

Ciclo di vita

Uno studio RSE affronta i potenziali impatti ambientali secondo un approccio LCA delle batterie al sodio

[di Maria Leonor Carvalho*, Giulio Mela*, Andrea Temporelli*, Elisabetta Brivio*, Pierpaolo Girardi*]

Gli obiettivi di sostenibilità ambientale del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) prevedono una crescen-

te penetrazione di fonti rinnovabili nel mix di produzione dell'energia elettrica. In particolare, a crescere, sia come contributo percentuale sia in termini di produzione assoluta, saranno le fonti rinnovabili non programmabili: eolico e solare. In conseguenza di tale crescita, sarà richiesta una sempre maggiore flessibilità delle reti elettriche. La necessità di una maggiore flessibilità riguarda sia la rete di trasmissione sia quella di distribuzione; per essere raggiunta è necessario realizzare interventi di ammodernamento delle reti (le cosiddette smart grids) e sviluppare importanti capacità di accumulo. L'esigenza di sviluppo di sistemi di accumulo è per altro esplicitata nel PNIEC, non solo per migliorare la sicurezza delle reti di trasmissione e distribuzione, ma anche in vista di una migliore integrazione delle fonti rinnovabili nel sistema elettrico. In questo modo si punta a ridurre il più possibile il bisogno di una sovracapacità di generazione (overgeneration) garantendo così l'affidabilità della rete.

Per il 2030, le stime preliminari citate nel PNIEC indicano un fabbisogno di sistemi di accumulo pari a circa 6 GW centralizzato (a servizio della rete di trasmissione nazionale), oltre agli accumuli distribuiti (presso gli utenti, piccoli impianti di produzione). Tali accumuli possono essere di vario tipo, tra i più importanti spiccano gli impianti di pompaggio idroelettrico e gli accumulatori elettrochimici (le batterie). Per quanto riguarda in particolare l'accumulo elettrochimico, sia a livello distribuito che centralizzato, esistono stime dell'ordine dei 24 GWh di capacità di accumulo necessari a livello della rete e altri 15 GWh di Sistemi di Accumulo (SdA) accoppiati agli impianti distribuiti.

Poiché scopo finale della diffusione delle fonti rinnovabili è quello di migliorare le prestazioni ambientali del sistema elettro-energetico, risulta fondamentale capire quali possano essere gli impatti ambientali ed economici sia delle tecnologie dominanti, basate sugli ioni di litio sia delle possibili tecnologie emergenti, per esempio basate sugli ioni di sodio.

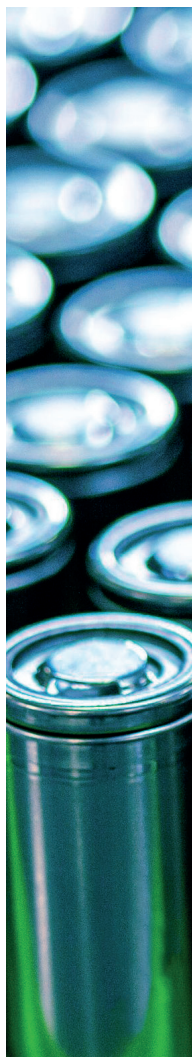
L'approccio del ciclo di vita (Life Cycle Assessment)

In quest'ottica, un approccio di ciclo di vita è di fondamentale importanza per tenere conto di tutti gli effetti ambientali coinvolti, dall'estrazione dei materiali, dalla produzione ed uso delle batterie e dal loro smaltimento o riciclo finale. In altre parole, l'analisi di sostenibilità deve essere condotta attraverso uno studio di Life Cycle Assessment (LCA) una metodologia normata dalla ISO 14040 e che permette di quantificare in modo oggettivo i flussi di materia ed energia della filiera di un prodotto e di stimarne i relativi impatti ambientali. RSE è attiva da anni sul tema della LCA delle batterie. In un recente studio ha dimostrato che, per quanto riguarda gli impatti relativi a cambiamenti climatici (Effetto Serra), le batterie al litio quando sono utilizzate per aumentare la hosting capacity delle reti elettriche considerando l'intero ciclo di vita, consentono di ottenere un effetto ambientale positivo: le emissioni di gas ad effetto serra risparmiate, grazie alla possibilità di produrre energia da rinnovabili e non da fossili, superano le emissioni connesse alla costruzione e dismissione delle batterie.

Tuttavia, è noto che le batterie al litio richiedono per la loro produzione una quantità rilevante di materiali critici, ovvero di materiali di cui la commissione europea considera critico l'approvvigionamento per la transizione ecologica e digitale dell'economia Europea. Per questo la ricerca si sta orientando verso lo sviluppo di batterie basate su elementi alternativi al litio. Tra questi grande attenzione stanno ricevendo le batterie al sodio, proprio per l'abbondanza di questo elemento.

In questo quadro RSE, grazie ai fondi della Ricerca di Sistema, ha analizzato il ciclo di vita di batterie al sodio e, in particolare, di un tipo di batterie prototipali sviluppate nell'ambito delle attività di ricerca tecnologica di RSE. Trattandosi di una cella di tipo sperimentale è stata considerata una cella di tipo coin (a bottone). Un elemento di novità particolarmente sfidante che si è dovuto affrontare è stato l'individuazione di metodologie atte a confrontare gli impatti ambientali di un processo sperimentale (quello della produzione di celle basate sugli ioni sodio) e uno industriale (quello relativo

Ciclo di vita



alla produzione di celle basate sugli ioni litio). Il primo passo di questa attività è stato definire un'analisi di inventario della batteria agli ioni di sodio nello scenario di produzione italiano ovvero quella fase dello studio LCA in cui vengono quantificati tutti gli ingressi e le uscite di materia ed energia durante la vita del prodotto. A tal fine, si sono utilizzati dati di letteratura, dati del database Ecoinvent e dati provenienti dai laboratori RSE, in cui si sviluppano e testano i componenti sperimentali per gli accumulatori basati sugli ioni di sodio.

Partendo da queste informazioni si è realizzata un'analisi Life Cycle Impact Assessment (LCIA) in cui si sono prese in considerazione le principali categorie di impatto previste dal manuale ILCD-Life Cycle Impact Assessment in The European Context del JRC.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli relativi a batterie basate sugli ioni di litio, ricavati da un precedente studio di RSE.

I risultati

Nello studio LCA, pubblicato sulla rivista Sustainability nel 2022, sono state considerate due tipologie di batterie coin agli ioni sodio e una agli ioni litio. Le due tipologie di batterie agli ioni sodio rappresentano due stadi di sviluppo tecnologico della stessa tipologia di chimica (anodo MXeni-Ti₃C₂-Tx e catodo Na_{0,44}MnO₂). La prima tipologia è costruita con i dati di laboratorio RSE e la seconda dovrebbe costituire l'ipotetica composizione di una batteria agli ioni sodio basata sulle chimiche della

prima ma prodotta con criteri ed efficienze industriali, dedotte da informazioni sulla produzione di batterie al litio tratte dal precedente studio RSE.

Considerando gli impatti per unità di capacità energetica delle batterie, dallo studio LCA emerge che la cella basata sugli ioni litio ha ancora migliori prestazioni ambientali, anche rispetto all'ipotesi di una cella agli ioni sodio di livello industriale, o per lo meno rispetto a celle con anodo basato su MXeni.

La densità energetica delle celle agli ioni sodio sembra, al momento, essere il fattore limitante. Infatti, se le batterie sono confrontate in funzione della massa di batteria prodotta (e non della capacità energetica che ne costituisce la funzione) i valori di emissioni equivalenti di CO₂ delle batterie sodio sono molto simili a quelli della batteria al litio, mentre per la categoria Resource use, mineral and metals le batterie sodio presentano una riduzione degli impatti di circa il 20% rispetto alla batteria agli ioni di litio. In questo caso, le batterie sodio possono rappresentare delle potenziali alternative alla batteria al litio, poiché non necessitano di litio e cobalto per la loro produzione, materiali rari impiegati in questi sistemi di accumulo.

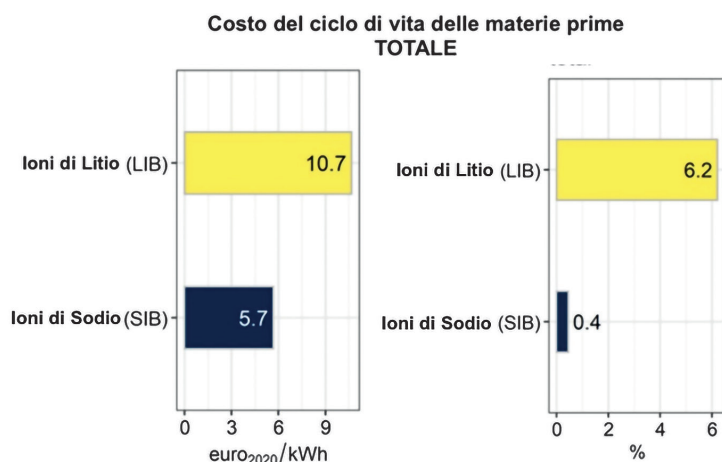
L'aumento della densità energetica delle celle delle batterie agli ioni di sodio potrebbe rappresentare, quindi, il primo punto per migliorare le prestazioni di queste tecnologie. L'attività sperimentale condotta da RSE per aumentare la capacità energetica e il potenziale di carica e scarica è, dunque, correttamente indirizzata verso tale obiettivo.

Tuttavia, come accennato, le emissioni di gas ad effetto serra e gli impatti ambientali in genere, non esauriscono il novero delle problematiche connesse allo sviluppo di sistemi di accumulo elettrochimico che risultano legati all'uso di metalli e minerali rari ed in particolare di materiali critici. Per questo la ricerca, sempre basandosi sul concetto di ciclo di vita, ha valutato anche l'indicatore Commodity Life-Cycle Cost (o CLCC) sviluppato da RSE e basato sui valori di mercato, finalizzato a quantificare il consumo di risorse naturali da parte di un prodotto o processo nel corso del suo ciclo di vita. L'indicatore è stato calcolato per confrontare l'uso di risorse naturali da parte della batteria agli ioni sodio, attualmente in sperimentazione e di una batteria agli ioni litio, la tecnologia di accumulo

Dallo studio LCA emerge che la cella a ioni litio ha migliori prestazioni ambientali rispetto all'ipotesi di una cella agli ioni sodio di livello industriale

FIGURA 1

Indicatore CLCC dei materiali critici: valori assoluti a sinistra e importanza percentuale dei materiali critici nell'indicatore CLCC a destra



attualmente più diffusa. Il confronto è stato effettuato nell'ipotesi che entrambe le batterie siano prodotte su scala industriale.

L'indicatore CLCC calcolato per la batteria agli ioni di sodio risulta sensibilmente superiore a quello della batteria agli ioni di litio: 1276 euro/kWh contro 172 euro/kWh, a conferma di un maggior utilizzo di risorse naturali. Escludendo il case (l'involucro della batteria), in entrambe le batterie la componente che contribuisce maggiormente all'indicatore CLCC è il catodo, mentre l'importanza dell'anodo è maggiore in quella agli ioni di sodio. Ancora una volta tale tecnologia è penalizzata dal fatto che l'anodo è un prodotto di sintesi, mentre per le batterie a ioni litio questo è estratto dal sottosuolo (grafite naturale). Miglioramenti sono attesi grazie a sviluppi progettuali che mirano a ridurre le operazioni di sintesi e anche i processi, successivi alla sintesi, di esfoliazione, funzionalizzazione e di trattamento termico (Fig.1).

Ciò che è più rilevante, tuttavia, è stato il calcolo dell'indicatore CLCC dei soli materiali critici (Critical-CLCC). La sua applicazione mette in luce come già a questi livelli di densità energetica le celle basate sul sodio abbiano un consumo di materiali critici, per kWh di capacità, pari alla

metà di quelle al litio. In termini relativi, i materiali critici contribuiscono per lo 0,4% al CLCC delle batterie al sodio, mentre nel caso delle batterie al litio (NMC in questo caso) questi contribuiscono al 6,2% dell'indicatore CLCC. Le celle basate sul litio, quindi, pur facendo un minor uso complessivo di risorse naturali, utilizzano una quantità maggiore di materiali la cui offerta è concentrata in pochi paesi, spesso contraddistinti da un rischio geopolitico elevato. Questo aspetto evidenzia come lo sviluppo di celle basate sugli ioni di sodio possa rispondere all'esigenza da parte dei paesi dell'Unione Europea di trovare alternative alla batteria agli ioni di litio nei prossimi anni, anche in virtù del ruolo fondamentale che i sistemi di accumulo avranno per il raggiungimento degli obiettivi comunitari di decarbonizzazione.

Tuttavia, trattandosi di una tecnologia ancora in fase di sviluppo, è fondamentale che ulteriori studi vengano eseguiti per realizzare sistemi di accumulo Na-Ion che garantiscano una densità energetica comparabile a quella dei sistemi basati sul litio.

Infine, vale la pena sottolineare che un altro aspetto da indagare, che non è stato possibile approfondire a questo stadio di sviluppo tecnologico, è quello della durata delle celle e delle batterie. I confronti esposti in questo studio si riferiscono a celle con pari capacità energetica, supponendo una loro vita utile simile per tecnologie basate sul sodio e sul litio. Se le celle basate sul sodio dovessero garantire un numero di cicli decisamente superiore a quelle basate sul litio, si potrebbero avere ulteriori vantaggi ambientali (per unità di energia rilasciata) anche a fronte di densità energetiche più basse. ♦

*Ricerca sul Sistema Energetico—RSE

Le figure sono tratte da: Sustainability 2022, 14, 5976, "Sodium-Ion Batteries with $Ti_1Al_1TiC_{1.85}$ MXene as Negative Electrode: Life Cycle Assessment and Life Critical Resource Use Analysis" a cura degli autori di questo articolo.