

ISTANZA DI VIA (Artt. 23-24-25 del D. lgs 152/2006 e ss.mm.ii.)

COMMITTENTE



SUN LEGACY 4 srl

Via Nairobi 40
00144 Roma (RM)
P.I. 16946941008
PEC sunlegacy@legalmail.it
Numero REA RM - 1686199

PROGETTISTI INCARICATI

Arch. DANIELE CONTICCHIO

STUDIO PROFESSIONALE IN PIAZZA DELLA ROCCA N.33
VITERBO (VT)
C.F. CNTDNL84B16G148E - P.IVA 02193820566
tel. +39 3406705346 - mail: daniele.conticchio@gmail.com
pec: d.conticchio@pec.archrm.it
Iscritto all'Ordine degli Architetti P.P.C. di Roma e Provincia
al n. 22831 sez.A

Ing. MARCO GRANDE

STUDIO PROFESSIONALE IN VIA CASILINA NORD N.93
FROSINONE (FR)
C.F. GRNMRC71D22D810A - P.IVA 02439640604
tel. +39 392 5867910 - mail: enstudio71@gmail.com
pec: marco1.grande@ingpec.eu
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di
Frosinone al n.1161

Ing. DANIELE MARRAS

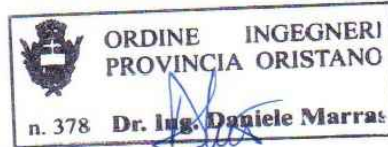
STUDIO PROFESSIONALE IN VIA GALASSI N.2
CAGLIARI (CA)
C.F. MRRDNL73H22B354N - P.IVA 01033560952
tel. +39 393 9902969 - mail: daniele@mvprogetti.com
pec: daniele.marras@ingpec.eu
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di
Oristano al n. 378

Ing. LORENA VACCA

STUDIO PROFESSIONALE IN VIA GALASSI N.2
CAGLIARI (CA)
C.F. VCCLRN75C48H856P - P.IVA 02738080924
tel. +39 342 0776977 - mail: lorena@mvprogetti.com
pec: lorena.vacca@ingpec.eu
Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di
Cagliari al n. 4766

**PROGETTO DI UN IMPIANTO AGRIVOLTAICO di potenza nominale 45,724 MWp e
di un BESS INTEGRATO di potenza nominale 50,4 MWp, COLLEGATI ALLA RTN**

Località "Contrada Lobia" - Comune di Brindisi (BR)



TITOLO ELABORATO

RELAZIONE SISTEMA DI ACCUMULO

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
00		Definitivo	Aprile 2024		RELAPROG011
REV.		FASE PROGETTUALE	DATA	SCALA	IDENTIFICATORE



Sommario

1	Premessa	3
2	Principali applicazioni SdA	3
	Time Shift di Energia	3
	Supporto al funzionamento di una Micro Rete	4
	Supporto alle congestioni di rete	4
	Regolazione Primaria di Frequenza	4
	Regolazione Secondaria di Frequenza	4
	Regolazione Terziaria.....	5
	Servizi di Riserva	5
	Supporto alla Tensione.....	5
	Integrazione delle Fonti Rinnovabili non Programmabili	5
	Riaccensione del Sistema Elettrico/ Funzionamento off grid.....	6
	Vantaggi dei SdA di tipo elettrochimico	6
	Conclusioni sulle possibili applicazioni dei SdA	6
3	Aspetti di sicurezza e Ambientali.....	7
	Caratteristiche chimiche, elettriche e tecnologiche degli accumulatori.....	7
	Accumulatori al piombo acido.....	7
	Batteria Litio/Ioni.....	8
	Batteria Sodio/Cloruro di Nichel.....	10
	Batteria Sodio/Zolfo	11
	Batteria Nichel / Cadmio	12
	Batteria Redox a circolazione di elettrolita di vanadio (VRB).....	13
4	Considerazioni di impatto ambientale relative all'installazione di Sistemi di Accumulo (SdA) connessi in rete 15	
5	Analisi del Rischio	16
6	Demolizione dell'impianto e smaltimento	17
7	Imballaggio e Trasporto delle batterie di origine elettrochimica per SdA	18
	Trasporto Stradale – Accordo ADR 2015	18
	Gruppo di Imballaggio: n/a (non assegnato).....	19
	Imballaggi	19
	Etichette e marcature.....	19
	Documento di trasporto ADR	20

	Riepilogo condizioni di trasporto su strada di Batterie nuove	20
8	Schede tecniche.....	23
9	Conclusioni	27

1 Premessa

La presente relazione viene redatta in quanto è presente nell'impianto l'installazione di accumulatori.

A tale scopo nei paragrafi successivi saranno illustrate brevemente le diverse modalità di impiego dei Sistemi di Accumulo (SdA), nonché le principali tecnologie e i rischi specifici ad esse correlati.

I Sistemi di Accumulo Energia (SdA) possono essere impiegati per la fornitura di servizi molto diversi, alcuni dei quali richiedono "prestazioni in potenza" (o "Power Intensive"), quindi sistemi in grado di scambiare elevate potenze per tempi brevi (da frazioni di secondo a qualche minuto), mentre altri richiedono "prestazioni in energia" (o "Energy Intensive"), quindi sistemi in grado di fornire potenza con autonomia di parecchie ore. Ad applicazioni molto diverse corrispondono caratteristiche elettriche dei SdA variabili in un intervallo di valori piuttosto ampio. La potenza elettrica del SdA può variare da qualche kW nelle applicazioni residenziali, a centinaia di MW nelle reti di trasmissione. La durata della scarica può variare da decine di ore per gli impianti "Energy Intensive", a frazioni di secondo per impianti destinati a migliorare la Power Quality dei sistemi di utente. La velocità di risposta può pure variare molto, da minuti a frazioni di secondo, in base ai requisiti dell'applicazione. Infine i SdA possono essere connessi alla rete in alta, media e bassa tensione. La convenienza tecnico-economica della installazione di un SdA dipende dai costi-benefici risultanti e dal ritorno dell'investimento. Mentre sul fronte dei costi, pur nella variabilità insita nella dimensione e nella tecnologia degli impianti, i valori sono noti, la situazione sul fronte dei benefici economici e dei ricavi è in evoluzione e dipende dal tipo di operatore coinvolto nella decisione di investimento. Gli attori che possono essere interessati all'uso di SdA sono: titolare di FRNP, Gestore Rete di Trasmissione (TSO), Gestore Rete di Distribuzione (DSO), gestore di Micro Rete, Produttore/Consumatore (Prosumer). I benefici economici ottenibili dai SdA dipendono dalla possibilità degli stessi di partecipare al Mercato Elettrico e dalla remunerazione dei Servizi di Rete, quindi sono funzione della normativa e delle direttive che le Autorità decideranno di proporre.

2 Principali applicazioni SdA

Time Shift di Energia

È premesso che tutti i SdA svolgono una qualche funzione di spostamento nel tempo della energia, in quanto assorbono energia in fase di carica e la rilasciano in un differente periodo di tempo in fase di scarica. Tipicamente ci si riferisce alla funzione Time Shift di Energia per descrivere il caso in cui si acquista energia in tempi in cui il prezzo è basso per immagazzinarla nel SdA e poi riutilizzarla o rivenderla in tempi in cui il prezzo è più elevato. La convenienza economica è determinata dalla differenza tra i prezzi di acquisto e di rivendita nelle diverse fasce orarie. Lo sfruttamento di tale differenza di prezzo è definito "Arbitraggio". Inoltre lo spostamento nel tempo della energia può migliorare il funzionamento del sistema elettrico, in quanto i SdA possono spianare i picchi della domanda di energia elettrica. Con la funzione di "peak shaving" i dispositivi di accumulo consentono di livellare i picchi di consumo immagazzinando energia nei periodi di basso fabbisogno, quando gli impianti di generazione sono costretti a operare in assetti meno efficienti (minimo tecnico) e rilasciandola nei periodi di fabbisogno più alto evitando il ricorso ad impianti di punta di minore affidabilità e con maggiori costi variabili. In una micro rete, ad esempio, la funzione Peak shaving dei SdA

consente di ridurre la potenza di dimensionamento dei generatori e della rete di distribuzione, mantenendola più prossima alla potenza media dei carichi, rispetto al picco.

Supporto al funzionamento di una Micro Rete

L'adozione di SdA in una Micro Rete consente di massimizzare la quota di energia auto-prodotta dalle Fonti Rinnovabili non Programmabili presenti nell'impianto (FRNP), di aumentare l'autoconsumo e di ridurre gli oneri di sbilanciamento che gravano su tale impianto, grazie ad un profilo di generazione complessivo più regolare e prevedibile. Infine il SdA presente nella micro rete consente di erogare Servizi di Rete (regolazione di frequenza e di tensione), ottimizzando lo sfruttamento delle FRNP presenti.

Supporto alle congestioni di rete

I SdA contribuiscono alla risoluzione delle congestioni di rete. I dispositivi di accumulo consentono di accumulare l'energia nei periodi di elevata produzione, ad esempio da fonti rinnovabili in zone con bassa domanda e rete debole, evitando l'insorgere di congestioni sulle linee elettriche e la necessità di intervenire sull'assetto topologico di rete o di modulare la produzione, rilasciandola poi nei periodi di minore disponibilità di fonte solare o eolica. In questo modo i SdA consentono di differire nel tempo gli investimenti necessari per l'ampliamento della rete.

Regolazione Primaria di Frequenza

In presenza di uno squilibrio tra generazione e carico il sistema elettrico risponde con una variazione di frequenza, la quale a sua volta agisce sui regolatori di frequenza dei generatori abilitati a fornire regolazione primaria, determinando una diversa potenza erogata dagli stessi, in modo da ristabilire l'equilibrio. Il tutto avviene secondo le curve di "statismo" dei generatori, ad esempio nel caso di sottofrequenza il transitorio comporta un aumento della potenza erogata, che va a ridurre la riserva di potenza complessivamente disponibile. I generatori convenzionali termoelettrici sono chiamati a rispondere in tempi di 15 secondi per il primo 50% della richiesta variazione di potenza, e 30 secondi per la restante parte. I SdA sono assai più veloci e flessibili, e possono mettere in gioco tutta la loro potenza, nelle due direzioni di carica (assorbimento di potenza attiva) e di scarica (erogazione di potenza attiva). Essi possono pertanto fornire capacità di regolazione primaria di frequenza e di riserva di bilanciamento al sistema elettrico nazionale. Se opportunamente integrati nei sistemi di regolazione, i dispositivi di accumulo possono fornire regolazione primaria di frequenza con prestazioni superiori a quelle degli impianti tradizionali. Inoltre i sistemi di accumulo si prestano a fornire riserva di bilanciamento in quanto riescono a rispondere molto velocemente rispetto alla maggior parte degli impianti di generazione alla necessità di variare immissione o prelievo di energia. Tali esigenze di bilanciamento rapido sono particolarmente importanti per fronteggiare l'intermittenza di immissione caratteristica della produzione eolica e le rampe di carico delle ore serali accentuate dallo spegnimento degli impianti fotovoltaici.

Regolazione Secondaria di Frequenza

A seguito dell'intervento della Regolazione Primaria, ad esempio per transitorio di sotto frequenza, il sistema elettrico si trova ad operare ad una frequenza diversa dalla nominale (più bassa) e con una riserva di potenza ridotta, a causa dell'intervento dei regolatori di frequenza dei generatori abilitati e coinvolti nell'operazione. Scopo della Regolazione Secondaria è di ristabilire l'equilibrio, riportando la frequenza al valore nominale e ripristinando la riserva di potenza. Cosa che avviene modificando in modo automatico, da una unità centrale, i set points dei regolatori di frequenza e facendo intervenire i generatori abilitati a questo servizio, che

rendono disponibile appunto una riserva secondaria di potenza. Questo servizio è remunerato, la riserva di potenza secondaria in Italia è negoziata sul MSD (Mercato Servizio Dispacciamento). Ovviamente anche questo servizio di regolazione e fornitura di riserva potrebbe essere agevolmente svolto dai SdA.

Regolazione Terziaria

La Regolazione Terziaria ha lo scopo di ripristinare i livelli di Riserva Secondaria. La regolazione di frequenza avviene tramite la Regolazione Primaria, veloce, seguita dalla Regolazione Secondaria, che ripristina la frequenza nominale e la riserva di potenza primaria. Anche la Regolazione Terziaria e la relativa riserva sono oggetto di negoziazione sul mercato MSD. I SdA possono partecipare alla Regolazione Terziaria, con caratteristiche di flessibilità.

Servizi di Riserva

I SdA sono idonei all'approvvigionamento di riserva da parte del sistema elettrico. I sistemi di accumulo sono in grado di contribuire in modo particolarmente efficiente al soddisfacimento del fabbisogno di riserva del sistema elettrico a seguito di contingenze che ne impongano l'utilizzo. Grazie ai tempi di prelievo o immissione di energia in rete particolarmente rapidi, i sistemi di accumulo rappresentano la risorsa più efficiente per il servizio di riserva e possono essere integrati nel sistema di difesa del sistema elettrico nazionale

Supporto alla Tensione

Il Gestore di Rete deve assicurare la stabilità della tensione nei vari nodi della rete. A tale proposito i generatori connessi alla rete sono tenuti ad erogare potenza reattiva, in base allo scostamento della tensione dai valori nominali. A ciò provvedono dei dispositivi automatici di regolazione, in base alla tensione ai morsetti dei gruppi di generazione (sbarre AT della centrale), in questo caso si tratta di regolazione primaria di tensione. Altrimenti sono le tensioni su alcuni "nodi pilota", nel caso della regolazione secondaria. I SdA potrebbero fornire supporto alla tensione. In particolare l'impiego di SdA distribuiti nella rete, in prossimità dei centri di carico, consentirebbe di ottimizzare il supporto di tensione, in quanto si eviterebbe di trasportare potenza reattiva su lunghe distanze, con conseguente vantaggio di riduzione delle perdite.

Integrazione delle Fonti Rinnovabili non Programmabili

Le FRNP presentano intrinsecamente un carattere di intermittenza e scarsa prevedibilità. La loro integrazione nel sistema elettrico richiede di tenere conto della non programmabilità. I SdA possono migliorare decisamente il loro comportamento. A esempio possono compensare le fluttuazioni della potenza generata, causate dalla intermittenza della fonte, in modo da ottenere un profilo di generazione più regolare e prevedibile. In tal modo il proprietario dell'impianto FRNP vedrebbe ridotti eventuali oneri di sbilanciamento, essendo in grado di rendere programmabili i profili di produzione. Un altro vantaggio, in particolar modo per i generatori eolici, consiste nell'evitare tagli alla produzione nei periodi di picco, quando la rete (debole) non è in grado di assorbire tutta la potenza generata. È il caso che si è verificato su molti impianti eolici nel Sud Italia. I SdA potrebbero ridurre la necessità di fronteggiare con impianti termoelettrici le elevate rampe di potenza che si verificano al tramonto, quando alla cessata generazione fotovoltaica si somma l'aumento di carico per illuminazione. La presenza di SdA consente al proprietario di impianto FRNP di ricorrere all'arbitraggio, mediante Energy time shift, immagazzinando energia nelle ore di basso prezzo, per restituirla e rivenderla nelle ore a prezzo più remunerativo. Infine, laddove la normativa lo consenta, gli impianti FRNP potrebbero fornire servizi di regolazione remunerati (regolazione di frequenza e di tensione).

Riaccensione del Sistema Elettrico/ Funzionamento off grid

In caso di black out generalizzato sulla rete elettrica la riaccensione del sistema elettrico avviene grazie ad alcune centrali di ripartenza autonoma, che possono avviarsi anche in assenza di rete, è il caso ad esempio di alcune centrali idroelettriche. Naturalmente anche i SdA di grande taglia possono utilmente contribuire alla riaccensione del sistema elettrico. Per farlo i SdA devono essere dotati della funzione di Black Start e devono essere in grado di funzionare anche in modalità off grid, regolando tensione e frequenza. In tale condizione tutti i servizi ausiliari di impianto devono essere alimentati da batteria (controllori, strumentazione misura, ...), in modo che il sistema possa funzionare anche in assenza di rete. Con queste caratteristiche tecniche il SdA può essere acceso anche in caso di black out totale sulla rete elettrica principale. Esso può essere utilizzato per alimentare alcune porzioni di rete per consentire agli impianti di generazione di tornare in servizio, gradualmente, in modo da ripristinare la configurazione di rete iniziale. Oppure il SdA può funzionare in isola, alimentando alcuni carichi critici e garantendo ad essi una continuità di alimentazione.

Vantaggi dei SdA di tipo elettrochimico

Alcune ulteriori considerazioni di carattere generale, valide per tutte le applicazioni, sono i vantaggi che i SdA di tipo elettrochimico hanno rispetto ad altre soluzioni convenzionali:

- Elevata modularità che garantisce facilità di installazione e flessibilità di utilizzo.
- Tempi di realizzazione molto brevi, se confrontati con altri impianti di accumulo, quali le centrali idroelettriche di pompaggio.
- Possibilità di localizzazione diffusa sulla rete, anche in prossimità dei numerosi punti di connessione delle centrali da fonti rinnovabili, all'interno o nelle adiacenze delle stazioni elettriche esistenti, senza rilevante impatto ambientale, trattandosi di apparecchiature amovibili.

Conclusioni sulle possibili applicazioni dei SdA

La diffusione dei SdA non dipende soltanto dalla evoluzione normativa in Italia, in quanto ci sono prospettive anche in altri Paesi del mondo. In Germania e in alcuni Stati USA ad esempio, si è avviata recentemente la liberalizzazione del mercato elettrico relativo ai servizi di Regolazione Frequenza. Questo sta contribuendo alla diffusione di SdA, che trovano in tale mercato una adeguata remunerazione all'investimento. È presumibile che questa apertura riguarderà presto anche altri Paesi nel mondo. Infine una riflessione sulla competizione esistente tra le diverse tecnologie utilizzabili nel sistema elettrico. Abbiamo visto che i SdA possono rispondere alle nuove esigenze poste al sistema elettrico dalla grande diffusione della generazione diffusa e delle FRNP. Di sicuro essi potranno contribuire validamente a riequilibrare le fluttuazioni nella potenza generata, al bilanciamento tra consumo e generazione elettrica, alla fornitura di una adeguata riserva e quindi in generale al mantenimento della sicurezza e della stabilità della rete. Potranno migliorare l'autoconsumo elettrico degli utenti "Prosumers" e migliorare il funzionamento e la gestione di impianti a FRNP. È doveroso sottolineare però che la scelta di impiegare SdA per realizzare gli obiettivi prima descritti, dipenderà da un lato dalla profittabilità dell'investimento negli stessi, ma anche dal confronto tecnico ed economico con le altre soluzioni tecnologiche, che possono offrire risposte comunque adeguate. Si pensi al contributo che può venire da altre tecnologie consolidate (ampliamento capacità di reti esistenti, servizi ancillari da centrali convenzionali, etc.) e da nuove tecnologie in fase di sviluppo (Demand Side Management, Demand Side Response, etc.). Il successo dei SdA sarà legato alla competitività dei costi, e alla capacità degli operatori di individuare degli adeguati "Business Models" che permettano di sfruttare appieno tutte le

funzioni interessanti che tali sistemi possono svolgere. Per maggiori informazioni consultare il "Libro Bianco RSE-ANIE sui sistemi di accumulo" pubblicato a marzo 2015 e scaricabile gratuitamente dal sito internet di Federazione ANIE.

3 Aspetti di sicurezza e Ambientali

Caratteristiche chimiche, elettriche e tecnologiche degli accumulatori

Di seguito si evidenziano le caratteristiche chimiche, elettriche e tecnologiche per le diverse tipologie di batterie.

Accumulatori al piombo acido

La cella elementare di un accumulatore al piombo è costituita da un elettrodo negativo di piombo metallico e da un elettrodo positivo di biossido di piombo, mentre l'elettrolita è una soluzione acquosa di acido solforico con elevata conducibilità ionica.

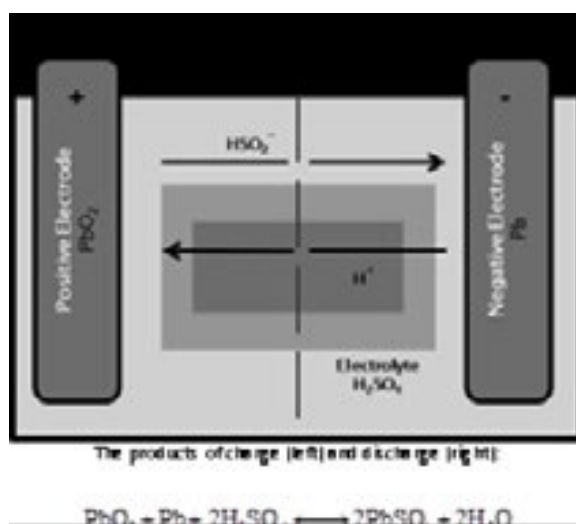


Figura.1. Reazioni chimiche per batteria al piombo acido

Una cella elementare è costituita da un certo numero di elettrodi positivi connessi tra loro, alternati ad elettrodi negativi anch'essi connessi tra loro. Interposto tra elettrodo positivo ed elettrodo negativo vi è un separatore. Nelle applicazioni pratiche vengono installate in un unico contenitore diverse celle elementari, collegate elettricamente in serie, che realizzano monoblocchi con tensione nominale pari a 12 o 24Vdc. Il progetto della cella elementare e la geometria della cella influenzano le prestazioni dell'accumulatore. Gli elettrodi possono essere:

- a "piastre piane": la materia attiva è una piastra spugnosa spalmata su una griglia metallica realizzata generalmente in piombo addizionato di calcio o antimonio per ottenere maggiore resistenza meccanica (più raramente in piombo puro).
- a "tubo": il componente elementare è un tubo contenente la materia attiva, attraversato da un sottile strato di piombo per l'adduzione della corrente.

Esistono molteplici tipologie di accumulatori al piombo, che possono essere raggruppati in due categorie principali:

1. VLA (Vented Lead Acid), accumulatori aperti
2. VRLA (Valve Regulated Lead Acid), accumulatori ermetici

Gli accumulatori VLA sono caratterizzati dalla presenza di un'apertura che permette la fuoriuscita dell'idrogeno e dell'ossigeno prodotti durante le reazioni parassite in carica. Questi accumulatori trovano largo impiego nelle applicazioni stazionarie e nella trazione, tra le principali:

- SLI (Starting Lighting Ignition) – batterie di avviamento dei motori, adatte a lavorare con alti picchi di potenza con profondità di scarica e carica poco profonda
- Batterie per trazione elettrica – utilizzate per carrelli elevatori, muletti elettrici, ecc. Utilizzano batterie in grado di sostenere profondità di scarica profonde.
- Batterie stazionarie – utilizzate come alimentazione di emergenza in centrali elettriche, sottostazioni, ecc.

Negli accumulatori di tipo aperto è previsto il rabbocco dell'acqua contenuta nell'elettrolita, che si consuma per evaporazione ed elettrolisi. Se sottoposte a corretta gestione e regolare manutenzione, queste batterie possono avere una vita attesa anche di 20 anni. Gli accumulatori regolati con valvola (VRLA) sono detti anche ermetici o a ricombinazione di gas.

In questi accumulatori, l'idrogeno prodotto sulla piastra negativa viene convogliato verso la positiva dove si ricombina con l'ossigeno ricostituendo acqua. Le tecnologie sono essenzialmente due:

- AGM (Absorbed Glass Material) – in cui l'elettrolita è assorbito in un supporto microporoso tipo fibra di vetro
- GEL – in cui l'elettrolita è assorbito in un supporto tipo gel. Gli accumulatori ermetici sono ormai ampiamente diffusi grazie ad alcuni vantaggi, quali la minore manutenzione richiesta, il minor ingombro e l'emettere quantità di idrogeno limitate, richiedendo quindi misure di ventilazione degli ambienti meno gravose.

Batteria Litio/Ioni

In una batteria litio/ioni il catodo è solitamente costituito da un ossido litiato di un metallo di transizione (LiTMO₂ con TM = Co, Ni, Mn) che garantisce una struttura a strati o a tunnel dove gli ioni di litio possono essere inseriti o estratti facilmente. L'anodo è generalmente costituito da grafite allo stato litiato in cui ogni atomo è legato ad altri tre in un piano composto da anelli esagonali fusi assieme e che grazie alla delocalizzazione della nuvola elettronica conduce elettricità.

L'elettrolita è composto tipicamente da sali di litio come l'esaffluorofosfato di litio (LiPF₆) disciolti in una miscela di solventi organici (carbonato di dimetile o di etilene) e la membrana separatrice è costituita normalmente da polietilene o polipropilene.

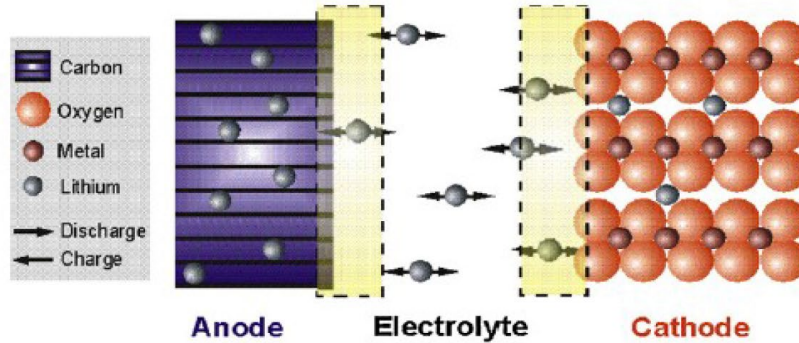
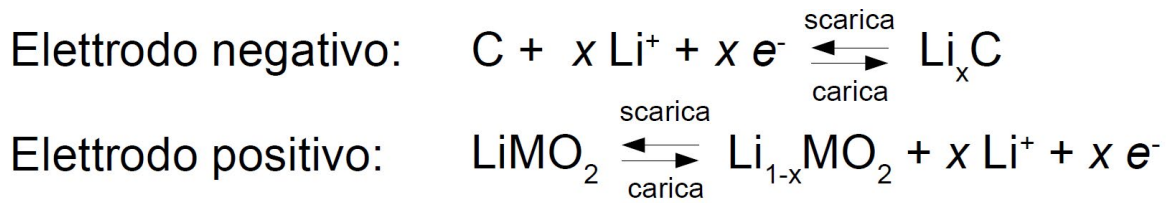


Figura 2. Reazioni chimiche per batteria Litio/Ioni

I collettori di corrente sono generalmente costituiti da metalli che non devono reagire con l'elettrolita e sono solitamente il rame per l'anodo e l'alluminio per il catodo. Quando la cella è completamente scarica tutto il litio presente è contenuto nel catodo. Durante il processo di carica lo ione di litio viene estratto dall'ossido metallico costituente il catodo e trasferito all'anodo, mentre gli elettroni migrano dal catodo all'anodo attraverso il circuito esterno ed il metallo del catodo viene quindi ossidato. All'anodo, il processo di carica determina l'intrappolamento dello ione di litio, che si riduce a litio nella matrice di grafite che si ossida acquisendo gli elettroni provenienti dal circuito esterno. Durante la scarica il litio intercalato nella matrice di grafite si ossida rilasciando all'esterno gli elettroni, mentre gli ioni di litio migrano dall'elettrolita al catodo, che viene ridotto. Durante il primo ciclo di carica, oltre al trasferimento degli ioni di litio nella grafite, si forma anche uno strato passivante tra elettrolita ed elettrodo negativo, denominato SEI (Solid-Electrolyte Interface). Questo strato è importante per le prestazioni delle batterie poiché ne influenza il numero di cicli, la capacità e la sicurezza.

Le celle con elettrolita liquido possono essere realizzate con struttura cilindrica, prismatica, a bottone, mentre le celle polimeriche sono piatte. Le batterie litio/ioni sono una famiglia di accumulatori elettrochimici che si differenziano tra loro oltre che per la tecnologia dell'elettrolita (liquido o polimerico) anche per quella dei materiali catodici ed anodici. Il materiale catodico più utilizzato ed il primo ad essere usato è l'ossido litiato di cobalto (LiCoO₂) il quale presenta una buona capacità di immagazzinare ioni di litio, ma critico quando si verifica la sovraccarica della cella, che può determinare il collasso della struttura del materiale con conseguente rilascio di grande quantità di calore. Inoltre la lieve tossicità e l'elevato costo del cobalto ha determinato recenti sforzi per cercare alternative migliori. Per migliorare la stabilità e ridurre i costi sono oggi realizzati catodi composti di ossidi misti a tre elementi di transizione a base di nichel/cobalto come l'NCA, NMC, che permettono di ottenere prestazioni superiori dell'ossido di cobalto con prezzi decisamente inferiori. Un altro tipo di catodo è costituito da composti litio/manganese (LiMn₂O₄) che presentano una maggiore stabilità termica rispetto al nichel/cobalto e quindi una più elevata sicurezza. Negli ultimi anni hanno preso sempre più spazio l'utilizzo come materiale catodico del fosfato litiato di ferro (LiFePO₄) denominato LFP, in virtù del basso costo e della maggiore sicurezza offerta come conseguenza del basso potenziale elettrochimico. Questa tecnologia ha però l'inconveniente di avere una ridotta conducibilità

ionica, minor flusso di ioni di litio e quindi una maggiore resistenza interna. L'aumento della conducibilità ionica dell'elettrodo viene comunque attuata attraverso diverse tecniche, quali ad esempio il drogaggio dell'ossido. Il materiale anodico maggiormente utilizzato è il carbonio nella forma allotropica della grafite, poiché permette di ottenere una capacità prossima a quella del litio metallico. Come materiale anodico alternativo al carbonio ed alla grafite, è possibile utilizzare ossidi di titanio, per esempio anatasio e rutilio. In particolare il titanato di litio $\text{Li}_4/3\text{Ti}_5/304$ (LTO) è stato ampiamente studiato come materiale anodico ottimale da molti enti di ricerca nel mondo. Le batterie agli ioni di litio con anodo LTO possono garantire un'elevata potenza, una lunga durata ed una estrema sicurezza perché l'elettrodo LTO presenta vantaggi in termini di stacità termica sia a basse temperature (-30°C) che ad alte temperature ($+70^\circ\text{C}$)

Batteria Sodio/Cloruro di Nichel

La batteria sodio/cloruro di nichel appartiene alla famiglia di batterie ad alta temperatura, in cui i due elettrodi si trovano allo stato fuso ed isolati fisicamente ed elettricamente tra loro da un separatore ceramico, che permette il passaggio ionico e svolge le funzioni di elettrolita. Il separatore ceramico, costituito da β'' -allumina, permette il passaggio ionico solo per temperature interne alla batteria prossime ai 260°C , per questo la cella opera ad alta temperatura con elettrodi fusi. All'interno della cella il catodo è costituito da un cloruro di un metallo di transizione (nichel o ferro) allo stato liquido, l'anodo è costituito da sodio allo stato fuso, mentre il separatore ceramico è costituito da β -allumina drogata con ossidi che le conferiscono una struttura caratteristica in cui si muovono gli ioni sodio. L'elettrodo positivo, dove sono presenti i cloruri che garantiscono una struttura molto porosa è addizionato con un solvente liquido ad alta temperatura, tetracloroalluminato di sodio (NaAlCl_4) che non partecipa alla reazione e che costituisce un elettrolita secondario che permette di aumentare la mobilità degli ioni sodio.

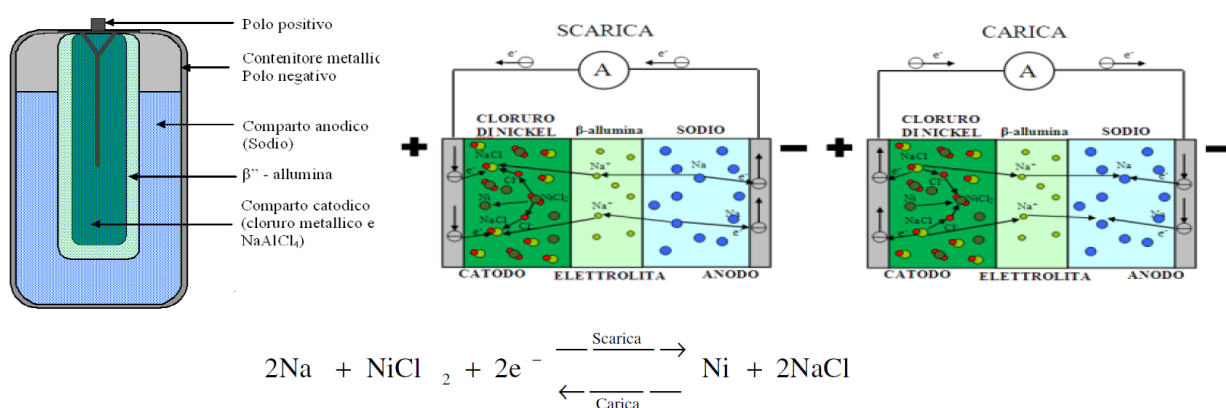


Figura 3. Reazioni chimiche per batteria Sodio/Cloruro di Nichel

La struttura utilizzata per la realizzazione della cella è quella a bicchiere, in cui il separatore contiene l'elettrodo positivo (cloruro metallico impregnato dall'elettrolita secondario) ed è immerso nell'elettrodo negativo (sodio). Durante la scarica, in corrispondenza della superficie di contatto sodio-elettrolita, il sodio viene ossidato liberando gli elettroni. Gli ioni sodio migrano attraverso l'elettrolita verso il comparto catodico, dove gli elettroni provenienti dal circuito esterno riducono il cloruro di nichel, e si forma cloruro di

sodio e nichel. Durante la carica le reazioni descritte procedono in senso inverso. Un vantaggio molto importante rispetto al sodio/zolfo è dato dalla maggior sicurezza in caso di rottura del separatore ceramico. In tal caso infatti si ha una reazione diretta tra il sodio ed il tetracloroalluminato di sodio, che assorbe il sodio disponibile e passiva parzialmente il catodo, con la creazione di prodotti di reazione solidi, non corrosivi e con una bassa pressione di vapore anche alle elevate temperature. Tra i prodotti di reazione solidi vi è anche l'alluminio che cortocircuita automaticamente la cella e permette alla batteria, composta da diverse celle connesse per lo più in serie, di continuare a funzionare con una piccola riduzione di tensione di qualche Volt ai morsetti. Trattandosi di una batteria funzionante con temperatura interna sopra i 260°C, il modulo batteria è realizzato con le celle collegate elettricamente all'interno di un contenitore isolato termicamente. Durante la normale operazione di scarica le perdite per effetto joule e le reazioni esotermiche determinano un aumento della temperatura interna al modulo batteria che rende non necessario l'utilizzo dei riscaldi interni per diverse ore. Inoltre, la temperatura operativa interna al modulo batteria garantisce le performance in potenza / energia e durata di vita in modo indipendente rispetto alle condizioni ambientali.

Batteria Sodio/Zolfo

Come le batterie sodio /cloruro di nichel, la batteria sodio/zolfo appartiene alla famiglia delle batterie ad alta temperatura, in cui i due elettrodi di trovano allo stato fuso, isolati fisicamente ed elettricamente tra loro da un separatore ceramico, che permette il passaggio ionico e svolge le funzioni di elettrolita. In una cella sodio/zolfo, il catodo è costituito da zolfo liquido, l'anodo è costituito da sodio allo stato liquido, mentre il separatore ceramico è costituito da β'' -allumina, un composto costituito da β'' -allumina drogata con ossidi che le conferiscono una struttura caratteristica in cui si muovono gli ioni sodio.

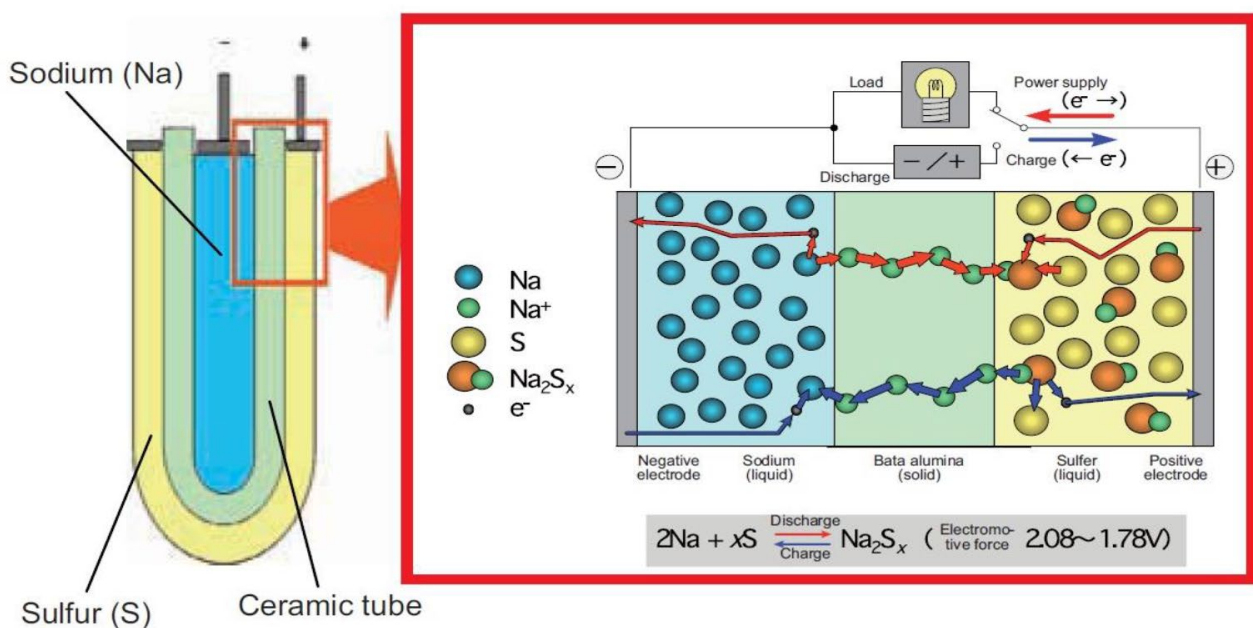


Figura 4. Struttura della batteria Sodio/Zolfo

Durante la scarica, in corrispondenza della superficie di contatto sodio-elettrolita il sodio viene ossidato liberando gli elettroni. Gli ioni sodio, attraverso l'elettrolita, migrano verso l'elettrodo positivo dove si combinano con lo zolfo formando pentasolfato di sodio Na_2S_5 . Procedendo nella scarica al Na_2S_5 subentra il tetrasolfato Na_2S_4 e successivamente il trisolfato Na_2S_3 . Se si proseguisse ulteriormente nella scarica si avrebbe la formazione del bisolfato Na_2S_2 che è un solido e che si separerebbe irreversibilmente dal liquido restando poi inattivo. Per tale motivo la reazione di scarica deve anticipare questa condizione.

Durante la carica le reazioni descritte procedono in senso inverso.

Nelle batterie sodio/zolfo i due elettrodi sono allo stato fuso e sono divisi da un separatore ceramico che permette il passaggio ionico e svolge le funzioni di elettrolita. Il separatore ceramico, costituito da β -allumina, permette il passaggio ionico solo per temperature interne alla batteria prossime ai 300°C . Questo aspetto, unito alla necessità di mantenere i due elettrodi allo stato fuso, determina la necessità di mantenere la cella ad alta temperatura durante il funzionamento. La forma della cella, e quindi del separatore, è generalmente a bicchiere con l'elettrodo negativo (sodio) contenuto all'interno del separatore, il quale è immerso nell'elettrodo positivo (zolfo). Dato il forte potere corrosivo dello zolfo liquido, i materiali dei collettori di corrente catodica devono essere realizzati con leghe pregiate a base di molibdeno o cromo. Trattandosi di una batteria che opera ad alta temperatura interna, il modulo batteria viene realizzato all'interno di un contenitore termicamente isolato che permette di ridurre la dispersione termica. Come le batterie al Sodio/cloruro di Nichel, la temperatura operativa interna al modulo batteria garantisce le performance in potenza/energia e durata di vita in modo indipendente rispetto alle condizioni ambientali.

Batteria Nichel / Cadmio

Una batteria nichel/cadmio è composta da coppie di elettrodi isolati elettricamente mediante un separatore e immerse in un elettrolita di tipo alcalino, costituito da idrossido di potassio in soluzione acquosa. Spesso questo elettrolita è addizionato con piccole quantità di idrossido di litio e idrossido di sodio per aumentarne la vita utile e l'intervallo di temperatura.

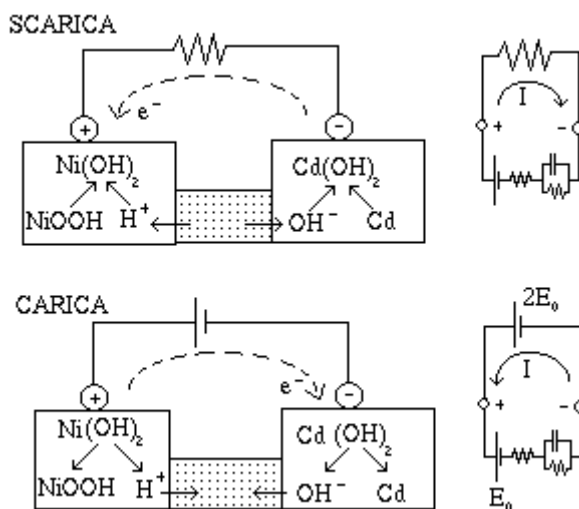


Figura 5: Struttura della batteria Nichel / Cadmio

Durante la scarica, all'anodo il cadmio metallico viene ossidato dalla reazione con gli ioni OH^- dell'elettrolita originando idrossido di cadmio e liberando elettroni. Al catodo invece l'ossido idrato di nichel viene ridotto in idrossido di nichel dalla reazione con la molecola di acqua. Durante la carica le due reazioni avvengono nel verso opposto. Sia durante la scarica che durante la ricarica, la concentrazione dell'elettrolita resta praticamente costante (non viene consumato). Le batterie nichel/cadmio presentano normalmente un contenitore rivestito in polipropilene e dotato di una valvola di sfogo per i gas eventualmente prodotti durante l'operazione di ricarica. Gli elettrodi positivi e negativi sono isolati da un separatore (generalmente costituito da nylon) che deve permettere la libera circolazione dell'elettrolita. L'elettrodo negativo (dove si può verificare la formazione di idrogeno) viene generalmente dimensionato con una capacità superiore a quella del catodo, in modo tale da non avere formazione di idrogeno. L'ossigeno prodotto durante la carica viene invece rilasciato all'esterno nel caso di batterie di tipo aperto, mentre viene diffuso attraverso il separatore e ricombinato all'elettrodo negativo nel caso di celle di tipo ermetico. Come per le batterie al piombo, queste reazioni parassite comportano una perdita di carica e di energia e la necessità di periodici rabbocchi con acqua per accumulatori non ermetici. Un'altra reazione parassita è quella di autoscarica, nel corso della quale l'ossigeno sviluppato all'elettrodo positivo migra al negativo riducendo il cadmio nel suo idrossido, analogamente a quanto avviene durante la reazione principale di scarica.

Batteria Redox a circolazione di elettrolita di vanadio (VRB)

Le batterie Redox a circolazione di elettrolita sono in grado di accumulare energia elettrica in soluzioni elettrolitiche contenenti differenti coppie Redox, utilizzando reazioni accoppiate di ossido-riduzione in cui sia i reagenti sia i prodotti di reazione, in forma ionica, sono completamente disciolti in soluzione acquosa. Nel caso specifico della batteria Redox al Vanadio (VRB) la coppia Redox è costituita da Vanadio in differenti stati di ossidazione, $\text{V}^{3+}/\text{V}^{2+}$ all'elettrodo positivo e $\text{V}^{5+}/\text{V}^{4+}$ al negativo, disciolti in una soluzione di acido solforico. La cella elementare è costituita dalla membrana di scambio ionico, 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^+ ed SO_4^- . Lo ione H^+ sostituisce quello della pellicola di scambio ionico e viene quindi immesso nell'altro elettrolita (positivo). La forza elettromotrice di una cella elementare è 1,25V.

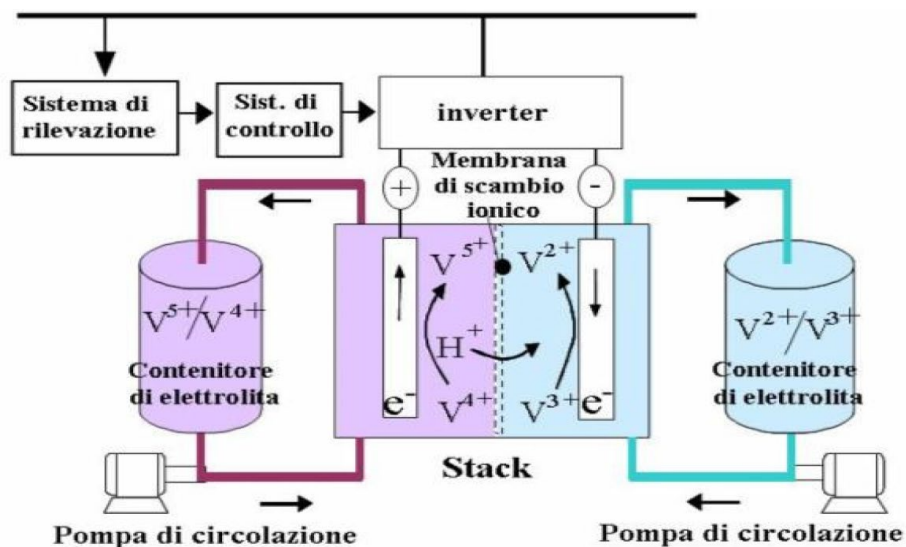


Figura 6: Struttura della batteria Redox/Vanadio

La batteria di flusso elettrolita è molto diversa da un punto di vista costruttivo rispetto ad un accumulatore tradizionale. Le soluzioni dell'elettrolita positivo e negativo sono immagazzinati in serbatoi, messe in circolazione da pompe attraverso un circuito idraulico e si interfacciano nella cella elementare attraverso la membrana. Il cuore della batteria è costituito dallo stack, costituito da un determinato numero di celle elementari collegate elettricamente in serie. La batteria è integrata in un sistema che comprende anche un convertitore elettronico DC/AC, un sistema di controllo e un sistema di raffreddamento. In commercio non si trovano batterie singole, ma integrate in un sistema completo, per cui risulta molto difficile analizzare le prestazioni della tecnologia prescindendo da quelle del sistema in cui è integrata. Una caratteristica fondamentale della tecnologia Vanadio Redox è il totale disaccoppiamento tra le prestazioni in potenza ed in energia:

- la potenza che il sistema può erogare o assorbire dipende dalla quantità di elettrolita che prende parte alla reazione istante per istante (compatibilmente con la velocità della reazione) e quindi dalla superficie della membrana e dalla velocità delle pompe;
- la capacità di accumulo è invece legata alla quantità di elettrolita totale, quindi dalla capienza dei serbatoi.

Pertanto a parità di potenza installata è possibile aumentare/diminuire la capacità aumentando/diminuendo le dimensioni dei serbatoi. L'efficienza energetica del sistema è influenzata dalla modalità di gestione delle pompe. Nei vecchi sistemi le pompe lavoravano a velocità costante, che comportava una riduzione del rendimento del sistema nei periodi di funzionamento con basso carico e con fasi di stand-by. Nei nuovi sistemi è stata implementata una modalità di gestione delle pompe a velocità variabile, con conseguente miglioramento dell'efficienza del sistema. Un parametro che influenza fortemente il comportamento di questa batteria è la temperatura. La batteria lavora in un intervallo di temperature tra 0° - 40°C. Alle basse temperature il fluido aumenta di densità al punto che la sua circolazione diventa difficoltosa (si può arrivare al punto che le celle dello stack non riescano a riempirsi in modo uniforme). L'alta temperatura (oltre i 40°C) invece può causare la precipitazione dei Sali di vanadio dell'elettrolita, in particolare se la batteria è carica, i quali possono ostruire il circuito idraulico e le pompe di circolazione. La durata di vita della batteria da un punto di vista elettrochimico è teoricamente illimitata, dal momento che gli elettrodi /elettroliti non partecipano direttamente alle reazioni elettrochimiche di cella se non come portatori di elettroni. Le varie parti del sistema possono essere sostituite nel corso della vita dell'impianto, che può raggiungere una vita attesa di 10000 cicli di utilizzo continuativo.

4 Considerazioni di impatto ambientale relative all'installazione di Sistemi di Accumulo (SdA) connessi in rete

I requisiti generali di impatto ambientale riguardano, su scala globale, argomenti relativi alla progettazione, produzione dei componenti, installazione, funzionamento, manutenzione ed aspetti relativi al riciclo dei materiali, con particolare attenzione al rispetto dell'ambiente e del territorio ed allo sviluppo di prodotti non inquinanti. I requisiti ambientali di un SdA sono influenzati dalle condizioni di installazione (residenziale, industriale, Utility, SdA associato a generazione elettrica da fonte rinnovabili), dal tipo di tecnologia elettrochimica utilizzata e dalle tipologie di rischio tecnico introdotte nell'installazione.

I SdA sono influenzati dalle condizioni ambientali in cui vengono installati; a loro volta possono avere degli effetti rispetto all'ambiente circostante in caso di un evento non controllato. In tal senso, i SdA andrebbero considerati durante le condizioni di funzionamento usuali e non usuali.

Il principio generale definisce che in condizioni di funzionamento "usuali" i SdA non dovrebbero essere influenzati dalle condizioni ambientali che caratterizzano l'installazione.

Le condizioni ambientali "non normali", disastro naturale o accidentale, dovrebbero avere un impatto il più possibile controllato nei riguardi del SdA e viceversa. I SdA hanno un impatto sull'ambiente durante tutte le fasi del loro ciclo di vita, in termini di acquisizione dei materiali grezzi, produzione, distribuzione, uso applicativo e trattamenti di fine vita. A tal fine è appropriato ricevere dai fornitori un'analisi di impatto ambientale che generalmente contiene: analisi tecnica della tecnologia di accumulo utilizzata, livello di rumore, test sismici, effetti ambientali.

A titolo esemplificativo e non esaustivo, si possono considerare le seguenti condizioni climatiche e accidentali relative al punto di installazione del SdA:

- Condizioni climatiche
 - Temperatura
 - Umidità
 - Altitudine
 - caratteristiche geologiche

- Condizioni accidentali di funzionamento e manutenzione
 - terremoto
 - vibrazione
 - Ilagamenti
 - incendio
 - Esplosione

5 Analisi del Rischio

Occorre prima premettere alcune precisazioni terminologiche e lessicali visto che i termini che verranno usati fanno parte di un lessico non scientifico e quindi si potrebbero ingenerare confusioni. Le definizioni che seguono sono prese dalla guida ICH Q9 "Quality risk management":

- HARM (danno) Damage to health, including the damage that can occur from loss of product quality or availability (Danno all'integrità includendo quello proveniente dalla perdita della qualità del prodotto o della sua disponibilità)
- HAZARD (pericolo) Potential source of harm (Sorgente potenziale di danno)
- SEVERITY (severità o gravità o magnitudo) Measure of the possible consequences of a hazard (Misura delle possibili conseguenze di un pericolo)
- PROBABILITY (probabilità) Extent to which the harm is likely to occur (Probabilità che si verifichi il danno)
- RISK (rischio) Combination of the probability of occurrence of harm and the severity of that harm (Combinazione della probabilità di accadimento di un danno e della severità del danno medesimo)
- DETECTABILITY (rilevabilità) Extent to which the harm is evident (Possibilità di rilevare il danno)
- RISK ANALYSIS (analisi di rischio) Use of available information to identify hazards and to estimate the risk (Utilizzo di informazioni disponibili per identificare i pericoli e per stimare il rischio)
- Le tecniche più utilizzate per l'analisi del rischio sono:
- Process/System Checklists (Liste di controllo di processo/sistema)
- Safety Review (Revisione di sicurezza)
- Preliminary Hazard Analysis (Analisi preliminare di rischio)
- "What If" Analysis (Analisi "What If")
- Cause-Consequence Analysis (Analisi cause-conseguenze)
- FMEA e FMECA (Failure Modes and Effects Analysis, Failure Modes and Effects and Criticality Analysis): (Analisi dei modi di guasto, effetti e criticità)
- HAZOP (Hazard and Operability study): (Analisi di pericolo e funzionalità)
- FTA (Fault Tree Analysis): (Albero dei guasti)
- ETA (Event Tree Analysis): (Albero degli eventi)
- Dow and Mond Hazard Indices: (Indici di rischio Dow and Mond)
- HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points): (Analisi del pericolo e punti critici di controllo)

Senza addentrarci in ognuno dei sopraccitati, si descrivono solo i più usati. Ad esempio l'HAZOP è un metodo induttivo che consente di identificare potenziali deviazioni nel progetto di realizzazione di un sistema, rispetto agli intenti iniziali ("design intent"), di esaminarne le possibili cause valutandone le conseguenze. Il metodo FTA è un buon metodo per valutare i fattori che più influiscono su un parametro.

I risultati mostrano una rappresentazione visiva dei "fallimenti" e una stima quantitativa delle probabilità del fallimento di ogni modalità. Il FMEA e FMECA sono sovente applicati ad attrezzature e macchinari, e possono essere utilizzati anche per analizzare un processo di fabbricazione e per individuare passaggi ad alto rischio o parametri critici. La differenza tra FMEA e FMECA consiste nel fatto che con la tecnica originaria, la FMEA, si può condurre un'analisi solo qualitativa di difetti o malfunzionamenti (risk estimation).

La FMECA completa quindi il processo del FMEA incorporando un'indagine intorno al grado di severità e alla probabilità e rilevabilità di ogni evento, con una valutazione della criticità di ogni difetto o malfunzionamento

(risk evaluation). Il risultato è la definizione dell'indice di priorità del rischio per ognuno dei sopraccitati eventi. L'analisi del rischio viene effettuata relativamente alle caratteristiche relative all'installazione di SdA, basandosi sulla severità dell'accadimento e sulla probabilità che esso provochi un danno.

A tal fine il Comitato Tecnico internazionale IEC TC 120 Electrical Energy Storage (EES) Systems, è attualmente al lavoro per produrre una Norma per gli aspetti di impatto ambientale e la sicurezza legati agli SdA.

6 Demolizione dell'impianto e smaltimento

Ogni elemento, oggetto, o sostanza risultante da attività umane è destinato, seguendo il naturale ciclo di vita, a trasformarsi in "rifiuto". I rifiuti si dividono in tre principali categorie:

- Rifiuti di tipo solido-urbano: in questa categoria sono compresi tutti i rifiuti derivanti da attività umane quali carta, stracci, plastica, lattine, bottiglie, ecc...
- Rifiuti di tipo speciale: in questa categoria sono compresi tutti quei rifiuti derivanti da lavorazioni dell'industria di trasformazione (industria chimica, raffinerie, concerie, ecc.), da attività artigianali (autofficine, laboratori artigianali, ecc.), attività agricole (allevamenti di animali, mangimifici, ecc.) che per quantità e qualità non si possano considerare assimilabili ai rifiuti urbani.
- Rifiuti di tipo tossico-nocivo: in questa categoria sono compresi tutti quei rifiuti tossici o nocivi che sono contaminati o contengono in parte tutte le sostanze elencate nel DPR 915/82.

Particolare attenzione si deve avere per i rifiuti di tipo "Speciale" e "Tossico-nocivo". Lo smaltimento di questi rifiuti deve essere eseguito secondo le direttive vigenti nel paese dell'utilizzatore in ambito di tutela dell'ambiente e devono obbligatoriamente essere affidati solo ed esclusivamente a ditte autorizzate e specializzate per il trattamento specifico della sostanza stessa.

Riepilogo aspetti relativi allo smaltimento/ambientali per tecnologia di accumulatori elettrochimici:

Tecnologia	Aspetti relativi allo smaltimento/ambientali
Piombo acido	Contengono materiali parzialmente inquinanti, per cui lo smaltimento deve essere gestito da ditte autorizzate e specializzate. Dal 1988 è stato istituito il COBAT, Consorzio Obbligatorio per le Batterie al piombo esauste e rifiuti piombosi, che assicura la raccolta e il riciclaggio delle batterie esauste. Attualmente il metallo riciclato dalle batterie esauste rappresenta oltre il 40% della produzione italiana di piombo.
Nichel/cadmio	Il maggiore problema ambientale è legato alla presenza dell'elettrodo di cadmio, un metallo pesante e tossico. Per tale ragione gli accumulatori nichel/cadmio sono classificati come rifiuti pericolosi. La Direttiva Europea 2006/66/EC stabilisce che le batterie nichel/cadmio per applicazioni industriali devono essere raccolte dal produttore e riciclate in strutture specializzate. Dal processo di riciclaggio è possibile recuperare il 99% dei metalli contenuti, e il cadmio derivante da questo processo è destinato alla realizzazione di nuovi accumulatori.
Litio/ioni	Non presentano problemi di inquinamento ambientale dato il ridotto livello di tossicità dei componenti costituenti le batterie. L'unico elemento che può presentare problemi ambientali è rappresentato dai solventi utilizzati all'interno degli elettroliti liquidi, i quali risultano infiammabili, irritanti e corrosivi.
Sodio/cloruro di Nichel	Non presentano problemi dal punto di vista ambientale dato il carattere poco inquinante dei due elettrodi. Il processo di riciclaggio delle batterie viene compiuto dal produttore, che utilizza i materiali riciclati per produrre nuove batterie
Sodio/Zolfo	Non presentano problemi dal punto di vista ambientale dato il carattere poco inquinante dei due elettrodi. Il processo di riciclaggio delle batterie viene compiuto dal produttore, che utilizza i materiali riciclati per produrre nuove batterie
Vanadio Redox	La batteria è composta prevalentemente di materiali plastici (stack, tubature dell'impianto idraulico, serbatoi) che possono essere completamente riciclati. Lo smaltimento dell'elettrolita (che contiene una concentrazione di acido solforico leggermente inferiore rispetto a quella dell'accumulatore al Piombo Acido) deve seguire le modalità di trattamento dei Rifiuti Speciali.

Tabella 1. Aspetti relativi allo smaltimento/ambientali

7 Imballaggio e Trasporto delle batterie di origine elettrochimica per SdA

L'imballaggio ed il trasporto dei SdA sono considerati in varie regolamentazioni a livello nazionale ed internazionale e prendono in considerazione il pericolo di corto-circuito accidentale e fuoriuscite di elettrolita. Le batterie elettrochimiche più comunemente utilizzate in sistemi di accumulo di energia sono classificate merci pericolose ai fini del trasporto stradale, marittimo e aereo. Le regolamentazioni internazionali sono diverse a seconda del tipo di trasporto scelto:

a. stradale

Accordo Europeo per il trasporto internazionale di merce pericolosa su strada (ADR)

b. ferroviario

Convenzione internazionale relativa al trasporto di merce pericolosa su ferrovia (CIM) Regolamentazione internazionale relativa al trasporto di merce pericolosa su ferrovia (RID)

c. marittimo

Organizzazione Internazionale Marittima (IMO)

d. aereo

International Air Transport Association (IATA)

Il trasporto di batterie è regolato da specifiche norme che prevedono, al momento della spedizione, l'utilizzo di imballaggi idonei, corretta etichettatura e marcatura dei colli, la predisposizione della necessaria documentazione che deve accompagnare il trasporto, nonché la conformità delle dotazioni dei mezzi di trasporto ai requisiti di sicurezza previsti e la qualifica professionale degli autisti. Riportiamo di seguito le indicazioni di carattere generale utili a orientarsi e identificare le principali azioni da intraprendere nel caso di spedizioni di batterie nuove ed esauste su strada, in conformità all'Accordo ADR 2015. Si seguiranno scrupolosamente le indicazioni del produttore e si farà riferimento alle schede tecniche delle batterie, se disponibili.

Trasporto Stradale - Accordo ADR 2015

Classificazione:

Ai fini del trasporto le batterie sono identificate da un numero ONU e dalla designazione ufficiale, qui riepilogate:

Tipo	N. ONU	Designazione ufficiale	Classe
Batterie Piombo-Acido	UN 2794	Accumulatori elettrici riempiti di elettrolita liquido acido	8
	UN 2800	Accumulatori elettrici a tenuta riempiti di elettrolita liquido	8
Batterie Nichel-Cadmio	UN 2795	Accumulatori elettrici riempiti di elettrolita liquido alcalino	8
	UN 2800	Accumulatori elettrici a tenuta riempiti di elettrolita liquido	8
Batterie Sodio – Cloruro di Nichel	UN 3292	Batterie contenenti Sodio	4,3
Batterie al litio ricaricabili	UN 3480	Batterie litio ione	9
	UN 3481	Batterie litio ione imballate con apparecchiature	9
	UN 3481	Batterie litio ione contenute in apparecchiature	9
<i>Per un quadro completo delle varie tipologie di accumulatori, riportiamo anche le batterie NiHM, che sono considerate pericolose solo per il trasporto marittimo mentre su strada o aereo non hanno restrizioni</i>			
Batterie Nichel Idruri Metallici	UN 3496	Batterie Nichel Idruri Metallici	9
Classi di pericolo: 4.3 Materie che a contatto con l'acqua sviluppano gas infiammabili 8 Materie corrosive 9 Materie ed oggetti pericolosi diversi			

Tabella 2. Classificazione batterie per trasporti

Gruppo di Imballaggio: n/a (non assegnato)

Dal 2015 alle batterie non viene più assegnato il Gruppo di Imballaggio in quanto le batterie sono articoli e non sostanze o miscele. Quindi, se anche presente nelle schede tecniche del produttore per le batterie al litio e al sodio, il gruppo di imballaggio non dovrà essere più indicato sulla documentazione.

Imballaggi

Le merci pericolose devono essere imballate e, come principio generale, gli imballaggi devono essere omologati e conformi a quanto previsto dall'ADR per garantire che il contenuto non fuoriesca in caso di incidente. Le caratteristiche costruttive delle batterie, caratterizzate da robusti contenitori esterni, permettono in molti casi di evitare l'uso di imballaggi.

Etichette e marcature

Si applicano ai colli per identificare la merce pericolosa in essi contenuti, devono essere visibili e non coperti da altre parti dell'imballaggio; devono essere esposti alle intemperie senza sostanziale degradazione. Le etichette devono avere dimensioni minime 10 x 10 cm, mentre l'altezza del carattere della marcatura deve

essere di almeno 12 mm per colli di peso superiore a 30 kg, mentre può essere ridotta a 6 mm per quelli inferiori.

Documento di trasporto ADR

Nel documento di trasporto è necessario indicare:

- Nome e indirizzo dello speditore,
- Nome e indirizzo del destinatario,
- numero ONU della merce pericolosa
- designazione ufficiale,
- classe,
- quantità totale di merce pericolosa trasportata
- numero di colli
- tipo di colli
- codice restrizione galleria,

Per il Documento di Trasporto non esiste un modello specifico, la posizione delle varie voci che lo compongono può essere scelta liberamente, solo la sequenza di identificazione della merce pericolosa deve essere obbligatoriamente seguita:

N. ONU, designazione ufficiale, classe, gruppo di imballaggio, codice galleria

Riepilogo condizioni di trasporto su strada di Batterie nuove

- Batterie Pb-acido e NiCd: per le batterie al piombo e NiCd dei numeri UN 2794, UN 2795 e UN 2800, la disposizione speciale 598 permette di non applicare l'accordo ADR se le batterie sono protette dal cortocircuito, pulite, integre, fissate in modo da non scivolare o rovesciarsi e se sono disposte su pallet o provviste di dispositivi di presa. In questo caso, non essendo regolamentate, non si devono marcare né etichettare.
- Batterie Litio Ione Sono sempre considerate merci pericolose e si applicano le restrizioni previste dall'ADR. I colli devono essere marcati con il numero UN 3480 e devono recare l'etichetta di pericolo classe 9



Figura 7. Etichetta per batterie litio-ioni

Per le batterie di peso inferiore a 12 kg, è obbligatorio utilizzare imballaggi omologati di Gruppo di Imballaggio II delle seguenti tipologie:

Kind	Material	Category	Code
Drums	A. Steel	removable head	1A2
	B. Aluminium	removable head	1B2
	D. Plywood	-	1D
	G. Fibre	-	1G
	H. Plastics	removable head	1H2
	N. Metal, other than steel or aluminium	removable head	1N2
Jerricans	A. Steel	removable head	3A2
	B. Aluminium	removable head	3B2
	H. Plastics	removable head	3H2
Boxes	A. Steel	-	4A
	B. Aluminium	-	4B
	C. Natural wood	ordinary	4C1
		with sift-proof walls	4C2
	D. Plywood	-	4D
	F. Reconstituted wood	-	4F
	G. Fibreboard	-	4G
	H. Plastics	expanded	4H1
		solid	4H2
	N. Metal, other than steel or aluminium	-	4N

Figura 8. Codici per imballaggi

Per le batterie di peso pari o superiore a 12 kg, dotate di un contenitore esterno robusto e resistente agli urti, le batterie possono essere trasportate nei seguenti modi:

- in robusti imballaggi esterni non omologati;
- in involucri di protezione (per esempio in casse completamente chiuse o in casse di legno)
- su pallet

Le batterie devono essere fissate per impedirne il movimento involontario, ed i terminali non devono sopportare il peso di altri elementi sovrapposti.

Le batterie devono essere protette dal corto circuito.

- Batterie al sodio/Nichel cloruro

Sono sempre considerate merci pericolose e si applicano le restrizioni previste dall'ADR. I colli devono essere marcati con il numero UN 3292 e devono recare l'etichetta di pericolo classe 4.3

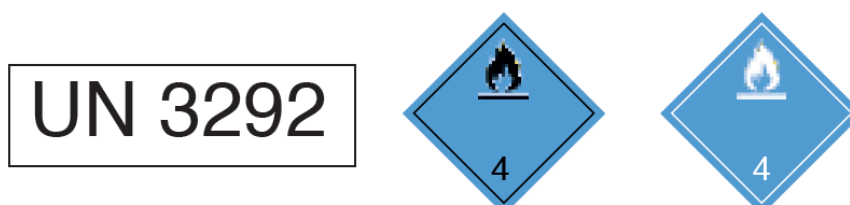


Figura 9. Etichetta per batterie sodio/nichel cloruro

Le batterie possono essere trasportate non imballate oppure in involucri di protezione (per esempio in casse completamente chiuse o in casse di legno) non omologati. I terminali non devono sopportare il peso di altri elementi sovrapposti. Le batterie devono essere protette dal corto circuito.

Tipo	N. ONU		Marcatura	Etichetta
Batterie Piombo-Acido	UN 2794	Esentate in base alla disposizione speciale 598	n/a	n/a
	UN 2800	Esentate in base alla disposizione speciale 598	n/a	n/a
Batterie Nichel-Cadmio	UN 2795	Esentate in base alla disposizione speciale 598	n/a	n/a
	UN 2800	Esentate in base alla disposizione speciale 598	n/a	n/a
Batterie Sodio – Cloruro di Nichel	UN 3292	Spedizione senza imballaggio o con imballaggio non omologato	UN 3292	4,3
Batterie Litio Ione	UN 3480	Batterie litio ione	UN 3480	9

Tabella 3. Marcatura e etichetta batterie

8 Schede tecniche

SUNNY CENTRAL STORAGE 2500-EV / 2750-EV / 3000-EV



Efficient

- High power density
- Max. efficiency is 98.6%
- Lower transportation costs (up to 4 inverters in a standard shipping container)

Robust

- Proven OptiCool™ technology for intelligent, effective cooling
- Can be installed worldwide outdoors in any ambient condition

Flexible

- Conforms to all relevant grid requirements worldwide
- Four quadrant operation for full reactive power support
- Stand-alone device or turnkey solution with medium-voltage block

Versatile

- Integrated battery communication
- Customized monitoring and control of inverters
- Grid management functions for dynamic grid support
- Integrated voltage supply for internal consumption and external loads

SUNNY CENTRAL STORAGE 2500-EV / 2750-EV / 3000-EV

Battery inverter for large-scale storage systems

Grid-connected storage systems enable the integration of large amounts of intermittent renewable energy into the utility grid while ensuring maximum grid stability. The Sunny Central Storage is the central component of the SMA system solution for integration of large-scale storage systems. It is designed to compensate fluctuations in solar energy generation and offers comprehensive grid management services, e.g., automatic frequency control. The battery inverter is optimized for continuous operation at nominal load and temperature of -25°C to $+50^{\circ}\text{C}$. Thanks to its wide DC voltage range, it is compatible with various types of battery technologies. The Sunny Central Storage is designed to work with the SMA Fuel Save Controller and is also available as turnkey solution with medium-voltage block.

SUNNY CENTRAL STORAGE 2500-EV / 2750-EV

Technical Data	SCS 2500-EV	SCS 2750-EV
Battery side (DC)		
DC Voltage range (at 25°C / at 50°C) ¹⁾	850 V to 1425 V / 1250 V	875 V to 1425 V / 1275 V
Minimal / Maximal DC voltage ²⁾	778 V / 1500 V	849 V / 1500 V
Max. DC current (at 25°C / at 50°C)	3000 A / 2700 A	3200 A / 2700 A
Max. interruption current capability ³⁾	6400 A	6400 A
Number of DC cables per polarity	26	
Grid side (AC)		
Max. AC power (at 25°C / at 50°C)	2500 kVA / 2250 kVA	2750 kVA / 2500 kVA
Max. AC current	2624 A	2646 A
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range ⁴⁾	550 V / 440 V to 660 V	600 V / 480 V to 660 V
AC power frequency / range	50 Hz / 47 Hz to 53 Hz 60 Hz / 57 Hz to 63 Hz	
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable ¹¹⁾	1 / 0 overexcited to 0 underexcited	
Max. total harmonic distortion	< 3% at nominal power	
Min. short-circuit ratio at the AC terminals	2	
Efficiency		
Max. efficiency ⁵⁾ / European efficiency ⁵⁾	98.6% / 98.3%	98.7% / 98.6%
Protective Devices		
Input-side disconnection point	DC load-break switch	
Output-side disconnection point	AC circuit breaker	
DC overvoltage protection	Surge arrester, type I	
AC overvoltage protection	o Surge arrester, class I	
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III	
Ground-fault monitoring / remote ground-fault monitoring	o / o	
Insulation monitoring	●	
Degree of protection: electronics / air duct / connection area (as per IEC 60529)	IP65 / IP34 / IP34	
General Data		
Dimensions (W / H / D)	2780 mm / 2318 mm / 1588 mm	
Weight	< 3400 kg	
Self-consumption (max. ⁶⁾ / partial load ⁷⁾ / average ⁸⁾	< 8100 W / < 1800 W / < 2000 W	
Self-consumption (standby)	< 370 W	
Auxiliary power supply: integrated 8.4 kVA transformer / external	● / o	
Operating temperature range	-25°C to 60°C	
Noise emission ⁹⁾	< 67.3 dB(A)	
Temperature range (standby)	-40°C to 60°C	
Temperature range (storage)	-40°C to 70°C	
Max. permissible value for relative humidity (condensing / non-condensing)	95% to 100% [2 month/year] / 0% to 95%	
Maximum operating altitude above MSL ¹⁰⁾ 1000 m / 2000 m / 3000 m	● / o / o [with power reduction]	
Fresh air consumption	6500 m ³ /h	
Features		
DC connection	Terminal lugs on each input (without fuse)	
AC connection	With busbar system (three busbars, one per line conductor)	
Communication	Ethernet, Modbus Master, Modbus Slave	
Enclosure / roof color	RAL 9016 / RAL 7004	
Display	● Indicator lights / o HMI touchscreen (10.1")	
Supply transformer for external loads	o [2.5 kVA]	
Standards and directives complied with	BDEW-MSRL, CE, IEC / EN 62109-1, IEC / EN 62109-2	
EMC standards	EN 55011:2011-4, IEC / EN 61000-6-4, IEC / EN 61000-6-2, EN 55022	
● Standard features o Optional		
Type designation	SCS-2500-EV-10	SCS-2750-EV-10

1) Another voltage range can be offered on request

2) With power derating

3) Battery short circuit disconnection has to be done on the battery side

4) AC voltage range can be extended for 50 Hz grids only (option „brown power“ must be selected, option “housekeeping” not combinable).

5) Efficiency measured without internal power supply

6) Self-consumption at rated operation

7) Self-consumption at < 75% Pn at 25°C

8) Self-consumption averaged out from 5% to 100% Pn at 25°C

9) Sound pressure level at a distance of 10 m

10) Values apply only to inverters. Permissible values for SMA MV solutions from SMA can be found in the corresponding data sheets.

11) Depending on the DC voltage

SUNNY CENTRAL STORAGE 3000-EV

Technical Data	SCS 3000-EV*
Battery side (DC)	
DC Voltage range (at 25°C / at 50°C) ¹⁾	956 V to 1425 V / 1200 V
Minimal / Maximal DC voltage ²⁾	927 V / 1500 V
Max. DC current (at 25°C / at 50°C)	3200 A / 2970 A
Max. interruption current capability ³⁾	6400 A
Number of DC cables per polarity	26
Grid side (AC)	
Max. AC power (at 25°C / at 50°C)	3000 kVA / 2700 kVA
Max. AC current (at 25°C / at 50°C)	2646 A
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range ⁴⁾	655 V / 524 V bis 721 V
AC power frequency / range	50 Hz / 47 Hz to 53 Hz 60 Hz / 57 Hz to 63 Hz
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable ¹¹⁾	1 / 0 overexcited to 0 underexcited
Max. total harmonic distortion	< 3% at nominal power
Min. short-circuit ratio at the AC terminals	2
Efficiency	
Max. efficiency ⁵⁾ / European efficiency ⁵⁾	98.7% / 98.6%
Protective Devices	
Input-side disconnection point	DC load-break switch
Output-side disconnection point	AC circuit breaker
DC overvoltage protection	Surge arrester, type I
AC overvoltage protection	○ Surge arrester, class I
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III
Ground-fault monitoring / remote ground-fault monitoring	○ / ○
Insulation monitoring	●
Degree of protection: electronics / air duct / connection area (as per IEC 60529)	IP65 / IP34 / IP34
General Data	
Dimensions (W / H / D)	2780 mm / 2318 mm / 1588 mm
Weight	< 3400 kg
Self-consumption (max. ⁶⁾ / partial load ⁷⁾ / average ⁸⁾	< 8100 W / < 1800 W / < 2000 W
Self-consumption (standby)	< 370 W
Auxiliary power supply: integrated 8.4 kVA transformer / external	● / ○
Operating temperature range	-25°C to 60°C
Noise emission ⁹⁾	< 67.3 dB(A)
Temperature range (standby)	-40°C to 60°C
Temperature range (storage)	-40°C to 70°C
Max. permissible value for relative humidity (condensing / non-condensing)	95% to 100% (2 month/year) / 0% to 95%
Maximum operating altitude above MSL ¹⁰⁾ 1000 m / 2000 m / 3000 m	● / ○ / ○ (with power reduction)
Fresh air consumption	6500 m ³ /h
Features	
DC connection	Terminal lugs on each input (without fuse)
AC connection	With busbar system (three busbars, one per line conductor)
Communication	Ethernet, Modbus Master, Modbus Slave
Enclosure / roof color	RAL 9016 / RAL 7004
Display	● Indicator lights / ○ HMI touchscreen (10.1")
Supply transformer for external loads	○ (2.5 kVA)
Standards and directives complied with	BDEW-MSRL, CE, IEC / EN 62109-1, IEC / EN 62109-2
EMC standards	EN 55011:2011-4, IEC / EN 61000-6-4, IEC / EN 61000-6-2, EN 55022
● Standard features ○ Optional * preliminary	
Type designation	SCS-3000-EV-10

1) Another voltage range can be offered on request

2) With power derating

3) Battery short circuit disconnection has to be done on the battery side

4) AC voltage range can be extended for 50 Hz grids only (option

"brown power" must be selected, option "housekeeping" not combinable).

5) Efficiency measured without internal power supply

6) Self-consumption at rated operation

7) Self-consumption at < 75% P_n at 25°C

8) Self-consumption averaged out from 5% to 100% P_n at 25°C

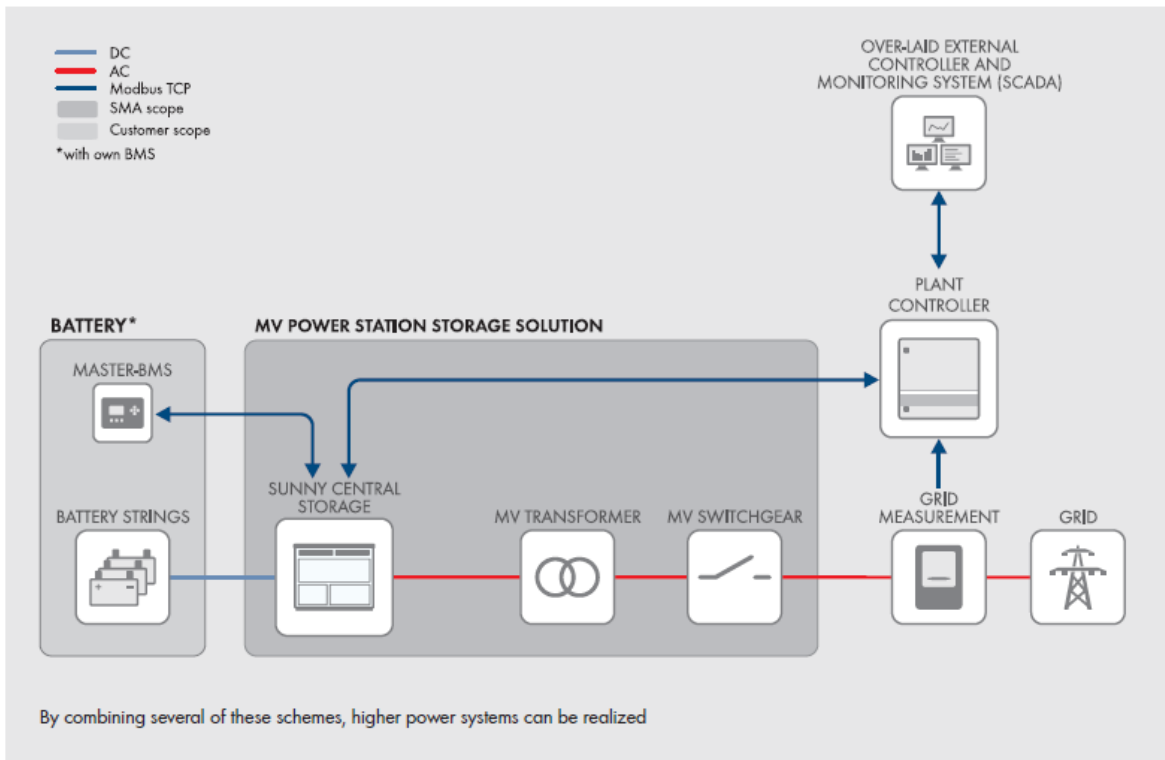
9) Sound pressure level at a distance of 10 m

10) Values apply only to inverters. Permissible values for SMA MV solutions from SMA can be found in the corresponding data sheets.

11) Depending on the DC voltage

SUNNY CENTRAL STORAGE APPLICATIONS

- Provides ancillary grid services
- Supports the growth of renewable energy in public grids
- Increases fuel saving potential in PV hybrid diesel systems



Grid-connected functions

- Setpoints for active and reactive power
- Static grid support $Q(U)$, $P(f)$
- Dynamic grid support (FRT)
- Active islanding detection (AID)
- High compatibility with different battery types

Compatible with energy management system functionalities

- External static grid supporting functions
- Ramp-rate control of PV power
- Peak shaving
- Energy shifting
- Genset optimization control
- Reducing necessary spinning reserve of gensets
- Battery start-up and stop sequence
- Operates the battery within optimal operation window
- Grid Forming
- Black Start

9 Conclusioni

Come si evince dalle schede tecniche allegate, il modulo Inverter che è già predisposto per la gestione degli accumuli ha le stesse caratteristiche dimensionali degli inverter previsti in progetto. Allo stato attuale la tecnologia non è ancora giunta ad un livello ottimale che consenta di implementare gli attuali progetti senza prevedere ulteriori spazi da adibire a depositi per gli accumulatori, i quali spazi dipendono strettamente dal tipo di approccio al mercato elettrico per l'impianto in progetto. Considerando comunque l'attuale processo evolutivo della tecnologia si stima che entro cinque anni si potranno implementare le attuali cabine inverter con analoghe che contengono nei medesimi volumi un accumulo pari al 10% della potenza di impianto con batterie a ioni di litio.