



L'integrazione dei sistemi di stoccaggio dell'energia nel sistema elettrico: prospettive e criticità

Dipartimento di Fisica dell'Università di Pisa

7 Giugno 2016

Juri Riccardi

Enel Ingegneria e Ricerca SpA

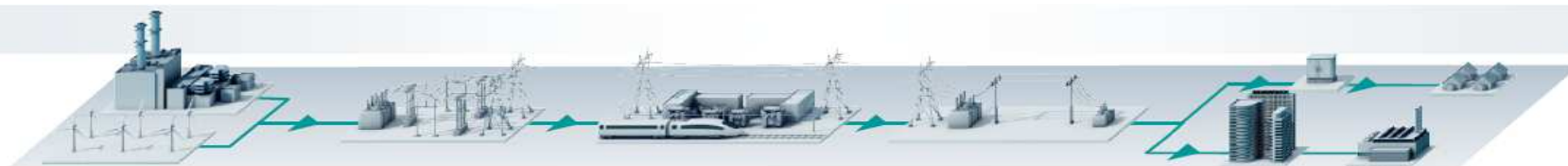


Indice



- Il Sistema Elettrico
- Il Mercato all'Ingrosso dell'Energia Elettrica
- Evoluzione del Sistema Elettrico
- Ruolo dei sistemi di accumulo nel Sistema Elettrico
- Le Tecnologie di Accumulo
- Impianti Dimostrativi

Il Sistema Elettrico



Modalità di funzionamento

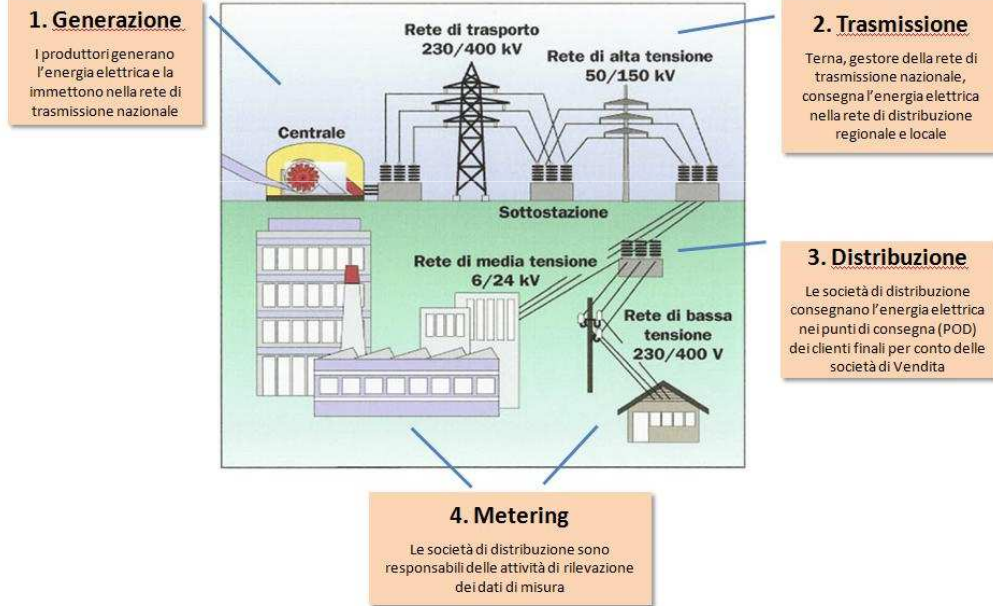
- ❑ Il carico preleva liberamente energia (e potenza) in qualunque istante (funzionamento ad inseguimento di carico).
- ❑ Il sistema deve essere sempre bilanciato: produzione esattamente uguale al carico richiesto in tempo reale (in pratica qualche secondo).

Specifiche di base

- Trifase a tensione costante (230V tra fase e neutro, 380V tra fase e fase).
- Tensione sinusoidale.
- Frequenza costante (sincrona a 50 Hz) ed uguale in grandi aree territoriali (Europa Occidentale, USA&Canada, Brasile, ecc.)

La Filiera del Sistema Elettrico

- Generazione
- Trasmissione / Dispacciamento
- Distribuzione, Misura e Vendita



La filiera elettrica prima della liberalizzazione (Monopolio)



La filiera elettrica dopo della liberalizzazione (Mercato Elettrico)



GENERAZIONE	VENDITA ALL'INGROSSO	TRASMISSIONE/DISPACCIAMENTO	DISTRIBUZIONE & MISURA	VENDITA AL DETTAGLIO
Enel 25,2%	Enel 27%	Terna 98,3%	Enel 86,2%	Enel 76,4%
Eni 8,5%	Acquirente Unico 17%	+ Municipalizzate, RFI e Produttori 1,7%	A2A 3,2%	Acea 3,6%
Edison 6,0%	Edison 13%	<i>Percentuali su km di rete</i>	Acea 4,6%	Eni 6,0%
E.On 4,6%	Acea 3%		Aem Torino 1,5%	Edison 4,6%
Erg 3,1%	Altre società senza vendita al dettaglio 18%		Hera 0,7%	A2A 3,1%
A2A 3,1%	Altre società con vendita al dettaglio 22%		+ Altri distributori 4,8%	Iren 3,1%
Iren 3,1%	<i>Percentuali sui volumi in acquisto</i>		<i>Percentuali sui volumi distribuiti ai clienti domestici</i>	Hera 3,1%
+ Altri Produttori 46,4%				Sorgenia 1,2%
				Gdf Suez 1,2%
				+ Altri Produttori 5,6%

Produzione lorda

■ Monopolio
■ Libera
■ Regolata

Regolazione e Controllo del Sistema Elettrico



Tipologie dei sistemi di regolazione e controllo

- Sistema di regolazione della frequenza
- Sistema di regolazione della tensione

Caratteristiche dei sistemi di regolazione e controllo

- ❑ Essere strettamente integrati
- ❑ Essere fortemente coordinati
- ❑ Avere velocità di risposta estremamente elevate
- ❑ Avere sensibilità e precisioni molto elevate
- ❑ Essere adeguatamente ridondanti

Un mancato bilanciamento tra produzione e carico si trasforma in una variazione della frequenza e/o della tensione

Sbilanciamento Produzione e Carico: estreme conseguenze



Italia 28 Settembre 2003

Regolazione della frequenza



TERNA (TSO) prevede opportuni margini di potenza degli impianti abilitati a salire o scendere di carico.

- Regolazione **Primaria** (locale e automatica)
- Regolazione **Secondaria** (centralizzata e automatica): fornisce l'intera banda entro 200s ed è erogata con continuità per almeno 2 ore
- Regolazione **Terziaria** (centralizzata e manuale): eroga la potenza richiesta entro 15 minuti, potenzialmente senza limitazioni di durata.

Regolazione **Primaria**

- Capacità di ciascun gruppo di variare in maniera autonoma la potenza erogata al variare della frequenza di rete.
- Ha tempi di intervento brevi (da alcune centinaia di ms ad alcuni secondi).
- Carattere locale e dipende dal tipo di gruppo.
- Al termine dell'intervento la frequenza del sistema è diversa rispetto a quella precedente alla perturbazione (errore a regime non nullo)

Regolazione **Secondaria**

- E' la capacità del sistema di variare la frequenza di rete variando la potenza erogata da alcuni gruppi con opportune caratteristiche (errore a regime nullo).
- La regolazione secondaria deve quindi:
 - Riportare la frequenza al valore nominale, ricostituendo così la riserva per la regolazione primaria;
 - Riportare gli scambi sulle interconnessioni ai valori contrattuali.

Regolazione **Terziaria**

- E' una qualsiasi variazione, tipicamente manuale, della potenza erogata dai gruppi al fine di:
 - Garantire un'opportuna riserva di regolazione secondaria (ricostituzione o adeguamento alle variazioni di carico);
 - Ripartire in maniera ottimale sui vari gruppi, sulla base di considerazioni economiche, le variazioni di potenza intervenute.

Regolazione della tensione



Le azioni di controllo possono essere sia di tipo locale che di tipo centralizzato. Secondo tale criterio la regolazione delle tensioni e delle potenze reattive si suddivide in tre livelli:

- Regolazione primaria di tensione
- Regolazione secondaria di tensione
- Regolazione terziaria di tensione

Regolazione **Primaria**

- La regolazione primaria di tensione è di tipo locale, effettuata mediante i regolatori di tensione dei gruppi di generazione, i variatori sotto carico dei trasformatori, l'inserzione di dispositivi statici (condensatori, induttanze, SVC, ecc.); tutti questi dispositivi sono sensibili alla tensione a livello locale (ai morsetti di macchina, sulle sbarre AT, MT, BT);
- Tale regolazione viene effettuata in maniera automatica.

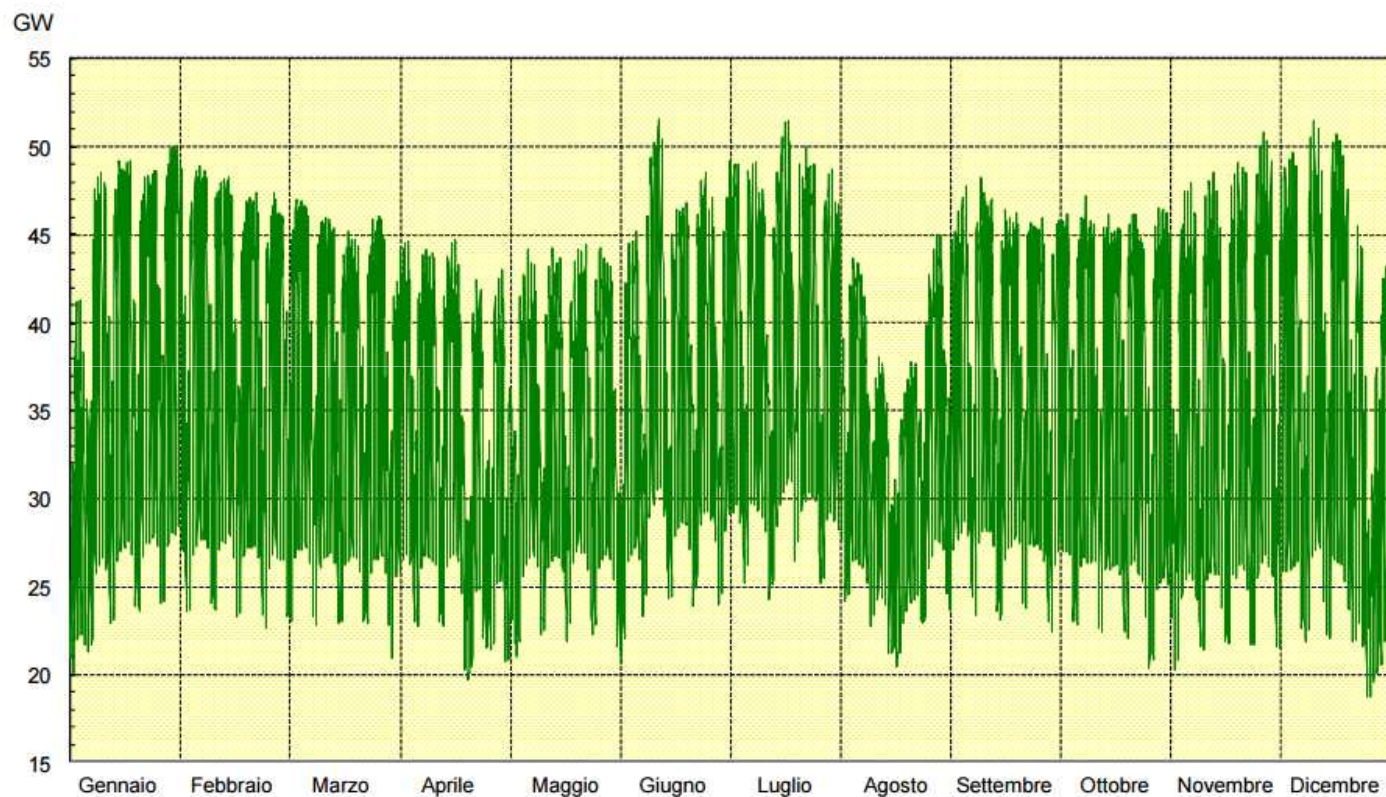
Regolazione **Secondaria**

- La regolazione secondaria di tensione è di tipo centralizzato ad aree, effettuata variando i riferimenti di tensione dei regolatori al fine di mantenere il più costante possibile il livello di tensione in alcuni nodi della rete di particolare importanza (nodi pilota);
- Tale operazione può essere effettuata anche con altre funzioni obiettivo (minimizzazione delle perdite in rete, minimizzazione della potenza reattiva prodotta dai gruppi, ecc.);
- Tale regolazione viene effettuata in maniera automatica

Regolazione **Terziaria**

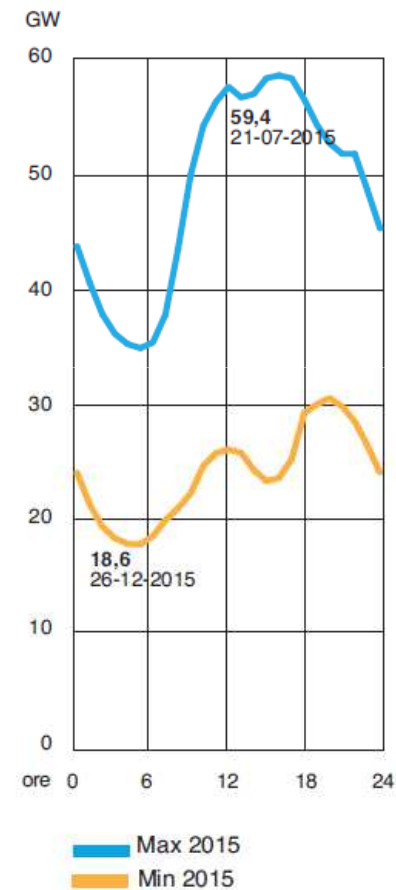
- La regolazione terziaria di tensione è di tipo centralizzato, effettuata tramite elaborazione (simulazione) con il compito di definire il profilo di tensione di tutta la rete;
- Tale profilo rappresenta il riferimento per la regolazione secondaria;

Alcuni dati sul Sistema Elettrico Italiano

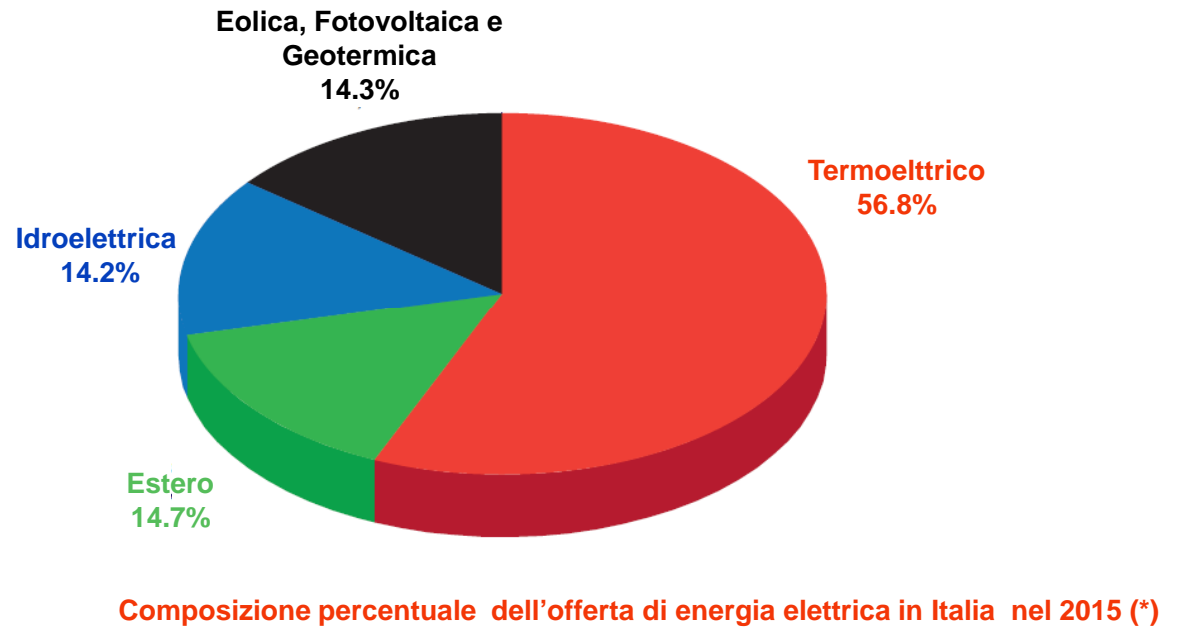
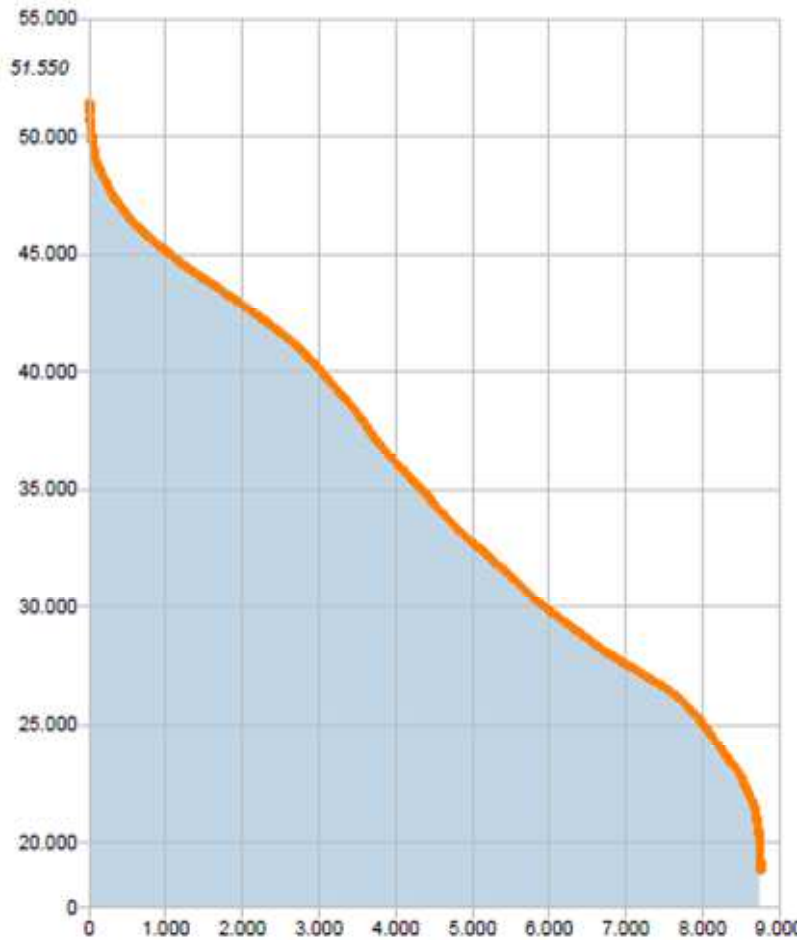


Curva Cronologica della **potenza** oraria nel 2014 (assorbimento al netto del pompaggio)

Carico Elettrico Giornaliero



Alcuni dati del Sistema Elettrico



Curva di durata della potenza oraria richiesta sulla rete italiana nel 2014 (*)

(*) Fonte TERNA

Indice



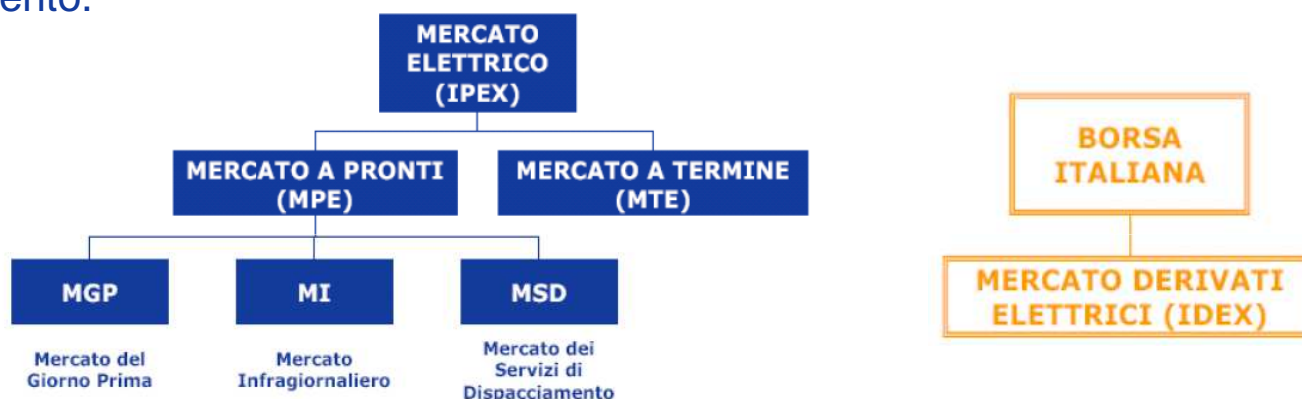
- Il Sistema Elettrico
- Il Mercato all'Ingrosso dell'Energia Elettrica
- Evoluzione del Sistema Elettrico
- Ruolo dei sistemi di accumulo nel Sistema Elettrico
- Le Tecnologie di Accumulo: capabilities e gaps
- Impianti Dimostrativi

Mercato Elettrico all'Ingrosso – IPEX Italian Power Exchange

D.lgs. n. 79/99 (Direttiva 96/92/CE)



- Promuove, secondo criteri di **neutralità**, **trasparenza** ed **obiettività**, la competizione nelle attività di **produzione** e di **compravendita** di energia elettrica attraverso la creazione di una “piazza del mercato”;
- Assicurare la **gestione economica** di una **adeguata disponibilità** dei servizi di dispacciamento.



	MGP	MI1	MI2	MSD1	MB1	MB2	MI3	MSD2	MB3	MI4	MSD3	MB4	MB5
Giorno di riferimento	D-1				D								
Informazioni preliminari	08.45	12.30	14.40	n.d.	n.d.	n.d.	07.30	n.d.	n.d.	11.45	n.d.	n.d.	n.d.
Apertura seduta	08.00**	10.45	10.45	15.10	°	22.30*	16.00*	°	22.30*	16.00*	°	22.30*	22.30*
Chiusura seduta	09.15	12.30	14.40	16.40	°	05.00	07.30	°	11.00	11.45	°	15.00	21.00
Esiti generali	10.30°°	12.55	15.05	20.30	##	##	07.55	9.50	##	12.10	14.05	##	##
Esiti individuali	10.45	13.00	15.10	20.40	#	#	08.00	10.00	#	12.15	14.15	#	#

Mercato Elettrico all'Ingrosso



Mercato del Giorno Prima (MGP)

Sul MGP si scambiano blocchi orari di energia per il giorno successivo. Gli operatori partecipano presentando offerte nelle quali indicano la quantità ed il prezzo massimo/minimo al quale sono disposti ad acquistare/vendere. La seduta del MGP si apre alle ore 8.00 del nono giorno antecedente il giorno di consegna e si chiude alle ore 12.00 del giorno precedente il giorno di consegna. Gli esiti del MGP vengono comunicati entro le ore 12.55 del giorno precedente il giorno di consegna. Le offerte sono accettate dopo la chiusura della seduta di mercato, sulla base del merito economico e nel rispetto dei limiti di transito tra le zone. MGP è quindi un mercato d'asta e non un mercato a contrattazione continua.

Mercato Infragiornaliero (MI)

Il **Mercato Infragiornaliero (MI)** consente agli operatori di apportare modifiche ai programmi definiti nel MGP attraverso ulteriori offerte di acquisto o vendita. Il MI si svolge in cinque sessioni: MI1, MI2, MI3, MI4 e MI5

Mercato dei Servizi di Dispacciamento (MSD)

Il **Mercato per il Servizio di Dispacciamento (MSD)** è lo strumento attraverso il quale Terna S.p.A. si approvvigiona delle risorse necessarie alla gestione e al controllo del sistema (risoluzione delle congestioni intrazonali, creazione della riserva di energia, bilanciamento in tempo reale). Sul MSD Terna agisce come controparte centrale e le offerte accettate vengono remunerate al prezzo presentato (pay-as-bid).

Il MSD si articola in fase di programmazione (MSD ex-ante) e Mercato del Bilanciamento (MB). Il MSD ex-ante e MB si svolge in più sessioni, secondo quanto previsto nella disciplina del dispacciamento.

Mercato Elettrico a Termine (MTE)

Il **Mercato Elettrico a Termine** (mercato dell'energia) è la sede per la negoziazione di contratti a termine dell'energia elettrica con obbligo di consegna e ritiro. Esso consente di negoziare energia elettrica su orizzonti temporali più estesi rispetto a quelli giornalieri. Su MTE sono automaticamente ammessi tutti gli operatori del mercato elettrico. Le negoziazioni su MTE si svolgono in modalità continua.

Consegna Derivati Energia

CDE è la Piattaforma dove vengono eseguiti i contratti sui derivati fisici/finanziari dell'energia elettrica conclusi sull'IDEX (options, futures, ecc.). L' IDEX è il mercato di Borsa italiana dedicato all'energia elettrica che quota giornalmente diversi contratti sia per le fasce di picco sia per quelle di base.

Gli Attori del Mercato Elettrico all'Ingresso



GESTORE SERVIZI ENERGETICI (GSE)

Il **Gestore dei Servizi Energetici (GSE)**, la holding pubblica che sostiene lo sviluppo delle fonti rinnovabili mediante la gestione ed erogazione dei relativi meccanismi di incentivazione;

GESTORE MERCATI ENERGETICI (GME)

Il **Gestore dei Mercati Energetici (GME)**, che organizza e gestisce il mercato energetico, secondo criteri di neutralità, trasparenza, obiettività, nonché di concorrenza tra produttori.

GESTORE DELLA RETE DI TRASMISSIONE (TSO)

Terna S.p.A., è il TSO (Transmission System Operator) che gestisce in sicurezza la rete di trasmissione nazionale e i flussi di energia elettrica attraverso il dispacciamento, bilanciando, cioè, l'offerta e la domanda di energia 365 giorni l'anno, 24 ore al giorno

ACQUIRENTE UNICO (AU)

All'**Acquirente Unico (AU)** è affidato il ruolo di garante della fornitura dell'energia elettrica nell'ambito del servizio di maggiore tutela e di salvaguardia di cui al Decreto-legge 18 giugno 2007,

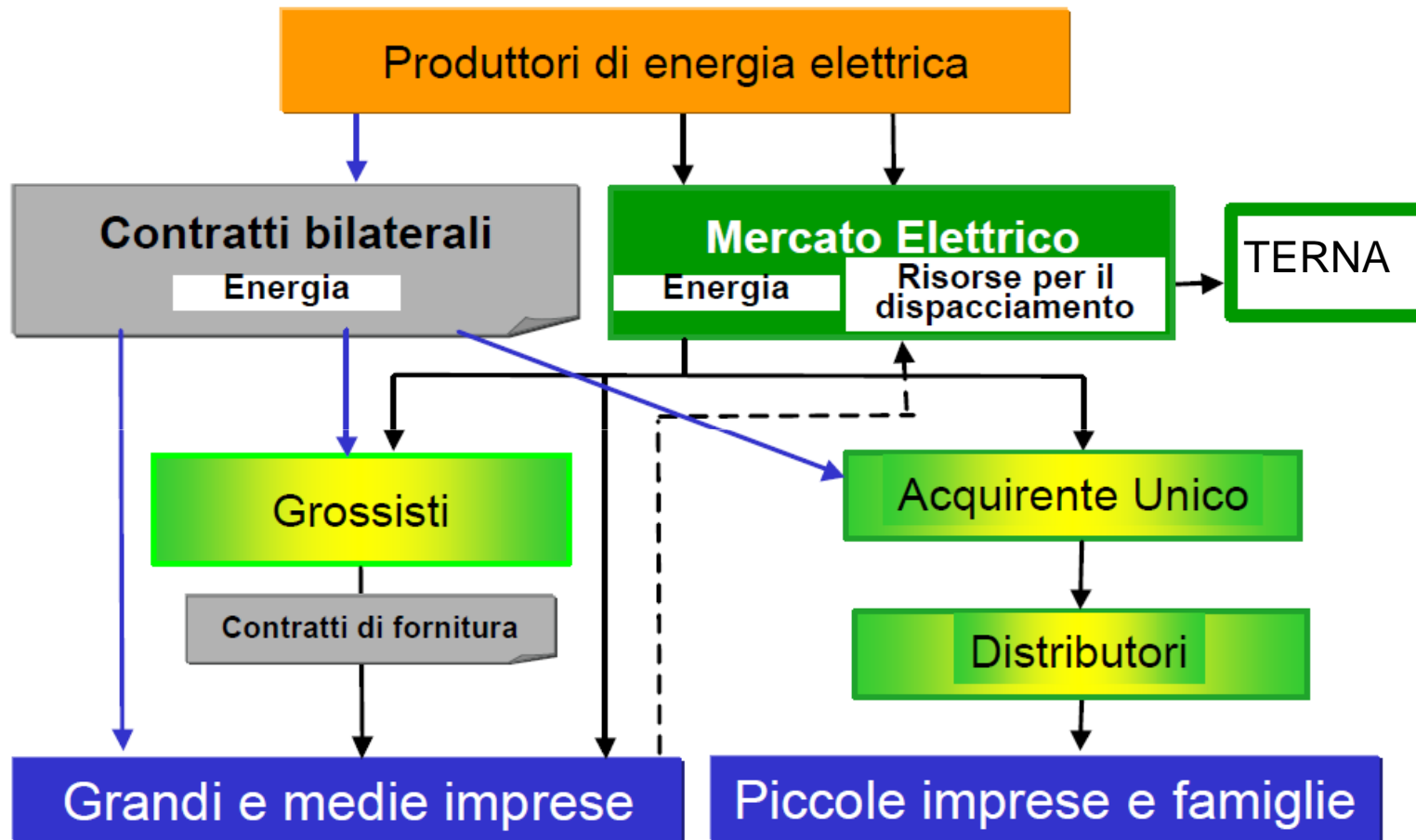
AUTORITA' ENERGIA ELETTRICA E GAS (AEEG)

L'**Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas (AEEG)**, che garantisce la promozione della concorrenza e dell'efficienza nei settori dell'energia elettrica e del gas, con funzioni di regolazione e controllo Unico (AU), a cui è affidato il ruolo di garante della fornitura dell'energia elettrica nell'ambito del servizio di maggiore tutela e di salvaguardia di cui al Decreto-legge 18 giugno 2007,

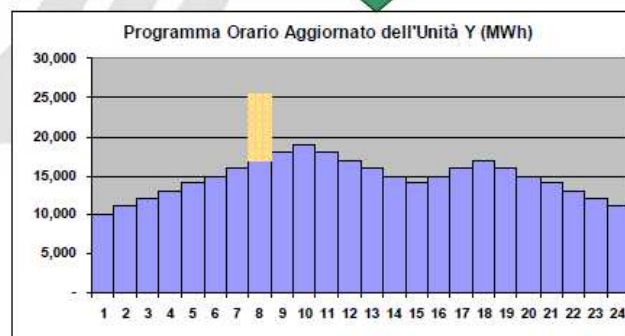
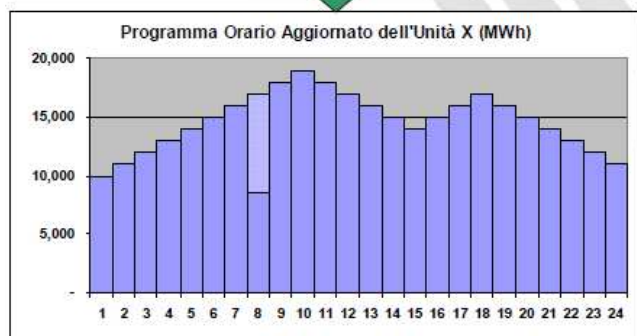
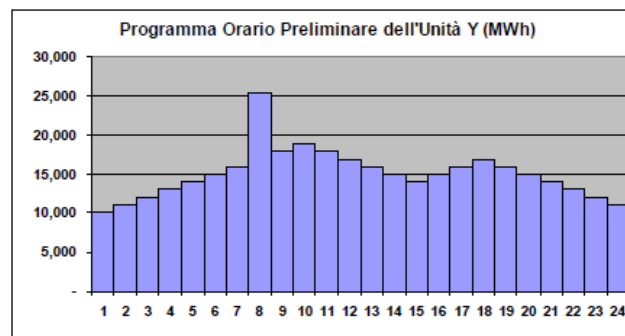
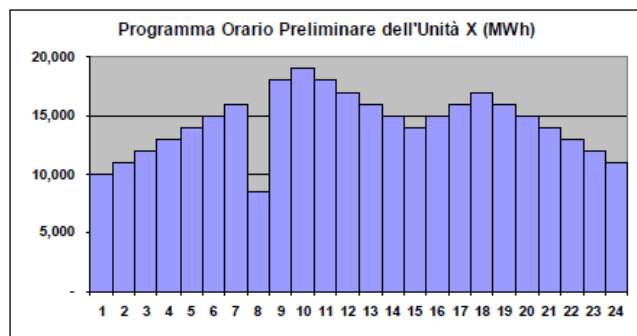
GROSSITI/ CONTRATTI OTC (Over the Counter)

Soggetti responsabili degli impianti di produzione di energia elettrica possono decidere di cedere l'energia elettrica prodotta e immessa in rete direttamente sul mercato libero ma, anziché farlo sulla *Borsa Elettrica* con il suo sistema di offerte regolamentate, piazzarla sul cosiddetto "**mercato over-the-counter**" (OTC) - cioè al di fuori del mercato organizzato e standardizzato - attraverso un *contratto bilaterale* con un trader/grossista di energia elettrica, a un prezzo di cessione direttamente negoziato con tale soggetto, il quale provvede a regolare con Terna S.p.A. tutti i corrispettivi derivanti dal servizio di "dispacciamento" dell'energia.

Mercato Elettrico – Assetto Organizzativo



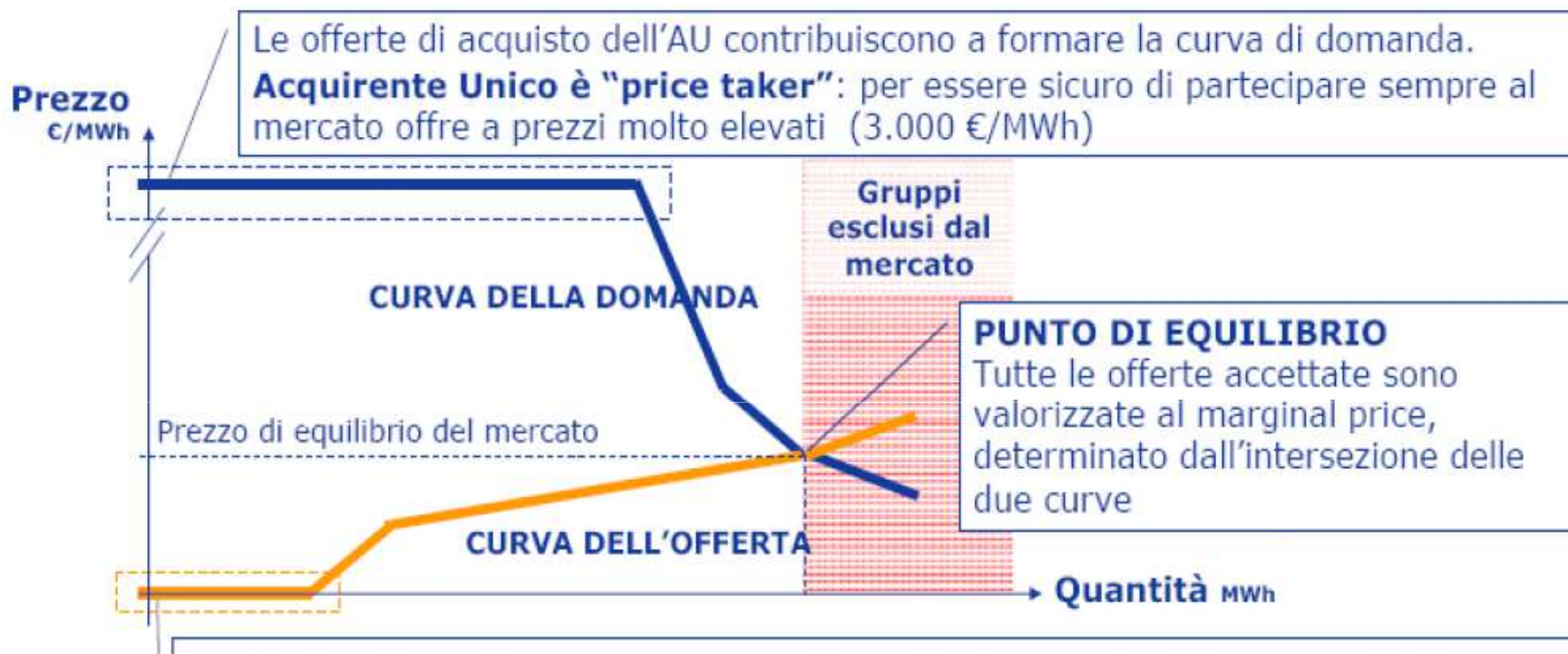
Mercato Infragionaliero o di Aggiustamento



Le Zone del Mercato Elettrico

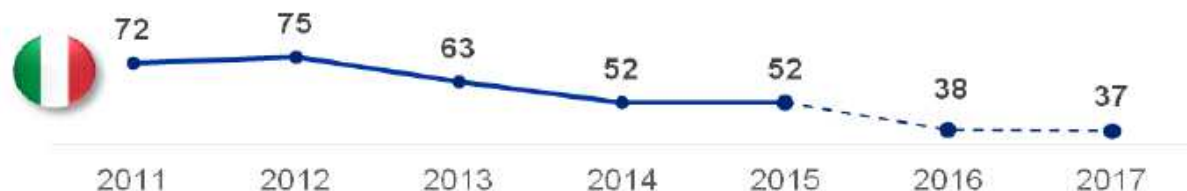


Mercato Elettrico- Sistema del Prezzo Marginale



Anche i contratti bilaterali sono registrati sul mercato: GME deve infatti considerare le quantità fisiche scambiate tramite contratti bilaterali, per valorizzare correttamente le congestioni della rete di trasmissione. La partecipazione di tali quantità alla curva dell'offerta è assicurata la partecipazione al mercato con il prezzo convenzionale di zero (0 €/MWh)

Prezzi Base per le varie Borse Europee



sintesi annuale - prezzo medio (€/MWh)

periodo	IPEX	EPEX Germania	Nord Pool	OMEL	EPEX Francia
anno 2004 *	51,60	28,52	28,91	27,93	28,13
anno 2005	58,59	45,97	29,33	53,67	46,67
anno 2006	74,75	50,78	48,59	50,53	49,29
anno 2007	70,99	37,99	27,93	39,35	40,88
anno 2008	86,99	65,76	44,73	64,44	69,15
anno 2009	63,72	38,85	35,02	36,96	43,01
anno 2010	64,12	44,49	53,06	37,01	47,50
anno 2011	72,23	51,12	47,05	49,93	48,89
anno 2012	75,48	42,60	31,20	47,23	46,94
anno 2013	62,99	37,78	38,35	44,26	43,24
anno 2014	52,08	32,76	29,61	42,13	34,63

Fonte Thomson Reuters

* I dati sono relativi ai nove mesi dal 01/04/2004 al 31/12/2004

Mercato Elettrico – Prezzi al Consumo



Tipo utente	Consumo annuo	Italia [€/MWh]	Francia [€/MWh]	Germania [€/MWh]	Regno Unito [€/MWh]	Spagna [€/MWh]	Media EU-27 [€/MWh]	Differenza % [(Italia-UE)/UE]
Domestico base	2,5 MWh	198	175	317	193	241	214	-7,48%
Domestico medi consumi	3,5 MWh	231	153	292	177	215	200	+15,5%
Domestico alti consumi	7 MWh	288	141	278	161	194	192	+50,0%
Piccola impresa	100 MWh	233	131	217	160	184	176	+32,4%
Media impresa	da 500 MWh a 2 GWh	197	108	189	129	147	148	+33,1%
Energivoro	5 GWh	176	94	170	128	129	132	+33,3%
Grande energivoro	>20 GWh	148	85	152	121	105	118	+25,4%

Con l'eccezione degli **utenti domestici** con bassi consumi, per tutte le fasce di consumo il prezzo italiano **supera tipicamente** del 30% quello medio UE (*)

(*) Fonte RSE Studio sul Eistema Elettrico

Indice



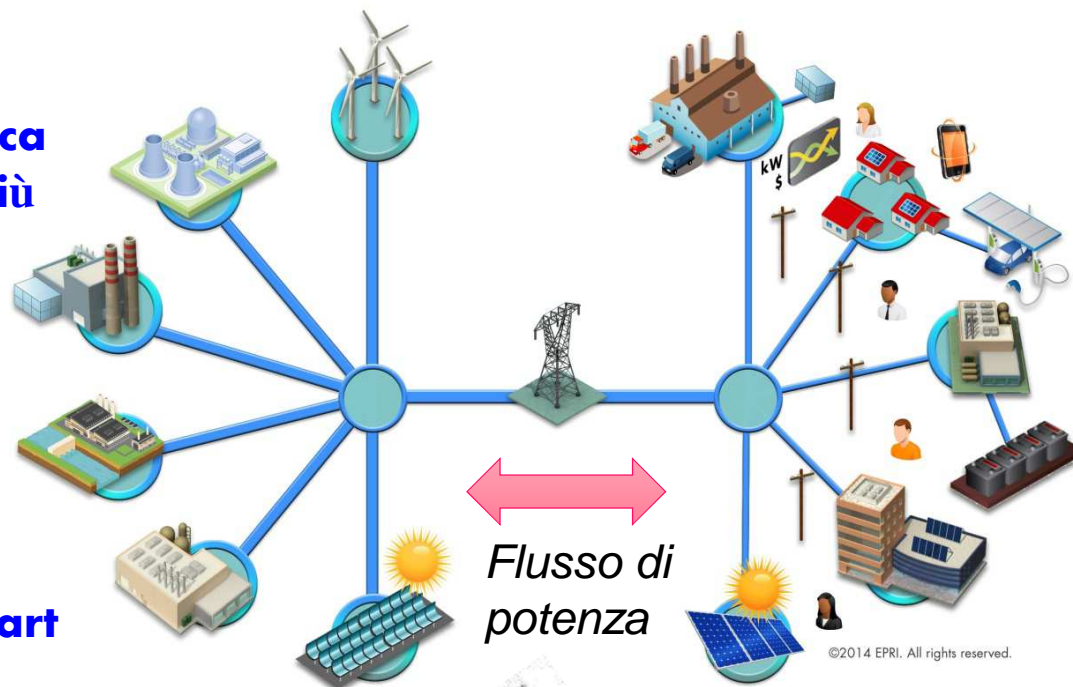
- Il Sistema Elettrico
- Il Mercato all'Ingrosso dell'Energia Elettrica
- Evoluzione del Sistema Elettrico
- Ruolo dei sistemi di accumulo nel Sistema Elettrico
- Le Tecnologie di Accumulo
- Impianti Dimostrativi

Evoluzione del Sistema Elettrico



Gli Impianti di generazione termica diventano molto più flessibili

La rete diventa smart



I consumatori di energia diventeranno anche produttori

La domanda di Elettricità può essere controllata dinamicamente

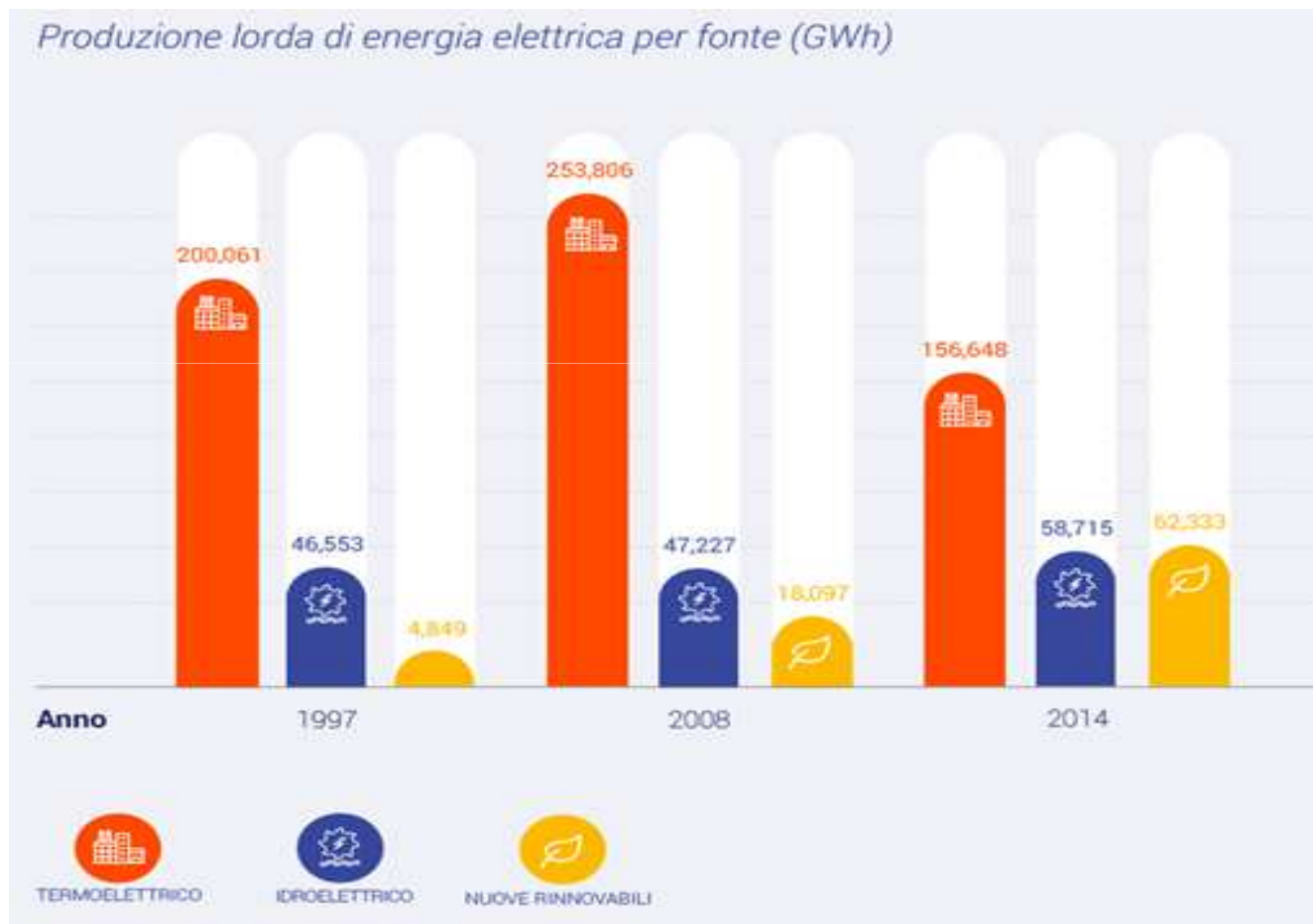
Tutti gli operatori necessitano di sistemi di accumulo

Evoluzione dei consumi nel Sistema Elettrico

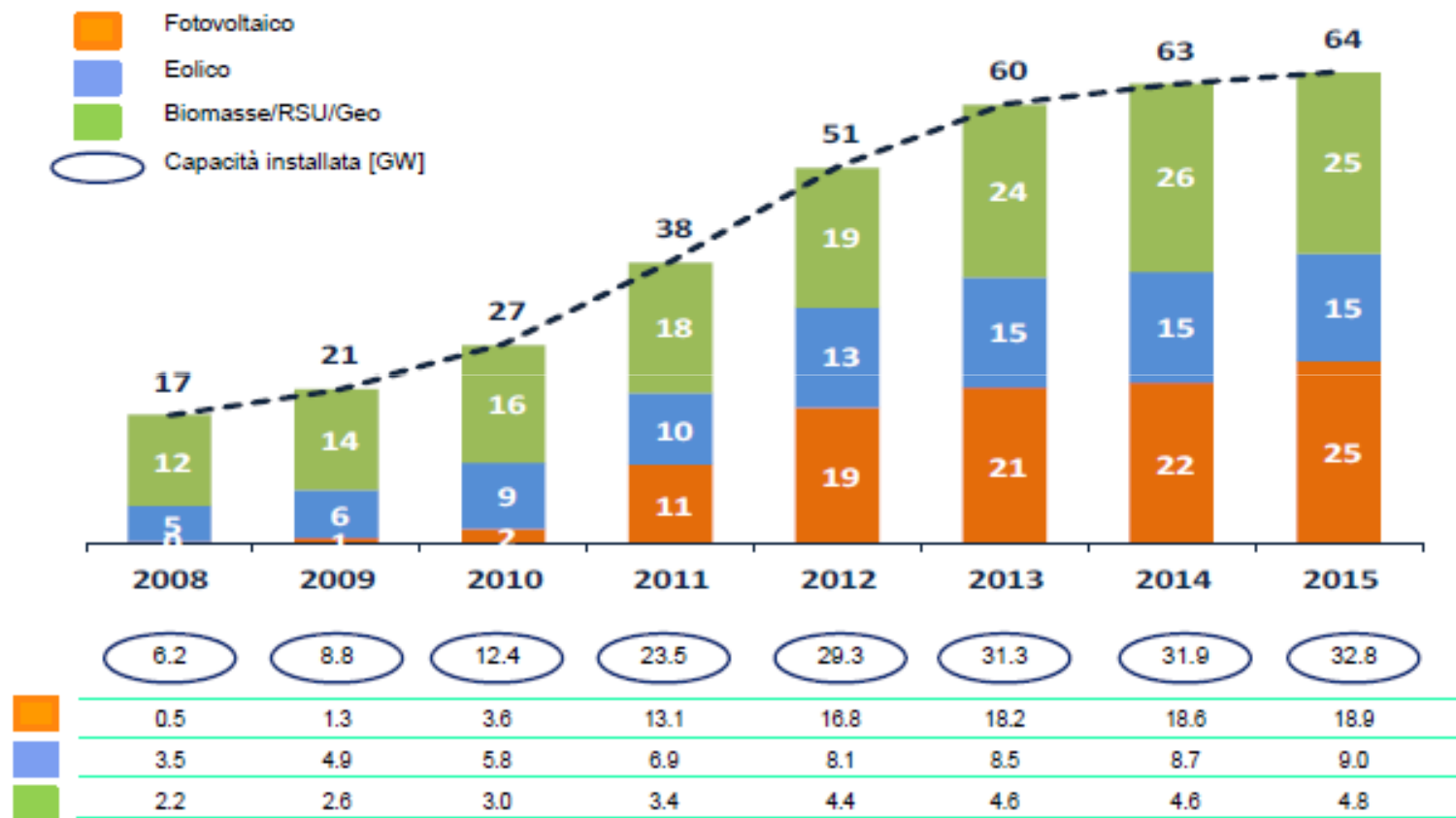


Evoluzione del Mixing di Generazione

Meno termoelettrico più rinnovabili



Evoluzione delle Rinnovabili [TWh]



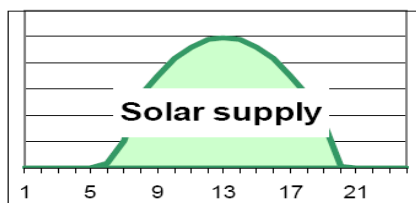
(*) Dal 2008 al 2014 dati TERNA, 2015 dati provvisori TERNA

Aleatorietà e Variabilità della Fonte Rinnovabile

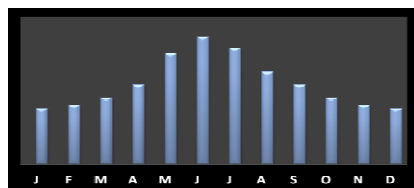


Tipologie di fluttuazione

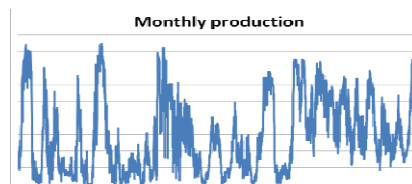
Notte - giorno
(PV)



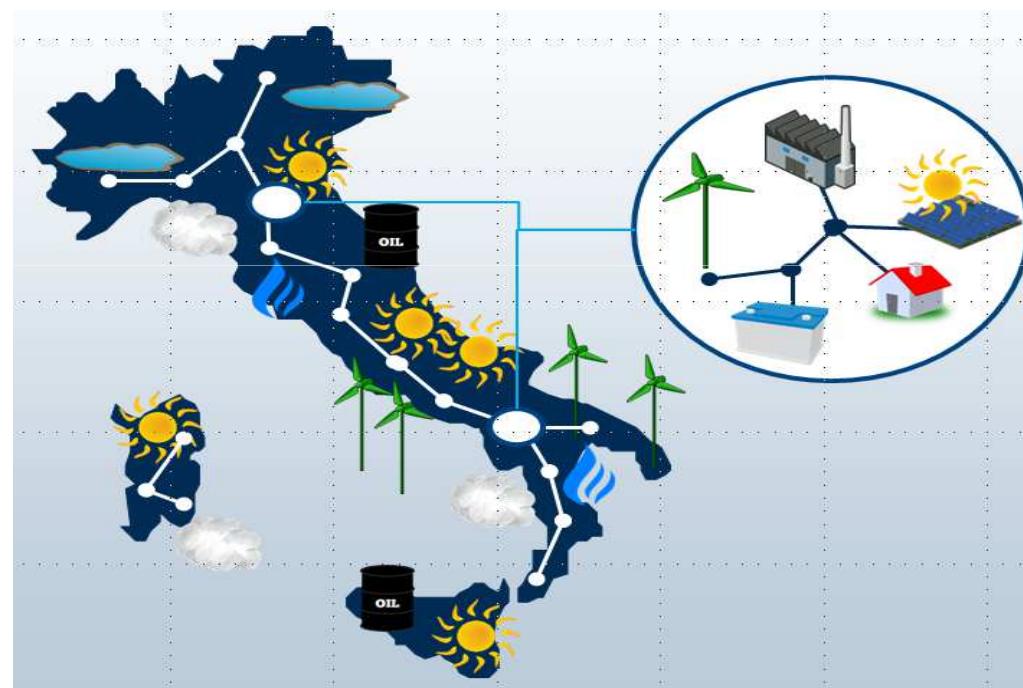
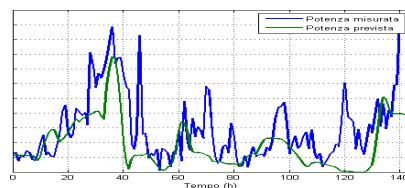
Stagionali
(clima)



Giornaliere



Orarie



Impatto delle Rinnovabili sul Sistema Elettrico

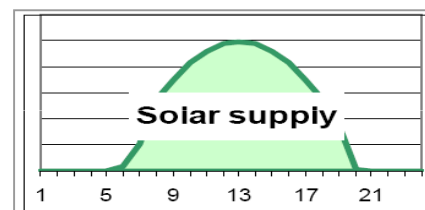
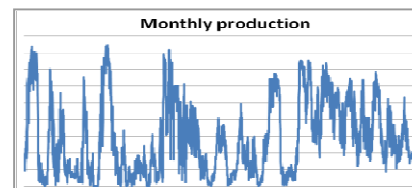


Esercizio della rete:

- Problemi di bilanciamento tra generazione e carico
- Possibili violazioni dei vincoli di tensione
- Superamento dei vincoli operativi di rete
- Impatto sulla regolazione della frequenza
- Oscillazioni tra aree contigue
- Incremento delle interruzioni servizi
- Inversione dei flussi di potenza

Impianti termici di generazione:

- Aumento delle ore a carico parziale
- Requisiti dinamici più stringenti
- Impianti di base meno impiegati



Evoluzione del Consumatore: la Smart Home



- Collegamento a rete pubblica (Acquisto e Vendita)
- Generazione locale di energia rinnovabile (autoconsumo, vendita)
- Accumulo locale di energia (carica / scarica, neutro)
- Ricarica del veicolo elettrico (carica, scarica, neutro)
- Collegamento di carichi elettrici (**demand/response**)



Indice



- Il Sistema Elettrico
- Il Mercato all'Ingrosso dell'Energia Elettrica
- Evoluzione del Sistema Elettrico
- Ruolo dei sistemi di accumulo nel Sistema Elettrico
- Le Tecnologie di Accumulo
- Impianti Dimostrativi

Ruolo Strategico dei Sistemi di Accumulo



Servizi Ancillari alla Rete

- Regolazione di frequenza e di tensione
- Inseguimento del carico
- Black start

Energy Timeshift

- Price Arbitrage
- Peak Shaving

Supporto alla Trasmissione & Distribuzione

- Congestione delle reti

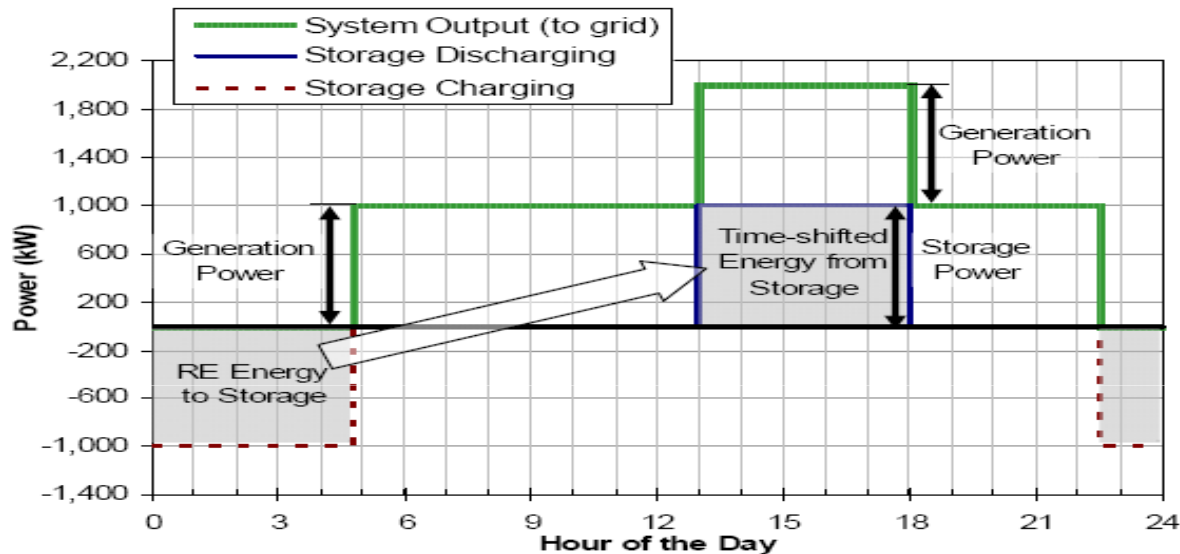
Integrazione con RES

- Smussamento delle fluttuazioni
- Garanzia della previsione
- Limitazione della decurtazione
- Energy Timeshift

Gestione dei carichi domestici

- Energy/demand management

Price Arbitrage



Price Arbitrage → ottimizzazione dello sfruttamento della differenza di prezzo del kWh elettrico in base alle fasce orarie di vendita. Un sistema di accumulo, opportunamente programmato, può effettuare automaticamente il price arbitrage: nell'ipotesi di una sensibile differenza di prezzo dell'energia in base alle fasce orarie, si può utilizzare un sistema di accumulo per immagazzinare l'energia nelle ore off-peak e rivenderla nelle ore on-peak

Condizione di economicità del servizio

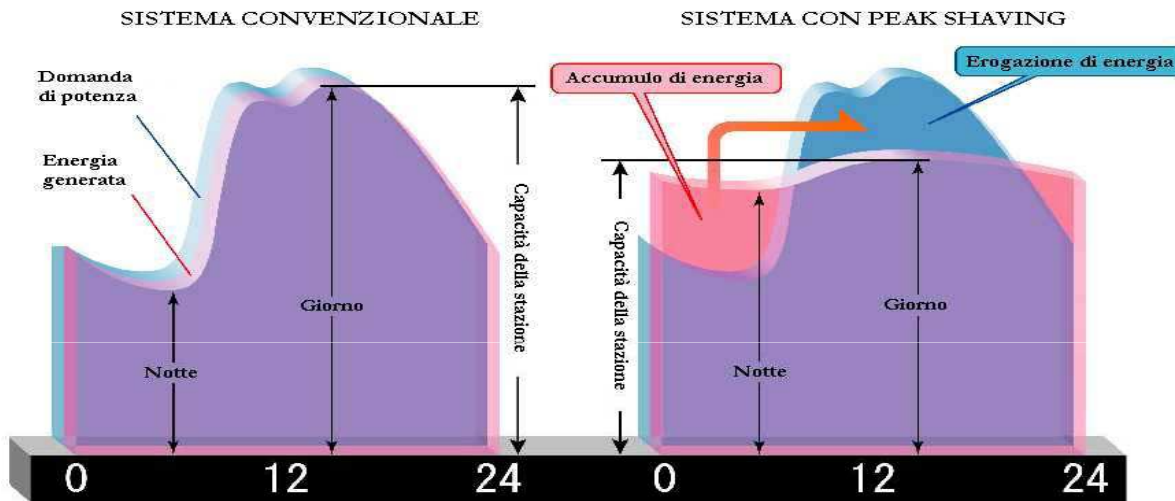
$$\frac{\text{Prezzo di acquisto dell' energia}}{\text{Prezzo di vendita dell' energia}} < \text{Rendimento del sistema di accumulo}$$

Peak Shaving



Peak Shaving → Eliminazione dei picchi di potenza più elevati attraverso l'utilizzo di un sistema di accumulo,

Un sistema di accumulo, opportunamente programmato, può effettuare automaticamente il peak-shaving. Il sistema per peak-shaving consente pertanto di stipulare con l'ente regolatore un contratto, economicamente più vantaggioso, con una potenza di picco richiesta inferiore, essendo il sistema di accumulo in grado di fornire l'integrazione alla potenza richiesta dai carichi al di sopra del livello massimo stabilito dagli accordi con l'ente regolatore.



Integrazione con le Rinnovabili



Garanzia della previsione

- Minimizzazione degli **errori di previsione** nella definizione dei programmi di produzione, ai fini della vendita in Borsa elettrica (MGP)
- **i sistemi di accumulo possono essere utilizzati per correggere gli errori di previsione di produzione ed evitare i costi connessi agli sbilanciamenti**

Limitazione della decurtazione (curtailement)

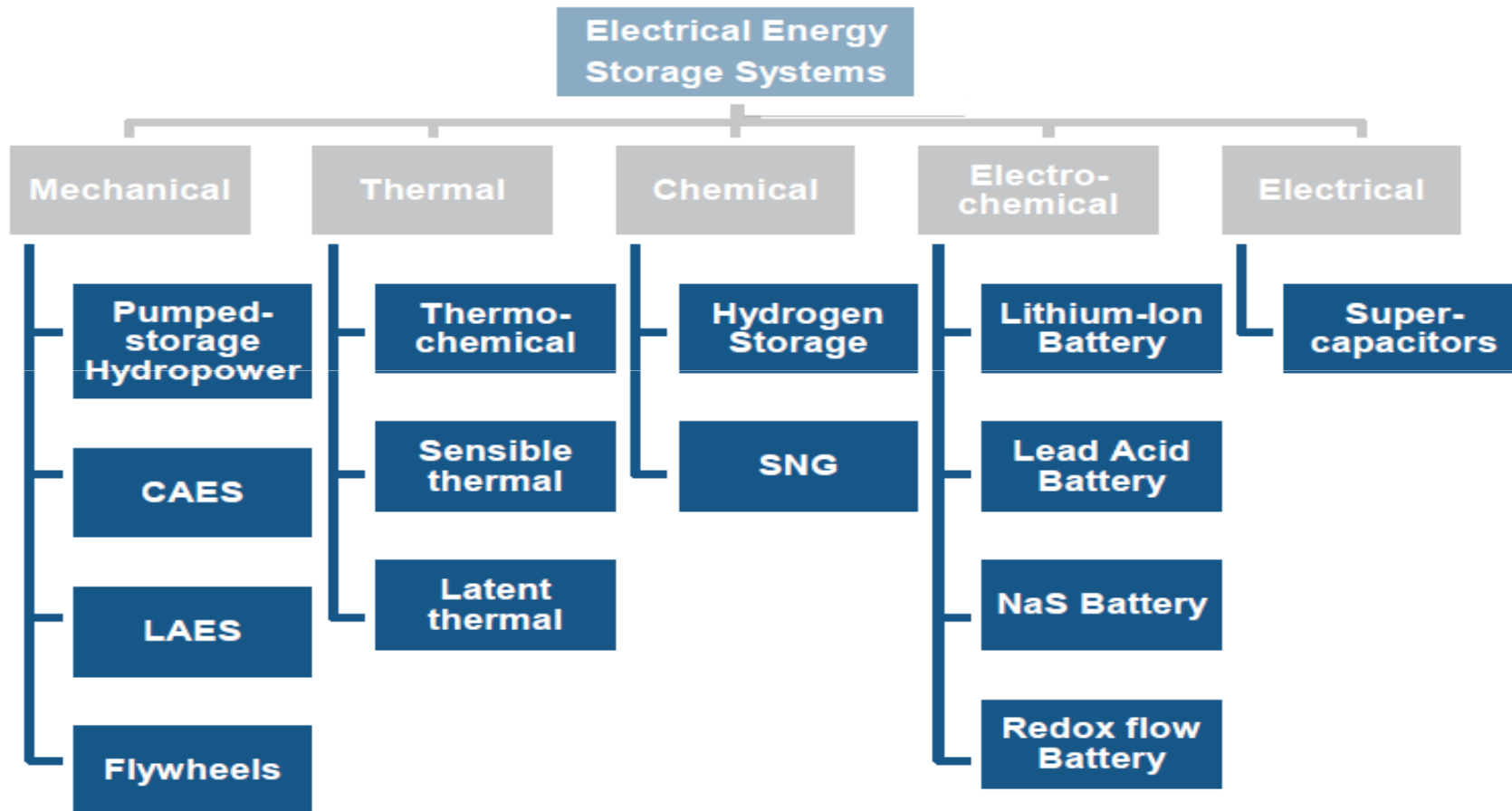
- Mitigazione del **derating** di produzione da fonte rinnovabile imposto dal gestore di rete a causa di problemi di congestione o in caso di vincoli di trasmissione
- **I sistemi di accumulo possono essere utilizzati per immagazzinare l'energia prodotta che altrimenti verrebbe persa, minimizzando le perdite di energia**

Indice



- Il sistema Elettrico
- Il mercato dell'Energia Elettrica
- Evoluzione del Sistema elettrico
- Ruolo dei sistemi di accumulo Sistema Elettrico
- Le diverse Tecnologie di accumulo
- Impianti dimostrativi

Tassonomia dei Sistemi di Accumulo (I)

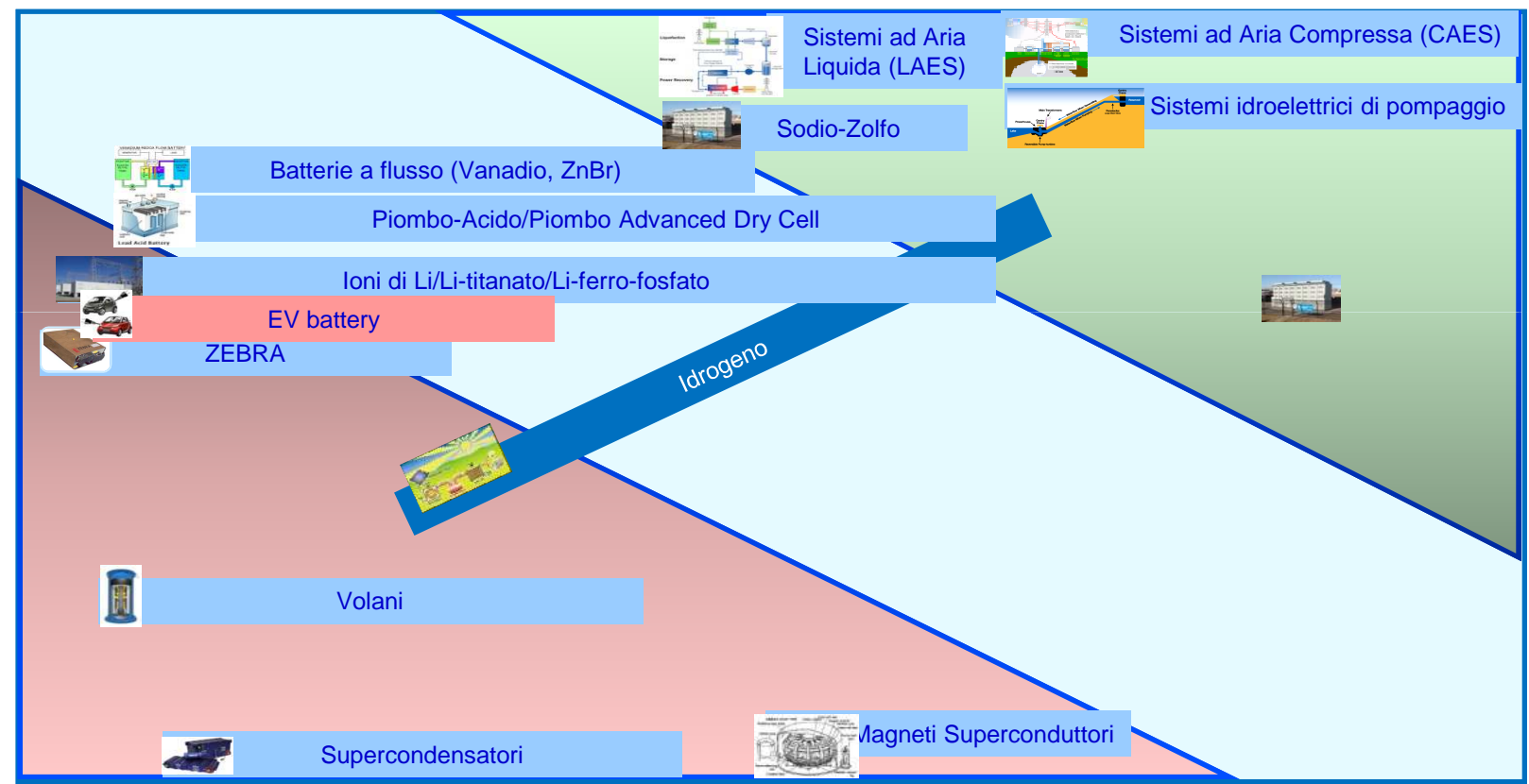


Tassonomia dei Sistemi di Accumulo dell'Energia (II)



Tempo/Energia

Ore
Minuti
Secondi



1 kW 10 kW 100 kW 1 MW 10 MW 100 MW 1 GW

Potenza

Taglie in potenza

Power Quality
Gestione di brevi ed improvvise variazioni o interruzioni nella fornitura, al fine di garantire la qualità della potenza immessa in rete.

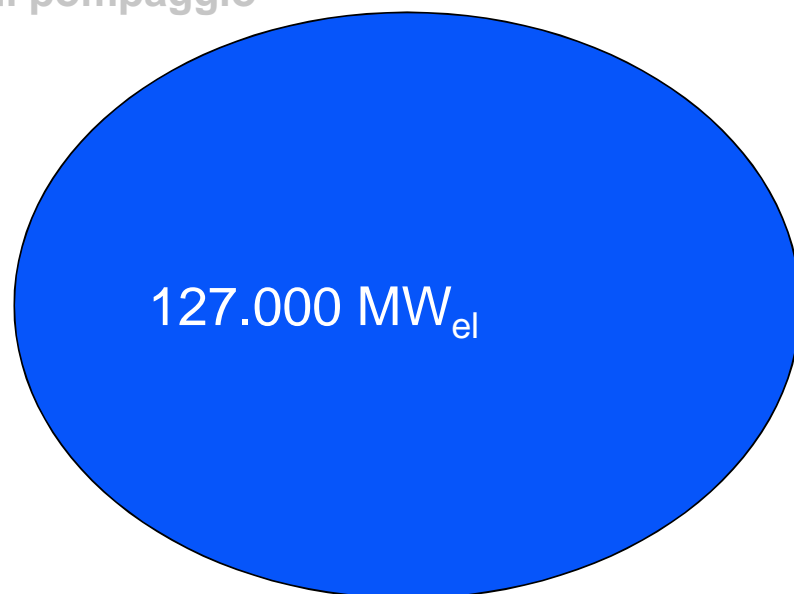
Bridging Power
Energia che deve essere fornita fino a minuti per garantire la continuità del servizio durante il passaggio da una sorgente di energia ad un'altra, ossia assicurare la continuità nella fornitura, quando essa viene erogata da fonti di generazione con velocità di risposta differenti.

Energy Management
L'accumulo è usato per spostare temporalmente la generazione e il consumo di energia elettrica (es. load shifting).

Capacità di Accumulo installata al mondo



Impianti di pompaggio



Accumulo energia ad aria compressa- **440 MW**



Batteria solfuro di sodio
316 MW



Batteria agli ioni di litio
~ 300 MW



Batteria Nickel-Cadmium
27 MW



Volani
<25 MW



Batteria al piombo
~ 35 MW

• Batteria Redox
< 3 MW

Oltre il 99% della capacità totale installata è costituito da impianti di pompaggio

Confronto tra i Sistemi di Accumulo e loro Applicazioni



APPLICAZIONE	Idro	CAES	Na/S	Na/NiCl	Li/ion	Ni/Cd	Ni/MH	Pb/acido	Redox	Volani	SC
Time-shift	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Integrazione rinnovabili (Profilo prevedibile)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Differimento investimenti rete	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Regolazione primaria	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Regolazione secondaria	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Regolazione terziaria (Riserva pronta)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Riaccensione sistema elettrico	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Supporto di tensione	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Qualità del servizio (power quality)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● Sistema adatto all'applicazione

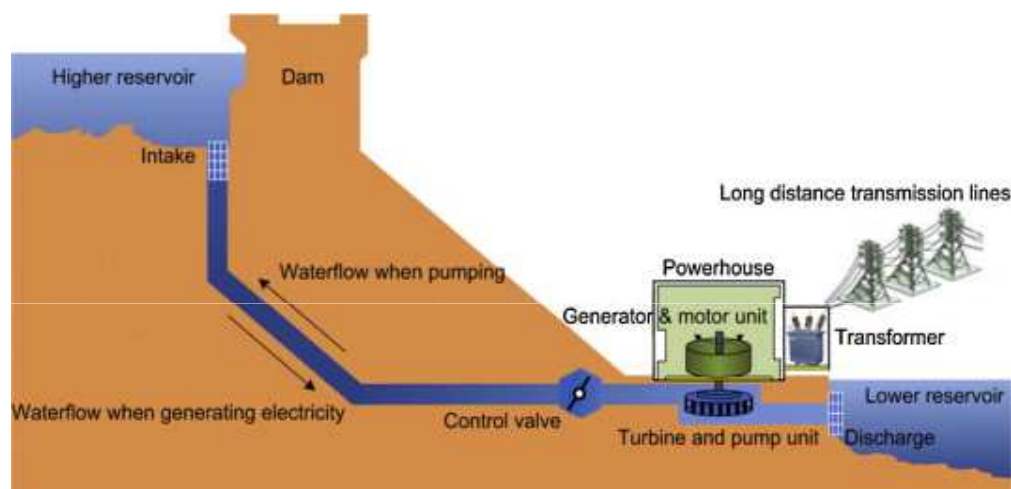
● Sistema meno adatto degli altri all'applicazione

● Sistema non adatto all'applicazione

Sistemi di accumulo Meccanici



Sistemi idroelettrici di pompaggio



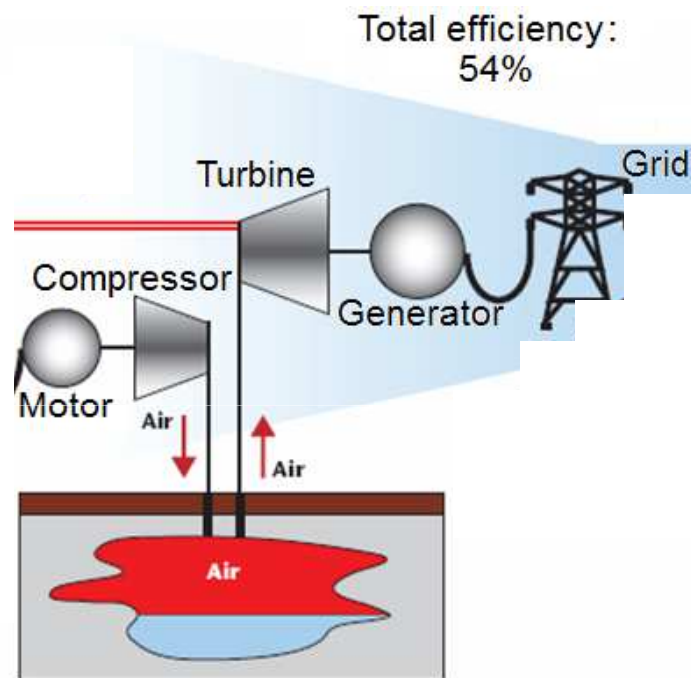
Meccanismo di funzionamento

L'impianto si compone di 2 bacini posizionati a diversa altezza ed uniti tra loro tramite un canale. Durante le ore di bassa domanda (tipicamente notturne), l'energia in eccesso viene impiegata per pompare l'acqua dal bacino inferiore a quello superiore, tramite l'impiego di una turbina reversibile. Durante le fasi di picco della domanda (in genere, durante il giorno), l'acqua accumulata nel bacino superiore viene rilasciata verso quello inferiore, azionando nuovamente la turbina di generazione.

Fase di sviluppo	Capacità	Vita operativa	Tempi di risposta	Durata fornitura	Efficienza	Ulteriori considerazioni
Matura	Da 100 MW a 4 GW	> 30 anni	5 min	Dipendente dal sito	76-85%	<ul style="list-style-type: none">• Possibilità di impiego su grande scala (<i>bulk power management</i>)• 127 GW installati nel mondo• Limitata disponibilità di siti ad-hoc• Possibile impatto socio-ambientale• Elevati investimenti e tempi di costruzione

Pro
Contro

Sistemi Meccanici – Aria Compressa (CAES)(*)



Meccanismo di funzionamento

Durante le fasi di bassa domanda, l'elettricità in eccesso viene impiegata per alimentare un compressore a gas: esso cattura l'aria dall'ambiente circostante per poi comprimerla, previo raffreddamento, in un serbatoio (generalmente, quest'ultimo è costituito da una caverna salina/grotta sotterranea naturalmente disponibile: l'impiego di serbatoi superficiali, infatti, è meno diffuso a causa dei costi aggiuntivi richiesti per la loro produzione). Durante le fasi di picco della domanda, il processo si inverte: l'aria compressa viene rilasciata verso la superficie e riscaldata in appositi combustori tramite gas naturale; dopodiché, essa viene impiegata per azionare un'apposita turbina e generare elettricità.

Fase di sviluppo

Capacità

Vita operativa

Tempi di risposta

Durata fornitura

Efficienza

Ulteriori considerazioni

Pre-commerciale

Centinaia di MW

35 anni

5 min

Dipendente dal sito

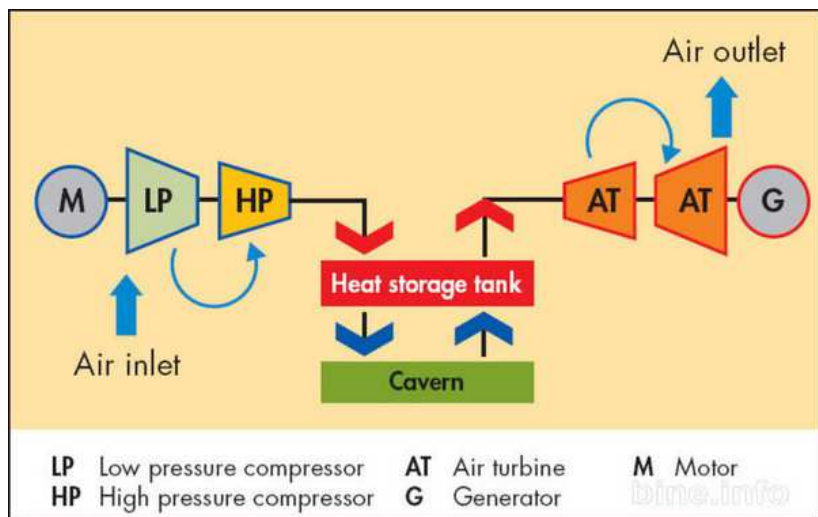
45-55%

- 400 MW installati nel mondo
- Particolarmente adatto per il supporto alla generazione eolica
- Possibilità di impiego su grande scala (*bulk power management*)
- Emissione di CO₂ dovuta all'impiego di fonte fossile (gas)
- Limitata disponibilità di siti ad-hoc



(*) CAES: Compresse Air Energy Storage

Sistemi Meccanici – Aria Compressa tipo adiabatico (A-CAES) (*)



Meccanismo di funzionamento

A differenza dei sistemi tradizionali, quelli di tipo adiabatico sono in grado di recuperare il calore derivante dal processo di compressione dell'aria, accumulandolo all'interno di un impianto di stoccaggio termico. Nella fase di scarico, tale calore viene impiegato per il riscaldamento dell'aria nella caverna, finalizzato all'attivazione della turbina di generazione. Conseguentemente, viene meno l'impiego del gas naturale.

Fase di sviluppo

In via di sviluppo

Capacità

Centinaia di MW

Vita operativa

n.d.

Tempi di risposta

n.d.

Durata fornitura

Dipendente dal sito

Efficienza

Circa 75%

Ulteriori considerazioni

- Rispetto ai sistemi CAES:
 - incremento di efficienza
 - minor impatto ambientale (no emissioni CO₂)
- **Necessità di testing: la COD del primo progetto è prevista per il 2016**

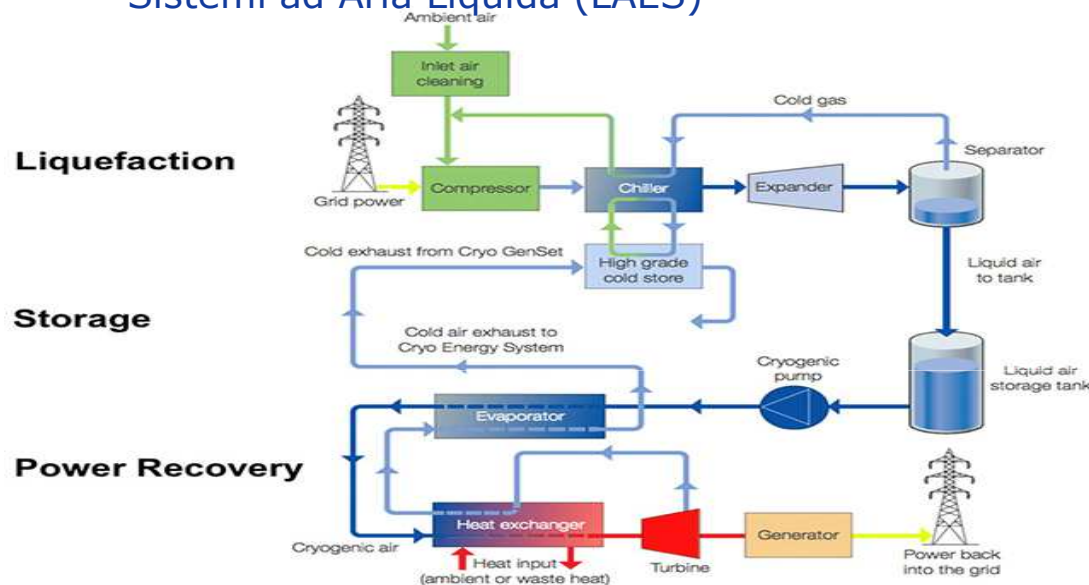


(*) A-CAES: Adiabatic Compressed Air Energy Storage

Sistemi di Accumulo Meccanici



Sistemi ad Aria Liquida (LAES)



Meccanismo di funzionamento

Durante le fasi di bassa domanda, l'elettricità in eccesso viene impiegata per comprimere e raffreddare l'aria ambiente, precedentemente filtrata, fino alla sua liquefazione. L'aria liquida prodotta viene stoccata all'interno di serbatoi criogenici a bassa pressione. Durante le fasi di picco della domanda, il processo si inverte: l'aria liquida viene pompata ad alta pressione, evaporata e riscaldata: il gas ad alta pressione che si ottiene viene impiegato per azionare un'apposita turbina e generare elettricità.

Fase di sviluppo

Capacità

Vita operativa

Tempi di risposta

Durata fornitura

Efficienza

Ulteriori considerazioni

In via di sviluppo

Centinaia di MW

30 anni

5 min

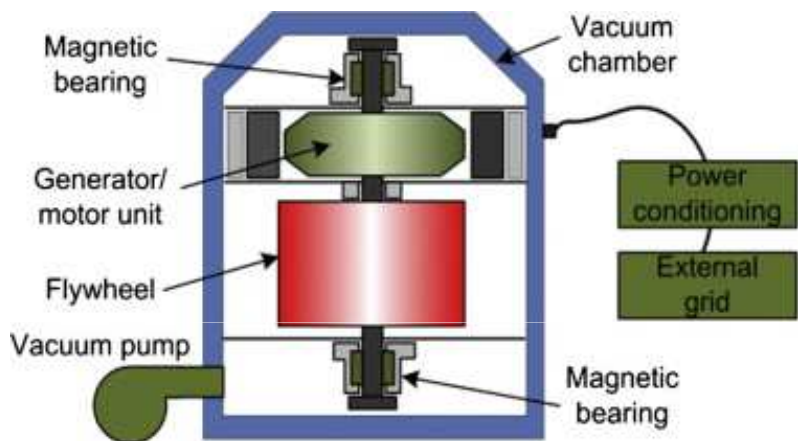
Dipendente dal sito

Circa 65%

- Rispetto ai sistemi CAES:
 - incremento di efficienza
 - minor impatto ambientale (no emissioni CO₂)
- **Necessità di testing: la COD del primo progetto è prevista per il 2016**

Pro
Contro

Sistemi Meccanici – Volano



Meccanismo di funzionamento

L'energia prodotta durante le fasi di bassa domanda viene accumulata sotto forma di energia cinetica attraverso la rotazione del volano situato all'interno di una camera sottovuoto. Nelle fasi di alta domanda, l'energia cinetica così immagazzinata viene impiegata azionando un generatore che fornisce elettricità alla rete, fino all'arresto del volano.

Fase di sviluppo

Piccola scala:
commerciale
Grande scala:
pilota

Capacità

Piccola scala:
Decine kW
Grande scala:
**Moduli da
100-200kW**

Vita operativa

Fino a
20 anni

Tempi di risposta

<4 sec

Durata fornitura

**Max
15 min**

Efficienza

**Circa
90%**

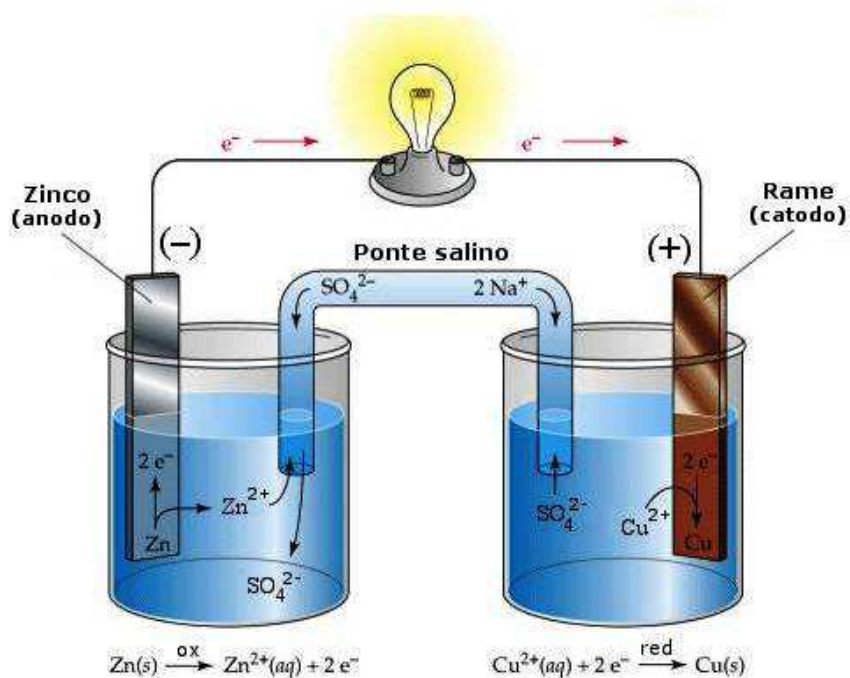
Ulteriori considerazioni

- Ridotti tempi di ricarica (max 30 min)
- Minor impatto ambientale in assoluto
- Elevata densità energetica (da 5 a 10 volte quella delle batterie)
- **Rischio deflagrazione conseguente all'elevata pressione di rotazione**
- **Non interessanti per la generazione su grande scala**



Sistemi di Accumulo Elettrochimici

Principio Teorico di funzionamento – La Pila Daniel



Anodo (Ossidazione): $Zn \rightarrow Zn^{++} + 2 e$

Catodo (Riduzione): $Cu^{++} + 2 e \rightarrow Cu$

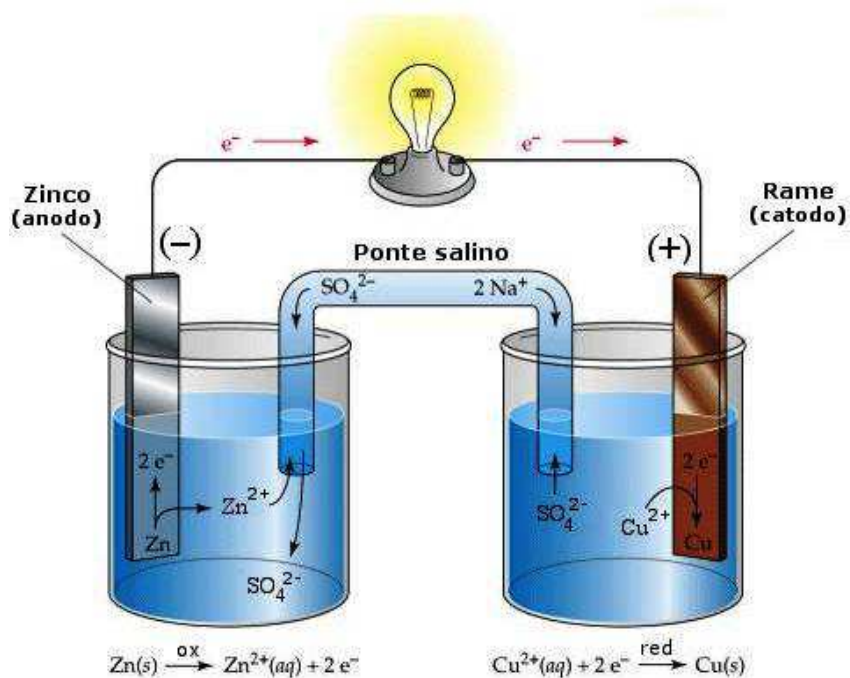


Legge di Nerst

$$\Delta E = \Delta E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{\prod_i C_{red,i}^{vi,red}}{\prod_i C_{ox,i}^{vi,ox}} \right)$$

Sistemi di Accumulo Elettrochimici

Principio Teorico di funzionamento – la Pila Daniel



Anodo (Ossidazione): $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 e$

Catodo (Riduzione): $\text{Cu}^{2+} + 2 e \rightarrow \text{Cu}$



Legge di Nerst

$$\Delta E = \Delta E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{\prod_i C_{red,i}^{vi,red}}{\prod_i C_{ox,i}^{vi,ox}} \right)$$

Parametri caratteristici delle batterie



Capacità [Ah]: E' la quantità di carica elettrica che può essere estratta fino al raggiungimento di un valore minimo di tensione

$$1 \text{ Ah} = 1 \text{ A} \times 360 \text{ s} = 3600 \text{ Coulomb}$$

Stato di Carica [SOC - State of Charge]: E' la quantità di carica presente all'accumulatore rapportata ad un valore di riferimento (capacità nominale), espressa come percentuale.

Profondità di Scarica [DoD- Depth of Discharge]: E' la quantità di carica erogata dall'accumulatore rapportata ad un valore di riferimento (capacità nominale), espressa in percentuale.

Energia Nominale [Wh]: E' l'energia fornita durante la scarica, partendo da una condizione di piena carica, fino alla scarica completa.

Potenza Nominale [W]: E' la potenza corrispondente ad un dato regime di scarica, **sufficientemente rappresentativo** di quello a cui sarà chiamata ad operare la batteria.

Parametri caratteristici delle batteria



Energia Specifica [Wh/kg]: E' energia immagazzinata rapportata al peso della batteria

Rendimento Energetico: E' il rapporto tra l'energia scaricata e quella spesa per riportare la batteria nello stato iniziale di carica.

Tempo di vita [numero Cicli]: E' il numero di cicli di scarica (per un prefissato valore di DoD) e ri-carica completa che una batteria è in grado di operare prima che le sue prestazioni scendano **sotto un valore limite prefissato** (tipicamente quando la capacità si riduce del 20-30% % del valore nominale).

C-Rate di una Batteria



La **C-Rate** di una batteria esprime la **velocità** alla quale una batteria è scaricata (caricata) per una data capacità nominale (in Ah).

$$\text{Tempo di scarica [h]} = 1 / \text{C-Rate}$$

$$\text{Corrente di scarica (carica) [A]} = \text{C(Ah)} \times \text{C-Rate}$$

Esempio: C-Rate diverse per una batteria con una capacità nominale di 100 Ah

C-Rate	Tempo S/C [h]	Corrente S/C [A]
1C	1	100
0.5C	2	50
2C	0.5	200

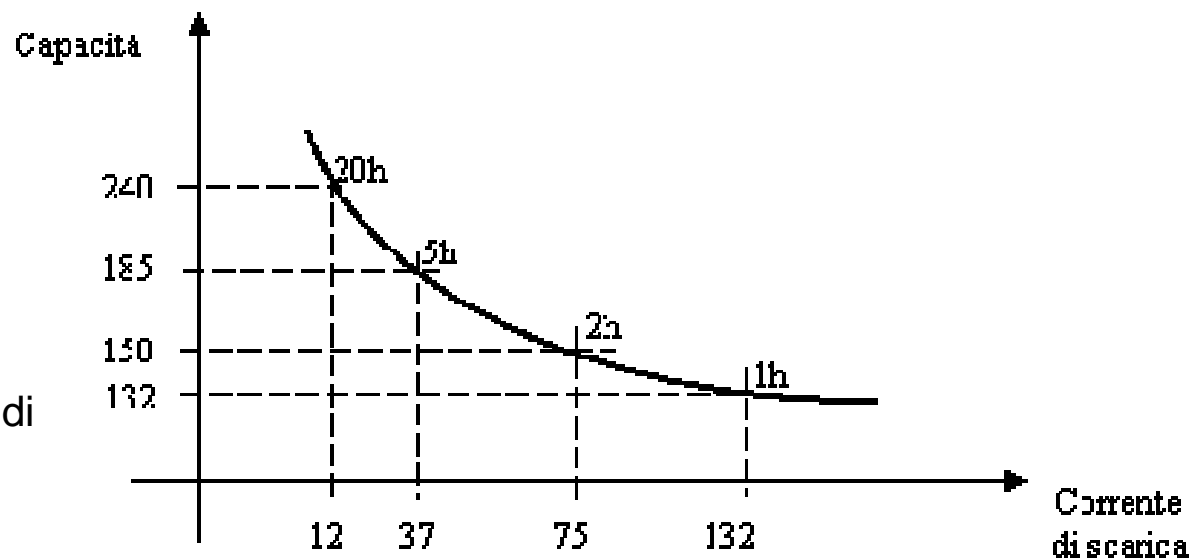
La Legge di Peukert



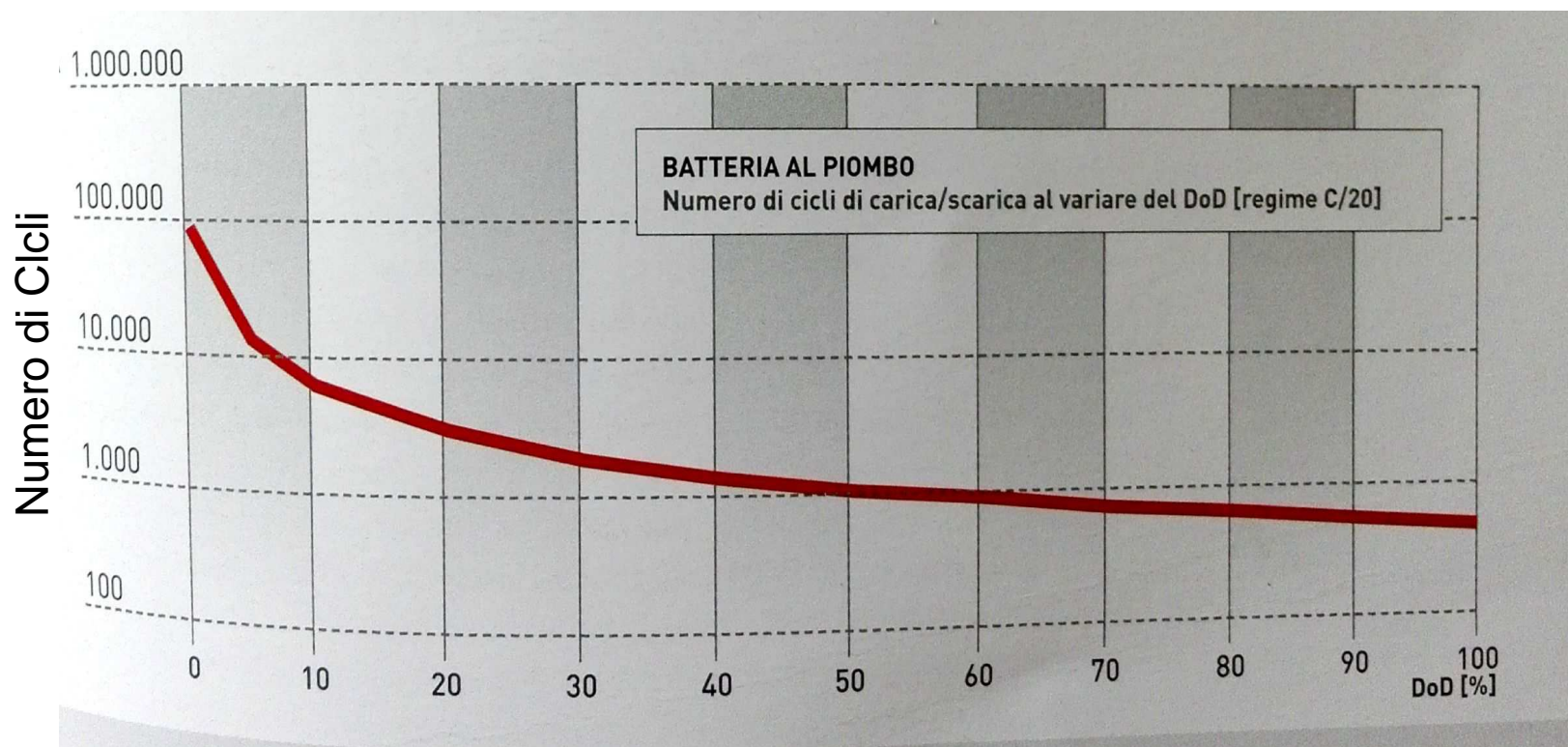
Per una batteria da 50Ah, è ragionevole pensare che si possano prelevare 5A per 10 ore, oppure 10A per 5 ore, e così via ? La Risposta è **NO** a causa la legge di **Peukert**. Questa legge lega l'effettivo tempo di scarica al valore della corrente prelevata, secondo la relazione.

$$t = \frac{C}{I^k}$$

- t è il tempo di scarica (in ore),
- C la capacità nominale della batteria (in Ah),
- I la corrente prelevata (in A)
- k un coefficiente che dipende dalle tipologia di batteria



Cicli di vita di una batteria



Profondità di scarica [DoD]

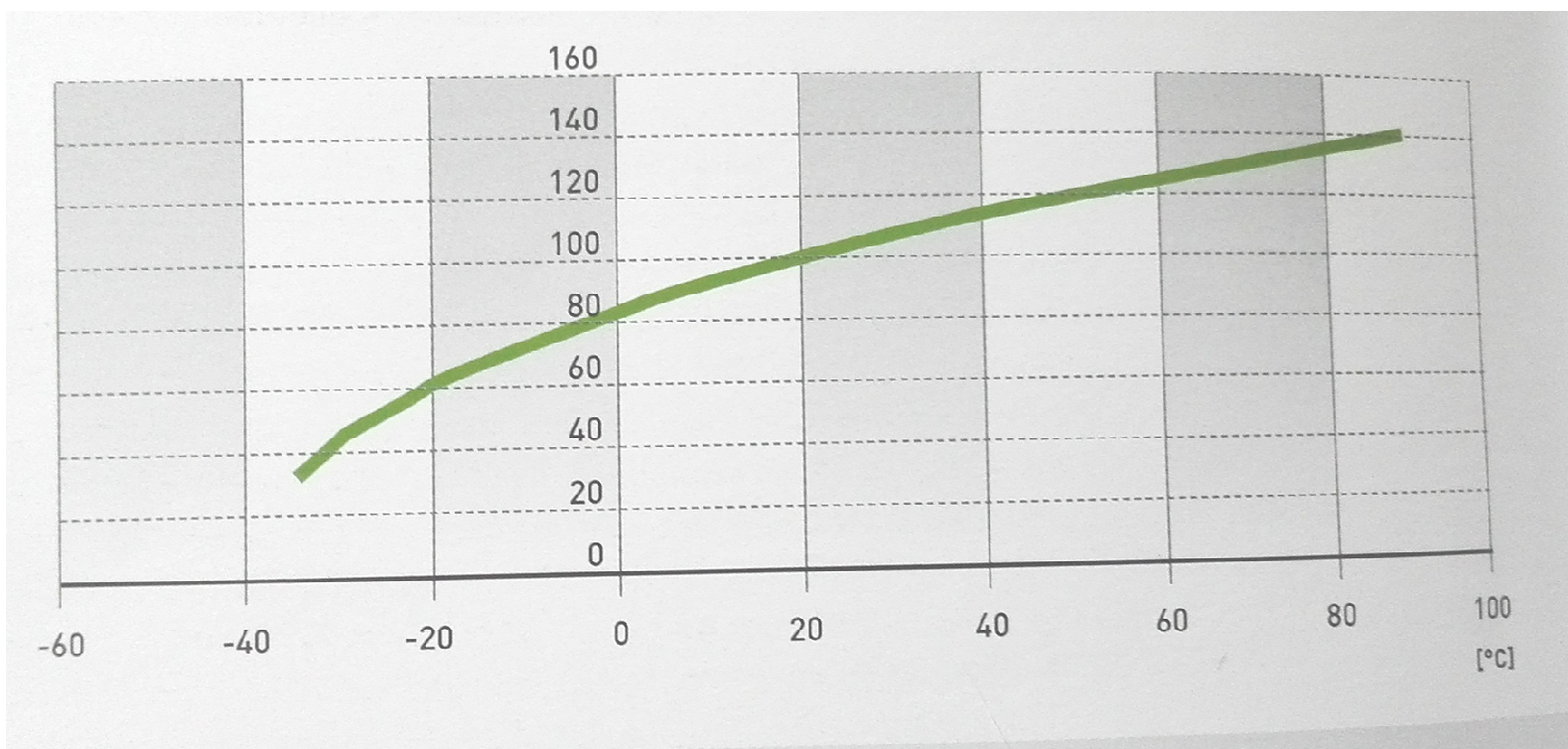
(*) fonte RSE

07/06/2016

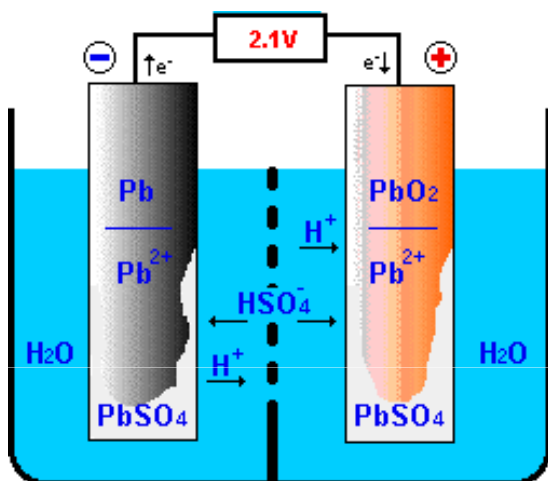
Presentation footer 10PT grey. Please add the relevant country to the footer.

50

Capacità di una Batteria in funzione della temperatura



Sistemi Elettrochimici - Batterie Piombo Acido



Meccanismo di funzionamento

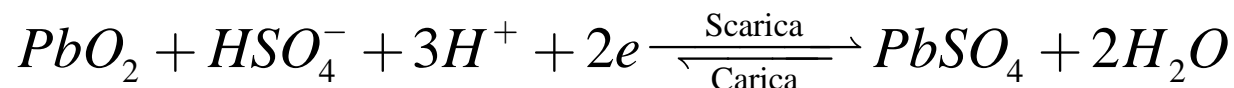
Catodo: ossido di piombo (PbO_2),

Anodo: piombo metallico (Pb).

Setto poroso: materiale plastico o da fibre di vetro.

Elettrolita: soluzione acquosa al 37% in peso di acido solforico (H_2SO_4).

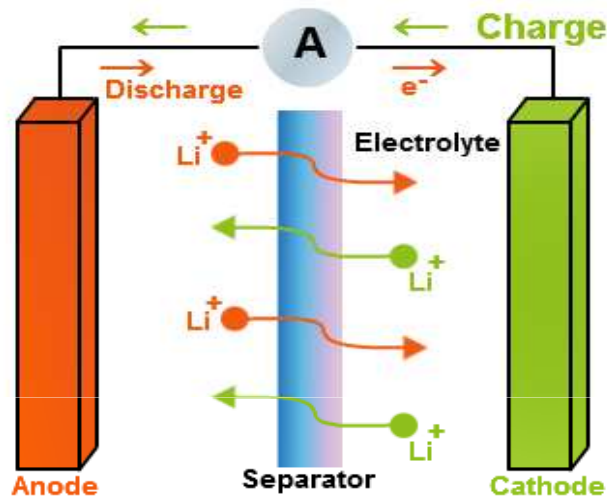
Potenziale di cella : 2.16 V.



Fase di sviluppo	Capacità	Cicli Vita 80% DoD	Tempi di risposta	Durata fornitura	Efficienza	Ulteriori considerazioni
Commerciale	Da pochi kW a 2 MW	800	Secondi o frazioni	Fino a 4 ore	70-80%	<ul style="list-style-type: none"> • Installazioni su grande scala: 35 MW nel mondo • Economicamente competitive rispetto alle altre tipologie di batterie • Elevata riciclabilità • Peso elevato • Bassa densità energetica

■ Pro
■ Contro

Sistemi Elettrochimici- Batterie Litio-Ione



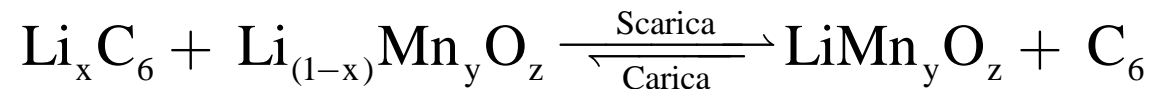
Meccanismo di funzionamento

Catodo: composto del litio (es: ossido di litio-cobalto (LiCoO₂), ossido di litio-manganese (LiMn₂O₄), litio ferro fosfato LiFePO₄, ecc.)

Anodo: in carbone o, più efficacemente, in grafite.

Elettrolita: soluzione di esafluorofosfato di litio (LiPF₆) in solventi organici.

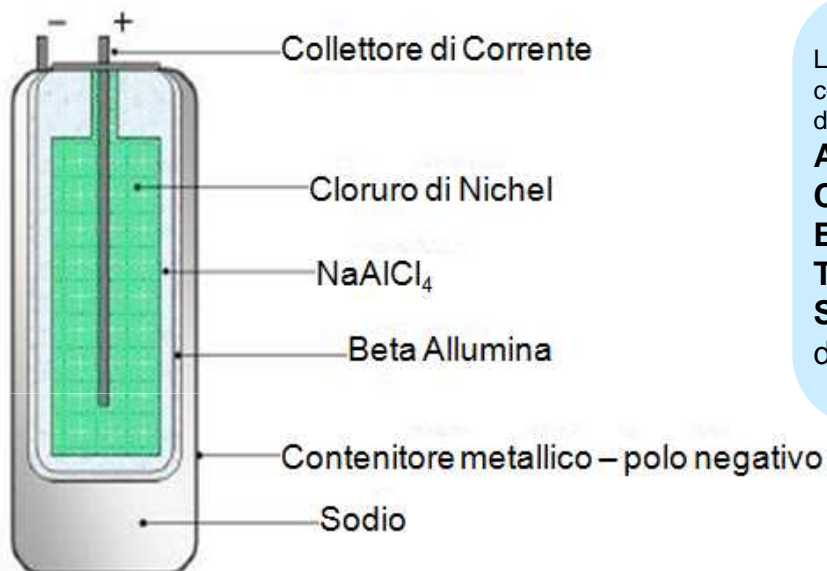
Il progresso delle batterie al litio si affida sia a variazioni nell'elettrolita, con la possibile sostituzione dei sistemi liquidi con sistemi polimerici, sia alla scelta di nuovi materiali per la realizzazione degli elettrodi.



Fase di sviluppo	Capacità	Cicli di vita 80% DoD	Tempi di risposta	Durata fornitura	Efficienza	Ulteriori considerazioni
Piccola scala: commerciale Grande scala: Pre- commerciale	Piccola scala: Da 5 a 25 kW Grande scala: Moduli da 1-2 MW	5-10 anni	Secondi o frazioni	Fino a 4 ore	> 90%	<ul style="list-style-type: none"> Elevata densità energetica Numerosi studi per l'applicazione su auto elettrica Elevati costi di realizzazione Rischi nell'approvvigionamento a causa delle limitate riserve di litio (LATAM e Cina) e costosi processi di estrazione

Pro
Contro

Sistemi Elettrochimici- Batterie Zebra(*) (Ni-NaCl)



Le batterie nichel-cloruro di sodio sono costituite da celle funzionanti a caldo **250 °C**, racchiuse in un contenitore termico insieme ad una resistenza elettrica, controllata da un opportuno sistema, che permette di regolare la temperatura di esercizio.

Anodo: Sodio fuso

Catodo: struttura porosa di nichel, Fe/Ni cloruro

Elettrolita: NaAlCl₄

Tensione di cella : 2.58V

Setto Poroso: β-allumina (β-Al₂O₃), che chiude il circuito permettendo il passaggio degli ioni sodio,

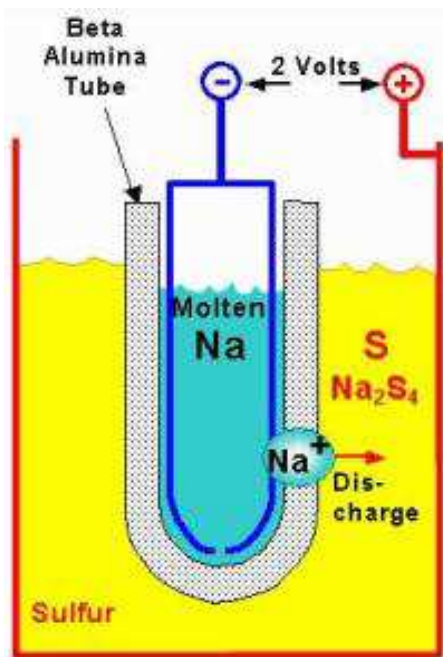


Fase di sviluppo	Capacità	Cicli di Vita 80% DoD	Tempi di risposta	Durata fornitura	Efficienza	Ulteriori considerazioni
Commerciale	<100kW	2500-3000	millisecondi	1 ora	85-90%	<ul style="list-style-type: none"> Elevata densità energetica Numerosi studi per l'applicazione su auto elettrica Elevati costi dei materiali per supportare alte temperature operative



(*) ZEBRA: Zero Emission Battery Research Activities

Sistemi Elettrochimici – Batterie Sodio/Zolfo



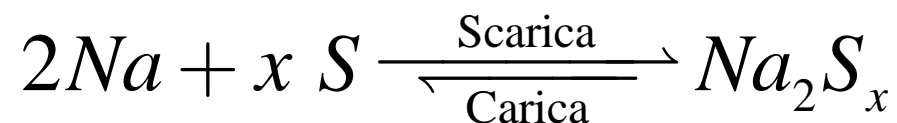
Le batterie Sodio/Zolfo lavorano a caldo (300 e 350 °C)

Anodo: sodio fuso

Catodo: zolfo fuso

Elettrolita: solido ceramico di β -allumina, permeabile unicamente agli ioni sodio.

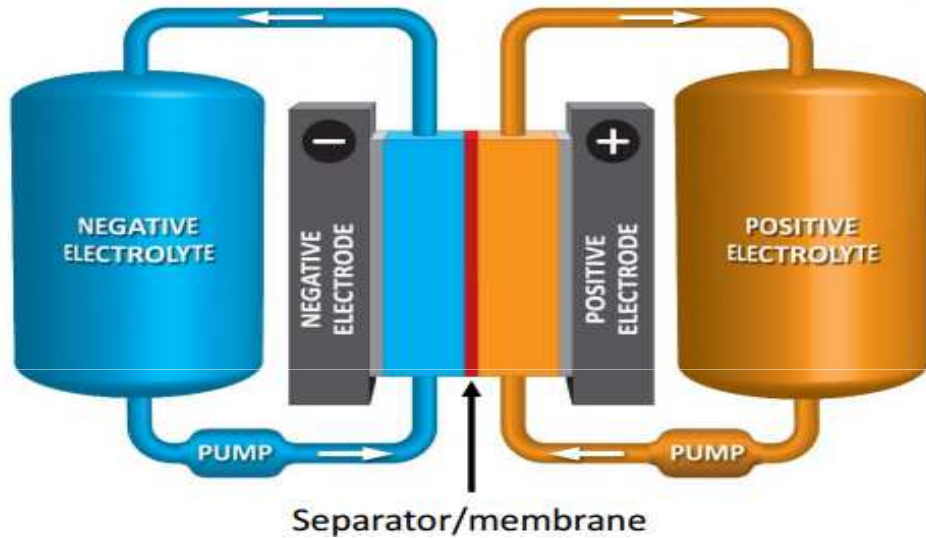
Tensione di cella: 2.08 V



Fase di sviluppo	Capacità	Cicli di Vita 80% DoD	Tempi di risposta	Durata fornitura	Efficienza	Ulteriori considerazioni
Commerciale	Moduli da 1 MW	4500	Secondi	Fino a 8 ore	Fino al 80%	<ul style="list-style-type: none"> Elevata densità energetica Test di successo su grande scala (impianto più grande al mondo: 34 MW, Giappone) Elevati costi dei materiali per supportare alte temperature operative

■ Pro
■ Contro

Sistemi Elettrochimici – Batteria a Flusso di Vanadio (VRB)



Le batterie a flusso convertono l'energia contenuta in un **elettrolita liquido** in energia elettrica: utilizzano reazioni accoppiate di ossido-riduzione in cui sia i reagenti che i prodotti in forma ionica sono disciolti in soluzione acquosa. La caratteristica principale di questo tipo di tecnologia è l'indipendenza tra energia stoccata e potenza erogata: l'energia immagazzinata dipende infatti dal volume e dalla concentrazione di elettrolita contenuto nei serbatoi; la potenza invece è funzione della superficie della membrana attraverso cui avviene lo scambio ionico.

Catodo: elettrolita (semicoppia redox VO_2^+ / VO^{2+})

Anodo: elettrolita (semicoppia redox V^{+3} / V^{+2})

Setto poroso: membrana tipo PEM per scambio ioni H^+

Tensione di cella = 1.25 V



Fase di sviluppo	Capacità	Cicli di Vita 80% DoD	Tempi di risposta	Durata fornitura	Efficienza	Ulteriori considerazioni
Pre-commerciale	Da 10 kW a qualche MW	10000	Qualche secondo	Fino a 10 ore	60-80%	<ul style="list-style-type: none"> Meno di 3 MW installati nel mondo Layout flessibile Estesa vita utile Elevate dimensioni per le applicazioni su grande scala



Pro
Contro

Parametri prestazionali delle varie batterie

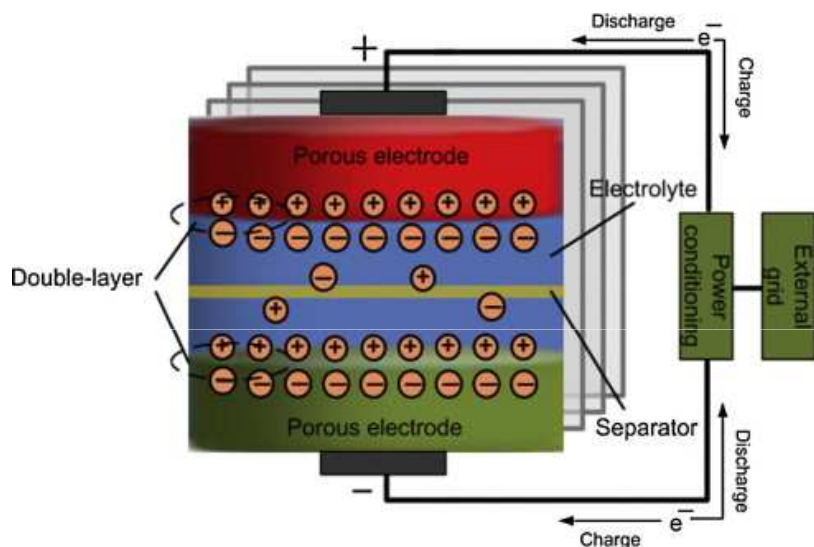


	Pb/Acido VRLA	Pb/Acido VLA	Litio Ione	Zolfo / sodio	Zebra	VRB
Tensione Nominale di Cella [V]	2.2	2	3.7	2.1	2.58	1.25
Capacità delle Celle [Ah]	1 - 10000	1- 10000	0.1 - 10000	600	32	-
Potenza Specifica [W/kg]	20 - 40	70 - 80	200-3000	200-300	170 - 230	100 -130
Energia Specifica [Wh/kg]	15 - 25	20 - 40	40 - 180	240-300	160 -200	25- 35
Efficienza Energetica [%]	70 - 85	70 - 85	80 - 95	90	90	60 - 85
Autoscarica mensile [%]	1 - 2	1 - 2	<1	0	0	0 - 100 (*)
Vita Attesa [Nr. Cicli 80% DoD]	800	800	1500 - 5000	4500	2500 - 3000	10000
Regime tipico di scarica [C-rate]	C/10 - C/3	C/10 - C/4	C/2 - 2C	C/8	C/2	C/10 - 1C
Massima Corrente in Scarica [C-rate]	10C	10C	1C - 100C	3C	4C	4C
Massima Corrente in Carica [C-rate]	1C	1C	C/2 - 10C	1C	2C	1C
Temperature di lavoro[°C]	-20 / 60	-20 / 60	-30 / 60	290 - 380	240 - 320	0 - 40

Sistemi Elettrici - Supercapacitori



Supercapacitori



Meccanismo di funzionamento

Anziché in forma chimica come nel caso delle batterie, i supercapacitori immagazzinano energia elettrica in un campo elettrostatico. Essi sono costituiti da due elettrodi polarizzabili (armature o piastre), caricati di segno opposto e separati da un isolante (dielettrico) e connessi ad un generatore esterno. Nello spazio da essi delimitato si genera un campo elettromagnetico nel quale viene stoccata l'energia. Questi dispositivi possono essere utilizzati in abbinamento alle comuni batterie e ai sistemi di *Power Quality* e *Bridging Power*. Stanno riscuotendo interesse nel settore dei trasporti, in particolare nei cosiddetti freni rigenerativi (tecnologia in grado di recuperare parte dell'energia dissipata sotto forma di calore nella fase di rallentamento del veicolo, in conseguenza della diminuzione di energia cinetica).

Fase di sviluppo

Piccola scala:
Commerciale
Grande scala:
In via di sviluppo

Capacità

Fino a
10 MW

Vita operativa

10 anni

Tempi di risposta

Millisecondi

Durata fornitura

qualche
secondo

Efficienza

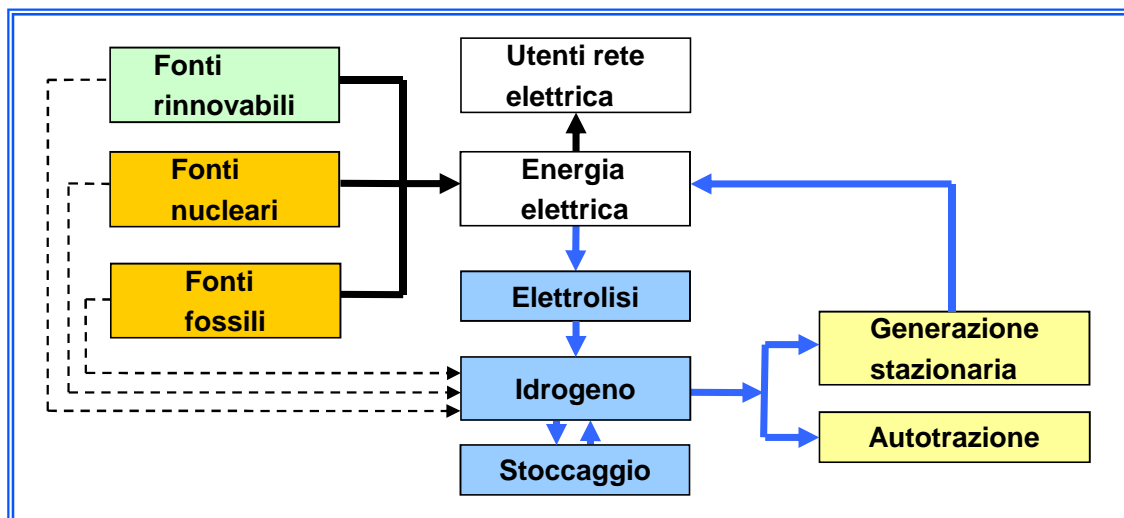
85-98%

Ulteriori considerazioni

- Limitata quantità di energia accumulabile
- Bassa densità energetica
- Dimensioni compatte
- Fino a centinaia di migliaia di cicli di carica e scarica.
- No effetto memoria

Pro
Contro

Sistemi di accumulo Chimici - Idrogeno



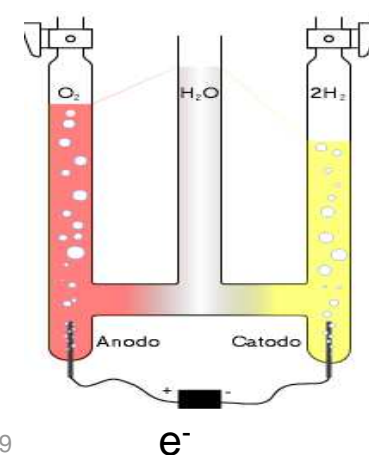
Cos'è

L'idrogeno è un vettore energetico molto raro allo stato elementare a causa della sua estrema volatilità, ma ampiamente diffuso sotto forma di composti (es. acqua, idrocarburi, sostanze minerali ecc.). Esso presenta un ridotto livello energetico per unità di volume, ma si caratterizza per il più elevato contenuto per unità di massa. La produzione di idrogeno può essere ottenuta a partire da fonti fossili (processi maturi) o rinnovabili (processi in via di sviluppo, fatta eccezione per l'elettrolisi).

Come si produce

Uno dei sistemi più consolidati e conosciuti per produrre idrogeno è l'elettrolisi dell'acqua ovvero quel processo elettrolitico in cui il passaggio di corrente elettrica permette la scissione dell'acqua in ossigeno e idrogeno gassosi.

Il sistema che consente tale processo è appunto chiamato elettrolizzatore: esso è costituito essenzialmente da due elettrodi metallici, un catodo e un anodo, che fungono da catalizzatori della reazione e da un setto poroso di separazione tra i due compartimenti, quello anodico e quello catodico. Nel momento in cui si ha il passaggio di corrente elettrica attraverso i due elettrodi, al comparto catodico avviene l'ossidazione dell'acqua con produzione di ossigeno gassoso mentre al catodo si ha la riduzione dell'acqua con produzione di idrogeno gassoso.



Sistemi Chimici - Idrogeno



Stoccaggio: compressione, liquefazione ed accumulo chimico

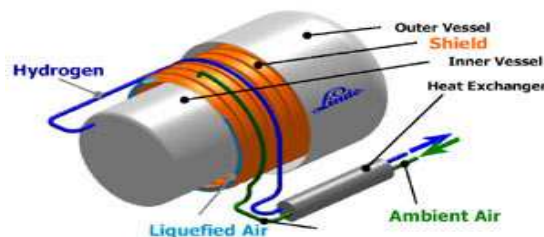
Nella *compressione*, il gas viene portato a notevoli pressioni e stoccato in serbatoi. Si tratta del metodo di stoccaggio più semplice, sicuro ed economico, ma il notevole peso ed ingombro dei serbatoi (nella maggior parte dei casi, sotterranei) confinano questo sistema ad usi industriali e stazionari.

Nella *liquefazione*, il gas viene portato a temperature estremamente basse (-253 °C) e stoccato in serbatoi criogenici. Si tratta della forma di stoccaggio che attualmente meglio soddisfa le esigenze dell'autotrazione, ma che presenta elevati costi e complessità sia per l'installazione sul veicolo che per la liquefazione del vettore e la sua distribuzione (oltre a considerare i costi legati all'elettricità richiesta per il funzionamento del motore).

Nell'*accumulo chimico*, il gas è legato con altri metalli e leghe metalliche formando composti (idruri) in grado di intrappolare idrogeno a pressioni relativamente basse. Penetrando all'interno del metallo, il gas occupa gli interstizi del reticolo cristallino e raggiunge densità energetiche elevate. Il recupero dell'idrogeno avviene attraverso il riscaldamento del materiale. Si tratta di una tecnologia conveniente, compatta e sicura anche dal punto di vista del trasporto. Attualmente le applicazioni commerciali riguardano l'impiego in sottomarini; in futuro, riducendo il volume di stoccaggio, si potrebbe rendere possibile l'uso nelle autovetture, ancora ostacolato dal peso dell'applicazione.



Gas compresso (340 -700 bar)



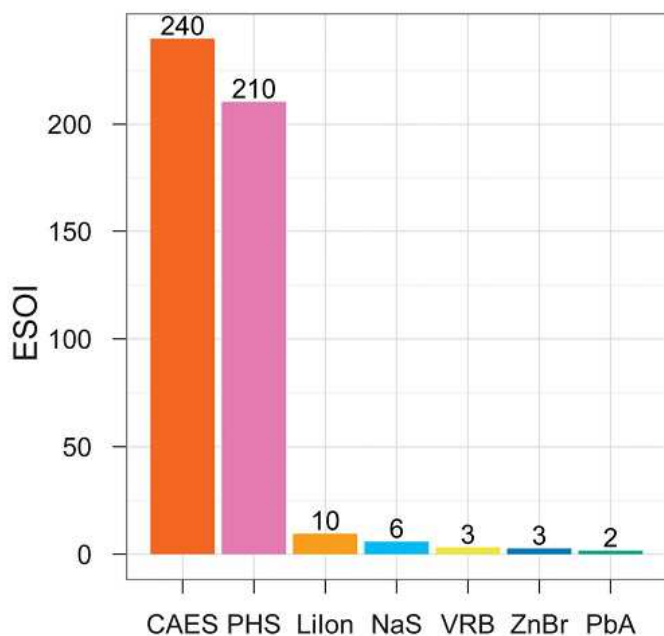
Liquefazione (20K)



Accumulo chimico in idruri
(1-10 bar, 25-300°C)

ESOI - Energy Stored On Investment (*)

.. Ovvero la convenienza ambientale dei vari sistemi di accumulo



$$ESOI = \frac{\lambda_{round-trip} \text{Energia Accumulata}}{\text{Energia Costruzione e Installazione}}$$

(*) C J Barnhart and S M Benson, "On the importance of reducing the energetic and material demands of electrical energy storage", Energy Environ. Sci., 6 (2013), 1083

LCOE- Levelized Cost of Energy(*)

.. Ovvero la convenienza economica dei vari sistemi di accumulo



LCOE è il prezzo a cui occorre vendere l'energia generata da ciascun sistema di accumulo per coprire tutti i costi relativi alla costruzione e all'esercizio dell'impianto (oneri finanziari e tasse inclusi) e ottenere un determinato ritorno sul capitale proprio investito

$$LCOE = \frac{CAPEX + NPV \text{ of total OPEX}}{NPV \text{ of total ES}}$$

$$LCOE \text{ [€/kWh]} = \frac{CAPEX + \sum_{n=1}^N \left(\frac{AO - RV}{(1 + DR)^n} \right)}{\sum_{i=1}^N \frac{ES_o (1 - SDR)^n}{(1 + DR)^n}}$$

CAPEX: Capital expenditures necessary a the building of the plant

OPEX: Maintenance and operation costw on the lifetime of the plant

ES: Energy Stored in the lifetime of the plant

NPV: Net Present Value

AO: Annual Operation Cost [€/yy]

RV: Residula Value [€/yy]

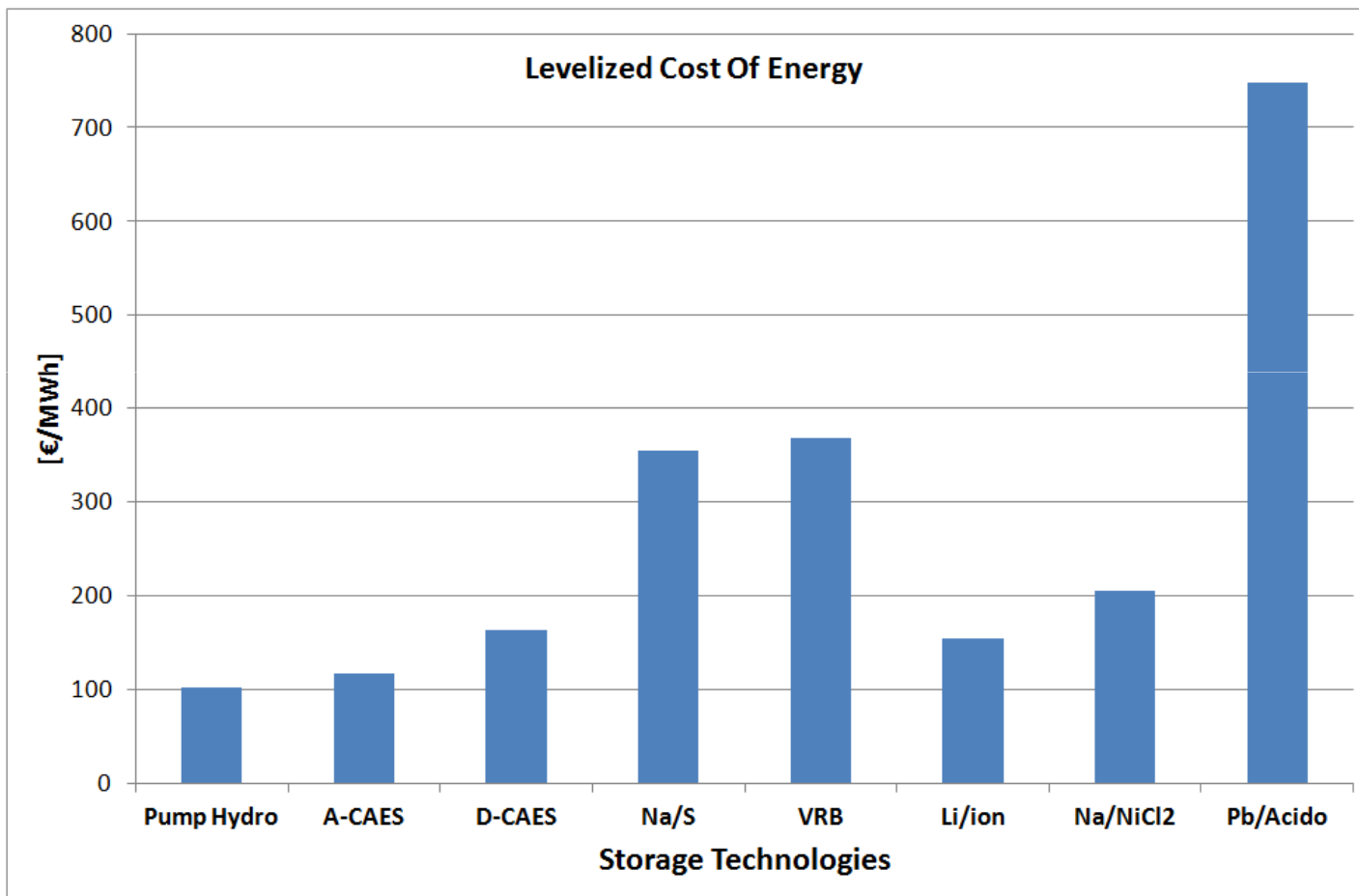
DR: Discount rate [%]

ESo: Intial Energy Storage Capacity [kWh]

SDR: System Degradetion Rate [%/yy]

LCOE- Levelized Cost of Energy(*)

.. Ovvero la convenienza economica dei vari sistemi di accumulo

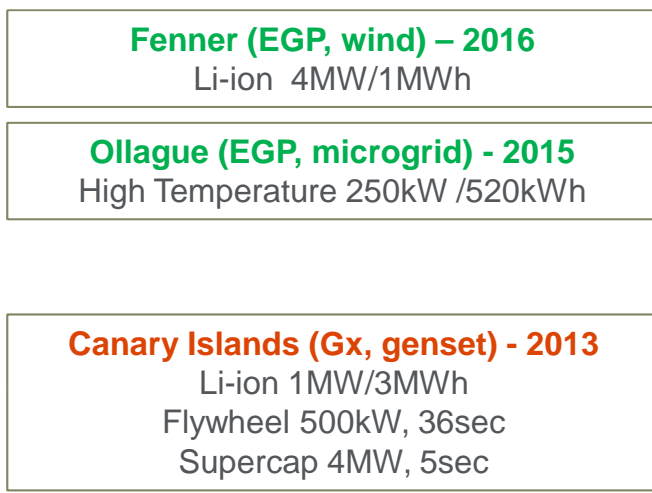
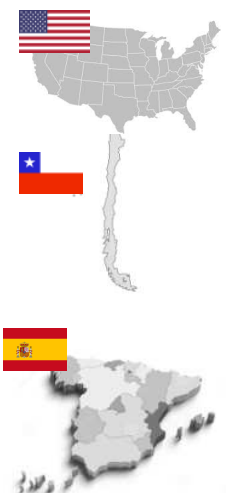
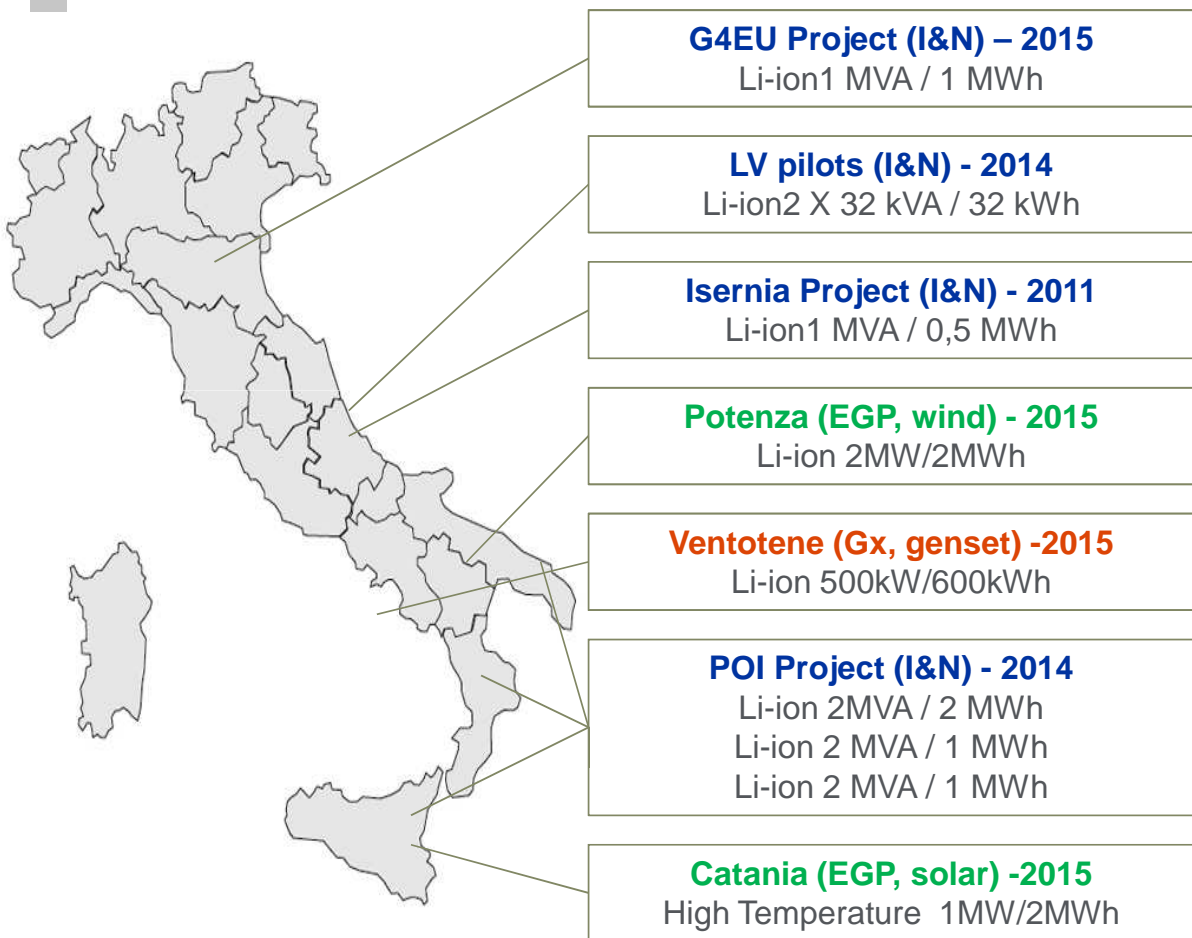


Indice



- Il sistema Elettrico
- Il mercato dell'Energia Elettrica
- Evoluzione del Sistema elettrico
- Ruolo dei sistemi di accumulo Sistema Elettrico
- Le diverse Tecnologie di accumulo
- Impianti dimostrativi

I dimostratori di Enel



EGP

- Servizi Ancillari
- Riduzione degli sbilanciamenti

I&N

- Stabilità della rete elettrica

Gx

- Risparmio combustibile diesel
- Aumento dell'affidabilità e della qualità del servizio

Dimostratori Isole Canarie



Obiettivo

Dimostrare la capacità dei sistemi di accumulo **di supportare la stabilità della** rete elettrica in isole con forte penetrazione di sistemi di generazione da fonte rinnovabile.

Soluzioni Tecnologiche

- 1MW/3MW batteria agli ioni di litio → Regolazione di tensione e servizio di peak shaving
- 500kW/36sec Volano → Regolazione di frequenza
- 4MW/5sec Supercapacitore → integrazione con motori diesel per supporto alla rete (minimizzazione blackout)



Li-ione @ Gran Canaria



Volano @ La Gomera



Supercapacitore @ La Palma

Dimostratore Isola di Ventotene



Obiettivo

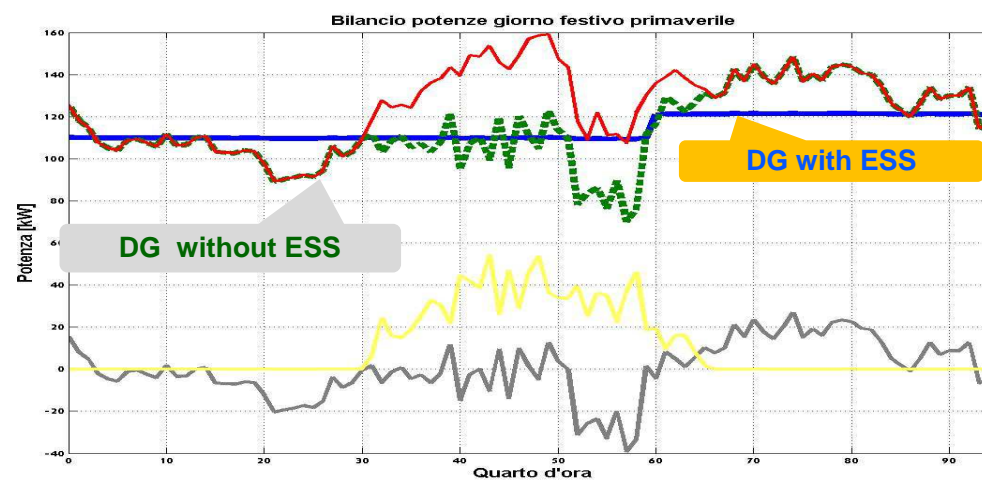
Aumentare l'efficienza di produzione dei motori diesel e la stabilità della rete elettrica dell'isola attraverso la realizzazione di un sistema ibrido motore + sistema di storage

Soluzioni Tecnologiche

- 300kW/600kWh batteria agli ioni di litio
- Sistema di controllo innovativo per:
 - garantire la stabilità della rete elettrica dell'isola
 - massimizzare l'efficienza di funzionamento dei motori diesel
 - diminuire il consumo di carburante



Li-ione @ Ventotene



Thank You

