



BACINI E BATTERIE

KIT 3

Dossier

I materiali **WattAbout** sono stati prodotti nel progetto EnergiaFuturo, con il sostegno della Fondazione Gebert R f

Coordinamento:

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana
Dipartimento formazione e apprendimento / Alta scuola pedagogica

In collaborazione con:

Ticino Energia, AET, AIL, Dipartimento del Territorio della Repubblica e Cantone Ticino,  ducation21 e RSI EDU.

Bacini e Batterie
Kit 3
Versione 1.1
Giugno 2025

   NC Switzerland

www.wattabout.ch

**WISSENSCHAFT.
BEWEGEN**
GEBERT R F STIFTUNG



Indice

Introduzione	3
1. L'importanza dello stoccaggio energetico	4
2. Come si stocca l'energia?	5
3. Stoccaggio di energia meccanica	6
Bacini idroelettrici	6
4. Stoccaggio di energia elettrochimica	11
Batterie	11
Tipi di batterie	12
Batterie secondarie ricaricabili	13
Batterie al piombo	13
Batterie agli ioni di litio	13
Batterie sodio-solfuro	14
Riciclaggio delle batterie in Svizzera e all'estero	15
Altri sistemi di stoccaggio elettrochimico	16
5. Stoccare energia termica	17
6. Stoccare energia elettrica	19
I sistemi di accumulo dell'energia elettrica (Electrical Energy Storage o EES)	19
Sistemi di accumulo di energia elettrostatica	19
Sistemi di accumulo di energia magnetica	20
7. Stoccare energia chimica: Power-to-X	21
A proposito di idrogeno	22
Power-to-gas: conversione in idrogeno o metano	22
Tipi diversi di produzioni di idrogeno	24
Fonti	27

Introduzione

In questo dossier parliamo dei sistemi di accumulo di energia e stoccaggio e di come è possibile, ad oggi, stoccare energia di diversi tipi. In particolare, ci si riferirà all'energia elettrica. Infatti, a differenza di altre fonti energetiche, come la legna, la benzina o il gasolio, che possono essere facilmente conservate e utilizzate all'occorrenza, l'elettricità è una forma di energia “volatile”:

una volta generata dev'essere immediatamente utilizzata, oppure convertita in una forma più facilmente gestibile.

Perché questo tema è importante? Dopotutto, abbiamo già le batterie elettriche... Ma in realtà conservare l'energia non è per nulla semplice! Le fonti di energia rinnovabile (cioè quelle che sfruttano direttamente l'energia proveniente da sole, vento e acqua [\[Kit 1 - Che energia!\]](#)) hanno capacità di produzione molto variabile e non garantiscono una produzione costante. Ad esempio, l'energia solare è minore in inverno, proprio quando aumenta la richiesta di energia elettrica per alimentare i sistemi di riscaldamento, come le pompe di calore e illuminare le case a causa delle giornate più brevi. Analogamente, l'energia eolica sarà limitata in un periodo con scarso vento, e quella idroelettrica risentirà dei periodi con scarse precipitazioni.

Come compensare questi svantaggi per non essere vincolati alla loro variabilità? Per garantire un approvvigionamento di energia elettrica che sia in grado di soddisfare la domanda, è necessario creare opzioni di accumulo che permettano di conservare l'energia quando può essere prodotta e utilizzarla quando necessario. Questi accumulatori possono essere situati presso privati, fornitori commerciali o aziende di approvvigionamento elettrico.

1. L'importanza dello stoccaggio energetico

La sfida globale non è soltanto produrre più energia da fonti rinnovabili, ma anche poterla immagazzinare. Non abbiamo ancora imparato a conservare energia elettrica in grandi quantità e, di conseguenza, deve esserci sempre un equilibrio tra consumo e produzione.

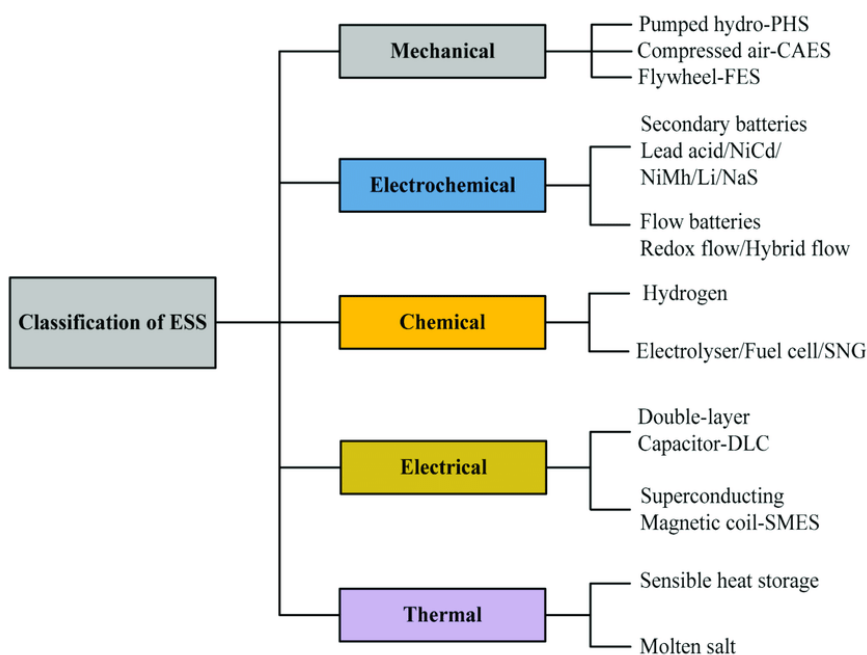
Per valorizzare appieno la generazione rinnovabile, che per sua natura è tipicamente non programmabile, è necessario prevedere anche un'adeguata capacità di immagazzinamento. Può infatti capitare, per esempio, che gli impianti eolici raggiungano il massimo della produzione di notte, quando la domanda è più scarsa, oppure che vi siano forti intermittenze nella generazione (vento a folate), complicando il lavoro di bilanciamento fra consumo e produzione.

La sfida di allineare “produzione” e “consumo” è dunque centrale per l'elettricità prodotta da fonti rinnovabili. Il tema dello stoccaggio dell'energia riveste un'importanza cruciale nell'ottica della sostenibilità energetica e lo sarà sempre più in futuro. Dall'efficacia dei sistemi di immagazzinamento dipende la capacità di aumentare la flessibilità del sistema elettrico, permettendo una maggiore stabilità nella distribuzione dell'energia.

2. Come si stocca l'energia?

Per far fronte a queste sfide, sono stati sviluppati diversi sistemi di accumulo dell'energia. Possiamo classificare le tecnologie di stoccaggio in diversi tipi: meccanico, elettrochimico (batterie), chimico, elettrico e termico.

Li analizzeremo uno ad uno, considerando anche le tecnologie per la produzione di idrogeno, che forniscono un'interessante alternativa per lo stoccaggio dell'energia chimica.



Classificazione dei sistemi di accumulo di energia (ESS) [1]

Al momento, la percentuale più alta al mondo è rappresentata dallo stoccaggio idroelettrico con pompaggio, con una capacità installata totale di 127 GW, che rappresenta il 99% della capacità totale di stoccaggio dell'energia, seguito dallo stoccaggio dell'energia tramite aria compressa, con una capacità installata totale di 440 MW e dallo stoccaggio in batterie di sodio e zolfo al terzo posto con una capacità totale di 316 MW [2].

3. Stoccaggio di energia meccanica

L'energia meccanica rappresenta l'energia che un oggetto possiede mentre è in movimento (energia cinetica) o l'energia che viene immagazzinata negli oggetti dalla loro posizione (energia potenziale). Lo sfruttamento di questo tipo di energia, utilizzando la potenza del calore, dell'acqua o dell'aria con turbine, compressori o altri sistemi, porta allo sviluppo di sistemi di accumulo di energia meccanica. In questo caso, i sistemi principali sono rappresentati dall'accumulo di energia idroelettrica pompata, dai sistemi di accumulo di energia a volano, dall'accumulo di energia ad aria compressa e dall'accumulo di energia gravitazionale [3].

Bacini idroelettrici

L'accumulo dell'energia idroelettrica con pompaggio, si basa su due serbatoi d'acqua interconnessi e situati ad altezze diverse l'uno dall'altro. Durante i periodi di surplus energetico, l'acqua viene pompata dal serbatoio inferiore a quello superiore; di conseguenza, l'energia meccanica viene convertita in energia potenziale.

Al contrario, nei momenti in cui l'energia elettrica diventa scarsa l'acqua viene rilasciata dal serbatoio superiore a quello inferiore, questa caduta aziona le turbine idrauliche e genera elettricità [3].

Con i suoi impianti idroelettrici nelle Alpi e progetti innovativi, la Svizzera contribuisce alla ricerca di soluzioni per uno stoccaggio efficace e duraturo dell'elettricità. La Svizzera già produce la maggior parte dell'elettricità che consuma con energie rinnovabili soprattutto tramite le centrali idroelettriche. [Kit 4 - Produzione di energia elettrica in Svizzera per categoria di centrali anno 2023, pag. 13-14.]

Gli impianti di pompaggio e turbinaggio rappresentano la soluzione più efficace nonché una delle più economiche. Questi consentono infatti di pompare l'acqua a monte quando vi è una sovrapproduzione di energia, e di farla scorrere di nuovo a valle per la produzione di corrente, quando c'è penuria.

In Svizzera ci sono un centinaio di bacini di accumulazione per la produzione idroelettrica e una quindicina è dotata di un sistema di pompaggio.

Rispetto ad altri Paesi alpini quali Austria, Germania e Italia, le centrali svizzere dispongono di invasi generalmente più grandi e sono quindi in grado di operare su periodi più lunghi.

Una nuova centrale di pompaggio e turbinaggio, tra le più potenti d'Europa, è entrata in funzione in Vallese nel luglio 2022: la centrale di Nant de Drance, che ha una capacità di 900 MW ed è stata progettata sfruttando i due bacini esistenti di Vieux Emosson, (lago artificiale superiore) e d'Emosson (lago artificiale inferiore) sulle Alpi svizzere. Questa “batteria elettrica d'acqua” può contribuire a compensare le fluttuazioni dell'energia solare ed eolica in Europa [4].



La centrale di Nant de Drance sfrutta due laghi artificiali: quello superiore di Vieux Emosson, in primo piano nell'immagine, e il lago inferiore di Emosson. Nant de Drance / Sébastien Moret [5]

INNOVAZIONE

In Ticino, la nuova centrale del Ritom è la futura centrale idroelettrica che sorgerà a Quinto, nel distretto di Leventina, a fianco della storica centrale delle FFS. Si prevede che dal 2026 inizierà a produrre energia. Il progetto è frutto della stretta collaborazione tra le FFS, il Cantone Ticino e l'Azienda Elettrica Ticinese (AET). L'impianto sarà alimentato dalle acque del lago Ritom, un bacino artificiale con una capacità di accumulazione di circa 48 mio m³, che raccoglie le acque della Val Piora, quelle della Val Cadlimo (che confluirebbero naturalmente verso i Grigioni) e quelle del Canton Uri. L'acqua raggiungerà la centrale, che si trova 840 metri più a valle, attraverso una condotta inserita in una galleria scavata nella montagna.

Il nuovo impianto sostituirà quello costruito dalle FFS nel 1920, quando la linea ferroviaria del San Gottardo fu elettrificata. La centrale sarà dotata di due turbine da 60 MW di potenza: la prima accoppiata a un generatore da 16.7 Hz per l'alimentazione della rete ferroviaria, la seconda a un generatore da 50 Hz destinato all'approvvigionamento della rete cantonale. L'impianto sarà completato da un convertitore di frequenza 50-16 Hz, che permetterà lo scambio di energia tra la rete di FFS e quella di AET, e da una pompa da 60 MW, che consentirà di spostare acqua dal bacino di AET ad Airolo al lago Ritom [6].



Nuova centrale del Ritom [6]

INNOVAZIONE

La Torre energetica di Castione



La torre dimostrativa installata a Castione collegata alla rete pubblica svizzera. Foto di Marcelo Villada Ortiz [7]

La Torre energetica di Castione, sviluppata dalla società svizzero-americana Energy Vault, è un prototipo di stoccaggio energetico meccanico basato su un sistema robotico di gru completamente automatizzato. Questo sistema utilizza sensoristica avanzata e potenza di calcolo per ottimizzare il movimento e l'efficienza nell'immagazzinamento e rilascio di energia, migliorando le prestazioni rispetto alle centrali idroelettriche tradizionali. Le gru, alimentate elettricamente, impilano materiali di scarto per formare una torre e, quando necessario, li riportano a terra, generando elettricità attraverso la conversione dell'energia cinetica in elettrica.

Questa infrastruttura è standardizzata, modulare e altamente flessibile, progettata per essere installata in ambienti diversi senza dipendere dalle condizioni locali [7].

Un nuovo prototipo avrà un'altezza ridotta di 22 metri e una forma simile a un palazzo, con un sistema gravitazionale di accumulo più efficiente e meno impattante sul territorio. Simili impianti sono in costruzione in Cina e Texas, adottando un sistema di ascensori e binari per movimentare i blocchi, migliorando l'integrazione nel paesaggio [8].

4. Stoccaggio di energia elettrochimica

I sistemi di accumulo di energia elettrochimica sono il modo più tradizionale di immagazzinare energia per la generazione di energia. L'energia chimica immagazzinata in questo tipo di sistemi viene riconvertita in energia elettrica, quando è necessario. Esistono tre categorie di sistemi che possono essere classificati come batterie, condensatori elettrochimici e celle a combustibile [3].

Batterie

Le batterie sono dispositivi in grado di immagazzinare energia elettrica sotto forma di energia chimica. Accumulano energia e funzionano in base a reazioni chimiche, generando uno spostamento di elettroni e cioè quindi una corrente elettrica, che possiamo utilizzare. Sono composte in generale da due elettrodi, il catodo (positivo) e l'anodo (negativo), immersi in un elettrolita, che permette il passaggio degli ioni tra i due elettrodi ed anche da un separatore. Durante la scarica, gli elettroni fluiscono dall'anodo al catodo, producendo corrente elettrica utilizzabile e dunque, l'energia chimica viene convertita in energia elettrica.

CURIOSITÀ

La “cella galvanica” e la pila di Volta.

Nel 1780 Luigi Galvani scoprì un fenomeno sorprendente, che chiamò “elettricità animale”. Riuscì infatti a provocare la contrazione della zampa di una rana mettendo a contatto tra loro due diversi metalli, (come rame e zinco), immersi in una soluzione salina e collegando ciascuno di essi contemporaneamente ad una diversa regione del nervo scoperto della zampa della rana. Il nome di "cella galvanica" venne dato quindi ai sistemi elettrochimici analoghi a quello scoperto da Galvani, ovvero a tutte le celle elettrochimiche in grado di fornire energia elettrica, tra cui la pila di Volta (inventata nel 1799 da Alessandro Volta) e la pila di Daniell (inventata nel 1836 da John Frederic Daniell).

Tipi di batterie

Attualmente si trovano in commercio vari tipi di batterie, quelle che chiamiamo primarie sono non ricaricabili: alcaline, zinco-carbone, litio e così via ed è sempre utile avere batterie nuove di riserva in casa. Si usano questi tipi di batterie per telecomandi, fotocamere, ecc. e sono tutte batterie monouso, sono caratterizzate dalla non reversibilità delle reazioni elettrochimiche. Sono pronte all'uso e durano a lungo, ma ci sono batterie che durano di più. Queste sono le batterie al litio.

SOSTENIBILITÀ E IMPATTO

Lo smaltimento e il riciclaggio delle batterie

Giunte al termine della loro vita utile, i materiali impiegati nella costruzione delle batterie sono tutti inquinanti, in una misura che dipende dalla tecnologia chimica utilizzata. Dunque, si dovrebbero sempre inserire nella raccolta differenziata e favorirne il riciclo. In Svizzera, lo smaltimento delle batterie è regolato da precise Normative e dunque da un sistema che coinvolge produttori, importatori, punti vendita e consumatori, con l'obiettivo di garantire un riciclaggio efficiente e rispettoso dell'ambiente. Il processo di riciclaggio spesso prevede una combinazione di trattamenti meccanici, termici e chimici. In Svizzera non è ancora stato definito un processo di riciclaggio standard, tuttavia, la batteria viene spesso trattata meccanicamente e la massa nera risultante viene trattata idro-metallurgicamente [9].

TI riciclo: la seconda vita delle batterie

Trend Batterie, la chiave del green

Batterie secondarie ricaricabili

Una batteria ricaricabile (detta anche cella secondaria o accumulatore) è un dispositivo elettrochimico che, immagazzina energia chimica per poi riconvertirla in elettricità, in modo reversibile e a differenza di una batteria primaria (pila), può essere caricata e scaricata molte volte. Il termine “accumulatore” viene utilizzato in quanto il dispositivo accumula e immagazzina energia attraverso una reazione elettrochimica reversibile. Le batterie ricaricabili sono prodotte in molte forme e dimensioni, dalle piccole celle a bottone, ai grossi sistemi collegati per stabilizzare una rete di distribuzione elettrica e capaci di erogare diversi megawatt. Per gli elettrodi ed elettroliti vengono utilizzate diverse combinazioni di materiali, tra cui piombo-acido, zinco-aria, nichel-cadmio (NiCd), nichel-metallo idruro (NiMH), ioni di litio (Li-ion), litio ferro fosfato (LiFePO₄), polimero agli ioni di litio (Li-ion polymer), ecc.

Batterie al piombo

Batteria i cui elettrodi sono costituiti principalmente da piombo e dai suoi ossidi e l'elettrolita è una soluzione di acido solforico. Attualmente è ampiamente utilizzata in tutto il mondo, la durata del ciclo può raggiungere circa 1000 volte, l'efficienza può raggiungere l'80%-90% e il costo è elevato.

Batterie agli ioni di litio

Batteria per l'accumulo di energia che utilizza il litio metallico o la lega di litio come materiale dell'elettrodo negativo e utilizza una soluzione elettrolitica non acquosa. Utilizzata principalmente nei dispositivi mobili portatili, la sua efficienza può raggiungere più del 95%, il tempo di scarica può raggiungere diverse ore, il numero di cicli fino a 5'000 volte o più e la risposta è veloce.

Batterie sodio-solfuro

La batteria sodio-solfuro è una batteria secondaria con sodio metallico come elettrodo negativo, zolfo come elettrodo positivo e tubo di ceramica come diaframma elettrolitico. Attualmente in Giappone, Germania, Francia, Stati Uniti e altri Paesi sono state costruite più di 200 centrali elettriche con sistemi di accumulo di energia di questo tipo, utilizzati principalmente in applicazioni che richiedono elevata capacità e durata nel tempo.

Cos'è il litio?

La storia degli ioni di litio

CURIOSITÀ

Una scoperta da Nobel.

Nel 1991 dopo 20 anni di studi vengono commercializzate le batterie ricaricabili agli ioni di litio: consentono di accumulare più volte grandi quantitativi di energia e sono alla base dei principali strumenti di comunicazione e lavoro odierni. Le usiamo infatti tutti i giorni, nei nostri smartphone, nei computer portatili e in migliaia di altri dispositivi di vario tipo. Nel 2019 John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham e Akira Yoshino ricevettero per questa scoperta il Premio Nobel per la chimica.

Usi più comuni delle batterie:

Uso	Descrizione
Automobili	Accumulo di energia elettrica per il funzionamento dei veicoli
Uso domestico	Stoccaggio energetico in casa attraverso batterie che consentano di immagazzinare elettricità in eccesso per un consumo successivo
Uso industriale	Sistemi di accumulo per soddisfare il fabbisogno energetico in ambito industriale
Pannelli fotovoltaici	Supporto all'autonomia energetica combinando pannelli solari e batterie
Dispositivi elettronici	Alimentazione di smartphone, computer, tablet e altri dispositivi portatili
Sigarette elettroniche	Batterie integrate o ricaricabili per il funzionamento delle e-cig.

Riciclaggio delle batterie in Svizzera e all'estero

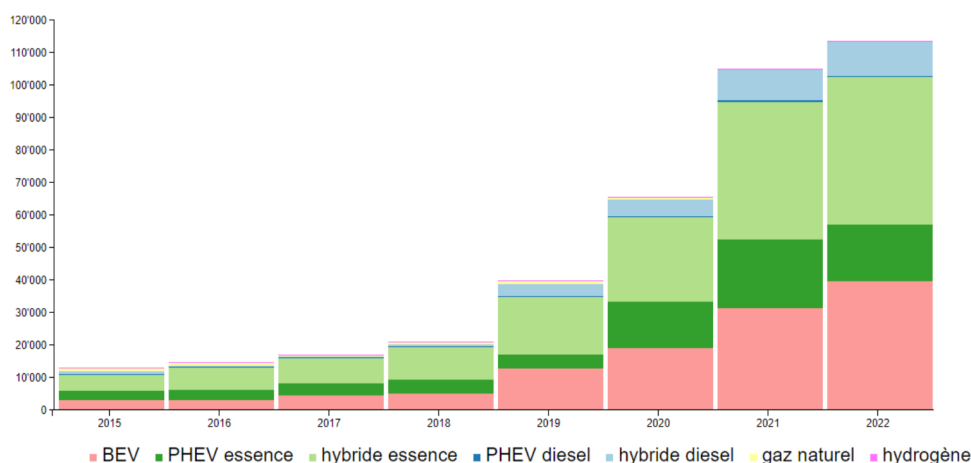
L'ordinanza svizzera sulla riduzione dei rischi inerenti ai prodotti chimici prevede l'obbligo di ritirare e restituire le batterie. In questo modo si garantisce che le batterie vengano smaltite correttamente in Svizzera.

CURIOSITÀ

La ricerca per le batterie delle auto elettriche

Ricercatori di tutto il mondo stanno lavorando per migliorare le batterie delle auto elettriche. Un ruolo importante in questo percorso non è svolto solo dall'aumento dell'efficienza, ma anche dal tipo di materiali utilizzati e dalla conseguente possibilità o meno di riciclarli, a fine vita. Dunque, le batterie sono in rapido sviluppo.

Le auto elettriche di oggi sono dotate di batterie agli ioni di litio. Comunque, nonostante un progresso nella loro produzione, i costi rimangono ancora elevati e rappresentano circa un quarto dell'investimento economico necessario per acquistare un'auto elettrica di fascia media con una batteria da 42 kWh. Possiamo fare di meglio? Sì, in tutto il mondo si lavora per rendere le batterie: più durevoli, leggere, economiche, potenti e rispettose dell'ambiente, ad esempio con batterie ad alta energia povere di cobalto e ricche di nichel. Presto verranno sviluppate anche nuove tipologie. In Svizzera sono l'EMPA, l'ETH Zurich e l'Istituto Paul Scherrer ad impegnarsi nello sviluppo delle batterie.



Batterie dei veicoli elettrici - Nuove immatricolazioni di auto elettriche in Svizzera. BEV: Battery Electric Vehicles, auto elettriche pure; PHEV: Plug-In Hybrid Electric Vehicle, auto ibride ricaricabili [10, p. 62].

Altri sistemi di stoccaggio elettrochimico

I **condensatori elettrochimici** (detti anche condensatori a doppio strato) sono sistemi costituiti da coppie di piastre conduttrici separate da un materiale dielettrico. La loro capacità di immagazzinare e rilasciare rapidamente grandi quantità di energia li rende particolarmente adatti in diverse applicazioni, come ad esempio, i flash delle fotocamere, nei veicoli elettrici e ibridi ecc.

Una **cella a combustibile** è un dispositivo elettrochimico in grado di convertire direttamente l'energia chimica in energia elettrica, tramite un processo a temperatura costante in cui l'idrogeno viene combinato con l'ossigeno per formare acqua. Trovano applicazione in diversi settori, grazie alla loro capacità di produrre energia elettrica in modo efficiente e a basse emissioni di CO₂ nel settore energetico, dei trasporti ed industriale.

5. Stoccare energia termica

I sistemi di accumulo di energia termica (TES — Thermal Energy Storage) rappresentano un processo di accumulo di energia che sfrutta il cambio di temperatura, della fase o dei legami chimici di un materiale. I materiali vengono immagazzinati a temperature elevate o basse, in un serbatoio isolato termicamente, a seconda dell'intervallo di temperature operative desiderato.

Un sistema di accumulo di energia termica è in grado di immagazzinare molto calore, e può quindi essere utilizzato per generare elettricità da fonti di energia rinnovabili. Sono anche chiamate batterie ad acqua calda, e sono ad oggi un sistema di accumulo di energia termica per uso residenziale ed industriale (usate per il riscaldamento o il raffreddamento degli ambienti, la produzione di acqua calda o la generazione di elettricità).

Sostituiscono i tradizionali serbatoi di accumulo ACS (acqua calda sanitaria) e sfruttano in modo ottimale l'energia rinnovabile. Infine, possono essere ricaricate con pompe di calore ad aria, pompe di calore geotermiche, rete elettrica o caldaie e sono a prova di futuro, perché compatibili con l'impianto fotovoltaico.

Esistono diversi tipi di sistemi, ma tutti funzionano con lo stesso principio di base: il calore viene trasferito in un mezzo di accumulo dove viene immagazzinato fino a quando non è necessario. Il mezzo di accumulo può essere un solido, un liquido o un gas e può essere immagazzinato in vari modi, ad esempio in un serbatoio, in un serbatoio sotterraneo o in un materiale a cambiamento di fase [3].

Batterie al sale: La batteria che sfida il fuoco

Le batterie ai sali fusi sono un tipo di batteria termica innovativa. Accumulano energia sotto forma di calore e offrono vantaggi significativi: non sono tossiche per l'uomo, sono riciclabili e resistenti al fuoco. Hanno una lunga durata (prevista sui vent'anni) e non hanno bisogno di manutenzione. Il loro funzionamento è garantito anche a basse temperature ambientali [11]. Invece, ad oggi gli svantaggi delle batterie al sale sono: non sono utilizzabili per ricariche veloci o utilizzi che non siano regolari, si scaricano da sole e necessitano di tempi lunghi per ritornare operativa e dunque, questo non le rende al momento idonee per molti utilizzi. Originariamente progettate per le auto elettriche, ma in realtà non adatte alla mobilità elettrica per via del peso, oggi alimentano antenne di telefoni cellulari e potrebbero presto, se prodotte a basso costo, fornire energia a intere aree residenziali. [12].

Dunque, la batteria al sale è una tecnologia sicura e duratura con un enorme potenziale. Questa tecnologia utilizza un elettrolita solido (ovvero un conduttore di ioni a base di ossido di sodio e alluminio), non infiammabile, che separa l'anodo dal catodo, aumentando la durata della batteria. Il catodo è composto da un granulato di sale comune e polvere di nichel. Ricerche nell'ambito del progetto UE "SOLSTICE" (collaborazione tra HORIENT Salt Battery Solutions - produttore ticinese di batterie al sale - ed EMPA - Laboratori Federali Svizzeri di Scienza e Tecnologia dei Materiali, insieme ad altri partner del progetto) puntano a sostituire il nichel con lo zinco, per ridurre i costi.

6. Stoccare energia elettrica

I sistemi di accumulo dell'energia elettrica (Electrical Energy Storage o EES)

Sono sistemi in grado di convertire l'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili in una forma accumulabile, conservarla sotto questa forma, e poi riconvertirla, per renderla utilizzabile, anche mentre gli impianti non sono in funzione, risolvendo così il problema dello stoccaggio dell'energia. Si tratta di un insieme di tecniche e processi di accumulo costituiti da dispositivi, apparecchiature e tecnologie di gestione e controllo, utili per l'assorbimento e il rilascio di energia elettrica e installabili su differenti tipologie di impianti alimentati da fonti rinnovabili. Sono storicamente disponibili ma con caratteristiche e costi poco adattabili alle reti di distribuzione o agli impianti di utenza [13].

I sistemi di accumulo di energia elettrica conservano l'energia in un campo elettrico invece di trasformarla in un'altra forma di energia. Esistono due tipi di tecnologie, ciascuna con i propri vantaggi e inconvenienti: i sistemi di accumulo di energia elettrostatica e i sistemi di accumulo di energia magnetica [3].

Sistemi di accumulo di energia elettrostatica

Il tipo più comune è il condensatore. I condensatori immagazzinano energia separando piastre di carica opposta con un materiale dielettrico. Quando il condensatore è carico, si crea una tensione tra le piastre, che immagazzina energia. Tra i vantaggi di un sistema di accumulo elettrostatico dell'energia vi sono l'alta densità energetica, dovuta alla grande quantità di energia immagazzinata in un volume relativamente piccolo, l'alta efficienza, perché questo tipo di tecnologia è in grado di immagazzinare e scaricare l'energia con una perdita minima, i tempi di risposta molto rapidi alla carica e alla scarica e la lunga durata di vita. D'altra parte, presentano anche alcuni inconvenienti, come il costo elevato e la densità di potenza limitata. Sono utilizzati in un'ampia gamma di applicazioni, tra cui l'elettronica, e l'accumulo di energia [3].

Sistemi di accumulo di energia magnetica

Sono dispositivi che immagazzinano elettricità sotto forma di campo magnetico con una perdita minima di energia. Il tipo più diffuso è il sistema di accumulo di energia magnetica superconduttiva. L'energia immagazzinata con questi sistemi è creata dal campo magnetico ottenuto in una bobina superconduttrice. La corrente di questa bobina aumenta durante la fase di carica e diminuisce durante la fase di scarica. I materiali superconduttori hanno la caratteristica di avere una resistenza elettrica pari a zero, il che consente di immagazzinare grandi quantità di energia con perdite minime [3].

7. Stoccare energia chimica: Power-to-X

L'eccesso di produzione di elettricità può anche essere convertito in fonti di energia liquida o gassosa, sfruttando l'energia chimica. Le tecnologie denominate "Power-to-X" (PtX) consentono di utilizzare, ad esempio, l'elettricità di una centrale solare o di un parco eolico, per produrre idrogeno e successivamente metano. Questi due elementi possono essere conservati a lungo e usati come carburanti.

Power to X sta per conversione di energia elettrica rinnovabile in prodotti materiali, rappresentati dalla X. X sta per gas come metano e ammoniaca (Power to Gas), o combustibili liquidi come cherosene e gasolio marittimo (Power to Liquid), o ancora materiali di base per l'industria chimica (Power to Chemicals) [14]. Per raggiungere zero emissioni nette, dobbiamo defossilizzare le nostre economie e società, e questo processo non può essere ottenuto solo con l'elettrificazione.

Le molecole verdi prodotte con Power to X consentono ai settori difficili nella riduzione in emissioni di CO₂ nell'industria e nei trasporti, di muoversi verso la neutralità climatica [14].

Come funziona Power-to-X

A proposito di idrogeno

L'idrogeno è considerato una soluzione promettente per la gestione di grandi quantità di energia rinnovabile nella rete, in quanto può essere utilizzato per immagazzinare l'energia in eccesso generata durante i periodi di alta produzione rinnovabile, come quando il sole splende o quando soffia il vento. L'accumulo di energia con l'idrogeno presenta una serie di vantaggi rispetto alle altre tecnologie di stoccaggio dell'energia. L'idrogeno è molto denso di energia, il che significa che può immagazzinare molta energia in un volume ridotto. È anche atossico, ma una delle sfide più importanti di questa tecnologia è rappresentata dalla difficoltà di immagazzinare l'idrogeno in modo sicuro ed efficiente [15].

L'idrogeno si può produrre seguendo diverse vie, ed anche, come nel cosiddetto Green Hydrogen, mediante processi con emissioni di CO₂ nulle o molto basse, dunque senza avere alcun impatto sull'ambiente.

Power-to-gas: conversione in idrogeno o metano

Un esempio per lo stoccaggio stagionale dell'elettricità in eccesso è la conversione in un gas come l'idrogeno o il metano ("power-to-gas"). Se necessario, il gas può essere utilizzato per produrre calore ed elettricità o direttamente come carburante per i veicoli.

Il modo più semplice ed efficiente per generare tale gas dall'elettricità rinnovabile è l'elettrolisi dell'acqua. L'acqua viene scissa in idrogeno e ossigeno utilizzando l'elettricità rinnovabile in eccesso. L'efficienza di questa conversione raggiunge l'80%. L'idrogeno può essere convertito in metano in un'ulteriore fase. Un modo per produrre metano è la reazione chimica tra idrogeno e CO₂ ad alta pressione e ad alta temperatura. L'altro modo è che la trasformazione venga effettuata da microrganismi in un fermentatore, a temperature significativamente più basse e a pressione normale. Esistono già soluzioni tecnologiche per entrambi gli approcci e sono già in uso.



Sistema di stoccaggio dell'idrogeno per l'elettricità in eccesso proveniente dalle turbine eoliche. foto: audioundwerbung [16]

INNOVAZIONE

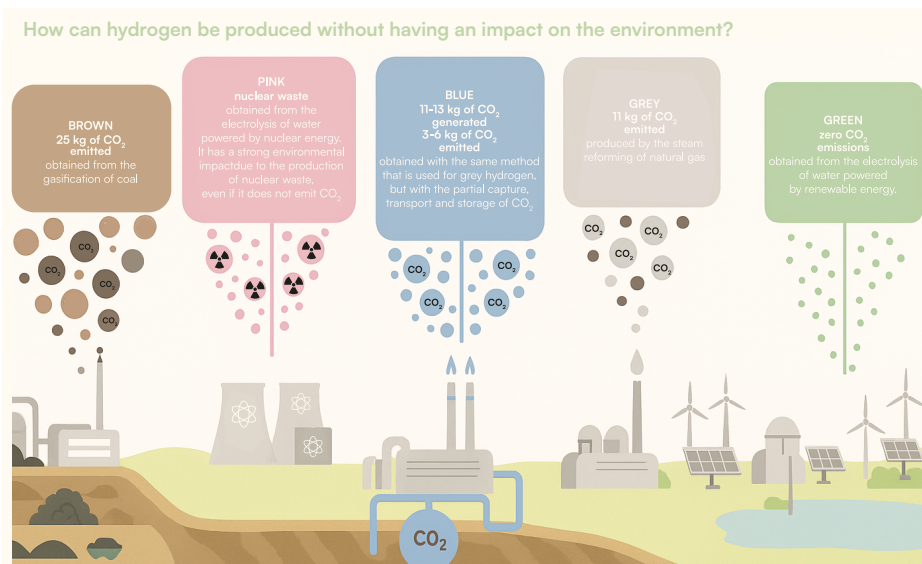
La produzione di idrogeno

L'idrogeno è un combustibile con una grande densità energetica, che può non produrre emissioni ed è in grado di aiutarci a risolvere la sfida energetica del nostro pianeta. Ha un solo problema: produrlo non è così semplice, ma lo sviluppo delle tecnologie per ottenerlo in modo pulito, con l'aiuto delle fonti rinnovabili, apre a un nuovo futuro. Sicuramente assumerà sempre più un ruolo importante nella transizione energetica [17].

Tipi diversi di produzioni di idrogeno

Come si può produrre l'idrogeno, anche con emissioni di CO₂ molto basse o nulle, al fine di avere un minore impatto possibile sull'ambiente? A seconda del metodo produttivo, l'idrogeno viene denominato con un colore differente:

- **idrogeno marrone**, chiamato anche **idrogeno nero**, è prodotto tramite gassificazione del carbone. Si tratta della versione più dannosa per l'ambiente, perché il processo rilascia sia CO₂ che monossido di carbonio [18].
- **idrogeno rosa**: idrogeno verde prodotto per elettrolisi, ma con energia elettrica derivata dall'energia nucleare.
- **idrogeno blu**: l'estrazione dell'idrogeno da fonti fossili è accoppiato ad un impianto di cattura della CO₂.
- **idrogeno grigio**: derivato direttamente da combustibili fossili o da vettori energetici derivati dai combustibili fossili. Tali processi producono forti emissioni di CO₂ in atmosfera.
- **idrogeno verde**: prodotto mediante processi con emissioni di CO₂ molto basse. Tali processi possono essere: *l'elettrolisi da fonte esclusivamente rinnovabile o la gassificazione/pirolisi di biomassa*. Per ottenere l'elettrolisi abbiamo bisogno di elettricità, quindi di energia. Quando il processo per produrre idrogeno è alimentato da fonti energetiche rinnovabili, questo è definito verde. L'idrogeno verde è l'opzione più pulita: idrogeno da fonti energetiche rinnovabili, senza CO₂ come sottoprodotto [19].
- **idrogeno giallo**: l'elettrolisi si ottiene esclusivamente attraverso l'energia solare (a differenza del verde che potrebbe utilizzare una combinazione di fonti energetiche rinnovabili) [19].



Come si può produrre idrogeno senza avere un impatto sull'ambiente? [20]

INNOVAZIONE

La Svizzera vuole aprire la strada a una mobilità senza emissioni Sostituendo i carburanti fossili con l'idrogeno verde.

Nel 2020 è diventata operativa la prima flotta al mondo di autocarri commerciali a idrogeno e nel giugno 2023 è stata inaugurata, nei pressi di Berna, (nell'area di sosta bernese di Grauholz, sull'A1), la prima stazione di rifornimento di idrogeno sulla rete autostradale nazionale.

INNOVAZIONE

La produzione su vasta scala dell'idrogeno mediante il processo di "steam reforming"

La produzione di gas di sintesi avviene solitamente mediante il processo di reforming del gas naturale o "steam reforming". Tale processo consiste nel far reagire metano (CH₄) e vapore acqueo (H₂O) ad una temperatura intorno a 700–1'100 °C, per produrre il gas di sintesi, detto anche syngas (una miscela costituita essenzialmente da monossido di carbonio e idrogeno), secondo la reazione: $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2 - 191,7 \text{ kJ/mol}$. Il calore richiesto per attivare la reazione è generalmente fornito bruciando parte del metano.

CURIOSITÀ

Produzione biologica di bioidrogeno

Il bioidrogeno (l'idrogeno molecolare prodotto per via biologica) può essere prodotto mediante alghe (bioreattori). Alla fine degli anni novanta si scoprì che se le alghe venivano private dello zolfo, esse cessavano di produrre ossigeno attraverso la normale fotosintesi per produrre idrogeno, tramite un enzima chiamato idrogenasi, che funziona solo in assenza di ossigeno. Questo processo ha portato allo sviluppo di bioreattori sperimentali per la produzione di bioidrogeno. Negli anni successivi, la ricerca ha cercato di aumentare l'efficienza energetica, superando la barriera del 7–10% nella conversione della luce solare in idrogeno, rendendo il processo più vicino alla fattibilità economica [21].

La produzione biologica di bioidrogeno è considerata una procedura potenzialmente sostenibile, in quanto utilizza risorse rinnovabili, convertendo materiali organici in idrogeno, ma presenta ancora sfide significative che ne limitano l'applicazione su larga scala. La produzione di biocarburanti da materiali di scarto offre una soluzione efficace per generare energia rinnovabile in bioidrogeno, biogas e bio-hythane, riducendo al contempo i rifiuti e riciclando preziosi nutrienti [22].

INNOVAZIONE

L'elettrificazione dei consumi

Procedimento che consiste nella sostituzione di tecnologie e servizi che usano combustibili fossili, con fonti rinnovabili. Dove è possibile applicarla, rappresenta la soluzione più efficiente per decarbonizzare tutti e tre i settori dell'energia: processi industriali, trasporti e edifici. Tra idrogeno verde ed elettrificazione qual è la soluzione più efficiente per decarbonizzare gli usi finali dell'energia? Dipende fortemente dal **tipo di applicazione** ma si sta riflettendo su gli impieghi in cui l'idrogeno è più efficiente dell'elettrico [20].

Fonti

- [1] Amna Riaz et al. Review on Comparison of Different Energy Storage Technologies Used in Micro-Energy Harvesting, WSNs, Low-Cost Microelectronic Devices: Challenges and Recommendations — Sensors - 2021, 21, 5041. Figure 3. Classification of energy storage systems. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/15/5041/pdf?version=1627261661>
- [2] Alt energy mag - What Are the Classifications of Energy Storage Systems? Chapter I. Types of energy storage systems <https://www.altenergymag.com/news/2023/10/07/what-are-the-classifications-of-energy-storage-systems/40321/#>
- [3] Scholarly Community Encyclopedia - Chapter 3. Energy Storage Technology Grading - 3.1 Mechanical Energy Storage System; - 3.2 - Electrochemical Energy Storage System; -3.3 Thermal Energy Storage; - 3.4. Electrical Energy Storage; - 3.5. Chemical energy Storage. <https://encyclopedia.pub/entry/54045>
- [4] Nant de Drance - The pumped storage power plant. <https://www.nant-de-drance.ch/en/the-power-plant>
- [5] Jorio Luigi - Una batteria alpina di dimensioni europee — 2.09.2021 - Swissinfo.ch - <https://www.swissinfo.ch/fre/economie/une-batterie-alpine-aux-dimensions-de-l-europe/46913072>
- [6] Progetto Ritom, Ritom SA. <https://ritom.ch/progetto/>
- [7] Espazium - Immagine 6/8. La torre dimostrativa installata a Castione collegata alla rete pubblica svizzera. Foto Marcelo Villada Ortiz.
- Valeria Gozzi, redattrice Archi. Un prototipo di stoccaggio per energia «green». - Energy Vault. 17.03.2021 https://www.espazium.ch/it/archi1-21_prototipo
- [8] RSI info - Arrocco a Castione, via la torre arriva il "tetris" - 20 Nov. 2024 - Di: QUOT/Red MM. - Stoccaggio di energia, nuovo progetto a Castione - Il Quotidiano 13.02.2023 <https://www.rsi.ch/info/ticino-grigioni-e-insubria/Arrocco-a-Castione-via-la-torre-arriva-il-tetris--1810655.html>
- [9] Svizzera Energia Batterie per veicoli elettrici Fatti e cifre principali.
7. End-of-Life delle batterie <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/77019.pdf>
- [10] OFEN, Office fédéral de l'énergie, Batterie dei veicoli elettrici - Nuove immatricolazioni di auto elettriche in Svizzera. SvizzeraEnergia - Aprile 2023 <https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/11363>
- [11] Geopop - Batterie al sale: come funzionano, pro e contro e quali sono le principali applicazioni. <https://www.geopop.it/batterie-al-sale-come-funzionano-pro-e-contro-e-quali-sono-le-principali-applicazioni/>

- [12] Confederazione svizzera, Batterie al sale: La batteria che sfida il fuoco. Comunicato stampa 24.10.2024 <https://www.admin.ch/gov/it/pagina-iniziale/documentazione/comunicati-stampa.msg-id-102897.html>
- [13] Enel green power Storage - L'alleato delle rinnovabili <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnovabili/impianti-storage>
- [14] How Power to X works <https://ptx-hub.org/how-ptx-works/>
- [15] AlZohbi, G.; Almoaikel, A.; AlShuhail, L.. An overview on the technologies used to store hydrogen. Energy Rep. 2023, 9, 28—34 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723012143>
- [16] EWZ - A hydrogen storage system for excess electricity from wind turbines. Photo: audioundwerbung. Energy storage systems for properties. Conversion to hydrogen or methane. <https://www.ewz.ch/en/business-customers/real-estate/educational-content/energy-storage.html>
- [17] ENEL. Idrogeno <https://www.enelgreenpower.com/it/learning-hub/energie-rinnovabili/idrogeno>
- [18] Rinnovabili. Tutti i colori dell'idrogeno. I colori dell'idrogeno (e i metodi produttivi). 19 Maggio 2022 <https://www.rinnovabili.it/energia/idrogeno/colori-dell-idrogeno/>
- [19] C.M.D. Costruzioni Motori Diesel S.p.A.. Verde, grigio, blu, rosa, giallo: tutti i colori dell'idrogeno. 22 Feb. 2023 <https://www.cmdengine.com/verde-grigio-blu-rosa-giallo-tutti-i-colori-dell-idrogeno/>
- [20] Francesco Starace CEO & General Manager at Enel Group. Green Hydrogen Factbook. How can hydrogen be produced without having an impact on the environment? CO2 emissions figures source: IEA and BNEF <https://www.enelgreenpower.com/content/dam/enel-egp/documenti/energie-rinnovabili/green-hydrogen-factbook.pdf>
- [21] Melis, A., Zhang, L., Forestier, M., Ghirardi, M. L., & Seibert, M. (2000). Sustained photobiological hydrogen gas production upon reversible inactivation of oxygen evolution in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiology*, 122(1), 127-135. <https://academic.oup.com/plphys/article-abstract/122/1/127/6092093?redirectedFrom=fulltext&login=false>
- [22] Pradeep K. M., [Deepak K.](#), [Lokesh S.](#), [Sumit S.](#), [Mukesh D.](#) Evaluating the sustainability of biohydrogen, biogas, and biohythane generation from agricultural, industrial, and municipal waste sources Biofr 17 December 2024 <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bbb.2713>

Risorse video