



PV-Storage per applicazioni C&I Sicurezza, Risparmio e Sostenibilità

Data: 20/12/2023

Responsabile scientifico

Sonia Leva





Sommario

1.	Introduzione	5
2.	Convenienza di sistemi di storage abbinati a impianti fotovoltaici nell'ambito C&I.....	5
2.1.	Possibili impieghi dei sistemi di accumulo e benefici associati	5
2.1.1.	Energy time-shifting (ESS accoppiato a FER o stand-alone)	5
2.1.2.	Integrazione delle rinnovabili (ESS accoppiato a FER).....	6
2.1.3.	Supporto alle reti di Trasmissione e Distribuzione (SdA stand-alone)	6
2.1.4.	Fornitura di servizi ancillari (SdA accoppiato a FER o stand-alone).....	6
2.1.5.	Customer Energy Management (SdA accoppiato a FER o stand-alone).....	7
2.2.	Convenienza Economica.....	7
2.2.1.	Introduzione	7
2.2.2.	Risultati	9
3.	Sicurezza negli impianti storage e fotovoltaico.....	14
3.1.	Problematica della sicurezza del FV-ESS C&I.....	14
3.1.1.	Rischio per la sicurezza durante il funzionamento dell'ESS.....	14
3.2.	Norme e Standard per la sicurezza antincendio e la protezione attiva	16
3.2.1.	Funzionamento in sicurezza dell'ESS	16
3.3.	Linee guida per l'installazione dei sistemi di storage	18
3.4.	Soluzioni HUAWEI - Funzionamento e gestione.....	22
3.4.1.	Preavviso e rilevamento	22
3.4.2.	Isolamento rapido e protezione da sovracorrente multilivello.....	23
3.4.3.	Soppressione degli incendi	23
3.5.	Certificazione	25
4.	Best practice in Italia	25
4.1.	Soluzioni Huawei per FV + storage in applicazioni C&I	25
4.1.1.	Storage C&I: LUNA2000 - 200/161/129KWH-2H1 – Smart String ESS	25
4.1.2.	Inverter per storage C&I: LUNA2000-100KTL-M1 – Smart PCS.....	26
4.2.	Casi studio in Italia.....	27
4.2.1.	Baraclit – Produttore prefabbricati in cemento	27
4.2.2.	Energia Italia – Impiantistica	28
4.2.3.	Autotrasporti Curci – Logistica catena del freddo.....	29
5.	Appendice.....	30





1. Introduzione

Con la sempre più ampia diffusione delle fonti rinnovabili, anche le tecnologie di stoccaggio elettrochimico stanno registrando un incremento in settori quali i sistemi energetici, i trasporti e l'agricoltura. Lo stoccaggio dell'energia è infatti diventato un elemento importante nella filiera dell'energia pulita. Soprattutto negli scenari commerciali e industriali (C&I), l'applicazione di Sistemi di Accumulo dell'energia (Energy Storage System - ESS) è diventata un mezzo importante per migliorare l'autosufficienza energetica, ridurre il costo dell'energia elettrica delle imprese e garantire un'alimentazione elettrica stabile.

Tuttavia, lo sviluppo e l'applicazione delle tecnologie di stoccaggio dell'energia pongono nuove sfide, che riguardano, in particolare, la continua riduzione del costo dell'elettricità (Levelized Cost Of Electricity - LCOE) prodotta da fotovoltaico e del costo dei ESS (Levelized Cost Of Storage – LCOS), il miglioramento continuo dell'efficienza di funzionamento e manutenzione (O&M), la gestione di un'elevata percentuale di immissione e consumo di energia prodotta da fotovoltaico e soprattutto garantire standard di sicurezza sempre più elevati.

Con riferimento a questo ultimo punto, rispetto agli ESS per impianti tradizionali, gli ESS di tipo C&I vengono utilizzati in scenari complessi, quali industrie, ospedali, centri commerciali e campus, che presentano condizioni legati alle operazioni antincendio più difficili e maggiore densità di personale e di risorse. Pertanto, agli ESS per C&I devono essere imposti requisiti di sicurezza più elevati. Per affrontare i problemi di sicurezza, le soluzioni di sicurezza C&I ESS sono state gradualmente migliorate, sebbene non ci sia ancora del tutto chiarezza a livello normativo.

2. Convenienza di sistemi di storage abbinati a impianti fotovoltaici nell'ambito C&I

2.1. Possibili impieghi dei sistemi di accumulo e benefici associati

I sistemi di accumulo trovano impiego in tre principali ambiti d'installazione e possono essere accoppiati a produzione da fonti rinnovabili o in configurazione *stand-alone*. In particolare, nella configurazione in cui il sistema di accumulo è accoppiato a un impianto di Fonti Energetiche Rinnovabili (FER), la taglia dello stesso dipende fortemente dalla taglia dell'impianto fotovoltaico/eolico.

I sistemi di accumulo possono svolgere numerose funzionalità che possono essere classificabili nelle cinque categorie elencate di seguito.

2.1.1. Energy time-shifting (ESS accoppiato a FER o stand-alone)

I sistemi di accumulo possono essere utilizzati per spostare l'orario di erogazione di energia prodotta da fonti rinnovabili, caricandosi in periodi *off-peak* (in molti casi la produzione eolica è maggiore di notte, quando i prezzi dell'elettricità sono bassi, mentre la produzione da fotovoltaico è concentrata durante le ore centrali della giornata) e scaricandosi durante le ore di punta al fine di massimizzare il valore economico dell'energia prodotta da FER.

La funzionalità nominate «**arbitraggio**» e «**disponibilità di capacità**» sono inserite nella categoria *energy-time shifting*. L'arbitraggio è una pratica che consente di trarre vantaggio da una differenza di prezzo dell'elettricità sul mercato all'ingrosso. Il sistema di accumulo permette infatti di acquistare energia a basso prezzo e venderla ad un prezzo superiore. La diponibilità di capacità prevede l'utilizzo dei sistemi di accumulo



per la costituzione dei margini di adeguatezza¹ del sistema elettrico, che gli impianti FER senza accumulo possono garantire solo marginalmente.

I benefici del sistema sono legati alla diminuzione della necessità di capacità di generazione tradizionale nei momenti di picco ed alla riduzione delle emissioni di *greenhouse gases* (GHG) per il minore utilizzo di generazione a gas.

2.1.2. Integrazione delle rinnovabili (ESS accoppiato a FER)

I sistemi di accumulo possono essere utilizzati per supportare l'integrazione delle fonti rinnovabili, riducendo la variabilità della produzione e correggendo l'errore di previsione della produzione ed immissione in rete. Le funzionalità nominate «**peak-shaving e limitazione del curtailment**» e «**aumento della programmabilità FER**» sono inserite nella categoria integrazione delle rinnovabili.

Nel primo caso (peak-shaving e limitazione del curtailment), l'impiego di sistemi di accumulo permette di immagazzinare l'eccesso di produzione di energia da rinnovabili non programmabili invece di interromperne l'immissione in rete quando richiesto dal gestore della rete. Il beneficio principale è quello del bilanciamento di domanda e offerta senza dover ricorrere al curtailment di energia prodotta da impianti a fonte rinnovabile.

Nel secondo caso (aumento della programmabilità FER), il sistema di accumulo permette di immettere in rete l'energia accumulata quando desiderato, in modo da massimizzare il prezzo "catturato" dagli impianti FER sul mercato e/o di fornire servizi ancillari. I benefici per il sistema consistono nella riduzione degli sbilanciamenti e nella possibilità di fornitura di servizi ancillari da parte degli impianti FER abbinati a sistemi di accumulo.

2.1.3. Supporto alle reti di Trasmissione e Distribuzione (SdA stand-alone)

I sistemi di accumulo possono anche essere utilizzati per posticipare gli aggiornamenti per il potenziamento dell'infrastruttura di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. La funzionalità nominata «**differimento degli investimenti di rete**» è inserita nella categoria di funzionalità di supporto alle reti di trasmissione e distribuzione. La presenza di capacità di accumulo può influire infatti sul processo di pianificazione degli investimenti di rete consentendo di ottimizzare la pianificazione degli investimenti sulla rete elettrica nazionale.

2.1.4. Fornitura di servizi ancillari (SdA accoppiato a FER o stand-alone)

I sistemi di accumulo possono essere utilizzati per garantire un funzionamento affidabile della rete sia in condizioni normali sia in condizioni di emergenza fornendo servizi ancillari. La remunerazione dei servizi ancillari può essere basata sulla capacità, sull'energia o su entrambi, a seconda dei casi. Le funzionalità nominate «**regolazione di frequenza**», «**regolazione di tensione**», «**rialimentazione del sistema**» e «**risoluzione delle congestioni**» sono inserite nella categoria servizi ancillari.

Nei casi elencati, il sistema di accumulo:

- fornisce un supporto per bilanciare la generazione e il consumo, mantenendo la frequenza della rete nell'intorno dei 50 Hz, contribuendo a raggiungere l'obiettivo relativo alla stabilità della rete;
- regola la tensione immettendo o assorbendo potenza reattiva mediante compensazione sincrona o statica, consentendo di raggiungere l'obiettivo della stabilità della rete;

¹ Si intende con adeguatezza la capacità del sistema elettrico di soddisfare il fabbisogno di energia elettrica nel rispetto dei requisiti di sicurezza e qualità del servizio.



- offre un margine in potenza utilizzabile dal Transmission System Operator (TSO) per la risoluzione delle congestioni così da permettere il raggiungimento di un assetto più efficiente in termini di bilanciamento tra generazione e consumo;

- contribuisce al processo di ripristino della fornitura di energia in seguito ad eventuale blackout, anche rialimentando impianti di generazione, contribuendo a incrementare la capacità di ripristinare la rete.

2.1.5. Customer Energy Management (SdA accoppiato a FER o stand-alone)

I sistemi di accumulo possono essere utilizzati per supportare gli utenti finali nella gestione dell'approvvigionamento energetico e/o dei costi connessi all'energia. Le funzionalità nominate «**massimizzazione dell'autoconsumo**» e «**load levelling**» sono inserite nella categoria *Customer Energy Management*.

Il sistema di accumulo permette nel primo caso di massimizzare l'autoconsumo di elettricità prodotta (tipicamente) da fotovoltaico, consentendo un risparmio in bolletta per l'utilizzatore finale dovuto a un minor prelievo di energia dalla rete. Mentre nel secondo caso permette di smussare i picchi di potenza richiesta dagli utenti residenziali, industriali e commerciali permettendo un risparmio in bolletta per l'utilizzatore finale dovuto a una minore potenza contrattualizzata.

In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche del ESS associate alle diverse funzioni.

Tabella 1: Caratteristiche tecniche principali degli ESS nelle diverse funzioni

	Arbitraggio	Disponibilità di capacità	Peak-shaving e limitazione del curtailment	Aumento della programmabilità FER	Differimento investimenti	Regolazione frequenza	Regolazione tensione	Risoluzione congestioni	Rialimentazione del sistema	Massimizzazione autoconsumo	Load levelling
Taglia (W)	1-500M	1- 500M	1k-1G	1-400M	0,5 – 10 M (DSO) 50 – 500 M (TSO)	10 – 100 M	10 – 100 MVA	10 k – 100 k (B.T.) 100 k – 1 M (M.T.)	5 – 50 M	2 – 50 k	3 k – 10 M
energia/potenza (h)	1 – 10	1 – 10	1 – 10	2-4	1 – 4 (DSO) 1 – 8 (TSO)	Pochi minuti - ore	Pochi minuti – 1	2 – 10	Secondi - ore	2 – 6	1 - 4
cicli/anno min	> 250	50 - 365	300-500	Continuo	50 (DSO) 100 (TSO)	> 250	n.d.	pochi	10 – 20	365	< 50
Tempo di risposta	< 10 min	< 10 min	< 5 min	< 10 sec	pochi sec	Sec - min	Pochi sec	< 15 min	Pochi min	Pochi sec	msec - min

2.2. Convenienza Economica

2.2.1. Introduzione

Per stimare la convenienza economica dell'installazione di un sistema di accumulo in ambito residenziale o industriale sono costruiti dei **casu studio corrispondenti ai casu applicativi di autoconsumo**, confrontati rispetto ai valori di LCOS (*Levelized Cost of Storage*).

Il LCOS indica il costo lungo l'intero ciclo di vita di una tecnologia di stoccaggio energetico diviso per la quantità di elettricità scaricata, come mostrato nella formula seguente:



$$LCOS = \frac{I_0 + \sum(O\&M_t) \cdot (1 + discount\ factor)^{-t}}{\sum energia\ scaricata_t \cdot (1 + discount\ factor)^{-t}}$$

Dove:

- I_0 indica i CAPEX;
- $O\&M_t$ indica gli OPEX all'anno t ;
- *discount factor* indica il valore del tasso d'interesse;
- *energia scaricata_t* indica la quantità di energia scaricata dalla batteria nell'anno t .

Nell'appendice viene fornita la visione del foglio di calcolo adottato per calcolare il LCOS. L'applicazione di **autoconsumo** prevede l'accoppiamento del sistema di accumulo ad un impianto fotovoltaico. La batteria accumula l'eccesso di produzione dall'impianto per poi scaricarsi in corrispondenza di *deficit* di autoproduzione per soddisfare il fabbisogno di elettricità domestico.

Il calcolo dell'LCOS **non considera il costo dell'energia acquistata** poiché questa differisce a seconda del caso applicativo (l'inclusione del costo dell'elettricità renderebbe i risultati non comparabili).

- Nei casi applicativi, in accordo con il committente, si assumono le seguenti ipotesi:
 - **Presenza di impianto fotovoltaico da 600 kW.**
 - **Presenza di sistema di accumulo di 600 kWh.**
 - **Valore degli OPEX: pari al 2% dei CAPEX.**
 - **Profondità di scarica: 100%.**
 - **Località: Brescia.**
 - **Valorizzazione dell'energia elettrica immessa e prelevata dalla rete secondo due ipotesi:** una rappresentativa dei valori medi di mercato precedenti al 2020 ed una rappresentativa della situazione attuale.
 - **Non si prevede l'accesso al servizio di Scambio sul Posto.**

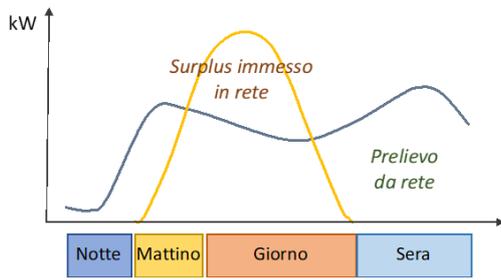
In particolare, sono previsti due differenti casi studio: un Caso base e un Caso con sistema di accumulo. Sono di seguito forniti maggiori dettagli su tali casi studio.

Caso base:

- L'energia autoprodotta nelle **ore centrali della giornata** tramite impianto fotovoltaico copre il fabbisogno; **l'energia autoprodotta in eccesso è immessa in rete.**
- Nelle **ore in cui l'autoproduzione non è sufficiente, il fabbisogno viene soddisfatto prelevando elettricità dalla rete.**

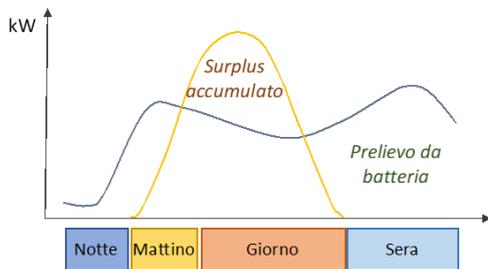


Caso con sistema di accumulo:



Entrate	Uscite
Vendita energia in rete	Costo di prelievo dalla rete

L'energia autoprodotta nelle **ore centrali della giornata** tramite impianto fotovoltaico copre il fabbisogno; **l'energia autoprodotta in eccesso è accumulata nella batteria.**



Nelle **ore in cui l'autoproduzione non è sufficiente, il fabbisogno viene soddisfatto prelevando dalla batteria.**

Il sistema di accumulo è conveniente se

$$LCOS_{batteria} < C_{prelievo} - P_{vendita}$$

- Profilo di consumo domestico
- Profilo di autoproduzione

2.2.2. Risultati

Ai fini del caso studio, è stato considerato il profilo di consumo di un impianto industriale avente un fabbisogno energetico annuo di 1684 MWh. Il tasso di autoconsumo, inteso come il rapporto tra l'energia autoconsumata e l'energia prodotta dall'impianto PV, è pari al 70%. Si riporta nel grafico seguente il profilo orario di consumo dell'impianto industriale e il profilo di produzione dell'impianto fotovoltaico in-situ.

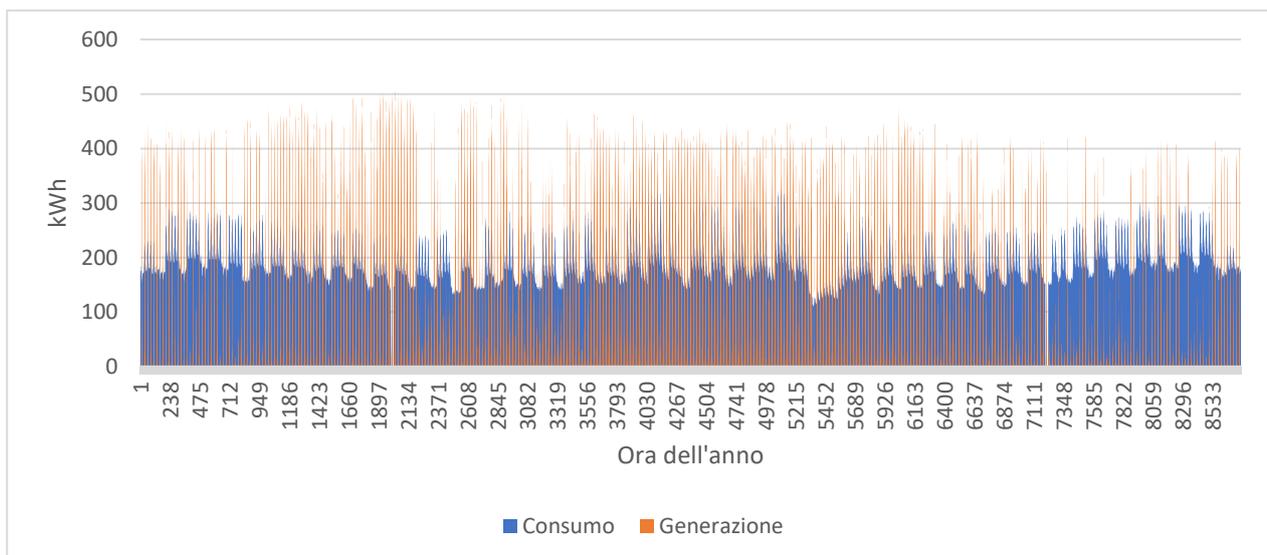


Figura 1: Profilo di consumo dell'impianto industriale in esame e profilo di generazione dell'impianto PV associato

Inoltre, viene considerata un'efficienza di carica e di scarica pari al 96%. Per ciascuna ora dell'anno, si effettua il bilancio tra l'energia prodotta, l'energia autoconsumata, e l'energia immessa in rete. Dividendo la quantità



di energia scaricata dalla batteria per la capacità della batteria stessa (600 kWh), si calcola un numero di cicli all'anno pari a 226, come mostra la seguente equazione:

$$\text{Numero di cicli all'anno} = \frac{\text{Quantità di energia scaricata [kWh]}}{\text{Capacità [kWh]}} = \frac{135.654}{600} = 226$$

Applicando la formula del LCOS:

$$LCOS = \frac{I_o + \sum(O\&M_t) \cdot (1 + \text{discount factor})^{-t}}{\sum \text{energia scaricata}_t \cdot (1 + \text{discount factor})^{-t}}$$

Dove I_o è il costo effettivo dell'impianto realizzato, $O\&M_t$ assunto è pari al 2% di I_o e il *discount factor* è pari al 7%.

Si calcola un valore del LCOS pari a 268 €/MWh. Come si può notare dal seguente grafico, i CAPEX contribuiscono per quasi l'85% al LCOS. Questo valore di LCOS può essere ulteriormente ridotto tenendo conto dell'ottimizzazione dei costi di installazione e della riduzione dei costi delle materie prime.

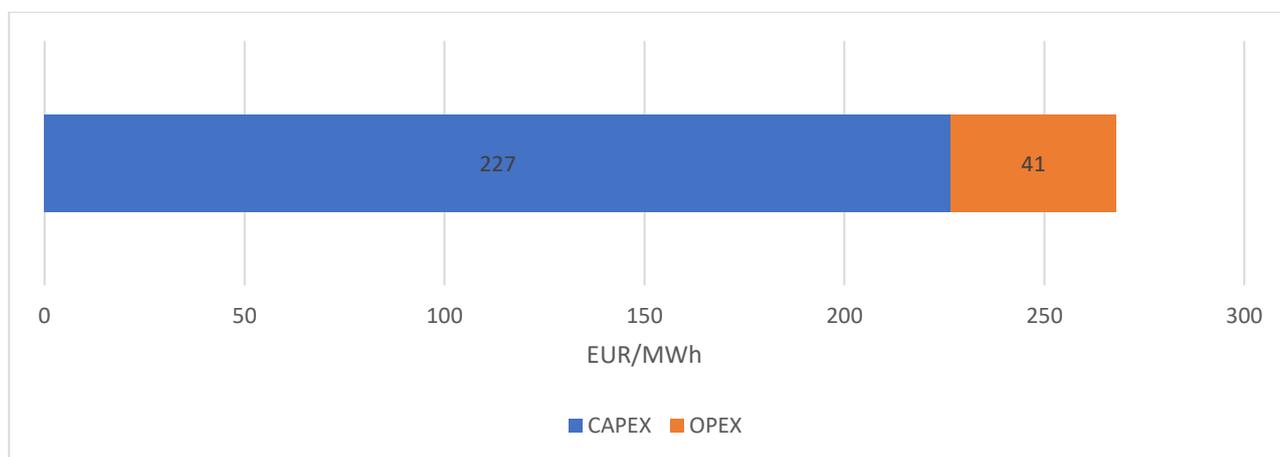


Figura 2: Contribuzione dei CAPEX e degli OPEX al LCOS

Il valore del LCOS viene comparato alla situazione in cui l'energia autoprodotta in eccesso rispetto all'autoconsumo venga immessa in rete, mentre l'energia addizionale rispetto alla produzione in-situ necessaria per soddisfare il fabbisogno energetico venga acquistata dalla rete. In particolare, l'energia immessa in rete viene remunerata secondo la tariffa minima stabilita dal GSE. Si riportano nel grafico seguente i valori dei prezzi minimi garantiti (PMG) per gli impianti PV, dal 2015 al 2023.

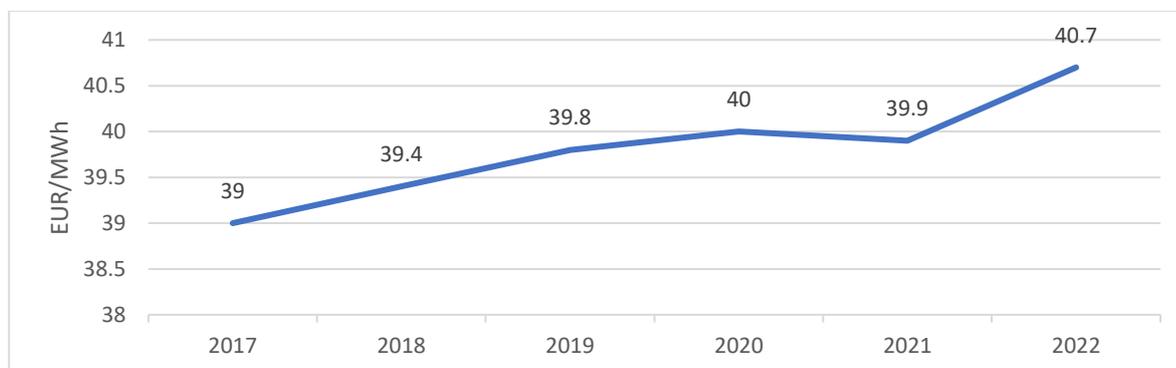


Figura 3 Valori dei prezzi minimi garantiti (PMG) per gli impianti PV, dal 2015 al 2023



L'energia acquistata dalla rete è pagata secondo la tariffa per i consumatori non domestici. I valori dal 2017 al 2022 sono riportati nel seguente grafico.

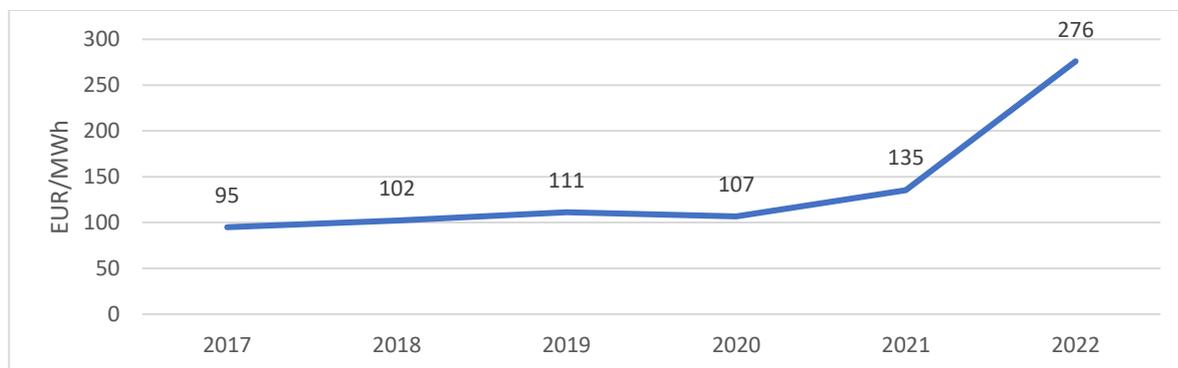


Figura 4 Prezzo elettricità per i consumatori non domestici, dal 2017 al 2022

Per valutare la convenienza economica del sistema di storage, viene comparato il valore del LCOS con la variabile Delta, uguale alla differenza tra il prezzo di acquisto dell'elettricità dalla rete e il PMG. I risultati ottenuti sono mostrati nel seguente grafico.

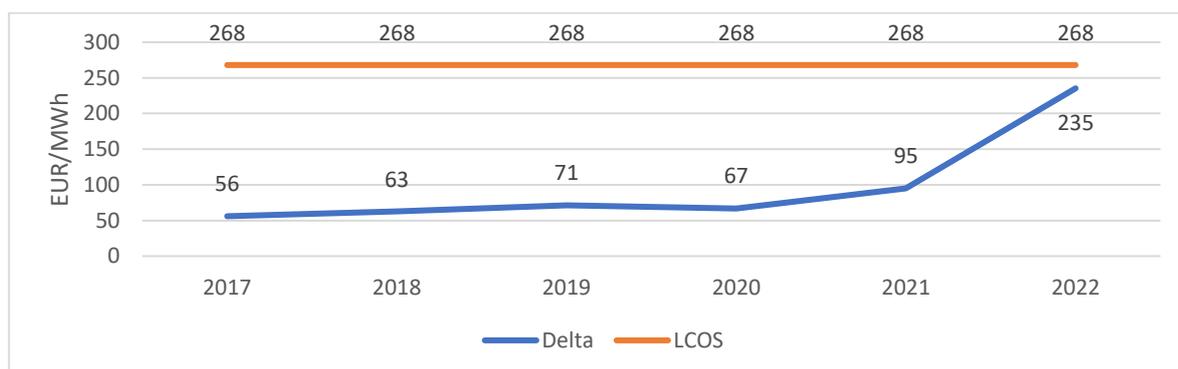


Figura 5 Confronto tra LCOS e delta, dal 2017 al 2022

Data l'alta rilevanza del CAPEX nel determinare il valore del LCOS, viene svolta un'analisi di sensitività sul suo valore. In particolare, facendo variare il CAPEX di +30% e di -30% rispetto al caso base, si calcolano due valori aggiuntivi del LCOS, chiamati rispettivamente LCOS +30% e LCOS -30%. I risultati ottenuti sono riportati nel seguente grafico.

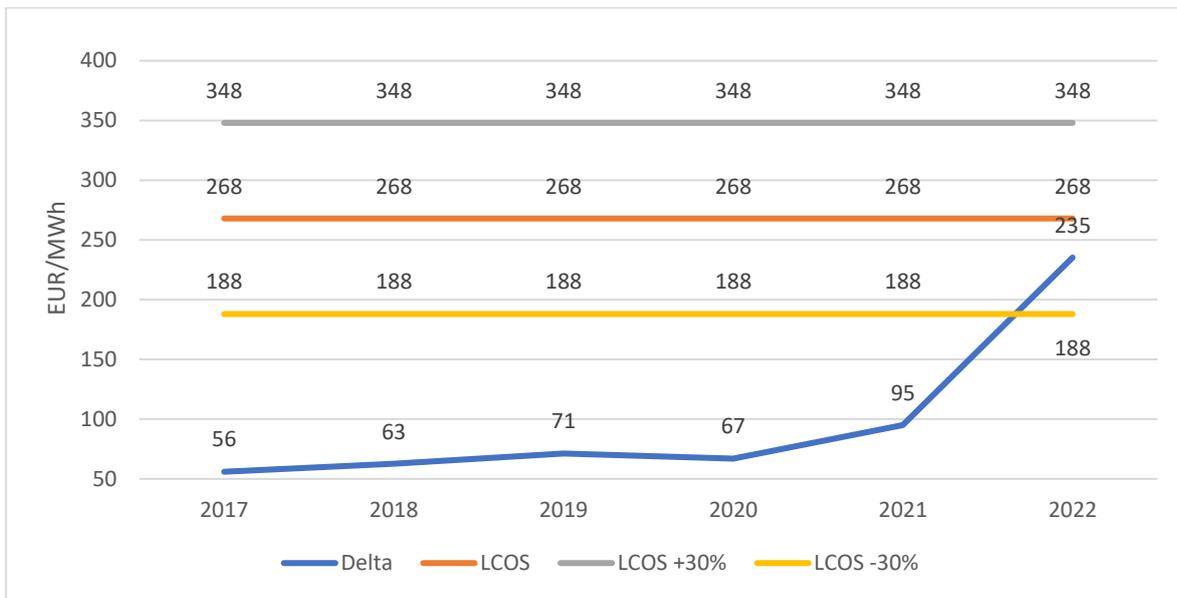


Figura 6 Confronto tra LCOS e delta, dal 2017 al 2022

Data l'importanza del profilo di consumo dell'impianto industriale nel calcolo del LCOS, viene svolta un'analisi di sensitività su tale profilo. In particolare, facendo variare il profilo di consumo di +30% o di -30% rispetto al caso base, si calcolano due valori addizionali del LCOS, chiamati rispettivamente LCOS +Consumo e LCOS -Consumo. I risultati ottenuti sono riportati nel seguente grafico.

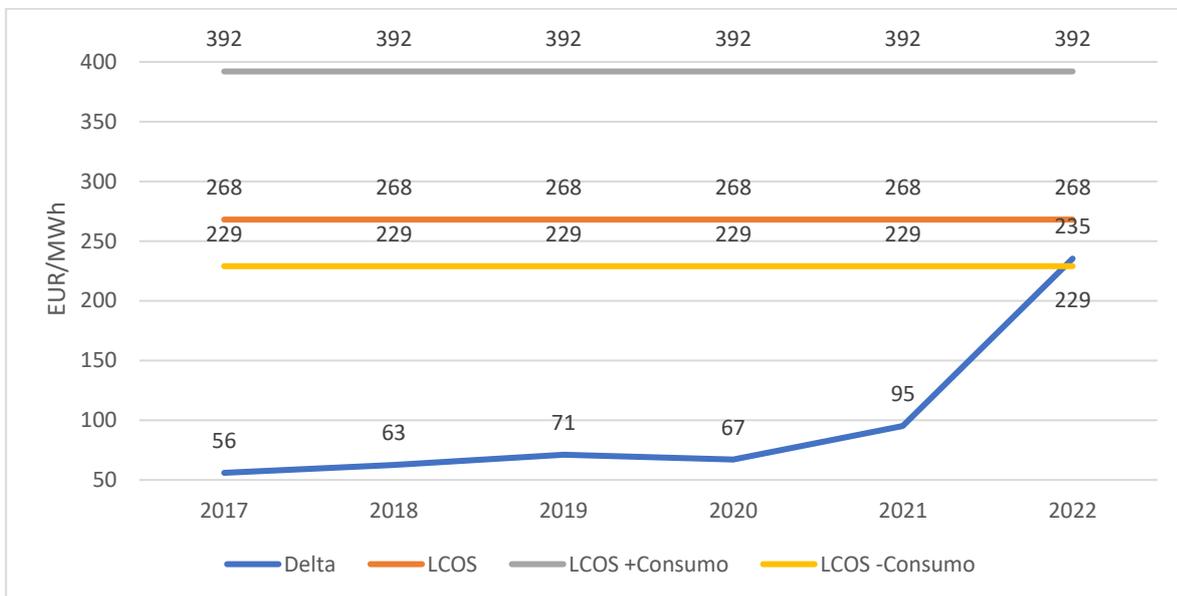


Figura 7 Confronto tra LCOS e delta, dal 2017 al 2022

Infine, si ricorda che nel caso base il numero di cicli effettuati dalla batteria in un anno, ottenuti dividendo l'energia scaricata dalla batteria per la capacità della batteria in termini di kWh, è pari a 226. Ipotizzando, in linea con le pratiche di utilizzo delle batterie in ambito industriale, di effettuare 320 cicli all'anno, ovvero imponendo nella formula del LCOS una quantità di energia scaricata annua pari a:

$$\text{Energia scaricata [kWh]} = 320 * \text{Capacità[kWh]} = 320 * 600 = 192.000 \text{ kWh}$$



Il valore del LCOS ottenuto è pari a 189 €/MWh. Il grafico seguente mostra la comparazione tra tale valore di LCOS, chiamato LCOS-1CicloalGiorno, con la variabile Delta, uguale alla differenza tra il prezzo di acquisto dell'elettricità dalla rete e il PMG. I risultati ottenuti sono mostrati nel seguente grafico.

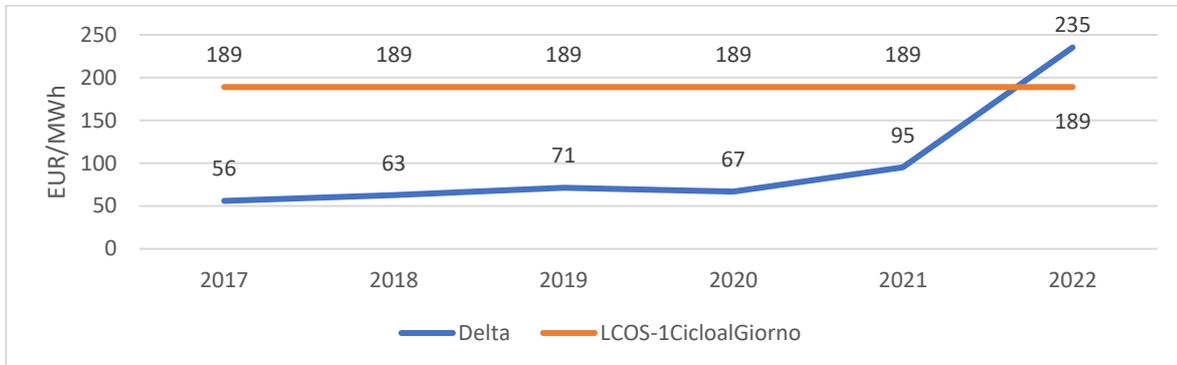


Figura 8 Confronto tra LCOS e delta, dal 2017 al 2022

Infine, per apprezzare un ulteriore caso di interesse per le applicazioni di storage in ambito industriale, si considera la situazione in cui vengano effettuati da parte della batteria 640 cicli all'anno. In tal caso, la quantità di energia scaricata da parte della batteria è pari a:

$$\text{Energia scaricata [kWh]} = 640 * \text{Capacità[kWh]} = 640 * 600 = 384.000 \text{ kWh}$$

Il valore del LCOS ottenuto è pari a 95 €/MWh. Il grafico seguente mostra la comparazione tra tale valore di LCOS, chiamato LCOS-2Cicli alGiorno, con la variabile Delta, uguale alla differenza tra il prezzo di acquisto dell'elettricità dalla rete e il PMG. I risultati ottenuti sono mostrati nel seguente grafico.

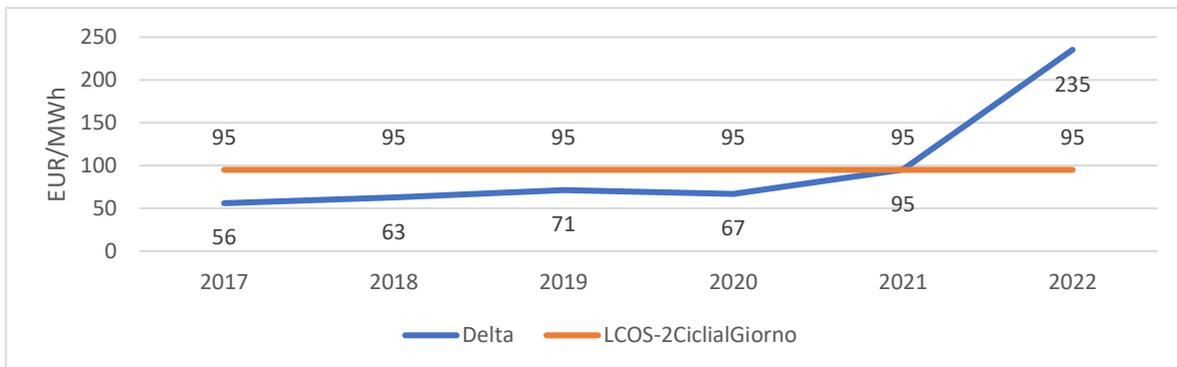


Figura 9 Confronto tra LCOS e delta, dal 2017 al 2022

I risultati mostrano che il sistema di accumulo risultano convenienti rispetto all'opzione senza sistema di accumulo solamente a determinate condizioni. Ad esempio, pur considerando il caso in cui il sistema di storage effettui 640 cicli all'anno, il sistema di storage risulta conveniente solamente con i valori del 2022 rispetto al caso che prevede la vendita di energia secondo il Ritiro dedicato e l'acquisto dell'energia rimanente dalla rete. Considerando gli anni precedenti il 2021, il valore del LCOS risulta invece maggiore della variabile delta, pari alla differenza tra il prezzo di acquisto dell'elettricità dalla rete e il PMG.



3. Sicurezza negli impianti storage e fotovoltaico

Negli ultimi anni si sono verificati frequenti incidenti negli impianti fotovoltaici e di ESS, soprattutto in quelli con un'elevata potenza delle apparecchiature. Inoltre, gli impianti fotovoltaici su tetto e le applicazioni di ESS nei campus, delle aree industriali e negli edifici residenziali sono sempre più diffusi. È quindi necessario prestare sempre più attenzione alle tematiche relative alla sicurezza degli ESS e raggiungere una protezione sia a livello di sistema che di tipo end-to-end, che copra tutte le fasi, progettazione, installazione iniziale fino alla gestione e manutenzione continue. Ciò contribuisce a sottolineare l'approccio completo e omnicomprensivo necessario per garantire un elevato livello di sicurezza.

3.1. Problematica della sicurezza del FV-ESS C&I

I sistemi fotovoltaici e gli ESS vengono accoppiati a diverse tipologie di utenze, come centri commerciali, scuole, industrie e abitazioni. Inoltre, gli ESS possono essere installati anche per "aiutare" la rete elettrica durante il suo funzionamento e pertanto possono essere presenti in installazioni di media ed alta tensione. È quindi necessario comprendere i problemi che queste installazioni possono avere durante il loro regolare funzionamento.

3.1.1. Rischio per la sicurezza durante il funzionamento dell'ESS

L'ESS è disponibile in diversi tipi, dimensioni e applicazioni, a seconda del tipo di installazione. L'ESS è costituito da diverse celle (anche più di 2000) collegate in parallelo o in serie per formare un modulo. Successivamente, questi moduli vengono collegati in serie per formare un pacco. Infine, numerosi pacchi costituiscono l'ESS. In genere, l'ESS è dotato di un sistema di gestione delle batterie (Battery Management System - BMS) che monitora le singole celle e le condizioni di funzionamento del sistema per garantirne la sicurezza (Figura 10).

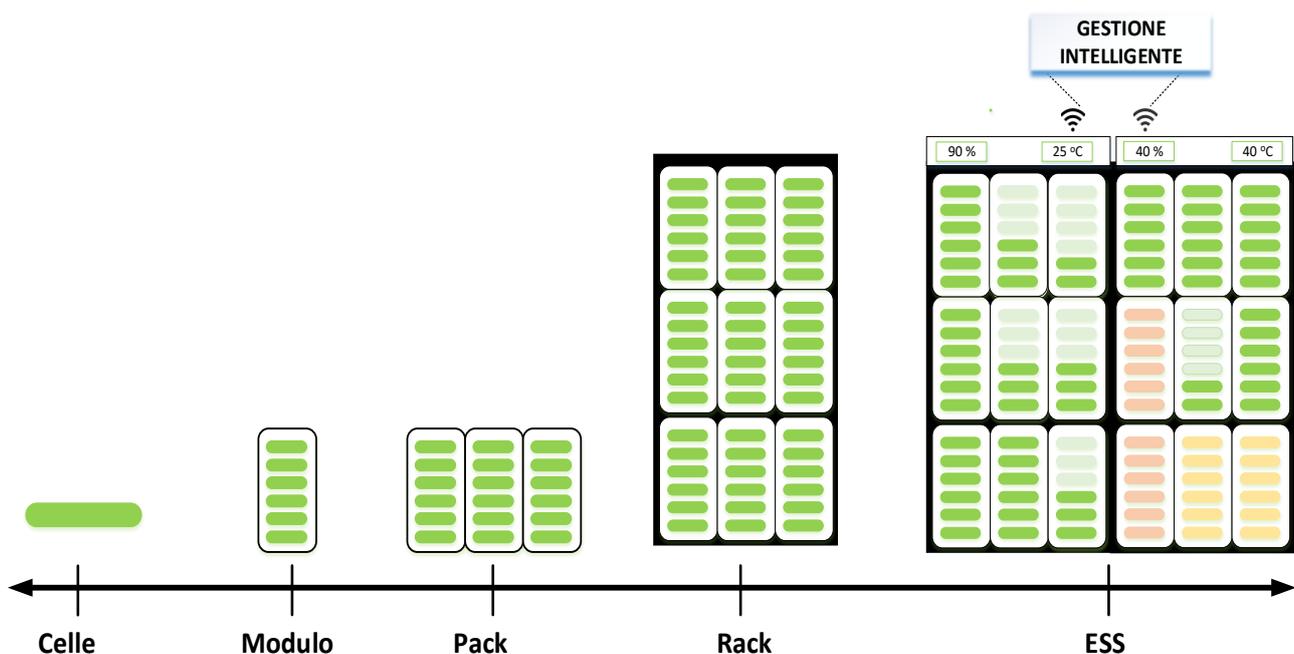


Figura 10 Componenti di un ESS



In genere, la causa di un incendio in un ESS è la “thermal runaway” (fuga/esplosione termica), che consegue al rapido surriscaldamento di una cella o di più celle. L'alta temperatura porta alla rottura della cella interna e, successivamente, alla rottura dell'involucro, causando il rilascio di gas. Il surriscaldamento e il rilascio di gas infiammabile possono poi portare a incendi ed a esplosioni. L'espansione dell'incendio dipende anche dalla presenza di un innesco nelle vicinanze dell'ESS. Pertanto, le fasi di un tipico percorso di guasto di un ESS includono: l'introduzione di una fonte di rischio, l'insorgere e la diffusione di una thermal runaway e, in casi estremi, l'incendio e l'esplosione del ESS, come rappresentato in Figura 11.

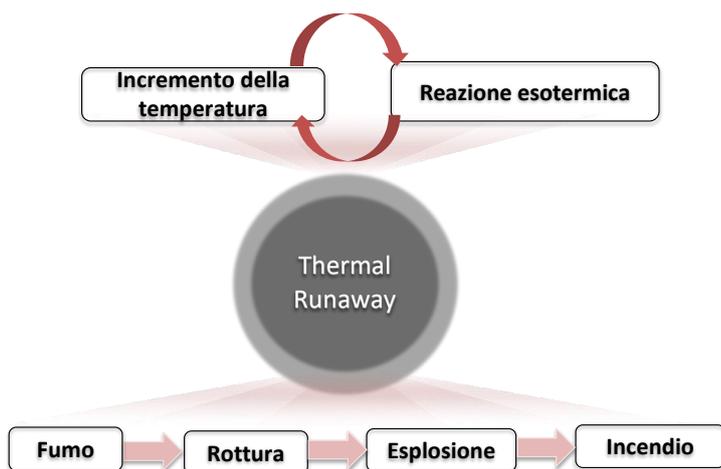


Figura 11 Thermal Runaway in un ESS

Le cause della “thermal runaway” possono essere legate al sovraccarico meccanico, sovraccarico termico, sovraccarico elettrico e ad eventi naturali estremi (Tabella 2) e possono verificarsi in relazione ad alcune condizioni, quali:

- difetti interni come le schede dei circuiti e la struttura instabile delle batterie;
- differenza di prestazioni tra le celle della batteria, che causa uno squilibrio di energia e quindi una riduzione dell'efficienza;
- difficoltà nel controllo della temperatura;

a cui si aggiunge la difficoltà di esecuzione della manutenzione in sistemi così complessi.

Pertanto, è estremamente importante che l'ESS abbia un sistema intelligente di gestione e controllo in modo da massimizzare la capacità disponibile e gli standard di sicurezza, e che allo stesso tempo monitori con attenzione il funzionamento di ciascun pacco batteria. Inoltre, il sistema intelligente di gestione e controllo deve anche essere dotato di allarmi e di sistemi di spegnimento automatico in caso di emergenza.

Tabella 2: Cause del Guasto

Sovraccarico Meccanico	Sovraccarico Termico	Sovraccarico Elettrico	Eventi naturali estremi
<ul style="list-style-type: none"> • Caduta • Danneggiamento • Penetrazione 	<ul style="list-style-type: none"> • Fonte di calore 	<ul style="list-style-type: none"> • Sovraccarico • Carica/scarica troppo veloce • Alta tensione 	<ul style="list-style-type: none"> • Attività sismica • Onde di calore • Alluvioni



3.2. Norme e Standard per la sicurezza antincendio e la protezione attiva

Nel seguito verranno discusse le norme che riguardano esclusivamente gli aspetti della sicurezza antincendio e della protezione antincendio attiva del ESS. È importante ricordare che queste norme cambiano e si aggiornano continuamente e che l'Italia sta iniziando in questi anni ad adeguare i propri standard in materia di sicurezza con riferimento agli ESS.

3.2.1. Funzionamento in sicurezza dell'ESS

Gli standard attuali per gli ESS si concentrano in particolare sulla prevenzione della propagazione dell'evento di "thermal runaway" alla cella vicina.

A tal riguardo, con riferimento alla realizzazione degli ESS, la normativa fornisce indicazioni specifiche relativamente ai moduli e ai pacchi batteria in termini di capacità, spazio minimo tra di essi e posizionamento di barriere fisiche all'interno dei pacchi stessi.

Per quanto riguarda l'installazione, invece, gli standard si concentrano sulla definizione della distanza minima tra l'ESS e le pareti, le aperture e altri elementi strutturali nelle vicinanze o che contengono il sistema di accumulo stesso.

Inoltre, gli standard forniscono anche i requisiti minimi che il sistema di gestione dell'energia elettrica (BMS) deve fornire.

In Tabella 3 sono riportati le normative internazionali di riferimento per gli ESS.

Tabella 3: Standard americani ed europei

Numero standard	Mercato	Specifiche
NFPA 855 (2020)	Nord America	Standard per l'installazione di SSE stazionari: capacità della batteria, protezione antincendio passiva e attiva.
UL 9540 (2020)	Nord America	Standard per ESS e apparecchiature di sicurezza: capacità della batteria, protezione antincendio passiva e attiva.
UL 9540A (2019)	Nord America	Standard per il metodo di prova di sicurezza per la valutazione della propagazione dell'incendio per "thermal runaway" nei sistemi di accumulo di energia a batteria
NFPA 70	Nord America	Installazione elettrica ed elettronica in aree pericolose.
NFPA 1 capitolo 52	Nord America	Ventilazione, localizzazione e separazione, soppressione e rivelazione degli incendi, "thermal runaway", protezione sismica, neutralizzazione.
NFPA 70-ESS	Nord America	Mezzi di disconnessione, installazione, requisiti del circuito.
IEC 62933	Europa	Sistemi di accumulo di energia elettrica (EES) -Parte 2-1: standard per metodi di prova. Parte 4-1: descrive le problematiche ambientali associate ai ESS e presenta una linea guida per affrontare gli impatti ambientali. Parte 5-1: Considerazioni sulla sicurezza per sistemi EES integrati nella rete - Specifiche generali. Parte 5-2: Requisiti di sicurezza per sistemi EES integrati nella rete - Sistemi a base elettrochimica. Parte 5-3: Requisiti di sicurezza per sistemi EES integrati nella rete - Esecuzione di modifiche non pianificate del sistema a base elettrochimica.
IEC 62619	Europa	Requisiti di sicurezza per le celle e le batterie al litio secondarie per l'uso in applicazioni industriali
IEC 60079	Europa	Installazione elettrica ed elettronica in aree pericolose.

La National Fire Protection Association (NFPA) ha sviluppato diverse normative incentrate alla eliminazione di morti e di feriti, nonché all'annullamento di danni alle proprietà e delle perdite economiche dovute agli incendi.



Nel caso dei sistemi di accumulo, la NFPA 1 (capitolo 52) e la NFPA 70 sono dedicate all'ubicazione, alla ventilazione, alla soppressione degli incendi, alla rilevazione degli incendi, all'installazione e ai requisiti dei circuiti delle ESS, includendo i cavi, le connessioni, la tensione e le correnti nominali ed altri parametri elettrici. Nel 2022, è stata pubblicata la NFPA 855 dedicata esclusivamente agli ESS, in cui i temi principali affrontati riguardano la progettazione, la produzione, l'installazione, la protezione antincendio passiva e attiva e la prevenzione. Tale normativa fornisce inoltre una linea guida per lo smantellamento, il funzionamento, la manutenzione e la gestione degli ESS durante il funzionamento (Tabella 4).

Tabella 4: Standard Requisiti principali della NFPA-855

AREE	SPECIFICHE
Piano di installazione	<ul style="list-style-type: none">• Diagramma, tipo di ESS, rivelazione e soppressione incendi, pareti resistenti al fuoco, supporto sismico, comunicazione visiva.
Procedure di emergenza	<ul style="list-style-type: none">• spegnimento sicuro, protocollo di avvio sicuro, procedura dettagliata in caso di emergenza, protezione antincendio, barriere antincendio, protezione dagli impatti
Formazione/comunicazione	<ul style="list-style-type: none">• Manuali, formazione costante
Sistema di gestione dell'energia	<ul style="list-style-type: none">• Monitoraggio e mantenimento di tensioni, correnti e temperature entro le specifiche del produttore.• Deve essere isolato o messo in sicurezza quando si verifica un pericolo.• Allarme visibile se necessario

Anche la norma UL9540 stabilisce dei parametri per la produzione di ESS, in base alla tipologia di batteria. Essa include anche aspetti come la rilevazione, la soppressione e la propagazione dell'incendio. La sua applicazione è solo raccomandata. La norma UL9540 prevede una sequenza di test a diversi livelli: cella, modulo, pacco e installazione. Nel caso in cui si presentino problemi durante tali test, è necessario installare misure di protezione antincendio aggiuntive (Figura 12).



Figura 12 Sequenza di Test per UL 9540A

Lo standard specifico per l'Europa è la IEC 62619 (in Italia è la CEI EN IEC 62619) e si riferisce alle condizioni generali sulla sicurezza applicata a diversi livelli del ESS: cella, modulo, pacco e installazione. Per la sicurezza del sistema batteria si richiede la gestione automatica del sovraccarico di tensione e corrente, e del surriscaldamento. La IEC 62619 prevede anche prove specifiche: test di cortocircuito, test di caduta, test di superamento limiti termici, test di sovraccarico elettrico e di cortocircuito a livello di cella e modulo (Figura 13). La IEC 62933 si concentra in modo particolare sui test, con indicazioni specifiche per quelli di efficienza del ciclo di carica/scarica (round-trip efficiency), di capacità a cui si aggiungono altri test per valutare le prestazioni degli ESS.

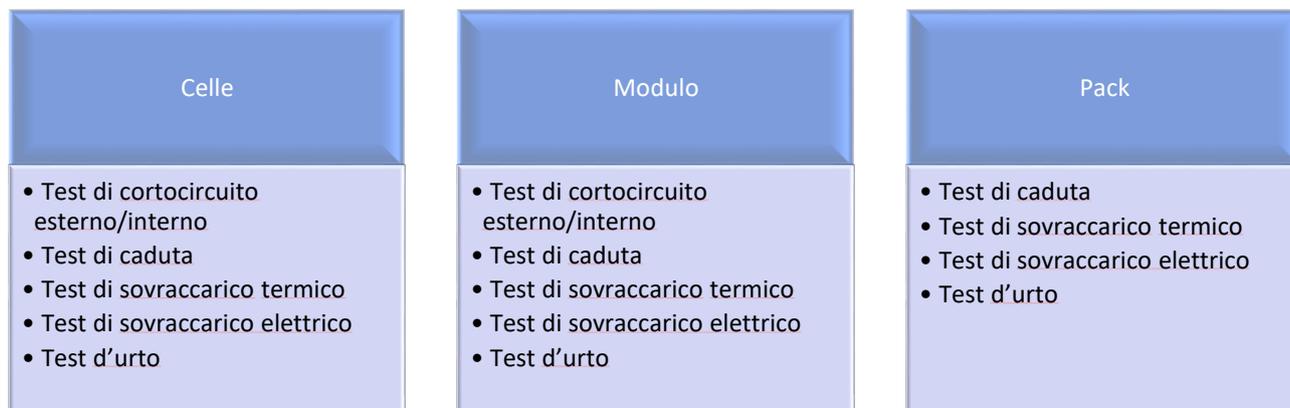


Figura 13 Test inclusi nello standard IEC 62619

In Italia, non è presente ancora una normativa specifica per l'installazione e la gestione di ESS, pertanto oltre agli standard NFPA, si segue anche gli standard dell'International Electrotechnical Commission (IEC) applicabile ai Paesi europei.

3.3. Linee guida per l'installazione dei sistemi di storage

Ogni Paese ha le proprie normative per quanto riguarda l'installazione in sicurezza delle ESS. In Italia, non esiste ancora una linea guida specifica relativamente all'installazione sicura di tali sistemi, al fine di prevenire il rischio di incendi e definire protocolli d'azione in caso di emergenza. In generale, i Vigili del fuoco raccomandano di riferirsi agli standard internazionali. Per un'installazione sicura la NFPA 855 offre una linea guida completa. Secondo tale norma, i requisiti di installazione di un sistema di storage sono suddivisi in residenziali (Tabella 5, Figura 14) e all'aperto (Tabella 6, Figura 16, Figura 17 e Figura 17) di cui sono stati riassunti gli elementi salienti. Si rimanda alla NFPA 855 per i dettagli specifici.

Tabella 5: Requisiti per installazione residenziale (NFPA 855)

Capacità dell'ESS per unità	20 kWh
Capacità massima	80 kWh- autorimesse, strutture accessorie e all'aperto
	40 kWh-armadi di servizio, spazi di stoccaggio
Rilevamento incendi	allarmi di fumo e calore
Prevenzione degli incendi	requisito di ventilazione per il funzionamento normale
	protezione dall'impatto del veicolo con barriere omologate
Metodo di test	UL9540 A
Elenco	UL9540
Installazione	Secondo le indicazioni del produttore
Spazio tra le unità	0.914 m

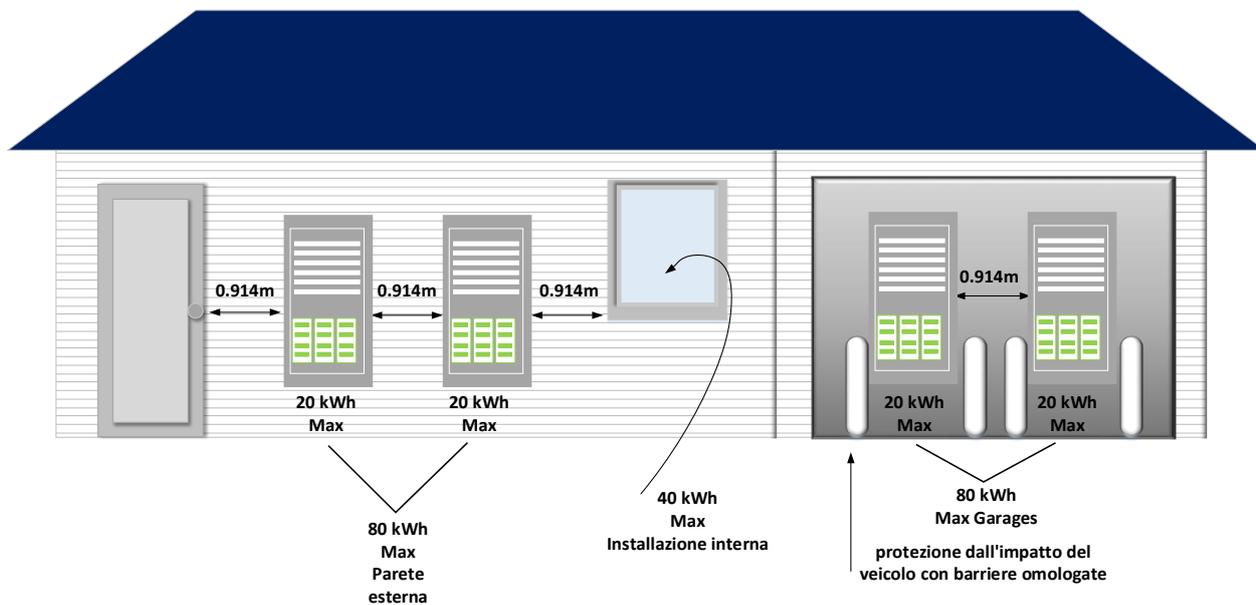


Figura 14 Installazione residenziale (NFPA 855)

Tabella 6: Requisiti per Installazione Esterni-Tettoie-Parcheggi (NFPA 855)

Capacità massima totale	$\leq 600\text{kWh}$
Dimensione	16,2 m x 2,6 m x 2,9 m
Separazione da strade pubbliche, edifici e materiali combustibili immagazzinati.	Posizione remota: 30. 5 m Le pareti antincendio possono essere installate al meno a una distanza di 1,5 m
Resistenza al fuoco	1 ora
controllo della vegetazione	3 m su ciascun lato
Rilevamento incendi	allarmi di fumo e calore
Prevenzione degli incendi	requisito di ventilazione per il funzionamento normale
Controllo e soppressione degli incendi	sistema sprinkler
Considerazione importante	Facilità di accesso per i vigili del fuoco alla zona Codici nazionali di prevenzione e protezione elettrica e antincendio

Aree Remote

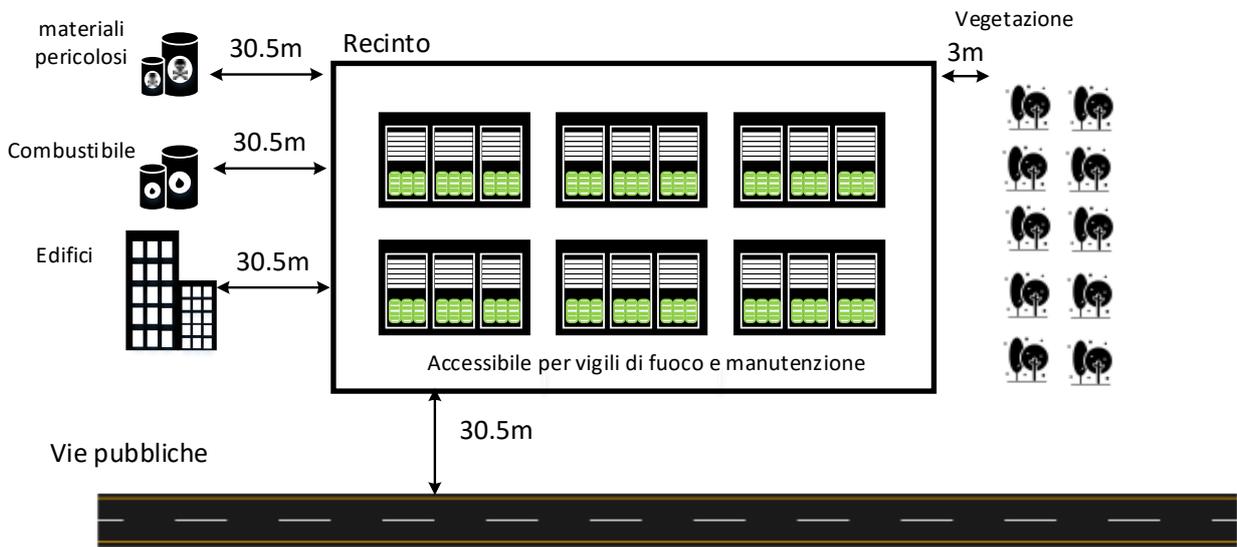


Figura 15 Installazione Esterna- Aree Remote (NFPA 855)

Non Aree Remote

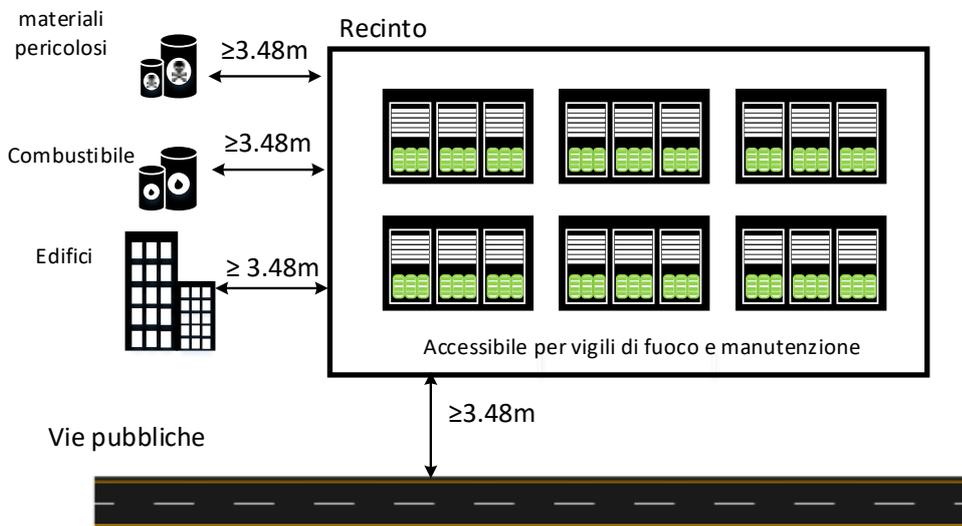


Figura 16 Installazione Esterna- Non Aree Remote (NFPA 855)

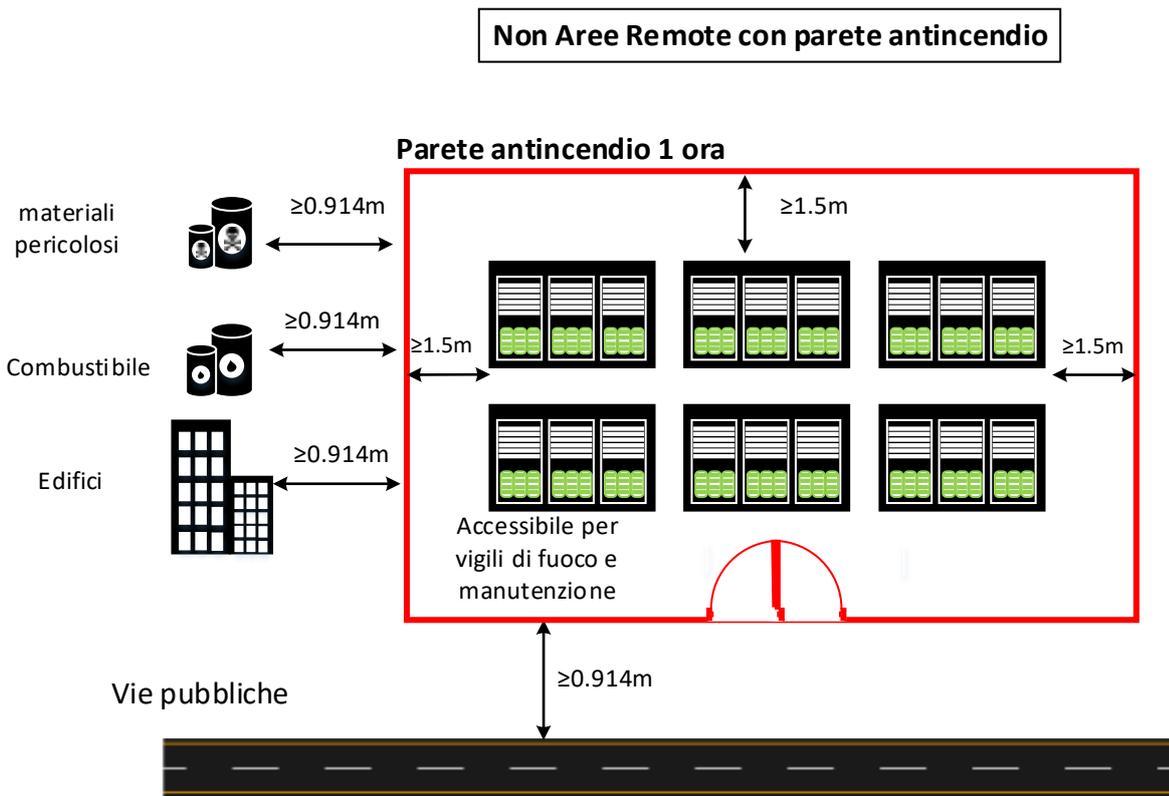


Figura 17 Installazione Esterna-non aree remote con parete antincendio (NFPA 855)

È inoltre importante menzionare che se l'ESS sarà installato in un'industria in cui vi è la possibilità di incendi o esplosioni a causa della presenza di gas, vapori, liquidi, polveri o fibre infiammabili, combustibili o incendiabili, è necessario seguire standard aggiuntivi come NFPA 70 (Tabella 7, Tabella 8) o IEC 60079-10-1 (Tabella 9) per la corretta installazione di apparecchiature elettriche ed elettroniche in aree esplosive. A seconda della classificazione dell'area in cui verrà installato l'ESS, è necessario adottare le misure del caso.

Tabella 7 Divisione aree pericolose -NFPA 70

Divisione	Specifiche
Divisione 1	Il materiale infiammabile è presente nell'area in quantità sufficienti per essere esplosivo o infiammabile durante il normale funzionamento.
Divisione 2	Il materiale infiammabile è presente nell'area in quantità sufficiente da essere esplosivo o infiammabile in caso di funzionamento anomalo.

Tabella 8 Classe aree pericolose -NFPA 70

Divisione	Materiale infiammabile
Classe I	gas o vapori come il gas naturale o i vapori di benzina
Classe II	Materiale finemente polverizzato, sospeso nell'atmosfera.
Classe III	Sono aree in cui sono presenti fibre o volatili facilmente individuabili, a causa dei tipi di materiali manipolati, immagazzinati o lavorati. Le fibre e i volatili non sono probabilmente sospesi nell'aria, ma possono raccogliersi intorno ai macchinari o sui dispositivi di illuminazione.



Tabella 9 Aree pericolose IEC 60079-10-1

Presenza di atmosfera esplosiva	Materiale infiammabile	Area
Periodi lunghi	Gas	Zona 0
	Polvere	Zona 20
Occasionalmente durante il normale funzionamento	Gas	Zona 1
	Polvere	Zona 21
Non durante il normale funzionamento	Gas	Zona 2
	Polvere	Zona 22

3.4. Soluzioni HUAWEI - Funzionamento e gestione

Huawei presenta un sistema di funzionamento e gestione di ESS di tipo attivo per il monitoraggio, la previsione e la gestione affidabile dell'energia a livello della cella, del pacco batteria e del sistema. Si tratta di una protezione automatica attiva che implementa una progettazione della sicurezza multilivello, dall'hardware al software, che integra la batteria e l'elettronica di potenza, basata su tecnologie digitali avanzate e l'intelligenza artificiale. Essa è suddivisa in quattro livelli: preallarme, rilevamento, isolamento e soppressione degli incendi (Figura 18).

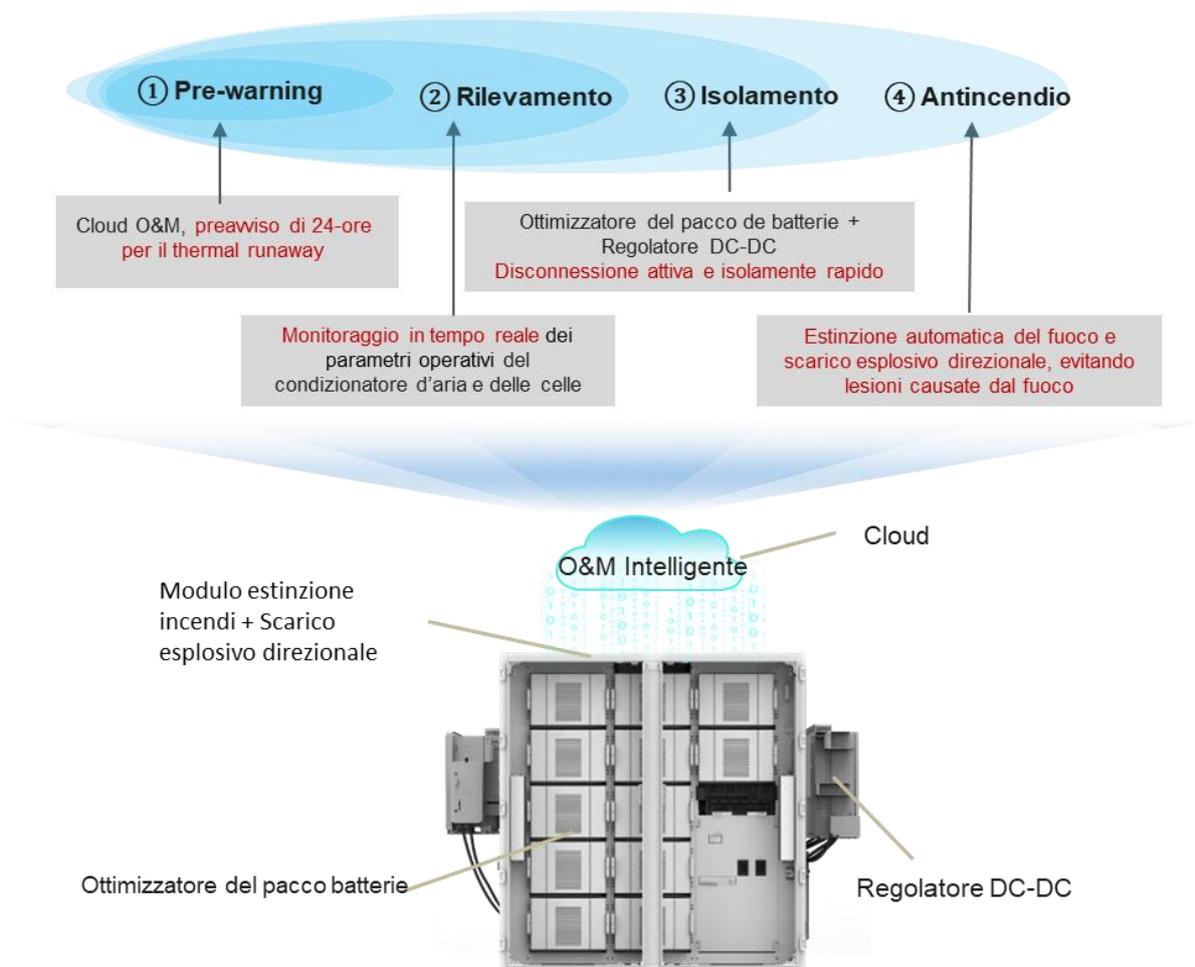


Figura 18 Livelli di protezione offerti da Huawei

3.4.1. Preavviso e rilevamento

Il sistema di preallarme di HUAWEI è in grado di rilevare in tempo reale i cortocircuiti presenti nelle celle delle batterie, confrontando diversi parametri come le curve di carica e scarica, la temperatura, la resistenza e la tensione. Inoltre, fornisce un preallarme di 24 ore per la "thermal runaway", aiutando a localizzare con



precisione e ad avvisare del rischio di incendio prima che si possa verificare. Infine, grazie alla comunicazione, al numero di sensori ed alla gestione dei dati, il sistema di gestione operativa (O&M) è in grado di prevenire i falsi positivi (falsi allarmi). Il sistema O&M contiene anche un ottimizzatore per automatizzare la calibrazione dello stato di carica, in modo da contenere la riduzione dell'efficienza nel tempo ed eliminare le visite in loco (Figura 19).



Figura 19 Processo di preallarme di sicurezza

3.4.2. Isolamento rapido e protezione da sovracorrente multilivello

Per mitigare il rischio che la “thermal runaway” si diffonda in tutto il sistema, la strategia implementata prevede l'adozione di più meccanismi di isolamento e spegnimento. Huawei introduce un approccio completo con quattro livelli di spegnimento attivo e due livelli di isolamento passivo per i pacchi batteria, i rack di batterie ed il sistema nel suo complesso. Questa strategia scollega efficacemente i circuiti interni difettosi, impedendo la propagazione della “thermal runaway” al resto del sistema. Il diagramma logico di Figura 20 illustra l'implementazione dell'isolamento attivo multilivello e dello spegnimento per gli ESS C&I di Huawei.

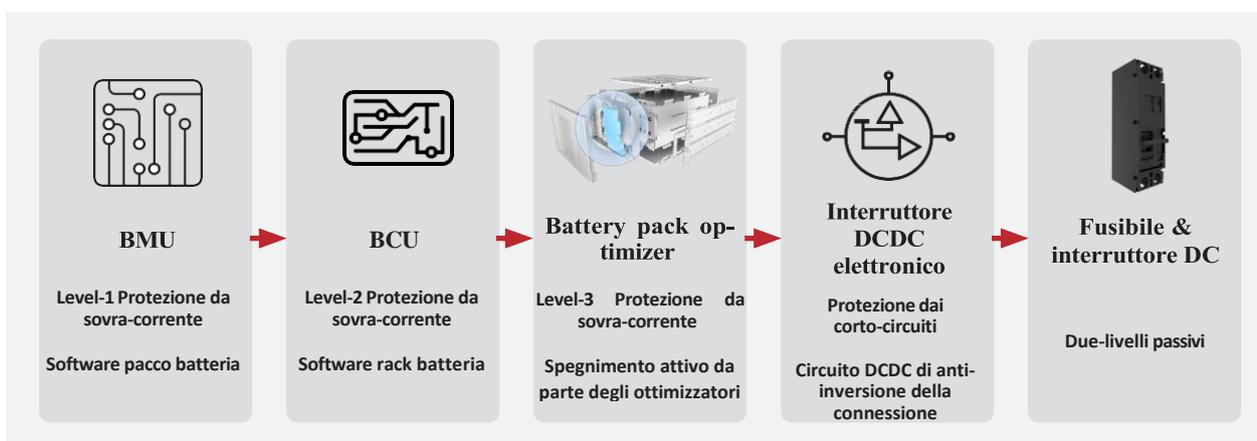


Figura 20 Logica di funzionamento dell'isolamento attivo e dello spegnimento

3.4.3. Soppressione degli incendi

Le ESS Huawei C&I utilizzano sistemi di soppressione del fuoco che estinguono attivamente il fuoco per ridurre i guasti e le perdite (Figura 21 e Figura 22) che agiscono su tre aspetti:



- **Rilevamento dei gas:** Huawei utilizza un rilevatore di fumo, di temperatura, di umidità e di CO per identificare la concentrazione di gas e la temperatura ambiente in tempo reale.
- **Sistema di scarico attivo con fonte di alimentazione ausiliaria:** rilascio attivo del gas combustibile sul retro dell'armadio della batteria mediante una ventola di dissipazione del calore.
- **Soppressione attiva del fuoco:** rilascia gas inerte per raffreddare la batteria e arrestare la "thermal runaway". Inoltre, aiuta a sopprimere la fiamma libera in caso di incendio.

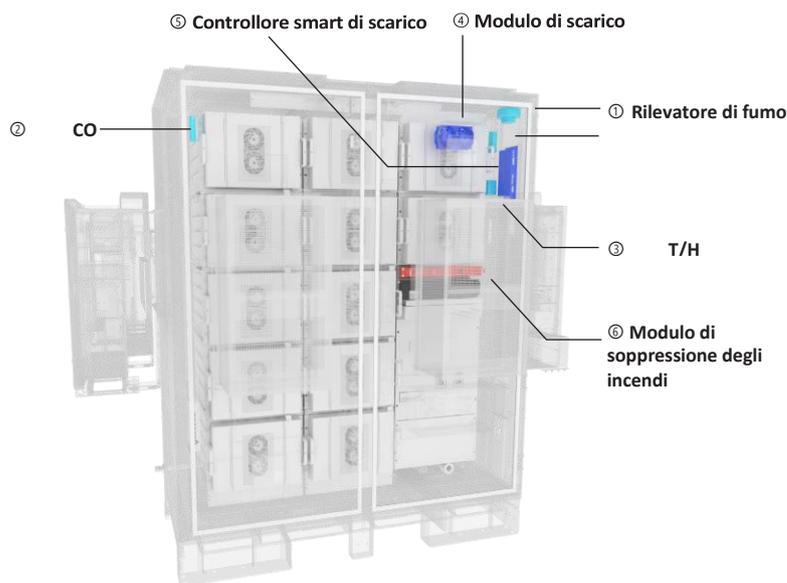


Figura 21 Componenti per la Soppressione del fuoco di Huawei C&I

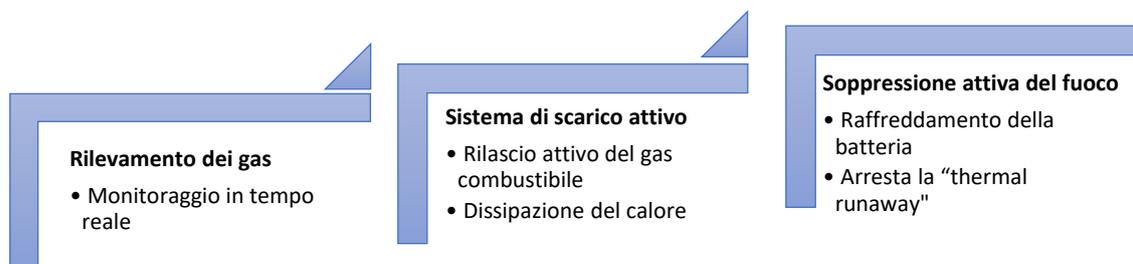


Figura 22 Huawei C&I sistemi di soppressione del fuoco



3.5. Certificazione

Con riferimento alla sicurezza strutturale e antincendio, la “smart string ESS” è conforme alle seguenti certificazioni:

- IEC62619: Huawei ha soddisfatto i requisiti di sicurezza per le celle e le batterie al litio secondarie da utilizzare nelle applicazioni industriali.
- UL9540A: Huawei ha superato i test per la valutazione della propagazione di incendi termici nei sistemi di accumulo di energia a batteria.
- GBT 36276-2018: Standard per il funzionamento delle batterie al litio per l'accumulo elettrico.

4. Best practice in Italia

Vengono nel seguito presentate, organizzate in schede sintetiche, le informazioni relative ad alcuni prodotti e ad alcune installazioni significative.

4.1. Soluzioni Huawei per FV + storage in applicazioni C&I

Le soluzioni Huawei per integrare il fotovoltaico con i sistemi d'accumulo sono riportate in questo paragrafo. Tali prodotti, e la loro integrazione, producono i vantaggi riportati nel capitolo 1 (peak-shaving, etc.) rispettando contemporaneamente le normative in fatto di sicurezza elencate nel capitolo 2. Nel frattempo, questi vengono proposti come una soluzione ottimizzata, con prestazioni e caratteristiche che rendono questi prodotti all'avanguardia.

4.1.1. Storage C&I: LUNA2000 - 200/161/129KWH-2H1 – Smart String ESS

Nella seguente tabella sono riportate le principali specifiche tecniche del sistema di storage LUNA2000, da approfondire sui datasheet del prodotto:

Tabella 10 Specifiche tecniche

	LUNA2000-200KWH-2H1	LUNA2000-161KWH-2H1	LUNA2000-129KWH-2H1	LUNA2000-97KWH-2H1
Capacità	193.5 kWh	161.3 kWh	129.0 kWh	96.8 kWh
Potenza carica/discarica max	≤100 kW/≤100 kW			≤100 kW/≤92 kW
Condizioni ambientali	-30 °C ~ 55 °C; 0 % RH ~ 100 % RH; 0-4000 m			

Le principali caratteristiche di questo prodotto sono:

- **Maggiore energia** grazie ad ottimizzatori integrati a livello di pacco batteria, che permettono che questi si carichino e scarichino indipendentemente. Questo, assieme all'architettura della stringa, permette di eliminare i “mismatch” e di guadagnare fino al 5% di capacità di scarica (dati da infrastrutture di Zhejiang e Hainan).
- **Semplice O&M**, che si declina in un algoritmo di calibrazione SoC automatico. Tale algoritmo, ad alta accuratezza, permette di ricalibrare lo SoC senza interrompere il sistema d'accumulo, di evitare visite in sito, che consumano tempo e risorse economiche.
- **Sicuro & affidabile**, in base al sistema proprietario di sicurezza attiva a quattro livelli.



Sistema anti-incendio

Modulo anti-incendio a gas e botola di esplosione verticale



Ricalibrazione da remoto

Risparmio costi e tempo



Scalabilità



Funzionamento flessibile

Temperatura, umidità e altitudine



Efficienza di punta

Massima efficienza



Maggiore energia

Grazie a ottimizzatori integrati



Semplice O&M



Sicuro & affidabile

Figura 23 Storage C&I

4.1.2. Inverter per storage C&I: LUNA2000-100KTL-M1 – Smart PCS

Nella seguente tabella sono riportate le principali specifiche tecniche dell'inverter per storage LUNA 2000, da approfondire sui datasheet del prodotto:

Tabella 11 Specifiche tecniche

	LUNA2000-100KTL-M1
Tensione operativa DC	570 V – 1100 V
Potenza nominale AC	100 kW @ 40°C
Tensione nominale AC	380 Vac / 400 Vac / 440 Vac
Condizioni ambientali	-25 °C ~ +60 °C (derating sopra 40 °C); 0 % RH ~ 100 % RH; 0-4000 m (senza derating)

Le principali caratteristiche di questo prodotto sono:

- **Modularità**, poiché prodotti con diversi livelli di potenza possono essere combinati flessibilmente in base alle richieste per facilitare l'implementazione.
- **Sicurezza**, grazie a protezioni in AC e DC, in particolare gli scaricatori di sovratensione.



Comunicazione Ethernet



Compattezza

Manovrabilità



Algoritmi Smart Grid



Funzionamento flessibile

Temperatura, umidità e altitudine



Efficienza di punta

Massima efficienza



Scaricatori di sovratensione

DC & AC



Modularità



Protezione IP66

Contro polvere e acqua

Figura 24 Inverter per storage

4.2. Casi studio in Italia

4.2.1. Baraclit – Produttore prefabbricati in cemento

L'azienda Baraclit è leader mondiale nella produzione di prefabbricati in cemento. Essa prevede un impianto fotovoltaico di 2.420 kW, già installato, a cui è stato aggiunto 1 MWh di sistema di accumulo Huawei allo scopo di aumentare l'autoconsumo dell'energia generata dall'impianto fotovoltaico e migliorare la flessibilità.



Punto di partenza		Migliorie		Vantaggi	
Baracalit S.P.A. (Bibbiena, AR) Leader in Italia nel settore dei prefabbricati in cemento	Sito di produzione in MT Consumo annuo: 4,5 GWh Campo fotovoltaico: 2.420 kWp Prezzo elettricità: 0,265 €/kWh	Aumento autoconsumo e riduzione impronta ecologica	Retrofit su impianto esistente di 1 MWh C&I BESS (5x LUNA2000-200 kWh-2H1)	<ul style="list-style-type: none"> • Autoconsumo dal 33% al 42%: circa 93.000 € risparmiati al primo anno (405 MWh) • 215 ton CO₂/anno ulteriori risparmiati 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilità di sfruttare tutta la capacità in carica e in scarica (DoD = 100%) • Efficienza di punta • Scalabilità, sicurezza e flessibilità

! **AUTOCONSUMO & FLESSIBILITÀ** !



4.2.2. Energia Italia – Impiantistica

Energia Italia è un'azienda che opera nel settore dell'impiantistica. Fornita di un impianto fotovoltaico da 70 kWp, l'aggiunta di un sistema d'accumulo ha ulteriormente migliorato l'autoconsumo, riducendo costi e impatto ambientale.

Punto di partenza		Migliorie		Vantaggi	
Energia Italia S.P.A (Canicatti, AG) Azienda nel settore dell'impiantistica	Sede amministrativa in BT Campo fotovoltaico: 70 kWp Prezzo elettricità: 0,28 €/kWh	Aumento autoconsumo e riduzione impronta ecologica	Retrofit su impianto esistente di 200 kWh C&I BESS (1x LUNA2000-200 kWh-2H1)	<ul style="list-style-type: none"> • Consumi da rete ≈ 0 per > 9 mesi all'anno (da simulazioni cliente) 	<ul style="list-style-type: none"> • Efficienza • Sicurezza • Minor tempo per O&M • DoD = 100%

! **AUTOCONSUMO & FLESSIBILITÀ** !





5. Appendice

I valori di LCOS ottenuti nel paragrafo 2.2.2 risultano allineati con quanto riportato in figura 25.

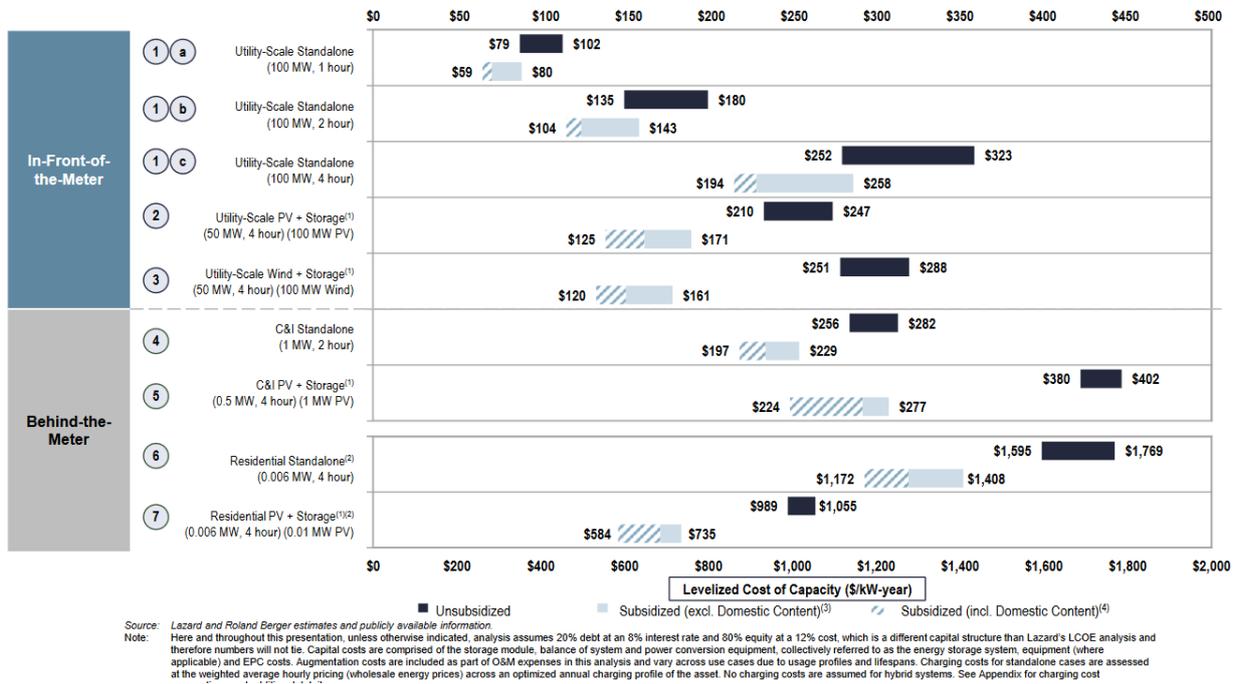


Figura 25 2023 Levelized Cost Of Energy; Lazard