



INTESA SANPAOLO
INNOVATION CENTER



NETWORK FOR ENERGY SUSTAINABLE TRANSITION

INDUSTRY TRENDS REPORT **ENERGY, ENVIRONMENT & UTILITIES** *ENERGY STORAGE*



I dati e i commenti riportati nella presente pubblicazione sono stati elaborati e forniti in massima parte da Frost & Sullivan. L'elaborazione è basata su informazioni proprietarie e su una serie di fonti terze, incluse le aziende, le organizzazioni e le istituzioni accademiche citate nel testo.

Tutti i diritti riservati. Sono vietati la riproduzione, l'uso, la distribuzione, la pubblicazione, la trasmissione, la modifica o la vendita, con qualsiasi mezzo e a qualsiasi titolo, di tutto o parte del presente documento.

INDICE

EXECUTIVE SUMMARY

4

INTRODUZIONE

6

SOLUZIONI MECCANICHE

10

SOLUZIONI ELETTRICHE

25

SOLUZIONI CHIMICHE

33

SOLUZIONI TERMICHE

44

SOLUZIONI ELETTROCHIMICHE

54

PRINCIPALI ABBREVIAZIONI

68

EXECUTIVE SUMMARY

La crescente integrazione di fonti di energia rinnovabili variabili e intermittenti costringe le reti di trasmissione e distribuzione dell'elettricità ad affrontare una serie di problematiche che potrebbero, almeno in parte, essere risolte con lo sviluppo di soluzioni di **stoccaggio energetico a batteria** (BES) e **non a batteria** (NBES) solide e affidabili.

Il gruppo NBES copre approcci **meccanici, elettrici, chimici e termici**, mentre il gruppo BES comprende in particolare le tecnologie **elettrochimiche**. Al suo interno, è presente una variazione in termini di costi, tempo di reazione e durata, nonché funzione, capacità ed efficienza.

Nel complesso, il segmento non BES rappresenta attualmente l'86% del mercato totale, con Frost & Sullivan che prevede investimenti per 178,5 miliardi di dollari (b) a livello globale tra il 2022 e il 2030. La crescita è trainata dai vantaggi correlati, come la capacità di stoccaggio per lunghi periodi, nonché dagli svantaggi del segmento BES, come la dipendenza dai metalli delle terre rare.

L'**idroaccumulo a pompaggio** (PHS) domina il mercato totale e il segmento non BES grazie all'applicazione in contesti brownfield e greenfield. La tecnologia converte l'energia elettrica in energia idroelettrica gravitazionale e favorisce l'arbitraggio energetico con una capacità installata che dovrebbe raggiungere 1.576 gigawatt (GW) entro il 2030. Negli Stati Uniti, Quidnet ha sviluppato una proposta PHS geomeccanica economicamente vantaggiosa.

L'idroaccumulo a pompaggio rientra, in effetti, nella categoria **meccanica** con altri approcci chiave, tra cui soluzioni di **gravità, compressione e movimento**. L'accumulo **gravitazionale** utilizza la massa solida al posto dell'acqua, in gran parte per riduzione dei picchi; l'accumulo **ad aria compressa** deposita energia nelle grotte sotterranee ad alta pressione ed è inteso principalmente per lo spostamento del carico e l'accumulo da **movimento** cattura l'energia della rete in un volano, principalmente per il controllo della tensione.

Nord America ed Europa fanno da apripista in termini di finanziamenti per lo stoccaggio di energia meccanica e altre iniziative con Gravity Power (Stati Uniti), Energy Dome (Italia) e Beacon Power (Stati Uniti), importanti innovatori nelle aree gravitazionale, ad aria compressa e movimento.

Nella categoria **elettrica**, i **condensatori** offrono un'efficienza complessiva fino al 99%, fornendo pertanto un complemento alle fonti energetiche primarie grazie al rilascio di energia, quando necessario.

La penetrazione più elevata si verifica nei paesi con un forte potenziale di energia eolica, dove svolgono un ruolo nel rafforzamento della capacità con nuovi ultracondensatori che beneficiano dei progressi a livello di disponibilità e sostenibilità dei materiali compositi utilizzati.

I ricercatori della Washington University (Stati Uniti) stanno esplorando l'uso di una nuova eterostruttura 2D/3D/4D che riduce al minimo le perdite di energia, mentre Skeleton Technologies (Germania) è uno dei principali sviluppatori di supercondensatori con un concetto innovativo che offre una densità 10 volte superiore rispetto alle tecnologie convenzionali. UCAP Power (Stati Uniti) è assunta al ruolo di leader della tecnologia degli ultracondensatori nonché di importante detentore di brevetti e sta cercando di capitalizzarne il potenziale.

L'**idrogeno** (H₂) è la principale forma di stoccaggio **chimico** e sta rapidamente emergendo come vettore energetico efficace e, soprattutto, a basse o zero emissioni di carbonio. L'H₂ verde proveniente da fonti non fossili ha il potenziale per procedere alla decarbonizzazione in tutti i settori e sfrutta lo stoccaggio su larga e piccola scala, in particolare le celle a combustibile.

Iniziative politiche e incentivi finanziari supportano questo settore nascente con soluzioni di stoccaggio che costituiscono la base di un'economia globale emergente dell'idrogeno. Le società di stoccaggio

dovranno collaborare con i partner di tutta la catena del valore H2 per implementare i 26 GW di progetti che dovrebbero essere installati a livello globale entro il 2030.

SunHydrogen (USA), per esempio, ha sviluppato una tecnologia rivoluzionaria per produrre idrogeno, utilizzando solo l'energia solare e qualsiasi fonte d'acqua, mentre Hydrogenious (Germania) produce innovativi vettori di idrogeno organico liquido per lo stoccaggio o il trasporto efficiente ed efficace di H2.

Parallelamente, l'**ammoniaca** sta emergendo come mezzo di stoccaggio chimico alternativo poiché è efficiente nella conversione proprio come l'idrogeno, ma a pressioni inferiori.

La categoria termica ha anche un ruolo chiave da svolgere nell'agevolare una rivoluzione verde e beneficia dell'uso di mezzi di accumulo a basso costo e disponibili localmente.

Le soluzioni **sensibili**, **latenti** e **termochimiche** predominano in questo segmento e rappresentano collettivamente una serie di tecnologie con caratteristiche diverse. Tutto ciò si traduce in un'ampia base di applicazioni distintive con soluzioni di stoccaggio di energia termica (TES) e il mercato dovrebbe crescere rapidamente con oltre 600 MW in fase di sviluppo.

EnergyNest (Norvegia) fornisce sistemi di stoccaggio **sensibili** che sfruttano materiali riciclabili; Azelio (Svezia) impiega allo stesso modo l'alluminio riutilizzato come parte del sistema TES **latente** e SaltX (Svezia) offre un'efficiente tecnologia di stoccaggio **termochimico** che si basa sull'esperienza aziendale a livello di nanorivestimenti.

In futuro, si spera che in particolare le soluzioni TES latenti saranno in grado di migliorare l'efficienza energetica degli edifici che oggi rappresentano il 33% delle emissioni.

Nel lungo periodo, il gruppo BES supererà il non BES fino ad arrivare a rappresentare il 54,5% della capacità totale di accumulo di energia installata a livello globale entro il 2030. Qui, le soluzioni elettrochimiche offrono numerosi vantaggi, tra cui la modularità.

Per quanto riguarda le **batterie sigillate** a lato del mercato, molte nuove sostanze chimiche sono in fase di sviluppo, ma la scelta rimane limitata e gli ioni di litio dominano. Le batterie fisse agli ioni di litio hanno beneficiato della maggiore diffusione dei veicoli elettrici e delle relative infrastrutture di ricarica e, in Europa, la domanda del settore dei servizi di pubblica utilità dovrebbe generare ricavi per 3 miliardi di dollari entro il 2030, rispetto a poco meno dei 745 milioni di dollari del 2022. Ciò andrà a beneficio dei leader di mercato come Lg Energy Solutions (Corea del Sud), Tesla (Stati Uniti), Panasonic (Giappone) e CATL (Cina), tra gli altri.

Tuttavia, le **batterie a flusso** stanno emergendo come un'alternativa più sicura agli ioni di litio e sono più adatte allo stoccaggio su larga scala e di lunga durata. Le batterie a flusso fisse includono tanto tecnologie a flusso reale quanto a flusso ibrido, con soluzioni che utilizzano elettroliti di vanadio, praticamente le più ampiamente disponibili. In Europa, le aggiunte annuali di capacità delle batterie redox al vanadio (VRFB) continueranno ad aumentare da 100 MWh nel 2024 a 800 MWh nel 2030. La società canadese VRB Energy è il più grande produttore non cinese, mentre l'offerta di elettroliti come servizio è un modello che gli operatori del mercato stanno studiando per ridurre il costo dei sistemi VRFB e per aumentarne l'adozione.

Il presente rapporto esamina le innovazioni e i modelli di business in tutte e cinque le principali categorie di soluzioni di **stoccaggio dell'energia**, con particolare attenzione all'esplorazione delle tecnologie e dei modelli di business consolidati ed emergenti che stanno plasmando questo settore dinamico.



INTRODUZIONE

Con la crescente integrazione di fonti di energia rinnovabili variabili e intermittenti, le reti di trasmissione e distribuzione dell'elettricità devono affrontare una serie di problematiche.

Insieme, l'avvento del cambiamento climatico, l'annuncio di obiettivi di emissioni a impatto zero e il calo dei costi dei componenti hanno stimolato la rapida penetrazione delle tecnologie energetiche sostenibili nel mix energetico. Secondo l'Agenzia internazionale per l'energia (AIE), l'elettricità totale generata da fonti rinnovabili non biologiche ha raggiunto il 30% a livello globale nel 2022. Una quota così ampia fa lievitare in modo esponenziale le preoccupazioni relative alla stabilità della rete e alla qualità dell'energia, così come la richiesta di tecnologie di stoccaggio dell'energia.

Tutto ciò potrebbe essere, almeno in parte, risolto con lo sviluppo di soluzioni di stoccaggio energetico a batteria (BES) e non a batteria (NBES) solide e affidabili.

L'evoluzione del sistema e, in particolare, l'integrazione di energia eolica e solare hanno creato notevoli problemi a livello di gestione energetica, tra cui una mancata corrispondenza tra domanda e offerta e un calo della frequenza o della tensione. L'obiettivo principale delle soluzioni di stoccaggio di energia è quello di garantire l'affidabilità e fornire servizi ausiliari alla rete. Queste soluzioni risultano essere particolarmente adatte per applicazioni su scala di rete di trasmissione e distribuzione e contribuiscono a rendere il sistema più flessibile e sicuro grazie alla capacità di offrire una lunga durata di accumulo a bassi costi.

In particolare, le soluzioni di stoccaggio di energia sono in grado di supportare:

- **regolazione della frequenza** che comporta la gestione della qualità dell'alimentazione tramite

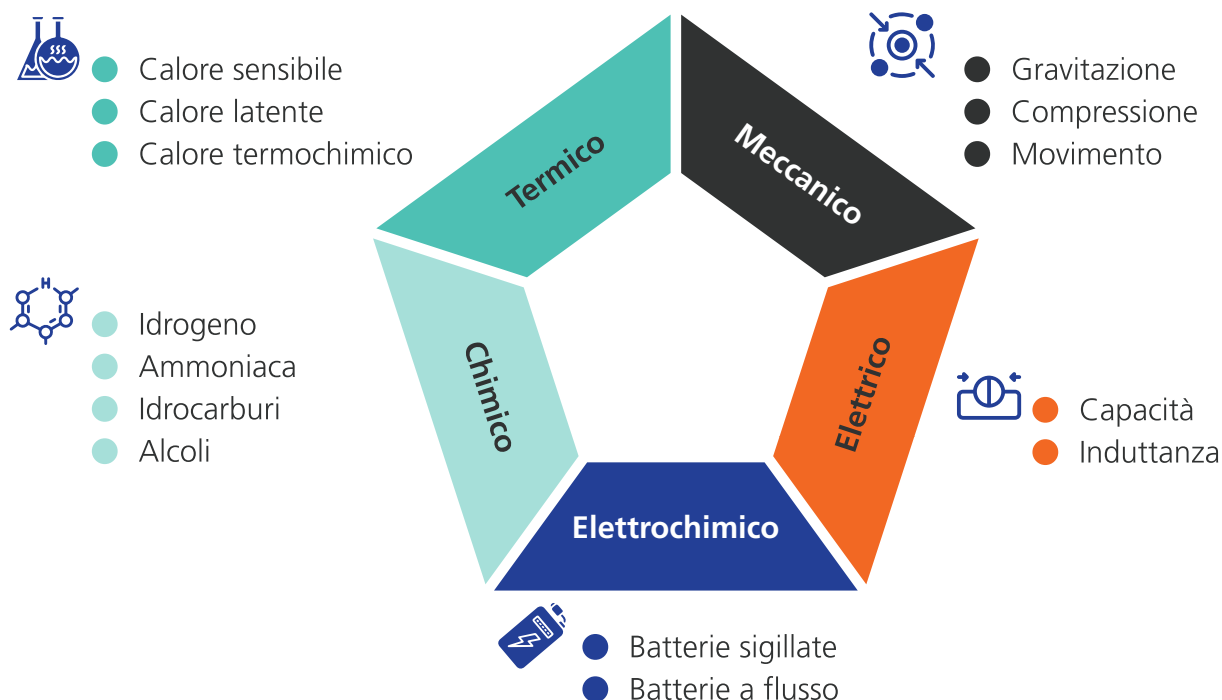
risposte rapide alle variazioni di tensione e alle contingenze dell'edificio per i guasti del sistema,

- **spostamento del carico** che consente lo stoccaggio dell'elettricità in eccesso quando la domanda è bassa e il successivo utilizzo in presenza di un'elevata domanda, limitando in tal modo anche la riduzione o il calo nella produzione di energia,
- **arbitraggio finanziario** che include l'acquisto di energia generata durante le ore non di punta a costi bassi e la sua vendita durante le ore di punta a prezzi più elevati,
- **riduzione dei picchi** che comprende la riduzione dei picchi di carico per i clienti industriali, i quali, a loro volta, riducono i relativi costi operativi. Per gli operatori di sistema, la riduzione dei picchi ha il vantaggio di limitare la congestione.

Le predette soluzioni svolgono, inoltre, un ruolo nel **supporto della tensione**, che prevede l'alimentazione della potenza reattiva alla rete per garantire che le tensioni risultino a intervalli accettabili e nel **consolidamento della capacità** attraverso una fornitura affidabile e aggiuntiva per la gestione del carico di picco.

Quest'ultimo gruppo copre gli approcci meccanici, elettrici, chimici e termici, mentre la prima area comprende in particolare le tecnologie elettrochimiche.

L'approccio **meccanico** include soluzioni *gravitazionali*, *compresse* e da *movimento*, quello **elettrico** include *condensatori*, quello **chimico** comprende *idrogeno* e *ammoniaca*, l'approccio **termico** include calore *sensibile*, calore *latente* e calore *termochimico*; infine, quello **elettrochimico** riguarda le batterie *sigillate* e a *flusso*.



Al suo interno, è presente una variazione in termini di costi, tempo di reazione e durata...

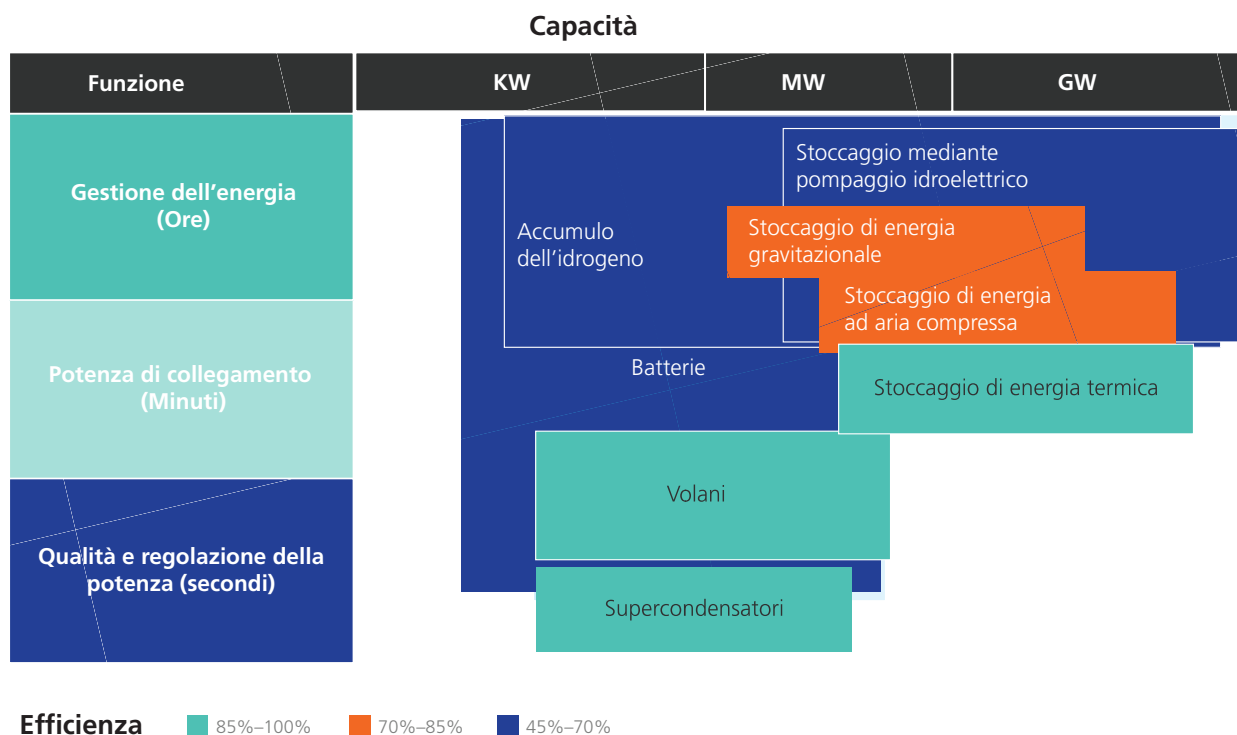
Le capacità delle tecnologie di stoccaggio dell'energia selezionate includono:

Tecnologie	Costo (\$/kWh)	Tempo di reazione	Durata
BES: sigillato <i>Batterie agli ioni di litio</i>	352-487	Da sottosecondi a secondi	10 anni
BES: flusso <i>Batterie a flusso</i>	499-609	Da sottosecondi a secondi	15 anni
BES: sigillato <i>Batterie al piombo-acido</i>	380-448	Secondi	12 anni
NBES: meccanico <i>Idroaccumulo pompato</i>	150-242	Da secondi a minuti	40 anni
NBES: termico <i>Sale fuso</i>	20-30 (kWh th)	Diversi minuti	30 anni

Per gli impianti termici, è stato preso in considerazione lo stoccaggio dell'energia da sali fusi di 14 ore in impianti a energia solare concentrata (CSP) da 100 megawatt (MW) e i costi sono definiti in termini di chilowattora termici (kWh th). Per le batterie agli ioni di litio, a flusso e a piombo-acido, il costo di accumulo è stato calcolato per i sistemi da 4 ore da 10 MW. Allo stesso modo, per l'idroaccumulo a pompaggio sono stati presi in considerazione sistemi da 1.000 MW per 10 ore.

... e anche funzione, capacità ed efficienza

A seconda della durata per la quale sono in grado di accumulare energia, della loro capacità, che va dai kilowatt ai megawatt fino ai gigawatt (GW), e dell'efficienza in termini percentuali, la funzione di ciascuna tecnologia varia in un intervallo che comprende *gestione dell'energia* (che richiede ore), *collegamento della potenza* (minuti) e *qualità dell'energia* (secondi).



Il presente rapporto esamina le innovazioni e i modelli di business in tutte e cinque le categorie: meccanica, elettrica, chimica, termica ed elettrochimica, con particolare attenzione alle tecnologie di accumulo di energia consolidate ed emergenti.



The background image shows a renewable energy facility. In the foreground, there are several large, white, rectangular energy storage containers. One container in the center has a yellow triangular warning sign with a black lightning bolt symbol. The containers have the words "ENERGY STORAGE SYSTEM" printed on them in blue. In the background, there are two large wind turbines with three blades each, standing against a blue sky with some clouds. Below the wind turbines, there is a row of solar panels. The entire image has a blue tint.

PRINCIPALI ABBREVIAZIONI

MRD	<i>Miliardo</i>	LOHC	<i>Liquid organic hydrogen carrier - Vettore di idrogeno organico liquido</i>
BES	<i>Battery energy storage - Stoccaggio di energia a batteria</i>	MES	<i>Mechanical energy storage - Stoccaggio di energia meccanica</i>
°C	<i>Grado Celsius</i>	MW	<i>Megawatt</i>
CAES	<i>Compressed air energy storage - Stoccaggio di energia ad aria compressa</i>	MWh	<i>Megawattora</i>
CAPEX	<i>Capital expenditure - Spese in conto capitale</i>	MWh	<i>Megawattora</i>
CO2	<i>Anidride carbonica</i>	NBES	<i>Non battery energy storage - Stoccaggio di energia non a batteria</i>
CSP	<i>Concentrated solar power - Energia solare concentrata</i>	PCM	<i>Phase-changing materials - Materiali a cambiamento di fase</i>
FES	<i>Flywheel energy storage - Stoccaggio di energia a volano</i>	PHS	<i>Pumped hydro storage - Idroaccumulo a pompaggio</i>
Ft	<i>Piedi</i>	R&S	<i>Ricerca e sviluppo</i>
GES	<i>Gravity energy storage - Stoccaggio di energia gravitazionale</i>	RFB	<i>Redox flow battery - Batteria a flusso redox</i>
GHG	<i>Greenhouse gas - Gas a effetto serra</i>	RTE	<i>Round-trip efficiency - Efficienza complessiva</i>
GW	<i>Gigawatt</i>	STOCCAGGIO DI ENERGIA TERMICA	<i>Stoccaggio di energia termica</i>
H2	<i>Idrogeno</i>	UK	<i>Regno Unito</i>
kWh	<i>Kilowattora</i>	USA	<i>Stati Uniti</i>
LAES	<i>Liquid air energy storage - Stoccaggio di energia ad aria liquida</i>	V2O5	<i>Pentossido di vanadio</i>
LCOS	<i>Levelized cost of storage - Costo di stoccaggio livellato</i>	VRFB	<i>Vanadium redox battery - Batteria redox al vanadio</i>
LDES	<i>Long duration energy storage - Stoccaggio di energia di lunga durata</i>	W/l	<i>Watt per litro</i>
Li-ion	<i>Ioni di litio</i>	Wh/l	<i>Wattora per litro</i>

INTESA SANPAOLO INNOVATION CENTER:

Intesa Sanpaolo Innovation Center è la società del Gruppo Intesa Sanpaolo dedicata all'innovazione che esplora e studia nuovi modelli di business e di ricerca e agisce da stimolo e motore per la new economy in Italia. La società investe in progetti di ricerca applicata e start-up ad alto potenziale, per favorire la competitività del Gruppo e dei suoi clienti e accelerare lo sviluppo dell'economia circolare in Italia.

Con sede nel grattacielo di Torino progettato da Renzo Piano e un network nazionale e internazionale di hub e laboratori, l'Innovation Center è un abilitatore di relazioni con gli altri stakeholder dell'ecosistema dell'innovazione - come imprese tech, start-up, incubatori, centri di ricerca e università - e promotore di nuove forme di imprenditorialità nell'accesso ai capitali di rischio. Le attività principali su cui si concentra il lavoro di Intesa Sanpaolo Innovation Center sono l'economia circolare, lo sviluppo delle start-up più promettenti, gli investimenti in capitale di rischio della società di gestione Neva SGR e la ricerca applicata.

Per ulteriori informazioni sui prodotti e i servizi di Intesa Sanpaolo Innovation Center, contattare

businessdevelopment@intesasanolinnovationcenter.com

FROST & SULLIVAN:

Con oltre cinquant'anni di esperienza, Frost & Sullivan è conosciuta in tutto il mondo per i suoi servizi dedicati a investitori, dirigenti d'azienda e autorità pubbliche, aiutandoli a orientarsi nei cambiamenti economici e a riconoscere tecnologie rivoluzionarie, macrotrendenze, nuovi modelli di business e aziende promettenti, creando ininterrottamente opportunità di crescita per un futuro di successi.

Per ulteriori dettagli sull'ambito di attività e sui servizi offerti da Frost & Sullivan, contattare

LIVIO VANINETTI

Direttore Operativo Frost & Sullivan per l'Italia;

livio.vaninetti@frost.com

Data di pubblicazione: giugno 2024

