

REGIONE SARDEGNA
PROVINCE DI ORISTANO E NUORO
Suni(OR) - Sindia (NU) - Macomer (NU)

LOCALITA' "S'ena e Cheos ", "Tiruddone", "Ferralzos"

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE EOLICA E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE - 7 AEROGENERATORI

Sezione 9:

RELAZIONI SPECIALISTICHE

Titolo elaborato:

RELAZIONE SUL SISTEMA BESS

N. Elaborato: 9.14

Scala: -

Proponente

ORTA ENERGY 9 Srl

Largo Guido Donegani, 2
CAP 20121 Milano (MI)
P.Iva 11898400962

Amministratore

Francesco DOLZANI

Progettazione



sede legale e operativa

San Martino Sannita (BN) Loc. Chianarile snc Area Industriale

sede operativa

Lucera (FG) via A. La Cava 114

P.IVA 01465940623

Azienda con sistema gestione qualità Certificato N. 50 100 11873



Progettista


Dott. Ing. Nicola Forte



Rev.	Data	Elaborazione	Approvazione	Emissione	DESCRIZIONE
00	LUGLIO 2023	MF sigla	FDM sigla	NF sigla	Emissione progetto definitivo
Nome File sorgente	ES.SUN01.PD.9.14.R00.doc	Nome file stampa	ES.SUN01.PD.9.14.R00.pdf	Formato di stampa	A4

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	NOMINATIVA DI RIFERIMENTO	3
2.1	Acronimi	4
3	TECNOLOGIE DI ACCUMULO ENERGETICO.....	5
3.1	Accumulo elettrico.....	5
3.2	Tecnologie elettrochimiche	8
3.2.1	Batterie alta temperatura	10
3.2.2	Accumulatori al piombo/acido.....	11
3.2.3	Accumulatori ioni/litio	12
3.2.4	Batterie a circolazione di elettrolita – batterie a flusso	15
3.3	Ambito di applicazione	19
3.4	Costi	21
3.5	Impatto ambientale.....	23
3.6	Vantaggi e svantaggi.....	24
4	SISTEMA BESS.....	27
4.1	Configurazione impiantistica	27
4.2	Container batterie.....	29
4.3	Sistema di conversione PCS.....	30
4.4	Layout del BESS	32
4.5	Schema di esercizio del BESS.....	33
5	DIMENSIONAMENTO E DATI TECNICI DEL BESS	37
6	VITA UTILE SISTEMA BESS	41

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 2 di 41
---	----------------------------------	--	---

1 PREMESSA

Il progetto riguarda la realizzazione di un impianto eolico costituito da 7 aerogeneratori della potenza di 6 MW ciascuno, per una potenza di 42 MW, integrato con un sistema di accumulo con batterie agli ioni da 20 MW, per una potenza complessiva in immissione di 62 MW da installare nel comune di Suni (OR) e Sindia (NU) alle località "S'ena e Cheos", "Tiruddone" e "Ferralzos", con opere di connessione alla rete di trasmissione nazionale ricadenti nel comune Macomer (NU) alla località "Mura de Putzu". Proponente dell'iniziativa è la società Orta Energy 9 srl.

Il sito di installazione degli aerogeneratori è ubicato tra i centri abitati di Suni e Sindia, dai quali gli aerogeneratori più prossimi distano rispettivamente 4,5 km e 2,5 km.

Gli aerogeneratori sono collegati tra loro mediante un cavidotto in media tensione interrato denominato "cavidotto interno" che sarà posato quasi totalmente al di sotto di viabilità esistente e che giunge fino alla cabina di raccolta, prevista nel comune di Sindia alla località "Piena Porcalzos" nei pressi della strada comunale Miali Spina.

Dalla cabina di raccolta parte il tracciato del cavidotto interrato in media tensione "esterno", che corre su strada esistente e che, dopo circa 19 km, raggiunge la stazione elettrica di trasformazione 30/150 kV di progetto (in breve SE di utenza).

La SE di utenza, infine, è collegata in antenna a 150 kV sulla sezione a 150 kV della futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 380/150 kV della RTN da inserire in entra-esce alla linea a 380 kV "Ittiri - Selargius".

All'interno della stazione di utenza è prevista l'installazione di un sistema di accumulo di energia denominato BESS - Battery Energy Storage System, basato su tecnologia elettrochimica a ioni di litio, comprendente gli elementi di accumulo, il sistema di conversione DC/AC e il sistema di elevazione con trasformatore e quadro di interfaccia. Il sistema di accumulo è dimensionato per 20 MW con soluzione containerizzata, composto sostanzialmente da:


- 16 Container metallici Batterie HC ISO con relativi sistemi di comando e controllo;
- 8 Container metallici PCS HC ISO per le unità inverter completi di quadri servizi ausiliari e relativi pannelli di controllo e trasformazione BT/MT.

Completano il quadro delle opere da realizzare una serie di adeguamenti temporanei alle strade esistenti necessari a consentire il passaggio dei mezzi eccezionali di trasporto delle strutture costituenti gli aerogeneratori.

In fase di realizzazione dell'impianto sarà necessario predisporre un'area logistica di cantiere con le funzioni di stoccaggio materiali e strutture, ricovero mezzi, disposizione dei baraccamenti necessari alle maestranze (fornitore degli aerogeneratori, costruttore delle opere civili ed elettriche) e alle figure deputate al controllo della realizzazione (Committenza dei lavori, Direzione Lavori, Coordinatore della Sicurezza in fase di esecuzione, Collaudatore).

Al termine dei lavori di costruzione dell'impianto, le aree di cantiere, le opere temporanee di adeguamento della viabilità e quelle funzionali alla realizzazione dell'impianto saranno rimosse ed i luoghi saranno ripristinati come ante operam.


La presente relazione descrive la configurazione del sistema BESS.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 3 di 41
---	----------------------------------	--	---

2 NOMINATIVA DI RIFERIMENTO


Si farà sempre riferimento all'ultima versione in vigore delle direttive e delle norme CEI, EN, IEC, IEEE, CENELEC, UL, UNI, ISO, ecc. applicabili con le relative integrazioni o variazioni. Di seguito è riportato un elenco non esaustivo di standard e documenti applicabili:

- CdR Codice di trasmissione, dispacciamento, sviluppo e sicurezza della rete, Terna;
- CEI 0-16, e successive varianti, Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti AT ed MT delle imprese distributrici di energia elettrica;
- CEI 211-6 Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 Hz, con riferimento all'esposizione umana;
- CEI EN 50522 Messa a terra degli impianti elettrici a tensione superiore a 1 kV in c.a.;
- CEI EN 60076-10 Determinazione dei livelli sonori dei trasformatori di potenza;
- CEI EN 61000-6-2 Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-2: Norme generiche - Immunità per gli ambienti industriali;
- CEI EN 61000-6-4 Compatibilità elettromagnetica (EMC) - Parte 6-4: Norme generiche - Emissione per gli ambienti industriali;
- CEI EN 61936-1 Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in c.a. – Parte 1: Prescrizioni comuni;
- IEC 60502-2 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ($U_m = 1,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV) - Part 2: Cables for rated voltages from 6 kV ($U_m = 7,2$ kV) up to 30 kV ($U_m = 36$ kV);
- IEC 62933-1 Electrical energy storage (EES) systems - Part 1 Vocabulary;
- IEC 62933-2-1 Electrical energy storage (EES) systems - Part 2-1 Unit parameters and testing methods - General specification;
- IEC 62933-3-1 Electrical energy storage (EES) systems - Part 3-1 Planning and performance assessment of electrical energy storage systems - General specification;
- IEC 62933-4-1 Electrical energy storage (EES) systems - Part 4-1 Guidance on environmental issues - General specification;
- IEC 62933-5-1 Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-1 Safety considerations for grid-integrated EES systems - General specification;
- IEC 62933-5-2 Electrical energy storage (EES) systems - Part 5-2 Safety requirements for grid-integrated EES systems - Electrochemicalbased systems.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 4 di 41
---	----------------------------------	--	---

2.1 Acronimi

- BESS: Battery Energy Storage System – Sistema di accumulo di energia;
- PCS: Power Conversion System – Sistema di conversione della corrente (AC-DC e viceversa);
- BMS: Battery Management System – Sistema di controllo batterie;
- EMS: Energy Management System;
- SCI: Sistema di Controllo Integrato;
- SoC: State of Charge - Stato di Carica – rappresenta il rapporto tra energia immagazzinata nel sistema e la rispettiva energia nominale;
- SoH: State of Health – Stato di efficienza – rappresenta lo stato della batteria rispetto alle condizioni ideali;
- MSDS: Material Safety Data Sheet – Scheda tecnica di sicurezza;
- MSD: Mercato dei Servizi di Dispacciamento;
- ES: Capacità nominale del sistema BESS;
- TSO: Transmission System Operator (TERNA);
- BoL: Begin of life;
- Eol: End of life.
- Phashor Measurement Unit (PMU);
- Unità Periferica per il Distacco e Monitoraggio (UPDM).

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 5 di 41
---	----------------------------------	--	---

3 TECNOLOGIE DI ACCUMULO ENERGETICO

In questo capitolo, verranno descritte le varie tecnologie di accumulo di energia elettrica possibili in tutti i sottosistemi principali.

3.1 Accumulo elettrico

L'utilizzo di tecnologie di accumulo di energia elettrica è in generale possibile in tutti i sottosistemi principali che realizzano i sistemi elettrici nazionali (generazione, trasmissione, distribuzione) e nelle relative utenze finali. L'utilizzo di tali tecnologie, poi, trova anche applicazione nei sistemi elettrici isolati o organizzati in minigrig e, spesso, sono anche di vitale importanza in architetture organizzate in microgrid. In linea di principio, come ai più noto, le tecnologie in esame possono essere definite come tecnologie che consentono l'immagazzinamento di energia elettrica, sotto una diversa forma di energia potenziale, così da riaverla disponibile quando e, in alcuni casi anche dove, ve ne sia necessità.


Parafrasando la definizione del GSE, un sistema di accumulo elettrico include dispositivi funzionali all'assorbimento e al rilascio dell'energia elettrica e le apparecchiature per l'implementazione delle logiche di gestione e controllo tali da consentire un funzionamento continuativo del sistema di accumulo interfacciato con opportune tecnologie in parallelo alla restante parte del sistema elettrico al quale è connesso.

Spesso, l'interconnessione alla restante parte del sistema avviene con una rete che in Italia, di norma, è una rete con obbligo di connessione di terzi e, in tal caso, il sistema di accumulo, è in grado di comportare un'alterazione dei profili di scambio con la rete elettrica (immissione e/o prelievo).

Le tecnologie per l'accumulo elettrico comprendono una vasta categoria di dispositivi. Una classificazione dei sistemi di accumulo frequentemente adottata in letteratura fa riferimento alla specifica forma di energia e distingue i sistemi di accumulo in:

- Accumulo elettrochimico (batterie al piombo acido, agli ioni di litio, zebra, nichel-metallo idruro ecc.);
- Accumulo di tipo meccanico (accumulo ad aria compressa CAES, volani meccanici ad alta e bassa velocità, bacini idroelettrici di pompaggio);
- Accumulo di tipo elettrostatico (supercondensatori);
- Accumulo di tipo elettromagnetico (superconductive magnetic energy storage - SMES);
- Accumulo di tipo chimico (idrogeno).

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:

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 6 di 41
---	----------------------------------	--	---

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

Un confronto tra l'incidenza dei principali parametri prestazionali rispetto al totale per le tipologie di accumulo più diffuso è di seguito riportato in Figura 1.

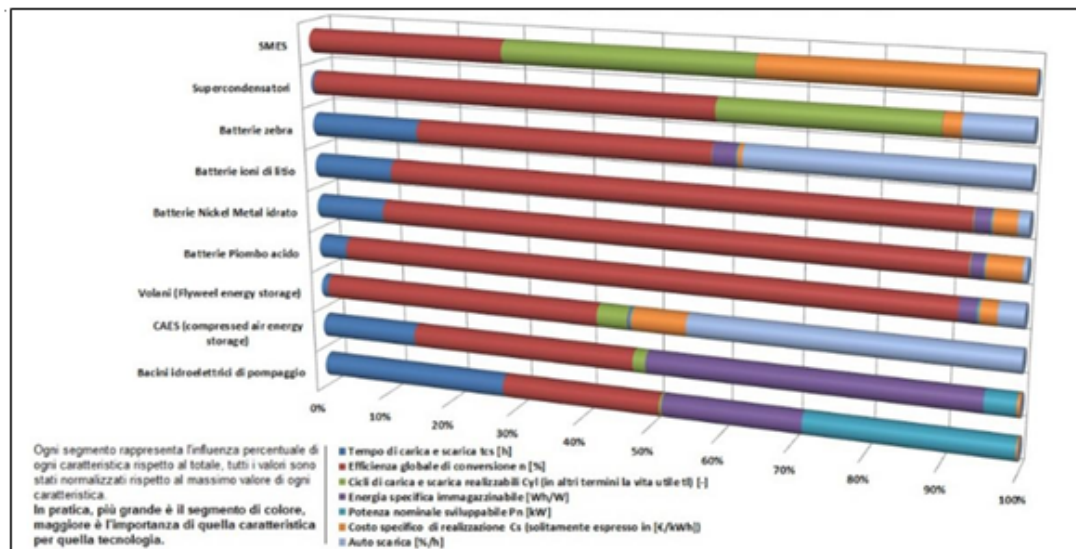


Figura 1 - Incidenza dei principali parametri prestazionali rispetto al totale per le tipologie di accumulo più diffuse.

A integrazione dei parametri prestazionali già richiamati, un elemento certamente rilevante ai fini della scelta di un sistema di accumulo riguarda la particolare tipologia di applicazione. I sistemi di accumulo, infatti, sono generalmente scelti in base alla funzione cui sono chiamati ad assolvere. Per applicazioni che richiedono elevati scambi di potenza con la rete elettrica per brevi periodi di tempo, ad esempio, sarà necessario ricorrere a **tecnologie di accumulo che lavorano in potenza**; mentre si sceglieranno **tecnologie che lavorano in energia** ove sia richiesto l'accumulo di grandi quantità di potenza per periodi temporali più lunghi. Più in dettaglio, le principali applicazioni, tipicamente richieste ai sistemi di accumulo, si possono raggruppare nelle tre macro-categorie di seguito sinteticamente descritte.

- **Applicazioni di accumulo di brevissima (power quality, energy recovery system, UPS):** comprendono i sistemi di accumulo in grado di intervenire in brevissimo tempo, anche se con livelli di potenza limitati, a supporto della qualità della tensione di utenze privilegiate. Ricadono in questa categoria anche i sistemi di accumulo in grado di immettere/prelevare grandi quantità di energia per periodi molto limitati (es. recupero di energia in frenata nei veicoli elettrici). Fanno parte di questa categoria i supercondensatori ad alta potenza e gli SMES, tecnologie caratterizzate da bassi livelli di energia totale accumulabile e costi per kWh ancora elevati.
- **Applicazioni di supporto ai transitori di rete,** per lo spostamento di carico/produzione e il conseguente incremento dell'autoconsumo. Questa categoria di accumulo è quella in maggiore espansione, includendo quei sistemi di accumulo che compiono funzioni principalmente di load shifting (es. il sistema di accumulo abbinato ad un impianto a fonte rinnovabile consente di autoconsumare l'energia prodotta e accumulata, durante le ore di disponibilità della fonte, in ore in cui tale fonte non è disponibile ma è presente il carico). Ricadono in questa categoria anche applicazioni energy intensive come l'installazione nelle reti di distribuzione e di trasmissione di batterie ZEBRA atte a livellare i picchi di produzione (tipicamente da parchi eolici) o di domanda di carico a seguito di mancanza di produzione.

- **Applicazioni a supporto della rete.** Rientrano in questa categoria, le installazioni di grande potenza a supporto della regolazione della rete in tensione e in frequenza. Svolgono quindi un ruolo analogo a quello offerto dagli impianti termoelettrici tradizionali. Ad oggi, si utilizzano in tal senso, esclusivamente i bacini di pompaggio e più raramente i sistemi CAES. È evidente che il notevole impatto in termini paesaggistici e territoriali di questo tipo di impianti di accumulo rallenta la costruzione di nuove installazioni e, conseguentemente, l'espansione del mercato.

A conclusione di quanto finora richiamato, si riporta, in Figura 2, una sintesi delle principali funzioni assolte dai sistemi di accumulo elettrico.

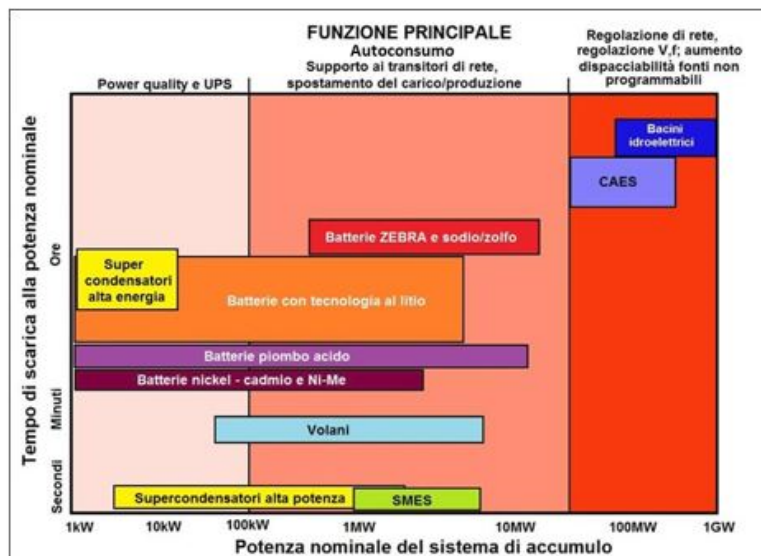



Figura 2 - Confronto tra sistemi di accumulo elettrico in funzione di potenza nominale e tempo di scarica alla potenza nominale.

Nel prosieguo del capitolo si riporta una descrizione della tipologia di accumulo elettrochimico.

3.2 Tecnologie elettrochimiche

Gli accumulatori elettrochimici, noti anche come batterie, 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. Tali sistemi si differenziano dalle comuni pile primarie in quanto presentano una reazione di conversione dell'energia di tipo reversibile e, pertanto, sono denominati batterie secondarie per distinguerle da quelle primarie in cui la reazione di ossidoriduzione può procedere solo in una direzione (processo di sola scarica). 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

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 9 di 41
---	----------------------------------	--	---

e dell'ordine di pochi volt, 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;
- Le 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;
- **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

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 10 di 41
---	----------------------------------	--	--

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 80%
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 vanadio (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.

3.2.1 Batterie alta temperatura

Le batterie ad alta temperatura comprendono le batterie sodio/zolfo e quelle sodio/cloruro di nichel (ZEBRA-Zero Emission Battery Research Activities). 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 seguente (Tabella 2).


	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 11 di 41
---	----------------------------------	--	--

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

3.2.2 Accumulatori al piombo/acido

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).

La forza elettromotrice (FEM) delle celle al piombo acido è nominalmente di 2 V. Il suo valore effettivo 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 parassiteche 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 (per l'avviamento di motori a combustione interna) 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

3.2.3 Accumulatori ioni/litio

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 costituito dal costo elevato determinato dalla 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):

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 Density					
Cell costs advantage					
Lifetime					
BESS performance					
Advantages	-good properties combination -can be tailored for high power or high energy -stable thermal profile -can operate at high voltages	-low cost due to manganese abundance -very good thermal stability -very good power capability	-very good energy and good power capability -good cycle life in newer systems -long storage calendar life	-very good thermal stability -very good cycle life -very good power capability -low costs	-very good thermal stability -long cycle lifetime -high rate discharge capability -no solid electrolyte interphase issues
Disadvantages	-patent issues in some countries	-moderate cycle life insufficient for some applications -low energy performance	-moderate charged state thermal stability which can reduce safety -capacity can fade at temperature 40-70°C	-lower energy density due to lower cell voltage	-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 Dehanna, 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. Le reazioni elettrochimiche variano a seconda delle diverse tipologie di cella. In tal senso, la tensione a circuito aperto è di 3.6-3.85 V.

Tra le principali tipologie di accumulatori ioni/litio si annoverano:

- batterie agli ioni di litio
- celle litio-ioni-polimeri
- celle litio metallo-polimeri

Le prime, comunemente dette litio-ioni, sono le più diffuse e tecnicamente mature. In commercio sono disponibili batterie di piccola taglia (da frazioni di Ah fino alla decina di Ah) che sono diventate uno standard consolidato per l'alimentazione di piccoli elettrodomestici portatili (telefoni cellulari, cordless, laptop, ecc.), mentre le celle di taglia maggiore sono prodotte in misura limitata e per applicazioni specifiche.

Inoltre, si stanno diffondendo anche le celle litio-ioni-polimeri, che hanno un elettrolita solido di tipo polimerico e presentano minori rischi in termini di sicurezza.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 14 di 41
---	----------------------------------	--	--

Le celle relative alla terza tipologia dell'elenco appena riportato, in cui il litio è in forma metallica e allo stato liquido, presentano uno sviluppo ancora limitato in quanto sono caratterizzate da maggiori problemi di sicurezza e al momento non sono commercialmente disponibili.

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 celle litio-ioni polimeri, sviluppate agli inizi del 1999, hanno una struttura analoga a quella delle celle litio-ioni ma sono caratterizzate dall'utilizzo di elettroliti solidi, dove gli ioni-litio migrano attraverso un polimero composto solido (ossido di polietilene, poliacrilonile). A differenza delle celle litio-ioni, che sono contenute in contenitori rigidi in metallo, le celle polimeriche hanno una struttura a fogli flessibili, spesso pieghevoli (laminato polimerico). Esse, proprio perché costituite da film plastici flessibili, si adattano a tutte le forme richieste per i vari dispositivi elettronici e consentono un processo di manifattura più semplice e in prospettiva meno costoso. Inoltre, le celle polimeriche sono avvantaggiate da uno spessore minore rispetto a quello delle celle litio-ioni. Infine, le celle polimeriche sono generalmente considerate più sicure delle litio-ioni perché il loro elettrolita gelificato, meno reattivo di quello liquido, non viene rilasciato anche nelle eventualità di sovraccariche e sovrascariche. Pertanto, anche la minore necessità di controllo le rende competitive dal punto di vista economico.


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% dipendentemente dalle condizioni operative. Il tempo di vita in cicli delle celle è di 500 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.

Ten Project

Sede legale ed operativa: Località Chianarile snc Area Industriale - 82010 San Martino Sannita (BN) - **Sede Operativa:** Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 15 di 41
---	----------------------------------	--	--

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

3.2.4 Batterie a circolazione di elettrolita – batterie a flusso

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.

La cella elementare di una batteria VRFB (Figura 3) è costituita dalla membrana di scambio ionico (lo stesso tipo di membrana utilizzata nelle celle a combustibile PEM (pila a combustibile con membrana a scambio protonico), dagli elettrodi e dalle piastre bipolari. La membrana permette il passaggio degli ioni H^+ e separa l'elettrolita positivo dal negativo. La molecola di acido solforico H_2SO_4 si scinde negli ioni H^+ e SO_4^{2-} . Lo ione H^+ sostituisce quello della pellicola di scambio ionico e viene quindi immesso nell'altro elettrolita. La f.e.m. di una cella elementare è di 1.26 V.

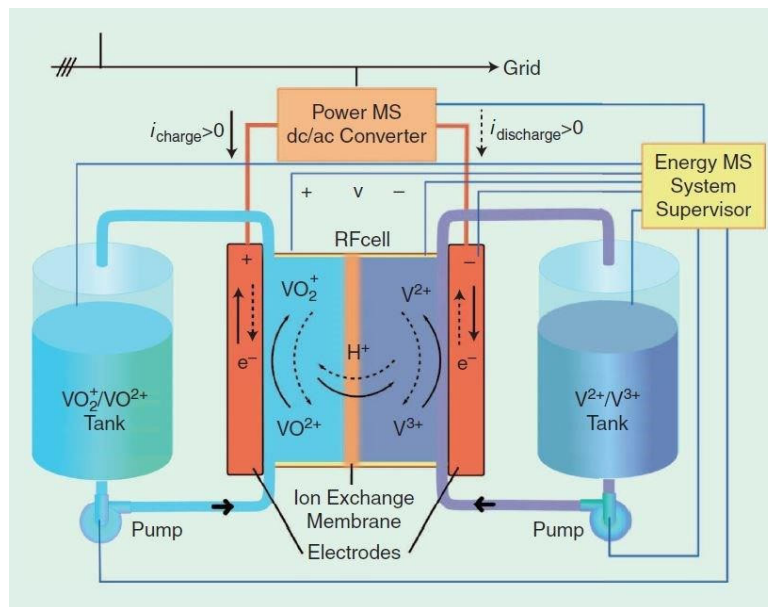


Figura 3 - Principio di funzionamento di una batteria VRFB (immagine dal Web)

Il vanadio è un metallo raro e di transizione, 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 (figura 4) 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.

Il collegamento in serie (series feeding) delle celle comporta un dispendio maggiore di energia per la circolazione dell'elettrolita mentre vengono evitate le correnti di shunt. In tal caso, una piccola ostruzione dei condotti idraulici in alcuni punti cruciali potrebbe bloccare la circolazione per tutta la batteria.

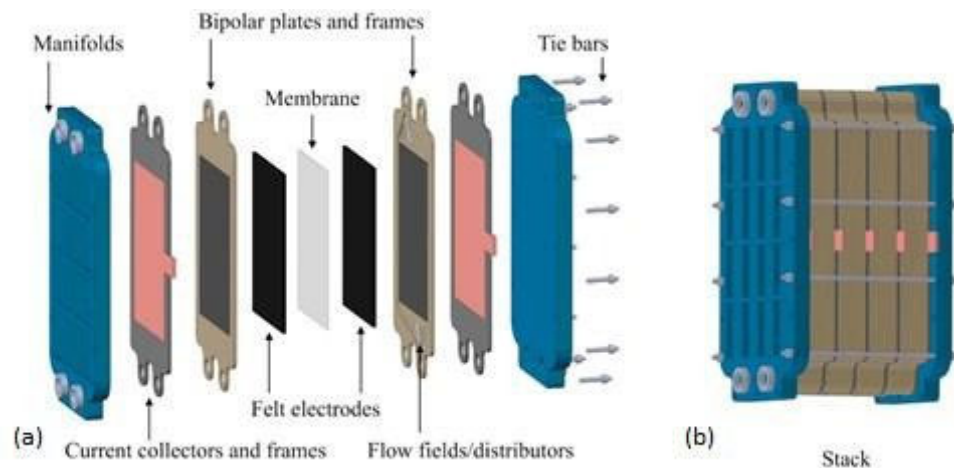


Figura 4 - Rappresentazione schematica dello stack di una batteria a flusso (immagine dal Web)

Questo tipo di membrane vengono chiamate membrane cationiche o a scambio di protoni. La rottura della membrana porterebbe ad un rimescolamento dei due elettroliti provocando la perdita della carica elettrica che si trasformerebbe completamente in calore.

La **membrana** deve avere una bassa resistività ohmica, sufficiente resistenza meccanica e alta selettività ionica. In questo senso, essa deve possedere elevata permeabilità protonica ma bassa permeabilità ionica rispetto al vanadio. Risulta inoltre necessaria un'elevata stabilità chimica allo ione di V(V) altamente ossidante e presente nella semi-cella positiva ad elevati stati di carica. Le membrane hanno costi elevati che possono raggiungere il 40% del prezzo totale dello stack.


L'**elettrodo** è il punto dove avviene la reazione redox all'interno di ogni singola cella, deve avere una adeguata resistenza meccanica e modulo elastico, un'area attiva il più elevata possibile, una resistenza ohmica bassa, la capacità di mantenere uniforme il potenziale e di lavorare a elevate densità di corrente (500 mA/cm^2), una buona stabilità chimica e resistenza all'ossidazione dovuta all'elevata corrosività degli ioni di vanadio.

Attualmente gli elettrodi maggiormente impiegati nelle VRFB sono a tecnologia al carbonio, grazie alla elevata stabilità chimica, alle proprietà elettriche intrinseche e al costo adeguato.

I feltri porosi al carbonio sono i più usati, permettendo lo scorrimento del flusso d'elettrolita attraverso una matrice solida porosa attiva elettrochimicamente. Gli elettrodi metallici sono stati sperimentati ma la membrana deve permettere il passaggio degli ioni di idrogeno per sostenere la reazione redox, e presentano numerose problematiche che compromettono l'efficienza della batteria, oltre a risultare più costosi.

La batteria è integrata da un sistema che verifica la richiesta energetica in funzione della quale gestisce le pompe, mantiene sotto controllo la tensione e la temperatura nei vari punti dello stack e gestisce il sistema di raffreddamento.

In queste batterie la potenza e la capacità energetica sono disaccoppiate. La potenza dipende dal flusso delle pompe e la superficie delle membrane (area di scambio), mentre la capacità energetica dalla capienza dei serbatoi. A tal proposito, per aumentare la capacità energetica è sufficiente aumentare le dimensioni dei serbatoi.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 18 di 41
---	----------------------------------	--	--

La batteria si adatta anche a carichi che richiedono tempi di risposta rapidi (ordine dei ms) risultando quindi una tecnologia idonea anche per prestazioni in potenza. Questa tecnologia presenta una bassa densità sia di potenza che energetica, i valori di 100 W/kg e 15-25 Wh/kg non sono elevati se confrontati con altre tecnologie come il litio. Tuttavia, per le soluzioni stazionarie ciò potrebbe non essere un problema critico.

Oltre alla tecnologia basata sulla chimica del vanadio, batterie a flusso Zn-Br risultano performanti e tecnologicamente mature. Queste sono batterie a flusso ibride nelle quali una soluzione di bromuro di zinco (ZnBr₂) presente in entrambi i serbatoi permette la reazione di ossidoriduzione. Durante la scarica, zinco metallico viene elettrodeposto sull'elettrodo negativo. Il potenziale di cella risulta pari a 1.67 V e commercialmente tali batterie raggiungono, a seconda dello specifico produttore, densità energetiche in un range di 29-45 Wh/kg.

L'efficienza è condizionata dalle modalità di gestione delle pompe, con i moderni inverter di controllo i motori vengono fatti lavorare a velocità adatte alle esigenze del momento aumentandone sensibilmente l'efficienza del sistema. La batteria può essere scaricata fino ad azzerare la tensione, ma l'inverter di interfacciamento alla rete esige una tensione minima di lavoro che di fatto diventa la tensione minima 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. Ciononostante, 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, le prestazioni possono essere riassunte come di seguito riportate.

Tabella 6 - Prestazioni per le batterie a flusso

Prestazioni 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 di carica/scarica
Vita calendariale	15-20 anni

Informazioni su ulteriori parametri prestazionali su questo tipo di celle sono fornite nella tabella seguente


	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 19 di 41
---	----------------------------------	---	--

Tabella 7 - Parametri prestazionali tipici delle celle VRFB


Parametro	U.M.	Valore Tipico	Note
Tensione nominale di cella	V	1,25	
Capacità delle celle in commercio	Ah	--	
Efficienza amperometrica	%	80 ÷ 90	
Vita attesa	n° cicli	10.000	
Autoscarica mensile	%	0 ÷ 100	Se il sistema è fermo le soluzioni sono separate e non si ha autoscarica; se il sistema è in stand-by e si ha il flussaggio degli elettroliti, la batteria si autoscarica completamente in pochi giorni
Regime di scarica tipico	A	C/10 1C	Esistono due tipologie di sistemi, per applicazioni in energia e per applicazioni in potenza
Massima corrente in scarica e ricarica	A	1C	
Intervallo di temperatura di lavoro	°C	0 ÷ 40	
Ausiliari	Pompe per la circolazione dell'elettrolita, sistema di riscaldamento e di raffreddamento dell'elettrolita, sistema di controllo e monitoraggio, inverter. I sistemi in commercio sono sempre completi di inverter per l'interfacciamento in rete.		

3.3 Ambito di applicazione

Per gli accumulatori elettrochimici può essere effettuata una classificazione anche in base al potenziale ambito applicativo corrispondente a ciascuna categoria, come riportato in tabella

Tabella 8 - Categoria di accumulatori elettrochimici per campo di applicazione

Categoria Accumulatori	Campo di Applicazione
Stazionari	Sistemi di generazione distribuita e nelle applicazioni di sicurezza ed emergenza
Per trazione	Propulsione di veicoli elettrici
Per avviamento	Comuni batterie installate sui veicoli e adottate nell'avviamento del motore a combustione interna e nei servizi ausiliari dove si richiede energia elettrica

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 20 di 41
---	----------------------------------	--	--

Gli storage elettrochimici sono caratterizzati da una dinamica di sviluppo in crescita, sia a livello residenziale, con la diffusione a livello globale di “batterie” per usi domestici, sia 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, concentrata sullo sviluppo di nuovi materiali di cella e di batterie di taglia maggiore (decine di kWh), per impieghi in particolare nella trazione elettrica. Le applicazioni in ambito stazionario sono al momento limitate, ma le prestazioni offerte da questa tipologia di batterie le rendono molto interessanti anche in questo campo. 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


Un esempio di applicazione di batterie litio-ione nello stazionario è uno Static Var Compensator (ABB / SAFT batteries) che ha una potenza massima di 600 kW e svolge funzioni di controllo attivo della tensione e della potenza di rete e mitiga le variazioni rapide del carico e della generazione. Il sistema è equipaggiato con 8 moduli in serie di celle litio-ioni, ciascuno da 646 V/41 Ah.

Un esempio di applicazione delle batterie litio-ioni in accoppiamento con fonti rinnovabili è fornito dal sistema sviluppato da Mitsubishi Heavy Industries e da Kyushu Electric Power Co, in collaborazione con la New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO).

Negli Stati Uniti, l’AES corporation ha realizzato un sistema prototipale comprendente una batteria realizzata con moduli di 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.

Due sistemi, per una capacità complessiva di 500 kWh, sono stati installati e sottoposti a sperimentazione in una sottostazione di proprietà della Indianapolis Power&Light (IPL).

Le batterie ad alta temperatura, in considerazione delle specifiche caratteristiche tecniche di riciclabilità, sicurezza e indipendenza dalla temperatura, rappresentano una alternativa di interesse per le applicazioni stazionarie. Le batterie sodio-zolfo sono utilizzate per servizi di rete da 20 anni. La maggior parte degli impianti ha dimensioni comprese fra 1 e 10 MW. Poiché operano a una temperatura di 300-350° C, non sono indicate per un uso domestico. Gli ambiti di applicazione sono quelli dei servizi di supporto alla rete e dello stoccaggio quotidiano.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 21 di 41
---	----------------------------------	--	--


Le batterie al piombo/acido, grazie al loro prezzo contenuto e all'elevata reperibilità delle materie prime, sono al primo posto tra le tecnologie adoperate, trovando celle litio-ioni con anodo al titanato di litio della Altairnano, dimensionata per soddisfare un carico da 1 MW per 15 minuti (250 kWh), integrata con un convertitore elettronico e un sistema di controllo, il tutto installato in un container

largo impiego come UPS, batterie per auto, equipaggiamento di strumentazione in combinazione con impianti fotovoltaici o eolici. Esse rappresentano il concetto di batteria ricaricabile più comune e sono state ampiamente usate in veicoli con motori a combustione convenzionali, benché non siano ampiamente usate per alimentare veicoli elettrici. L'uso degli accumulatori ermetici, inizialmente limitato alle installazioni in armadio per gli UPS, si è esteso anche ad altre installazioni stazionarie, come servizi di sicurezza ed emergenza o nel campo telefonico.

Le batterie a flusso sono particolarmente idonee allo stoccaggio in rete su larga scala, grazie alla loro capacità di accumulare grandi quantitativi di energia in maniera più efficace rispetto a molte altre tecnologie. Queste tecnologie potranno, quindi, essere impiegate per applicazione di servizi di supporto alla rete.

3.4 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. Unica eccezione è rappresentata dalle batterie ad alta temperatura che attualmente sono diffuse solo in Giappone e Svizzera. 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 (Livello di Maturità Tecnologica) 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 per il fotovoltaico residenziale e per le applicazioni connesse ai veicoli elettrici. 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 , celle litio-ioni-polimeri , celle litio metallo-polimeri, le prime, sono le più diffuse e tecnicamente mature. In commercio sono disponibili batterie di piccola taglia (da frazioni di Ah fino alla decina di Ah) che sono diventate uno standard consolidato per l'alimentazione di piccoli elettrodomestici portatili (telefoni cellulari, cordless, laptop, ecc.), mentre le celle di taglia maggiore sono prodotte in misura limitata e per applicazioni specifiche. Inoltre, si stanno diffondendo anche le celle litio-ioni-polimeri, che hanno un elettrolita solido di tipo polimerico e presentano minori rischi in

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 22 di 41
---	----------------------------------	--	--

termini di sicurezza. Le celle relative alla terza tipologia dell'elenco appena riportato, in cui il litio è in forma metallica e allo stato liquido, presentano uno sviluppo ancora limitato in quanto sono caratterizzate da maggiori problemi di sicurezza e al momento non sono commercialmente disponibili.


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 a flusso, relativamente giovani e con un livello di maturità tecnologica inferiore rispetto alle batterie al piombo e al litio, risultano ancora poco diffuse nel settore delle applicazioni di interesse del presente progetto. L'elevato tempo di vita associato a questo tipo di batterie le rende però una tecnologia estremamente interessante e, per questo, oggetto di numerosi studi. Grazie ai progressi tecnologici, ci si attende una riduzione dei costi di circa 2/3 al 2030.

Una stima dei costi per le principali tipologie di accumulo elettrochimico è di seguito riportata in tabella seguente, 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 DDOD 80%.

Tabella 9 - 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

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 23 di 41
---	----------------------------------	--	--

3.5 Impatto ambientale

Il processo di smantellamento, riciclaggio e smaltimento dei materiali costituenti il sistema di accumulo verrà 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 di accumulo fornirà idonea documentazione nella quale verranno descritte le modalità gestionali e tecniche del processo di riciclaggio e smaltimento nonché le relative tempistiche 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 alle pile e agli 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.


In particolare, 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.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 24 di 41
---	----------------------------------	--	--


3.6 Vantaggi e svantaggi

In generale, uno dei punti deboli per i sistemi di accumulo elettrochimici, è la velocità di carica e scarica; infatti, le batterie non possono essere caricate o scaricate a qualsiasi potenza, ma devono essere rispettati precisi parametri di corrente (soprattutto per le batterie al litio), oltrepassati i quali le celle subirebbero dei danni irreversibili fino al pericolo di esplosione. Un secondo problema è la degradazione nel tempo, trattandosi di accumulatori elettrochimici il degrado è presente perché correlato al tempo, indipendentemente dalle ore di utilizzo che ne riduce il numero di cicli di carica/scarica. Un altro problema meno impattante ma comunque vincolante è la temperatura di lavoro, le batterie al litio, per citare un esempio specifico di interesse, non possono lavorare a temperature inferiori a 0°C.

In Tabella 10 si riportano vantaggi e svantaggi per ciascuna tecnologia di accumulo elettrochimico.


Tabella 10 - Vantaggi e Svantaggi per le tecnologie di accumulo elettrochimico

TECNOLOGIA	VANTAGGI	SVANTAGGI
Litio-Ioni	<p>Vita Utile >4000 cicli di carica/scarica</p> <p><i>Shelf Life</i> molto alta. Possono rimanere stoccate in magazzino per lunghi periodi</p> <p>Buona capacità di mantenere la carica iniziale anche in caso di mancato utilizzo</p> <p>Alto tasso di utilizzo in scarica a corrente continua di 5C e impulsiva fino a 25C</p> <p>Capacità che vanno da 100m Ah a 200m Ah che le rende utilizzabili in diverse applicazioni</p> <p>Tempi di ricarica relativamente brevi</p>	<p>Si degradano se scaricate al di sotto di una tensione di 2V</p> <p>Perdono in maniera permanente le loro capacità con temperature superiori ai 65°C</p> <p>Soffrono gli sbalzi di temperatura</p> <p>Poteniale rischio di esplosione in caso di sovraccarico o se sottoposte a temperature molto alte</p> <p>Elevato impatto ambientale rispetto ad altre tecnologie</p> <p>Sensibilità al prezzo di mercato di elementi naturali rari</p>
Piombo/acido	<p>Buona efficienza energetica, oltre il 70%</p> <p>Buone performance se utilizzate con alti livelli di scarica</p> <p>Ampia gamma nelle temperature di utilizzo, da -40°C a +60°C</p> <p>Tensione di cella singola sufficientemente elevata</p> <p>Diverse possibilità per l'indicazione dello stato di carica</p> <p>Facile produzione in grandi volumi</p> <p>Esistenza di tipologie con ridotto o assente bisogno di manutenzione</p> <p>Basso costo</p>	<p>Vita utile relativamente breve se confrontata con le altre soluzioni di accumulo</p> <p>Peso elevato, proprio per il materiale con cui sono fabbricate (piombo)</p> <p>Bassa densità energetica (30-40 Wh/kg)</p> <p>Rischio di danneggiamento irreversibile a causa della solfatazione</p> <p>Alto contenuto di piombo, arsenico ed antimonio, molto pericolosi per la salute</p> <p>Necessità di trattare i rifiuti in modo adeguato e differenziato</p> <p>Grosse difficoltà nella produzione di batterie di piccola capacità</p> <p>Alte correnti di corto circuito che possono danneggiare irrimediabilmente la batteria</p>
Alta Temperatura	<p>Soluzione ecologica e flessibile per numerose applicazioni</p> <p>Componentistica completamente riciclabile</p>	<p>Limitate applicazioni, prevalentemente sull'arete</p> <p>Alte temperature di funzionamento</p> <p>Diffusione ancora limitata ma prospettive</p>

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 26 di 41
---	----------------------------------	--	--

	<p>Non necessario un sistema di raffreddamento</p> <p>Notevole resistenza agli sbalzi di temperatura</p>	<p>incoraggianti (USA, Giappone)</p>
<p>Batterie a circolazione di elettrolita</p>	<p>Disaccoppiamento di potenza ed energia, perché l'energia è determinata solamente dall'capienza dei serbatoi</p> <p>Soluzione economica per stoccare l'energia alivello di rete</p> <p>Numero indefinito di cicli di carica/scarica</p> <p>Efficienza elevata</p> <p>Carica facile e veloce della batteria mediante semplice sostituzione dell'elettrolita</p> <p>Vita utile > 20 anni</p> <p>Manutenzione bassa/inesistente</p> <p>Facilità di monitoraggio dello stato di caricadelle celle</p> <p>Costo per kWh in diminuzione all'aumentaredello stoccaggio</p> <p>Miglioramento, sotto il profilo costi/kWh, dei costi di manutenzione e di durata nei confronti della tradizionale batteria al piombo</p>	<p>Non adatte ad applicazioni di piccola taglia, per le quali il litio rimane la tecnologia diriferimento</p> <p>Ingombri notevoli</p> <p>Rapporto Energia/Volume relativamente basso</p> <p>Sistema di complessità maggiore dei classiciaccumulatori</p>

In base all'analisi sulle tecnologie di accumulo, descritte nei paragrafi precedenti; la scelta progettuale per il sistema BESS si basa sulla tecnologia elettrochimica in particolare l'accumulatori ioni/litio.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 27 di 41
---	----------------------------------	--	--

4 SISTEMA BESS

4.1 Configurazione impiantistica

Il progetto prevede l'installazione di un sistema di accumulo elettrochimico utilizzando celle elettrolitiche a ioni di Litio (tecnologia FePO₄) assemblate in moduli e quindi in rack, uniti tra loro ed atti a costituire soluzioni modulari di batterie. I rack, assemblati in appositi armadi elettricamente collegati tra loro, determinano i valori di potenza, tensione e corrente previsti dallo specifico design.

Il BESS sarà costituito dai seguenti componenti:

- N° 16 container 45FT contenenti i rack di moduli di celle. Ogni container contiene un sistema di management delle assemblate batterie (BMS);
- N°8 power station MT PCS (ognuno associato a N°2 container batterie) con le apparecchiature elettriche di potenza e controllo (quadri, equipaggiamenti e cavidotti BT DC, sistemi di conversione DC/AC e trasformazione BT/ MT, quadri MT e BT, equipaggiamenti e cavidotti MT, sistemi di protezione e misura ecc.) figura 5;
- Quadri di arrivo e protezione MT dai N°8 PCS, la trasformazione MT/BT per l'alimentazione dei servizi ausiliari del sistema BESS, il sistema misure dell'energia scambiata dal sistema BESS, il quadro di partenza verso la trasformazione MT/AT, tutti posti all'interno dell'edificio previsto nella nell'area BESS della stazione elettrica di trasformazione, dove troveranno collocazione anche il sistema di management dell'insieme degli 8 PCS (EMS);
- il sistema BESS condividerà con l'impianto eolico una nuova stazione di trasformazione MT/AT (30/220 kV) alla futura stazione elettrica RTN 220 kV;
Il collegamento in AT 220 kV sulla RTN (a cui si riferirà il PMU ed identificativo del Punto di Verifica) sarà dotato di misure in AT, le misure dei flussi di potenza scambiati dal sistema BESS effettuate in MT e quelle dell'impianto eolico effettuate in MT saranno ricondotte al punto di connessione in AT sulla RTN mediante opportuni algoritmi.

I containers batterie, le power station PCS, e la componentistica ausiliaria saranno installati su fondazioni in calcestruzzo armato e rispondenti alle prescrizioni tecniche dei fornitori e nel rispetto delle condizioni ambientali richieste. Ogni container batterie e le power station saranno fornite già assemblate e perfettamente funzionanti direttamente dal produttore e saranno dotate di sistema rilevazione incendi, impianto di spegnimento automatico a gas, sistema antintrusione, sistema di emergenza, impianto di condizionamento. Inoltre, per motivi di sicurezza le celle sono spesso dotate di contenitori metallici robusti; pertanto, con tale tecnologia, non saranno previste cadute accidentali di liquidi inquinanti nella rete di acque meteoriche.

I container batterie previsti in fornitura saranno di tipo metallico con struttura realizzata ad hoc per ospitare i rack batterie; lo stesso vale per le power station saranno di tipo metallico con struttura realizzata ad hoc per ospitare l'inverter, trasformatore MT/BT, quadri MT e quadri BT.

La carpenteria verrà realizzata su progetto personalizzato e comprenderà: pannelli esterni grecati e sandwich metallici per le coibentazioni delle pareti perimetrali; controtelaio e supporto per gli allestimenti delle

Ten Project

Sede legale ed operativa: Località Chianarile snc Area Industriale - 82010 San Martino Sannita (BN) - Sede Operativa: Via Alfonso la Cava 114 - 71036 Lucera (FG)

apparecchiature interne; pavimento sopraelevato ed asportabile; portelloni con maniglione antipanico; parete superiore in sandwich coibentato idoneo per installazione impianti tecnologici (luci, fem, rilevazione incendi, ecc.); ciclo di verniciatura idoneo per ambienti marini.

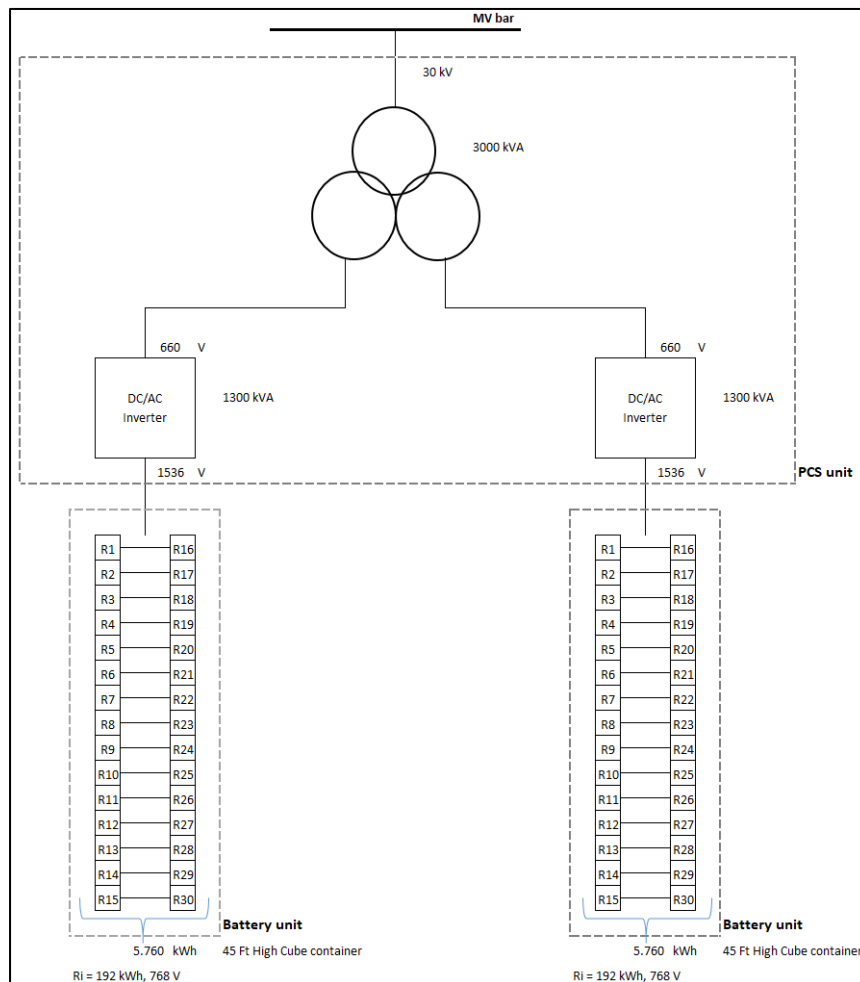


Figura 5 - Rappresentazione schematica circuitale del modulo costituente il BESS (n°8 moduli previsti)

Il BESS sarà fornito di tutti i cavi energia BT, MT, segnalazione e controllo nonché cavi in fibra ottica necessari per collegare tra loro tutti i sottosistemi e per collegare il BESS al punto di connessione.

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, così come il numero di container, in relazione alla potenza richiesta.

La soluzione impiantistica potrà subire adattamenti, non essenziali, dovuti alla successiva fase di progettazione esecutiva e di cantierizzazione, anche in funzione delle soluzioni tecnologiche adottate dai fornitori e/o appaltatori.

4.2 Container batterie

Ogni singolo container batterie è del tipo standard ISO da 45FT con accessibilità dall'esterno e provvisto di impianti di condizionamento e di rilevazione e spegnimento incendi nel quale vengono alloggiati n° 30 rack per una capacità totale pari a 5,76 MWh (100% SOC, BoL). All'interno di ogni singolo container sarà presente il sistema di gestione e controllo delle batterie BMS. Nella figura 6 sottostante il disegno del singolo modulo.



Figura 6 – Modulo container batterie.

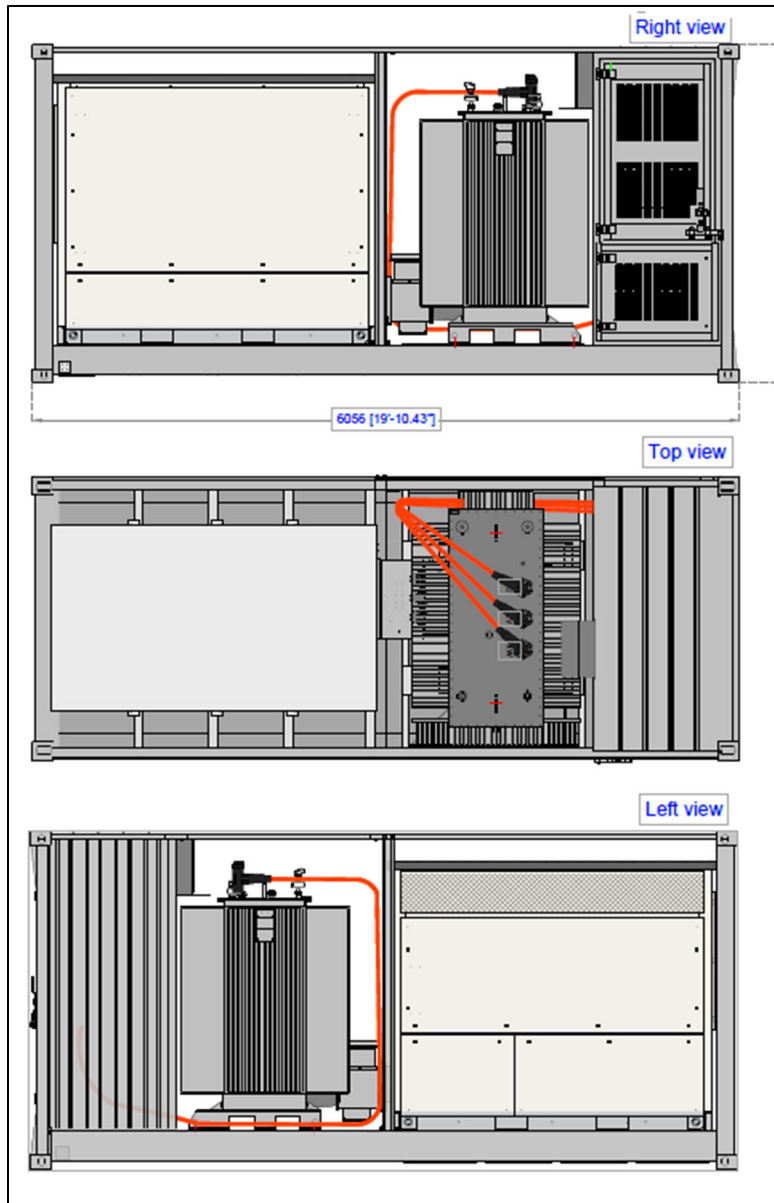
In figura 7, si riportano le caratteristiche tecniche delle celle moduli e rack considerati nel progetto del sistema BESS.

Item		Cell	Module	Rack Type 1	Rack Type 2	Rack Type 3
Type No.		FE125A	51.2NESP250	512125141	512125166	512125192
Cell Capacity	Ah	130	250	250	250	130
Energy	kWh	0.416	12.8	141	166	192
Nominal Volt	V	3.2	51.2	563.2	665.6	768.0
Minimum Volt	V	2.5	44.8	492.8	582.4	672.0
Maximum Volt	V	3.8	57.6	633.6	748.8	864.0
Dimension (W×D×H)	mm	130*36*240	400*602*265	500*650*1860 (2pcs)	500*650*2130 (2pcs)	500*650*2400 (2pcs)
Weight	kg	2.35	94	1372	1586	1798
Allowed C-Rate	C	1	1	0.5		
Recommended C-Rate	C	0.5	0.5	0.5		
Operation Temperature Range	Discharge	-20 to 60°C	-20 to 55°C	-20 to 55°C		
	Charge	0 to 60°C	-0 to 55°C	-0 to 55°C		
	Store	0 to 40°C	-0 to 40°C	-0 to 40°C		
Recommended Operation Temperature Range	Discharge	15 to 35°C	15 to 30°C	15 to 30°C		
	Charge	15 to 35°C	15 to 30°C	15 to 30°C		
	Store	15 to 30°C	15 to 30°C	15 to 30°C		
Humidity	%	5%-95%	5%-95%	5%-95%		

Figura 7 – Caratteristiche tecniche delle celle, moduli e rack selezionati (costruttore NARADA)

4.3 Sistema di conversione PCS

Per la parte PCS-MT destinata a convertire l'alimentazione da DC delle batterie ad AC verso rete è prevista una soluzione assemblata tipo power station ad hoc per installazione outdoor e provvista di PCS costituito da inverter da 2,60 MVA collegato a trasformatore MT/BT da 3,0 MVA e provvisto di opportuna cella di media tensione, quadro BT. Nella figura 8 sottostante si riportano i disegni del tipico power station.

**Figura 8 – Power Station PCS.**

4.4 Layout del BESS

Si riporta in figura 9 seguente il layout previsto con collocazione nell'area dei N°16 container ospitanti le batterie ed i N°8 power station PCS.

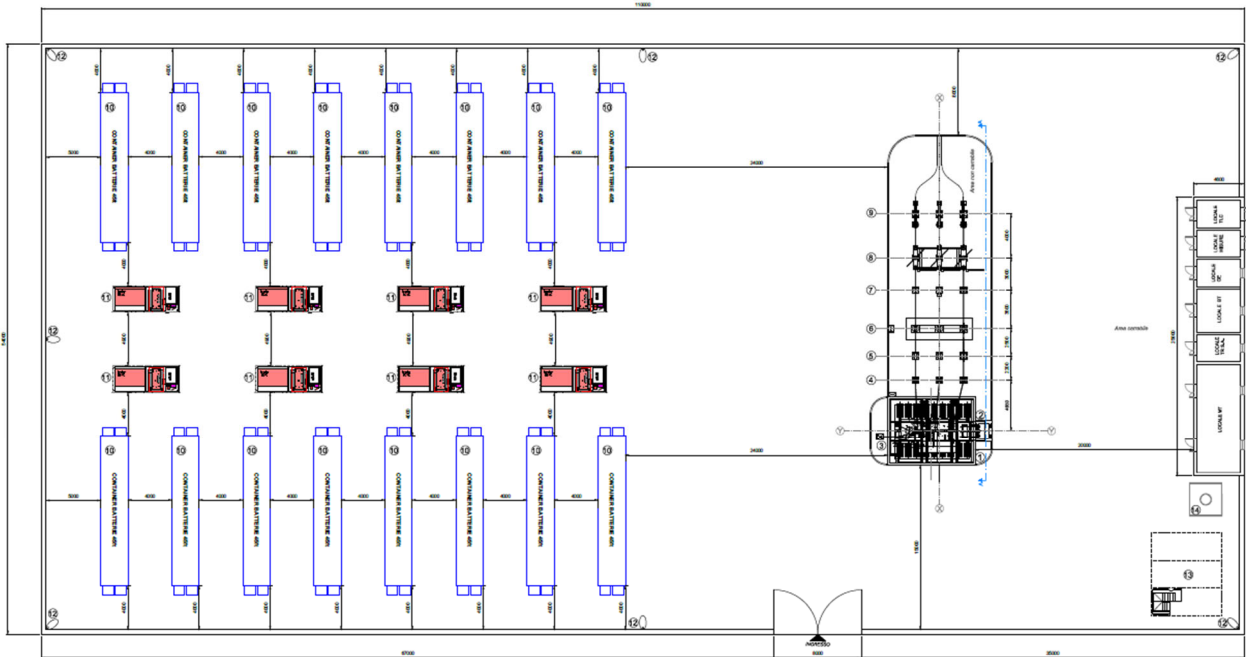


Figura 9 – Layout impianto BESS.


L'area del layout del BESS ha un ingombro complessivo in pianta pari a circa 54 m x 55 m ed è delimitata da un muro di recinzione sul quale si apre un cancello carrabile di luce pari a circa 8 m.

Nel layout del sistema BESS,

Nonostante che i container batteria sono caratterizzati da una classe di resistenza a fuoco EI90, si è adottato il distanziamento a cielo libero tra i vari container ovvero:

- Ogni container batteria dista lateralmente 3,00 m dall'altro container e 5,00 m dai container PCS HC ISO e dalla recinzione perimetrale.
- Il sistema BESS dista dallo stallo trasformatore 30/150 kV di circa 24 m.

Nel layout del sistema BESS, nonostante che, i container batteria sono caratterizzati da una classe di resistenza a fuoco EI90, si è considerata per la collocazione dei vari componenti, una distanza di >3 m tra i container batteria, una distanza di >3 m tra i container batteria e la recinzione della stazione elettrica, una distanza di >4 m tra i container batterie e le power station PCS. Inoltre, i componenti BESS saranno installati in area carrabile e in particolare si è garantita una viabilità interna di almeno 4 m per accedere ai container e ai sistemi PCS.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 33 di 41
---	----------------------------------	--	--

All'interno del layout BESS verranno realizzati i locali tecnici adatti a contenere i quadri elettrici necessari all'esercizio e alla gestione della stazione elettrica; inoltre sarà previsto all'interno della stessa area il sistema BESS di altro produttore.

Detti locali saranno realizzati in opera, ma in relazione ad una serie di condizioni, il proponente potrà in fase realizzativa optare per un edificio prefabbricato, conservando le stesse dimensioni geometriche e le stesse caratteristiche architettoniche e strutturali.

Come descritto precedentemente, il sistema BESS condividerà con l'impianto eolico la stazione di trasformazione 30/150 kV di progetto per la connessione alla rete RTN.

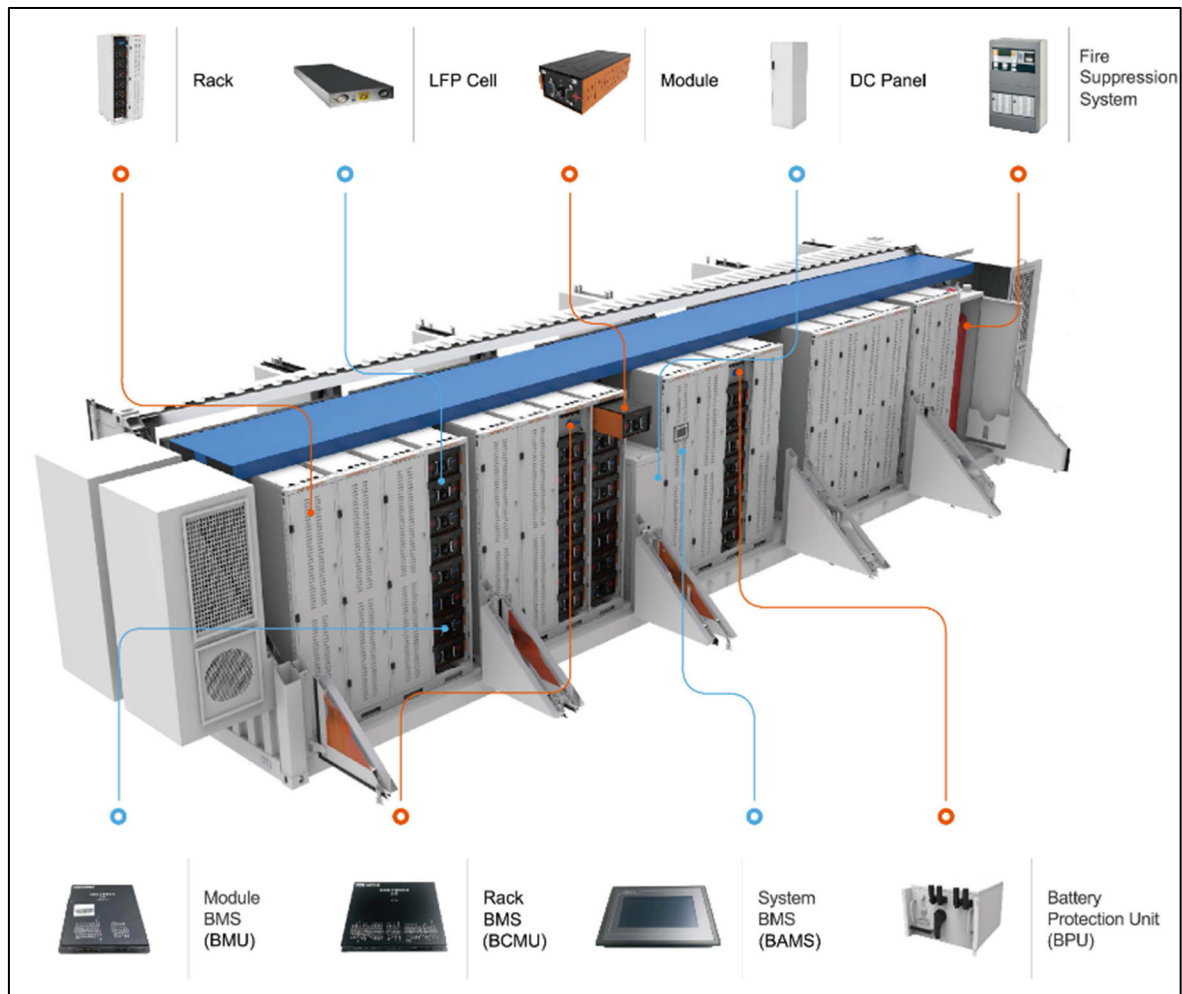
Per maggiori dettagli consultare gli elaborati:

- ES.SUN01.PD.5.2.R00-Punto di consegna: planimetria e profilo elettromeccanico;
- ES.SUN01.PD.5.3.R00- Punto di consegna: planimetria ed architettonici di fondazione - particolari costruttivi;
- ES.SUN01.PD.5.4.R00 Punto di consegna: particolari edifici.

4.5 Schema di esercizio del BESS

I componenti necessari all'immagazzinamento dell'energia che costituiscono il sistema BESS (figura 10) sono:

- Un sistema di batterie costituito da singole celle elettrochimiche (elementi di accumulo al litio) che convertono l'energia chimica in energia elettrica;
- I rack di alloggiamento, formati da moduli connessi per ottenere la tensione continua desiderata;
- Sistema di batterie containerizzato ovvero formato da vari rack di alloggiamento collegati tra loro e disposti in parallelo per ottenere la corrente continua e la potenza nominale desiderate;
- Un sistema di gestione della batteria (BMS) che garantisce la sicurezza del sistema di batterie, monitora le condizioni delle batterie, ne misura i parametri e gli stati, come lo stato di carica (SOC) e lo stato di efficienza (SOH) e protegge le batterie da incendi e altri pericoli. In particolare, il BMS assicura che i moduli e i rack mantengano i parametri di lavoro stabiliti (per esempio, temperatura e tensione);
- Un inverter o un sistema di conversione di potenza (PCS), che converte la corrente continua (DC) prodotta dalle batterie in corrente alternata (AC). I sistemi di accumulo dell'energia sono dotati di inverter bidirezionali che consentono sia la carica che la scarica; comprensivo di un sistema di elevazione con il trasformatore MT/BT;
- Un sistema di gestione dell'energia (EMS) per il monitoraggio ed il controllo in tempo reale del flusso di energia all'interno della batteria. EMS coordina il lavoro di BMS, PCS e altri componenti del BESS. Raccogliendo e analizzando i dati energetici, l'EMS può gestire in modo efficiente le risorse energetiche del sistema;
- Un sistema HVAC permette a un BESS di mantenere la temperatura e l'umidità desiderate sia che si usi il riscaldamento, la ventilazione o l'aria condizionata. Un sistema di protezione antincendio può rilevare il fumo e prevenire gli incendi.


Figura 10: Componenti del sistema BESS.

Le principali connessioni elettriche dei componenti BESS (figura 11) sono le seguenti:

Ogni cella viene elettricamente collegata in serie ed in parallelo con le altre celle per formare moduli di batterie. I moduli, a loro volta, vengono collegati elettricamente tra loro ed installati in appositi pannelli rack e disposti in stringhe in modo tale da conseguire i valori elettrici richiesti, per soddisfare la capacità di energia e potenza desiderata, tensione e corrente (tipicamente nell'intervallo 600-1500 Vdc). Le stringhe di batterie all'interno di ciascun contenitore-rack saranno connesse in parallelo al bus DC del PCS.

La connessione al PCS è tipicamente protetta con fusibili installati all'interno del pannello DC. Il bus DC e i fusibili dovranno essere racchiusi in una struttura simile a un armadio rack dedicato installato all'interno del container.

Ciascun pannello rack assemblato è gestito, controllato e monitorato, in termini di parametri elettrici e termici, dal proprio sistema di controllo batterie denominato BMS (Battery Management System).

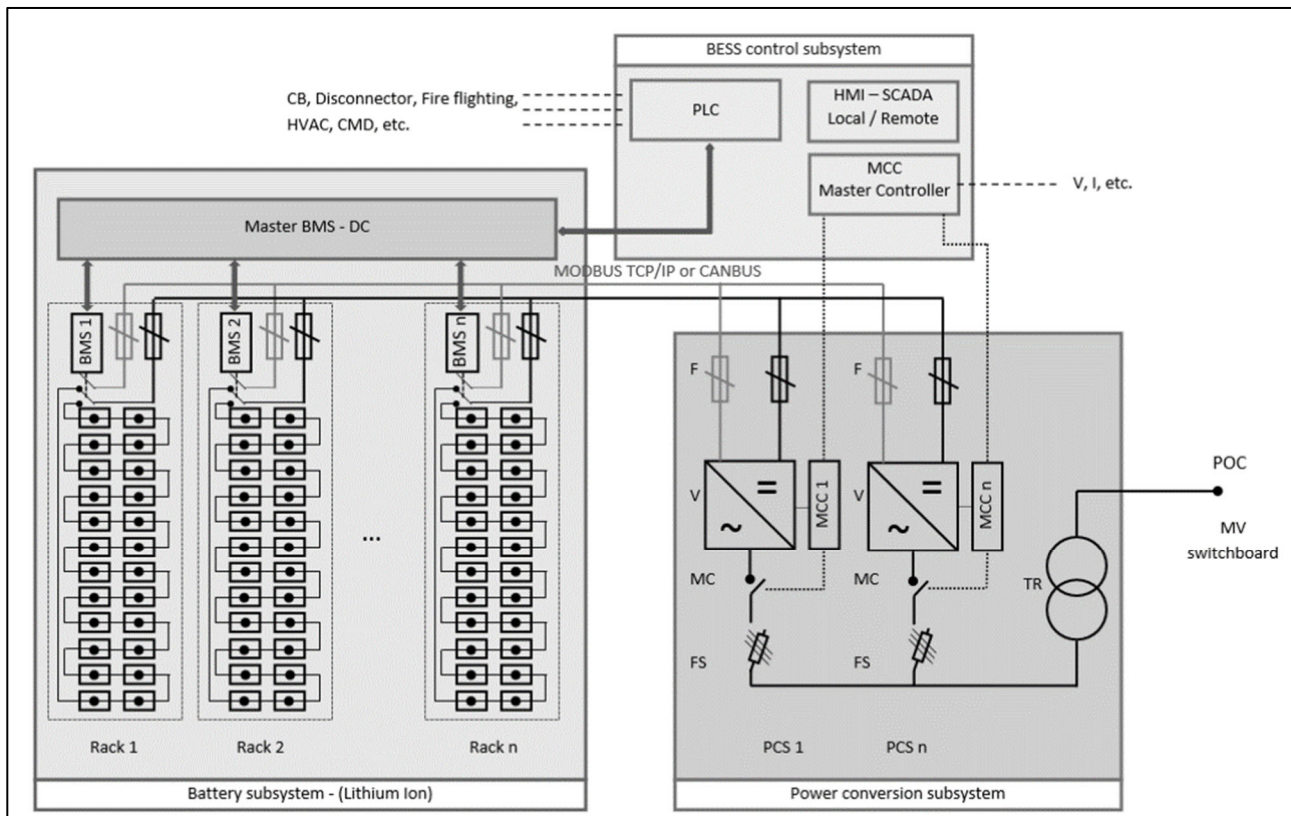


Figura 11: Connessioni elettriche interne al BESS

Il BESS sarà esercito e gestito prevalentemente da remoto, presso un centro controllo che raccoglierà tutti i segnali e la diagnostica di impianto permettendo di operare in totale sicurezza (figura 11).

I sistemi di sicurezza dispongono di proprie unità di monitoraggio e controllo che forniscono le condizioni necessarie per il funzionamento sicuro del BESS monitorandone i parametri e rispondendo alle possibili situazioni di emergenza.

Saranno previste azioni in loco nei periodi di manutenzione ordinaria e straordinaria di impianto e secondo le procedure di sicurezza stabilite. Tutti i sistemi di controllo saranno alimentati anche da sistemi unità di soccorso locali (UPS). Questo consentirà di garantire una elevata disponibilità del sistema di controllo. Tutte le informazioni, i messaggi, gli allarmi saranno forniti in remoto, oltre che disponibili sul sistema di gestione in loco. Il sistema di supervisione e controllo è rappresentato schematicamente nella figura sottostante, in cui vengono interfacciati i BMS e i PCS da una postazione centrale.

L'applicativo software che verrà sviluppato svolge la funzione di gestione, controllo e coordinamento dell'intero BESS e dell'interfacciamento verso il centro di controllo Terna. Il pacchetto software SCADA sopra descritto si compone di un'interfaccia grafica HMI e prevede le seguenti tipologie di pagine video (esemplificative ma non limitative):

- Menu principale per la gestione e supervisione del sistema BESS;
- Sinottico generale con le grandezze elettriche relative alla parte MT, BT e di componenti in essi installati;
- Visualizzazione dinamica di tutti i componenti che costituiscono il sistema (in particolare batterie e PCS);

- Gestione della carica e la scarica del sistema in risposta ai segnali;
- Visualizzazione allarmi, eventi e trend storici;
- Monitoraggio grandezze elettriche rack/modulo/cella;
- Monitoraggio impianto di rilevazione spegnimento incendi.

Nel seguito lo schema di principio del sistema di supervisione:

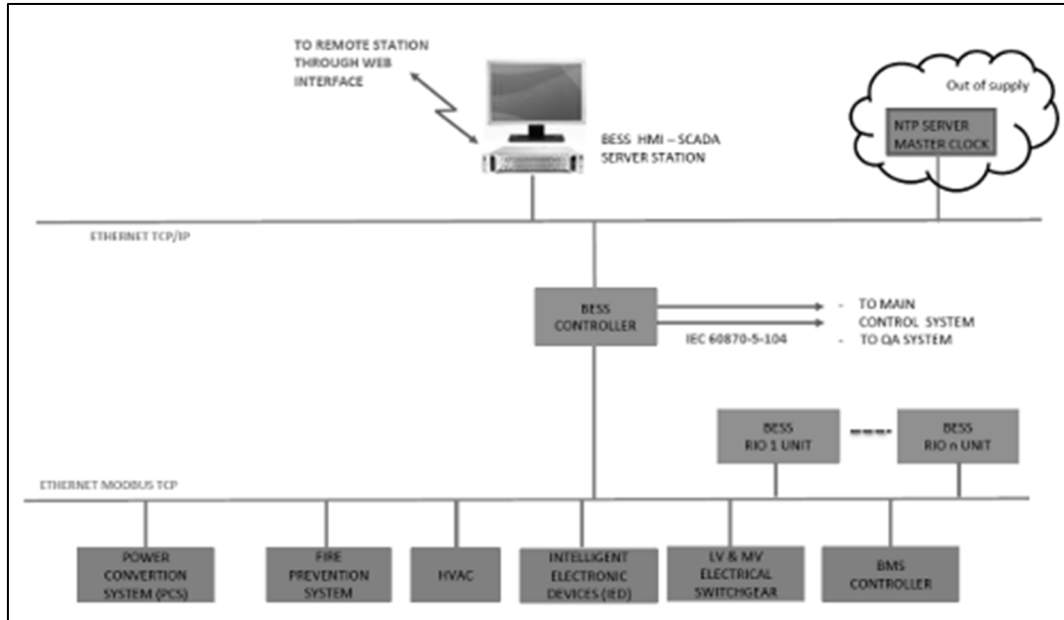



Figura 12: Architettura del sistema di supervisione

Il sistema BESS sarà equipaggiato con tutti i dispositivi previsti dal Regolamento:

- Phasor Measurement Unit (PMU);
- Unità Periferica per il Distacco e Monitoraggio (UPDM);
- Apparat per lo scambio informativo.

Il sistema proposto descrive un sistema di accumulo sviluppato, ingegnerizzato e costruito secondo le normative TERNA sulla RISERVA RAPIDA “FAST RESERVE” pubblicato il 20 novembre 2019 e conforme alle norme IEC e EN applicabili e alle direttive CE applicabili.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 37 di 41
---	----------------------------------	--	--

5 DIMENSIONAMENTO E DATI TECNICI DEL BESS


Si prevede l'installazione un sistema di accumulo di energia con batterie al litio composto da N° 16 container batterie (ciascuno equipaggiato con rack aventi capacità energetica pari a 5,76 MWh 100% SOC BoL) con relativi power station con PCS. Si prevede che il sistema BESS venga suddiviso in 8 moduli ciascuno costituito da N°2 container batterie (5.76x2=11,52 MWh 100% SOC BoL) e N°1 sistema PCS questo ultimo costituito da Inverter di taglia 2,60 MVA e di un trasformatore elevatore LV/MV di taglia 3,0 MVA. Si precisa che il dato in capacità energetica fa riferimento alle condizioni ambientali forzate dal sistema di condizionamento che manterrà l'ambiente delle batterie ad una temperatura nel range 15-30 °C con impostazione target a 25°C. I dati tecnici di progetto del BESS sono riportati nella tabella sottostante:

Tabella 11 – Dati tecnici BESS.

Livello di tensione nominale al punto di verifica	kV	150	
Potenza BESS da assegnare al trasformatore MT/AT (30/150 kV)	MVA	70	ONAN-ONAF
Prelievo servizi ausiliari	MW	1,04	
Potenza installata trasformatore (0,66kV/30kV)	MVA	24	(8 unità x 3 MVA/unità)
Potenza installata inveter PCS (0,66kV AC, cosfi=1)	MW	20,8	(8 unità x 2,6 MW/unità)
Capacità energetica installata (100% SOC, BoL)	MWh	92,16	(16 unità x 5,76 MW/unità)
SOC min	%	3	
SOC max	%	98	
Capacità energetica utilizzabile (BoL) Eeff_BoL	MWh	87,55	
Capacità energetica utilizzabile (EoL) Eeff_EoL	MWh	68,74	
<i>(Dopo 15 anni – presunto 1,60%/y) senza considerare nessun revamping (EoL) Eeff_EoL</i>	MWh	78,5%	

Considerando le perdite dell'impianto ricavate dalla relazione del dimensionamento della rete in media tensione rif. Elaborato, è possibile identificare il valore della Potenza Massima Erogabile in RTN (al Punto di Verifica 150 kV) al lordo ed al netto della semibanda di regolazione primaria (come identificata nel Codice di Rete del gestore di rete Terna SpA):

- Potenza Massima erogabile senza di semibanda di regolazione primaria:
 $[20,8 \text{ MW PCS} - 1,04 \text{ MW ausiliari} - 1\%_{\text{perdite impianto BESS}}] = 19,20 \text{ MW}$
- Potenza Massima erogabile con semibanda di regolazione primaria:
 $[20,8 \text{ MW PCS} - 1,04 \text{ MW ausiliari} - 1\%_{\text{perdite impianto BESS}} - 1,50\%_{\text{regolazione semibanda}}] = 18,90 \text{ MW}$

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 38 di 41
---	----------------------------------	--	--


Per quanto al dimensionamento in potenza sono stati seguiti i seguenti criteri:

- È stata scelta una taglia > 10 MW con lo scopo di rendere il sistema BESS, Unità di Produzione di tipo stand alone, idoneo ad operare, oltre che nei mercati dell'energia ("MGP mercato del giorno prima" ed "MI Mercato infragiornaliero"), anche nei mercati dei servizi (in particolare i segmenti "MSD Mercato del servizio di dispacciamento" ed "MB mercato bilanciamento");
- È stata quindi impostato un livello di potenza paragonabile a quello dell'impianto fotovoltaico in previsione di possibili "abbinamenti" tra la produzione eolico e la capacità di stoccaggio del sistema BESS con lo scopo di potere accumulare il profilo di produzione eolica in presenza di fenomeni zionali o nodali di "overgeneration" che ne comporterebbero il taglio;
- La taglia di riferimento è stata quindi posta nell'ordine dei 20,8 MW, affinamenti tecnici e progettuali, nonché le taglie commercialmente disponibili, hanno identificato il sistema BESS precedentemente descritto dove il "nodo" in termini di gestione della potenza è rappresentato dalla taglia dell'inverter scelto (per l'insieme degli 8 moduli) pari a 20,8 MW (lato AC 0,66 kV).

Per quanto al dimensionamento della capacità energetica del sistema batterie è stato seguito il seguente criterio:

- Ci si è posti l'obiettivo di potere garantire la possibilità di immettere in RTN una Potenza Massima Erogabile al netto della semibanda di regolazione primaria (dato pari a 18,90 MW) per almeno 4 ore consecutive all'inizio della vita utile (BoL) delle batterie;
- Ne consegue un "requisito energetico" trasposto al nodo RTN ed in fase di scarica del sistema BESS pari a: $18,90 \text{ MW} \times 4 \text{ h} = 75,6 \text{ MWh}$;
- Considerando il rendimento di scarica (η_s) è stato quindi valutato il "requisito energetico" lato batteria pari quindi a: $75,6 / 87,3\% = 86,60 \text{ MWh}$;
- È stata considerato il range di utilizzo della capacità di carica della batteria che, per tipologie di batterie tali da garantire un rapporto Energia/Potenza pari a circa 4 ore ($C_{rate} = 0,25$), varia da un SOC minimo del 3% ad un SOC massimo del 98%, ergo un campo di utilizzo del 95%;
- Sulla base dei prodotti commercialmente disponibili è stato scelto di prevedere l'installazione di un sistema batterie di capacità 92,16 MWh (100% SOC BoL).

Nella figura 13, sono riportati parametri operativi del BESS:

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 39 di 41
---	----------------------------------	---	--

Parametri operativi BESS			
Dispositivi appartenenti alla UP di tipo "stand alone"	n.	8	8 x (2 unità batterie & 1 unità PCS)
Tecnologia		Litio FePO4	
Potenza massima erogabile in RTN (1)	MW	19,189	@ Punto di Verifica / @ Pmax PCS
Potenza massima erogabile in RTN (2)	MW	18,885	@ Punto di Verifica
<i>(1) = senza riduzione semibanda reg. primaria / (2) = con riduzione semibanda reg. primaria</i>			
Potenza massima assorbita da RTN	MW	22,4	@ Punto di Verifica / @ Pmax PCS
Rendimento di carica (inclusi servizi ausiliari)	Eta_C	%	86,5 @ Pmax PCS
Rendimento di scarica (inclusi servizi ausiliari)	Eta_S	%	87,3 @ Pmax PCS
Tempo di scarica BoL	h	4,04	$E_{eff_BoL} \cdot E_{ta_S} / P_{max}$
Tempo di scarica EoL	h	3,17	$E_{eff_EoL} \cdot E_{ta_S} / P_{max}$
Tempo di carica BoL	h	4,51	$E_{eff_BoL} / E_{ta_C} / P_{max_p}$
Tempo di carica EoL	h	3,54	$E_{eff_EoL} / E_{ta_C} / P_{max_p}$

Figura 13: Dati tecnici e parametri operativi del sistema BESS.

È stato previsto che la batteria, operando nei mercati dell'energia e dei servizi, lavori eseguendo tra i 400 ed i 500 cicli di carica/scarica equivalenti all'anno.

La batteria subisce nel tempo un processo di degrado che comporta la riduzione della capacità energetica effettivamente disponibile. In relazione alla tipologia di batteria prevista ed al suo utilizzo atteso è stato possibile, in base ai data sheet delle batterie, identificare un verosimile coefficiente di derating della capacità energetica della batteria e posizionabile nello 1,60%/anno;


La capacità energetica a fine vita utile (EoL), in assenza di interventi di revamping della capacità energetica che potranno invece essere previsti, diventerebbe:

- $87,55 \text{ MWh} \times (1-1,60\%)^N$ con N = numero di anni di esercizio fino alla fine della vita utile.

Assumendo, a titolo indicativo, N=15 anni risulterebbe una capacità energetica effettiva EoL pari a:

- $87,55 \text{ MWh} \times 78,5\% = 68,74 \text{ MWh}$.

In figura 14, si riporta la riduzione della capacità energetica in funzione dei cicli equivalenti.

	RELAZIONE SUL SISTEMA BES	Codice Revisione Data di creazione Data revisione Pagina	ES.SUN01.PD.9.14 00 31/07/2023 02/08/2023 40 di 41
---	----------------------------------	---	--

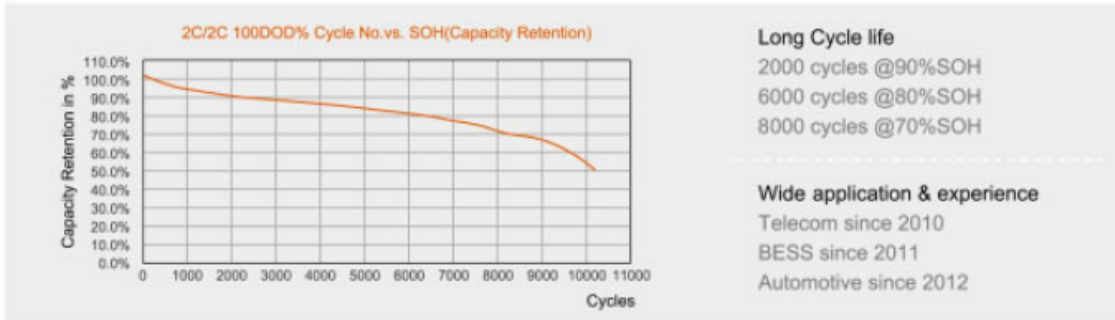


Figura 14: Riduzione della capacità energetica in funzione dei cicli equivalenti (fonte costruttore NARADA).

È da precisare, che il dimensionamento del sistema BESS è stato eseguito, in modo preliminare, in riferimento ai parametri tecnici di uno dei tanti produttori di BESS. In particolare, in fase di approvvigionamento dei componenti e degli eventuali aggiornamenti del codice di rete, in fase di progettazione esecutiva e attivazione dell'impianto sarà valutato in modo specifico, il dimensionamento di tutte le componenti del sistema BESS.

6 VITA UTILE SISTEMA BESS

La vita utile del sistema BESS dipende sostanzialmente dalla batteria ioni/litio. Nei paragrafi precedenti, si è riportato che la Vita attesa (cicli) con riferimento DOD 80%, per la tecnologia ioni/litio è pari a 6000 cicli; pertanto, come descritto precedente, si prospetta che la vita del sistema batteria sia di circa 15 anni.

Mentre quella attesa per l'impianto BESS nella sua totalità si prospetta essere pari a 30 anni: in altre parole, dopo circa 15 anni si rende necessaria la sostituzione del pacchetto batterie, perché giunte all'80% della loro capacità, ma non dei dispositivi di potenza ovvero, trasformatori MT/BT, inverter, scomparti MT ecc. **[Riferimento Head of Innovation Lab, Research and Development, Terna Group Storage e sicurezza della rete: i progetti di Terna].**

In particolare, nell'impianto in oggetto, il costo di sostituzione relativo alla sostituzione del pacchetto di batterie quando ritenute esauste è considerato pari al 54% del costo iniziale di installazione secondo il grafico seguente:

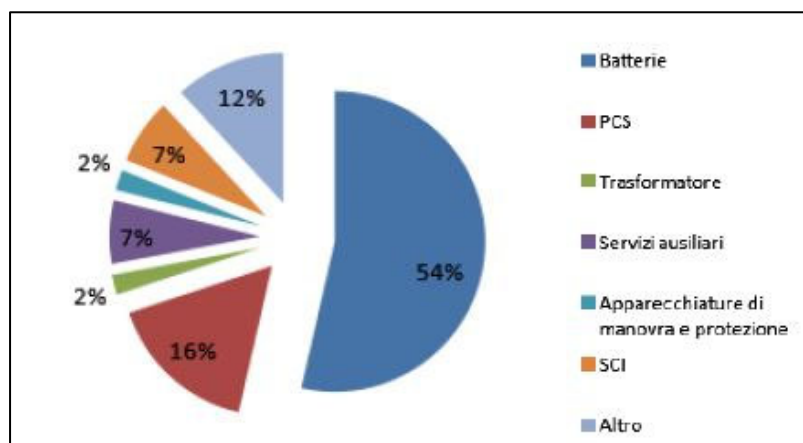


Figura 15: Sistema di accumulo – distribuzione dei costi di realizzazione [%] [“Riferimento Head of Innovation Lab, Research and Development, Terna Group Storage e sicurezza della rete: i progetti di Terna”].