

Batterie agli ioni di litio: **rischio incendio ed esplosione a bordo delle navi a propulsione elettrica**

Marcello Mangione

Giovanni Russo

L'incidente avvenuto a bordo dell'unità RO-RO Ytterøyningen

Il primo incidente su unità ibride diesel-elettriche con propulsione a batterie agli ioni di litio è accaduto in Norvegia, il 10 ottobre 2019, a bordo dell'unità di bandiera Norvegese "Ytterøyningen", il cui armatore *Norled*, che dispone di una flotta di 80 navi nella Norvegia settentrionale, ha investito in nuove navi e tecnologie all'avanguardia, come le *Li-ion*.

Il punto di partenza è la scheda tecnica riassuntiva in Figura 1 del progetto di "retrofit", eseguito dalla *Corvus* batterie, che si è occupata dell'installazione a bordo. L'unità aveva subito lavori di "retrofit" al sistema di propulsione, ed erano state inserite batterie *Corvus Orca Energy*, con capacità totale di 1989 kWh, le batterie erano state installate nel vicino cantiere *Westcon* a Ølen appena quattro mesi prima e il traghetto era rientrato in servizio a seguito della conversione ibrida a batterie nel giugno del 2019. >

L'unità di bandiera Norvegese Ytterøyningen



L'abstract

Negli ultimi anni, le batterie agli ioni di litio, di seguito anche indicate quali "Li-ion battery", hanno avuto un notevole sviluppo e l'impiego che se ne sta facendo, anche nel settore dello *shipping*, è cresciuto in modo considerevole, grazie alla loro maggiore capacità energetica, dovuta alla densità d'energia più elevata rispetto alle batterie tradizionali. Esistono numerosi tipi di tecnologie per le batterie, anche all'interno stesso della più ampia categoria delle "batterie agli ioni di litio"; altre opzioni oltre agli ioni di litio presenti sul mercato generalmente non sono in grado di fornire lo stesso livello di densità energetica o il medesimo ciclo di vita. Tuttavia, è d'uopo premettere che l'applicazione delle suddette batterie in ambito navale non è questione così semplice ed immediata, atteso che viene e in genere a scontrarsi con la densità di energia relativamente elevata e la potenza richieste per le applicazioni navali, come la propulsione. Numerose, quindi, sono le problematiche che l'impiego di siffatte batterie, pone a bordo di una nave. Il presente elaborato, redatto sulla base del lavoro di tesi di master di II livello in "Ingegneria Forense", svolto a marzo 2021, ne analizza alcune, tentando di suggerire strategie d'intervento e soluzioni pratiche. La prima sfida da affrontare, avendo riguardo al design delle navi, sia in termini di peso che di volume, è riuscire ad individuare **spazi adeguati** all'allocazione corretta e sicura delle batterie, soprattutto quando c'è anche la necessità di riservare spazi di propulsione convenzionale e di stoccaggio del carburante, come di fatto accade nella maggior parte delle applicazioni ibride. Il ruolo delle batterie come sistemi di accumulo di energia è comunque un elemento cruciale per consentire diverse applicazioni di sistemi di energia rinnovabile o anche per un efficientamento ottimale di diversi sistemi di produzione di energia. Gli svariati impieghi delle batterie nelle navi rappresentano una tematica che va affrontata considerando le **differenti tipologie di navi e i loro peculiari profili operativi**, senza tralasciare che il previsto rapido sviluppo di soluzioni sia elettriche che ibride-elettriche per le navi impone di concentrarsi attentamente sul contesto normativo, sia strettamente regolamentare che

di standardizzazione, che consente di delineare in maniera netta qual è lo stato dell'arte e quali prospettive si aprono all'orizzonte. È altresì importante riconoscere che lo sviluppo della tecnologia agli ioni di litio è trainato principalmente dal settore industriale, ed in particolare, dall'elettronica di consumo e dai mercati automobilistici.

Per fare un confronto, l'intero mercato marittimo fino al 2020 considerato rappresenta meno dell'1% della quantità totale di batterie agli ioni di litio prodotte annualmente e, in una certa misura, siffatta circostanza è all'eziologia del costo più elevato di un sistema di batterie marine. Di conseguenza, la gran parte degli sforzi di ricerca nell'ambito dell'industria marittima è stata giustamente direzionata ad implementare e utilizzare questa tecnologia a vantaggio del settore marittimo e a ridurre i **costi di impiego**, in modo da rendere l'utilizzo della tecnologia delle batterie agli ioni di litio più accessibile. Difatti, la sperimentazione di nuove tecnologie sul tema sta cercando di sostituire i materiali canonicamente utilizzati in una struttura agli ioni di litio con elementi più economici o maggiormente reperibili in natura, nonché di incrementare le prestazioni della batteria. In aggiunta, forse l'elemento principale che differenzia le installazioni di batterie marittime da quelle "terrestri" è che per un'elevata densità di potenza occorrono cicli di lavoro più impegnativi, che si ripercuotono sul sistema con un incremento dei **rischi per la sicurezza**, tematica principale della presente trattazione.

La capacità e l'alta densità specifica comportano maggiori rischi in caso di malfunzionamenti o guasti, potendo con più elevata probabilità dar luogo ad una fuga termica, con contestuale sprigionamento di sostanze tossiche ed altamente infiammabili; si tratta di un meccanismo a catena che si innesca quando avvengono reazioni indesiderate, che conducono ad un aumento incontrollato ed inarrestabile della temperatura, e ciò può addirittura provocare, nella peggiore e più deprecabile delle ipotesi, combustione inattesa con conseguenti pericolose **esplosioni**.

Alla luce di quanto anticipato e delle criticità evidenziate, è facile spiegarsi le ragioni dei plurimi **incidenti** che hanno coinvolto il settore industriale.



Marcello Mangione

Laurea e dottorato di ricerca in Ingegneria Strutturale, ricopre il ruolo di Ufficiale Tecnico dell'Arma dei Carabinieri. Progettista antincendio su strutture a destinazione civile e militare e variegate docenze, anche universitarie, nel settore della progettazione e dell'investigazione prestazionale sugli incendi. Attualmente si occupa di Ingegneria Forense, svolgendo diversi incarichi per varie Procure in qualità CTU quali: tragedia della discoteca di Corinaldo, incendio stabilimento Tontarelli, omicidio con incendio su autovettura a Benevento, ecc.

Giovanni Russo

Dipendente di Rina Service S.p.a. dal 2013 con qualifica di ispettore navale, è responsabile della sezione Marin Italy Region Technical support da maggio 2020. Precedentemente è stato "rolling stock inspector" in campo ferroviario presso il RINA Netherlands B.V. Ha conseguito la laurea specialistica in ingegneria navale presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II nel dicembre 2012 con votazione di 110 su 110 e il master di secondo livello in ingegneria Forense presso lo stesso Ateneo il marzo 2021 con votazione di 110 su 110 con tesi di specializzazione in "Batterie agli ioni di litio – Rischi di incendi ed esplosioni a bordo delle navi a propulsione elettrica".

Dalle informazioni pubbliche fornite ad oggi dall'Autorità Marittima Norvegese con un rapporto d'indagine preliminare, dal produttore delle batterie coinvolte nell'incidente e da quanto reperito tramite la rete *internet* dai diversi siti *web* che si occupano d'informazione scientifica e del settore dello *shipping*, preliminarmente risulterebbe che l'esplosione delle batterie sia avvenuta il giorno successivo all'incendio.

Il fatto

In particolare, sembrerebbe che il traghetto *Ytterøyningen* non stesse utilizzando le batterie in quei giorni, perché erano state scollegate per alcu-

ni lavori di manutenzione del loro sistema di raffreddamento ad acqua, di cui si stava occupando lo stesso produttore; nel frattempo, l'unità veniva esercitata con la tradizionale propulsione *diesel*.

Nelle prime ore della serata del 10 ottobre, scoppiava un incendio nel vano batterie. All'atto dell'incidente, l'unità era prossima al suo attracco a *Sydnæs*, sull'isola di *Halsnøy*; dopo aver ormeggiato in sicurezza, tutte le 15 persone a bordo venivano fatte sbarcare. L'incendio sarebbe stato segnalato alla polizia alle 18:40 ed estinto verso le 21:00, e tenuto, poi, sotto controllo dai Vigili del fuoco, rimasti

Nome unità	Ytterøyningen
Armatore	Norled
Vessel type	Traghetto ro-ro
ESS capacity	1989 kWh
Prodotto Corvus	Corvus Orca Energy
Anno consegna	2019
Cantiere	Westcon Ølen
Tipo progetto	Retrofit
Dimensioni unità	49.8 x 13.7 x 3.4 m
Capacità passeggeri	190
Capacità auto	38
IMO no	9371531
Area operativa	Norway
Tratte di navigazione	Fjelberg–Sydnæs–Utbjoa–Skjersholmane
Sistema nave	All-electric
Bus Voltage	800-1100 VDC
Registro di classificazione	DNVGL
Bandiera	Norway

Figura 1 | Scheda tecnica della Corvus Electric Storage System specifications

sul posto per tutta la notte. Verso le 7:00 del giorno successivo avveniva l'esplosione, ovvero circa 11 – 12 ore dopo l'incendio: nessun ferito, mentre i 12 Vigili del fuoco coinvolti per fronteggiare l'esplosione sono stati sotto osservazione in ospedale a causa dell'esposizione all'acido fluoridrico¹ rilasciato durante l'incendio; la composizione chimica delle batterie e il loro comportamento in condizioni di abuso termico rappresentano un rischio per la sicurezza e la salute delle persone.

Le probabili cause

Le indagini relative ad oggi risultano ancora in corso. Per quanto risultano ancora incerte le cause ufficiali del sinistro, mancando ancora il rapporto definitivo delle indagini eseguite, quelle più probabili preliminarmente identificate risultano essere²:

- 1) **Perdite di refrigerante:** la perdita "ha creato un arco tra i componenti elettrici, a tensioni di picco di 10,00 VCC, innescando un incendio che sarebbe stato alimentato dal glicole etilenico contenuto nel liquido di raffreddamento".
- 2) **Sistema antincendio ad acqua spruzzata attivato per estinguere il primo incendio:** il sistema ad acqua salata, aggiuntivo rispetto al sistema antincendio a gas inerte Novec, la teoria è che l'acqua salata possa aver causato cortocircuiti nel sistema elettrico.

Sfortunatamente, a causa del lavoro di manutenzione, il sistema **BMS delle batterie non era collegato** ai sistemi della nave, quindi nessun segnale è stato inviato attraverso il sistema di allarme della nave.

Tale circostanza potrebbe essere stata una delle cause, visto che proprio il BMS è stato oggetto della prima comunicazione del produttore delle batterie:

1. Rischi connessi con lo stoccaggio di sistemi di accumulo litio-ione.
2. Dal sito web <https://www.ctif.org/news/explosion-norwegian-battery-hybrid-ferry-may-have-been-caused-fire-extinguishing-system>.

"Important Communique regarding Ytterøyningen Battery Fire"³, in cui viene principalmente evidenziato e comunicato che non si deve navigare senza assicurarsi che l'EMS (plancia) ed il BMS (batterie) siano connessi; che mantenendo le batterie cariche si assicura la connessione tra EMS ed il BMS; che, diversamente, con batterie disenergizzate non saranno comunicati importanti dati di sistema (guasti, avvisi, temperature e voltaggi) alla plancia in situazione di probabile fuga termica, di rilascio di gas o di incendio nel locale batterie; e che non andava spento l'equipaggiamento delle batterie, essendo necessario contattare il supporto tecnico dedicato della Corvus 27/7 e seguire il piano di contingentamento predisposto dalla Corvus per il sistema Orca ESS. L'Autorità Marittima Norvegese, a seguito dell'incidente e sulla base del documento di sicurezza emesso dalla Corvus a seguito dell'indagine preliminare, ha emesso la circolare NMA SM3-2019 che si va ad aggiungere alla Circolare "NMA – Series V – RSV 12-2016", che dettava i requisiti normativi per l'installazione delle batterie a bordo delle unità battenti bandiera Norvegese.

Aspetti fondamentali della sicurezza delle batterie agli ioni di litio

Il pericolo di incendio delle batterie agli ioni di litio è legato alla loro composizione chimica e alle condizioni di utilizzo⁴.

I problemi di sicurezza relativi alle batterie agli ioni di litio derivano da due fonti: una è la presenza di un **elettrolita infiammabile** e instabile; la seconda è la presenza di **elettrodi metallici** che possono bruciare e che spesso rilasciano ossigeno.

La probabilità che si inneschi un evento che metta in ➤

3. Dal sito web <https://corvusenergy.com/fire-onboard-the-car-ferry-ytteroyningen-preliminary-investigation-results/>
4. *Li-ion batteries: characterization of the thermal runaway reactions using a DSC*, Paola Russo *, Maria Luisa Mele a *Department of Chemical Engineering Materials Environment, Sapienza University of Rome, Rome, Italy* E-mail: paola.russo@uniroma1.it - *13th International Symposium on Hazards, Prevention, and Mitigation of Industrial Explosions Braunschweig, GERMANY – July 27-31, 2020.*

pericolo la sicurezza è in gran parte legata all'elettrolita infiammabile, mentre dipendono perlopiù dal secondo aspetto l'alta temperatura e la difficoltà di estinguere l'incendio. Le modalità di malfunzionamento ed i relativi effetti, dovuti ai predetti componenti, a seguito dell'utilizzo improprio delle batterie agli ioni di litio sono principalmente due:

- ▶ la fuga termica a cascata o anche detta **"thermal runaway"**;
- ▶ rilascio di **gas tossici ed infiammabili** indicati in Figura 2.

Si fornirà un resoconto dei principali meccanismi di impiego improprio delle batterie agli ioni di litio, che pongono rischi per quanto riguarda la sicurezza (Figura 3), nonché una descrizione dei principali effetti e conseguenze che possono derivare da tali incidenti.

Fuga termica e propagazione

La fuga termica è la reazione esotermica che si verifica quando una batteria agli ioni di litio inizia a bruciare. L'evento termico sovente si origina da un meccanismo di utilizzo improprio che causa un au-

“ Non tutte le batterie Li-ion contengono ossigeno all'interno degli elettrodi, ma tutte quelle presenti oggi sul mercato contengono l'elettrolita che può infiammarsi e causare il descritto scenario di fuga termica ”

mento della temperatura interna sufficiente per innescare l'elettrolita all'interno di una data cella, ovvero quando la potenza generata può diviene maggiore del calore che la cella è in grado di dissipare⁵. Questo incendio iniziale presenta, quindi, un rischio significativo di bruciare gli elettrodi metallici contenuti all'interno della cella della batteria, producendo, così, un

incendio di metalli ad alta temperatura, che possono contenere ossigeno che viene, quindi, rilasciato durante la combustione. Se è vero che non tutte le batterie agli ioni di litio contengono ossigeno all'interno degli elettrodi, è altrettanto vero, però, che tutte le batterie agli ioni di litio oggi sul mercato contengono l'elettrolita che può infiammarsi e causare il descritto scenario di fuga termica.

Quanto alle navi, va posto in luce che un sistema di batterie marittime è tipicamente costituito da migliaia di celle: pertanto, il guasto e il rilascio totale di calore di una singola cella è una minaccia di scar-

5. *Investigation on the Fire Hazards of Li-Ion Cells* - Paola Russo, Maria Luisa Mele, Giovanni Longobardo, Michele Mazzaro, and Cinzia Di Bari - © Springer Nature Switzerland AG 2020. W. Zamboni, G. Petrone (eds.), *ELECTRIMACS 2019, Lecture Notes in Electrical Engineering* 604, https://doi.org/10.1007/978-3-030-37161-6_56

GAS	
CO2 -anidride carbonica	pericoloso
CO – monossido di carbonio	tossico
NO2. Biossido di azoto	tossico
HCN – acido cianidrico	tossico – infiammabile
Etano	infiammabile
Metano	infiammabile
Benzene	tossico – infiammabile
Etilene	tossico – infiammabile
Toluene	tossico – infiammabile
HCl – acido cloridrico	tossico – infiammabile
HF – acido fluoridrico	tossico – infiammabile
Metanolo	tossico – infiammabile

Figura 2 | Schema tossicità dei vari gas tossici

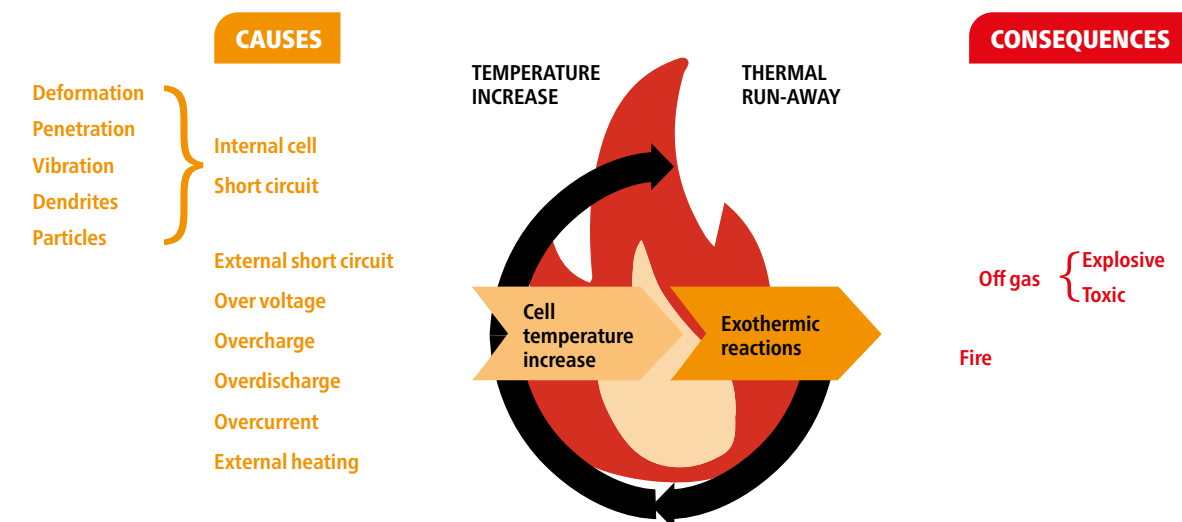


Figura 3 | Schema cause-effetto sui malfunzionamenti delle batterie Li-ion

sa importanza; mentre il pericolo maggiormente significativo è rappresentato senza dubbio dall'evento termico che sprigiona calore in grado di propagarsi ad altre celle, facendole entrare nella fuga termica. Man mano che questi fenomeni a catena procedono attraverso la batteria, il calore prodotto aumenta in modo esponenziale e si sviluppa il rischio di un incendio che coinvolga l'intera batteria. Pertanto, i moduli ed i sistemi della batteria devono essere progettati in modo tale da scongiurare il rischio di propagazione dalla singola cella utilizzata. Possiamo affermare che tali tipi di **protezione**, che potremmo definire **"a cascata"**, rappresentano la caratteristica soluzione chiave per la progettazione del sistema per la sicurezza.

Elettrolita

L'elettrolita contenuto in una data cella è costituito da un solvente organico, generalmente si tratta di varianti di carbonati di etile; ciò significa che sono infiammabili. Inoltre, i gas prodotti durante uno scenario di malfunzionamento sono anch'essi infiammabili, con conseguente elevato rischio di esplosione e, va precisato, altresì, che essi contengono generalmente anche altre specie tossiche, come HCl e HF.

Queste caratteristiche dei gas di esalati della batteria vanno opportunamente tenute in considerazione per quanto riguarda le fonti di **accensione** e la **ventilazione** all'interno sia del modulo batteria che del locale in cui è alloggiata la batteria.

Valutazione della sicurezza

È stato eseguito uno studio di valutazione del rischio basato sulla metodologia di identificazione dei rischi **Hazard Identification (HAZID)**.

Il presente paragrafo vuole tracciare le linee salienti di una dettagliata valutazione del rischio eseguita per un'ipotetica installazione di un sistema di batterie a bordo di una nave, da considerare come caso-base.

L'approccio/la metodologia

Vediamo come procedere con l'**HAZID**, ovvero la valutazione della sicurezza passando per i punti di seguito spiegati.

In generale, un HAZID è un approccio strutturato basato su documenti e disegni, come base per identificare rischi e pericoli legati al funzionamento o all'uso di attrezzature e/o sistemi.

Gli obiettivi chiave di un HAZID sono:

► Identificare pericoli ed eventi "infausti" che pos- ➤

sono dar luogo a rischi gravi e immediati per il personale, l'ambiente e le risorse.

- ▶ Identificare le cause efficienti e le conseguenze di eventi pericolosi.
- ▶ Identificare misure preventive e volte a ridurre/minimizzare il rischio già incluse nella progettazione per la gestione dei rischi associati ai pericoli identificati (a titolo esemplificativo, controlli tecnici o operativi che possano prevenire l'*escalation* del pericolo).
- ▶ Valutare i rischi in modo semi-quantitativo utilizzando una matrice di rischio.
- ▶ Raccomandare eventuali nuove misure da attuare nella progettazione e/o durante il funzionamento.

La relazione tra pericolo, evento pericoloso, cause, conseguenze e misure di prevenzione e mitigazione è illustrata nella Figura 4.

La procedura di un HAZID illustrata nella Figura 5 viene spiegata dettagliatamente e per tutte le sue fasi di seguito.

1. Il primo passo è identificare i nodi HAZID per valutare le specifiche di ogni singola area o operazione.
2. Il secondo passaggio consiste nell'identificare i pericoli corrispondenti a ciascun nodo.
3. Per ogni pericolo devono essere identificate le

potenziali cause e le potenziali conseguenze.

4. Per ciascuno di essi, inoltre, vengono identificate, poi, le misure di salvaguardia (quelle che possono impedire che si verifichi un incidente, nonché quelle tese a controllare lo sviluppo del pericolo o a mitigarne le conseguenze).
5. La fase di classificazione del rischio si sostanzia nella categorizzazione dei pericoli identificati, ma senza la stima dei rischi associati.
6. Per ciascun evento pericoloso vengono statuite la gravità e la probabilità di verificazione e, in base alla predetta statuizione, viene determinato il rischio dell'evento pericoloso.
7. Se le misure preventive o mitigatrici sono ritenute insufficienti a gestire il pericolo, potrebbero essere necessari ulteriori approfondimenti per una migliore comprensione dell'entità e delle caratteristiche del pericolo.

Classificazione del rischio

Il rischio relativo a un evento pericoloso è funzione della **frequenza** dell'evento e della **gravità** delle sue potenziali conseguenze.

Poiché il rischio è definito come la probabilità che un evento accada per l'entità delle sue conseguenze, gli eventi pericolosi possono essere classificati in una **matrice di rischio**: gli eventi pericolosi si possono classificare come tollerabile, accettabile, cd. "ALARP" (acronimo che indica "as low as reaso-

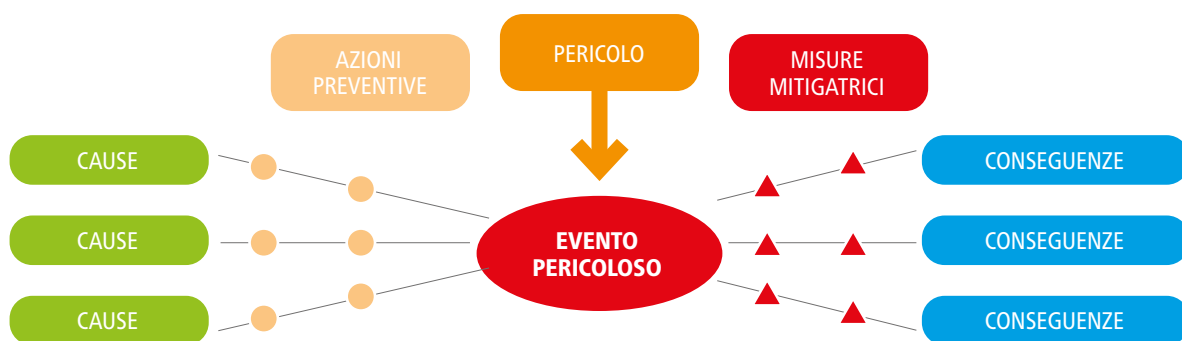


Figura 4 | Relazione tra pericolo, evento pericoloso, cause, conseguenze e misure di prevenzione e mitigazione

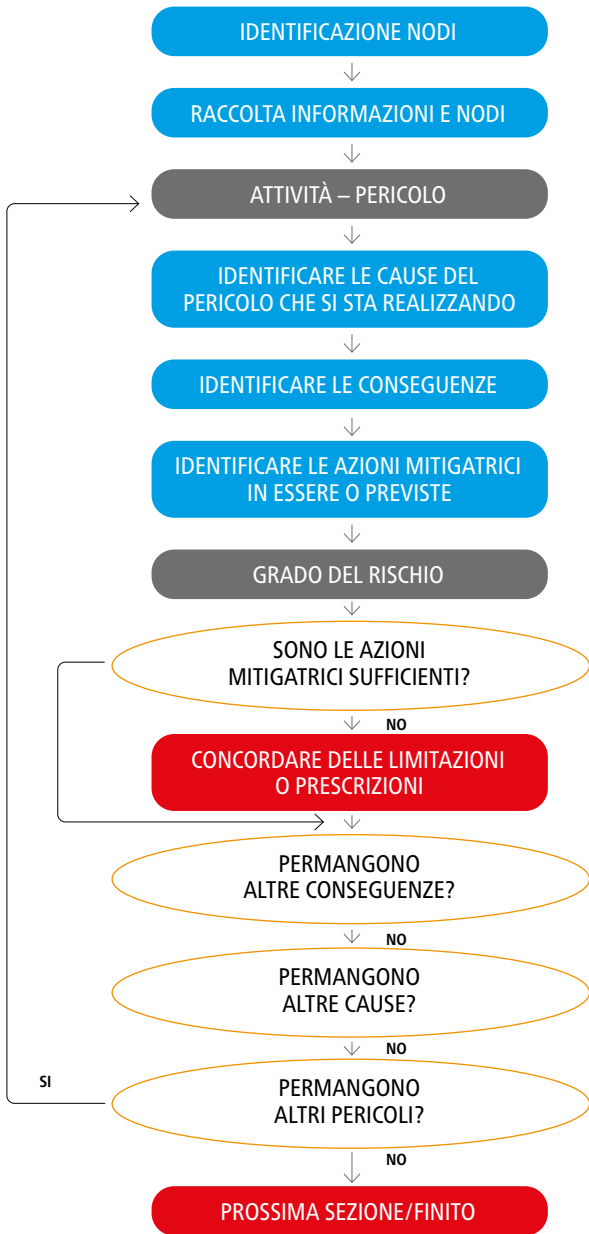


Figura 5 | Diagramma di flusso della procedura

nably practicable”, overossia il più basso ragionevolmente praticabile) e non tollerabile, illustrato nella Tabella 1.

Per questa valutazione di sicurezza, la matrice di rischio proposta si basa sulla guida Rina “Guide for Failure Mode and Effect Analysis”.

Va notato che non esiste una definizione universale di rischio, ma il rischio deve essere definito dagli

analisti e accettato dalla direzione del progetto o del programma ed approvato dagli enti preposti.

Le definizioni differiscono ampiamente tra i diversi settori di applicazione. In questo studio, il *focus* della classificazione del rischio è stato sulla sicurezza e l’ambiente.

Sono stati, selezionati alcuni pericoli che sono stati ritenuti “principali” ai fini dell’analisi delle problematiche che si verificano per i sistemi trattati in questo studio. Quindi, per onestà intellettuale, è bene porre in luce in modo chiaro che ben potrebbero presentarsi altri pericoli non presi in considerazione in questo studio, ne è prova il fatto che a seguito dell’incidente esaminato è stato richiesto un **aggiornamento della valutazione dei rischi** inserendo i nuovi scenari.

Difatti, sarebbe sempre opportuno effettuare una specifica valutazione di sicurezza per ogni singolo caso.

Per la valutazione della sicurezza è stato ipotizzando un sistema di batterie, come descritto nel seguente paragrafo ed illustrato nella Figura 6.

La batteria ipotizzata è del tipo con elettrolita liquido, con un sistema di protezione contro la propagazione del fuoco a modulo completo.

Il sistema è raffreddato ad aria con ventilazione diretta nel vano batteria, che è dotato di condotti dedicati per il rifornimento e il prelievo dell’aria.

Il BMS e il sistema di arresto di emergenza sono indipendenti l’uno dall’altro.

Il sistema è allocato in uno spazio dedicato a bordo di una nave ibrida diesel elettrica. L’imbarcazione utilizzerà le batterie come principale fonte di alimentazione durante il normale funzionamento.

Il primo passo dell’HAZID seguito per la valutazione del sistema di batterie del caso-base è stato identificare i nodi del sistema:

- (1.0) Sistema di batterie.
- (2.0) Spazio della batteria.
- (3.0) Impianto elettrico e di controllo.

>

SEVERITÀ DEL DANNO						PROBABILITÀ				
						1	2	3	4	5
VALORE	Conseguenze	Persone	Sicurezza	Ambiente	Reputazione	mai sentito	sentito	occorso	occorso spesso in un anno	occorso spesso sulle navi durante l'anno
1	nessun effetto	nessuna lesione	nessuna conseguenza	nessuna conseguenza	nessun impatto	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1
2	minor effetto	lesione minore	conseguenze minori	conseguenze minori	impatto limitato	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2
3	effetti moderati	maggiore lesione	effetti localizzati	effetti localizzati	impatto considerevole	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3
4	effetti maggiori	singola morte	gravi conseguenze	gravi conseguenze	nazionale grave	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4
5	effetti pericolosi	morti multiple	conseguenze massiva	conseguenze massiva	internazionale grave	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5
TOLLERABILE – NON SONO NECESSARIE AZIONI CORRETTIVE- MITIGATRICI										
ACCETTABILE – IL PIÙ BASSO RAGIONEVOLMENTE PRATICABILE										
NON TOLLERABILE – NON ACCETTABILE È RICHIESTA AZIONE CORRETTIVA – MITIGATRICE IMMEDIATA										

Tabella 1 | Matrice del rischio

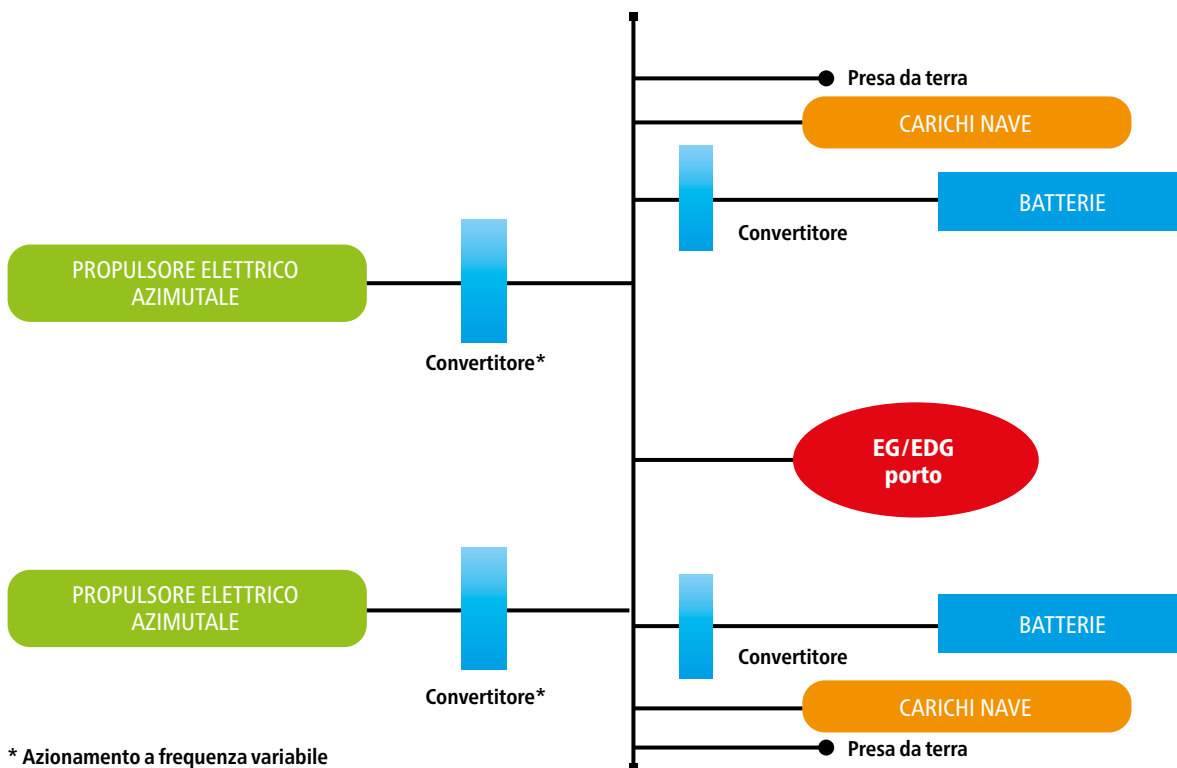


Figura 6 | Schema impianto di propulsione elettrico

Considerazioni conclusive

Il presente lavoro ha affrontato la tematica “innovativa” dell’impiego delle batterie agli ioni di litio a bordo alle navi, in quanto lo *shipping* è il settore di competenza dello scrivente, per professione ingegnere navale.

L’argomento ha suscitato interesse in quanto sicuramente apre nuove prospettive per il futuro: le batterie Li-ion possono, infatti, rappresentare una vera e propria svolta nel settore marittimo, quantomeno per due ordini di ragioni.

In primis, il vantaggio è l’elevata energia specifica: a parità di potenza installata, le batterie agli ioni di litio pesano di meno rispetto a quelle tradizionali; ed è immediatamente intuibile che sulla nave il peso del carico pagante è fondamentale in termini di ritorno economico dell’armatore.

In secondo luogo, a lungo andare, su alcune tipologie di unità e per determinati profili operativi, sarà possibile ottenere un notevole beneficio in termini ambientali: nello specifico, per le soluzioni ibride si verificherà una riduzione, mentre per quelle *full electric* un pieno abbattimento, dell’inquinamento atmosferico, in quanto – in quest’ultimo caso – i motori a combustione interna vengono sostituiti dalle batterie caricate dalla rete elettrica di terra.

Criticità

A questo punto, però, preme sollevare un profilo critico: se da un lato infatti, con riguardo alla nave in sé considerata, si produce il vantaggio ecologico appena detto, occorre chiedersi, tuttavia, se quanto appena affermato è altrettanto vero con riguardo alle modalità in base a cui viene prodotta l’energia elettrica per la ricarica da terra delle batterie e con quali rendimenti l’energia viene trasportata sino all’utilizzatore.

È anche vero, d’altro canto, e come ampiamente riba-

dito nel corso dell’elaborato, che l’installazione delle batterie agli ioni di litio in ambito marittimo, malgrado i vantaggi poc’anzi detti, non è ancora decollato con vaste proporzioni (solo l’1% del mercato globale). Le ragioni di tale circostanza sono da ricercarsi nella peculiarità dell’ambiente navale, che può essere considerato estremamente conservatore, nonché nella normativa tecnica in materia, che si appalesa in alcuni casi completamente inesistente, in altri insufficiente o lacunosa.

Ciò suggerisce di esprimere un auspicio deciso verso istanze di armonizzazione e, a tal proposito, sul punto potrebbe invocarsi una maggiore cooperazione tra gli Stati e tra le varie Società di classificazione, al fine di

individuare degli *standard* comuni cui fare riferimento.

Lo Stato che ad oggi è maggiormente avanguardista si è rivelato essere la Norvegia, da un lato, per la geomorfologia delle sue coste – i ben noti fiordi – che richiede profili operativi delle navi che favoriscono l’utilizzo delle batterie, sia *hybrid* che *full electric*; dall’altro, in quanto il Governo ha molto investito nell’ecologia in generale, anche in termini economici.

Risale al 2016 la prima normativa tecnica afferente alla materia (circolare V RSV 12-2016), che ha incentrato l’approvazione dell’installazione a bordo delle batterie sul *risk assessment*, richiamando esplicitamente la circolare MSC1/1455.

Ironia della sorte, malgrado la sensibilità e l’attenzione particolare che la Norvegia ha dimostrato nei confronti della problematica dell’installazione delle batterie agli ioni di litio nello *shipping*, nel 2019, si è verificato l’incidente che ha dato luogo all’incendio e alla successiva esplosione sull’unità Ro-Ro *Ytterøyningen*.

L’indagine che ne è derivata ha evidenziato le cause preliminari del sinistro; non essendo ancora completamente chiari e definitivi i perché dell’incidente, ➤

“ L’installazione delle batterie agli ioni di litio in ambito marittimo, non è ancora decollata per la peculiarità dell’ambiente navale, molto conservatore e della normativa tecnica in materia, spesso lacunosa o inesistente ”

quest'ultimo è stato l'occasione per approfondire lo studio di quanto successo ed è stato il terreno su cui testare le batterie, nonché un campanello di allarme da cui attingere preziosi dati per scongiurare il rischio di simili incidenti in futuro.

Il passato deve esserci da monito: in ambito navale, difatti, la statistica degli incidenti fa alzare il livello di sicurezza postulato, determinando l'implementazione dei requisiti richiesti per normativa.

Molte sono le informazioni utili che sono state evinte dall'inchiesta sull'incidente in parola e che hanno consentito di individuare delle potenziali soluzioni alle problematiche che si sono verificate.

I principali punti emersi dalle indagini

Procedendo per punti è emerso quanto segue:

- ▶ a seguito dei test effettuati dal DNV, sembrerebbe possibile che il sistema di *sprinkler* aumenti le sacche di gas, determinando l'aumento delle probabilità di verifica dell'esplosione;
- ▶ a ciò si aggiunga che il glicole etilenico contenuto in soluzione nel sistema di refrigerante ad acqua aumenta il carico di incendio, nel senso che ha potuto, si badi bene, anche se non innescare, quantomeno alimentare le fiamme;
- ▶ inoltre, dal momento che le batterie erano in manutenzione, il BMS risultava staccato;
- ▶ infine, si sono prodotte le esalazioni tossiche.

Le riflessioni

Partendo da queste evidenze, è possibile accennare a timidi spunti di riflessione in chiave di sicurezza.

Alla luce dei test che il DNV ha effettuato sugli impianti di estinzione degli incendi in generale si potrebbero ritenere sconsigliabili gli *sprinkler*, valutando come più efficiente la soluzione combinata dell'impianto *Hi-fog* per il locale batteria e la *FiFi4Marine* di iniezione diretta negli armadi-batterie, senza dimenticare che ogni installazione deve essere oggetto di un'analisi dedicata, che tenga in considerazione le specificità del caso. Infine, il BMS dovrebbe restare sempre acceso: do-

rebbe essere assicurata, cioè, la connessione tra il *bridge* e le ESS.

Orbene, traendo spunto dall'indagine ancora in corso e guardando la questione con gli occhi dell'ingegnere forense, la problematica che si prospetta è di non facile risoluzione; basti pensare, difatti, che il rapporto definitivo non è stato ancora fornito, di talché al momento è possibile soltanto ragionare per ipotesi.

Sulla base delle poche ed incomplete informazioni reperite, senza voler contestare qualsivoglia atto formale, considerando che il progetto *retrofit* per l'installazione delle batterie agli ioni di litio sulla nave interessata dal sinistro è basato sulla circolare V RSV 12 del 2016 che, come detto, richiamando la circolare IMO MSC.1/Circ.1455 richiede anche una valutazione dei rischi degli incendi e delle esplosioni – la richiesta da parte dell'NMA di effettuare subito a seguito dell'incidente una nuova valutazione dei rischi relativamente al pericolo di accumulo di atmosfera esplosiva, lascia pensare che la precedente valutazione dei rischi presentata durante la progettazione potesse essere stata imprecisa o addirittura incompleta.

Ad ogni modo, anche se l'accumulo di atmosfera esplosiva è condizione necessaria per avere un'esplosione è anche vero che per avere un accumulo di gas esplosivi deve esserci stato un malfunzionamento dell'impianto.

Ebbene, è opinione dello scrivente che il ruolo cruciale è stato svolto dal *Battery Monitoring System* spento: di fatto, le batterie risultavano in manutenzione, disenergizzate, l'eventuale sovra scarica non sarebbe stata controllata ed è noto che la sovra scarica è causa di "fuga termica", dovuta al deterioramento degli elettrodi, che a sua volta è causa di incendi e di rilascio di gas infiammabili e tossici, come avvenuto per l'incidente in esame.

Quindi, se il passato deve insegnarci qualcosa, lo sguardo al futuro ci impone di tener in debita considerazione quanto appreso, in quanto è verosimile che altri incidenti del genere possano verificarsi.

L'incidente dell'“Insurance Marine News”

Difatti, l'11 marzo 2021 si è verificato un nuovo incidente, anche stavolta a bordo di un traghetto norvegese ibrido. L'“Insurance Marine News” il 15 marzo 2021 ha pubblicato⁶ la seguente notizia “Un incendio nel locale batterie è scoppiato sulla nave passeggeri catamarano ibrido di 24 metri *Brim (IMO 9862554)* giovedì 11 marzo”. In questo caso, il sistema di batterie installato è un *Corvus Dolphin Energy Storage System* raffreddato ad aria. Le indagini sono state appena avviate, ma non ci sono stati feriti.

Si intende concludere il presente articolo citando te-

stualmente quanto l'armatore del catamarano in un post su *Facebook* ha detto⁷ – chiara testimonianza della piena consapevolezza dell'innovatività e dell'importanza di queste nuove tecnologie – nell'ottica della continua ricerca di una maggiore sicurezza:

“Sappiamo che c'è grande interesse per la tecnologia delle nostre navi ibride elettriche, e crediamo che sia importante che la nostra esperienza vada a beneficio di tutti gli operatori del settore. Ci sono molti punti di apprendimento da questo evento, che condivideremo proattivamente non appena avremo ricevuto più risposte”. ♦

6. <https://insurancemarineneews.com/insurance-marine-news/hybrid-tour-boat-in-norway-hit-by-battery-fire/>

7. <https://insurancemarineneews.com/insurance-marine-news/passenger-vessel-brim-declared-safe-after-battery-overheating/>

Bibliografia

- [1] <https://www.ctif.org/news/explosion-norwegian-battery-hybrid-ferry-may-have-been-caused-fire-extinguishing-system>.
- [2] Li-ion batteries: characterization of the thermal runaway reactions using a DSC
- [3] Investigation on the Fire Hazards of Li-Ion Cells – Paola Russo, Maria Luisa Mele, Giovanni Longobardo, Michele Mazzaro, and Cinzia Di Bari – © Springer Nature Switzerland AG 2020
- [4] “Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression” – www.dnv.com
- [5] Resolution MEPC.304(72), adottata il 13 April 2018, testo completo su [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304\(72\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.304(72).pdf)
- [6] 2019-10-14, circolare SM 3-2019, “Battery fire with subsequent gas explosion” – su <https://www.sdir.no/en/shipping/legislation/>.
- [7] <https://insurancemarineneews.com/insurance-marine-news/hybrid-tour-boat-in-norway-hit-by-battery-fire/>
- [8] <https://www.tu.no/artikler/mf-ytteroyningen-naermerseg-arsak-til-brann-og-eksplosjon/478717>
- [9] <https://www.themeditegraph.com/it/shipping/2019/10/17/news/esplosione-a-bordo-di-traghetto-a-batterie-paura-in-norvegia-1.38067684>
<https://corvusenergy.com/projects/ytteroyningen/>
- [10] <https://maritime-executive.com/article/newly-built-hybrid-passenger-vessel-suffers-battery-fire-underway>
- [11] <https://corvusenergy.com/fire-onboard-the-car-ferry-ytteroyningen-preliminary-investigation-results/>
- [12] <https://www.sdir.no/en/shipping/legislation/>
- [13] <https://www.seatrade-maritime.com/casualty/car-ferry-battery-fire-probably-caused-coolant-leakage>
- [14] Corvus Energy. (2016). All Electric Car Ferry. Retrieved from <https://corvusenergy.com/all-electric-car-ferry/>
- [15] E-ferry Ambition. Retrieved from <http://e-ferryproject.eu/Home/Impact#horizontalTab2> Elemed. (2018). Retrieved from <https://www.elemedproject.eu/Element>. (2018). Electrification in the eastern Mediterranean. Retrieved from <https://www.elemedproject.eu/activities-description>
- [16] Ellingsen, L. A.-W., Majeau-Bettez, G., Singh, B., Srivastava, A. K., ValØen, L., & Strømman, A. H. (2018). *Towards the battery of the future*. Retrieved from Science for Environment Policy: http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/towards_the_battery_of_the_future_FB20_en.pdf
- [17] Farmer, J. &. (2020). *Subsurface Hybrid Power Options*.
- [18] <https://www.forseaferries.com/about-forsea/ferries-and-port/> Forsea. (2018). Sustainability. Retrieved from <https://www.forseaferries.com/about-forsea/sustainability/>
- [19] <https://kongsberg.com/en/kog/news/2017/september/final%20design%20on%20yara%20birkeland/>
- [20] Kongsberg Maritime. (2017). YARA and KONGSBERG enter into partnership to build world's first autonomous and zero emission ship. Retrieved November 2018, from <https://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0238.nsf/AllWeb/98A8C576AEFC85AFC125811A0037F6C4?OpenDocument>