

Gli strumenti di memoria dell'energia: Le Batterie, e la loro evoluzione

(Antonello Pezzini)

Bruxelles 23 agosto 2025

L'energia si avvia, sempre più, verso una produzione basata sull'intermittenza, ma deve poter fluire sulla rete in maniera costante, per soddisfare le continue esigenze della domanda; quindi deve essere regolata da interventi puntuali e intelligenti. Da questa esigenza emerge l'importanza del ruolo degli **strumenti di accumulo, che trasformano la memoria dell'energia in capacità.**

Il PNIEC- Piano Nazionale Integrato Energia e Clima¹, che deve essere aggiornato ogni due anni, prevede, per l'Italia, una potenza installata di 131 GW di energie rinnovabili, al 2030. Per poter raggiungere gli obiettivi programmati, il Gestore della rete: Terna, ha bisogno di poter contare su una forte capacità di accumulo, da utilizzare, costantemente, per sopperire alle mutevoli capacità della rete.

Quando parliamo di energia, ricordiamo sempre la differenza tra Watt, simbolo W, che esprime la **potenza**; e Wattora, simbolo Wh, che esprime la **capacità**

Il MACSE- Meccanismo di Approvvigionamento di Capacità di Stoccaggio Elettrico

Il MACSE consentirà a Terna di disporre, dal 2028, di una capacità di circa 10 GWh. Successivamente si dovrà raggiungere una capacità di oltre 70 GWh, entro il 2030, con un investimento di 17,7 miliardi di euro.

Il MACSE vedrà il suo primo debutto con **un'Asta prevista nel mese di settembre 2025²**. Questo meccanismo consentirà al sistema di acquisire nuova capacità di accumulo, attraverso contratti di approvvigionamento di lungo termine, aggiudicati attraverso **Aste competitive, organizzate da Terna**, a cui possono partecipare gli operatori che sono proprietari di nuovi sistemi di accumulo.

I soggetti selezionati dall'Asta hanno:

- l'obbligo di realizzare l'impianto;
- l'obbligo di rendere disponibile la capacità di stoccaggio a operatori di mercato terzi, per l'utilizzo della capacità nel mercato dell'energia, attraverso una piattaforma gestita dal GME- Gestore dei Mercati Energetici;
- l'obbligo di offrire tale capacità sul MSD- Mercato dei Servizi di Dispacciamento;
- il diritto di ricevere da Terna un premio fisso annuo, per un certo numero di anni.

I vincitori avranno l'obbligo, oltre che di realizzare nuovi sistemi di stoccaggio, anche di rendere disponibile la loro capacità a operatori di mercato terzi e sul Mercato dei Servizi di Dispacciamento (MSD). In cambio riceveranno da Terna un premio fisso annuo, a copertura dei costi di investimento e di funzionamento.

¹ Previsto dal Regolamento UE 2018/1999 : Governance dell'energia

² **Le richieste di ammissione**, redatte secondo lo schema di cui all'Allegato 1 alla Disciplina, devono essere inviate **esclusivamente** attraverso l'apposito portale con le modalità indicate nel "Manuale Utente - Richiesta di Ammissione Asta MACSE v.1.0" disponibile nella sezione del sito "[Mercato a termine degli stoccaggi \(MACSE\) - Manuali e modulistica](#)".

Il **premio massimo**, offribile dai partecipanti per la prima Asta, è stato fissato dall'ARERA a **37.000 euro/MWh l'anno**. Per ciascuna tecnologia di rinnovabili verrà gestita un'Asta dedicata, in base alle specifiche caratteristiche tecniche.

La prima gara sarà si svolgerà a settembre di quest'anno, avendo come anno di consegna il 2028. Nel dettaglio l'asta MACSE per il 2028, per l'approvvigionamento a termine di nuova capacità di accumulo con batterie, si svolgerà il **30 settembre 2025**. Nella proposta di Terna³, l'operatore di rete ha stimato un fabbisogno di **BESS- Battery Energy Storage System, per la gara, di 10 GWh**.

In vista dell'appuntamento, Terna ha pubblicato una una timeline con tutte le scadenze importanti:

- Invio richiesta di ammissione **dal 13 maggio al 3 giugno 2025 ore 16:00**;
- Inserimento sul portale MACSE dei dati e della documentazione **entro il 17 luglio 2025, ore 16:00**;
- Versamento del deposito cauzionale, a titolo di garanzia pre-asta, **entro il 21 agosto 2025**;
- Inserimento sul portale MACSE delle dichiarazioni rese in conformità allo schema di cui all'Allegato 2 del Disciplinare, **entro il 26 agosto 2025**.

Sulla disciplina del MACSE e sui **17,7 miliardi di euro di sostegni**, l'Italia aveva ottenuto il sì della Commissione Europea a dicembre 2023. *“Lo stoccaggio centralizzato dell'elettricità offre flessibilità e facilita la diffusione delle fonti rinnovabili”*, aveva spiegato la Commissione europea. *“Questo schema innovativo contribuirà ad accelerare la transizione verde, riducendo al minimo eventuali distorsioni della concorrenza”*.

A regime il meccanismo dovrebbe sostenere la realizzazione di nuovi impianti di accumulo elettrico a livello di rete, con l'obiettivo di **mettere in esercizio una capacità di 71 GWh e una potenza di oltre 9 GW**.

L'impiego di capacità, nella prima gara, si concentrerebbe esclusivamente in 5 zone di mercato: Centro-Sud, Sud, Calabria, Sicilia e Sardegna.

Per le Aste con periodi di consegna successivi al 2028, Terna metterà in consultazione la previsione del fabbisogno di accumuli.

Batterie elettrochimiche

Batterie al litio

La densità energetica delle **batterie al litio**, espressa in Wh/kg, varia a seconda della chimica specifica e della tecnologia utilizzata, ma generalmente si attesta tra 150 e 250 Wh/kg, superando nettamente le batterie tradizionali come quelle al piombo. Alcune tecnologie avanzate, come quelle al **litio-silicio**, possono raggiungere densità superiori, anche oltre 450 Wh/kg,

Il costo del litio, espresso in dollari per tonnellata, ha subito forti oscillazioni negli ultimi anni. Nel 2022, il prezzo **dell'idrossido di litio** ha raggiunto gli 85.000 dollari per tonnellata, ma nel 2024 è crollato a circa 13.500 dollari.

³ Approvata con il Decreto MASE del 27 febbraio 2025, n. 53

A gennaio 2023, il prezzo del **carbonato di litio** in Cina ha superato i 75.000 euro per tonnellata, mentre l'idrossido si attestava intorno ai 50.000 euro,

La differenza principale tra idrossido di litio e carbonato di litio risiede nel loro utilizzo principale e nelle loro proprietà chimiche.

L'idrossido di litio è ampiamente utilizzato nella produzione di batterie agli ioni di litio, in particolare quelle con maggiore densità di energia.

il carbonato di litio è più comune in altre applicazioni, inclusi farmaci e alcuni tipi di batterie.

Batterie al sodio

Il sodio è il sesto tra gli elementi più diffusi sulla terra. La densità energetica, o densità calorica corrisponde alle calorie apportate da 100 grammi di prodotto.

Le batterie al sodio funzionano in modo simile alle batterie agli ioni di litio, scambiando ioni di sodio tra anodo e catodo attraverso un **elettrolita**⁴, con la differenza che il sodio è abbondante e poco costoso, nei confronti del litio, che è raro e più costoso.

Durante la ricarica, gli ioni di sodio si muovono dall'elettrodo positivo (catodo) all'elettrodo negativo (anodo). **Durante la scarica**, il processo si inverte: gli ioni tornano al catodo, generando un flusso di elettroni nel circuito esterno che fornisce energia.

La densità energetica delle batterie agli **ioni di sodio** è generalmente inferiore a quella delle batterie agli ioni di litio. Le batterie al sodio hanno una densità energetica compresa tra 120 e 160 Wh/kg. Il sodio ha densità energetica inferiore al litio, ma può funzionare fino a -40°C , il litio fino a -20°C

Gli ioni sono atomi o gruppi di atomi che hanno acquisito o perso uno o più elettroni, risultando in una carica elettrica netta, positiva (cationi) o negativa (anioni). Questa carica si forma durante le reazioni chimiche; e gli ioni sono fondamentali nella conduzione elettrica. Gli ioni in soluzione sono essenziali per condurre l'elettricità.

Il sodio è il sesto tra gli elementi più diffusi sulla terra, e le batterie sodio-ioni sono meno facili del litio a riscaldarsi.

Alcune aziende che fabbricano batterie al sodio usano componenti non rari, ad es. il ferro in sostituzione di cobalto e di nichel. I collettori dell'elettricità sono in alluminio e non in rame, con un evidente risparmio.

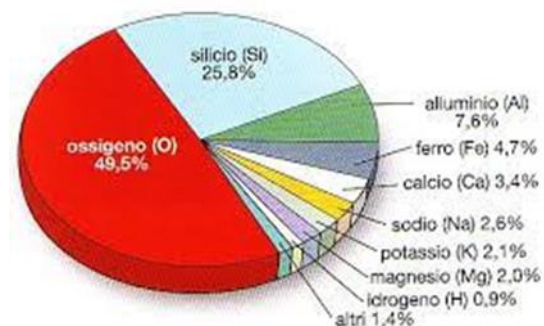
Le batterie al sodio hanno una vita utile di oltre 15 anni, resistono bene a cicli di carica e scarica intensi e garantiscono un rendimento costante, anche in condizioni di temperatura variabili.

Il costo delle batterie al sodio oggi è equivalente al costo delle batterie al litio, ma si prevede che possa scendere del 70 %.

⁴ Sono esempi di elettroliti il cloruro di sodio NaCl, l'acido cloridrico HCl e l'idrossido di sodio NaOH.

Distribuzione percentuale degli elementi sulla crosta terrestre:

Ossigeno 49,5 %; Silicio 25,8 %; Alluminio 7,6 %; Ferro 4,7 %; Calcio 3,4 %; Sodio 2,6 %; potassio 2,1 %; magnesio 2,0 %.



Funzionamento

Quando il sale fuso raggiunge lo stato liquido, gli ioni positivi e negativi presenti nella miscela iniziano a muoversi tra gli elettrodi, creando una corrente elettrica. Durante la carica, gli ioni positivi, solitamente costituiti da sodio o potassio, si dirigono verso l'anodo in cui vengono immagazzinati.

Il principio di funzionamento delle batterie sodio-ione e delle batterie litio-ione è praticamente identico e molti dei materiali elettrodici, che si utilizzano nella tecnologia sodio-ione sono stati presi in prestito dalla tecnologia litio-ione.

In entrambe le tecnologie, infatti, gli ioni sono gli artefici del trasporto e dell'immagazzinamento dell'energia. Gli ioni di sodio migrano dall'elettrodo positivo: il catodo, a quello negativo: l'anodo, attraverso l'elettrolita ed il separatore, trasportati dalla corrente elettrica durante la fase di carica.

Il processo di scarica vede gli ioni ritornare verso il catodo e un flusso di elettroni – cioè corrente elettrica – scorrere nel circuito esterno in senso inverso rispetto alla carica.

Il catodo è il polo positivo della batteria costituito da materiale catodico, ad es.: LFP, NMC⁵, e **collettore di corrente**⁶, mentre l'anodo, è il polo negativo della batteria composto da materiale anodico, es.: carbonio o grafite e collettore di corrente.

Una cella al sodio è formata, fondamentalmente, da un catodo composto da un materiale capace di contenere sodio, un anodo generalmente costituito da carbonio e un elettrolita liquido contenete atomi di sodio in forma ionica.

L'elettrolita è il liquido organico che riempie il volume interno della cella, facendo da anello di congiunzione tra catodo e anodo e permettendo agli ioni di muoversi.

⁵ **LFP: Litio Ferro Fosfato e il NMC: Nichel Manganese Cobalto**, che si differenziano per la composizione chimica, le prestazioni, i costi e la sicurezza

⁶ Un "**collettore di corrente**" è un dispositivo elettromeccanico che permette la trasmissione continua di energia e segnali elettrici da una parte statica (fissa) a una parte rotante di una macchina, o viceversa. È composto generalmente da anelli conduttivi, spazzole, che scorrono su di essi, consentendo il passaggio di corrente, senza l'interruzione del movimento rotatorio

Le differenze tra batterie al sodio e le batterie al litio

Da un punto di vista puramente chimico, ci sono alcune sostanziali differenze tra i due elementi: il **catione di sodio**⁷ ha un raggio atomico maggiore, rispetto a quello del litio. Questo significa che ha un **peso atomico** ed una massa maggiore di oltre tre volte, rispetto a quella del litio.

Questa caratteristica comporta notevoli problemi tecnici da risolvere: la massa dell'atomo di sodio, maggiore rispetto a quella del litio, muovendosi tra anodo e catodo, crea uno stress meccanico maggiore, che produce un alto degrado della cella. Di conseguenza, le batterie al sodio hanno un ciclo di vita ridotto e sono meno performanti, rispetto alle batterie al litio, poiché la grafite, che è il materiale dell'anodo più comunemente utilizzato con il litio, interagendo con lo ione di sodio, subisce reazioni irreversibili, distruggendosi dopo pochi cicli di vita.

Uno degli aspetti che risultano più complessi, per la buona riuscita di una batteria al sodio è, dunque, l'identificazione di un elettrodo negativo idoneo, che sostituisca la grafite e che permetta, in relazione con il sodio, di aumentare i cicli di vita della batteria.

Inoltre, lo ione di sodio ha una tendenza minore ad acquisire elettroni. Di conseguenza, una batteria al sodio può fornire un voltaggio massimo inferiore, rispetto ad una batteria al litio: il voltaggio nominale della cella al sodio è di 2,3 – 2,5Volt, rispetto ai 3,2 – 3,7Volt del litio. Se consideriamo che i processi elettrochimici che avvengono all'interno delle batterie agli ioni di sodio e agli ioni di litio sono i medesimi, sia il sodio che il litio trasportano la stessa carica ma, a parità di peso, una batteria di sodio potrà trasportare meno carica di una al litio, ovvero avrà una densità energetica inferiore.

La combinazione di queste due caratteristiche fa sì che la **quantità di energia** che può contenere una batteria al sodio sia circa il **40% in meno rispetto di una batteria al litio**.

Vantaggi di una batteria al sodio

La rinnovata attenzione nei confronti delle batterie al sodio è dovuta soprattutto alla **necessità di ricercare alternative concrete al litio**, in tutte quelle applicazioni in cui è possibile differenziare una parte di produzione.

Il litio, infatti, pur essendo presente in natura in molte rocce e in alcune salamoie, non è inesauribile sulla crosta terrestre e, in aggiunta, l'estrazione comporta l'impiego di risorse ed energia. La grande richiesta di questo materiale, combinato con la sua disponibilità limitata in natura, ha portato ad un aumento dei costi della materia prima, tanto da fargli guadagnare il titolo di "oro bianco".

Nel futuro, la domanda delle batterie al litio è destinata ad aumentare, ponendo concreti interrogativi sulla reperibilità delle materie prime e sulla sostenibilità di un'economia basata esclusivamente sui processi chimici connessi con questo materiale.

Alcuni importanti aspetti delle batterie al sodio:

- Facile reperibilità
- Costo contenuto
- Sicurezza

⁷ **Catlione** dotato di carica positiva, così chiamato perché attratto dal catodo

- Resistenza alle basse temperature
- Basso impatto ambientale

Tra gli aspetti più interessanti di questa tecnologia, si evidenzia l'ampia disponibilità in natura delle materie prime di cui è composta: questa caratteristica rende le batterie al sodio competitive dal punto di vista economico, un aspetto importante per i produttori. La batteria al sodio garantisce, poi, elevati standard di sicurezza, in quanto le celle basate su questo elemento chimico non sono infiammabili e non sono soggette a esplosioni o cortocircuiti.

Queste batterie, inoltre, riescono a sopportare temperature rigide con la possibilità di operare in un intervallo di temperature che va **da -40 a 60 °C**, mentre quello ottimale, per le celle al litio, si colloca tra i 0° C e 50° C.

La facilità di reperire la materia prima in natura, con ridotti costi di estrazione e limitato utilizzo di energia rende, infine, il sodio un materiale a basso impatto ambientale.

I limiti da superare

I futuri sviluppi della chimica, applicati ai materiali dovranno intervenire per superare i limiti:

- Bassa densità energetica
- Breve ciclo vita

Uno dei principali svantaggi delle batterie al sodio è costituito dalla **densità energetica**, ovvero la quantità di energia accumulata, rispetto al volume della batteria: le batterie al sodio continuano ad avere una densità piuttosto bassa, **tra i 140 Wh/Kg e i 160 Wh/kg**, contro i **180 Wh/Kg e i 250 Wh/Kg**, delle batterie litio-ione.

L'altro aspetto molto impattante, nella scelta delle batterie al sodio è, attualmente, la **breve durata dei cicli di vita**. Questo rapido degrado è causato dalla massa degli ioni di sodio, che è circa 3 volte maggiore rispetto a quella degli ioni di litio. Come si è detto, precedentemente, nello spostamento tra anodo e catodo, gli ioni di sodio producono un maggiore stress meccanico, portando alla rapida distruzione (dopo pochi cicli) della grafite: il materiale anodico.

Principali applicazioni nella situazione attuale

Le batterie al sodio possono, oggi, risultare un'alternativa alle batterie al litio, in applicazioni in cui il fattore economico ha la prevalenza, rispetto alle prestazioni.

I costi ridotti e la bassa densità energetica rendono le batterie agli ioni di sodio particolarmente indicate per **energia stazionaria**⁸ e **sistemi di memoria dell'energia**, collegati a impianti fotovoltaici ed eolici con produzione intermittente. L'alto grado di sicurezza dei dispositivi Sodio-ioni, le rende adatte per questo tipo di applicazioni, che necessitano frequenti cicli di carica e scarica, orari e giornalieri.

Attualmente la tecnologia agli ioni di sodio non è particolarmente diffusa in questo ambito, a causa della ridotta ciclo di vita, che non riesce a soddisfare il bisogno di un numero elevato di cicli di carica e scarica che queste applicazioni richiedono. Se, con lo sviluppo della ricerca, le celle al sodio

⁸ Come le batterie stazionarie, che sono fisse in un luogo e forniscono energia per lunghi periodi di tempo,

diventassero competitive, anche sul fronte della durata dei cicli di vita, potrebbero senz'altro essere una valida tecnologia da utilizzare per le applicazioni stazionarie.

Conclusioni

Secondo le previsioni⁹, il mercato delle batterie agli ioni di sodio è destinato a **crescere** ad un ritmo del 27% all'anno, nei prossimi 10 anni. Si presume che la produzione annuale passerà dai 10 GWh nel 2025 ai circa 70 GWh del 2033, registrando un aumento praticamente del 600%.

La diffusione della tecnologia agli ioni di sodio sarà senz'altro favorita dal fatto che molte delle tecnologie di produzione delle celle al sodio sono in comune con quelle delle celle agli ioni di litio; vi sarà quindi la possibilità convertire gli impianti, limitando ulteriormente i costi di produzione.

Nonostante le batterie agli ioni di sodio presentino alcuni limiti da risolvere, è sempre maggiore l'interesse che questi accumulatori suscitano nel mondo dell'elettrificazione, tanto che anche alcuni importanti attori internazionali, nell'ambito della produzione di celle e batterie, hanno rivolto la loro attenzione a questa tecnologia.

La chimica agli ioni di sodio è stata valorizzata da **CATL-Contemporary Ampere Technology**, leader mondiale nello sviluppo e produzione di batterie al litio, per veicoli elettrici e sistemi di accumulo di energia, che l'ha presentata come una delle tecnologie emergenti, su cui avrebbe investito, per differenziare la propria produzione.

Il Colosso cinese ha infatti intuito che, sostituire una fetta del mercato, occupato dalle batterie agli ioni di litio, con quelle con gli ioni di sodio, avrebbe influito sui prezzi delle batterie al litio. L'idea innovativa di CATL, sviluppata per oltrepassare i limiti che le batterie al sodio presentano, sarebbe quella di sviluppare un **pacco batterie ibrido**, che consiste nel mescolare e abbinare batterie agli ioni di sodio e batterie agli ioni di litio, in una certa proporzione, integrandole in un unico sistema di batterie e controllando i diversi sistemi di batterie attraverso un **BMS intelligente¹⁰**.

Il veicolo potrebbe sfruttare le prestazioni a bassa temperatura della batteria agli ioni di sodio o l'alta densità energetica, a seconda delle esigenze. Il progetto è ancora in fase sperimentale, ma l'azienda cinese ha già catturato l'attenzione dell'intera industria di settore.

Nonostante alcune criticità ancora da risolvere, la tecnologia agli ioni di sodio si sta, quindi, ritagliando uno spazio sempre più rilevante sul mercato. L'ambito della ricerca sta investendo grandi risorse per poter oltrepassare i limiti che, ad oggi, ne impediscono la diffusione su larga scala.

Le tecnologie LDES- Long Duration Energy Storage, sono considerate fondamentali, per garantire la stabilità delle reti elettriche, nelle quali diventa sempre più importante il ruolo delle rinnovabili.

Le batterie al CO₂, come quelle sviluppate da Energy Dome, non sono batterie nel senso tradizionale, ma sistemi di accumulo energetico, che utilizzano anidride carbonica (CO₂) per immagazzinare **energia termica**. La densità energetica di questi sistemi è inferiore rispetto alle batterie elettrochimiche, come quelle al litio. Tuttavia, offrono vantaggi in termini di costi e sostenibilità, utilizzando un fluido abbondante e facilmente reperibile, come la CO₂.

⁹ **CATL-Contemporary Ampere Technology**, leader mondiale nello sviluppo e produzione di batterie

¹⁰ **Il BMS: Battery Management System** è un sistema elettronico fondamentale che agisce come il "cervello" di una batteria, specialmente quelle al litio, monitorando e gestendo le sue funzioni chiave.

Le batterie al CO₂ hanno una densità energetica di 200Wh/kg e richiedono un volume maggiore per immagazzinare la stessa quantità di energia, rispetto alle batterie al litio. Ma il loro basso costo e la facilità di reperimento dei materiali le rende utili nei processi di stoccaggio dell'energia, dovuti all'intermittenza.

Alcuni analisti valutano le batterie agli ioni di sodio una tecnologia promettente e già pronta, per competere con le formule elettrochimiche dominanti, che ruotano attorno al litio: litio ferro fosfato; litio nichel manganese cobalto. Ad oggi, lo stoccaggio stazionario di energia per eolico e solare è considerato l'ambito d'utilizzo più adatto, ma, come sta accadendo in Cina, le batterie al sodio mostrano grandi potenzialità anche nella mobilità.

Oggi le batterie agli ioni di sodio iniziano a rappresentare una soluzione alternativa a tutti gli accumulatori elettrochimici che dipendono da materie prime critiche. Con l'utilizzo **dell'hard carbon**¹¹ come anodo, anche gli accumulatori possono aumentare la loro circolarità.

¹¹ **hard carbon**, elemento carbonioso, che proviene dalla biomassa e che sostituirebbe, come anodo, la grafite,