

## DESCRIZIONE TECNICA

Gli accumulatori elettrochimici sono in grado di trasformare in modo diretto energia chimica in energia elettrica. L'elemento base di un sistema di accumulo elettrochimico è la cella elettrochimica, in grado di generare una tensione in CC (Corrente Continua) variabile e dell'ordine di pochi volt, che può essere combinata in serie e/o parallelo per ottenere un accumulatore di dimensioni maggiori, chiamato comunemente batteria. Il sistema di accumulo elettrochimico completo può comprendere, oltre alla batteria, un sistema elettronico di gestione e monitoraggio, ausiliari (pompe, sistemi di ventilazione e/o climatizzazione, ecc.) ed eventualmente un convertitore elettronico nel caso in cui il sistema di accumulo debba essere interfacciato verso la rete elettrica. Le caratteristiche peculiari dei sistemi di accumulo elettrochimico sono: la modularità (con possibilità di sistemi da pochi kW a decine di MW) e flessibilità; tempi di risposta alle variazioni di carico veloci; elevato rapporto potenza/energia e si prestano a lavorare in applicazioni "ibride" che richiedono autonomie dell'ordine dell'ora ma anche capacità di erogare picchi di potenza. Un altro vantaggio è la rapidità di installazione e, potenzialmente, la possibilità di spostare il sistema in un altro punto della rete o di riconfigurarli in caso di necessità. Gli impianti di stoccaggio di energia (e quelli elettrochimici in particolare) possono essere situati in vari punti della rete elettrica e fornire numerosi servizi al fine dell'implementazione di una Smart Grid con servizi ancillari che vanno da servizi di balancing di rete, di riserva energetica strategica e di compensazione del disaccoppiamento temporale tra picchi di produzione e picchi di consumo (Figura 1).

Le numerose tipologie di accumulatori si differenziano per la coppia di specie elettrochimiche tra cui avviene la reazione, per il tipo di elettrolita e per le caratteristiche costruttive, mentre le caratteristiche funzionali dei dispositivi per uso stazionario dipendono dalle specifiche tecniche di applicazione. Le principali tipologie di accumulatori elettrochimici sono:

- gli accumulatori con elettrolita acquoso, che comprendono l'accumulatore al piombo acido, nichel/cadmio e nichel/metal idruro
- le batterie a circolazione di elettrolita
- le batterie ad alta temperatura (sodio/zolfo, sodio/cloruro di nichel)
- le batterie litio-ioni.

La tecnologia più promettente è quella delle batterie litio-ioni, con una vita attesa molto lunga (fino a 10000 cicli di carica/scarica a DOD 80%), rendimento energetico molto elevato (generalmente superiore al 90%), alta energia e potenza specifica.

Lavorano bene sia in potenza che in energia, adatte quindi a coprire quasi tutte le applicazioni, sia quelle tradizionali, sia quelle a supporto del sistema elettrico, e sono le più utilizzate per la trazione elettrica.

Le batterie ad alta temperatura (sodio/zolfo e sodio/cloruro di nichel), che lavorano ad una temperatura interna di circa 300 °C, si caratterizzano per una elevata energia specifica, elevati rendimenti energetici, buona vita attesa. Hanno tuttavia prestazioni generalmente inferiori rispetto al litio, ma con il vantaggio di essere totalmente indipendenti dalla temperatura ambiente. Questa caratteristica, unita al fatto di essere completamente riciclabili e avere una sicurezza intrinseca un po' più alta, le rende una buona alternativa per le applicazioni stazionarie. Due tecnologie molto promettenti sono le batterie a flusso di elettrolita e le metallo aria. Caratteristica principale della prima (di cui il maggior livello di maturità è stato raggiunto dalla batteria redox al vanadio, VRB) è il totale disaccoppiamento tra la potenza e l'energia. La potenza che la batteria può erogare o assorbire dipende dalla quantità di elettrolita che prende parte alla reazione istante per istante (compatibilmente con la velocità della reazione) e quindi dalla superficie della membrana e dalla velocità delle pompe. La capacità di accumulo è legata alla quantità di elettrolita totale e quindi alla capienza dei serbatoi, pertanto, a parità di potenza installata, è possibile aumentare la capacità della batteria aumentando le dimensioni dei serbatoi. Nel caso della metallo aria (la più nota a base zinco) per il suo meccanismo intrinseco, la maggior parte dell'interno della batteria può essere destinata all'alloggio dell'elettrodo negativo, facendo sì che le batterie metallo-aria abbiano grandi capacità specifiche (l'energia specifica e volumetrica possono raggiungere più di 500 Wh/Kg e 1000 Wh/L rispettivamente). È possibile descrivere le prestazioni delle possibili opzioni tecnologiche per ES (Energy Storage) su un grafico potenza-tempo di risposta (Figura 2) al fine di discriminare le tecnologie utili per l'accumulo massivo da quelle genericamente definite di "supporto alla rete" [1-2]. A differenza dai sistemi ES per applicazioni veicolari (trasporto elettrico), che devono rispettare stringenti requisiti in termini di densità volumetrica e gravimetrica di energia stoccata, quelli per applicazioni stazionarie non devono seguire questi severi limiti. Devono raggiungere un'eccellente efficienza energetica e avere una lunga vita operativa con bassi costi operativi e di

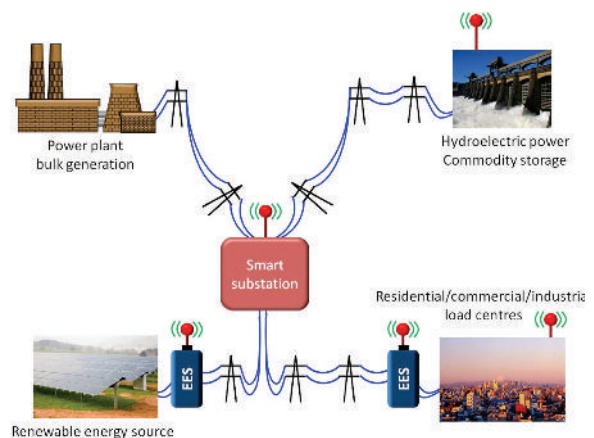


Figura 1 Possibili integrazioni dei sistemi di accumulo elettrochimico all'interno di una Smart Grid

manutenzione. Per l'implementazione di reali servizi di Smart Grid, gli ES stazionari devono essere in grado di operare con brevissimi tempi di risposta per supportare le necessità della rete nella scala di tempo dei secondi [2].

L'accumulo elettrochimico (batterie) è attualmente lo stato dell'arte per i sistemi ES di taglia medio-piccola che forniscono servizi di rete e riserve strategiche su scala locale. Quattro differenti tipologie di batterie (al piombo, al litio, al nickel e al sodio) possono fornire specifici e differenti funzioni alle Smart Grid. Inoltre almeno 2 delle 4 tecnologie (batterie al litio e al sodio) sono ancora in uno stadio molto iniziale di sviluppo specifico e quindi hanno un notevole potenziale di miglioramento nel breve-medio periodo sia in termini di prestazioni che di costi [3].

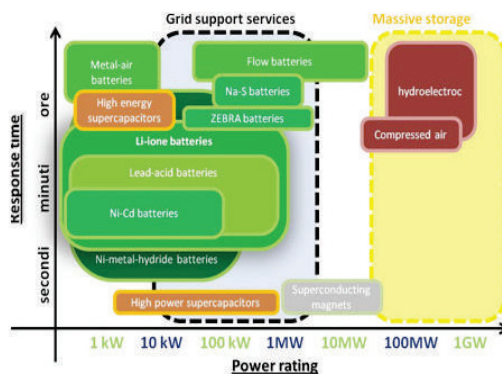


Figura 2 Tempi di risposta di stoccaggio in funzione della potenza installata

## STATO DI AVANZAMENTO

### Internazionale

Per quanto riguarda le applicazioni stazionarie per il sistema elettrico, secondo il database del DOE (<http://www.energystorageexchange.org/>) in Europa sono ad oggi installati circa 240 MW - 460 MWh di impianti di accumulo elettrochimico (circa 170 impianti di diversa taglia e tecnologia), per applicazioni varie quali la regolazione primaria, il time-shift, il differimento di investimenti di rete, la regolazione di tensione, e varie applicazioni in accoppiamento a generatori a fonte rinnovabile. Toyota e BMW hanno stretto un accordo per la progettazione e lo sviluppo di una batteria ultra-efficiente a base di Litio-Aria. La batteria Litio-Aria ha una densità massima teorica di 3450Wh/kg con costi molto elevati. Per intenderci, le attuali batterie agli ioni di litio hanno una densità di soli 200 Wh/kg. Grazie alla partnership nippto-tedesca (Toyota+BMW) i tempi sono imminenti ma i dispositivi dovrebbero essere piuttosto costosi.

La Citroen sta testando batterie Alluminio-aria, così come Phinergy, azienda israeliana, che sta lavorando con il colosso dell'alluminio Alcoa Canada.

La batteria zinco-aria ad alto potere BA-8180/U è commercializzata sin dal 2002 dalla Electric Fuel Battery Corporation di Auburn nello stato dell'Alabama, in USA.

tecnologie competitive. Sono particolarmente adatte (anche a confronto con tecnologie più mature di grande taglia quali il pompaggio) perché sono modulari e scalabili su varie taglie, da qualche kW per impianti fotovoltaici di tipo domestico a decine di MW per accoppiamento con parchi eolici, hanno un tempo di risposta molto veloce (meno di 1 s), il tempo di installazione dell'impianto è breve e possono essere installate ovunque, anche in prossimità dei generatori e/o carichi cui sono asserviti. Tutte le tecnologie possono inoltre fornire oltre al classico servizio ES anche servizi di rete utili agli operatori delle Smart Grid.

## VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

Le batterie sono utilizzate prevalentemente per applicazioni non connesse alla rete e molto diversificate (avviamento dei veicoli ICE, alimentazione di strumenti elettronici, UPS e sistemi di emergenza). Le applicazioni a supporto del sistema elettrico coprono in realtà solo una percentuale molto ridotta del totale (meno del 5% della capacità installata totale).

### Nazionale

In Italia sono installati o in fase di installazione 37 impianti, per un totale di 82 MW-310 MWh. Le applicazioni riguardano il supporto di tensione, la risoluzione di congestioni di rete su linee con elevata presenza di generatori eolici, la regolazione primaria di frequenza e il time-shift.

In Italia le batterie metallo-aria, nelle dimensioni, tipologia e voltaggio (~ 12 V) necessari per l'autotrazione, vengono studiate e costruite dalla Edison di Trofarello, in provincia di Torino, mentre è di una controllata FIAMM (FZSonic) la produzione di batterie ZEBRA (a nickel cloruro).

## RELAZIONI CON LE FONTI ENERGETICHE

I sistemi ES possono essere accoppiati con tutte le fonti rinnovabili e non rinnovabili di generazione elettrica grazie alla loro estrema flessibilità di prestazione [1]. L'esistenza di un cospicuo numero di opzioni tecnologiche consente un adattamento e una flessibilità alle specifiche applicative assolutamente ineguagliato dalle altre

Oltre a ciò, le batterie sono utilizzate per la trazione elettrica stradale, in questo momento in fase di crescita. In Europa le auto elettriche immatricolate tra il 2012 e il 2015 sono oltre 200000 (con un aumento del 78% dal 2014 al 2015), corrispondenti a 4 GWh di capacità totale (stima effettuata considerando una capacità media per auto di 20 kWh).

## IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

L'impatto ambientale delle batterie è variabile con la tecnologia. Lo smaltimento degli accumulatori elettrochimici è obbligatorio, di responsabilità del produttore (o del system integrator); il costo dello smaltimento incide sul prezzo di vendita del prodotto e cambia a seconda della tecnologia.

Le batterie al piombo hanno un costo di smaltimento molto ridotto, a fine vita devono essere conferite gratuitamente al COBAT (consorzio che gestisce il riciclo e lo smaltimento delle batterie), e vengono riciclate quasi interamente (si riesce a recuperare oltre il 90% del materiale costituente la batteria, che può essere riutilizzato per costruirne altre).

La tecnologia nichel/cadmio è quella con il peggior impatto ambientale, in quanto il cadmio è un materiale altamente inquinante, e per questo motivo è in parte stata sostituita dalle batterie nichel/metal idruri. Entrambe le tecnologie, avendo un costo molto elevato, sono destinate ad applicazioni settoriali e in ambito prevalentemente industriale/militare.

Entrambe le batterie a base sodio non hanno problemi di smaltimento in quanto sono ritirate gratuitamente dalla casa costruttrice, che provvede al riciclaggio della batteria in quanto il recupero dei materiali di cui è costituita è economicamente conveniente.

Per quanto riguarda le batterie litio-ioni, nonostante siano state sviluppate procedure di riciclaggio dei materiali strategici di cui sono costituite, come le terre rare, i metalli e lo stesso litio (ad esempio, l'azienda belga Umicore ha messo a punto un processo di recupero del litio che anziché essere riutilizzato nella fabbricazione di nuove batterie viene addizionato al cemento sotto forma di  $\text{LiCO}_3$ ), non sono generalmente applicate e le batterie vengono smaltite senza essere riciclate (è comunque obbligatorio il conferimento al produttore o al COBAT per la gestione del processo). Questo perché il prezzo attuale sul mercato dei materiali non è sufficientemente elevato da rendere conveniente il riciclo, a differenza di quanto avviene per altre tecnologie. Un tema di ricerca importante potrebbe essere proprio la messa a punto di procedure di riciclaggio economicamente convenienti. Un altro aspetto da considerare, in particolare per l'uso nella mobilità elettrica, è che la vita attesa di una batteria litio-ioni veicolare è superiore a quella del veicolo (una batteria può superare i 5000 cicli mentre l'uso veicolare ne richiede al massimo 2000). Si devono sviluppare procedure per il suo riutilizzo in altre applicazioni (ossia una seconda vita), in particolare in applicazioni a supporto del sistema elettrico.

Le batterie a flusso di elettrolita al vanadio sono composte prevalentemente da materiali plastici (stack, tubature dell'impianto idraulico, serbatoi) completamente riciclabili. Lo smaltimento dell'elettrolita, che contiene una concentrazione di acido solforico leggermente inferiore rispetto all'accumulatore al piombo, deve seguire le modalità di trattamento dei rifiuti speciali. In ogni caso anche i due elettroliti possono essere riciclati e riutilizzati completamente.

### Emissioni $\text{CO}_2$ /MWh evitate

I sistemi di accumulo possono essere utilizzati in accoppiamento a generatori a fonte rinnovabile per permettere una maggiore penetrazione di questi generatori e svolgere servizi ancillari che questi non sono in grado di compiere. Le emissioni di  $\text{CO}_2$ /MWh evitate con l'uso di questi sistemi corrispondono alle emissioni prodotte da fonti energetiche non rinnovabili che si avrebbero in alternativa, al netto del rendimento energetico del sistema completo (che si può assumere mediamente pari a circa l'80% in scarica e circa il 90% in carica, comprendendo anche quello dell'inverter). Non è possibile riportare un valore univoco, dal momento che è legato all'applicazione, ma in letteratura si trovano alcuni esempi di studi di fattibilità. A titolo di esempio, in [5] è riportato il calcolo delle emissioni GHG equivalenti di un generatore fotovoltaico da 50 kW che opera con un sistema di accumulo da 400 kWh, utilizzato per accumulare l'energia prodotta nelle ore di massimo irraggiamento e riutilizzarla quando non si ha produzione. L'emissione di  $\text{CO}_2$  per kWh prodotto

risulta pari a 152  $\text{gCO}_2\text{eq/kWhe}$  nel caso di FV con accumulo al piombo, e 138  $\text{gCO}_2\text{eq/kWhe}$  nel caso di FV con accumulo redox. A titolo di confronto, il tasso di emissione medio italiano nel 2014 legato alla produzione da fonte termoelettrica fornito da Terna è pari a 551  $\text{gCO}_2\text{eq/kWhe}$  prodotto.

L'utilizzo di batterie nel caso di mobilità elettrica potrebbe consentire una riduzione molto elevata delle emissioni di  $\text{CO}_2$  nel settore dei trasporti (come confermato dagli studi LCA riportati in [6]).

## EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

Il rendimento energetico, per una batteria, è dato dal rapporto tra l'energia scaricata a potenza nominale, partendo da piena carica fino alla scarica completa, e l'energia fornita alla batteria per riportarla nello stato di carica iniziale. Nel caso di un sistema di accumulo completo, interfacciato in rete con un convertitore elettronico, è necessario comprendere nel calcolo il rendimento del convertitore e l'energia spesa per alimentare gli ausiliari (qualora non siano alimentati direttamente dalla batteria).

Tecnologia	Rendimento energetico [%]	Rendimento amperometrico [%]	Vita attesa (cicli) DOD 80%
Piombo	80	85	1000
Nichel/cadmio	65	75	1000
Nichel/metal idruri	65	75	1500
Sodio/cloruro di nichel	85	100	4000
Sodio/zolfo	85	100	4500
Litio-ioni	90	100	5000
Flusso di elettrolita al vanadio (VRB)	75	85	10000

Il rendimento amperometrico, o faradico, è dato dal rapporto tra la carica estratta dalla batteria partendo piena carica (Stato di Carica-SOC pari a 100%) fino a piena scarica e la carica che è necessario fornire alla batteria per riportarla nello stato di carica iniziale. Avere un rendimento amperometrico unitario semplifica la gestione della batteria perché permette di stimare in modo più semplice lo stato di carica attraverso l'integrazione della corrente. Alcune tecnologie hanno rendimenti amperometrici inferiori al 100% perché sono presenti reazioni parassite (ad esempio l'elettrolisi dell'acqua che avviene nelle batterie ad elettrolita acquoso in fase di ricarica).

## PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Il costo di O&M di un sistema di accumulo con batterie dipende dagli interventi di manutenzione ordinaria (rabbocco dell'elettrolita nelle batterie al piombo, serraggio periodico dei morsetti, costo dell'energia per l'alimentazione di sistemi di climatizzazione/ventilazione, ecc.), cui si aggiunge il costo di sostituzione della batteria se raggiunge la condizione di fine vita prima dei 20 anni di durata dell'impianto (un valore di riferimento ritenuto ragionevole). La durata di vita della batteria, diversa per ciascuna tecnologia, dipende anche dal tipo di applicazione in quanto da questa dipende il numero di cicli di lavoro completati annualmente dall'impianto.

La tabella riporta i costi di installazione (espressi in euro/kWh) di un sistema di accumulo completo per tecnologia e i costi di O&M annuali. Per il calcolo dei costi di O&M variabili si è ipotizzato che il sistema compia un ciclo di scarica/carica a DOD 80% al giorno (come può accadere in applicazioni di time-shift). Altre applicazioni possono comportare dei valori differenti, ad esempio un sistema che svolge un servizio di regolazione primaria e regolazione di tensione, a seconda di come viene dimensionato, effettua giornalmente molti più cicli ma con una DOD non superiore al 20%.

Il payback time risulta fortemente dipendente dal tipo di applicazione. Con l'attuale sistema regolatorio italiano, per quasi tutte le applicazioni a supporto del sistema elettrico considerate in vari studi economici, il payback time è stimato superiore ai 10 anni e in alcuni casi si ipotizza che non venga mai raggiunto.

Tecnologia	Costo di installazione [euro/kWh di capacità]	Costi O&M fissi [euro/kWh di capacità*anno]	Costi O&M variabili [euro/kWh scaricati* anno]
Piombo	300	15	0,087
Nichel/cadmio	800	15	0,304
Nichel/metal idruri	800	15	0,304
Sodio/cloruro di nichel	560	10	0,034
Sodio/zolfo	500	10	0,031
Litio-ioni	500	10	0,023
Flusso di elettrolita al vanadio (VRB)	800	15	0,013

Un confronto tra il costo e la vita operativa per le varie opzioni tecnologiche esistenti è mostrato nella Figura 3 [7].

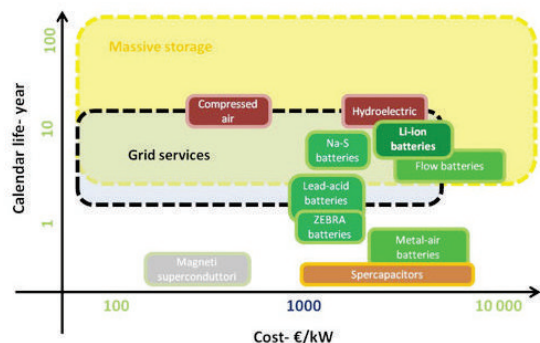


Figura 3 Anni di vita operativi di alcuni sistemi elettrochimici (calendar life) in funzione del costo specifico (espresso in euro per kilowattora)

in prospettiva è necessario sviluppare procedure per il recupero del materiale. I miglioramenti tecnologici dovranno riguardare specificamente la crescita dell'energia specifica e della durata in termini di cicli e in termini di vita operativa. La riduzione dei costi è uno dei limiti maggiori ad una pronta diffusione della tecnologia al litio negli ES stazionari. Questi aspetti possono essere affrontati e risolti mediante l'ulteriore sviluppo dello sforzo italiano di R&D, sostenuto da opportuni programmi nazionali. In questo ambito la "Ricerca di Sistema elettrico" si pone tra gli obiettivi anche quello di "armonizzare" e "coordinare" le attività svolte dai vari player dell'innovazione pubblica e privata. Infine le problematiche riguardanti la sicurezza e la compatibilità ambientale dei processi di produzione e de-commissioning sono un aspetto su cui ancora sono necessari studi e approfondimenti specifici.

## POSSIBILI RICADUTE PER IL SISTEMA INDUSTRIALE, DEI TRASPORTI, RESIDENZIALE E NEL TERZIARIO

Le batterie sono un elemento fondamentale per la realizzazione delle auto elettriche, la cui diffusione potrebbe avere un impatto enorme nel settore dei trasporti. Le stime riportate in [6] dimostrano che con il mix energetico nazionale attuale un'auto elettrica ha meno emissioni di CO<sub>2</sub> rispetto a un'analogo auto a combustione interna. Per quanto riguarda il settore residenziale e terziario, l'uso di sistemi di accumulo elettrochimico, in accoppiamento ai generatori fotovoltaici, permetterebbe di aumentare l'autoconsumo dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, di ridurre la potenza installata e l'acquisto di energia da rete, riducendo anche le perdite di rete. Opportunamente gestiti, potrebbero anche svolgere contemporaneamente la funzione di UPS (in particolare nel settore terziario).

## MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

### Utilizzo della tecnologia

In Italia gli impianti più importanti sono di Terna ed Enel, nel database del DOE sono riportate le caratteristiche e funzionalità degli impianti installati. Sono inoltre citati anche gli impianti annunciati da Terna basati su nuove tecnologie quali batterie a flusso e supercondensatori.

### Sviluppo della tecnologia

In Italia le principali aziende produttrici di accumulatori elettrochimici sono FZSonick, che produce batterie al piombo ed è il principale produttore mondiale di batterie sodio/cloruro di nichel, e FAAM (acquisita da FIB Srl, che è la detentrica del marchio, a sua volta integrata nel gruppo SERI SpA), che produce sia batterie al piombo che litio-ioni. Lithops Srl, che è stata recentemente acquisita da FAAM, rappresenta il primo sviluppatore e fornitore di tecnologie Li-Ione in Italia. Le sue batterie puntano sulla tecnologia ad alta potenza in quanto sono completamente ricaricate in meno di 5 minuti.

A queste si aggiungono numerosi "system integrator", che comprano celle elettrochimiche da altre aziende e realizzano sistemi di accumulo per varie applicazioni, ad esempio Loccioni Group, SAET SpA, Tecno-Lario SpA.

## ■ ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

Il Sistema Italiano di R&D nel campo delle tecnologie per l'accumulo elettrochimico di energia è principalmente concentrato nel settore pubblico (Università, CNR, ENEA). Molti eccellenti gruppi di ricerca e laboratori nazionali contribuiscono a questo specifico campo, ispirato soprattutto dalla pionieristica attività del Prof. Bruno Scrosati (Università di Roma La Sapienza, ora all'IIT). FZSonick produce batterie sodio/cloruro di nichel ed è impegnata nello sviluppo della tecnologia (nuove geometrie, miglioramento dei materiali, sistemi ibridi con supercondensatori), collaborando con diversi centri di ricerca nazionali quali RSE, ENEA e CNR. Gli stessi centri si occupano sia di caratterizzazione, diagnostica, integrazione in rete e ottimizzazione della gestione delle tecnologie esistenti (sviluppo di BMS innovativi), sia di ricerca di base sulle celle elettrochimiche (nuove geometrie, nuovi materiali elettrodici ed elettroliti), anche in collaborazione con gruppi di ricerca di varie università. A questi enti è affidata anche la "Ricerca di Sistema elettrico" un programma nazionale che prevede una serie di attività volte a ridurre i costi dell'elettricità per gli utenti finali, migliorare l'affidabilità del sistema e la qualità del servizio e garantire al paese le condizioni per uno sviluppo sostenibile.

## ■ BEST PRACTICES

Significativa è l'esperienza tedesca. Nel Maggio del 2013 la Germania ha introdotto un sistema di incentivi (25 milioni di euro) volto al supporto diretto di impianti fotovoltaici di piccola/media taglia (< 30 kW) che contenessero un sistema di ES elettrochimico [3]. In Italia l'esempio più significativo è costituito dagli impianti di Terna [8]: la società ha installato 35 MW (245 MWh) di batterie Na/S per applicazioni Energy Intensive, con lo scopo di risolvere le congestioni di rete e differire gli investimenti su linee con grande penetrazione di impianti eolici. Ulteriori 13 MW-19 MWh di impianti Power Intensive, realizzati con 5 diverse tipologie di batterie litio-ioni e due tecnologie di batterie sodio/cloruro di nichel sono stati installati in Sardegna e Sicilia, con varie funzioni tra cui la regolazione primaria. La regione Lombardia ha fornito incentivi per l'acquisto e la relativa installazione di sistemi di accumulo di energia elettrica prodotta da impianti solari fotovoltaici, sia collegati alla rete di distribuzione sia ad isola. I contributi sono stati concessi a fondo perduto fino al 50% delle spese sostenute per gli interventi, con un tetto massimo di 5.000 € per ogni intervento ammesso.

### BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] Alessandrini, F., Appetecchi, G.B., Conte, M. Report RdS/2010/233 ENEA-MSE, 2010.
- [2] Zhenguo Yang, Jianlu Zhang, Michael C. W. Kintner-Meyer, Xiaochuan Lu, Daiwon Choi, John P. Lemmon and Jun Liu. Electrochemical energy storage for green grid.. Chem. Rev. 2011, 111, 3577–3613
- [3] EUROBAT 2013 report - [http://www.eurobat.org/sites/default/files/eurobat\\_smartgrid\\_publication\\_may\\_2013\\_0.pdf](http://www.eurobat.org/sites/default/files/eurobat_smartgrid_publication_may_2013_0.pdf)
- [4] Arunachalam, V. S. Fleischer, E. L. MRS Bull. 2008, 33, 264
- [5] ECW Report Number 223-1 (2003) "Net energy balance and greenhouse gas emissions from renewable energy storage systems"
- [6] RSEview (2014) E...muoviti! Mobilità elettrica a sistema
- [7] Report, Smart Grid System e Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, U.S. Department of Energy, Washington, DC, 2009
- [8] TERNA, Rapporto Mensile sul Sistema Elettrico consuntivo Dicembre 2015