5 Scelta ed installazione dei componenti elettrici;
- Norme CEI 64-50 Guida per l'integrazione nell'edificio degli impianti elettrici utilizzatori, ausiliari e similari;
- Norma CEI 99-2 – "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata – PARTE 1: Prescrizioni comuni". Norma contiene le prescrizioni generali per la progettazione e per la costruzione di impianti elettrici in sistemi con tensione nominale superiore a 1 kV, nonché le prescrizioni per la protezione contro gli incendi;
- CEI EN 60076 - 1 Trasformatori di potenza - Parte 1: Generalità;
- CEI EN 60076 - 2 Trasformatori di potenza - Parte 2: Riscaldamento;
- CEI EN 60076 - 3 Trasformatori di potenza - Parte 3: Livelli d'isolamento, prove dielettriche e distanze isolanti in aria;
- CEI EN 60076 - 4 Trasformatori di potenza - Parte 4: Guida per l'esecuzione di prove con impulsi atmosferici e di manovra;
- CEI EN 60076 - 5 Trasformatori di potenza - Parte 5: Capacità di tenuta al cortocircuito;
- CEI EN 60076 - 6 Trasformatori di potenza – Parte 6: Reattori;
- CEI EN 60076 - 10 Trasformatori di potenza - Parte 10: Determinazione dei livelli di rumore;
- CEI EN 60296 Fluidi per applicazioni elettrotecniche - Oli minerali isolanti nuovi per trasformatori e per apparecchiature elettriche;
- CEI EN 61100 Classificazione dei liquidi isolanti in base al punto di combustione ed al potere calorifico inferiore.