



GUIDA ACCUMULO A BATTERIE · 18 MIN

Compartimentazione termica nei sistemi di accumulo a batterie: materiali refrattari contro la fuga termica

Come progettisti e gestori di sistemi di accumulo a batterie (BESS) possono limitare la propagazione termica tra cella, modulo, rack e container: normative, scelta dei materiali, posa, prove e manutenzione dal punto di vista dell'installazione di refrattari.

Che cosa accade durante la fuga termica e perché il tempo è il fattore decisivo

Una fuga termica (thermal runaway) ha origine in una singola cella: a causa di un cortocircuito interno, di un danno meccanico, di un sovraccarico o di un difetto di fabbricazione, la temperatura della cella sale al punto che la decomposizione dell'elettrolita si autoaccelera. In pochi secondi si raggiungono diverse centinaia di gradi Celsius, si sviluppano gas infiammabili (idrogeno, monossido di carbonio, idrocarburi) e un getto di particelle incandescenti. In questo stato la cella non può più essere spenta: la reazione prosegue finché l'energia accumulata non si esaurisce.

Per l'impianto il pericolo non è la singola cella, ma la propagazione: il calore della prima cella riscalda le celle adiacenti finché anche lì la soglia viene superata. Senza compartimentazione la reazione a catena attraversa il modulo, il rack e infine il container. Ogni livello che ritarda la trasmissione di qualche minuto dà al sistema di gestione della batteria il tempo di spegnere, al sistema di evacuazione dei gas il tempo di sfiatare e ai vigili del fuoco il tempo di arrivare.

Nota: Il compito principale dei materiali refrattari — Non spegnere, ma separare: una barriera termica tra i livelli mantiene la temperatura sul lato non esposto al di sotto della soglia di innesco delle celle adiacenti abbastanza a lungo da arrestare la propagazione o da renderla lenta e gestibile. Il parametro di riferimento è il tempo necessario al passaggio della temperatura attraverso la barriera, non la sola temperatura di classificazione del materiale.

- Livello di cella: temperature sulla superficie della cella oltre 600 °C, getto di particelle fino a oltre 1.000 °C
- Livello di modulo: rilascio di gas di diverse centinaia di litri per kWh, aumento di pressione nell'involucro
- Livello di rack e container: si aggiunge il carico d'incendio di materie plastiche, cavi ed elettronica
- Finestra temporale: senza barriera la propagazione tra celle adiacenti avviene tipicamente nell'arco di minuti; con una barriera efficace viene ritardata in modo significativo o interrotta

Normative: che cosa è richiesto e che cosa deve essere dimostrato

Per i sistemi di accumulo a batterie stazionari in Germania non esiste un'unica legge esaustiva: i requisiti derivano da norme di prodotto, metodi di prova, direttive degli assicuratori e normativa edilizia. Per la scelta dei materiali all'interno del container sono determinanti soprattutto i metodi di prova con cui si dimostra la sicurezza contro la propagazione.

UL 9540A è il metodo di prova diffuso a livello internazionale che analizza per gradi la propagazione di una fuga termica a livello di cella, modulo, unità e installazione. Oggi molti capitolati e assicuratori richiedono un rapporto UL 9540A; le temperature e i tempi in esso documentati sono i dati di ingresso per il dimensionamento della compartimentazione. Lo standard di installazione NFPA 855 disciplina distanze, compartimenti antincendio e concetti di spegnimento e ventilazione. In Europa la IEC 62933-5-2 descrive i requisiti di sicurezza per i sistemi di accumulo elettrochimico connessi alla rete. La direttiva VdS 3103 riassume le aspettative degli assicuratori tedeschi contro i danni ai beni nei confronti dei sistemi di accumulo agli ioni di litio.

Per i materiali refrattari stessi valgono la classificazione secondo DIN EN 13501-1 (reazione al fuoco, classe A1 per i prodotti incombustibili) e le prove di resistenza al fuoco secondo DIN EN 1363 e DIN EN 1364. Per i materiali fibrosi si aggiunge la sicurezza sul lavoro: la lana di silicato di alluminio (ASW) è soggetta alla TRGS 558 (regola tecnica tedesca per le attività con lane per alte temperature), la lana AES biosolubile no. Un aspetto che nei sistemi di accumulo a batterie risulta quasi sempre decisivo.

Nota: Indicazione pratica — Prima di parlare di materiali, chieda al fornitore del sistema il rapporto UL 9540A a livello di modulo e di unità. Le temperature superficiali misurate e la durata dell'evento determinano l'effetto barriera di cui ha bisogno: tutto il resto è un dimensionamento alla cieca.

Il concetto di compartimentazione: quattro livelli, quattro compiti

Una compartimentazione efficace segue la struttura del sistema di accumulo dall'interno verso l'esterno. Ogni livello ha un compito proprio, un proprio carico termico e quindi un proprio materiale adatto. Chi posa lo stesso materiale su tutti i livelli o spende troppo o protegge troppo poco il punto critico.

- Cella–cella: strati intermedi sottili da 1 a 3 mm che ritardano il trasferimento di calore alla cella adiacente, in carta di fibra ceramica biosolubile o laminati microporosi in foglio; decisivi sono lo spessore ridotto e la bassa conducibilità termica ad alta temperatura
- Modulo–modulo: pannelli da 5 a 25 mm tra i moduli nel rack; pannelli microporosi con il massimo effetto isolante per millimetro dove lo spazio è ridotto, pannelli in silicato di calcio dove serve anche resistenza a compressione
- Rack–rack e rack–parete: pareti divisorie e rivestimenti con resistenza al fuoco, in pannelli di silicato di calcio o di fibra posati a strati con giunti sfalsati e raccordi sigillati con corda in fibra
- Rivestimento interno del container: rivestimento di pareti e soffitto in materassino o pannello di fibra biosolubile, che mantiene il mantello in acciaio al di sotto della temperatura critica e impedisce la propagazione dell'incendio ai container adiacenti

A questi si aggiungono gli attraversamenti: cavi, tubazioni di raffreddamento, busbar e aperture di ventilazione attraversano ogni livello. Una parete divisoria vale quanto il suo attraversamento più debole: qui corde in fibra, guarnizioni in carta e collari antincendio diventano parte del concetto, non accessori.

Scelta dei materiali: biosolubili, microporosi, privi di fibre, e perché l'ASW raramente è la risposta giusta nei sistemi di accumulo

Nel forno industriale è la temperatura a determinare il materiale. Nei sistemi di accumulo a batterie si aggiungono tre requisiti che influenzano la scelta in misura maggiore: lo spazio disponibile, la sicurezza sul lavoro e la distinta base del cliente.

La lana AES biosolubile (SOLUT BW Blanket, BW Board, BW Paper) è esentata dalla classificazione come cancerogena in base alla nota Q del regolamento CLP e non rientra nella TRGS 558. Per i costruttori di sistemi di accumulo ciò significa: nessuna categoria di esposizione durante la posa, nessun obbligo di etichettatura nel prodotto, nessuna comunicazione SVHC ai sensi dell'art. 33 del regolamento REACH. Con una temperatura di classificazione di 1.200 °C copre le temperature che si verificano su pareti e soffitto durante la fuga termica. Il suo limite pratico di impiego continuo, inferiore a circa 900 °C, qui non ha rilevanza: il caso di carico è un evento della durata di minuti, non un esercizio continuo.

I pannelli microporosi (SOLUT MP Board) offrono la conducibilità termica più bassa fra tutti gli isolanti, circa 0,02–0,03 W/mK a 200–400 °C, e quindi il massimo effetto barriera per millimetro. Sono il materiale d'elezione tra i moduli, dove ogni millimetro di spazio costa densità energetica. Sono privi di fibre, incombustibili (A1) e disponibili rivestiti con foglio di alluminio, tessuto di vetro o film in PE, così da non generare polvere durante la movimentazione.

I pannelli in silicato di calcio (SOLUT CAL Board) si impiegano dove la barriera deve anche sostenere carichi: sotto i rack, come pareti divisorie con fissaggi, come appoggio per componenti. Resistenza a compressione da 13 a 27 N/mm² con temperatura di classificazione di 1.000 °C, privi di fibre e lavorabili con utensili per legno.

Nota: Perché non l'ASW? — La lana di silicato di alluminio resiste sì a 1.260–1.430 °C, ma è classificata come cancerogena di categoria 1B. In un prodotto che i costruttori forniscono in molti Paesi e che i tecnici dell'assistenza aprono, ciò comporta obblighi di etichettatura, informazione e sicurezza sul lavoro che quasi nessun costruttore di sistemi di accumulo è disposto ad assumersi. La riserva di temperatura dell'ASW non serve nei sistemi di accumulo: l'alternativa biosolubile è sufficiente per il caso di carico.

- Strati intermedi tra celle: SOLUT BW Paper 1–3 mm o laminato microporoso
- Separazione dei moduli: SOLUT MP Board 5–25 mm, rivestito
- Pareti divisorie portanti e appoggi: SOLUT CAL Board 12,7–50 mm
- Rivestimento di pareti e soffitto del container: SOLUT BW Blanket 25–50 mm o BW Board
- Attraversamenti e giunti: corda in fibra e BW Paper, combinati con sistemi di compartimentazione omologati in corrispondenza dei compartimenti antincendio

Confronto dei materiali: i quattro materiali barriera in sintesi

La seguente panoramica mette a confronto i quattro principali materiali barriera, con i valori caratteristici davvero decisivi nei sistemi di accumulo: conducibilità termica in caso di evento, ingombro, resistenza meccanica e stato normativo.

Nota: Regola pratica — Dove lo spazio è la risorsa più scarsa: microporoso. Dove si devono sostenere carichi o avvitare: silicato di calcio. Dove si rivestono superfici: fibra biosolubile. Dove serve uno spessore minimo: carta di fibra. ASW solo se si isola in modo continuo oltre 900 °C, cosa che nei sistemi di accumulo non avviene praticamente mai.

Posa e prove: dove la barriera cede nella pratica

La migliore scelta dei materiali non serve a nulla se la barriera presenta lacune. Dalle nostre installazioni conosciamo quattro punti deboli ricorrenti: giunti di testa aperti tra i pannelli, attraversamenti non sigillati, fissaggi in acciaio che attraversano l'isolamento come ponti termici e strati isolanti che vengono schiacciati durante l'assemblaggio, perdendo così spessore ed effetto isolante.

- Sfalzare i giunti dei pannelli su due strati o eseguirli a maschio e femmina; sui giunti a strato singolo applicare una corda in fibra sul retro
- Disegnare ogni attraversamento come dettaglio a sé: corda, carta o collare, con lunghezza di tenuta almeno pari allo spessore del pannello
- Separare termicamente i fissaggi: ancoraggi in ceramica o acciaio inossidabile con distanziale anziché viti in

acciaio passanti

- Verificare lo spessore dell'isolamento allo stato posato, non allo stato di fornitura; documentare serraggio e compressione
- Valutare rivestimenti e film sul lato esposto all'evento: proteggono durante la movimentazione, ma in caso di incendio non hanno funzione portante

La verifica avviene in due fasi: i valori caratteristici dei materiali derivano dalle schede tecniche e dalle classificazioni di reazione al fuoco, l'effetto barriera del sistema da una prova di propagazione a livello di modulo o di unità, opportunamente secondo UL 9540A, perché in questo modo i risultati sono utilizzabili anche da assicuratori e autorità competenti per le autorizzazioni. Forniamo i dati dei materiali e seguiamo la realizzazione dei provini, affinché il sistema provato corrisponda a quello che verrà poi installato.

Checklist di progettazione: che cosa chiarire prima del capitolato e dell'offerta

La maggior parte dei ritardi nei progetti di accumulo non si verifica durante la posa, ma prima, perché mancano i dati di base quando si devono confrontare le offerte. Questi dodici punti vanno chiariti prima di inviare la prima richiesta:

- Sono disponibili i rapporti UL 9540A del fornitore di celle/moduli a livello di modulo e di unità? Quali temperature e tempi sono stati misurati?
- L'obiettivo di protezione è definito: impedire la propagazione cella–cella, ritardarla modulo–modulo o soltanto separare container da container?
- È stato fissato lo spazio disponibile per ogni livello (mm tra celle, moduli, rack)?
- Sono stati acquisiti i requisiti dell'assicuratore (VdS 3103, eventuali prescrizioni proprie)?
- È richiesta per i materiali la reazione al fuoco in classe A1 secondo DIN EN 13501-1?
- È richiesta una distinta base priva di fibre, oppure è ammessa la fibra biosolubile (nota Q)?
- Sono stati contati gli attraversamenti ed è stato definito un dettaglio di sigillatura per ogni tipo (cavo, tubazione di raffreddamento, busbar, ventilazione)?
- È stato progettato un sistema di fissaggio senza ponti termici passanti?
- È stata calcolata la compressione degli strati isolanti durante l'assemblaggio? Qual è lo spessore allo stato posato?
- Sono stati previsti i provini per la prova di propagazione (materiale, data, istituto di prova)?
- Produzione in serie: taglio come kit o come singoli pezzi? Sono state definite le tolleranze?
- Concetto di smontaggio e ricambi: come si ripristina una barriera dopo un intervento di manutenzione?

Nota: La nostra offerta ai progettisti — Ci invii i dati UL 9540A e lo spazio disponibile: proponiamo la stratigrafia per ogni livello, forniamo i valori caratteristici dei materiali per la verifica di sicurezza e, su richiesta, realizziamo provini e kit di serie.

Esercizio, manutenzione e smantellamento

Nell'esercizio normale una barriera termica non lavora: attende. Proprio per questo viene facilmente danneggiata durante manutenzioni e modifiche: i pannelli vengono rimossi per l'accesso e rimontati in modo incompleto, le guarnizioni degli attraversamenti vanno perse durante la sostituzione dei cavi, gli strati isolanti vengono schiacciati da componenti aggiunti in un secondo momento. Nella documentazione di manutenzione deve quindi figurare un piano di compartimentazione che indichi ogni barriera, ogni attraversamento e ogni guarnizione.

- Dopo ogni intervento: controllo visivo della barriera interessata rispetto al piano di compartimentazione, foto nel fascicolo
-

Ogni anno: controllo a campione delle guarnizioni degli attraversamenti e della compressione degli strati isolanti

- Dopo un evento termico: sostituire completamente le barriere interessate; anche la lana biosolubile e i pannelli microporosi perdono le loro proprietà dopo il passaggio della temperatura
- In caso di smontaggio: separare i materiali in base all'etichettatura; i materiali biosolubili e privi di fibre non sono rifiuti pericolosi, mentre i residui di ASW rientrano nel codice dell'Elenco europeo dei rifiuti 170603*

Nota: Tutto da un unico interlocutore — Forniamo i materiali con schede tecniche in sette lingue, tagliamo pannelli e materassini su disegno, eseguiamo la posa con montatori propri e, in caso di modifica o dismissione, ci occupiamo dello smantellamento compresa la documentazione di smaltimento. Per i costruttori che producono sistemi di accumulo in serie prefabbrichiamo kit di compartimentazione.

Norme e regolamenti

UL 9540A

Metodo di prova per valutare la propagazione della fuga termica a livello di cella, modulo, unità e installazione (Fornisce temperature e tempi per il dimensionamento delle barriere; sempre più richiesto da assicuratori e capitolati)

NFPA 855

Standard di installazione per sistemi di accumulo di energia stazionari: distanze, compartimenti antincendio, concetti di spegnimento e ventilazione (Quadro di riferimento per la disposizione delle pareti divisorie e delle distanze tra le unità)

IEC 62933-5-2

Requisiti di sicurezza per sistemi di accumulo di energia elettrochimici connessi alla rete (Base europea per le verifiche di sicurezza del sistema completo)

VdS 3103

Direttiva degli assicuratori tedeschi contro i danni ai beni per batterie e sistemi di accumulo agli ioni di litio (Aspettative degli assicuratori in materia di installazione, compartimentazione e protezione antincendio)

DIN EN 13501-1

Classificazione della reazione al fuoco dei prodotti da costruzione (classe A1: incombustibile) (Dimostrazione dell'incombustibilità dei materiali isolanti e divisorii impiegati)

DIN EN 1363-1 / EN 1364

Prove di resistenza al fuoco in generale e per elementi non portanti (Dimostrazione della resistenza al fuoco di pareti divisorie e rivestimenti)

TRGS 558

Regola tecnica tedesca per le attività con lane per alte temperature: categorie di esposizione e misure di protezione (Si applica all'ASW, non alla lana AES biosolubile; determinante per la scelta dei materiali)

Regolamento CLP, nota Q

Esenzione delle lane minerali biosolubili dalla classificazione come cancerogene (Base per materiali fibrosi esenti da etichettatura nei sistemi di accumulo)

Domande frequenti

La lana biosolubile da 1.200 °C è sufficiente se durante la fuga termica si superano i 1.000 °C?

Per il caso di carico sì: la temperatura di classificazione descrive il ritiro dopo 24 ore di sollecitazione continua. Una fuga termica è un evento della durata di minuti, in cui la barriera deve ritardare il calore, non sopportarlo in modo permanente. Decisivi sono lo spessore e la conducibilità termica, oltre alla verifica sul sistema provato.

Perché un pannello microporoso invece di un materassino in fibra più spesso?

Perché nei sistemi di accumulo lo spazio equivale a densità energetica. Un pannello microporoso ottiene con 10 mm ciò per cui un materassino in fibra richiede il doppio o il triplo dello spessore. Tra i moduli questo fa la differenza tra un rack in più o in meno nel container.

I materiali stessi devono essere omologati?

I materiali necessitano di classificazioni (reazione al fuoco A1, valori da scheda tecnica). L'omologazione riguarda il sistema: la sicurezza contro la propagazione viene provata sul modulo o sull'unità, non sul solo materiale. Forniamo i dati dei materiali per questa verifica.

Che cosa succede alla compartimentazione dopo un evento?

Le barriere interessate vengono sostituite completamente. Gli isolanti attraversati da un passaggio di temperatura risultano infragiliti o compattati e non raggiungono più i loro valori caratteristici, anche se all'esterno appaiono intatti.

Parliamo del suo progetto

Risposta entro 24 ore nei giorni lavorativi.

info@sbs-rs.de

+49 89 541 960 200
Leggi online: www.sbs-rs.de/batteriespeicher/ratgeber/thermische-abschottung-batteriespeicher