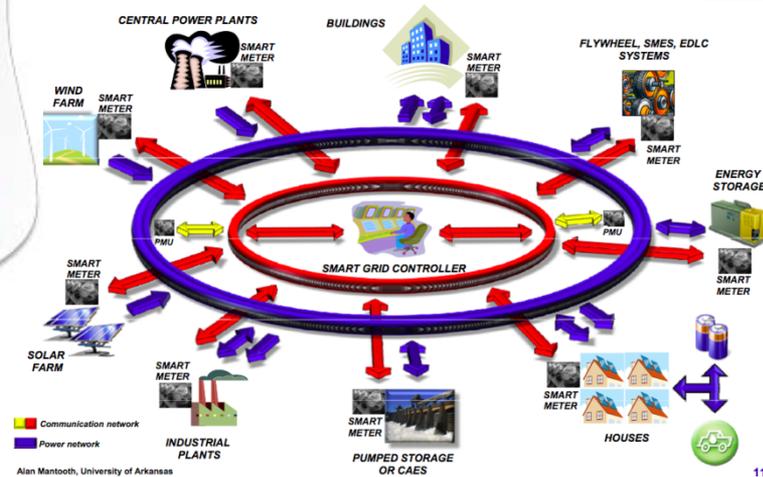
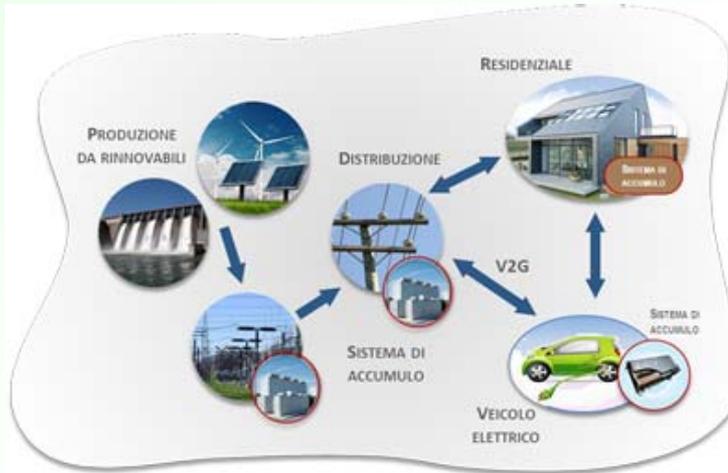


# ACCUMULO DI RETE E ACCUMULO LOCALE



**Ing. Stefano Corsi**

*Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze  
Commissione Ambiente ed Energia*

**Firenze, Auditorium Ente Cassa di Risparmio di Firenze  
21 marzo 2014**





## **PROGETTAZIONE E SCENARI FUTURI**

### **- Direttiva 20-20-20**

- Produzione 17% fonti rinnovabili (termico, elettrico e trasporti)**
- 10% dei consumi trasporti da fonti rinnovabili**
- Raggiunto 27% elettrico, 15% complessivo (2012)**

### **- Direttiva 2030?**

- Riduzione 30%-40%**

### **- Direttiva 2050?**

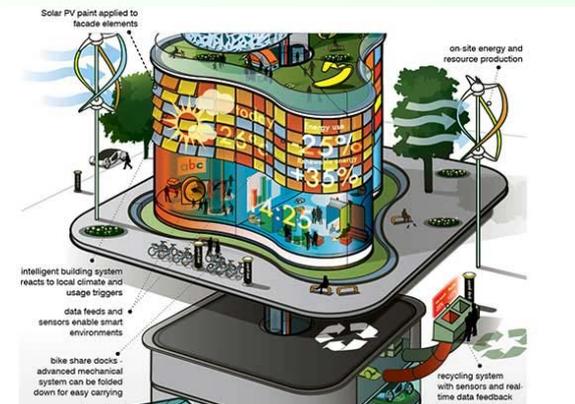
- Riduzione 50%-80%**
- Alcuni Stati verso il 100% (e.g. Danimarca)**





## PROGETTAZIONE E SCENARI FUTURI

- **Direttiva 20-20-20**
  - Produzione 17% fonti rinnovabili (termico, elettrico e trasporti)
  - 10% dei consumi trasporti da fonti rinnovabili
  - Raggiunto 27% elettrico, 15% complessivo (2012)
- **Direttiva 2030?**
  - Riduzione 30%-40%
- **Direttiva 2050?**
  - Riduzione 50%-80%
  - Alcuni Stati verso il 100% (e.g. Danimarca)
- **Vita utile edifici** → **50 anni**  
↳ **Progettare oltre gli obiettivi del 20-20-20**





## **PROGETTAZIONE E VINCOLI ATTUALI**

- **Consumi termici da rinnovabili nuovi edifici e recupero esistenti > 1000 mq**
  - **35% dal 2014**
  - **50% dal 2017**
  - **edificio a energia quasi zero (< 5-15 kWh/mq) dal 2020**
- **Produzione elettrica da rinnovabili nuovi edifici e recupero esistenti > 1000 mq**
  - **1 kW ogni 65 mq dal 2014**
  - **1 kW ogni 50 mq dal 2017**

***Risparmio energetico***

***Produzione da rinnovabili***



## PROGETTAZIONE E VINCOLI ATTUALI

- e.g. Grande struttura di vendita da 2'800 mq
  - consumi termici circa 200 MWh/anno, 35% copertura rinnovabili 70 MWh  
(200 MWh/anno = consumo per riscaldamento di condominio 10-20 abitazioni edilizia ante 1990)  
potenza circa 50 kWe se prodotta e.g. con pompe di calore
  - potenza elettrica 43 kW
  - totale 93 kW!

**PROSUMER = PRODUCER+CONSUMER**  
**= NECESSITA' DI ACCUMULO**



## **PROSUMER: PIU' CONSUMER O PIU' PRODUCER?**

- *Strategia consumer* = massimizzare l'autoconsumo
  - = accumulo per coprire i picchi
  - = immetto in rete l'eccesso

### **Accumulo come parte interna all'impianto**

#### **Modello prevalente**

- *Strategia producer* = minimizzare spesa energetica
  - = accumulo per ottimizzare i flussi di energia
  - = immetto in rete quando ho massimi guadagni

### **L'accumulo si interfaccia con la rete**

**Mancano strumenti: incentivi, programmabilità, vincoli.....**



## INCENTIVI: DAL PANNELLO ALL'ACCUMULO

### GERMANIA



- max 30 kW e 60% della potenza erogata
- finanziamento 100% a tasso agevolato, 30% a fondo perduto

### GIAPPONE



- Copertura 2/3 costo fino a €7'000

**40% Abbattimento  
picchi di domanda**

**66% Aumento capacità  
rete**

### CALIFORNIA



- Incentivi 1 \$/W e esenzione fiscale 30%

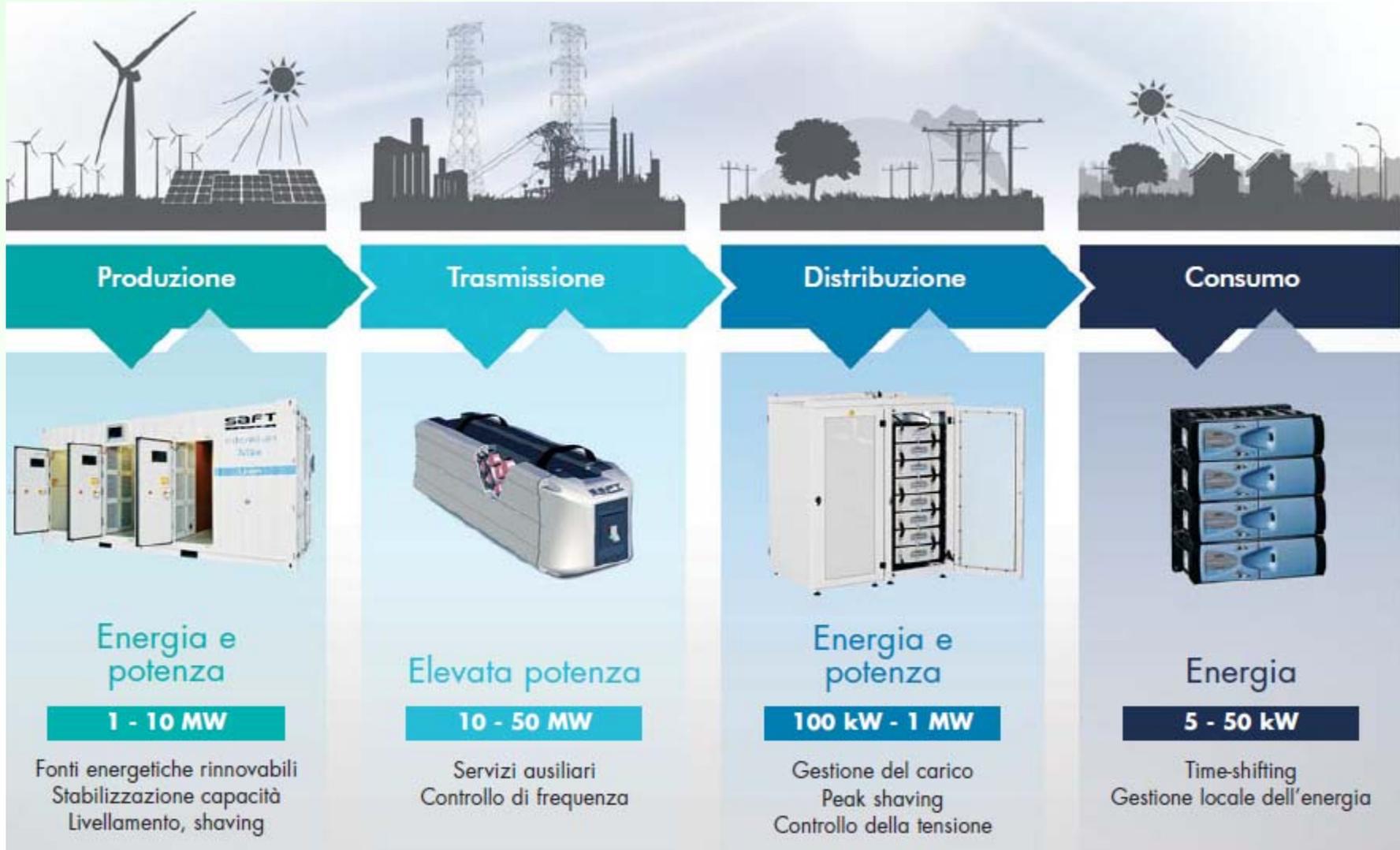


## MODELLO DI DISTRIBUZIONE VECCHIO

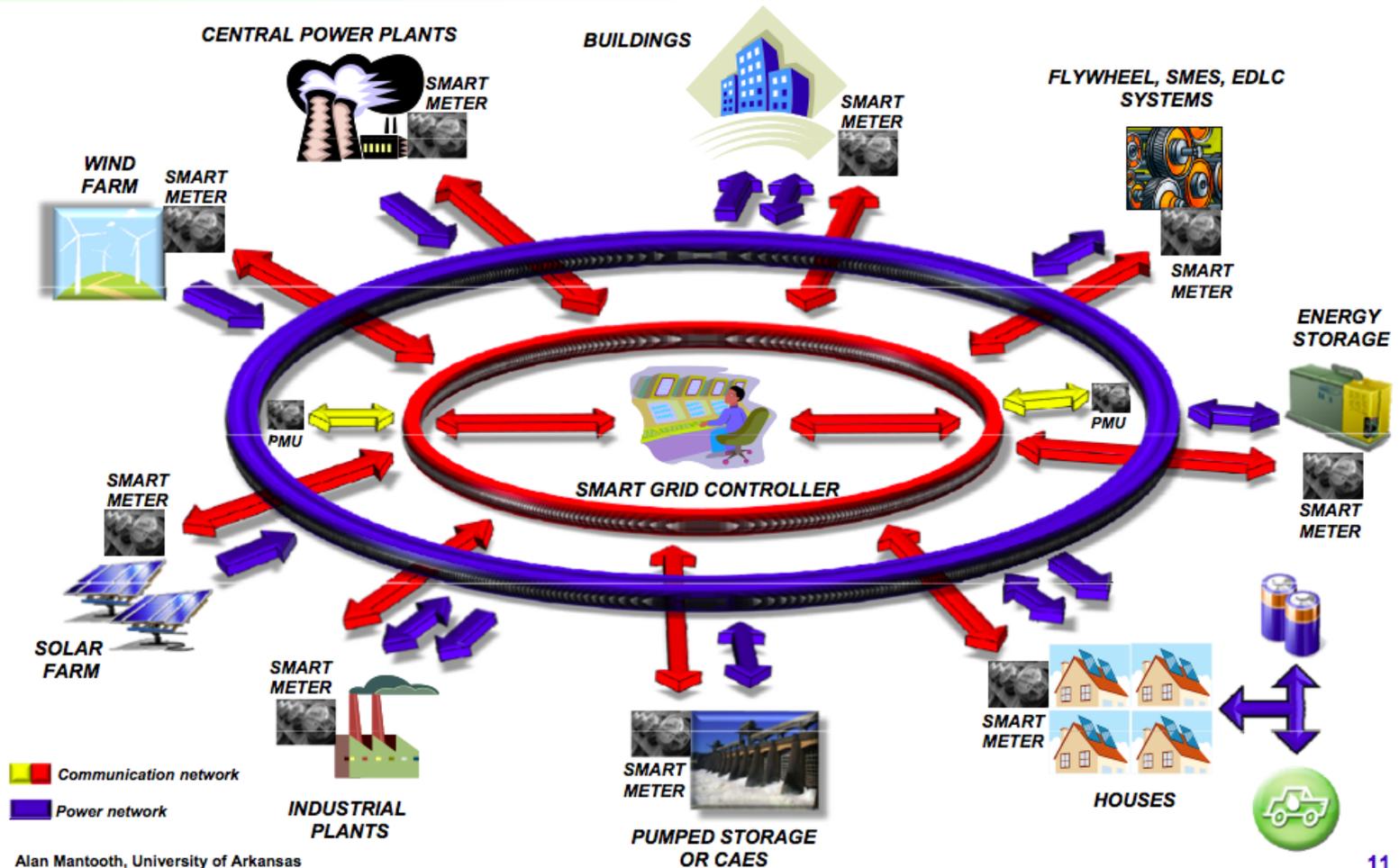




# MODELLO DI DISTRIBUZIONE “NUOVO”



# MODELLO DI DISTRIBUZIONE INNOVATIVO



Alan Mantooth, University of Arkansas





## ACCUMULO LOCALE

### VANTAGGI

- Gestire asincronie a livello locale
- Modulazione produzione e consumi
- Onere della gestione dell'accumulo al privato: alleggerimento rete nazionale
- Responsabilizzazione del produttore-consumatore
- Flessibilità di gestione
- Indotto economico



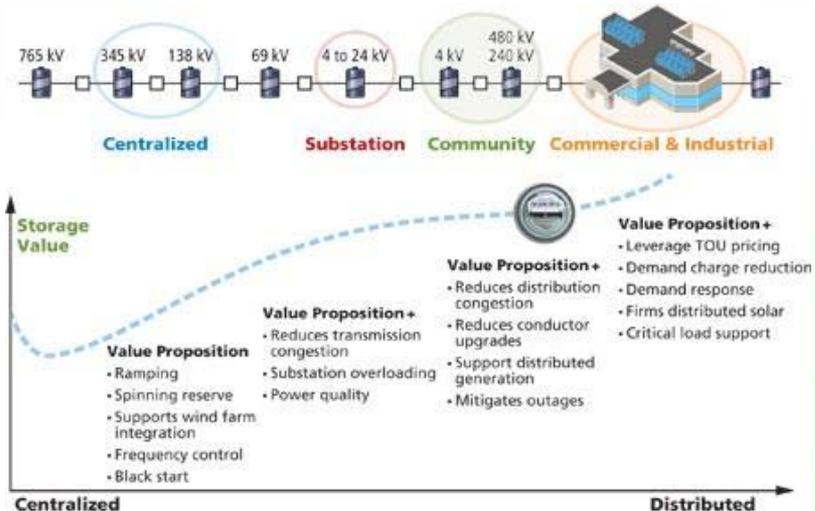
### CRITICITA'

- Costo
- Assenza di controllo del funzionamento locale



## ACCUMULO DISTRIBUITO

Realizzazione di sistemi di  
accumulo di piccole dimensioni  
quanto più vicino alle utenze



*Alpstore* - progetto pilota di produzione e accumulo diffuso in ambito alpino

- accumulo veicoli elettrici
- 2° vita batterie veicoli elettrici
- integrazione accumulo fisso (batterie, idrogeno, gas)

## AUTO ELETTRICHE: PROBLEMA O OPPORTUNITÀ?

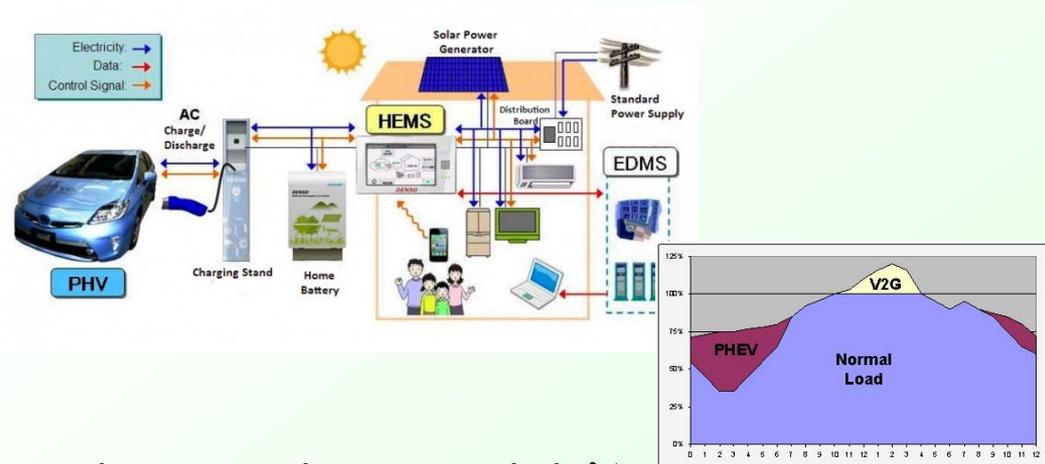
### PROBLEMI

- Colonnina ricarica lunga 3 kW (8 h)
- Colonnina ricarica veloce 25-50 kW  
(15-30 minuti)



### OPPORTUNITA'

- Accumulo distribuito
- Vehicle to grid (V2G)
- Ricarica notturna
- Mobilità da rinnovabile (quota rinnovabile elettricità)



## AUTO ELETTRICHE: PROBLEMA O OPPORTUNITÀ?

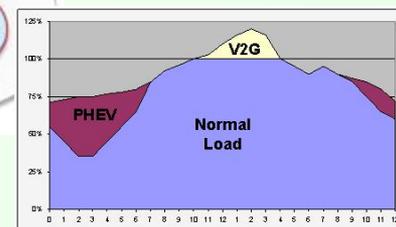
### PROBLEMI

- Colonnina ricarica lunga 3 kW (8 h)
- Colonnina ricarica veloce 25-50 kW  
(15-30 minuti)



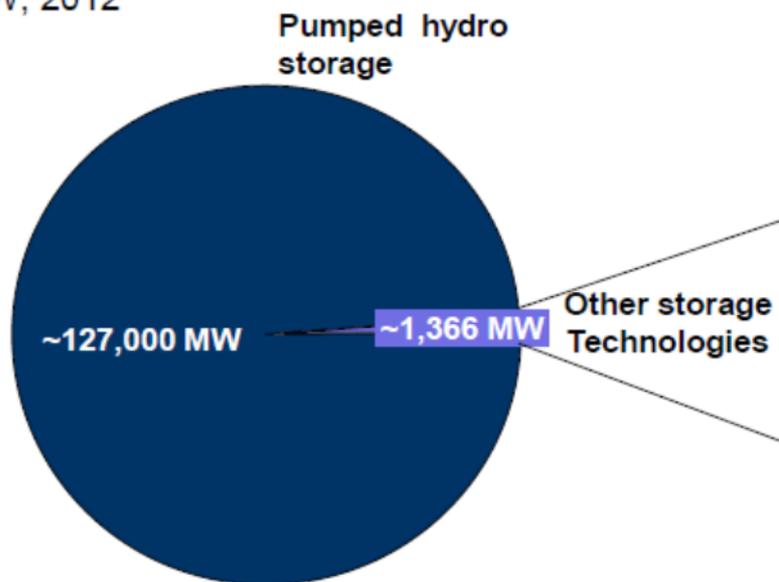
### OPPORTUNITA'

- Accumulo distribuito
- Vehicle to grid (V2G)
- Ricarica notturna
- Mobilità da rinnovabile (quota rinnovabile elettricità)

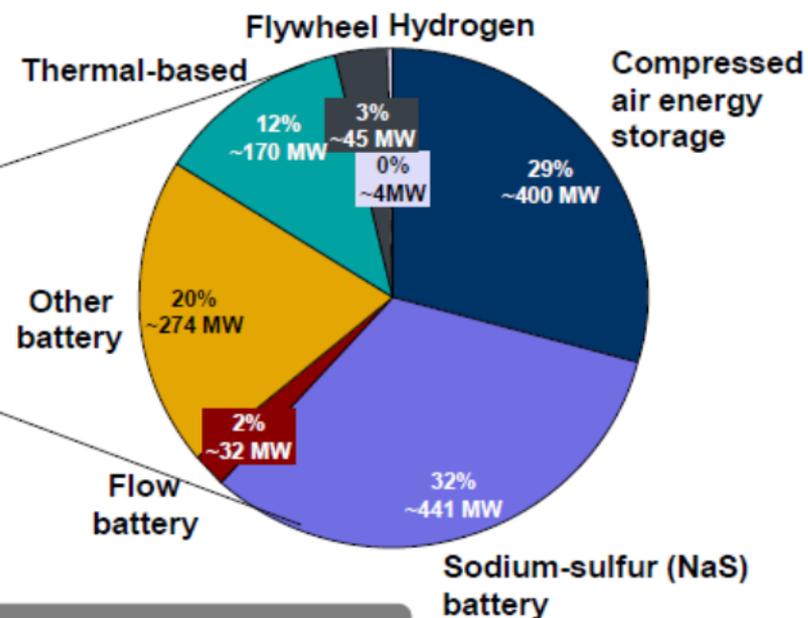


# QUALE ACCUMULO?

**TOTAL ELECTRICITY STORAGE  
CAPACITY**  
MW, 2012



**ELECTRICITY STORAGE CAPACITY EXCLUDING  
PUMPED HYDRO STORAGE**  
MW, 2012



**99% of storage is pumped hydro**

Note: \* CAES: compressed air energy storage.

Source: SBC Energy Institute Analysis based on Bloomberg New Energy Finance database extracted on 12<sup>th</sup> April 2013; Jun Ying (2011); "The future of energy storage technologies and policy"



## **QUALE ACCUMULO: IL REGIME DI CONNESSIONE**

### **- Fotovoltaico 2.0**

- *Detrazione 50%*
- *Scambio sul posto*
- *Ritiro dedicato*
- *SEU (Sistemi Efficienti di Utenza)*

### **- I SEU sono una connessione diretta tra produttore e consumatore:**

- **contratto privato - nessun intermediario**
- **garanzie di fornitura**



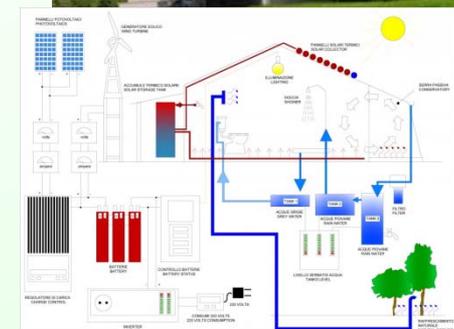
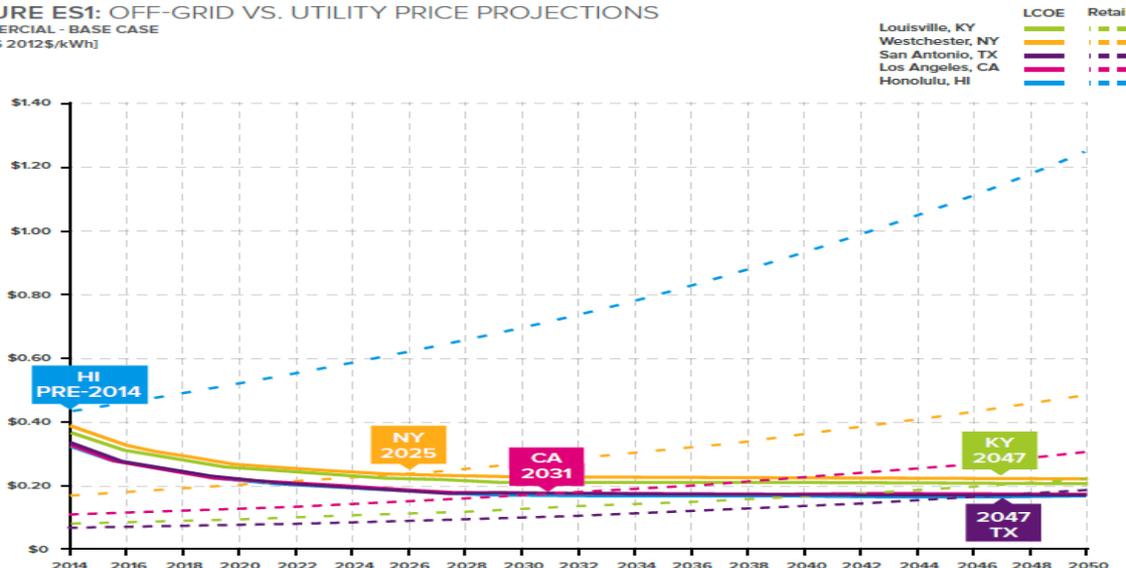
**Necessità di accumulo**



## VERSO IL DISTACCO?

- *The economics of grid defection* del Rocky Mountain Institute
- Solar-plus-battery grid parity possibile entro 20 anni negli stati di New York e California

FIGURE ES1: OFF-GRID VS. UTILITY PRICE PROJECTIONS  
COMMERCIAL - BASE CASE  
[Y-AXIS 2012\$/kWh]





## DIFFERENZIAZIONE

Storage technology	Storage Mechanism	Power	Capacity	Storage Period	Density		Efficiency	Lifetime	Cost		
		MW	MWh	time	kWh/ton	kWh/m <sup>3</sup>	%	# cycles	\$/kW	\$/kWh	€/kWh-delivered
Lithium Ion (Li Ion)	Electro-chemical	< 1,7	< 22	day - month	150 - 250	250 - 375	0,89 - 0,98	2960 - 5440	1230 - 3770	620 - 2760	17 - 102
Sodium Sulfur (NAS) battery	Electro-chemical	1 - 60	7 - 450	day	99 - 150	150 - 255	0,75 - 0,86	1620 - 4500	260 - 2560	210 - 920	9 - 55
Lead Acid battery	Electro-chemical	0.1 - 30	< 30	day - month	22 - 30	25 - 65	0,65 - 0,85	160 - 1060	350 - 850	130 - 1100	21 - 102
Redox/Flow battery	Electro-chemical	< 7	< 10	day - month	180 - 250	21 - 34	0,72 - 0,85	1510 - 2780	650 - 2730	120 - 1600	5 - 88
Compressed air energy storage (CAES)	Mechanical	2 - 300	14 - 2050	day	2 - 7 at 20 - 80 bar	2 - 7 at 20 - 80 bar	0,4 - 0,75	8620 - 17100	15 - 2050	30 - 100	2 - 35
Pumped hydro		450 - 8000	8000 - 10000	month - years	0.27 at 20 - 80 bar	0.27 at 20 - 80 bar	0,7 - 0,8	12800 - 17100	540 - 1000	10 - 15	1 - 2
Phase change materials (PCM)	Thermal	< 10	< 10	hour - week	50 - 150	< 120	0,75 - 0,9	~5000	-	13 - 65	1,3 - 6
Thermochemical storage (TCS)	Thermal	< 1	< 10	hour - week	120 - 250	120 - 250	0,8 - 1	~3500	-	10 - 130	1 - 5



**Comparison of storage technologies is difficult.  
There is a strong influence of the actual application on  
the storage properties!**

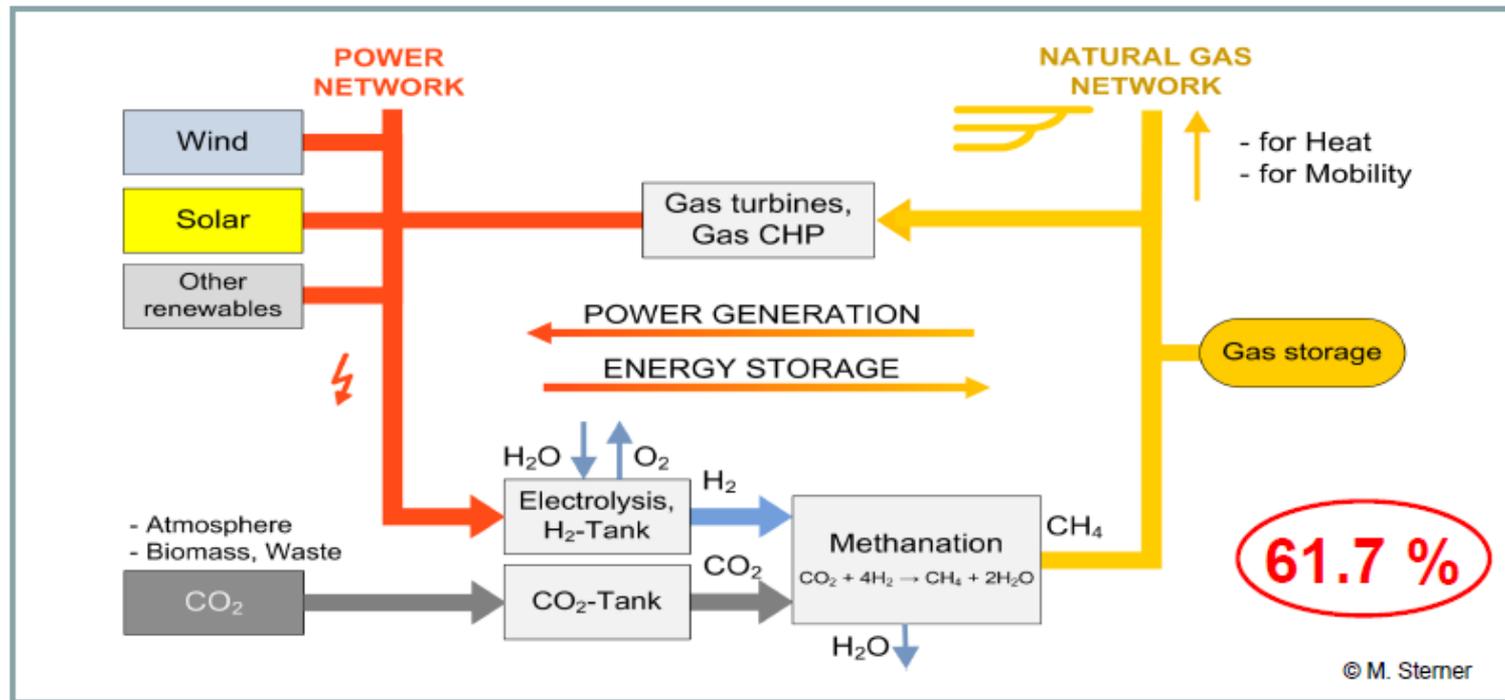


## DIFFERENZIAZIONE

Storage technology	Storage Mechanism	Power	Capacity	Storage Period	Density		Efficiency	Lifetime	Cost		
		MW	MWh	time	kWh/ton	kWh/m <sup>3</sup>	%	# cycles	\$/kW	\$/kWh	€/kWh-delivered
Lithium Ion (Li Ion)	Electro-chemical	< 1,7	< 22	day - month	84 - 160	190 - 375	0,89 - 0,98	2960 - 5440	1230 - 3770	620 - 2760	17 - 102
Sodium Sulfur (NAS) battery	Electro-chemical	1 - 60	7 - 450	day	99 - 150	156 - 255	0,75 - 0,86	1620 - 4500	260 - 2560	210 - 920	9 - 55
Lead Acid battery	Electro-chemical	0.1 - 30	< 30	day - month	22 - 34	25 - 65	0,65 - 0,85	160 - 1060	350 - 850	130 - 1100	21 - 102
Redox/Flow battery	Electro-chemical	< 7	< 10	day - month	18 - 28	21 - 34	0,72 - 0,85	1510 - 2780	650 - 2730	120 - 1600	5 - 88
Compressed air energy storage (CAES)	Mechanical	2 - 300	14 - 2050	day	-	2 - 7 at 20 - 80 bar	0,4 - 0,75	8620 - 17100	15 - 2050	30 - 100	2 - 35
Pumped hydro energy storage (PHES)	Mechanical	450 - 2500	8000 - 190000	day - month	0,27 at 100m	0,27 at 100m	0,63 - 0,85	12800 - 33000	540 - 2790	40 - 160	0,1 - 18
Hydrogen	Chemical	varies	varies	indefinite	34000	2,7 - 160 at 1 - 700 bar	0,22 - 0,50	1	384 - 1408	-	25 - 64
Methane	Chemical	varies	varies	indefinite	16000	10 at 1 bar	0,24 - 0,42	1	-	-	16 - 44
Sensible storage - Water	Thermal	< 10	< 100	hour - year	10 - 50	< 60	0,5 - 0,9	~5000	-	0,1 - 13	0,01
Phase change materials (PCM)	Thermal	< 10	< 10	hour - week	50 - 150	< 120	0,75 - 0,9	~5000	-	13 - 65	1,3 - 6
Thermochemical storage (TCS)	Thermal	< 1	< 10	hour - week	120 - 250	120 - 250	0,8 - 1	~3500	-	10 - 130	1 - 5



# ACCUMULO DI LUNGO PERIODO



**Fuel:**

**Electricity (Fuel Cell):**

**Heating:**

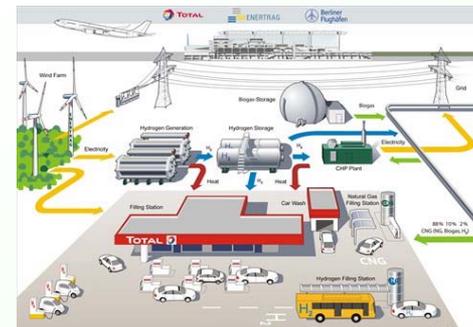
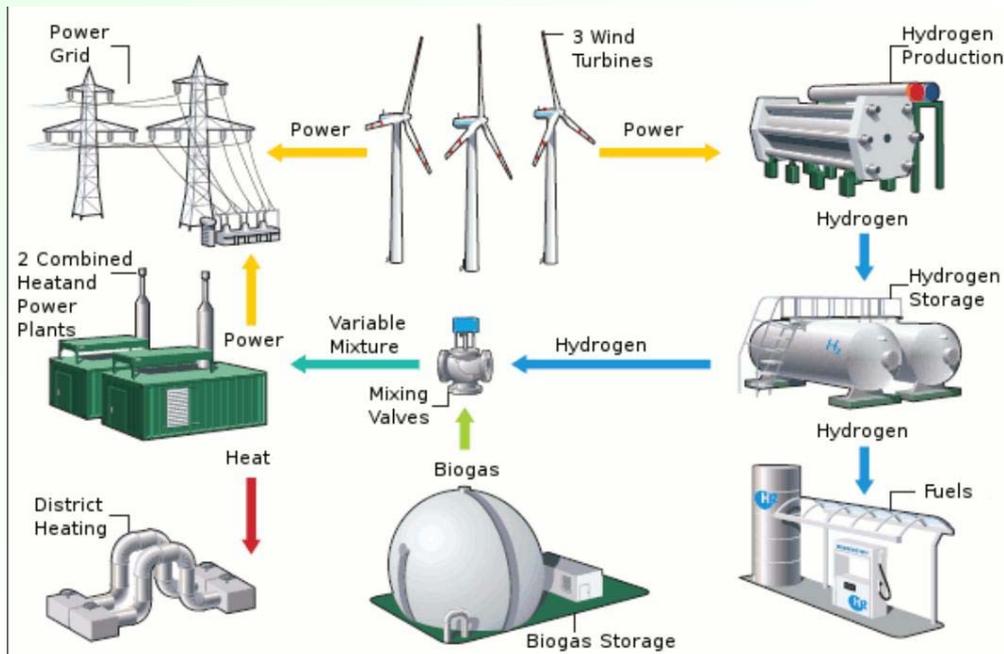
**Overall Efficiency 50%**

**Overall Efficiency 30 %**

**Overall Efficiency 50 %**

# PROGETTAZIONE DI SISTEMI COMPLESSI

## Prenzlau, Germania



- **Brasile – diga di di Itaipù (Paranà) e impianto idrogeno (tecnologia italiana)**
- **Porto Marghera (Ve) – Hydrogen Park, industrie chimiche, trasporto marittimo, ecc.**
- **Arezzo, S. Zeno – Fotovoltaico, idrogeno, idrogenodotto e settore orafa**
- .....



## **CONCLUSIONI 1/2**

- **La quota di produzione rinnovabile tenderà a raggiungere stabilmente nei prossimi anni/decenni valori alti, anche in caso di ripresa economica.**
- **I sistemi di accumulo locale e distribuito rappresenteranno una necessità.**
- **Problematica principale legata ai costi: attesa riduzione in pochi anni.**



## **CONCLUSIONI 2/2**

- **In un'ottica di gestione ottimale il problema degli accumuli deve essere gestito all'interno di una logica di *smart grid*.**
- **Altrimenti l'alternativa è quello di un incremento dei distacchi o dei picchi di richiesta.**
- **E' necessario integrare diverse tipologie di accumulo.**
- **Esperienze italiane poco numerose e quadro strategico/normativo poco chiaro.**



## **GRAZIE DELL'ATTENZIONE**



**Ing. Stefano Corsi**

**ECORE s.r.l., via della Rondinella 66/4, Firenze**

**stef.corsi@tiscali.it**



*Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze  
Commissione Ambiente ed Energia*

Giornata di Studio AEE – AEIT  
Firenze 21 Marzo 2014



## Tecnologie per l'accumulo di energia e loro applicazioni

Guido Fiesoli, Product Manager Director



# Sistemi di stoccaggio dell'Energia

## Argomenti di discussione

1. **Introduzione – Energie rinnovabili & rete elettrica**
2. Mercato italiano dei sistemi di accumulo
3. Soluzioni Power-One(ABB) per applicazioni residenziali
4. Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico
5. Soluzioni ABB per DSO/TSO
6. Conclusioni

# Energie rinnovabili e rete elettrica

## Protocollo di Kyoto

**Trattato Internazionale dell'11 Dicembre 1997 a proposito di riscaldamento globale del pianeta.**

### **Obbiettivi «2020» entro il 2020**

1. Ridurre emissioni di CO<sub>2</sub> del 20% rispetto ai livelli del 1990
2. Il 20% dell'energia consumata deve provenire da sorgenti di energia rinnovabili
3. Miglioramento dell'efficienza energetica per un risparmio energetico del 20%



# Energie rinnovabili e rete elettrica

## Sviluppo sostenibile ed integrazione delle rinnovabili

Numerosi sono i fattori che determinano la necessità di prevedere l'utilizzo di sistemi di accumulo dell'energia:



Sviluppo di sistemi di generazione distribuita da FRNP



Necessità di identificare soluzioni che permettano un uso più efficiente dei sistemi di trasmissione e distribuzione esistenti



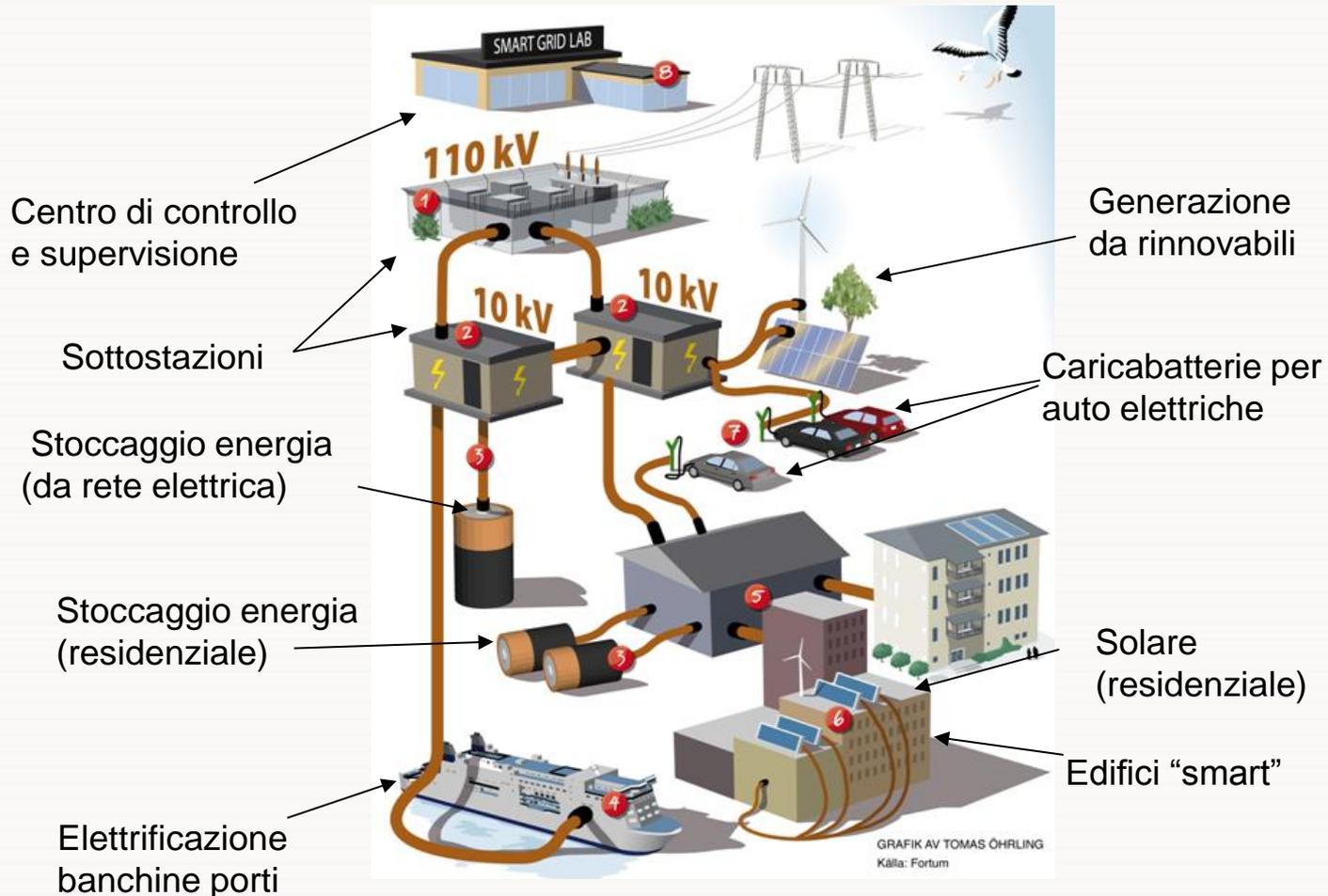
Sviluppo del concetto di una rete intelligente, ovvero una "Smart Grid" o meglio «Smart System»



Garantire maggior flessibilità dei profili di produzione e rispondere a variazioni repentine dei profili di carico

# Energie rinnovabili & rete elettrica

## Smart Grid



# Sistemi di stoccaggio dell'Energia

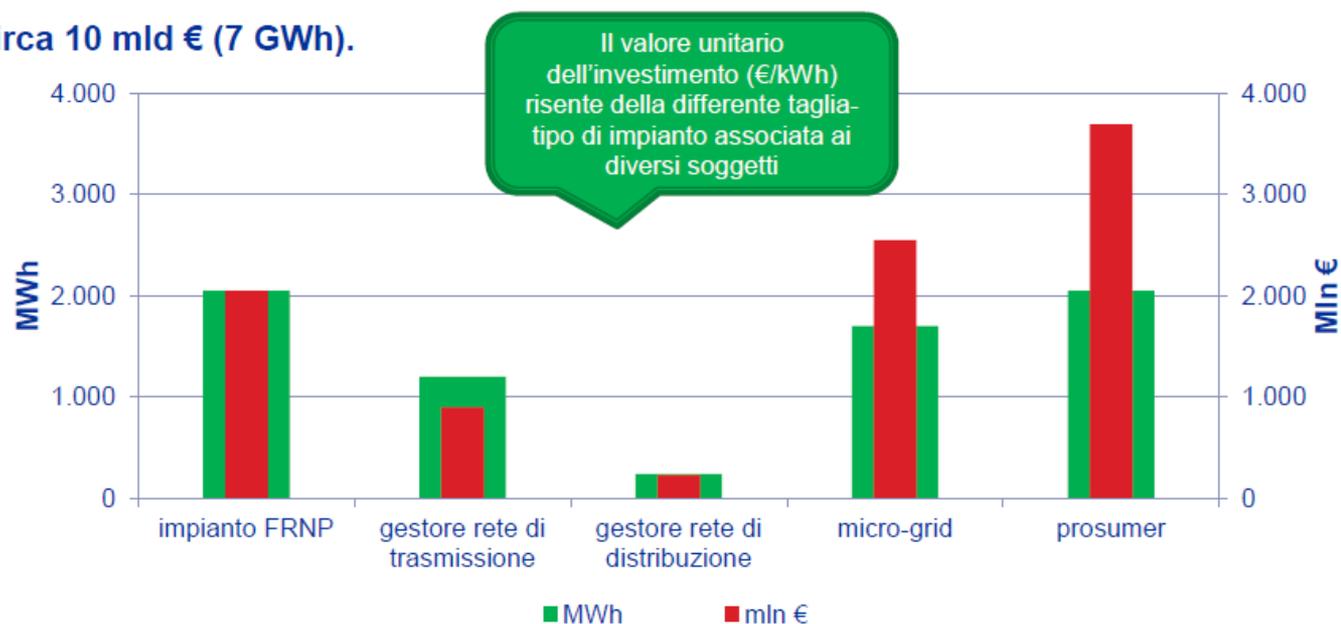
## Argomenti di discussione

1. Introduzione – Energie rinnovabili & rete elettrica
2. **Mercato italiano dei sistemi di accumulo**
3. Soluzioni Power-One(ABB) per applicazioni residenziali
4. Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico
5. Soluzioni ABB per DSO/TSO
6. Conclusioni

# Mercato italiano dei sistemi di accumulo

## Proiezione Politecnico Milano

- Il potenziale “teorico” associato ai sistemi di accumulo in Italia al 2020 è stimabile in circa 10 mld € (7 GWh).



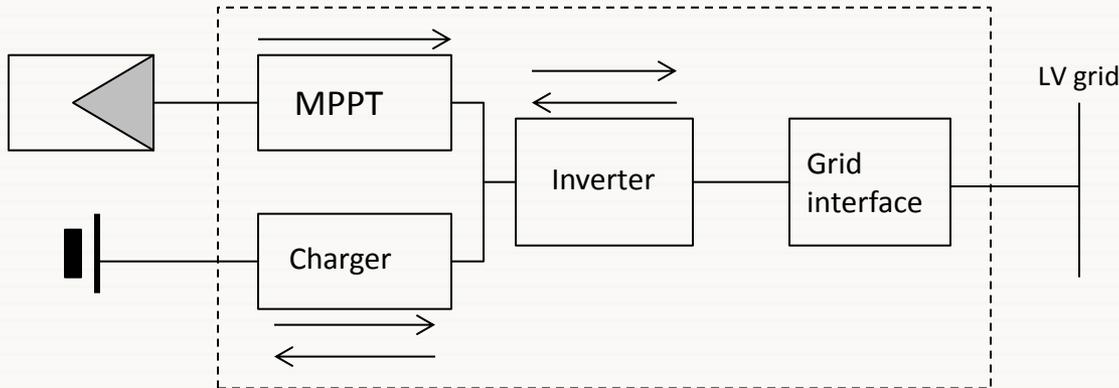
Tale potenziale si ripartisce in maniera non del tutto omogenea tra i diversi soggetti, dal momento che la gran parte di esso è associato ai soggetti non regolati, in particolare al prosumer (39%) e micro-grid (28%).

Source Politecnico MI

# Mercato italiano dei sistemi di accumulo

## Segmenti applicativi

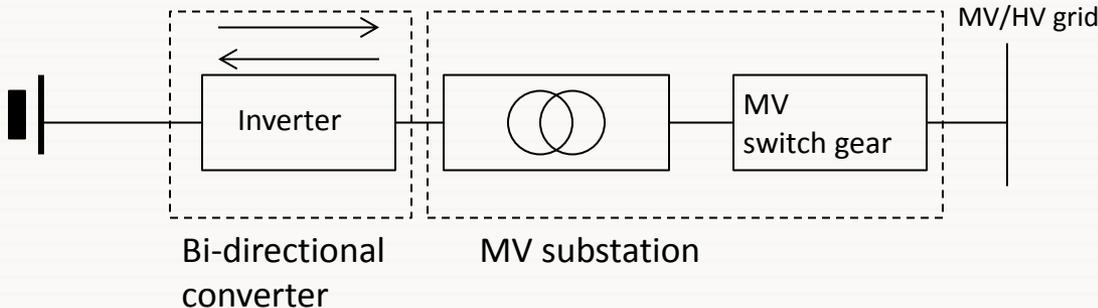
PV+Storage per mercati residenziale e piccolo commerciale



Integrazione di PV con storage e' la proposta per l'autoconsumo ed autosufficienza energetica.  
 Taglie Potenza sotto i 10kW  
 Potenza : Capacita' = 2:1

Tipicamente Grid connected

Storage per Utility scale



Convertitori bidirezionali  
 Taglie Potenza sopra i 100kW  
 Potenza : Capacita' = funz(applicatione)

Grid connected oppure in isola

# Sistemi di stoccaggio dell'Energia

## Argomenti di discussione

1. Introduzione – Energie rinnovabili & rete elettrica
2. Mercato italiano dei sistemi di accumulo
3. **Soluzioni Power-One(ABB) per applicazioni residenziali**
4. Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico
5. Soluzioni ABB per DSO/TSO
6. Conclusioni

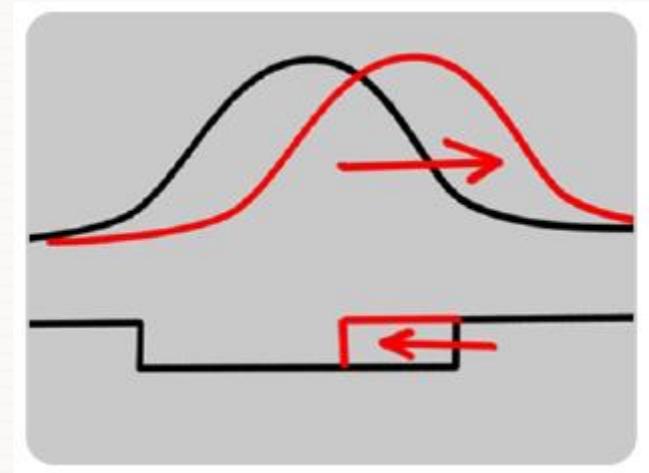
# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

## Concept

Storage + Load Management =

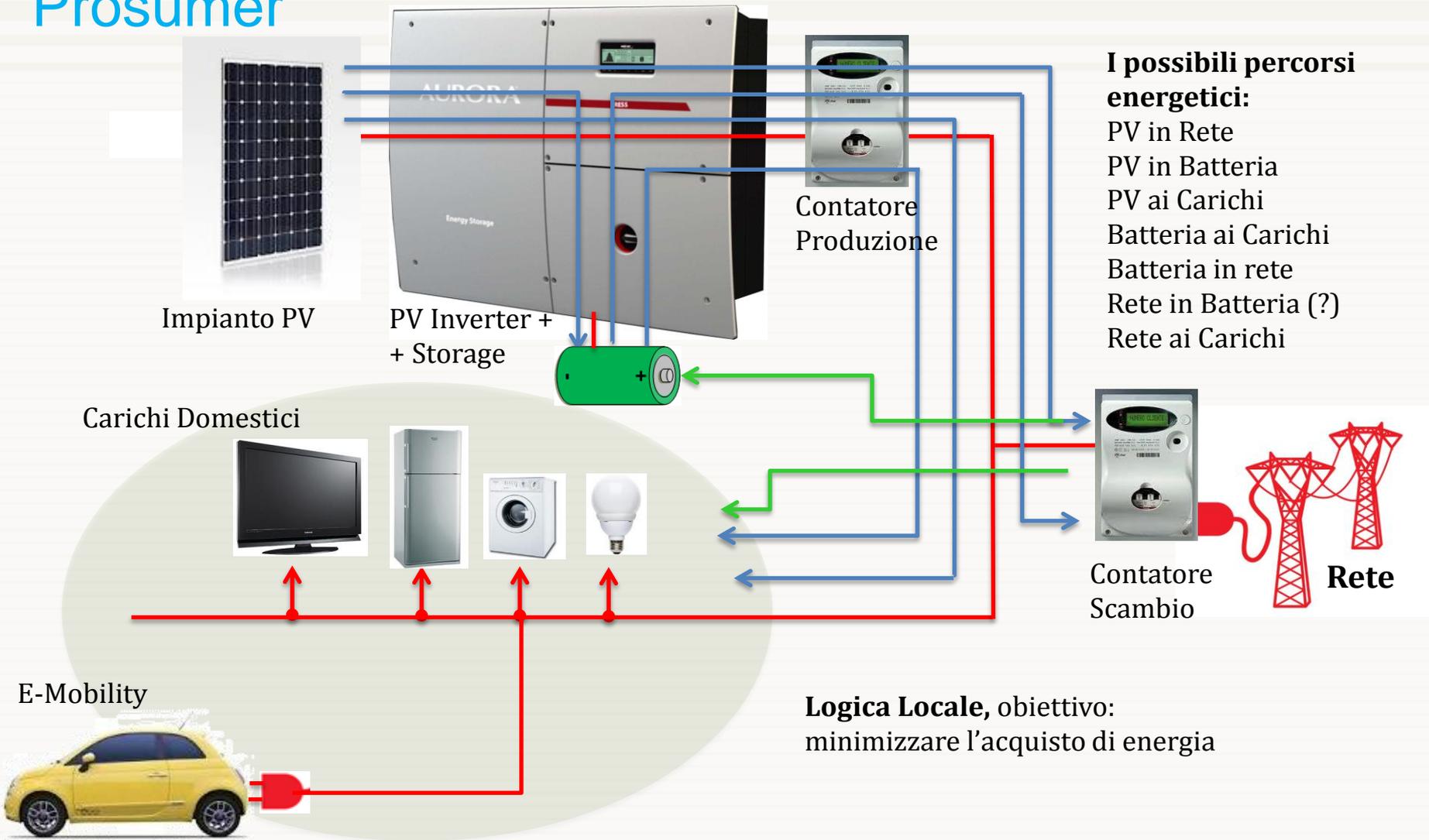
= allineare Produzione al Consumo

→ Energy Saving



# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

## Prosumer

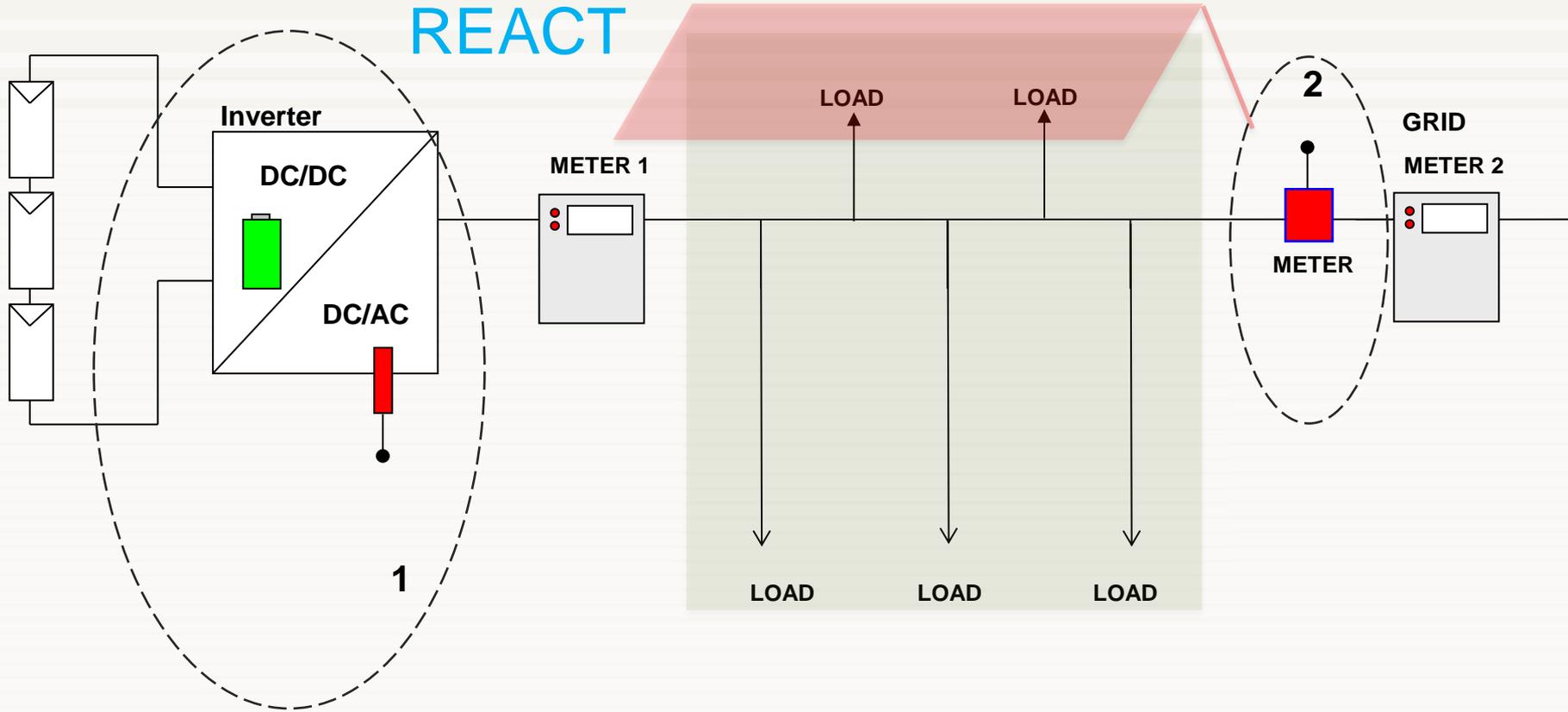


- I possibili percorsi energetici:**
- PV in Rete
  - PV in Batteria
  - PV ai Carichi
  - Batteria ai Carichi
  - Batteria in rete
  - Rete in Batteria (?)
  - Rete ai Carichi

**Logica Locale, obiettivo:**  
minimizzare l'acquisto di energia

# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

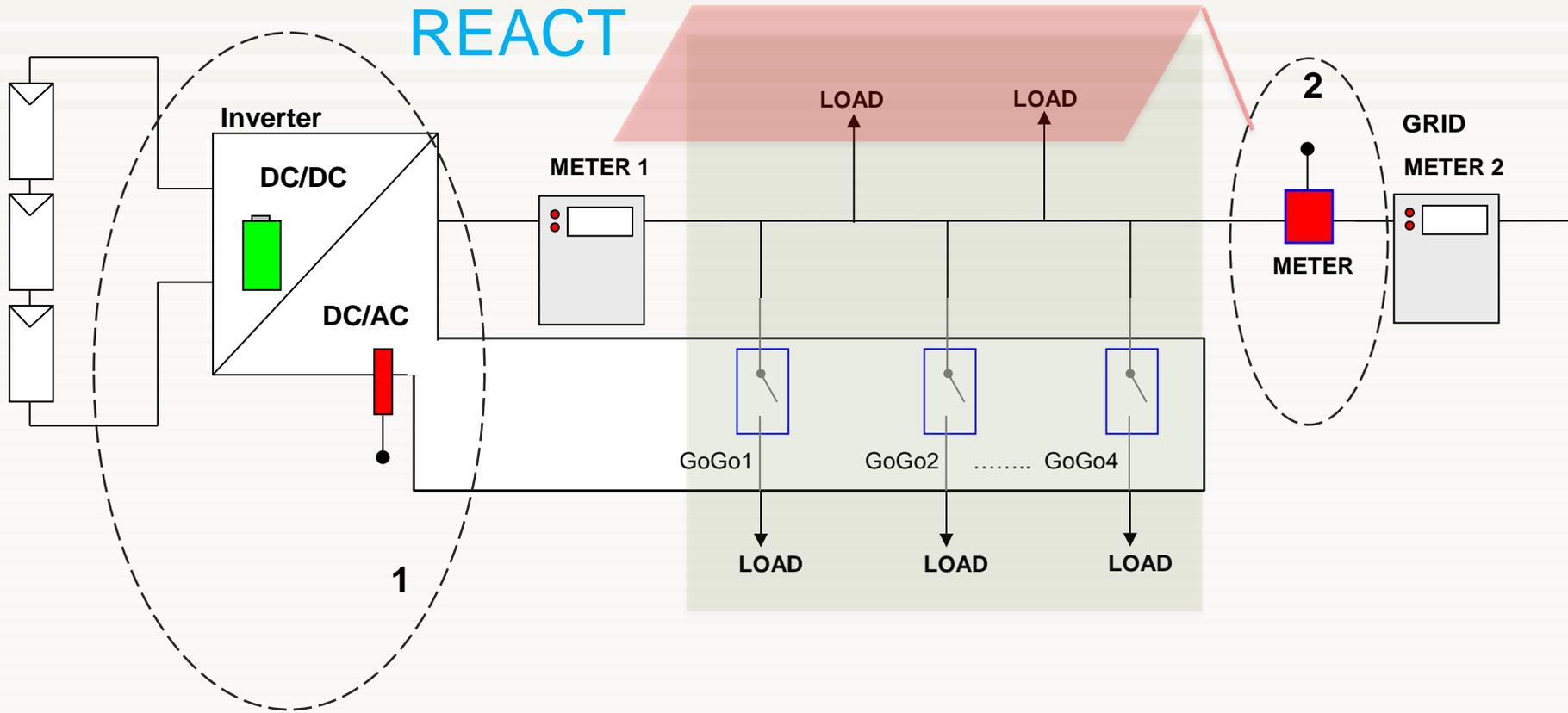
## REACT



**REACT + Energy Meter**, funzione base: gestione flussi energetici

- Misura della Potenza da e verso la Rete (obiettivo da ottimizzare)
- Gestione Potenza da e verso la Batteria
- Misura Potenza PV disponibile
- Misura del consumo domestico per differenza

# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

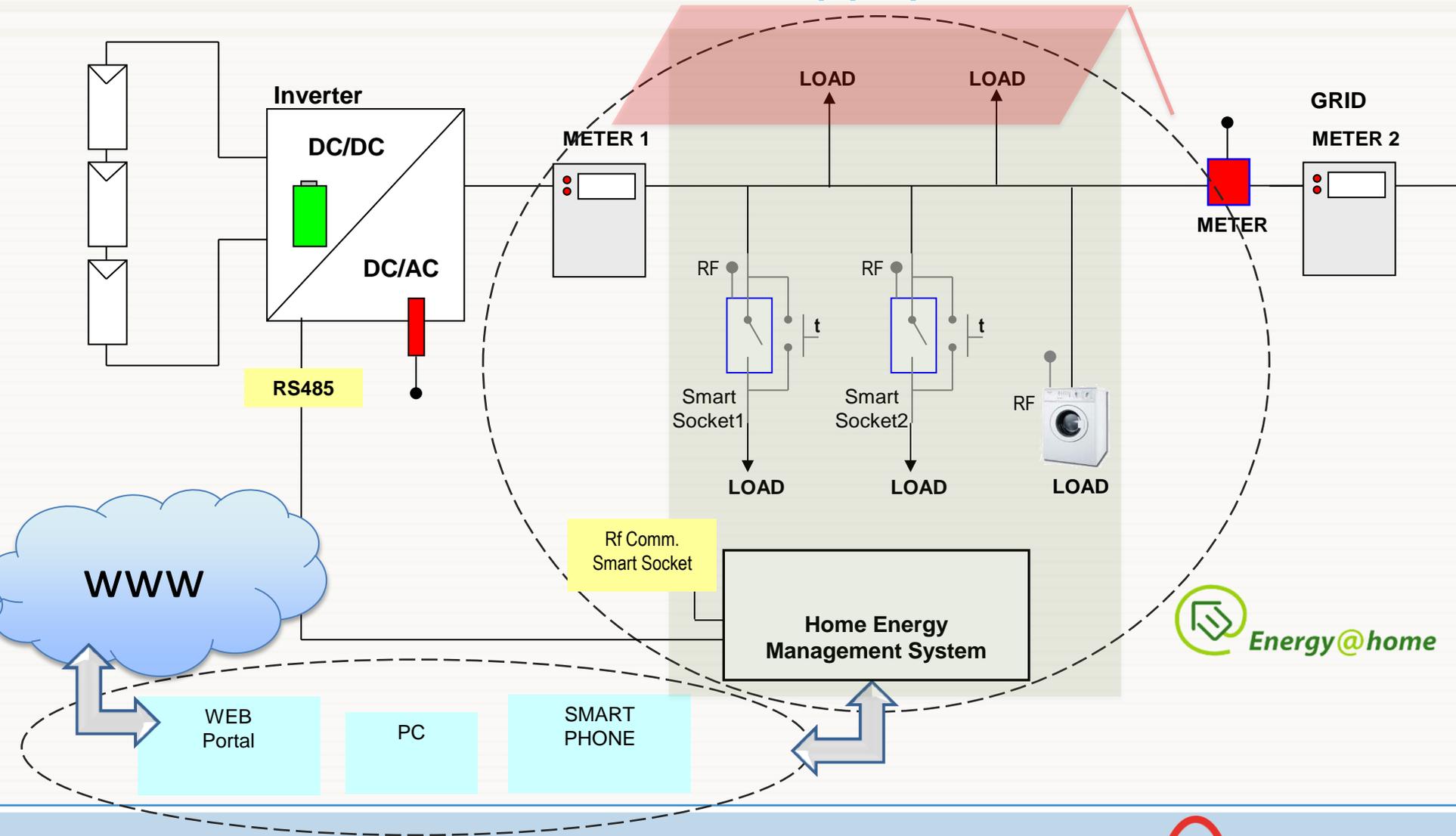


**REACT + Energy Meter**, funzione base: gestione flussi energetici

- Misura della Potenza da e verso la Rete (obiettivo da ottimizzare)
- Gestione Potenza da e verso la Batteria
- Misura Potenza PV disponibile
- Misura del consumo domestico per differenza
- Minimizzare acquisto energia
- Gestione nr.4 carichi domestici

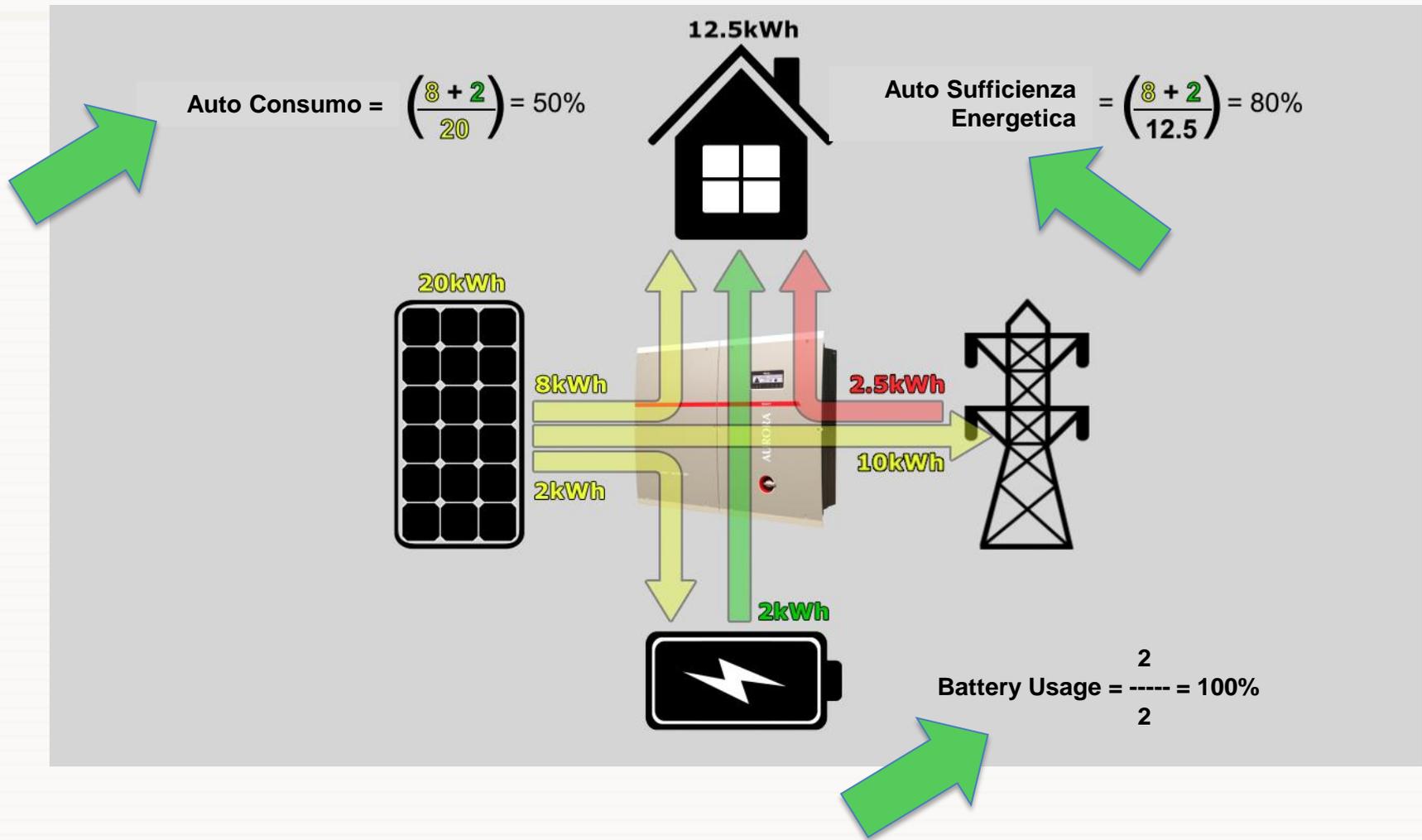
# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

## REACT e Sviluppi possibili



# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

## Consumitivo fine giornata, parametri controllo, esempio



# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

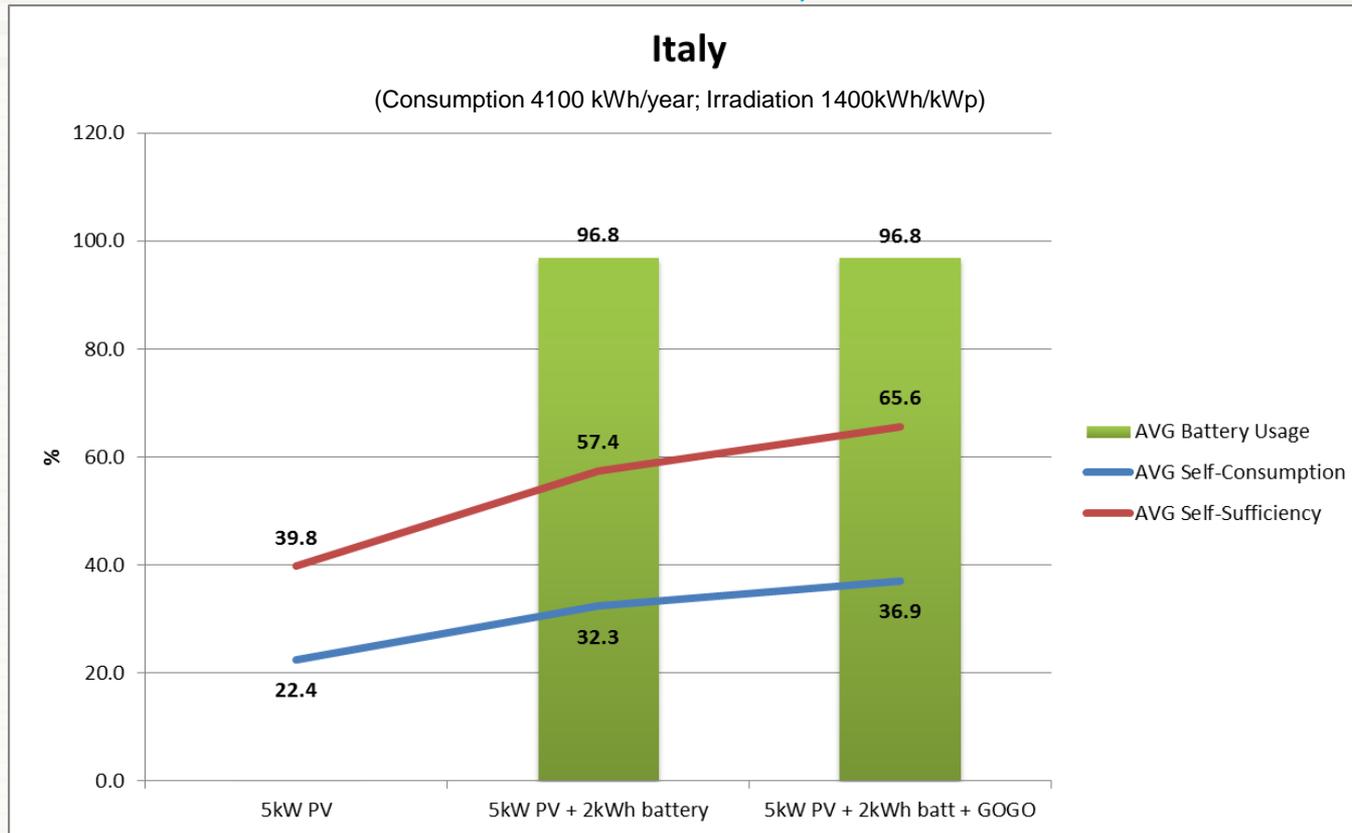
## Performance di sistema, simulazione annuale

### Dati per analisi

- Dati annuali di produzione in impianti PV puri in Germania e Italia
- Passo di campionamento 15 min.
- Potenza di impianto 5kW; batteria 2kWh
- Consumo annuale 4100kWh da profili di consumo reali (famiglia prevalentemente al lavoro)
- Risoluzione della simulazione 0,1 secondi
- Possibilità di spostare un solo picco di carico (load management)
- Applicazione degli algoritmi sviluppati per gestione dei flussi di energia
- Applicazione delle limitazioni proprie della soluzione Power-One
- In Germania limite al 60% della potenza PV iniettabile in rete per godere di incentivi
- Confronto tra PV puro / PV+storage / PV+storage+load management

# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

## Risultati Simulazione annuale, Italia



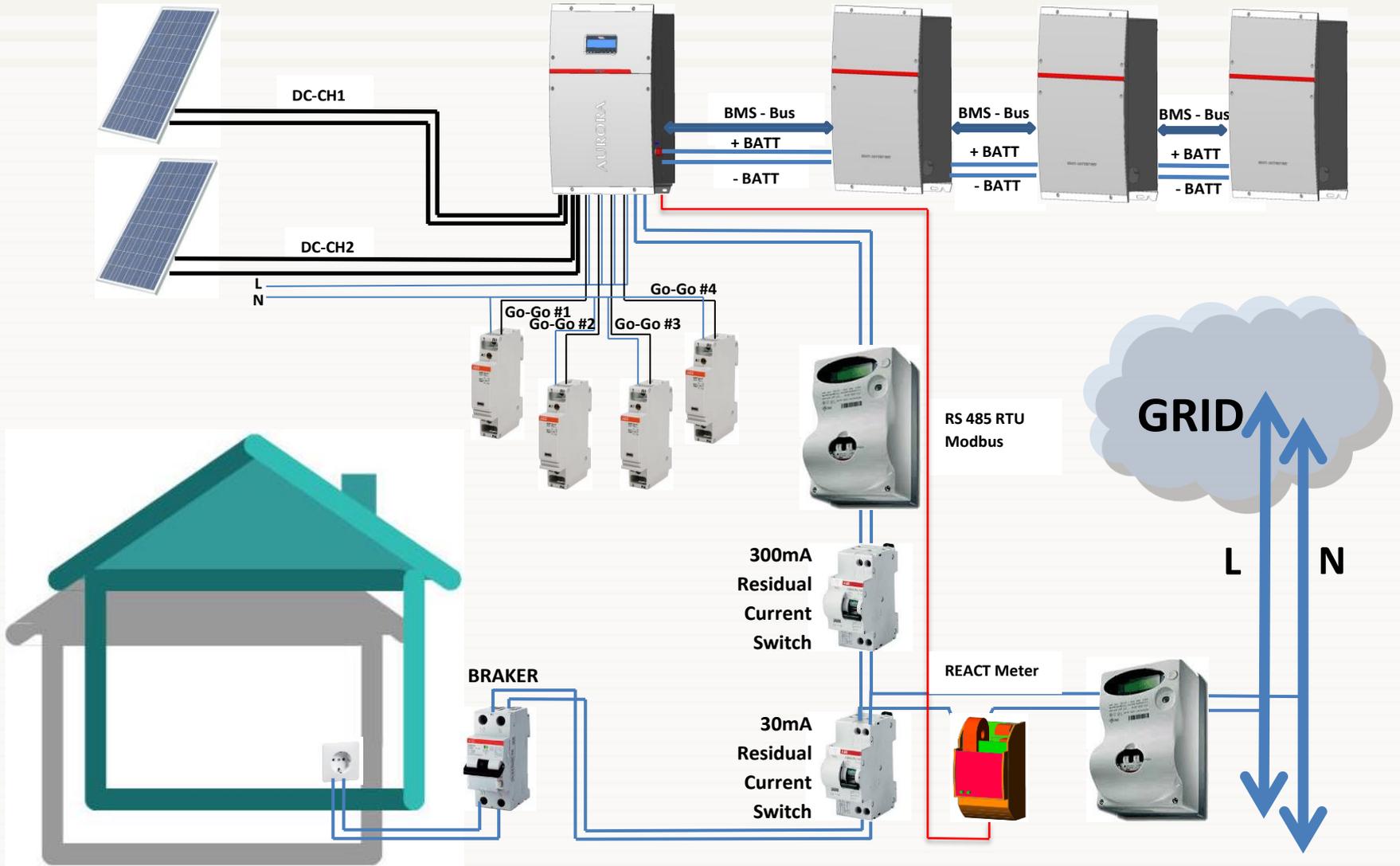
Italy	5kW PV	5kW PV + 2kWh battery	5kW PV + 2kWh batt + GOGO
IRR 20 yrs (Net metering + tax break)	11.0	8.2	8.9

Uso ottimale della batteria  
 Tasso di rendimento stimato buono  
 Auto Sufficienza Energetica +25%  
 Auto Consumo +15%



# Soluzioni Power-One(ABB) per il mercato residenziale

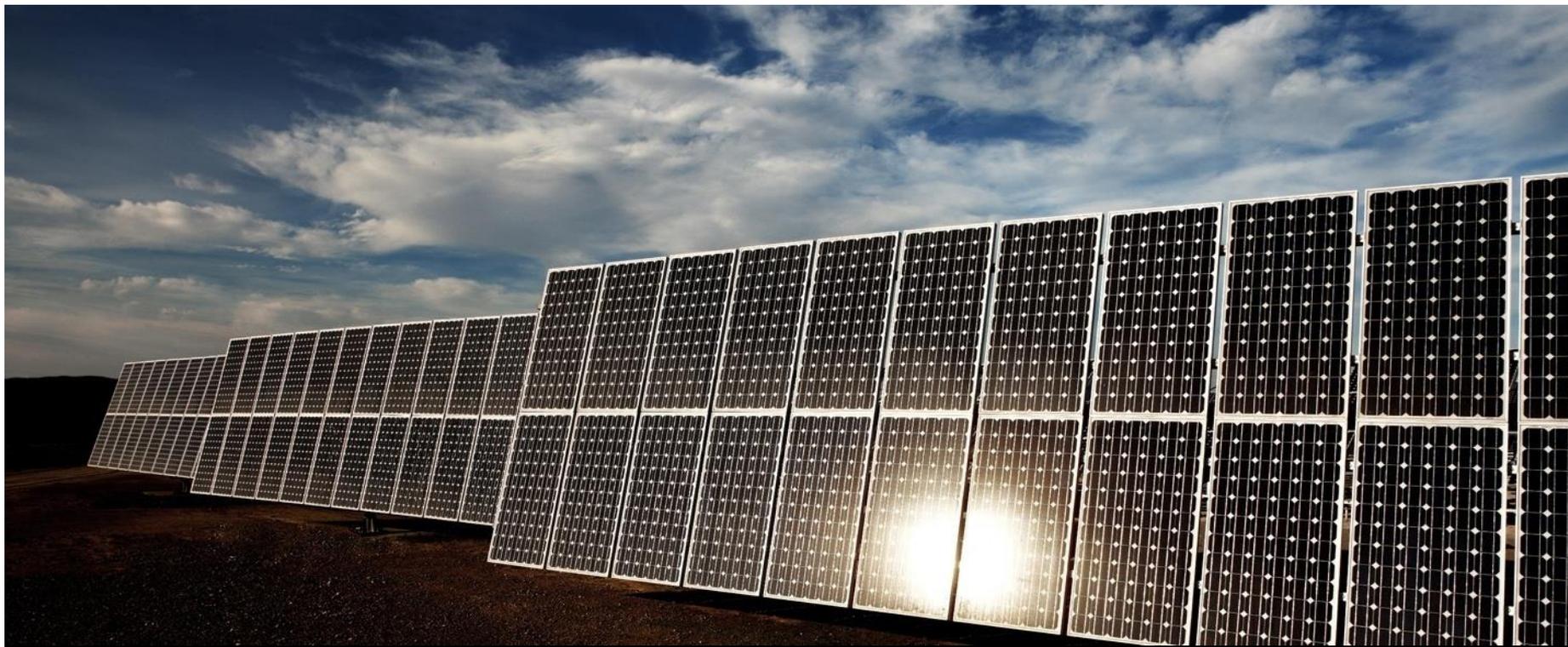
## Installazione Italia



# Sistemi di stoccaggio dell'Energia

## Argomenti di discussione

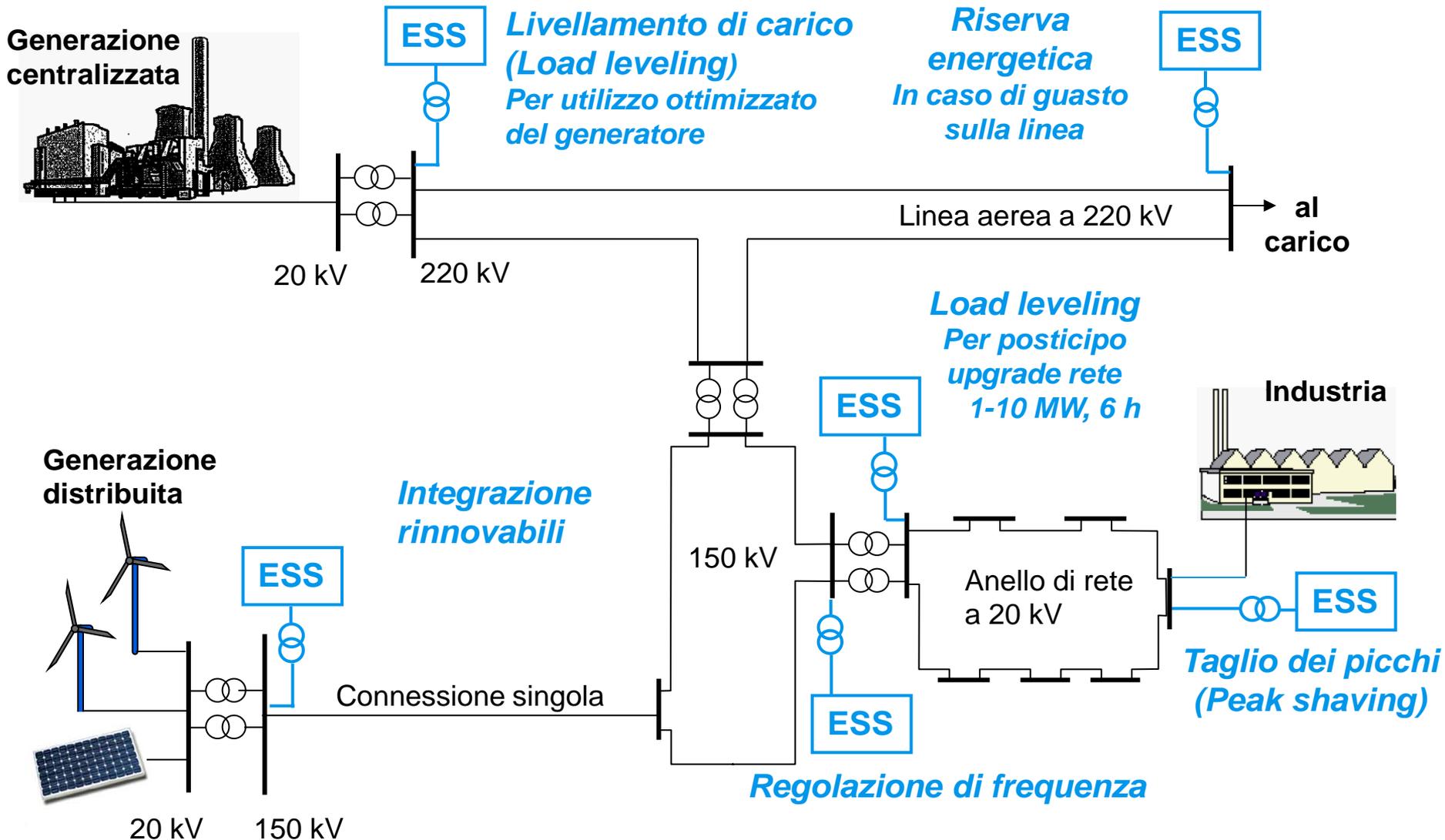
1. Introduzione – Energie rinnovabili & rete elettrica
2. Mercato italiano dei sistemi di accumulo
3. Soluzioni Power-One(ABB) per applicazioni residenziali
4. **Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico**
5. Soluzioni ABB per DSO/TSO
6. Conclusioni



Roberto Bernacchi - ABB S.p.A., 21 Marzo 2014, Giornata di Studio AEE-AEIT

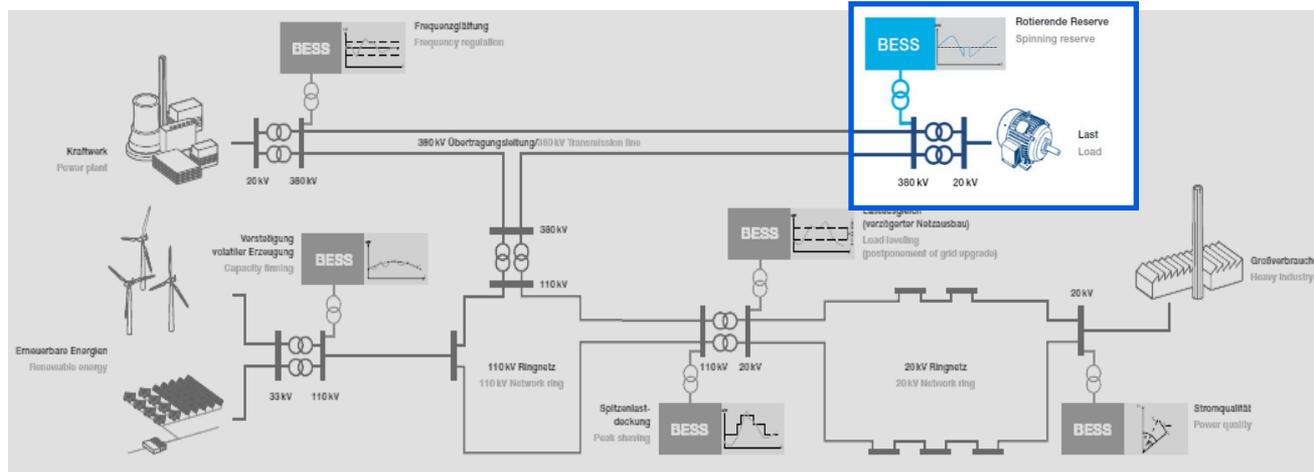
# Tecnologie per l'accumulo di energia e loro applicazioni PCS 100 ESS

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico (ESS)



# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico

## Spinning Reserve – Riserva energetica



- Fornire energia in caso di problemi di rete (black-out)
- Ridurre lo sbilanciamento tra consumo ed energia disponibile in rete in caso di variazioni improvvise del carico

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico (ESS) Fairbanks - Alaska



## Specifiche:

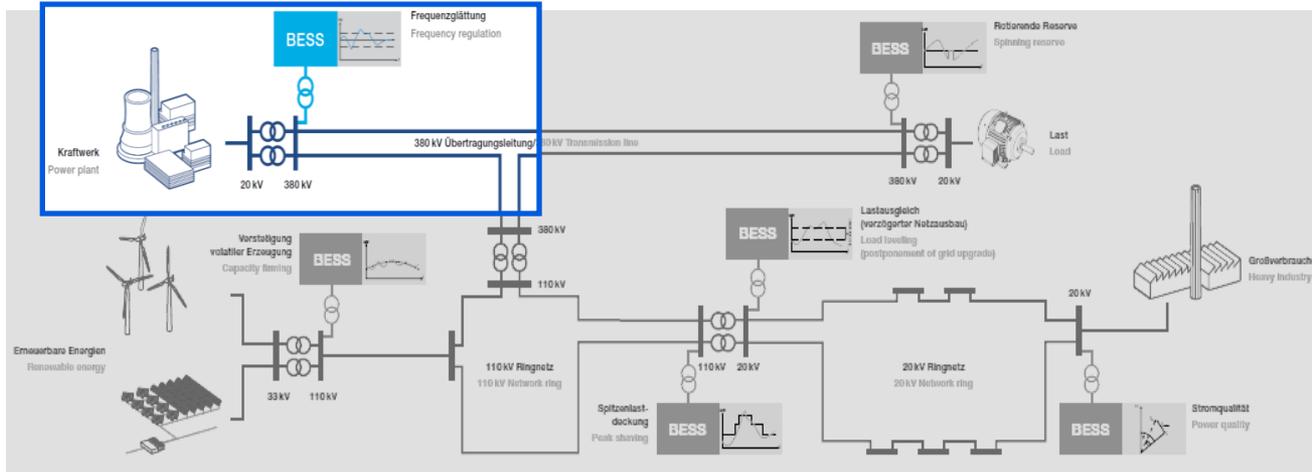
- 40 MW per 7 min (4.7 MWh)
- 27 MW per 15 min (6.75 MWh)
- Efficienza AC/AC  $\approx 75\%$
- Ciclo di vita batterie: 20 anni

## Applicazioni:

- Riserva energetica in caso di guasti sulla linea
- Riserva operativa (Spinning reserve)
- Compensazione potenza reattiva
- In servizio dal 2004

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico

## Frequency regulation - Regolazione di frequenza



- Riequilibrio degli sbilanciamenti tra produzione e consume energetico :
  - Regolazione primaria
  - Regolazione secondaria

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico Northern Chile

- Nuova centrale in un'area mineraria del Nord del Cile in presenza di :
  - Rete debole
  - Variazioni di carico rilevanti

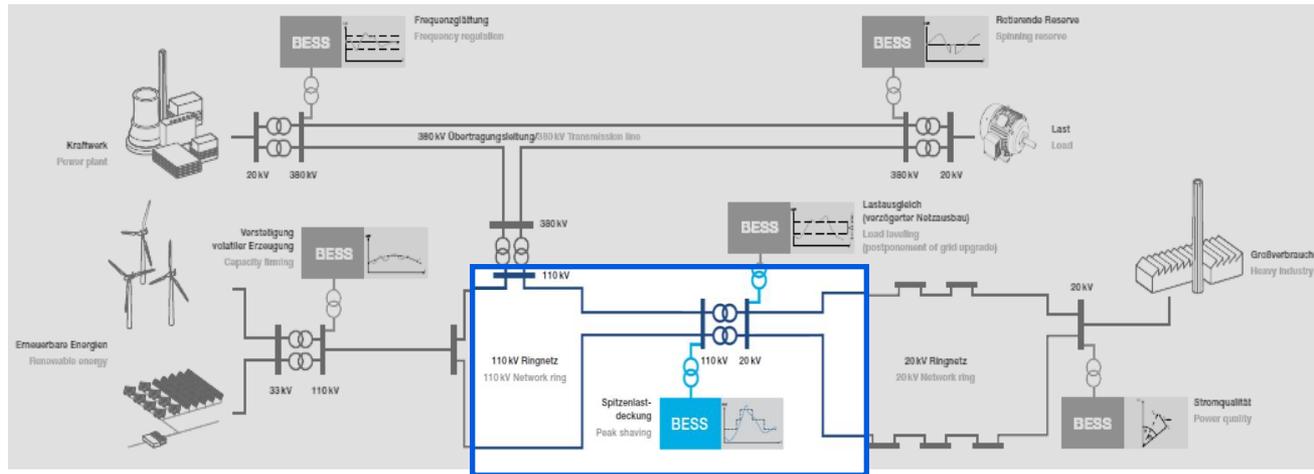


Necessità di stabilizzare la frequenza

- Sistema di accumulo dimensionato per fornire
  - 20 MW di Potenza massima
  - 15 minuti di autonomia (5 MWh energia di scarica), ricarica in 18,75 min.
- Soluzione containerizzata (4 Inverter Da 1 MW x 5 container da 20')

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico

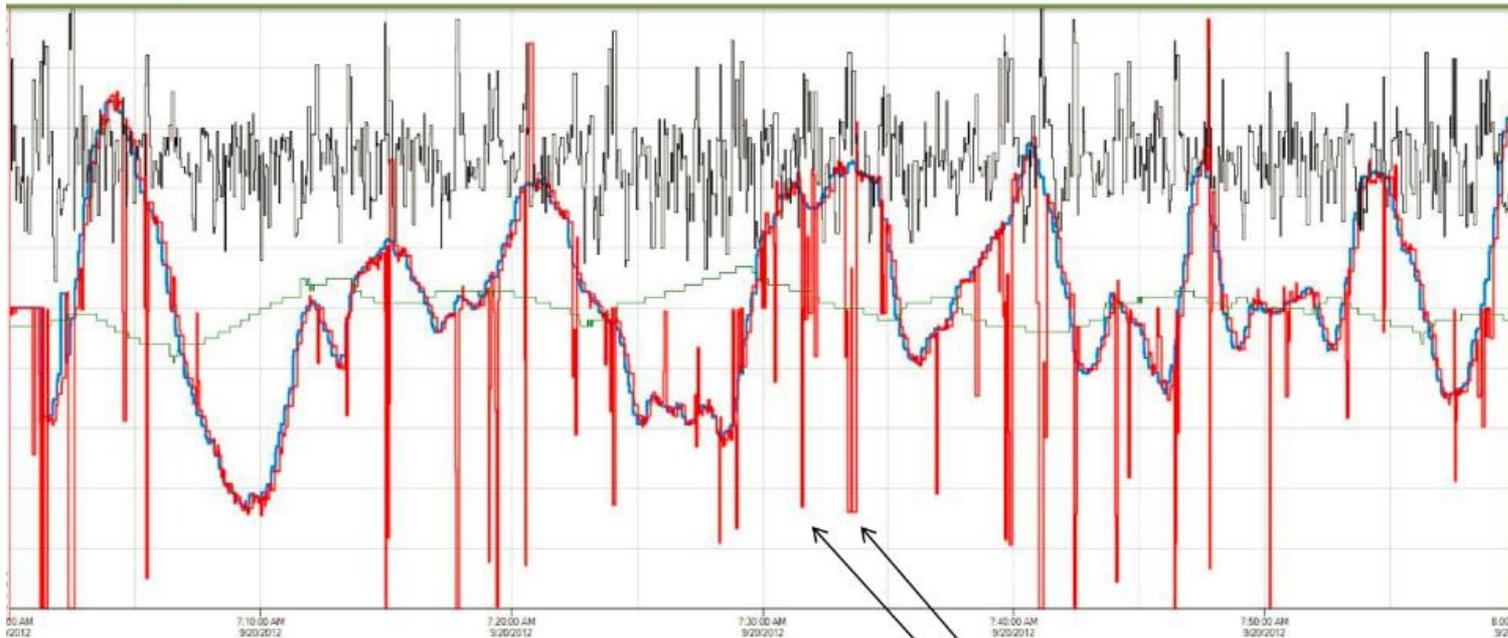
## Peak shaving – Taglio dei picchi



- Riduzione di picchi di consumo di breve durata
- Ottimizzazione prelievo da rete

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico SEPTA - Philadelphia

## SEPTA Wayside Energy Storage & Frequency Regulation



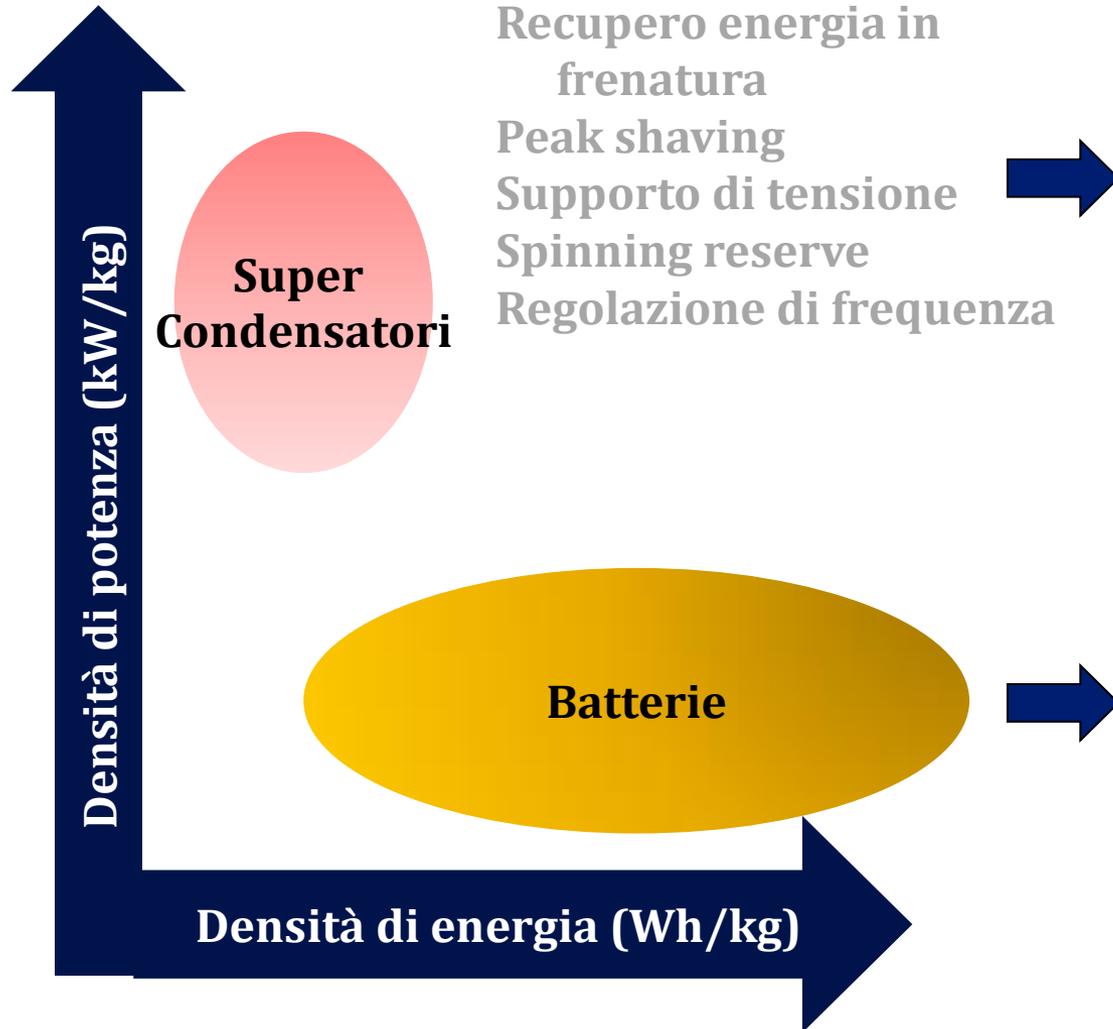
### Legend

- Control Signal (REGD kW)
- Metered Battery Response (CREG kW)
- Voltage from DC Traction System (VDC)
- State of Charge (SOC %)

Regen Events

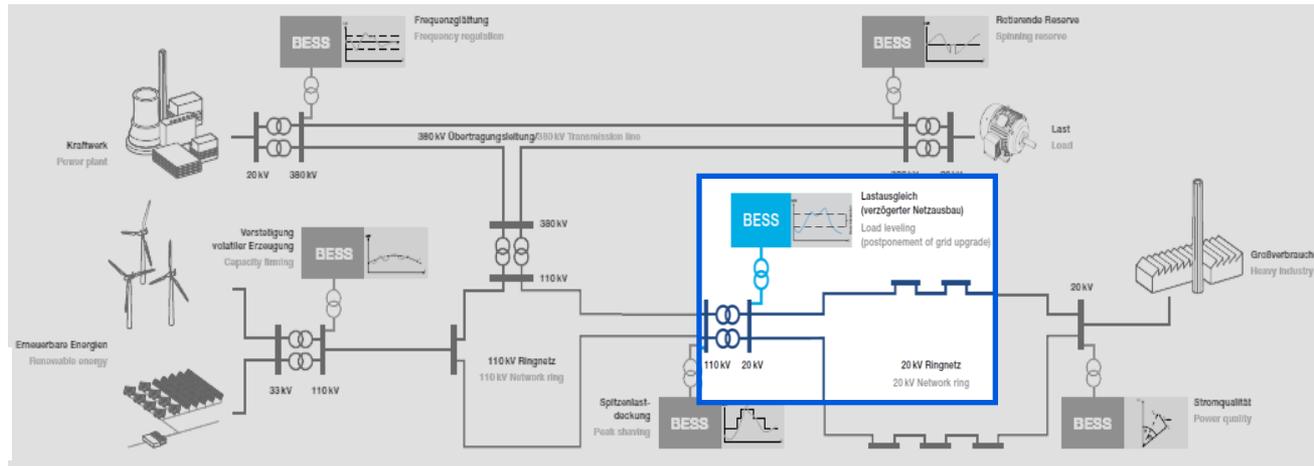
© 2011 Viridity Energy, Inc.; All Rights Reserved; Proprietary and Confidential Information; Do Not Copy; Do Not Disclose

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico SEPTA - Philadelphia



# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico

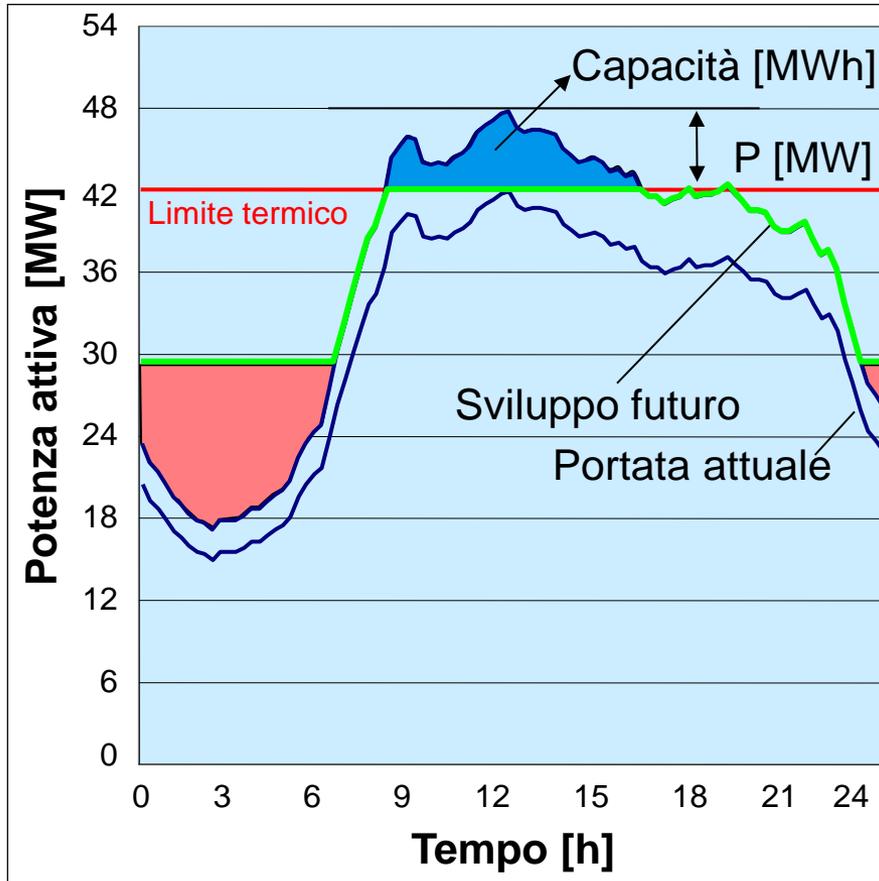
## Load leveling – Investment deferral



- Ottimizzare distribuzione e/o trasmissione bilanciando generazione di energia con il carico richiesto
- Possibilità di posticipare upgrade della rete, risolvendo colli di bottiglia locali

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico

## Load leveling – Investment deferral



### ▪ Committente

- Gestore di rete
- Utility locale

### ▪ Funzionalità

- Fornitura di potenza attiva in periodi di massimo carico
- Ricarica durante periodi di carico minimo

### ▪ Vantaggi

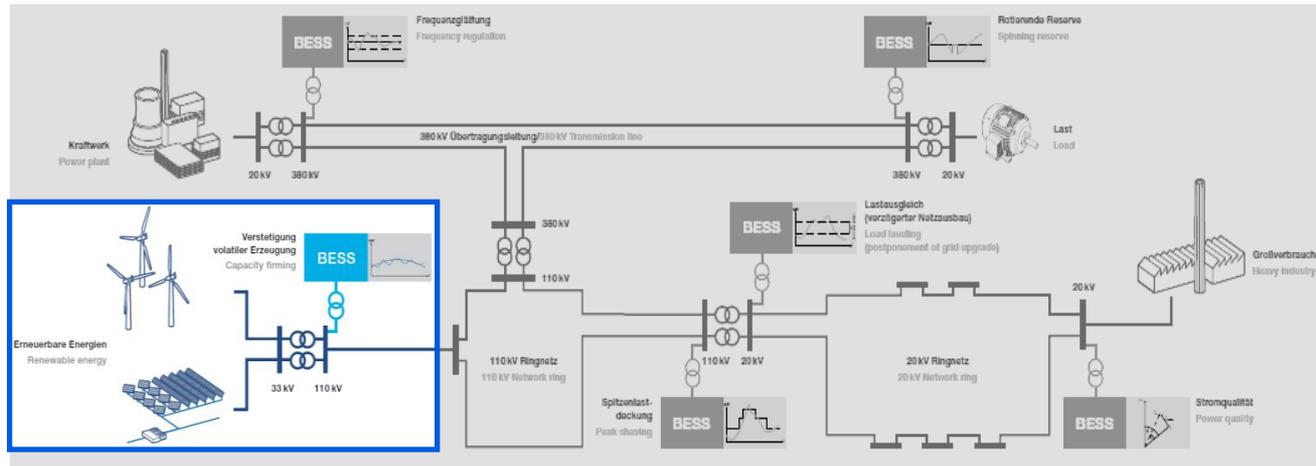
- Posticipo investimenti su rete di distribuzione/trasmissione
- Compensazione potenza reattiva (VAR)



Posticipo investimenti su rete di distribuzione

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico

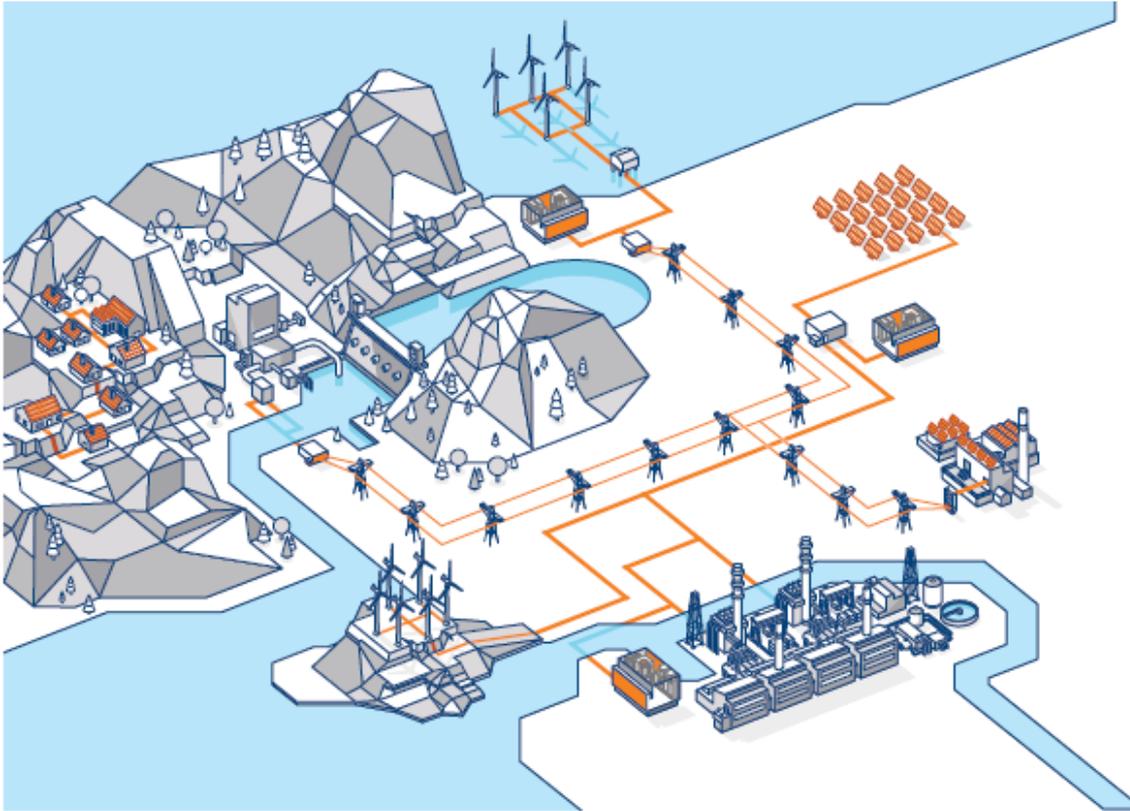
## Integrazione rinnovabili



- Stabilizzare l'immissione di energia in rete da FRNP
- Compensare cali di produzione temporanei da generazione eolica/solare

# Applicazioni dei sistemi di stoccaggio (ESS)

## Faial, Azzorre



### ▪ Progetto

- Microrete esistente da 17 MW
- Installazione 5 turbine eoliche per aumento produzione del 25%
- Installazione sistema controllo microrete con sistema di accumulo a volano

### ▪ Vantaggi

- Massimizzazione produzione da FRNP
- Equilibrio tra domanda e offerta,
- Ottimizzazione utilizzo genset

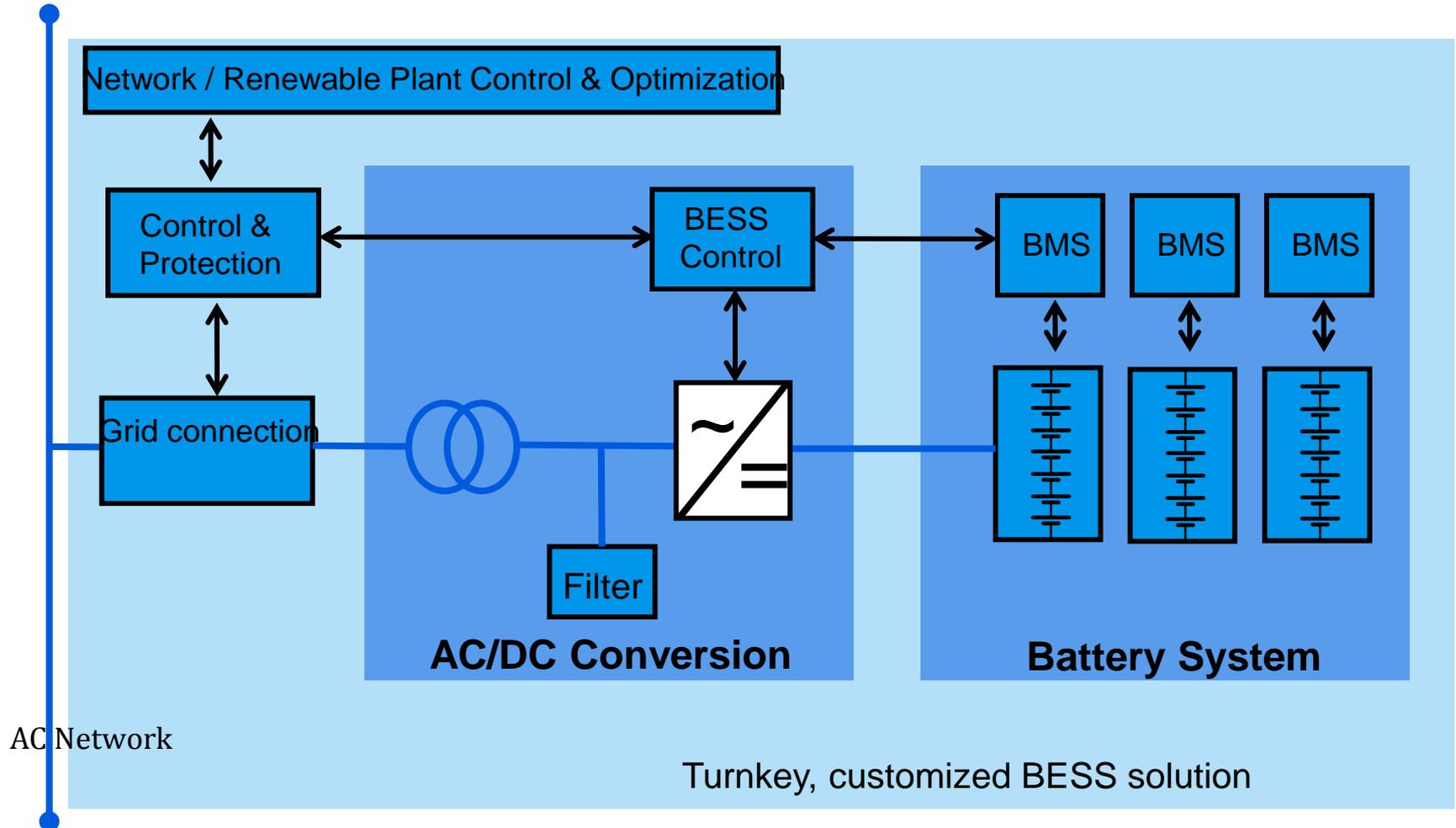
# Sistemi di stoccaggio dell'Energia

## Argomenti di discussione

1. Introduzione – Energie rinnovabili & rete elettrica
2. Mercato italiano dei sistemi di accumulo
3. Soluzioni Power-One(ABB) per applicazioni residenziali
4. Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico
5. **Soluzioni ABB per DSO/TSO**
6. Conclusioni

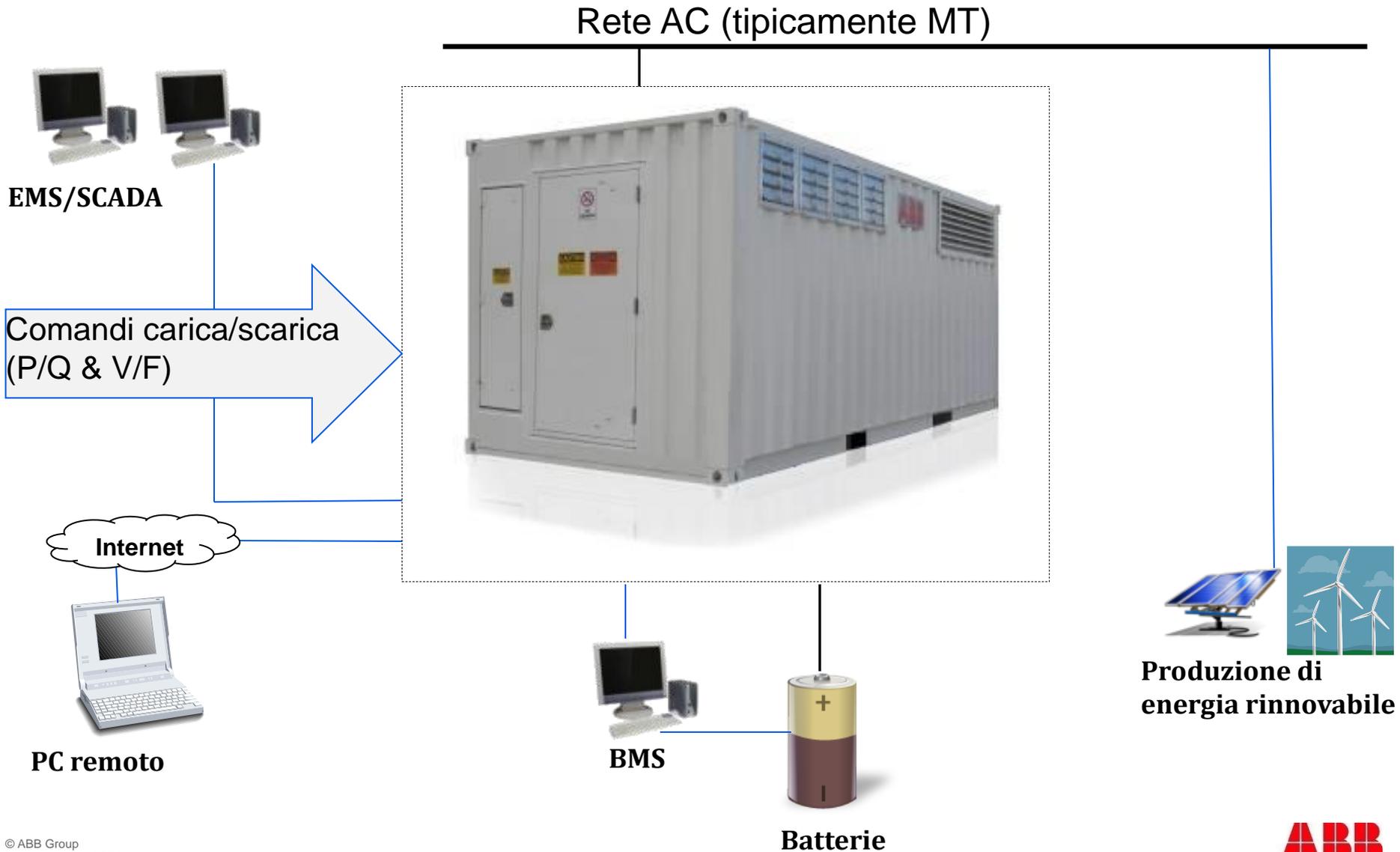
# Soluzioni ABB per DSO/TSO

## Configurazione del sistema



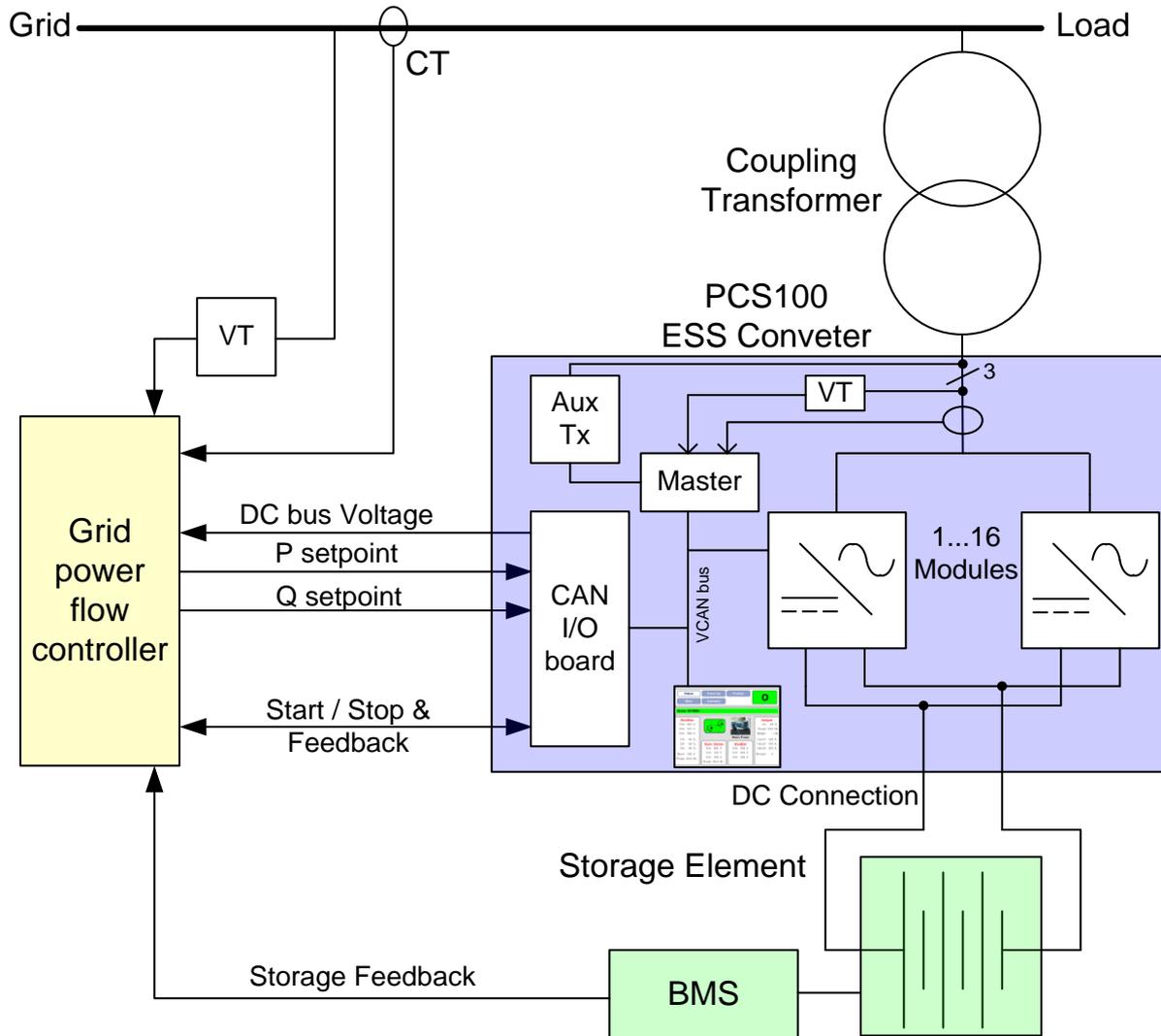
# Soluzioni ABB per DSO/TSO

## Componenti sistema PCS 100



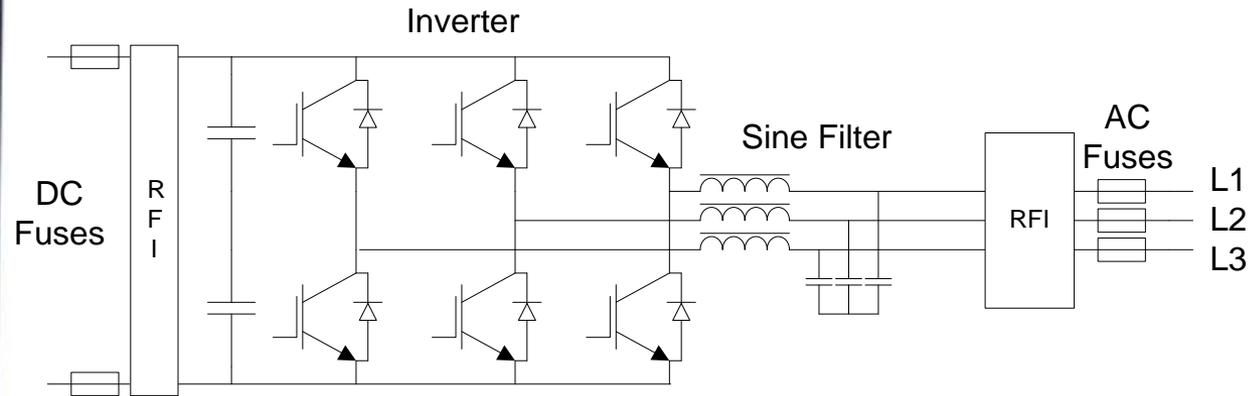
# Soluzioni ABB per DSO/TSO

## Schema di principio PCS 100 ESS



# Soluzioni ABB per DSO/TSO

## Piattaforma prodotto PCS 100 – Modulo convertitore



2 tipologie di moduli: 750 Vdc e 1000 Vdc  
Filtro RFI aggiuntivo lato DC  
Filtro di rete RFI-Lato AC  
Rimozione di un'induttanza per miglioramento efficienza (la connessione di rete è sempre attraverso trafo MT/BT)

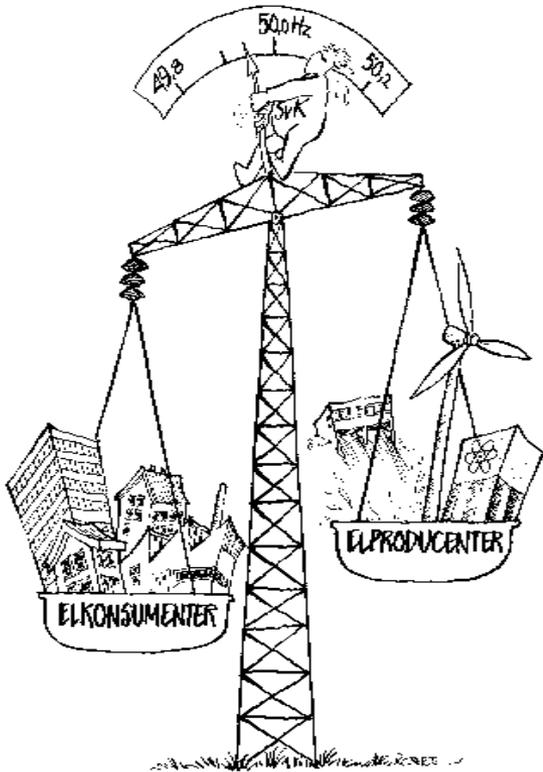
# Sistemi di stoccaggio dell'Energia

## Argomenti di discussione

1. Introduzione – Energie rinnovabili & rete elettrica
2. Mercato italiano dei sistemi di accumulo
3. Soluzioni Power-One(ABB) per applicazioni residenziali
4. Applicazioni dei sistemi di stoccaggio energetico
5. Soluzioni ABB per DSO/TSO
6. **Conclusioni**

# Sistemi di stoccaggio dell'Energia

## Conclusioni



- La stabilità del bilancio energetico è uno dei problemi maggiori da considerare in presenza di produzione “intermittente”.
- Per risolvere le problematiche generate dalla massiva introduzione di FRNP e garantire la stabilità delle reti elettriche e la massimizzazione degli autoconsumi, l’accumulo di energia sarà sempre più richiesto dal mercato.
- ABB è in grado di fornire soluzioni su tutto il range applicativo, dal residenziale ai DSO/TSO, indipendentemente dalla tecnologia utilizzata per l’accumulo dell’energia.

Power and productivity  
for a better world™



↪ All for dreams

***Nidec***

↪ All for dreams

# Sistemi “Power Control System” per batterie

Giornata di Studio: L'Accumulo dell'energia nella rete di trasmissione  
Firenze, 21 Marzo 2014

Giordano Torri  
Nidec-ASI spa – Milano

[www.nidec-asi.com](http://www.nidec-asi.com)

# Nidec

All for dreams

## Una esperienza industriale con 160 anni di storia



The company can trace its origins back to the founding of Ansaldo in 1853 and was born as Ansaldo's *stabilimento elettromeccanico* in 1899.

From its inception, Ansaldo Sistemi Industriali S.p.A. (ASI) has specialized in providing innovative power control and system solutions that have satisfied hundreds of customers worldwide.

Today, as part of the Nidec Group, Nidec ASI is able to offer a wider range of customers solutions and services as a leading player in the supply of industrial automation systems, power electronics, electric motors and generators. ***Nidec ASI is now ready to chart the next 160 years.***

- 1. Introduzione**
- 2. Tecnologie accumulo**
- 3. PCS: schema di riferimento**
- 4. PCS: carica – scarica batterie**
- 5. PCS: controllo potenza attiva e reattiva**
- 6. PCS: il filtro sinusoidale**
- 7. PCS: funzionalità**
- 8. PCS: collegare le batterie in rete**
- 9. PCS: collegare batterie e fotovoltaico in rete**
- 10. PCS: controllo e supervisione.**
- 11. PCS: applicazioni.**
- 12. PCS: funzionamento.**
- 13. Uno sguardo al futuro: D-Statcom**

- Le energie rinnovabili quali eolico e fotovoltaico sono sorgenti non programmabili e la loro produzione non segue il profilo del carico quanto piuttosto le condizioni meteo.
- Ne consegue che il dispacciamento dell'energia diventa più complesso con conseguenti difficoltà nel gestire la stabilità della rete in tensione ed in frequenza.
- Le fonti convenzionali di energia possono manifestare difficoltà nel seguire la continua variazione di potenza richiesta dai carichi, se questa dovesse risultare troppo rapida per il tipo di impianto considerato.
- I sistemi di accumulo di energia possono risolvere questi problemi.
- Tra i diversi metodi di accumulo, le batterie elettrochimiche ricoprono oggi un ruolo fondamentale.
- La tecnologia dell'accumulo elettrochimico richiede necessariamente l'uso di convertitori statici per il collegamento alla rete elettrica ed un dispositivo di controllo e di supervisione per realizzare le funzionalità di connessione alla rete stessa ed utili alla attenuazione dei problemi sopra richiamati.

**Produzione di energia  
non programmabile  
(rinnovabili)**

**Stabilizzare Frequenza  
e  
Tensione**

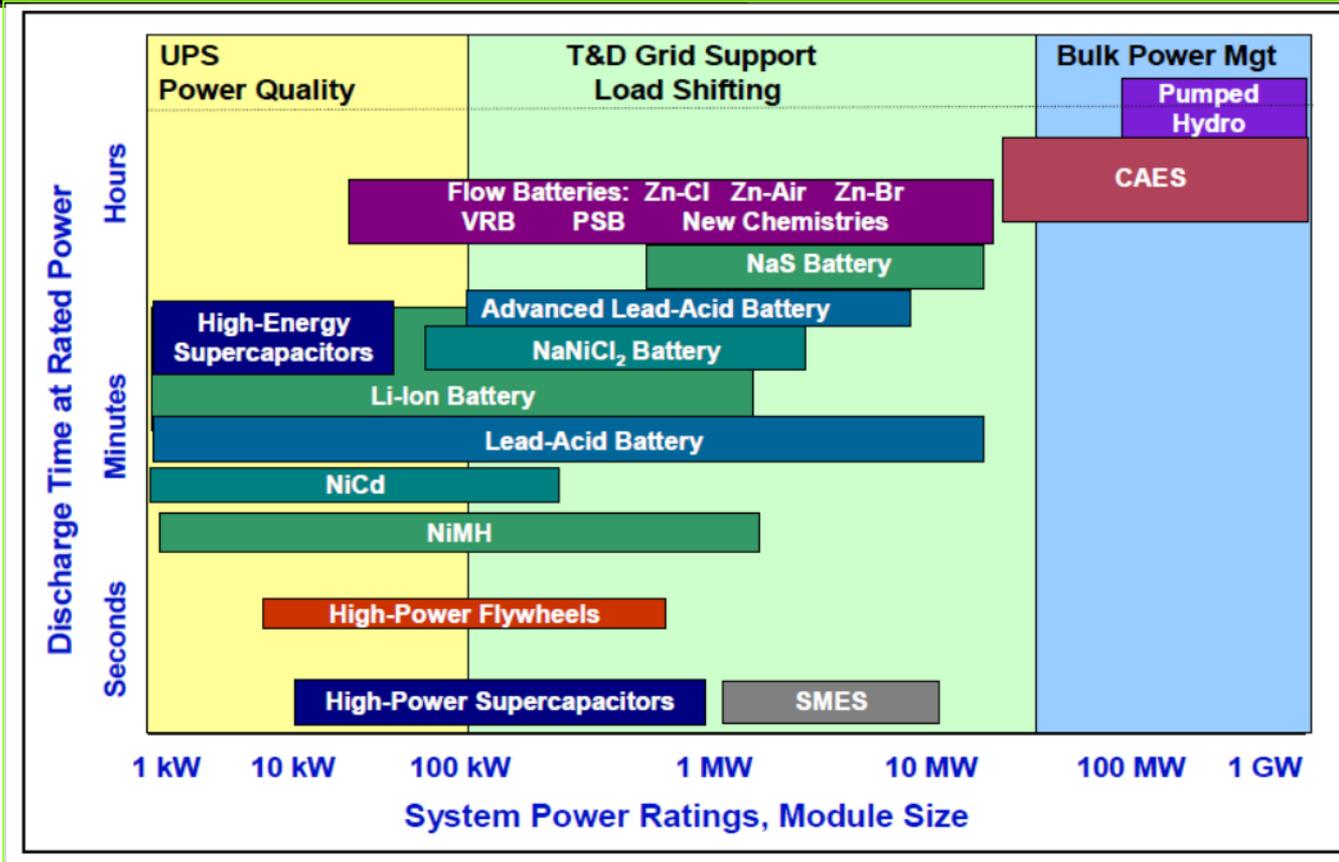
**Usare sistemi di accumulo  
di energia (ESS)**

**Sistemi accumulo a  
batterie:  
flessibilità di  
esercizio e di  
installazione**

**Un ESS con batterie  
richiede un Power  
Control System (PCS)**

**Un PCS controlla sia la  
potenza attiva che  
reattiva**

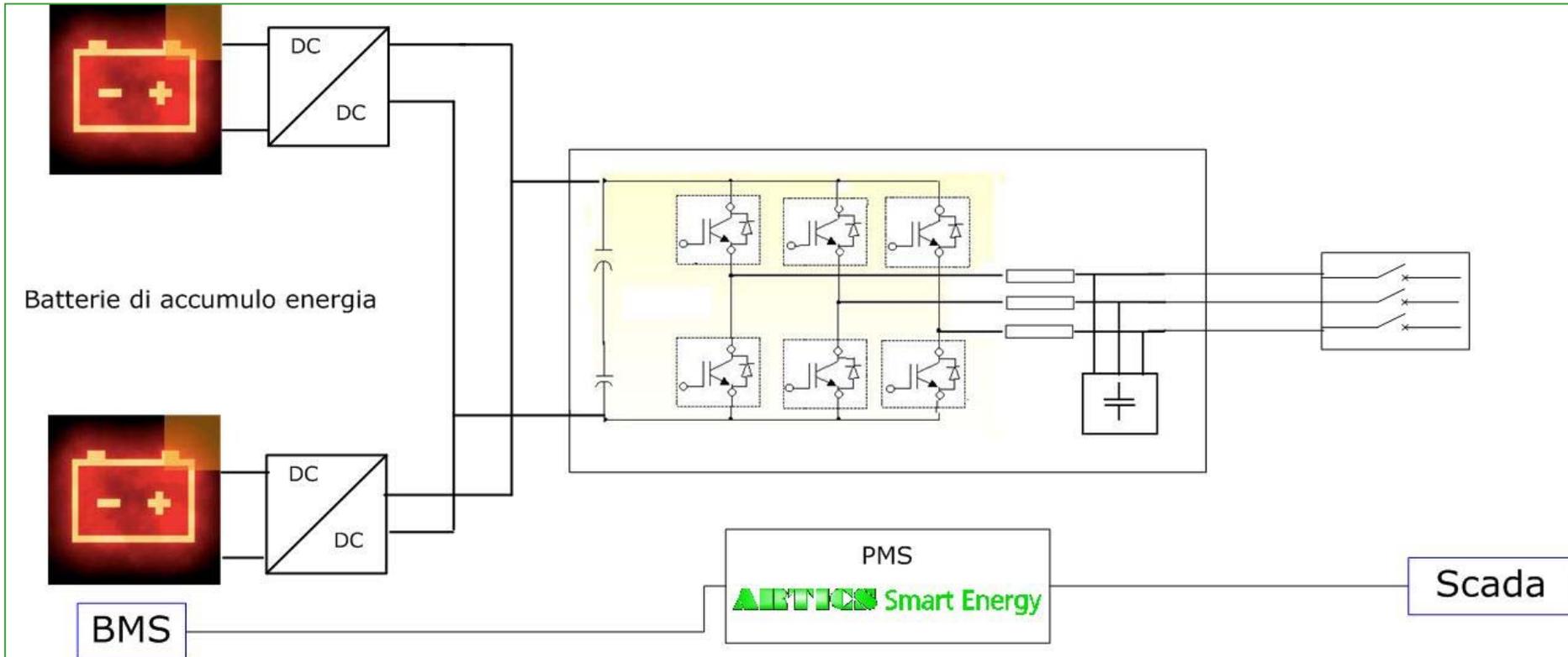
## 2- Tecnologie di accumulo



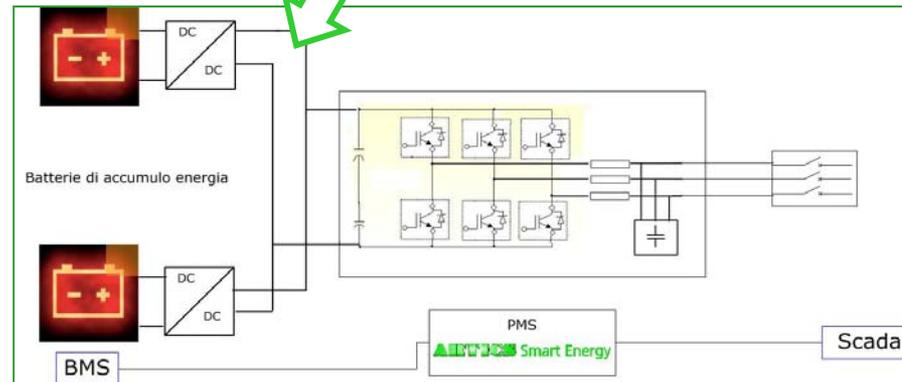
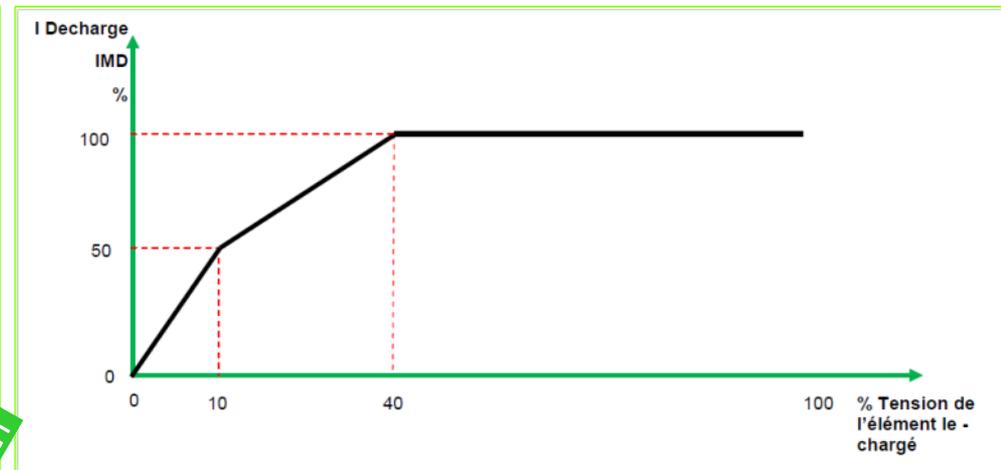
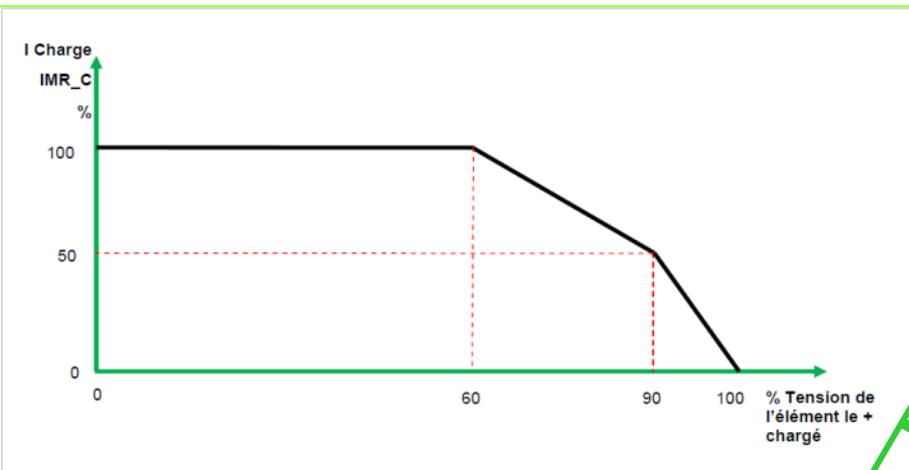
La figura mostra diverse tipologie di sistemi di accumulo in funzione dell'energia accumulata e rilasciata nel tempo. Le batterie elettrochimiche rappresentano una tecnologia consolidata con requisiti di installazione relativamente semplici.

### 3- PCS: schema di riferimento

Per la connessione di batterie elettrochimiche alla rete elettrica si fa riferimento nel seguito allo schema qui sotto riportato. Si utilizza un sistema a doppio stadio che prevede un inverter munito di filtro clean power lato rete, ed uno stadio dc/dc interposto tra i gruppi di batterie e dc link dell'inverter, quale regolatore di carica/scarica. Le batterie sono dotate un proprio BMS che comunica col sistema di controllo dell'inverter. Quest'ultimo comunica poi con i sistemi di controllo e supervisione dei gestori di rete.

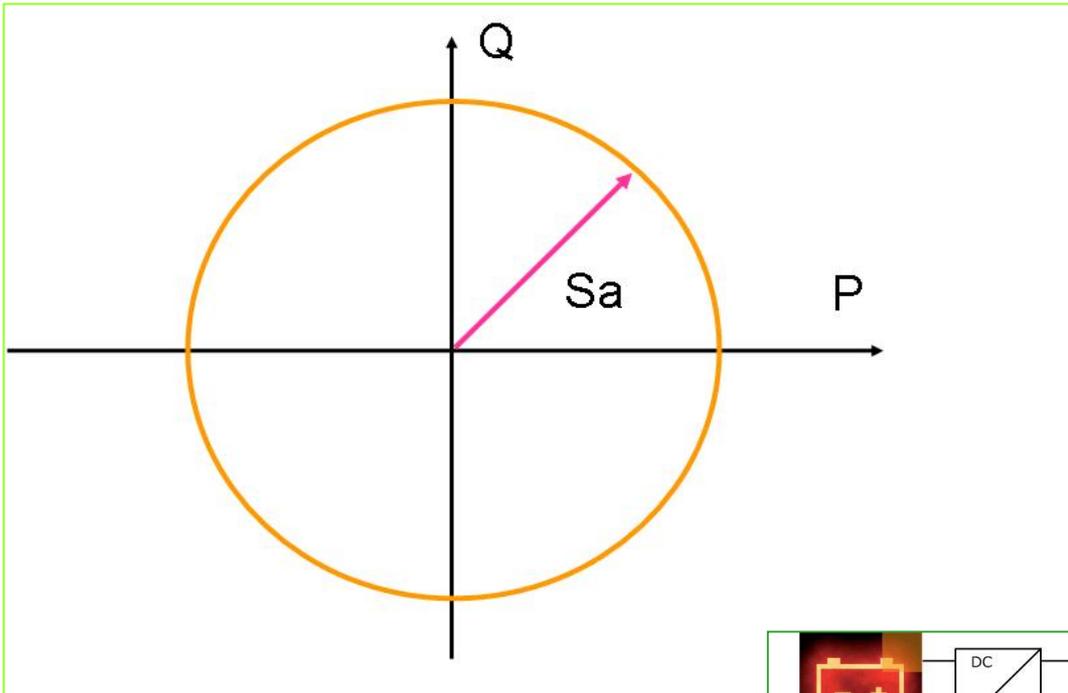


# 4- PCS: controllo carica-scarica batterie

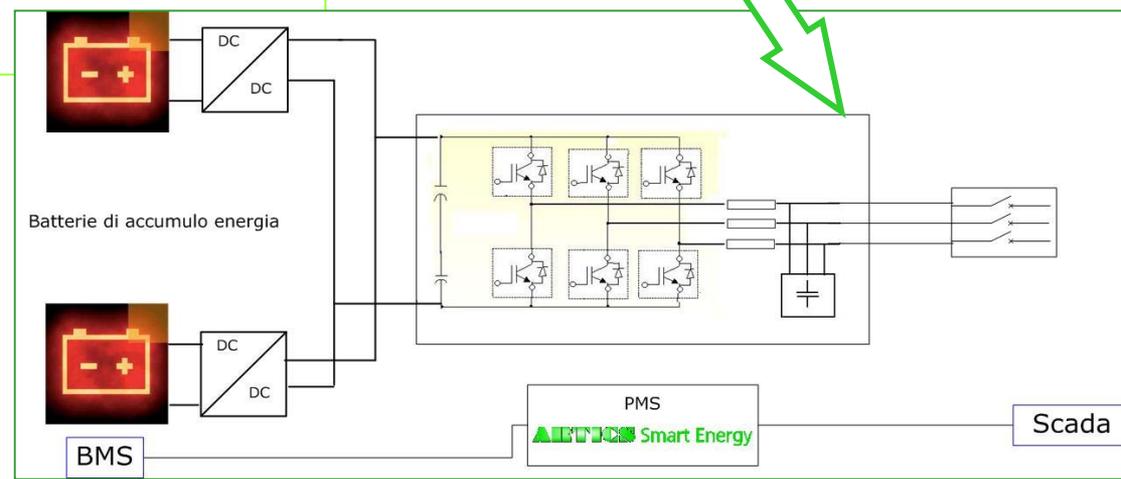


La carica (sinistra) e la scarica (destra) delle batterie sono controllate per gruppi tramite dc/dc converter. Le correnti di carica e di scarica sono determinate in funzione delle caratteristiche delle batterie usate e sono programmabili mediante parametri predisposti nel controllo e mediante set-point in ingresso al sistema di controllo.

# 5- PCS: controllo potenza attiva e reattiva

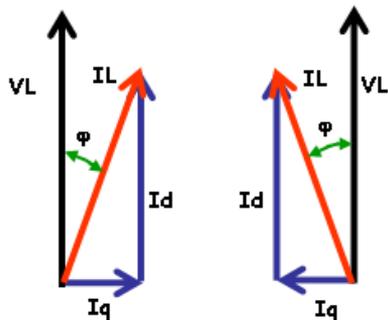


Il convertitore AFE funziona sui 4 quadranti di un piano P-Q. Il limite di funzionamento è stabilito dal cerchio di raggio  $S_a$ , la massima potenza apparente disponibile dall'inverter.



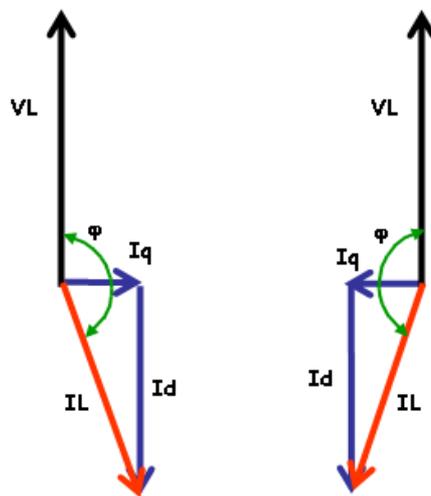
# 5- PCS: controllo potenza attiva e reattiva

The AFE inverter absorbs energy from the grid with a lagging power factor (left) or leading power factor (right)

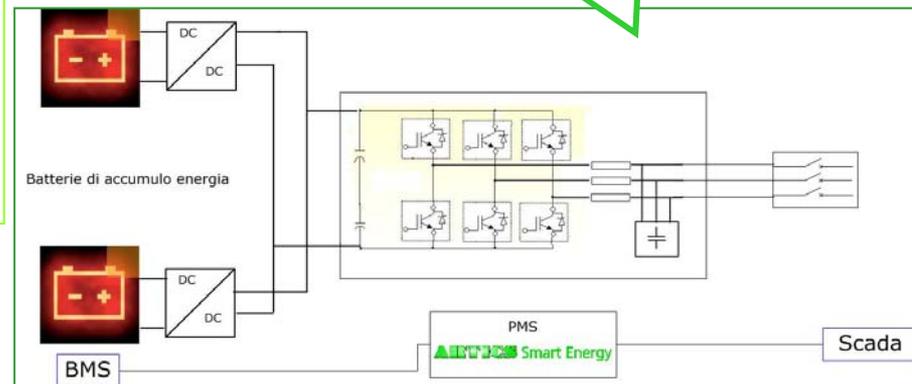


**Legend:**  
VL = Phase Voltage  
IL = Line Current  
Id = Active Current  
Iq = Reactive Current

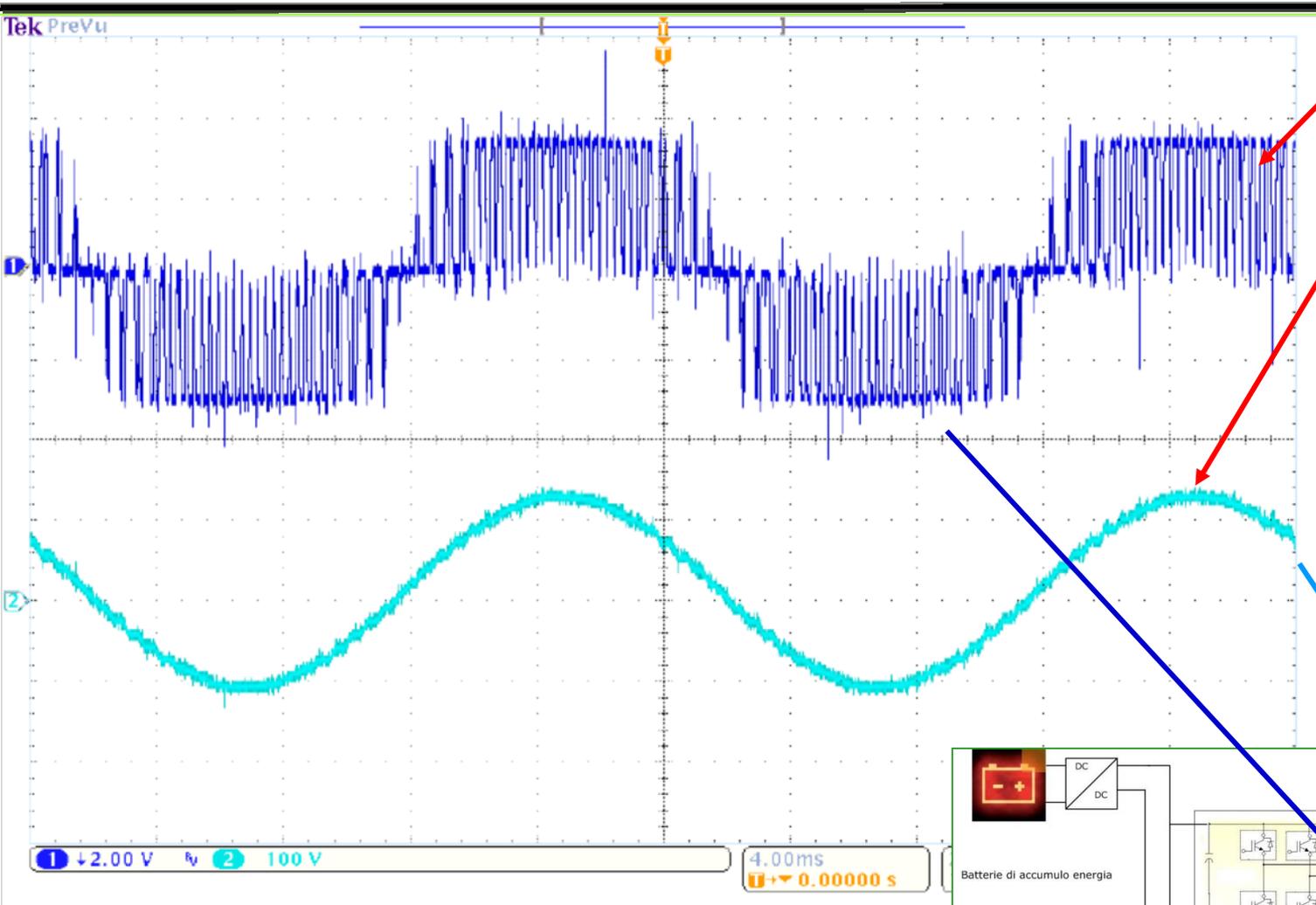
The AFE inverter generates energy to the grid with a lagging power factor (left) or leading power factor (right)



Il convertitore AFE regola le componenti attive e reattiva della corrente di linea separatamente l'una dall'altra.

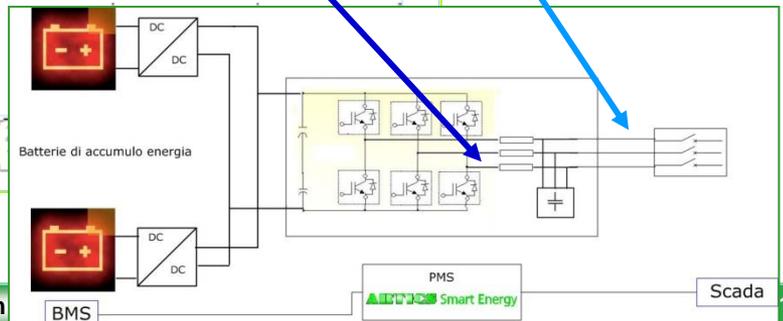


# 6- PCS: il filtro sinusoidale



Tensione pwm uscita inverter

Tensione filtrata Lato rete.  
La qualità della Tensione non dipende Dalla potenza di Corto della rete



Le funzionalità di un PCS:

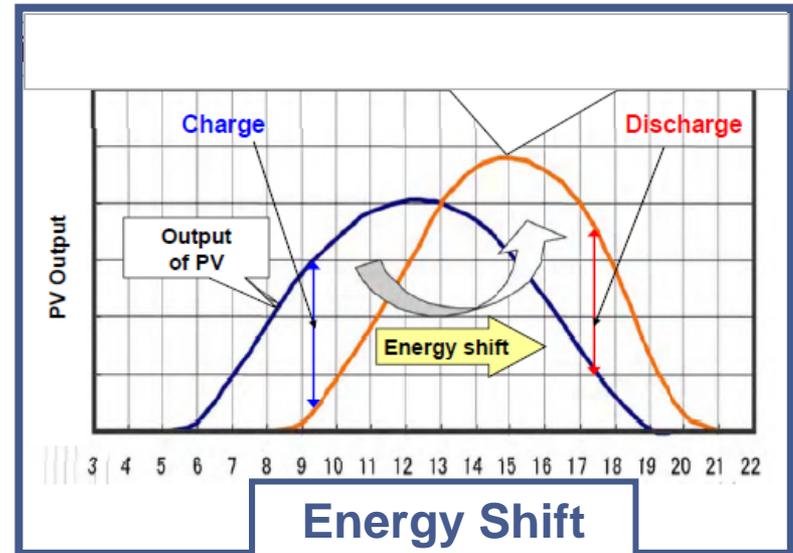
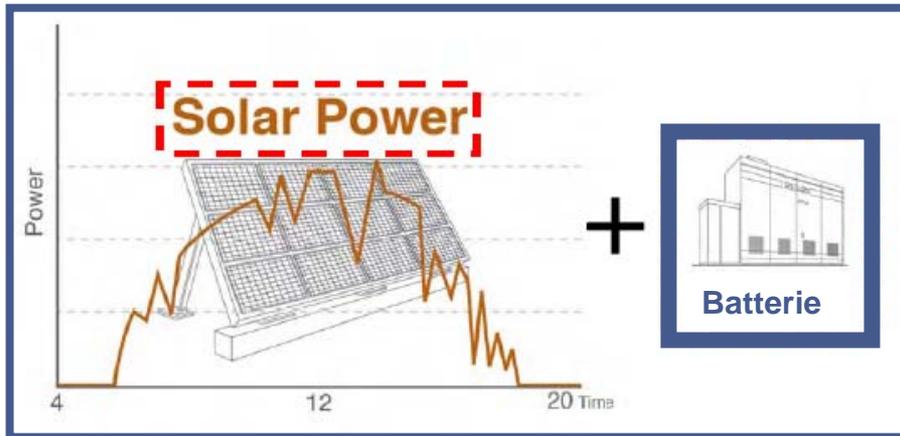
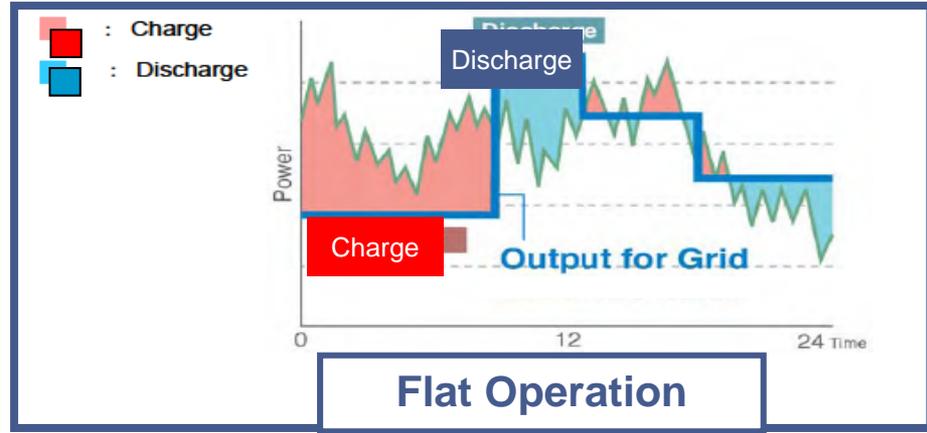
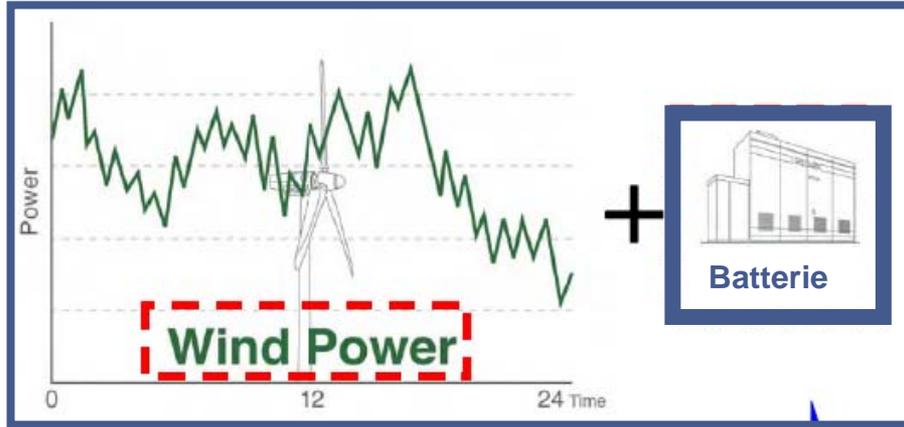
- Capacità di regolazione di frequenza
- Time shifting dell'energia prodotta da fonti non programmabili
- Riserva rotante
- Black start
- Peak shaving
- Low Voltage Ride Through

Il convertitore controlla anche una quota di potenza reattiva (sia induttiva che capacitiva) separatamente dalla potenza attiva, che dipende solo dal dimensionamento dell'inverter e non dalla capacità delle batterie.

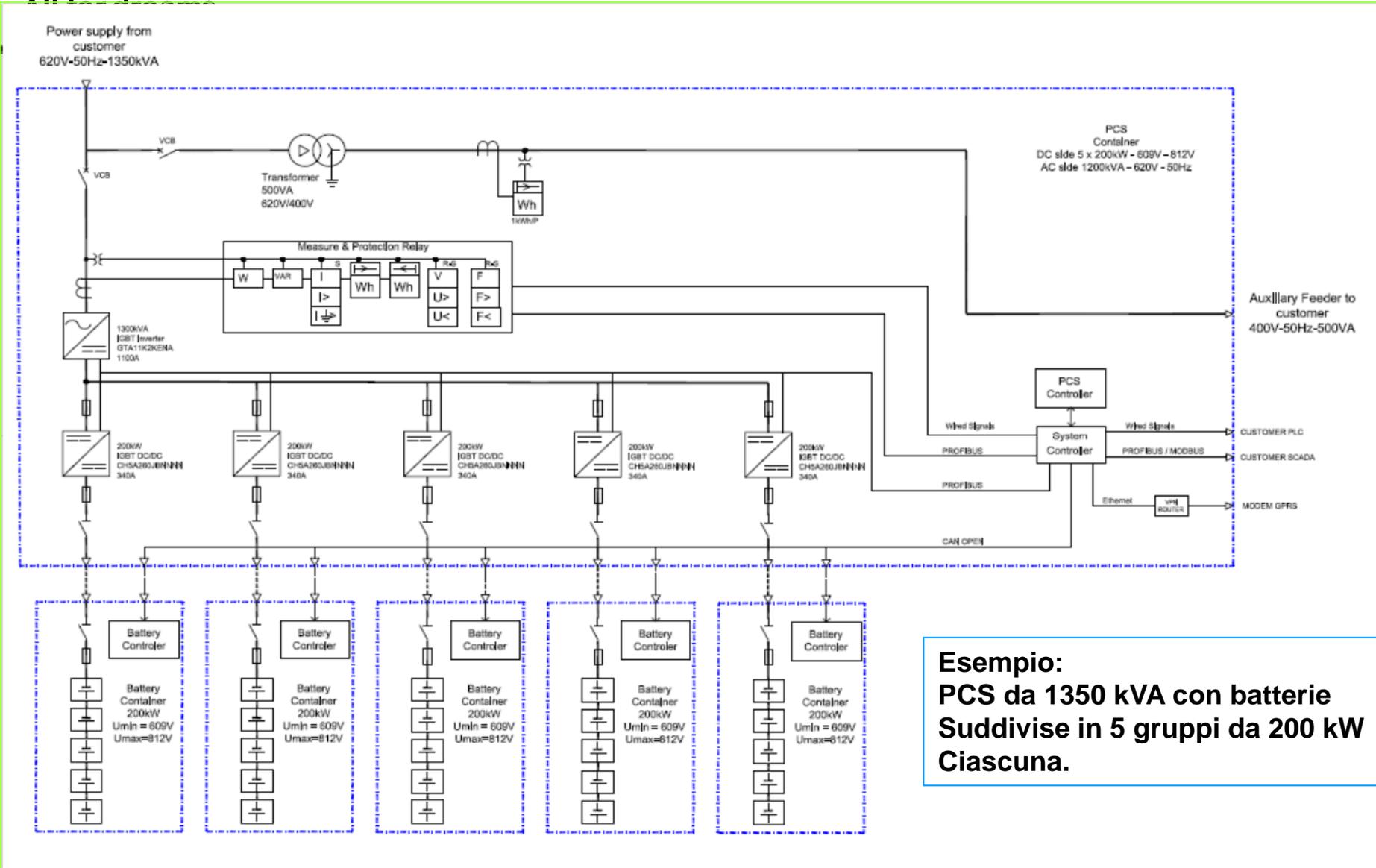
Un Energy Storage System (ESS) offre anche la funzionalità di contribuire alla regolazione di tensione, alla mitigazione di fenomeni di flicker ed al controllo del fattore di potenza.

In ultima analisi, il sistema ESS combina in sé sia l'accumulo sia le funzionalità tipiche di uno Statcom.

# 7- PCS: funzionalità



# 8- PCS: collegare le batterie in rete.

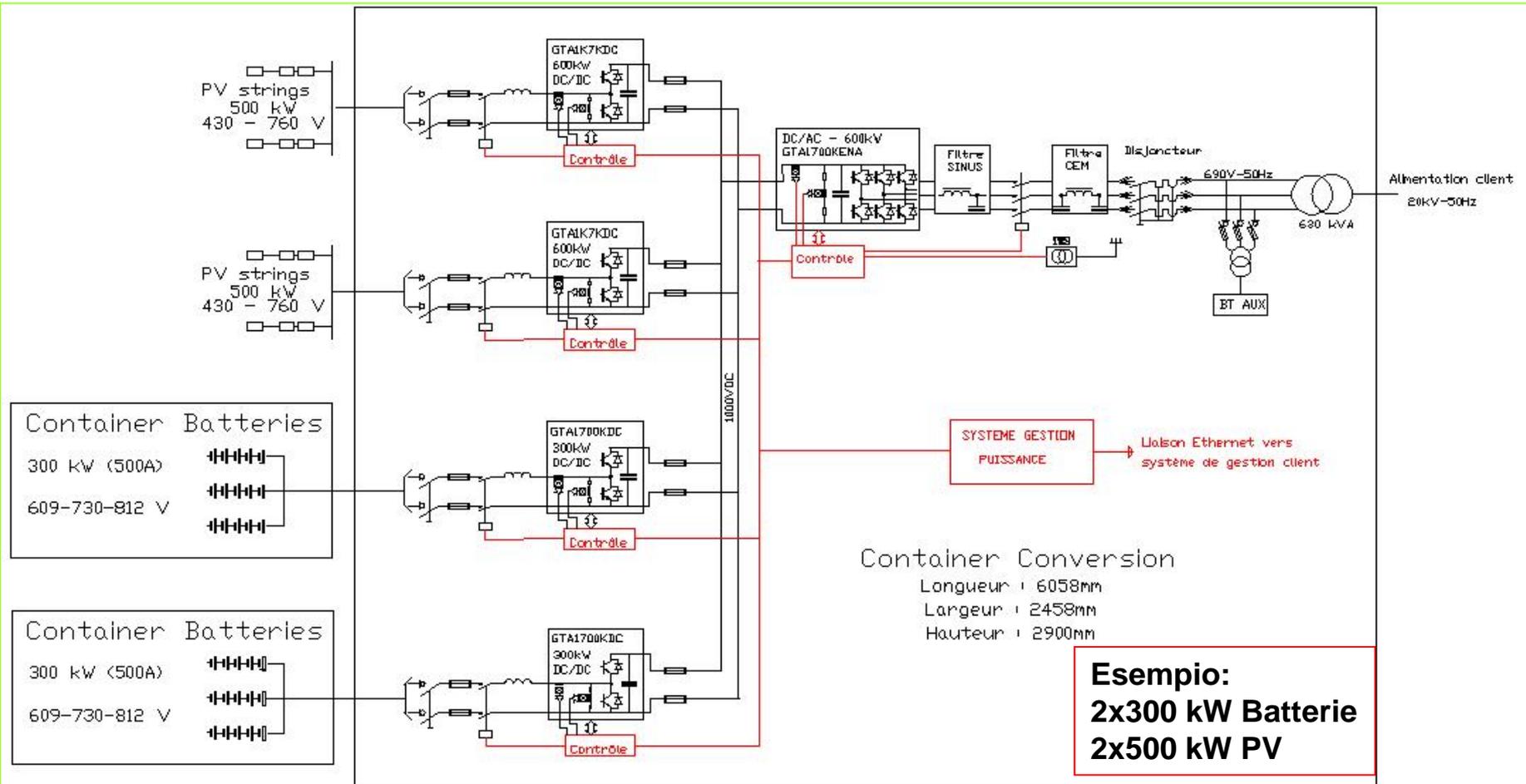


**Esempio:**  
**PCS da 1350 kVA con batterie**  
**Suddivise in 5 gruppi da 200 kW**  
**Ciascuna.**

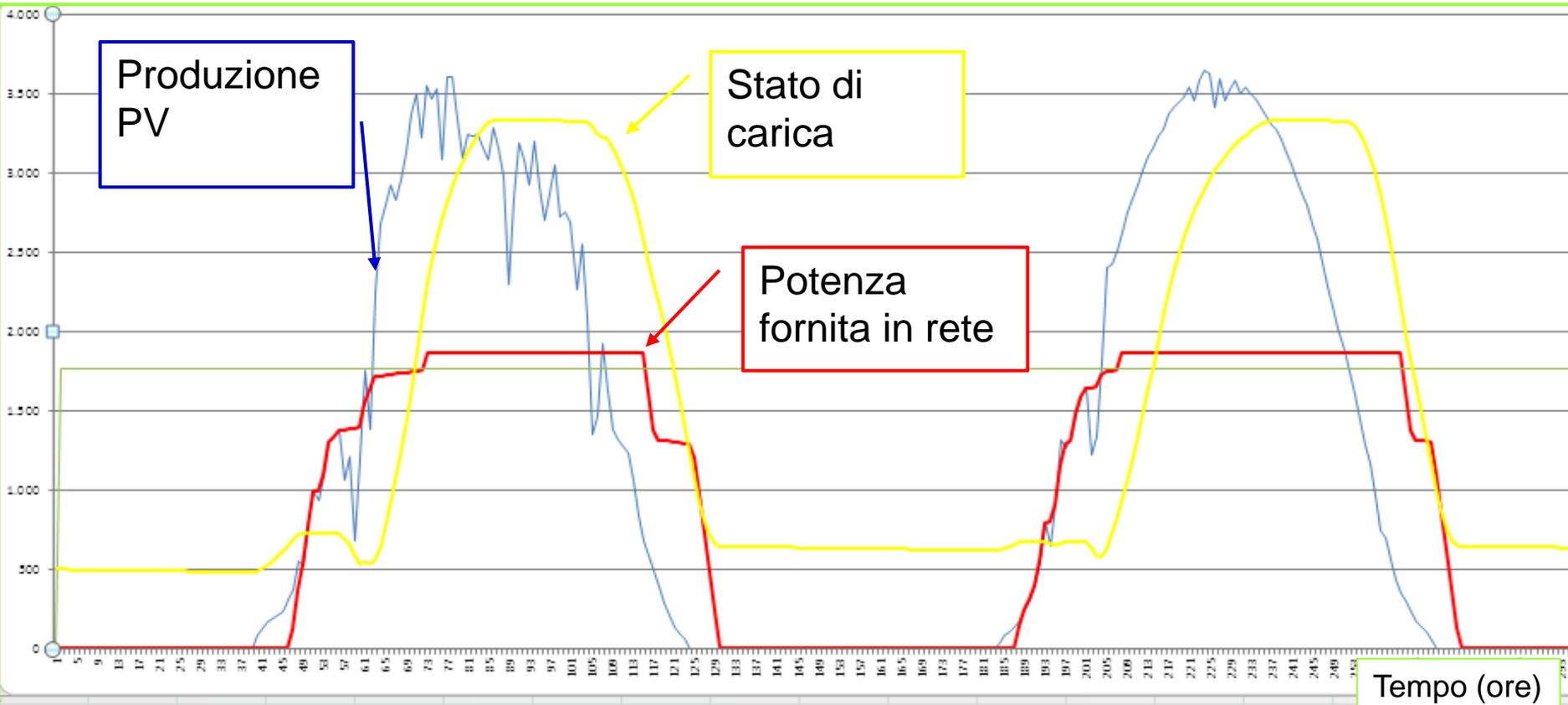
# Nidec 9- PCS: collegare batterie e fotovoltaico in rete

All for dreams

Una soluzione utile ad aumentare l'efficienza dei sistemi fotovoltaici associati ad elementi di accumulo consiste nell'usare la tecnica del collegamento tramite dc bus, con un unico inverter di collegamento alla rete.

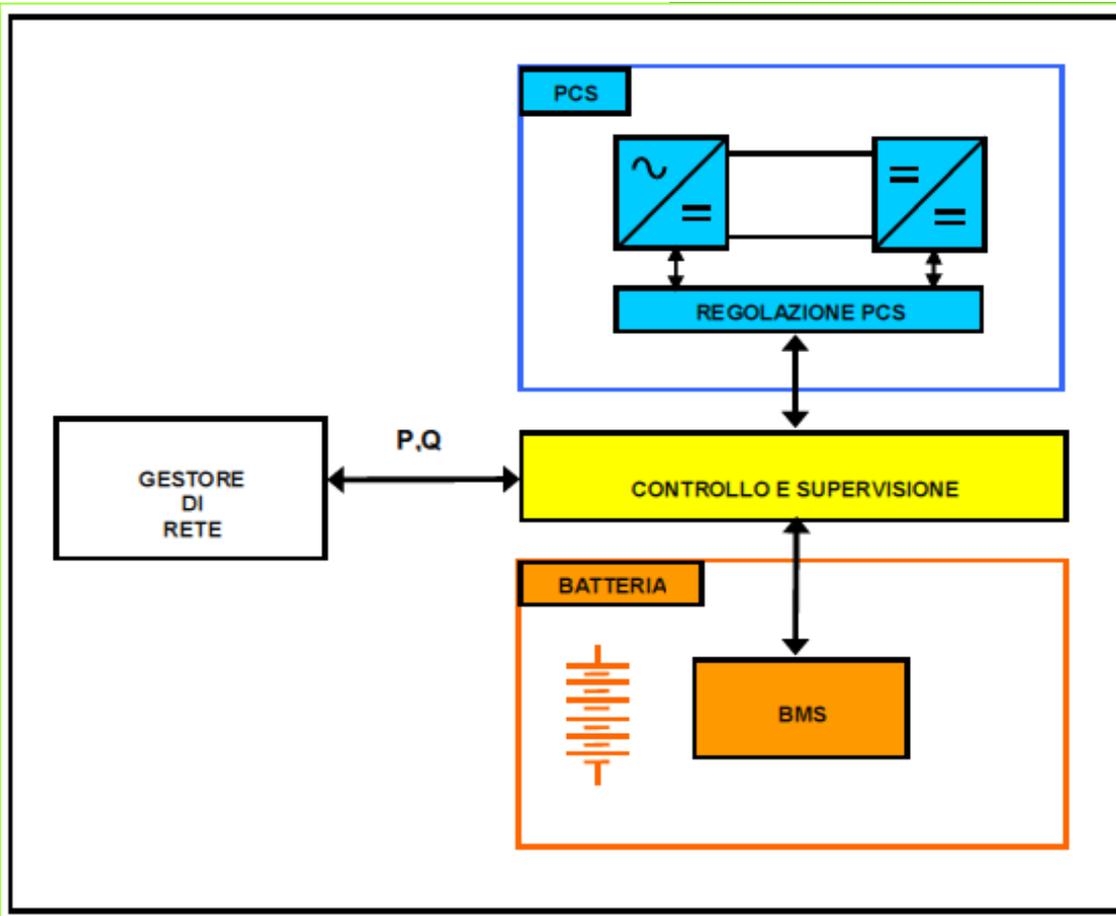


# 9- PCS: collegare batterie e fotovoltaico in rete



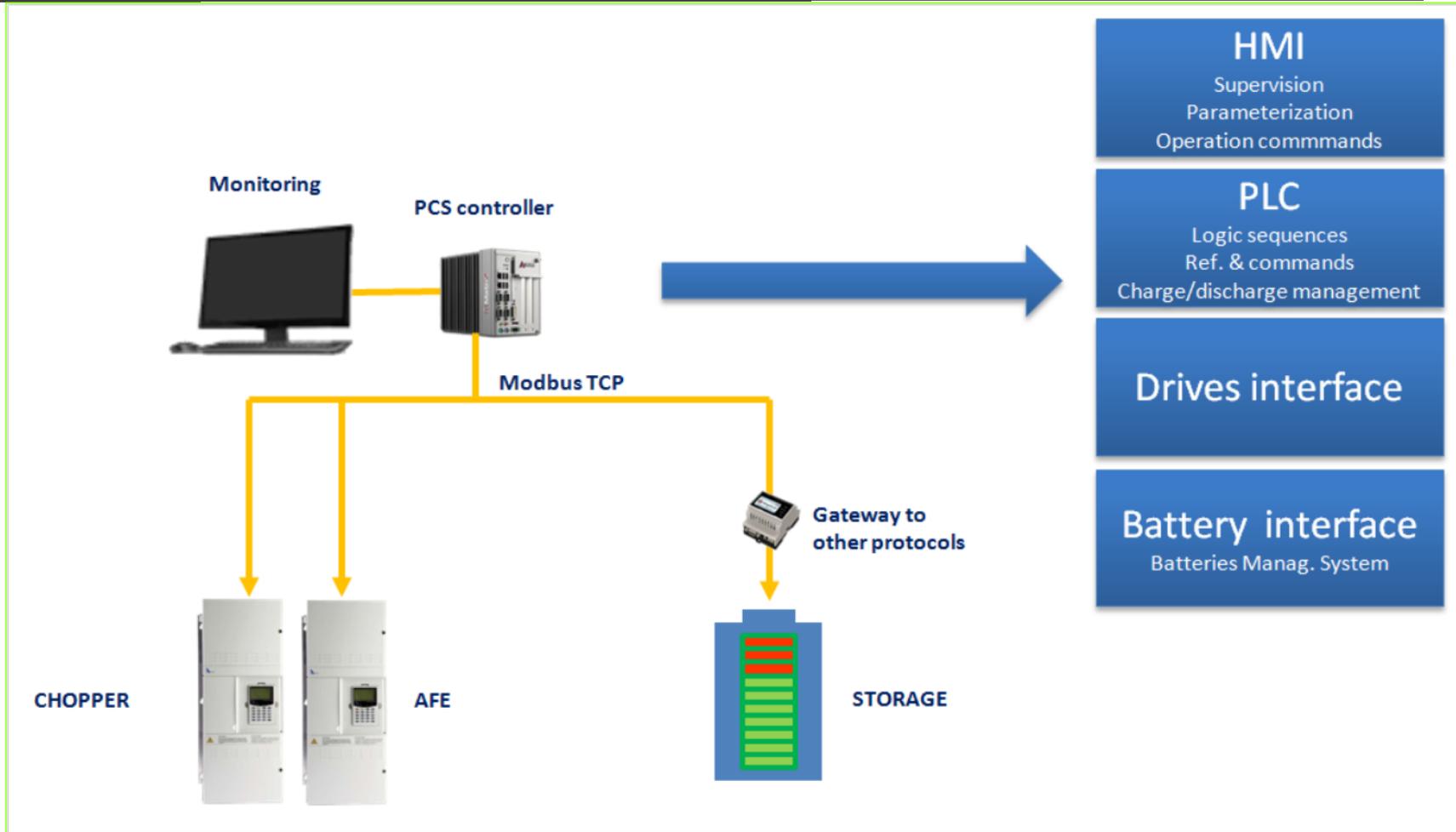
L'uso di un sistema di energy storage associato ad un impianto fotovoltaico consente un esercizio programmabile per «il giorno dopo» (Traccia rossa). In figura, un esercizio a «potenza costante in rete».

# 10- PCS: controllo e supervisione



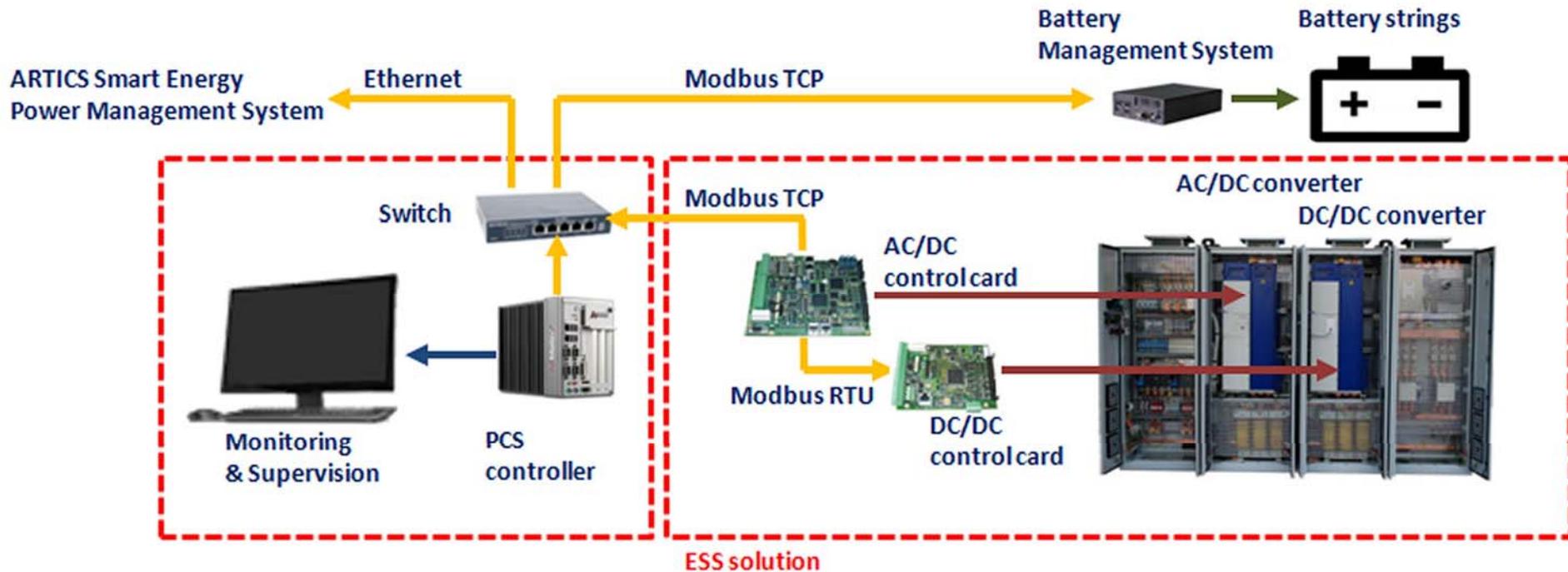
La figura mostra lo schema di principio per l'architettura usata per il controllo e la supervisione dell'intero sistema PCS e batterie. La soluzione offre la massima flessibilità di utilizzo con le diverse tecnologie di batterie.

# 10- PCS: controllo e supervisione



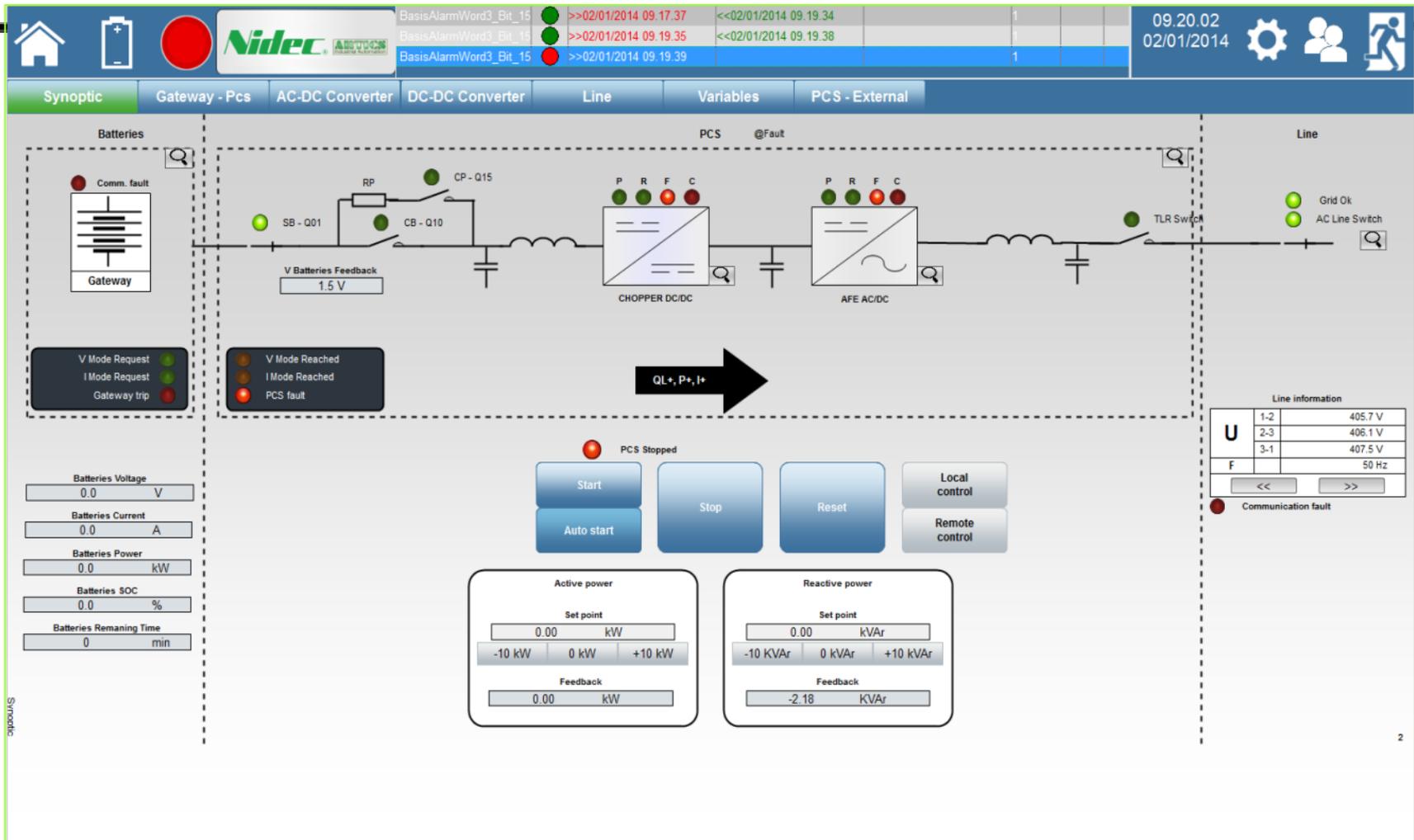
Il PCS controller è realizzato con pc industriale. La comunicazione tra BMS e controllo del PCS avviene con linea dati Modbus TCP

# 10- PCS: controllo e supervisione



Il PCS controller è realizzato con pc industriale. La comunicazione tra BMS e controllo del PCS avviene con linea dati Modbus TCP

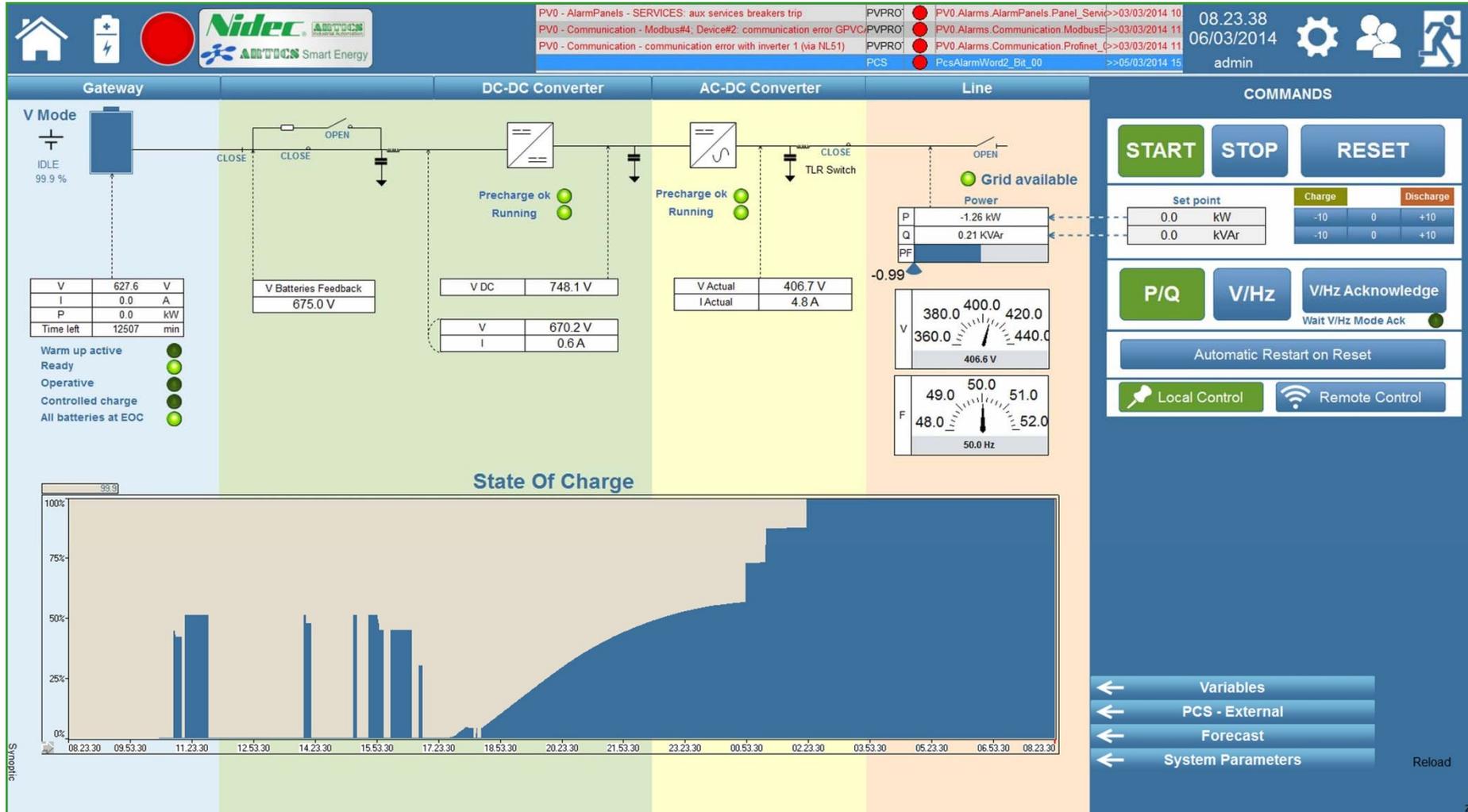
# 10- PCS: controllo e supervisione



2

La figura mostra la pagina principale del sistema di supervisione, con evidenza del sinottico, delle principali grandezze e stati, con i comandi (pulsanti centrali).

# 10- PCS: controllo e supervisione

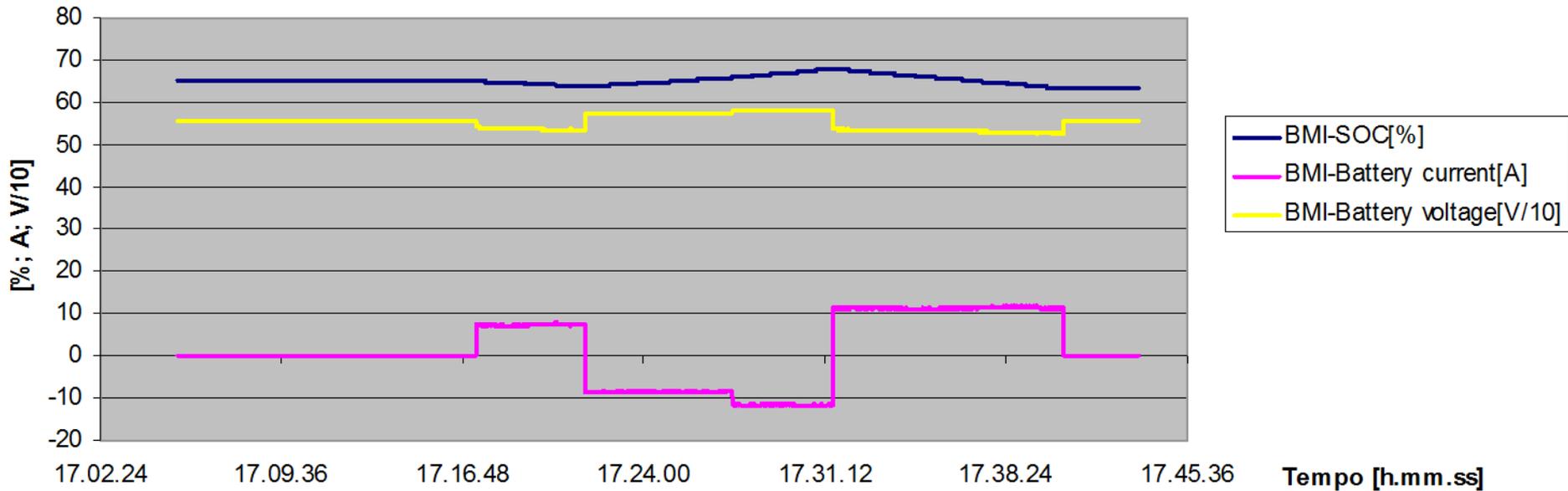


## 11- PCS: applicazioni

<b>TECNOLOGIA BATTERIA</b>	<b>POTENZA NOMINALE MODULO ENERGY STORAGE</b>	<b>TENSIONI MIN / MAX DI BATTERIA</b>
<b>Sodio Nickel</b>	<b>1,2 MW</b>	<b>450 / 700 Vdc</b>
<b>Ioni Litio</b>	<b>1,2 MW</b>	<b>610 / 810 Vdc</b>
<b>Sodio-Zolfo</b>	<b>1,2 MW</b>	<b>465 / 745 Vdc</b>

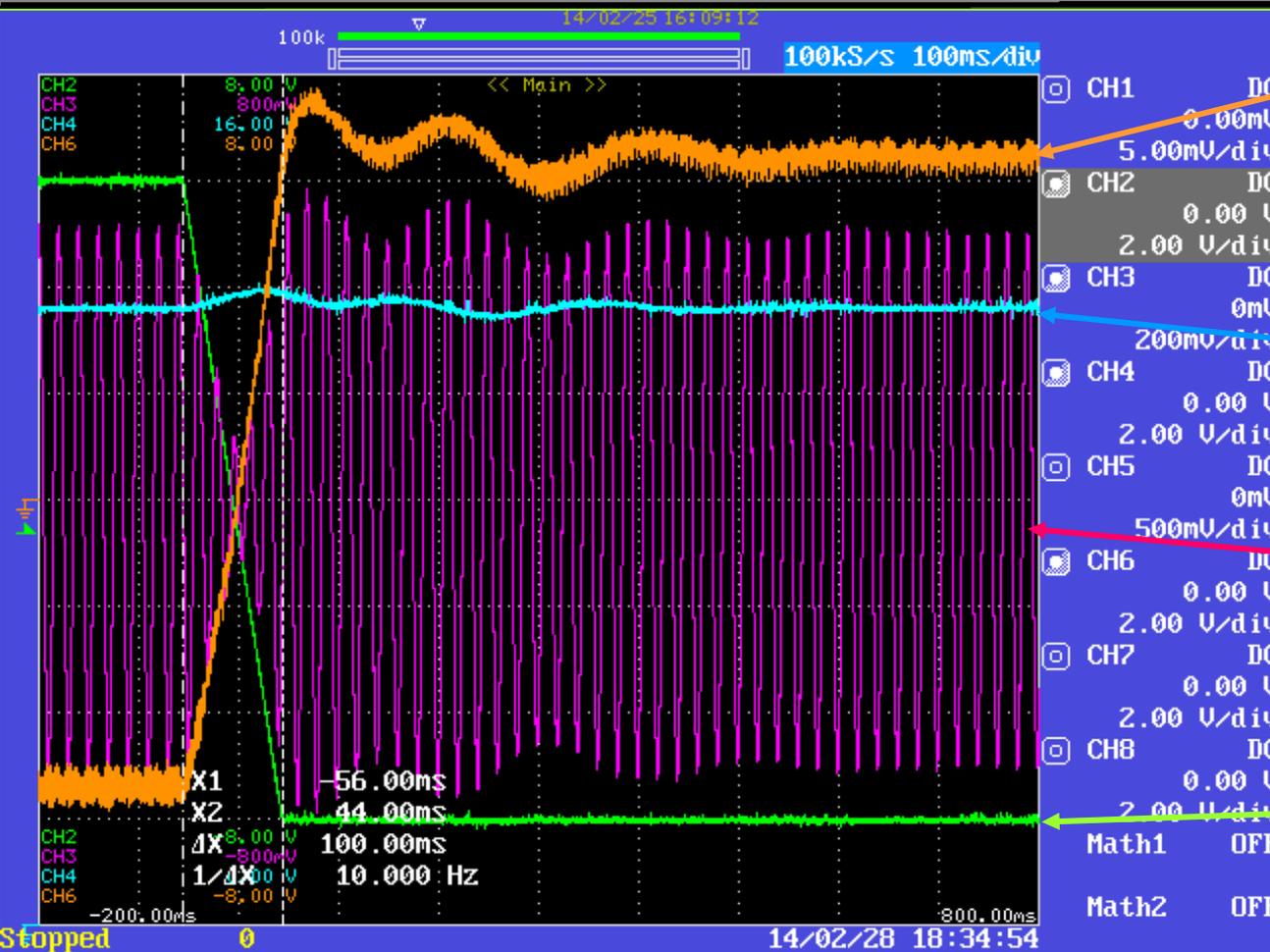
La soluzione PCS presentata è stata utilizzata per diversi progetti con batterie di 3 tecnologie: Sodio-Nickel, Sodio-Zolfo, Ioni-Litio, con diverse modularità per quanto concerne i pacchi batterie.

# 12- PCS: funzionamento



Esempio: cicli di carica e di scarica della batteria. La traccia rosa mostra la corrente in ingresso ed uscita dalla batteria. La traccia in giallo la tensione della batteria mentre la traccia blu monitora lo stato di carica.

# 12- PCS: funzionamento



Corrente batteria:  
Da +360 A  
A -360 A

Tensione DC bus inverter  
Vcd = 1040 V

Corrente lato rete AC:  
800 Apk

Riferimento corrente batteria:  
Da +360 A  
A -360 A

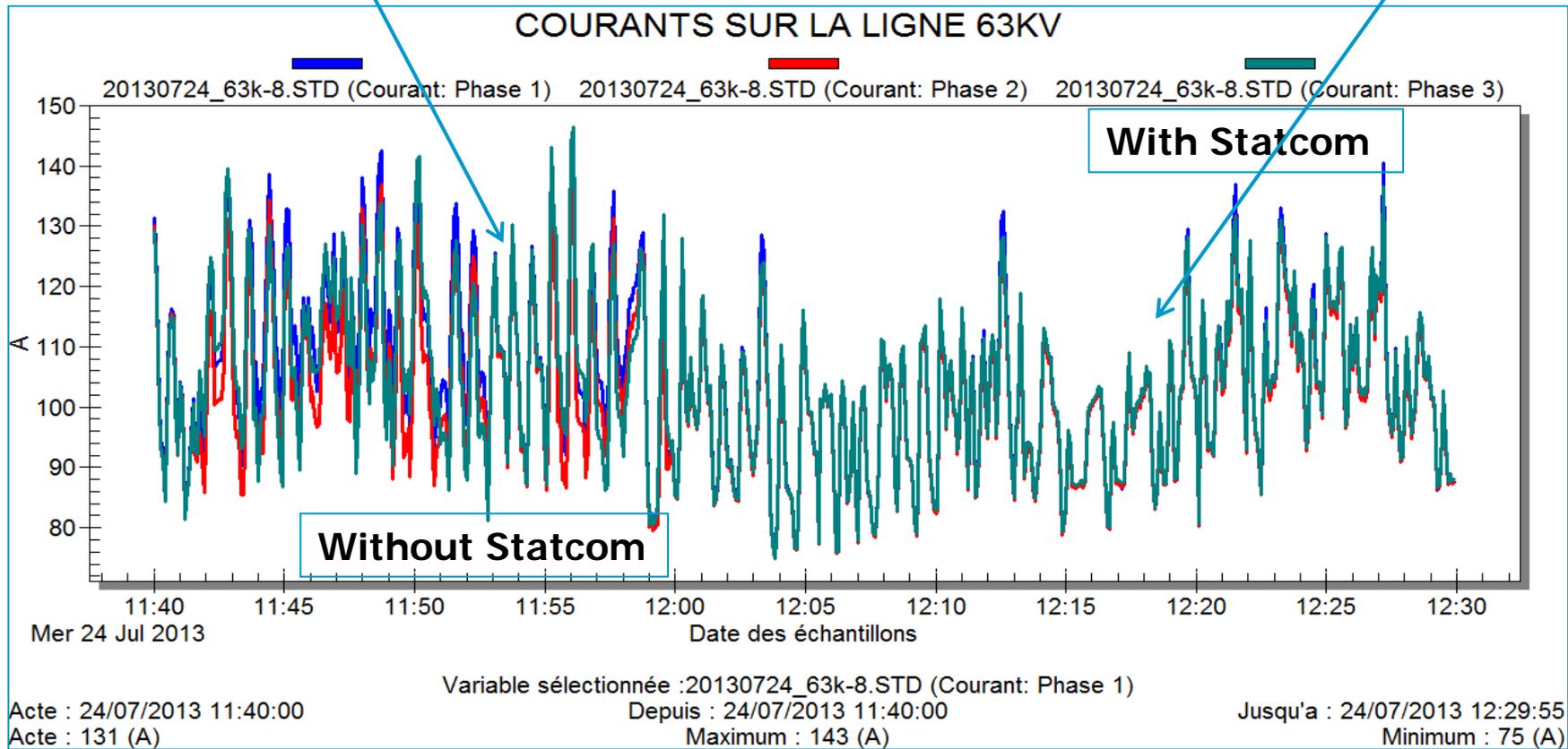
Esempio: inversione carica-scarica batteria, eseguita in un tempo di circa 90ms.

# 13- Uno sguardo al futuro: D-Statcom

**Grid Current**

**Balanced Current**

**Unbalanced Current**



L'inverter AFE può fornire correnti non equilibrate per compensare le correnti di linea squilibrate

***Grazie per l'attenzione***



*Le funzioni di regolazione dello STORAGE  
di Potenza e di Energia  
per la rete di Trasmissione*



**Antonio Zingales  
Barbara Rossi**

**AEIT FIRENZE 21 Marzo 2014  
GIORNATA DI STUDIO  
L'accumulo dell'energia  
nella rete di trasmissione**



*Le funzioni di regolazione dello STORAGE*  
*Firenze 21-03-14*

**AGENDA**

Crescita FRNP nella Rete di Trasmissione Nazionale

Storage come soluzione ai problemi di rete TSO

La regolazione dello Storage sulla rete TSO

La regolazione per il profilo prevedibile WF-PV per TSO

Esperienze Energy Intensive e Power Intensive

Storage al Litio al Sodio e NaS per le diverse applicazioni

CONCLUSIONI

# Crescita FRNP nella Rete RTN

In una rete stabile la domanda e l'offerta di potenza devono essere bilanciate istante per istante: la funzione di dispacciamento (in carico al gestore della rete) ha il compito di assicurare in ogni momento l'equilibrio tra l'energia resa disponibile dai produttori nazionali e dall'interconnessione da un lato e i consumi degli utenti dall'altro. Questo equilibrio è reso più critico dalla crescita delle FERNP.

Frequenza



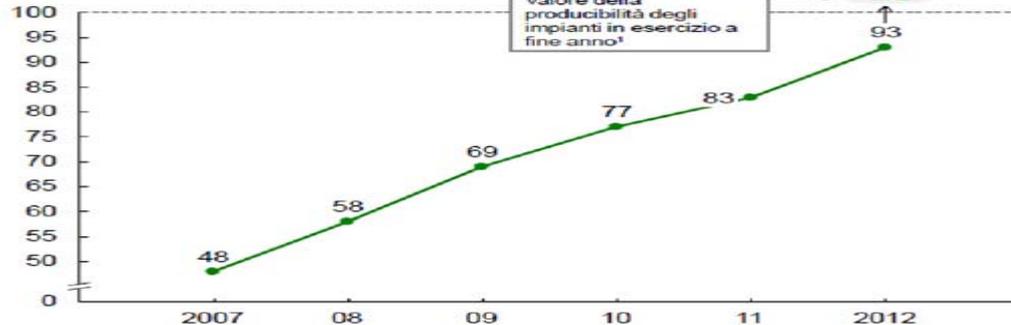
Consumi

Produzione

Produzione totale annua energie rinnovabili elettriche

Produzione annua

TWh

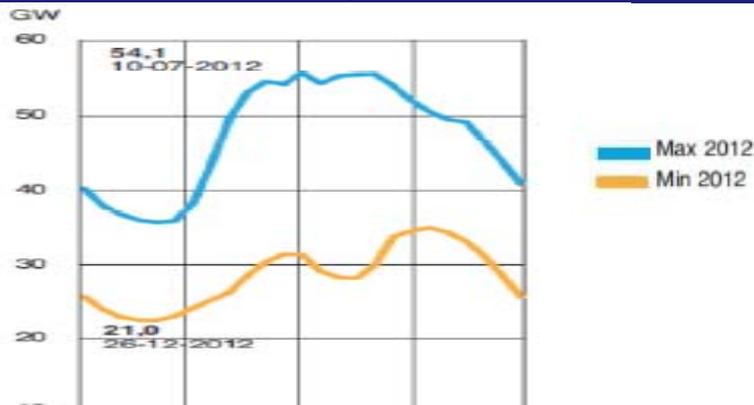


Fonte: SEN

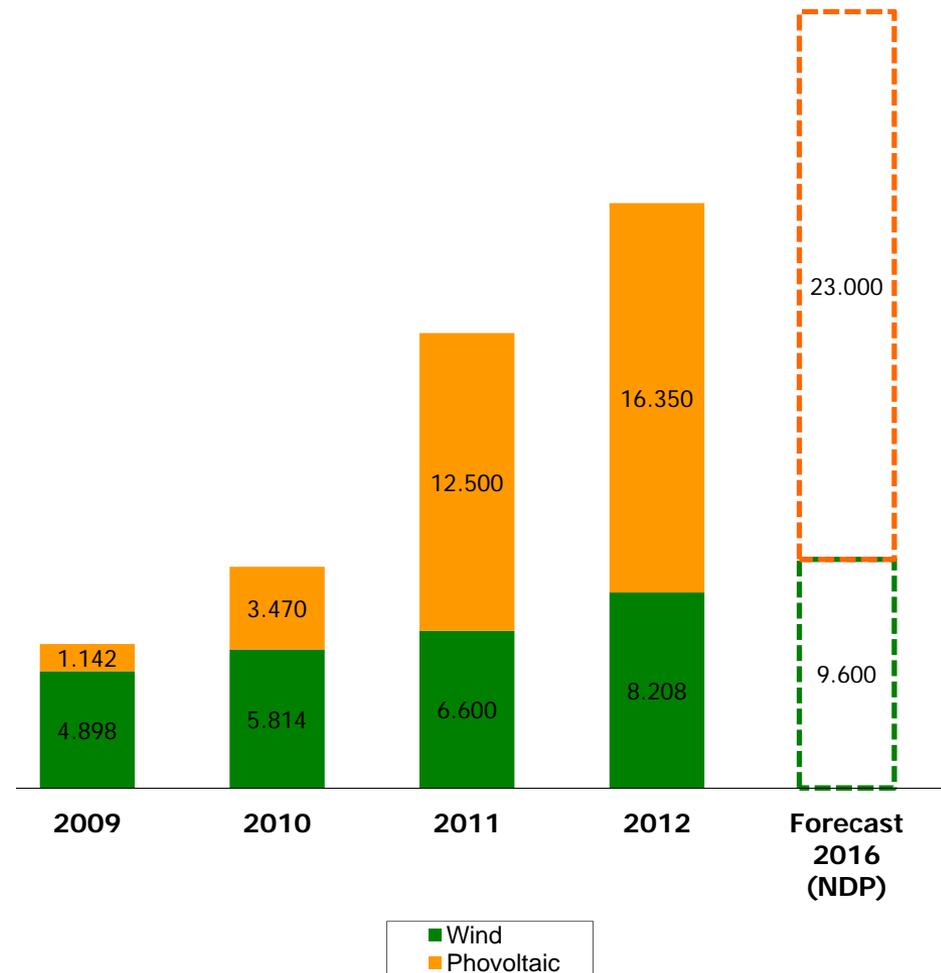
# Crescita FRNP nella Rete RTN

Le rinnovabili sono cresciute esponenzialmente raggiungendo circa un terzo della totale energia consumata ; nel 2012 su 304 TWh di consumi totali, 92 TWh sono rinnovabili.

Ma è soprattutto la percentuale della potenza istantanea (con consumi bassi) che è critica



### Installed Capacity from Wind and Solar Power Plants

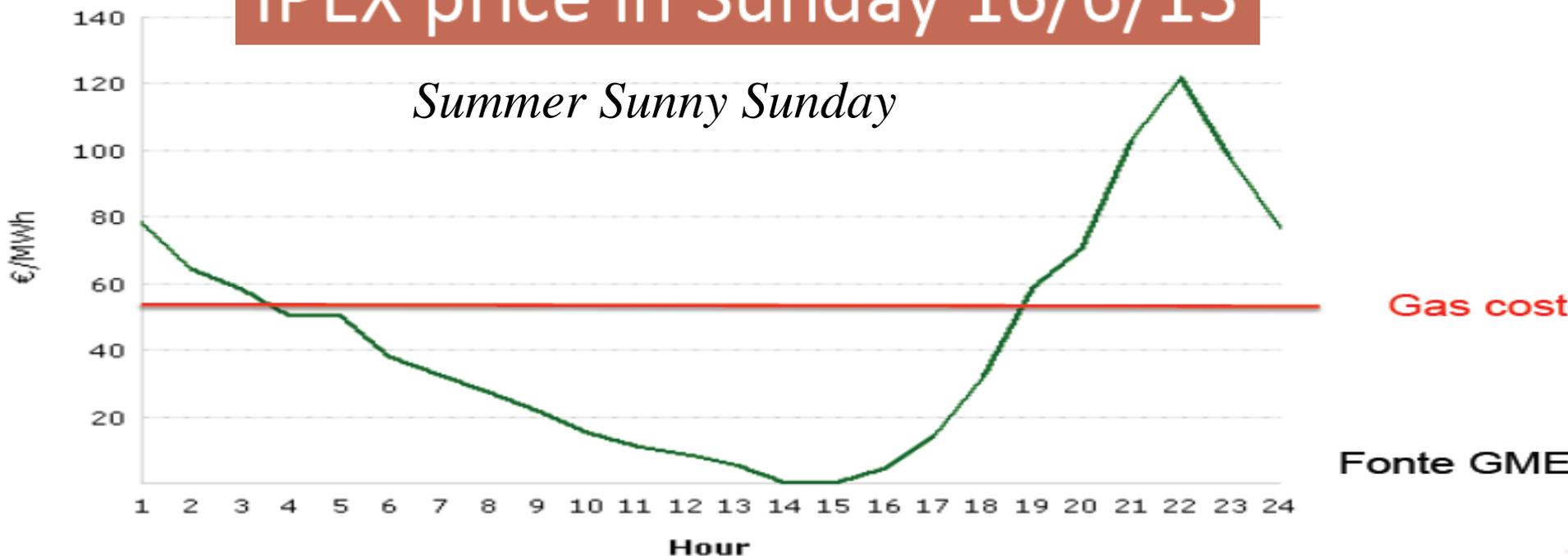


# Crescita FRNP nella Rete RTN

E' la penetrazione delle energie rinnovabili intermittenti non prevedibili (Wind + Solar) che fa crescere il rischio instabilità perchè non c'è una corrispettiva potenza di regolazione primaria.

## IPEX price in Sunday 16/6/13

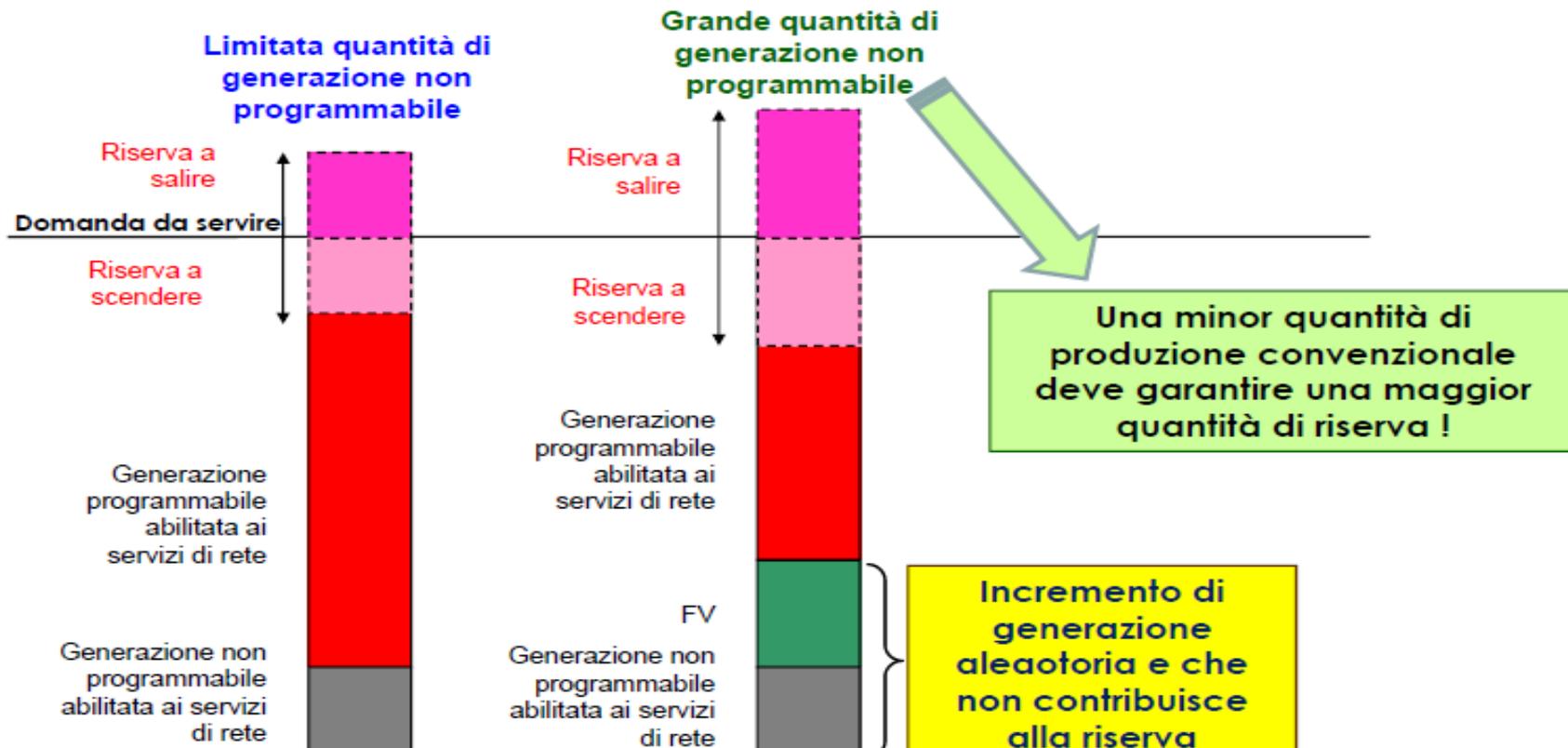
*Summer Sunny Sunday*



Il 16 Giugno 2013 abbiamo avuto per quasi 2 ore una produzione 100% da FRNP (circa 20 GW tutti da rinnovabili) !!!!!

# Crescita FRNP nella Rete RTN

La penetrazione delle fonti rinnovabili riduce lo spazio delle unità termoelettriche ed idroelettriche con **regolazione primaria e secondaria**

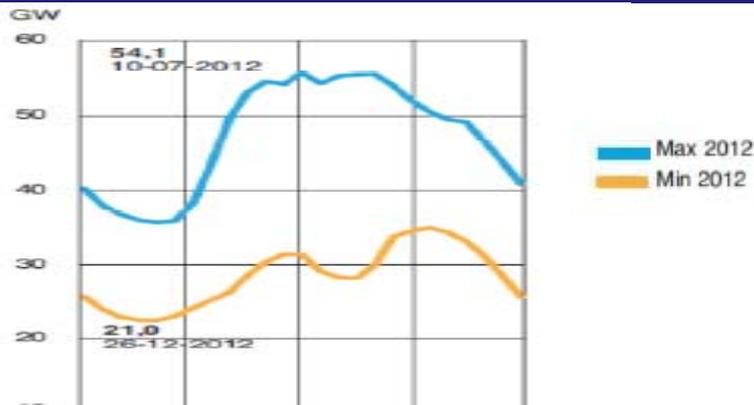


**L'impatto delle FRNP sulla sicurezza del sistema elettrico**

# Crescita FRNP nella Rete RTN

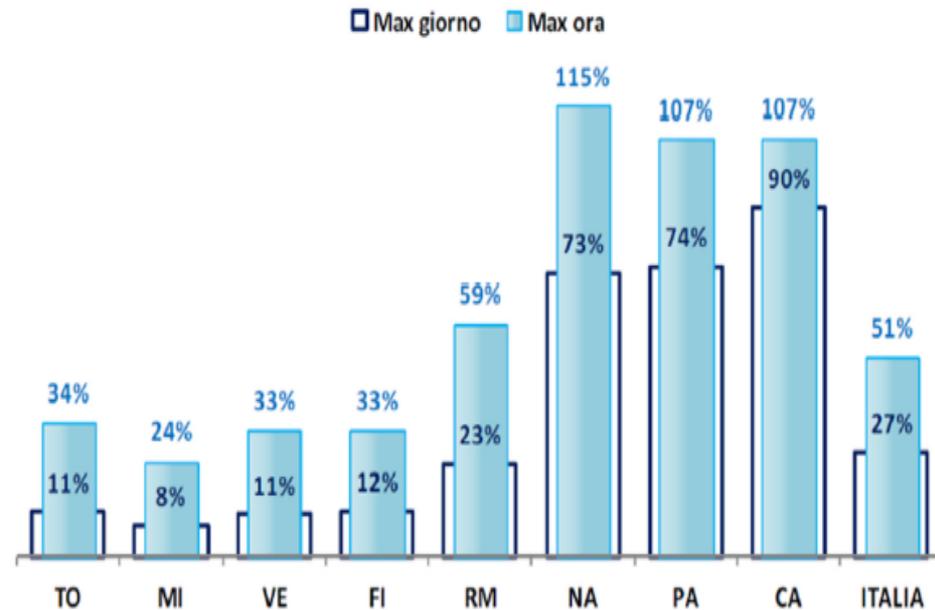
La rapida crescita delle FRNP.... è caratterizzata anche da Parchi Eolici di grossa taglia concentrati in aree lontane dal carico dove spesso la rete di trasmissione non garantisce sufficiente capacità di trasporto ( produzione eolica centrata tra Campania e Puglia) → TSO

Carico equivalente alla rete di Distribuzione modificato dalla GD  
18 GW -29 TWh nel 2011 (più di 16.GWh soli impianti FV <5 MW),



## Situazione critica alla punta

Percentuale RES Max giorno / ora nel 2012



## Crescita FRNP nella Rete RTN

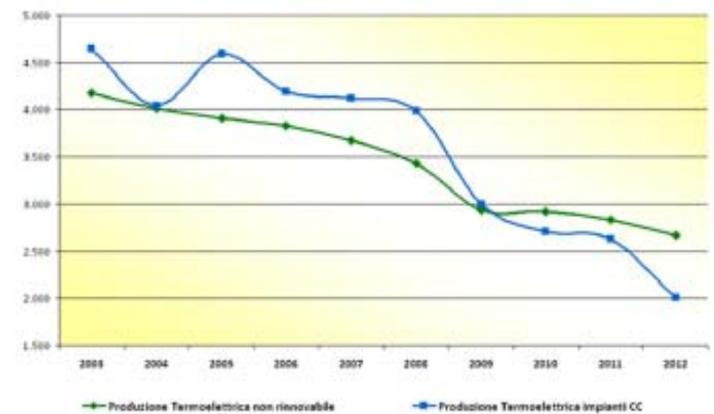
Le FRNP comportano anche una maggiore flessibilità richiesta agli “impianti convenzionali” .

- Frequenti fermate ed avviamenti
- Rapide rampe di presa e di rilascio carico
- Gestione minimi (l'assenza di capacità regolante non solo nel periodo di minimo ma anche in quelli successivi a causa dei tempi di avviamento di detti impianti).

*i cicli combinati fanno “ginnastica”  
lavorano meno e si usurano di più*



Evoluzione delle ore equivalenti di funzionamento annue



# Crescita FRNP nella Rete RTN

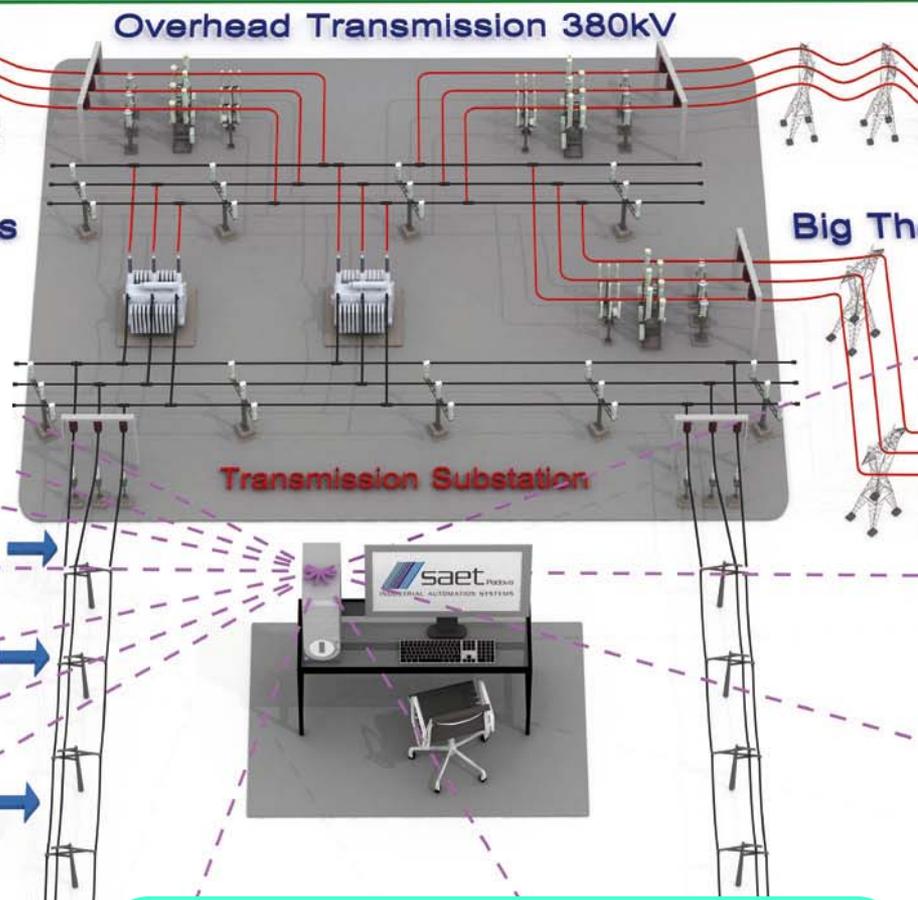
La penetrazione ha un impatto anche sull'inerzia: mentre le masse rotanti negli impianti tradizionali permettono di superare le brusche variazioni di carico quindi riducono le variazioni di frequenza, con le FRNP (produzione statica) si è passati ad inerzia zero.

Con un deficit improvviso di generazione, la frequenza deriva più velocemente verso il black-out

Il decadimento della frequenza diventa così rapido che i tempi d'intervento della regolazione primaria (50% della banda in 15 sec, 100% in 30 sec) possono non essere sufficienti ad evitare i distacchi di carico



La naturale soluzione tecnica per questa situazione di sbilanciamento sembrerebbe lo STORAGE come supporto alla penetrazione “eccessiva” delle rinnovabili



Wind Farm

Solar Farm

Mini Hydro Power Plant

Biomass Power Plant

Energy Storage

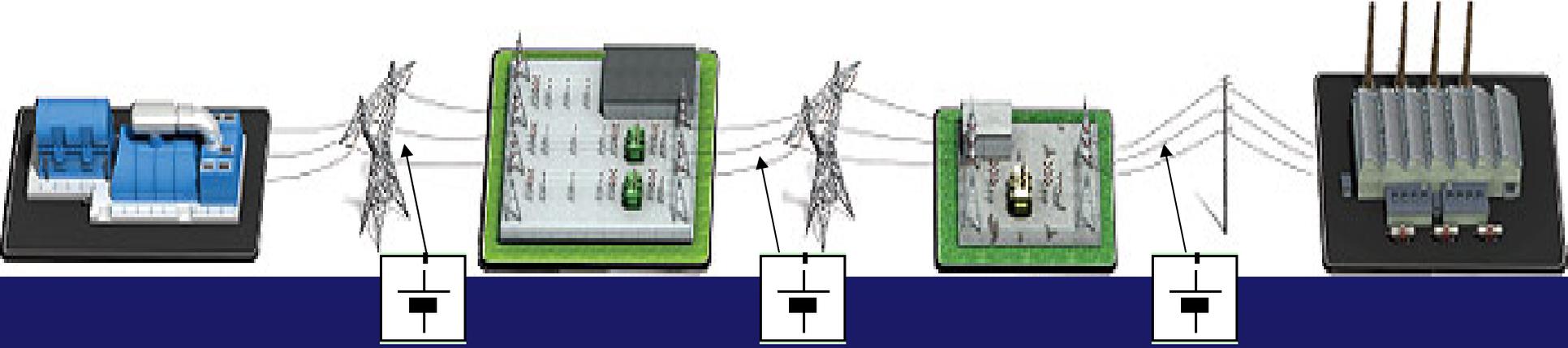
ENERGY STORAGE come supporto di rete

# Storage soluzione ai problemi di rete TSO

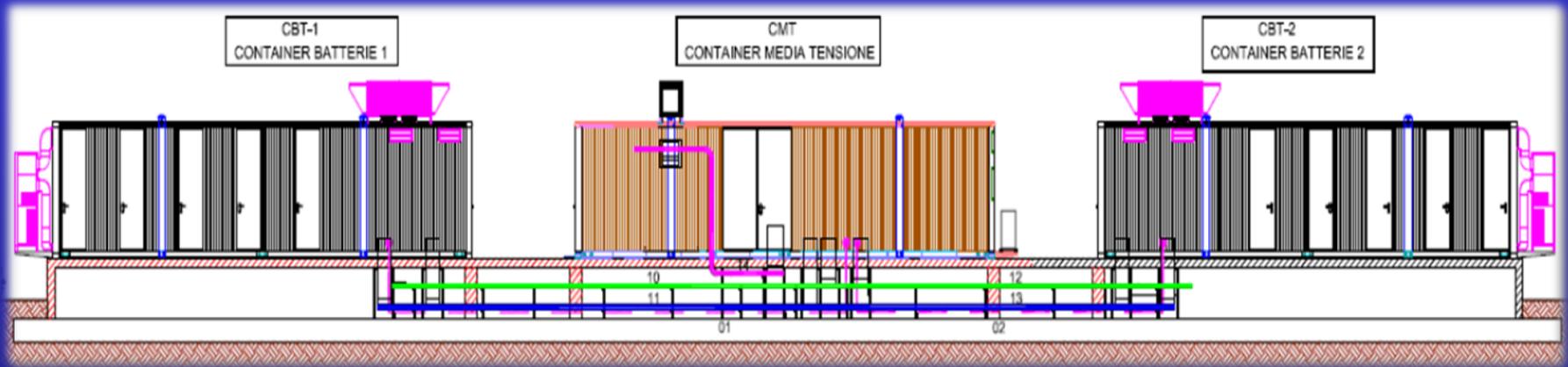


È allora naturale che si sia tentato di studiare innovazioni tecnologiche idonee a fronteggiare le necessità di aumento della capacità e della flessibilità delle reti. Tra queste innovazioni sicuramente i sistemi di accumulo elettrochimico ha un ruolo rilevante e pone una serie di interrogativi anche di carattere regolatorio.

Si tratta dei «sistemi di accumulo diffuso», indicati da Terna e da Enel Distribuzione come uno degli strumenti su cui puntare per risolvere diverse criticità delle reti di trasmissione e distribuzione.



## Cosa è un Energy Storage System?



E' un sistema in grado di assorbire ed immagazzinare energia elettrica per poi renderla in modo differito nel tempo.

La capacità di potere accumulare e cedere energia elettrica (con modulazione della potenza), permette di realizzare svariate funzioni per la regolazione di un sistema elettrico.

# Storage soluzione ai problemi di rete TSO



E' una nuova forma di flessibilità, stabilizzatrice di rete, che si ottiene con il disaccoppiamento in termini di tempo e di spazio di una quota dei diagrammi di generazione e carico, introducendo una nuova dinamica di rete. Molte sono le funzioni riconosciute :

Peak Shaving	disomogeneità della richiesta di potenza dal RTN
Load Leveling	disomogenea distribuzione del carico su RTN
Soluz. Congestioni e MPE	Accumulare energia in caso di sovraccarico, per reimmetterla in rete quando la congestione è cessata, (vedi Wind-overload)
Riserva rapida	in accoppiamento a FRNP con regolazione della frequenza di rete
Power Quality	Miglioramento del servizio, forma e buchi tensione
Rifasamento DYN	Immissione rapida Q per supporto di rete

Vogliamo analizzare come ripartire questi servizi, chi potrebbe erogarli, per chi sono finalizzati, quali sono i benefici ed in quali tempi si mette in gioco l'accumulo.

## SERVIZIO "IN ENERGIA"

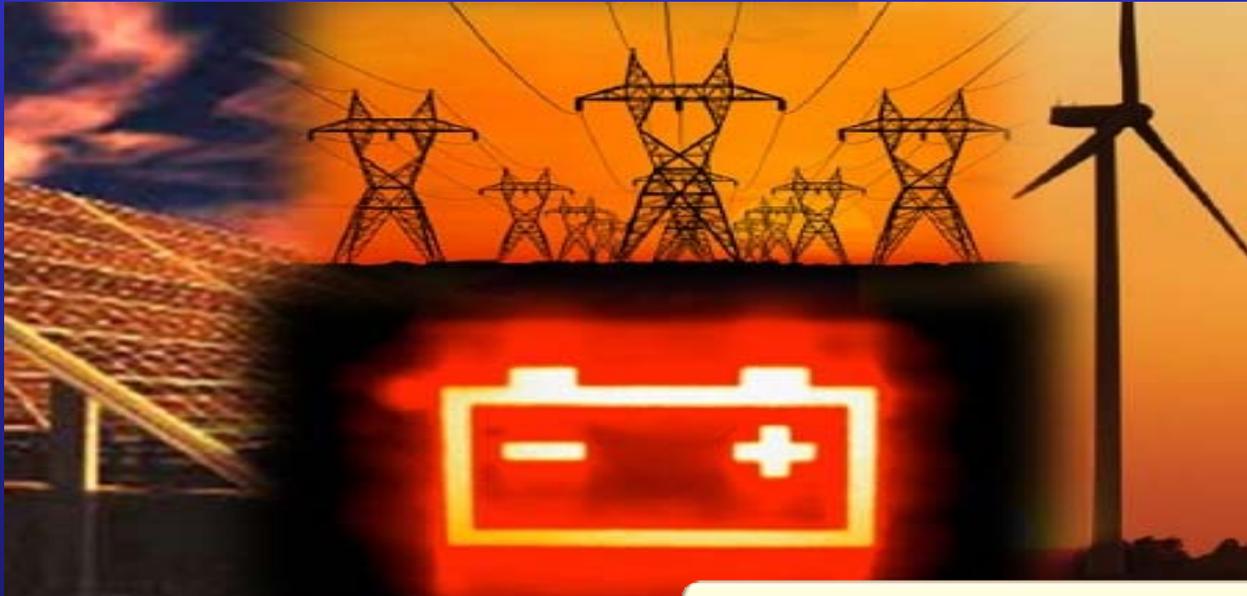
- Time Shift
- MPE e Congestioni
- Peak Shaving
- Reg. secondaria (200s/ 2h)
- Riserva Terziaria (15 min- LD)
- Black Start

## SERVIZIO "IN POTENZA"

- Reg. primaria 30s/15 m
- Supporto di tensione
- Inerzia sintetica
- Power Quality

## SERVIZIO DI ACCUMULO

L'edizione 2013 del DOE/EPRI Electricity Storage Handbook descrive i servizi e applicazioni in cinque principali gruppi .



Serv. di Scambio Energia

Serv. Ancillari di Regolazione

Serv. per Infrastruttura TSO

Serv. per Infrastruttura DSO

Serv. EMS CLIENTE

## Serv. di Scambio Energia

Time Shift (Arbitrage)

Fornitura di Energia

## Serv. Ancillari di Regolazione

Regolazione freq. -Potenza

Riserva Potenza Sec-terziaria

Regolazione di Tensione

Black Start

Power Quality

## Serv. Infrastruttura TSO

Differimento investimenti rete

Gestione delle congestioni

## Serv. Infrastruttura DSO

Differimento investimenti rete

Regolazione di Tensione

## Serv. EMS CLIENTE

Power Quality Cliente

Power Reliability

Time Shift Cliente

Integrazione RES

# Storage soluzione ai problemi di rete TSO



Serv. di Scambio Energia

Time Shift (Arbitrage)

Fornitura di Energia

Serv. Ancillari di Regolazione

Regolazione freq. -Potenza

Riserva Potenza Sec-terziaria

Regolazione di Tensione

Black Start

Power Quality

Serv. Infrastruttura TSO

Differimento investimenti rete

Gestione delle congestioni

Serv. Infrastruttura DSO

Differimento investimenti rete

Regolazione di Tensione

Serv. EMS CLIENTE

Power Quality Cliente

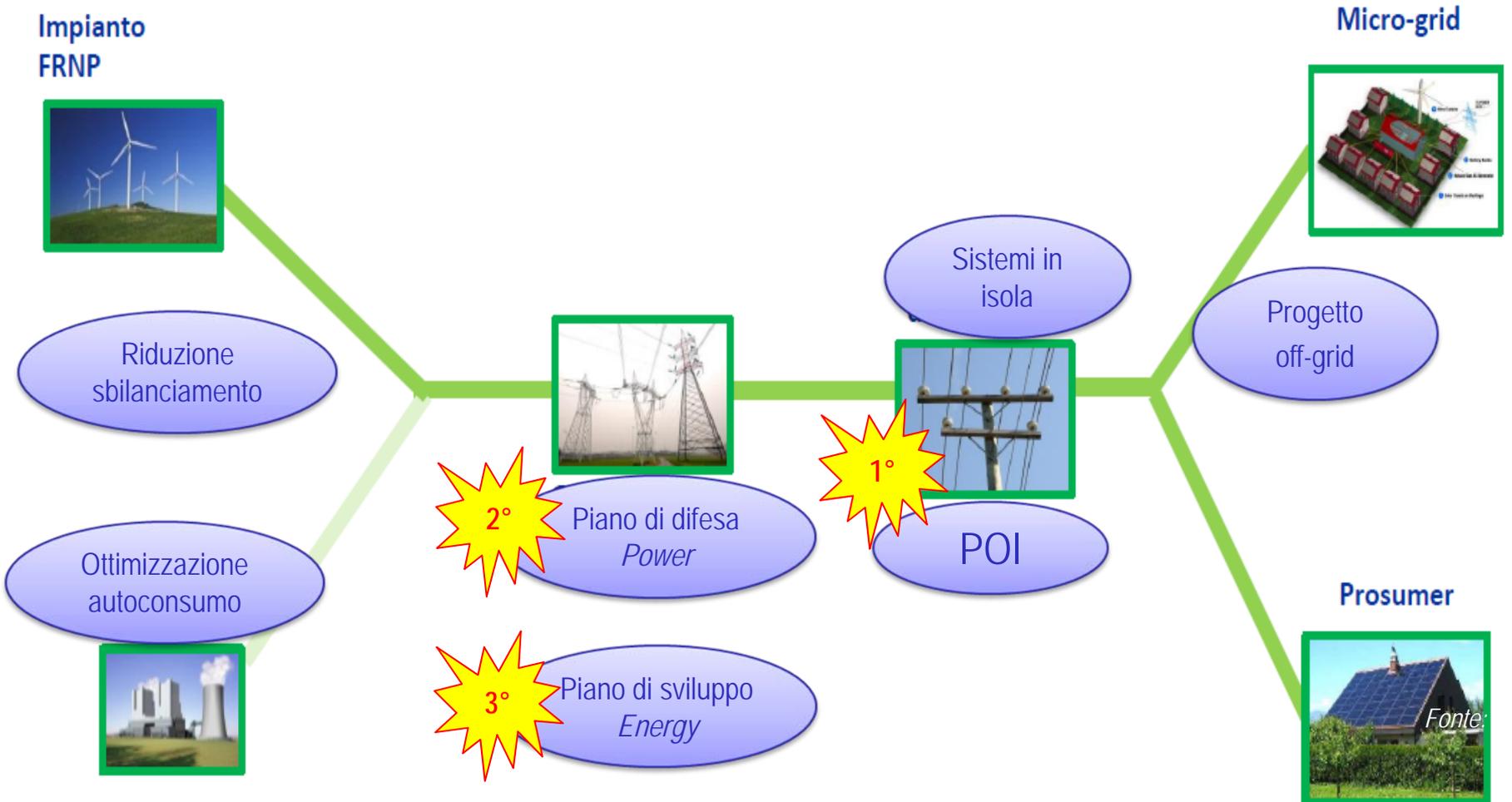
Power Reliability

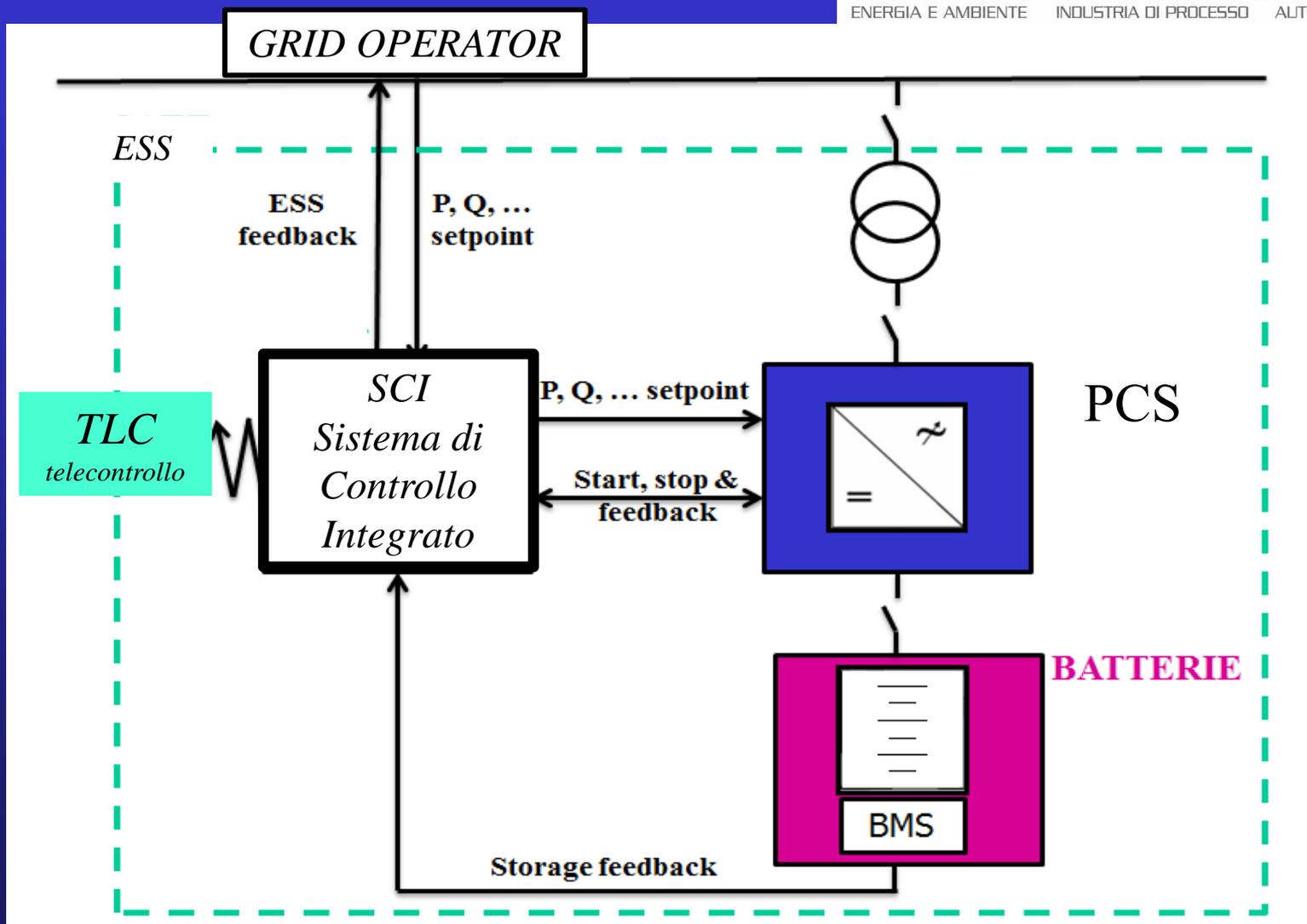
Time Shift Cliente

Integrazione RES



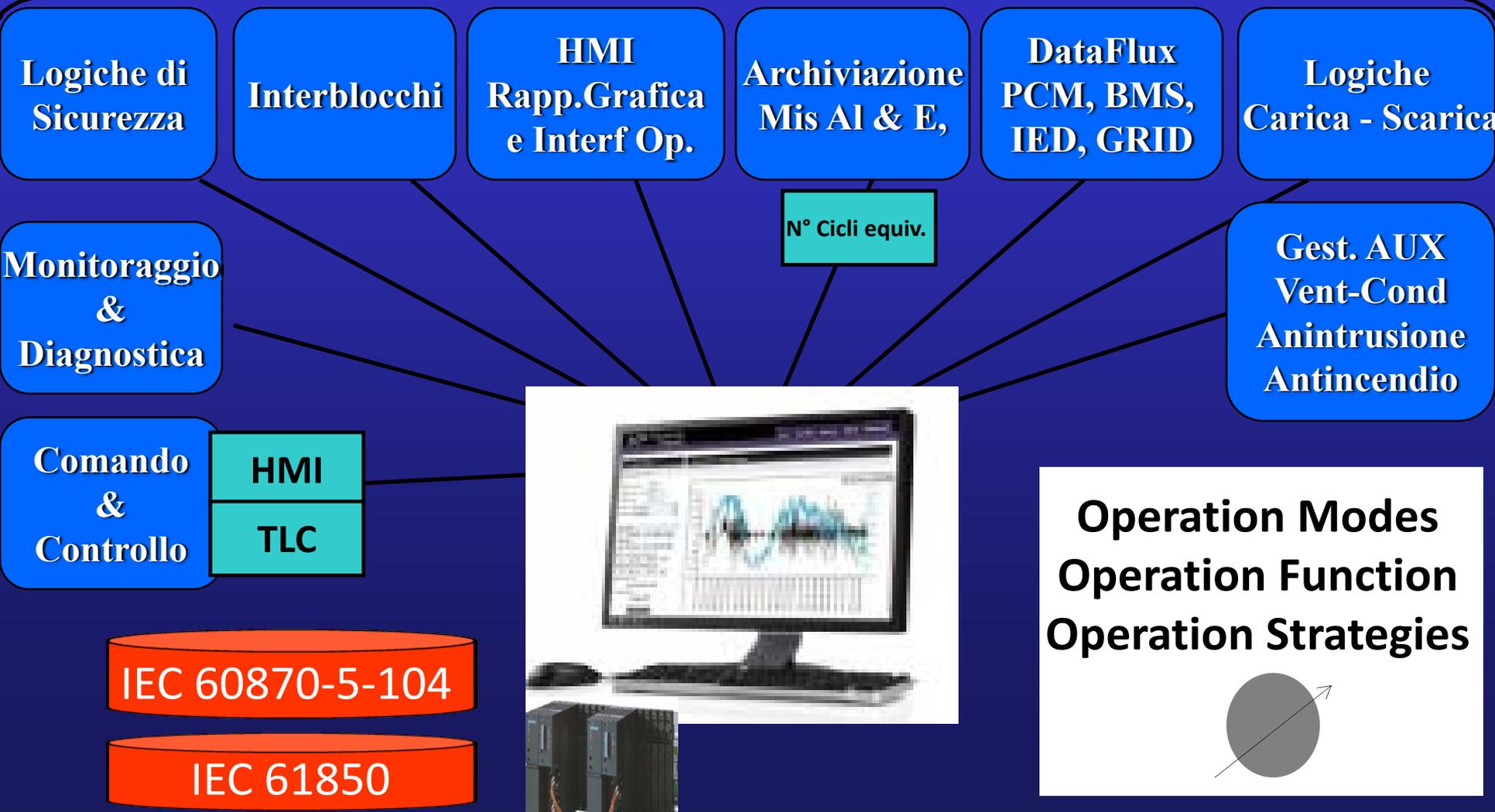
# Storage soluzione ai problemi di rete TSO





*ORGANIZZAZIONE DEL SISTEMA ESS*

## SERVIZI FUNZIONALI SCI



## OPERATION MODES

COMANDO  
REMOTO

Modalità P,Q

Modalità P,U

Modalità Filtro Attivo

Modalità P,f

Modalità Power Quality

Modalità Reg. U

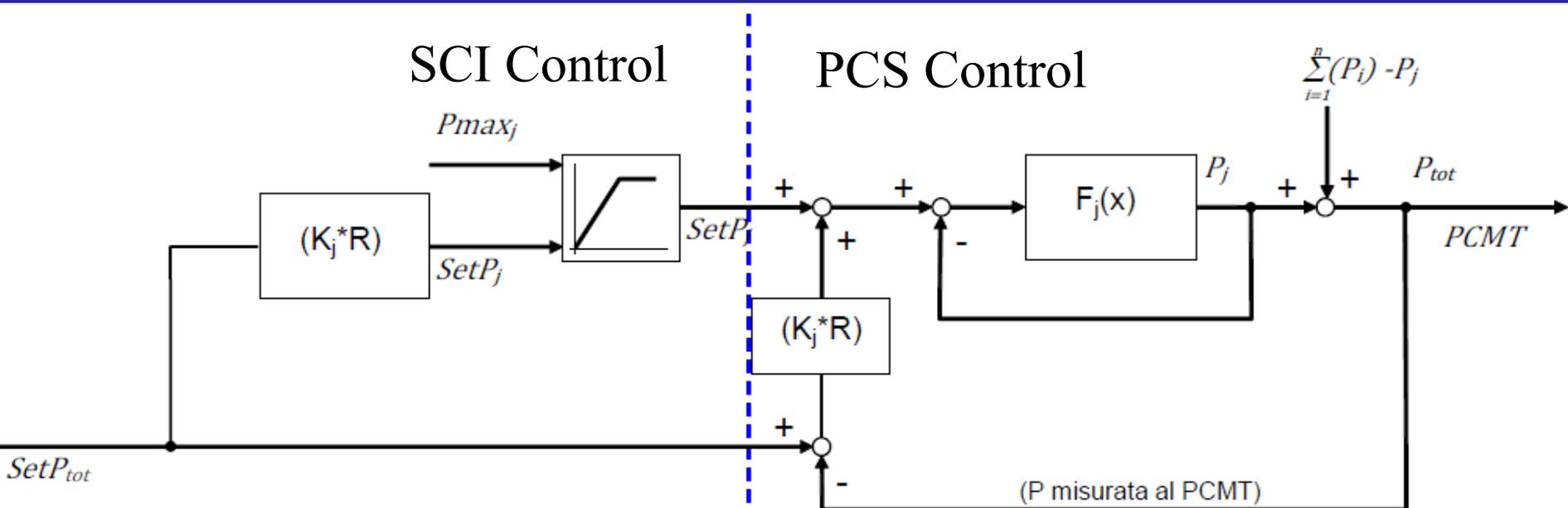
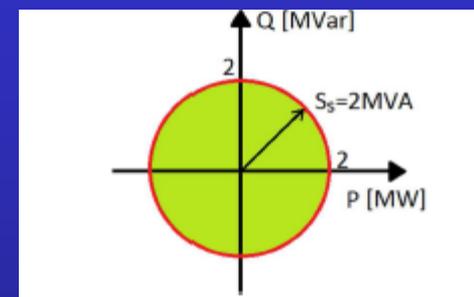
COMANDO  
LOCALE

L'Energy Storage System può attuare due gruppi di modalità operative a “comando remoto” (con continuo set da remoto) e funzioni automatiche a “comando locale” (con set da menu operatore).

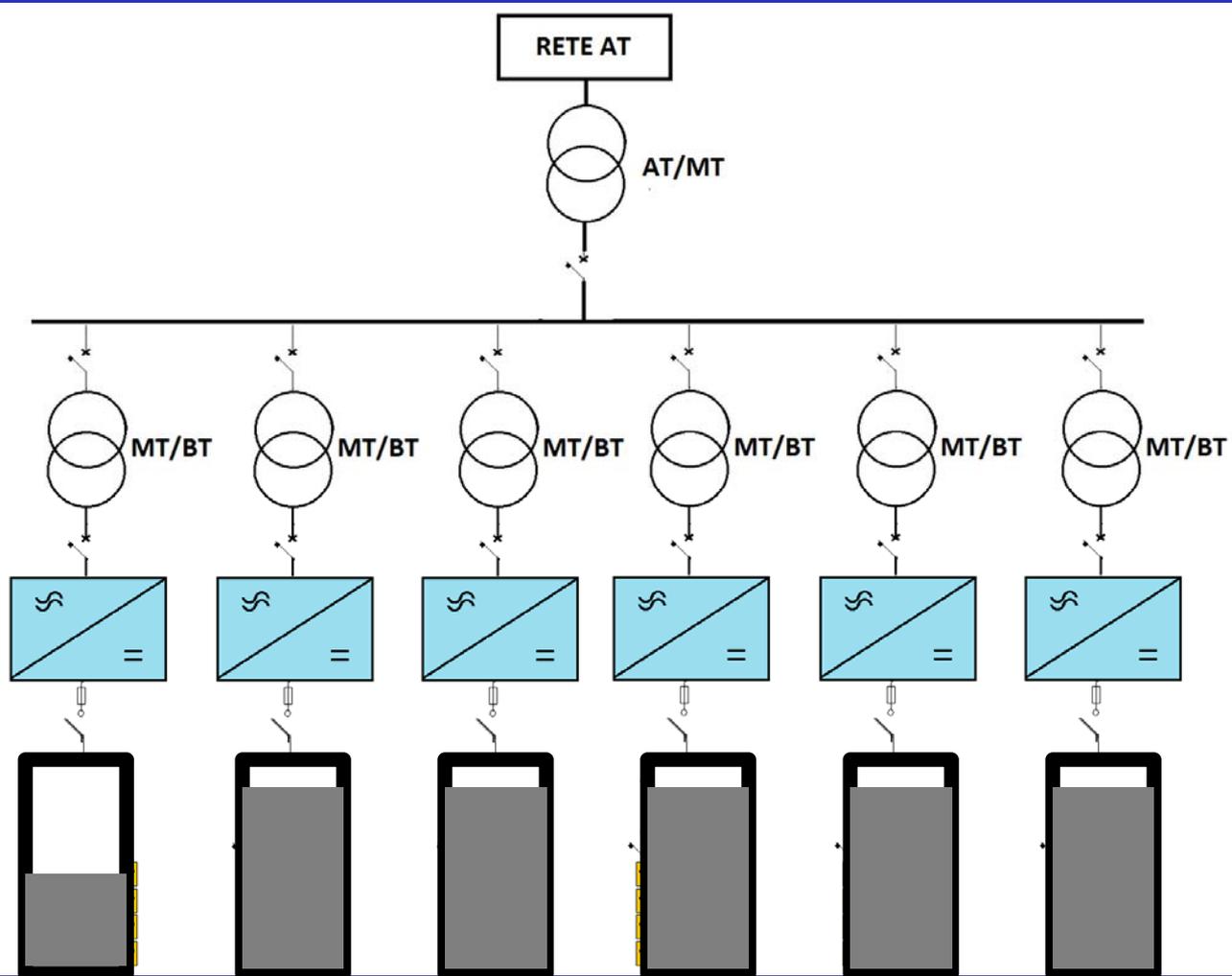
# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## Modalità P-Q (regolazione P,Q)

La logica di controllo mantiene i valori di potenza attiva (P) e potenza reattiva (Q) per ciascuna fase, settati da remoto tramite telecontrollo,

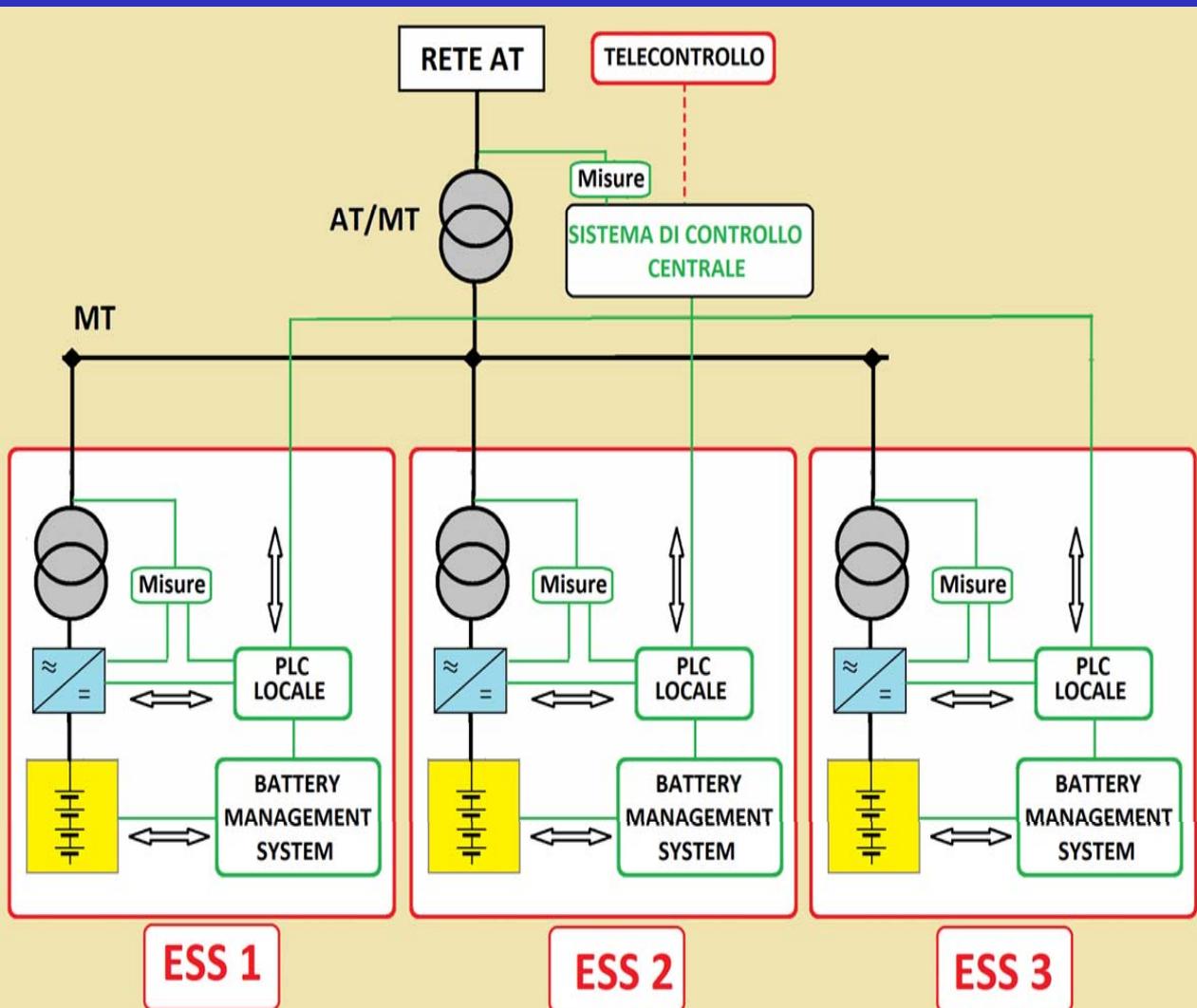


## (logica interna SCI)

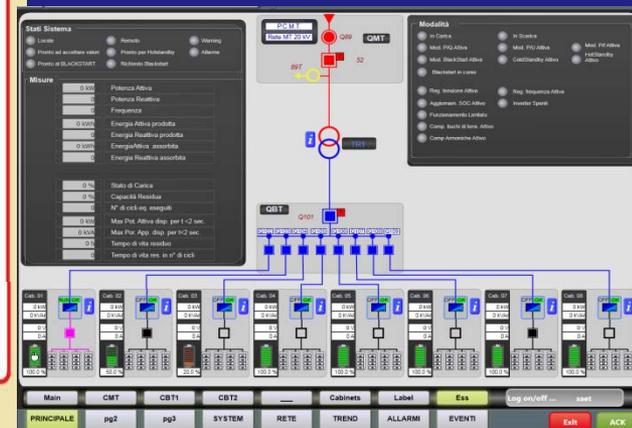


Un sistema ESS con elevata modularità interna a livello di inverter richiede un dispacciamento locale per fare lavorare gli n inverter affinché concorrano in modo concertato al risultato finale (potenza cabinet proporzionale alla energia disponibile)

## Ridistribuzione con logica esterna SCI



Un grande sistema ESS composto da più unità di ESS esige anche una funzione di dispacciamento a livello superiore.



# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

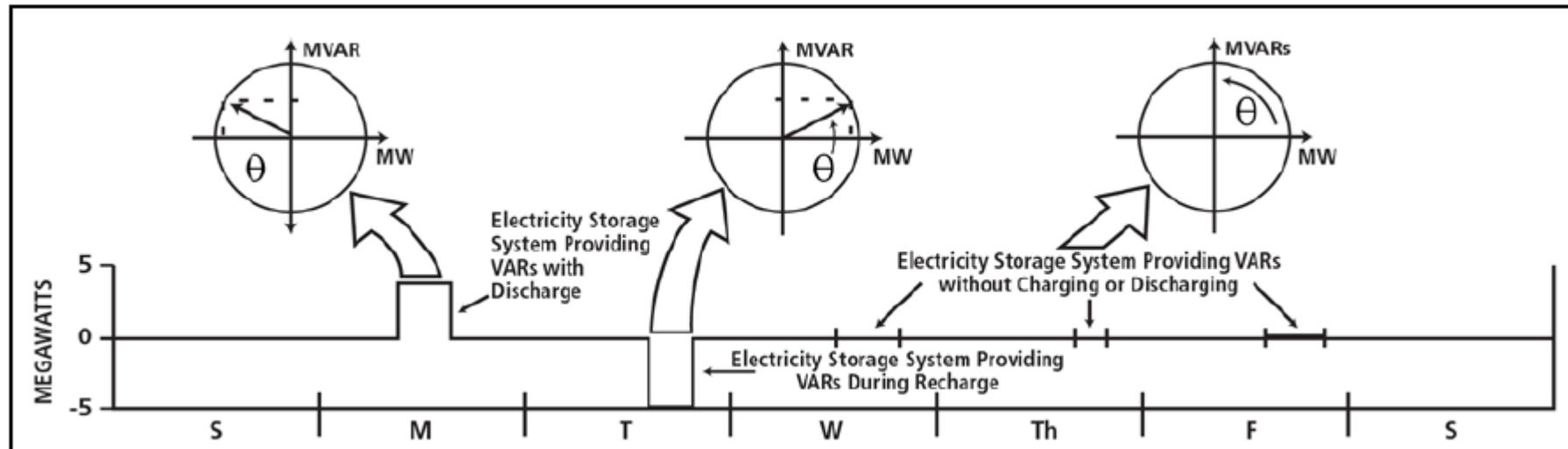
## Regolazione di Tensione

### Regolazione locale di tensione

Al sistema è richiesto di modificare automaticamente la potenza reattiva erogata, in funzione del  $\Delta U$  rispetto ad un valore di riferimento.

### Regolazione centralizzata di tensione

Su richiesta del TSO, il sistema modifica automaticamente la potenza reattiva erogata, in funzione di un set-point di potenza reattiva.



# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## Regolazione della tensione

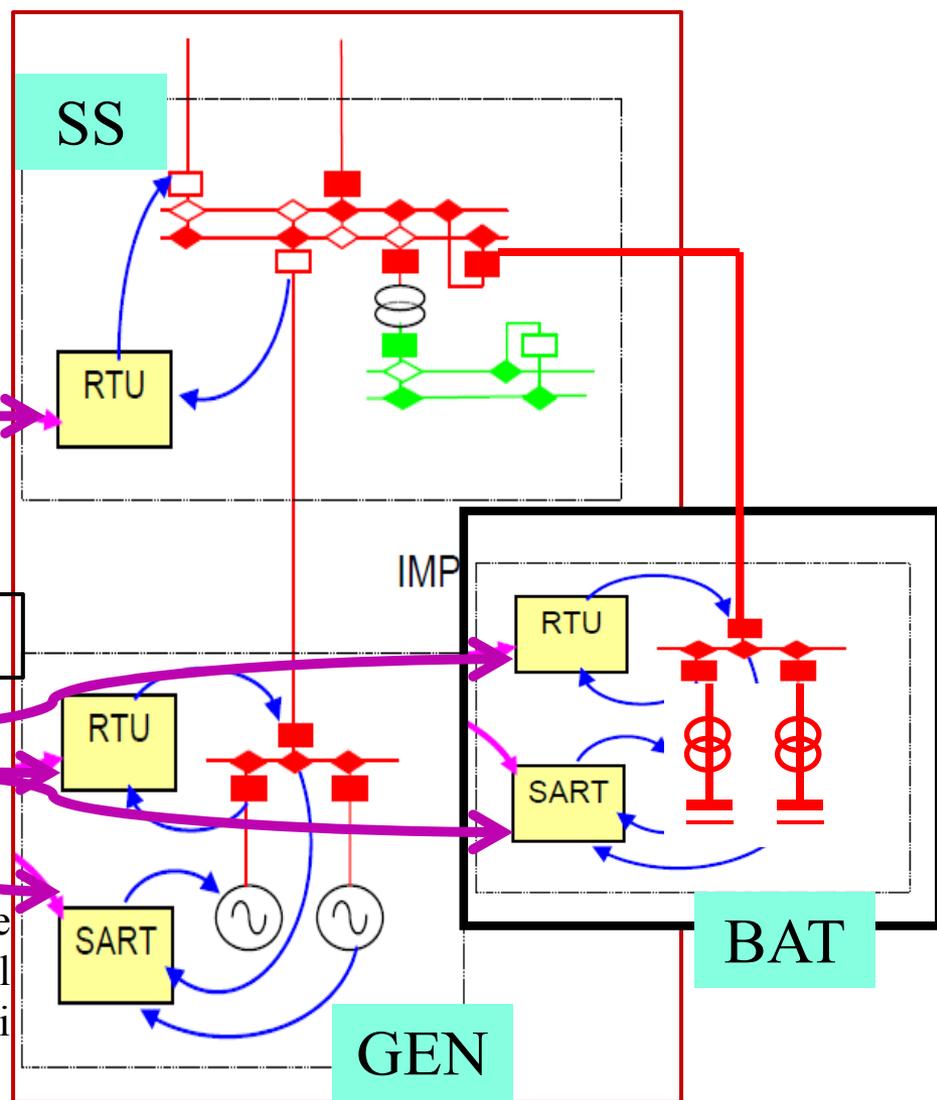
**RAT**  
Regolatore automatico tensione

**SART**  
Sistema automatico Reg.tensione

**RRT**  
Regolatore Regionale Tensione



IEC 60870-5-104



Il Gestore provvede con i RRT alla regolazione secondaria delle UP rilevanti (gestione ottimizzata del livello\_Q) con l'obiettivo di ridurre l'ampiezza  $\Delta U$  nei Nodi Pilota, gestendo i SART decentrati.

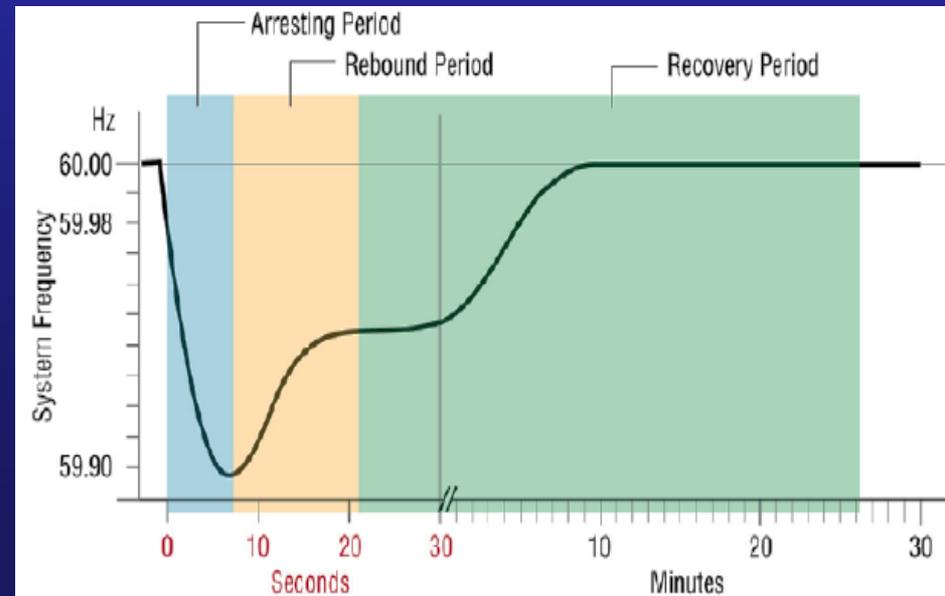
La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## Regolazione di Frequenza

In caso di squilibrio tra generazione e carico si verifica una variazione della frequenza di rete a cui reagiscono i regolatori di velocità dei generatori delle UP con servizio di regolazione primaria: (regolazione della potenza per eliminare lo squilibrio  $\Delta f$ ). Il servizio di regolazione primaria è fornito da tutte le UP  $> 10$  MW eccetto FRNP, con una banda di regolazione di almeno 1,5% della potenza efficiente erogata per almeno 50% entro 15 secondi e 100% entro 30 secondi.

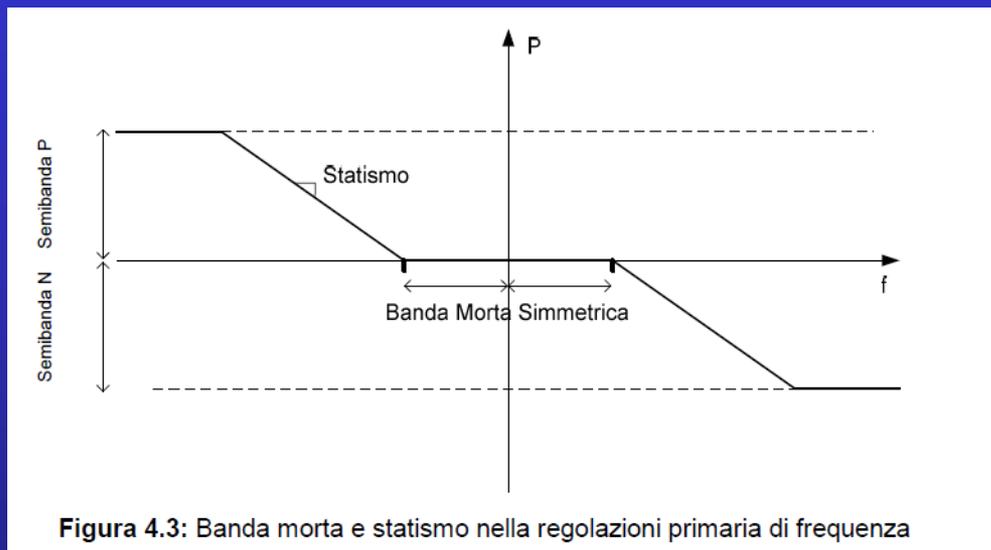
Dopodiché la nuova potenza generata deve essere stabilmente mantenuta per almeno 15 minuti (in assenza di ulteriori variazioni di frequenza).

Per le UP  $> 10$  MW è un servizio obbligatorio non remunerato.



# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

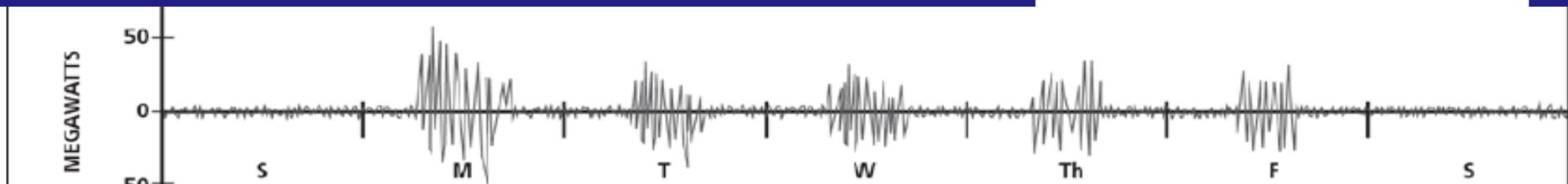
## Regolazione di Frequenza



La logica di controllo riceve da remoto i coefficienti *della retta per la regolazione della frequenza*, e la banda morta *b* (limiti entro i quali il regolatore di frequenza viene escluso, tra 0,00 e 1,00 Hz)

Il set di potenza attiva per ciascun inverter

$$P_{tot} = \sum_{j=1}^n P_j = \sum_{j=1}^n (a_j * f + c_j)$$



Gli ESS hanno un positivo contributo alla stabilizzazione di frequenza (GAS Grid Angular Stability) : bastano modeste quantità di energia con rapida iniezione e assorbimento di potenza attiva per 1-2 s

# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## Regolazione della Frequenza

### Regolazione primaria

→ Potenza

#### Servizio Obbligatorio

fornire metà banda entro 15 secondi e tutta entro 30 secondi, erogandola per almeno 15 minuti

### Regolazione secondaria

→ Energia

#### Servizio Remunerato

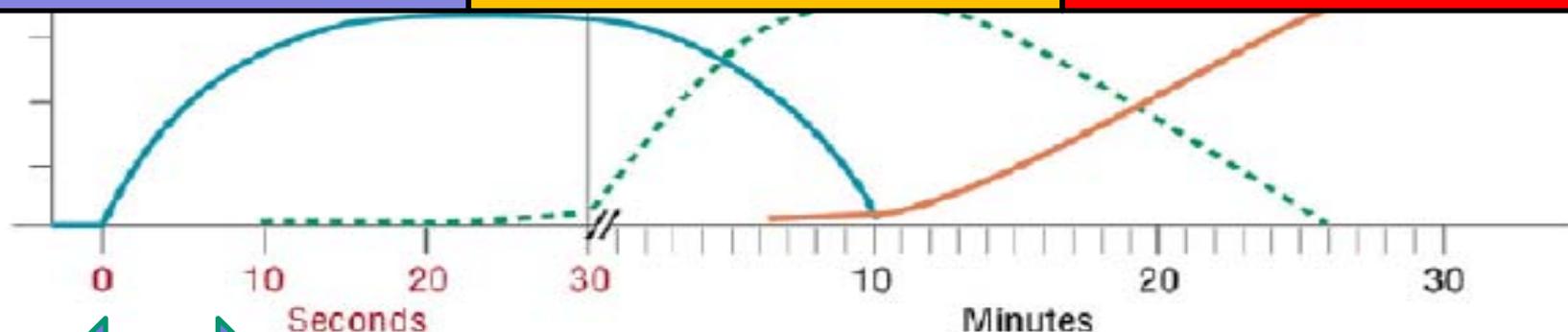
fornire l'intera banda entro 200 secondi ed erogarla con continuità per almeno 2 ore

### Riserva terziaria

→ Energia

#### Servizio Remunerato

erogare la potenza richiesta entro 15 minuti, potenzialmente senza limitazioni di durata



30 s

Regolazione primaria

30 s – 15 min

Reg. Secondaria

10 – 15+ min

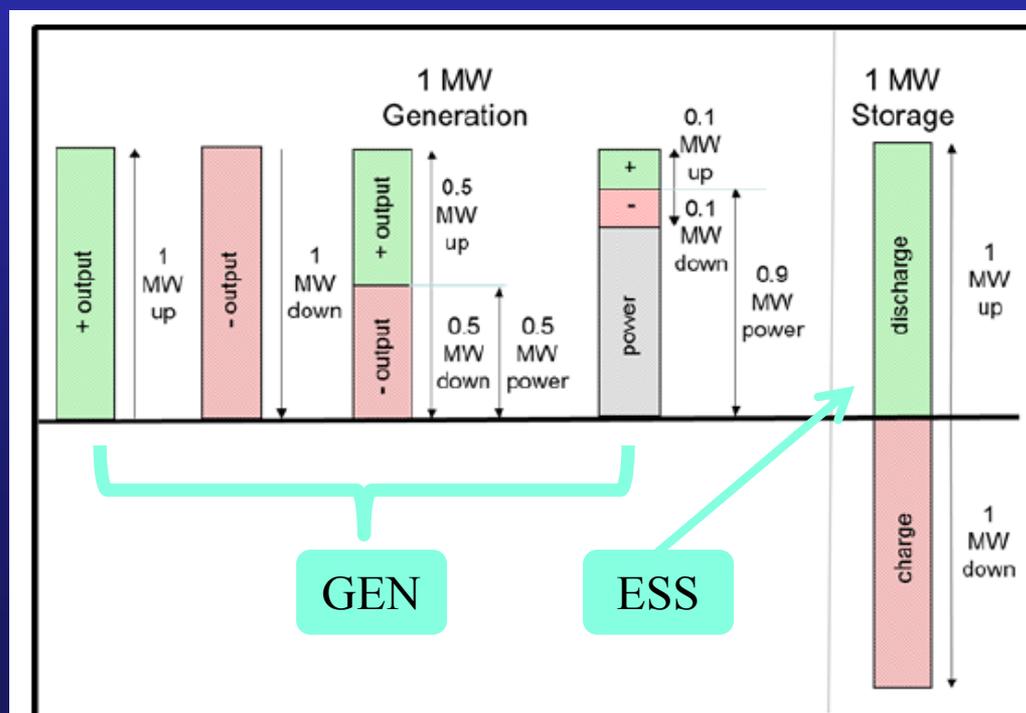
Reg. Terziaria

# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## La riserva di regolazione

Invece che utilizzare la riserva come nei generatori metà a scendere e metà a salire, con lo Storage si utilizza tutta la potenza a scendere e tutta a salire. I sistemi di accumulo possono adeguatamente fornire servizi di regolazione secondaria e terziaria (servizio remunerato), riducendo le necessità di modulazione a carico parziale delle unità termoelettriche.

Nel P.d.S 2011 Terna , si stima una riduzione dell'approvvigionamento di riserva per 410 GWh/anno a fronte di 135 MW di batterie).

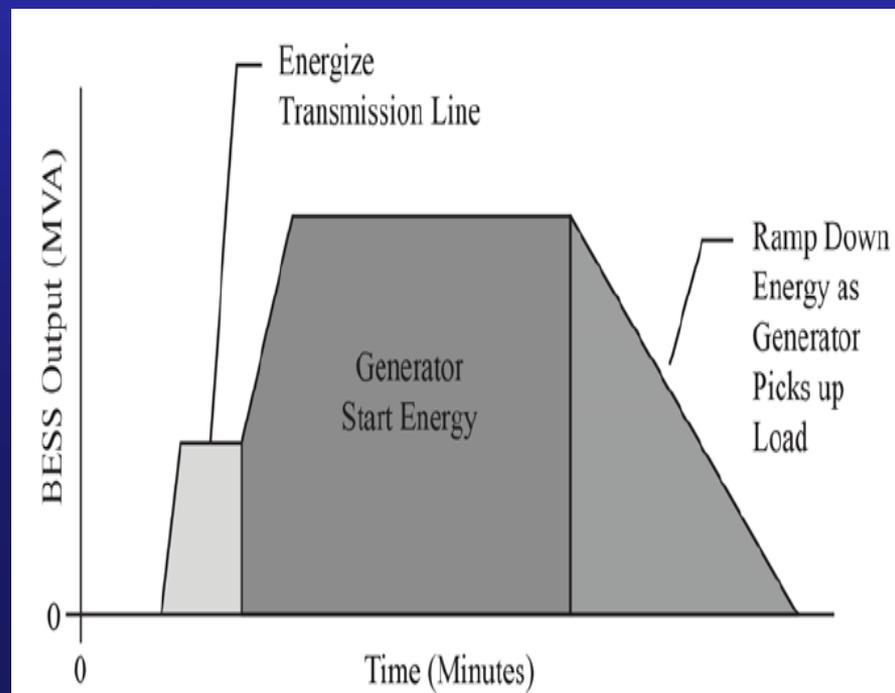


# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## Black Start

In caso di black-out generalizzato, la procedura di riaccensione del sistema elettrico richiede la disponibilità di centrali con black start, ossia in grado di avviarsi autonomamente in assenza di alimentazione dalla rete elettrica. Con questo servizio si riesce a mettere in tensione le direttrici di riaccensione, che alimentano le centrali di ripartenza non autonoma, (consentendone la ripartenza regolando frequenza e tensione durante la rampa di presa di carico).

I sistemi ESS in caso di perdita di alimentazione, non oltre le 12 ore, possono essere utilizzati in modalità Blackstart ; gli inverter lavoreranno essenzialmente in regolazione di tensione e frequenza, erogando di volta in volta il carico (P,Q) richiesto dalla rete nei limiti di capability.



I sistemi ESS come black start *dovranno* essere in grado

- di connettersi ad una rete a tensione nulla;
- di energizzare il trasformatore della stazione di connessione;
- di fornire il servizio di regolazione locale di tensione nel restart

*Distingueremo poi :*

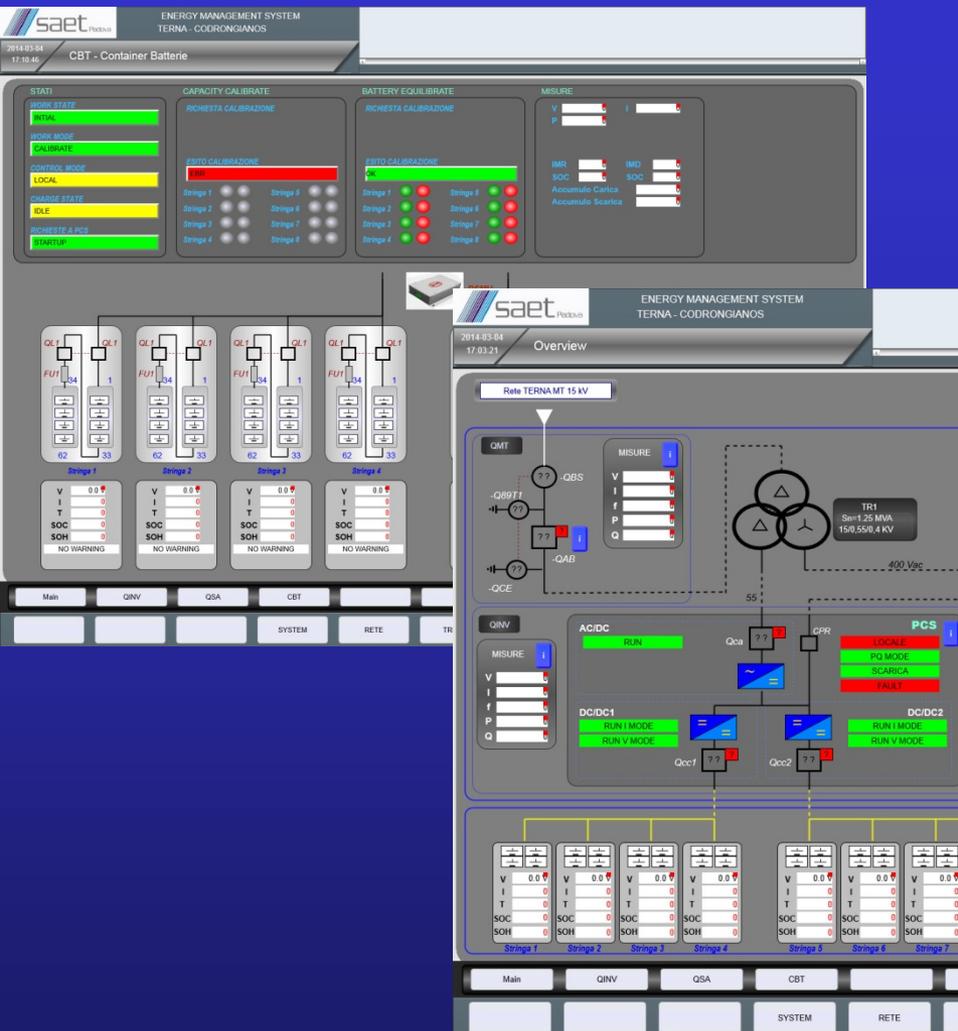
**BLACK START**  
**ISOLA MASTER**

*Il sistema ESS è in grado di energizzare la rete isolata (diventa referenza per la sincronizzazione delle altre isole).*

**BLACK START**  
**ISOLA SLAVE**

*Il sistema ESS si connette in parallelo ad una rete isolata già presente.*

# La regolazione dello Storage sulla rete TSO



ENERGY MANAGEMENT SYSTEM  
TERNA - CODRONGIANOS

2014-03-04 17:10:46 CBT - Container Batterie

STATI: WORK STATE (INITIAL, CALIBRATE, CONTROL MODE, LOCAL, SHUTDOWN, IDLE, REQUEST A PCS, STARTUP), CAPACITY CALIBRATE (RICHIESTA CALIBRAZIONE), BATTERY EQUILIBRATE (RICHIESTA CALIBRAZIONE), MISURE (V, I, P, Q, SOC, SOH).

Overview

2014-03-04 17:03:21

QINV - Quadro Inverter - PCS

AC/DC RUN, DC/DC1 RUN V MODE, DC/DC2 RUN V MODE, PCS LOCAL, PQ MODE, SCARICA, FAULT.

MISURE: V, I, P, Q, SOC, SOH for Strings 1-7.



ENERGY MANAGEMENT SYSTEM  
TERNA - CODRONGIANOS

2014-03-04 17:02:59

QINV - Quadro Inverter - PCS

RETE TERNAMT 15 kV

Consegna BT TERNA

COMANDI ESS: LOCAL, CMT, GSA

STATI: SELETTORE (INITIAL, MODALITA'), CARICA / SCARICA (Regolazione f/P, Regolazione freq. Primaria, Regolazione freq. Secondaria, Regolazione di Tensione, Asservimento Sistema Difesa, Massima Produzione, Azzerramento Potenza, Massimo Assorbimento, PCS in fault).

MACCHINA A STATI: TRIP, READY SWITCH ON, PCS OFF, READY TO OPERATE, Q OPERATION, BATT CONNECTED, PQ MODE, V/f Parallel, V/f Island.

COMANDI: Locale, Remoto, Carica, Scarica, PQ mode, V/f Paralle, V/f Isola, Aux ON, Enable, Reset, En Batt1, En Batt2, Vmode DC1, Conn Batt1, Conn Batt2, Vmode DC2.

Regolazioni: f Primaria, f Second, V Primaria, Sys Difesa, Max Prod., Azzerza P, Max Assorb, --, --.

FEEDBACK: Banda Morta, Scostimo, Semibanda P Pos, Semibanda P Neg, Semibanda P Pos. max, Semibanda P Neg. max, Semibanda Q Max, Semibanda Q Min, Ritardo freq. Primaria, Ritardo telescatto.

RIFERIMENTI AC/DC: P, Q, f, V, f (V/f), V (V/f).

RIFERIMENTI DC/DC1: PMR, IMR, Vmax, V.

RIFERIMENTI DC/DC2: PMD, IMD, Vmin, V.

AC/DC RUN, DC/DC1 RUN V MODE, DC/DC2 RUN V MODE, PCS LOCAL, PQ MODE, SCARICA, FAULT.

MISURE: V, I, P, Q, SOC, SOH for Strings 1-7.

Pagine video del sistema di controllo integrato SCI

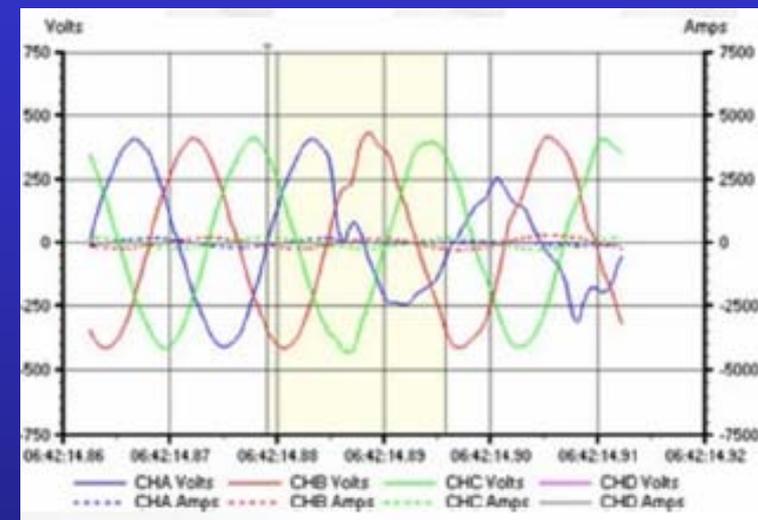
# La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## Power Quality

I sistemi ESS, possono far fronte a :

- buchi di tensione,
- Sovratensioni,
- flicker,
- armoniche

I problemi di power quality hanno rilevanti impatti sui processi produttivi.



Mentre la capacità di reagire alle anomalie di tensione riguarda in genere piccole quantità di energia e non risulta critica in termini di dimensionamento, la compensazione armonica della corrente (Filtro attivo) può essere un parametro di dimensionamento critico.

Nel caso in cui le richieste di rete portassero al superamento della Soglia di un singolo azionamento, lo stesso andrà in limitazione automatica (allarme “sistema in limitazione automatica”).

# La regolazione dello Storage sulla rete TSO



Si tratta di diverse applicazioni di ENERGIA in TIME SHIFT

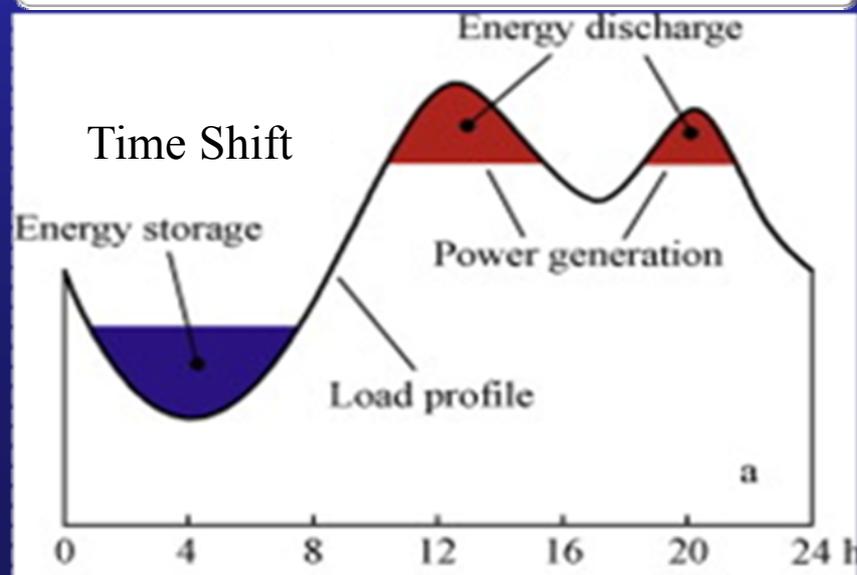
## Serv. Infrastruttura TSO

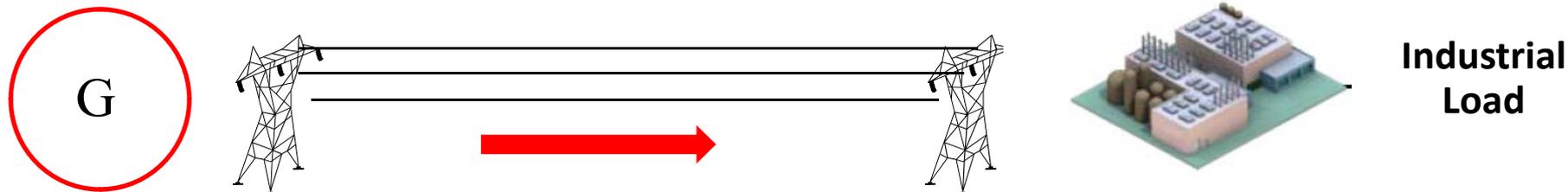
Differimento investimenti rete

Gestione delle congestioni

Mancata Produzione Eolica

Integrazione FRNP





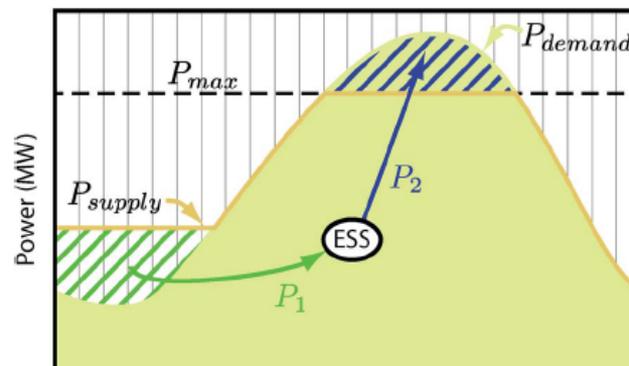
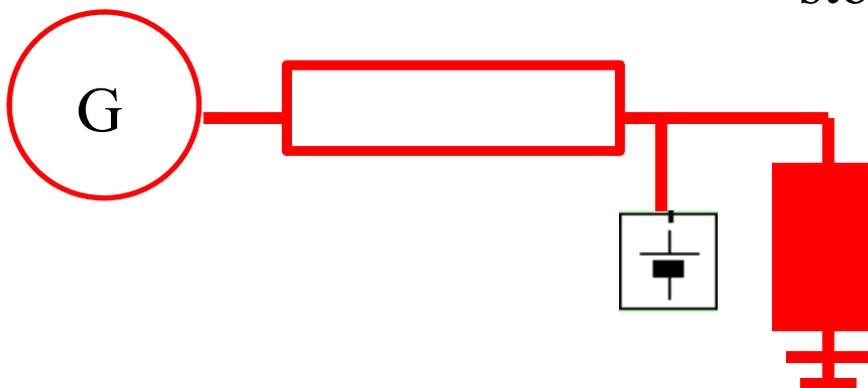
## Differimento degli investimenti di rete

Se in alcune fasi di esercizio, una linea o altro elemento di rete si trova ad essere gestito in condizioni vicine alla soglia (capacità massima), è possibile evitare o differire nel tempo gli investimenti per incrementarne la capacità installando un sistema di accumulo, in grado di “differire nel tempo” (time shift) il sovraccarico : l’accumulo sarà a valle (sovraccarico utilizzatori) o a monte (sovraccarico generatori).

Se i periodi di sovraccarico nell’arco dell’anno sono limitati, un investimento in un sistema di accumulo in grado di farvi fronte, potrebbe quindi evitare più rilevanti investimenti per estendere gli elementi di rete esistenti.

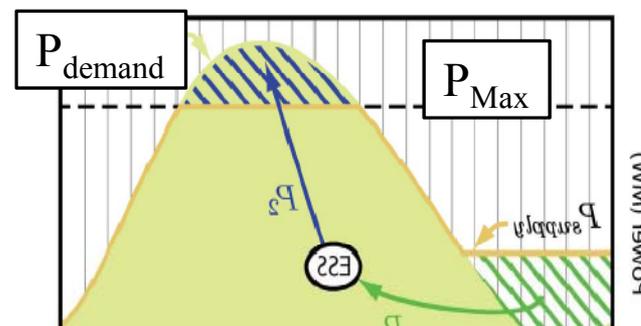
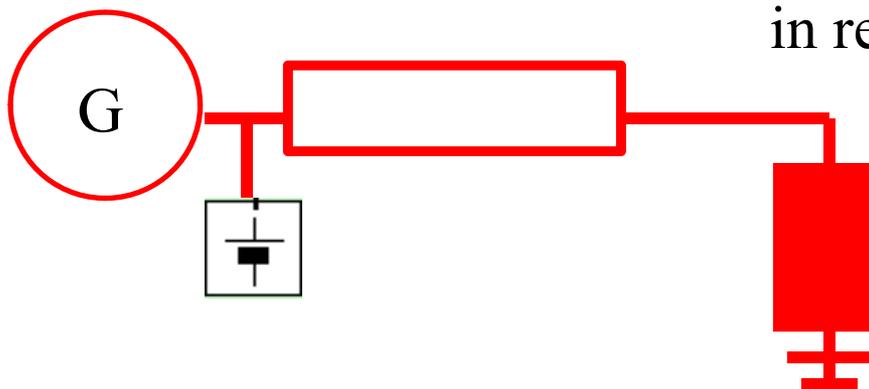
## Congestione dei carichi

Si fornisce al carico scaricando la linea in caso di sovraccarico, per ricaricare poi lo storage quando il rischio è cessato



## Congestione dei Generatori

Si accumulare energia scaricando la linea in caso di sovraccarico, per reimmetterla in rete quando il rischio è cessato

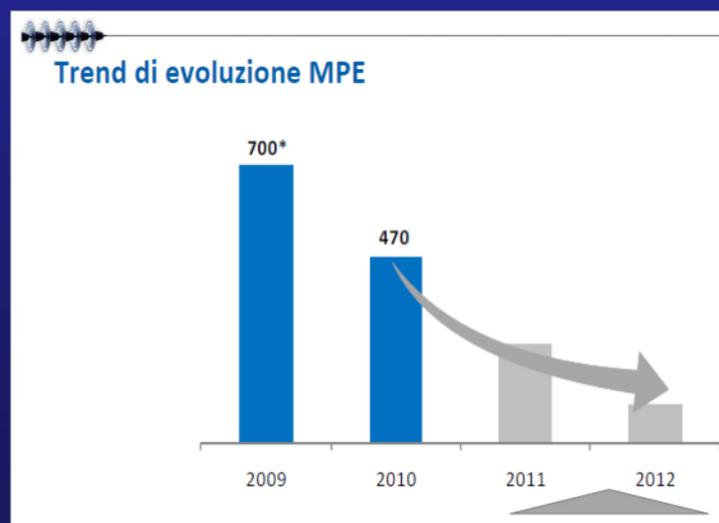


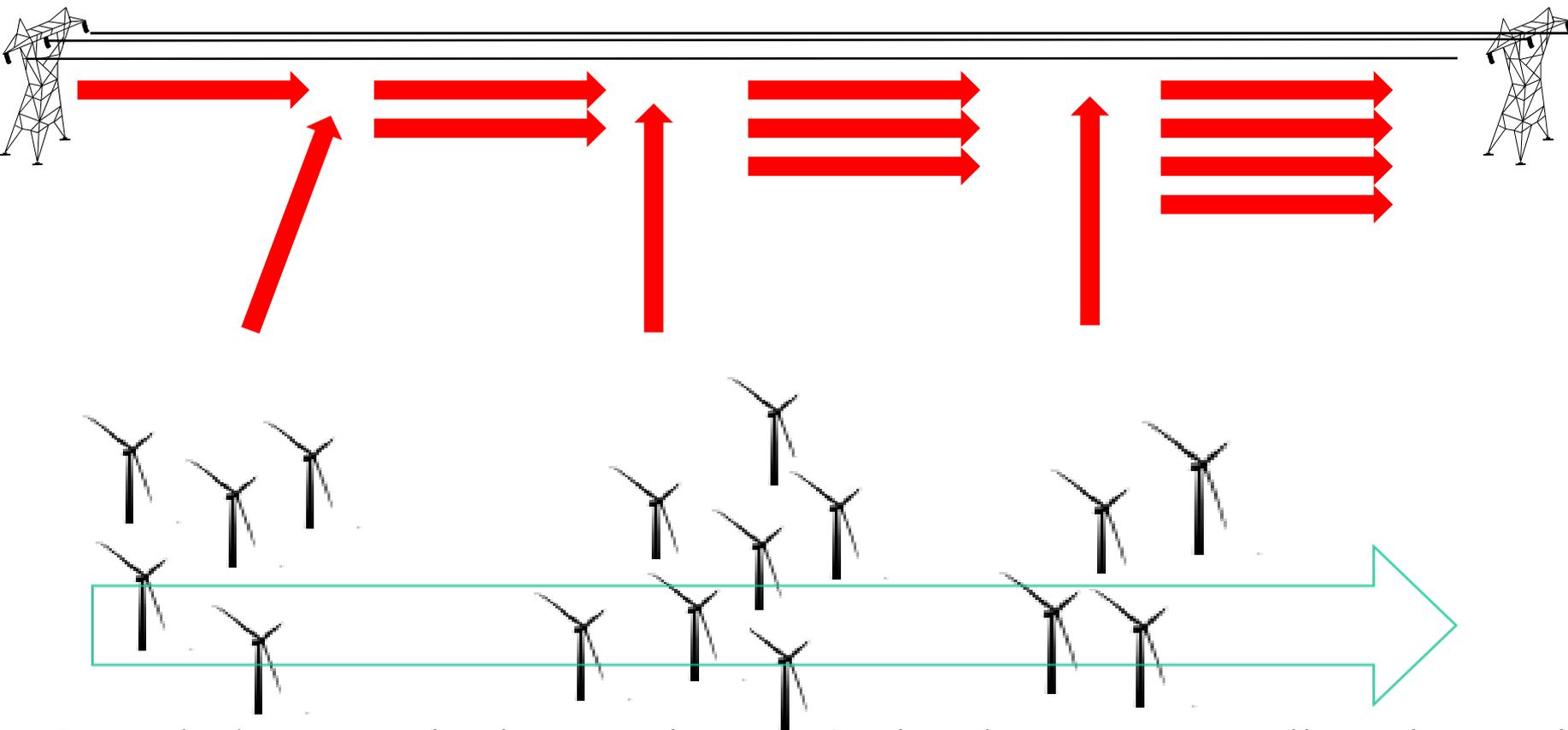
## RIDUZIONE MANCATA PRODUZIONE EOLICA



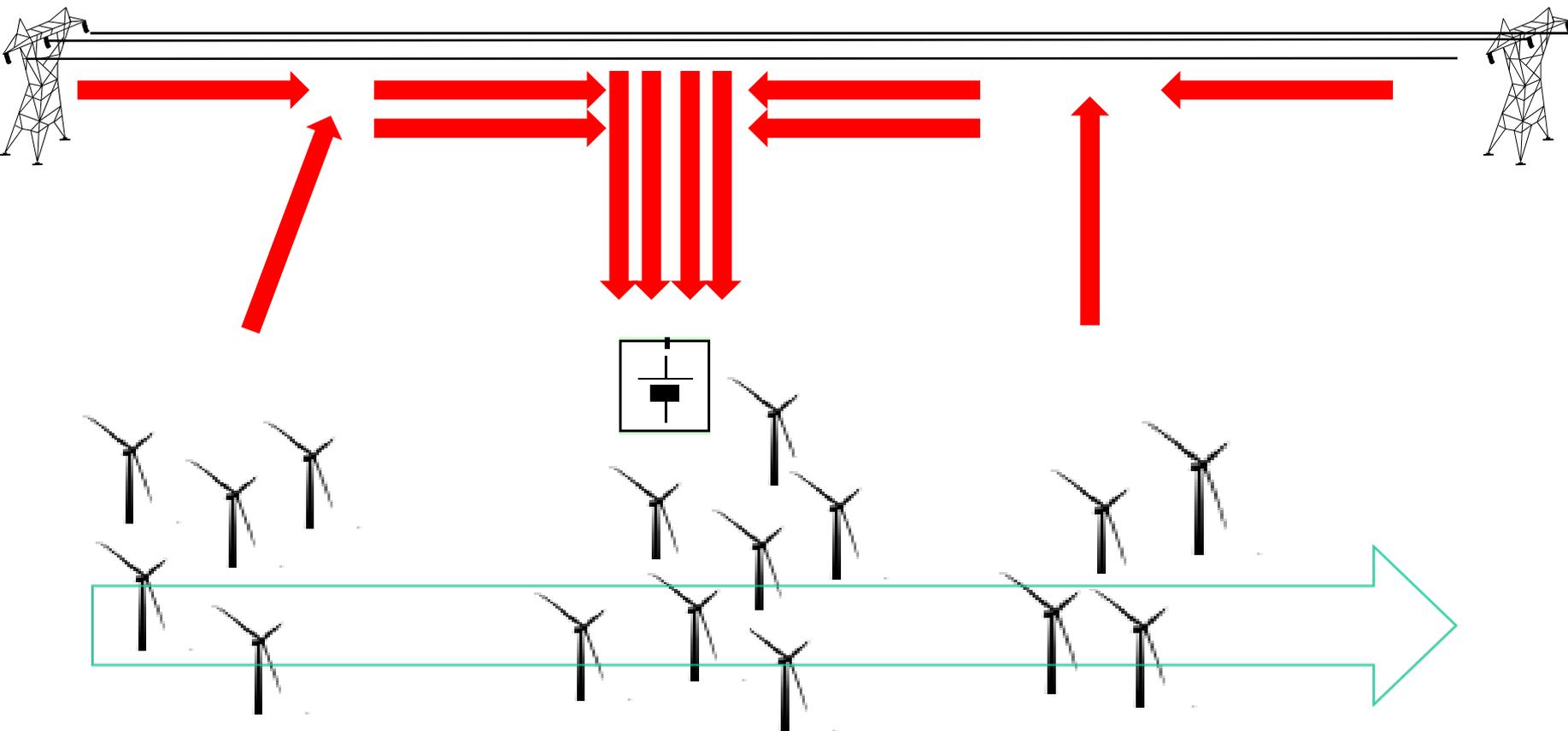
La Mancata Produzione Eolica ha toccato i 700 GWh nel 2009 , 480 GWh nel 2010, 260 GWh nel 2011 e 135 GWh nel 2012.

Con l'installazione prevista da TERNA di 130 MW di batterie, nelle provincie di Foggia, Avellino, Salerno e Benevento, è previsto un incremento RES per circa 230 GWh/anno con riserva pronta per circa 410 GWh/anno.





Quando la ventosità intensa interessa simultaneamente diversi campi eolici collegati sulla stessa linea 150 kV , è possibile il sovraccarico (soprattutto in linee progettate con funzione di distribuzione).



Allora l'accumulo funge da collettore di energia e deve essere dimensionato sulla massima area di sovraccarico.

Integrazione FRNP  
Fonti Rinnovabili non Programmabili



Questa funzione è per i produttori di FRNP interfacciati direttamente in RTN e può essere impostata in due modi:

Per TRADING (ARBITRAGE)

Per il PROFILO PREVEDIBILE

## Integrazione FRNP per TRADING

### Per TRADING

accumulare energia nei periodi di elevata produzione (e prezzi più bassi) per reimmetterla in rete nei periodi di bassa produzione (prezzi più elevati), in base ai valori on line

WIND SOLAR MEASURES (real time)

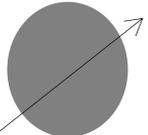
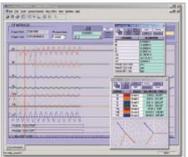
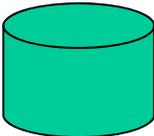
WIND/SOLAR Forecast

POWER AND PRICES ON DEMAND

### BATTERY SCADA



Data Base    Monitoring    Regulating



# TIME SHIFTING ON DEMAND

## Integrazione FRNP per Profilo Prevedibile

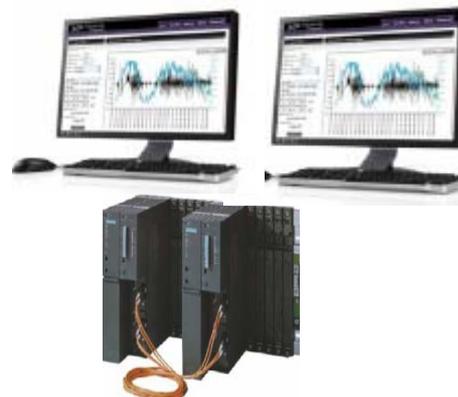
Per mantenere il programma  
accumulare energia nei periodi  
di elevata produzione (e prezzi  
più bassi) per reimmetterla in  
rete nei periodi di bassa  
produzione (prezzi più elevati),  
in base ai valori on line

WIND SOLAR  
MEASURES  
(real time)

WIND/SOLAR  
Forecast

ZONE  
UNBALANCE

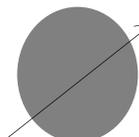
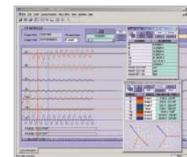
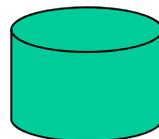
## BATTERY SCADA



Data Base

Monitoring

Regulating

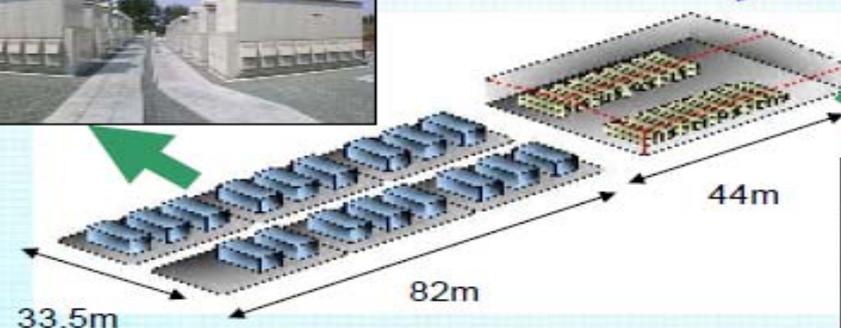
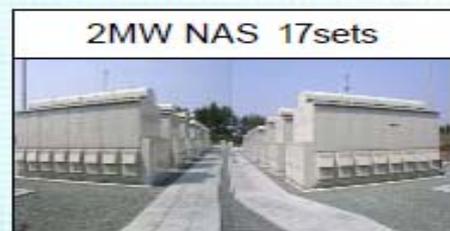
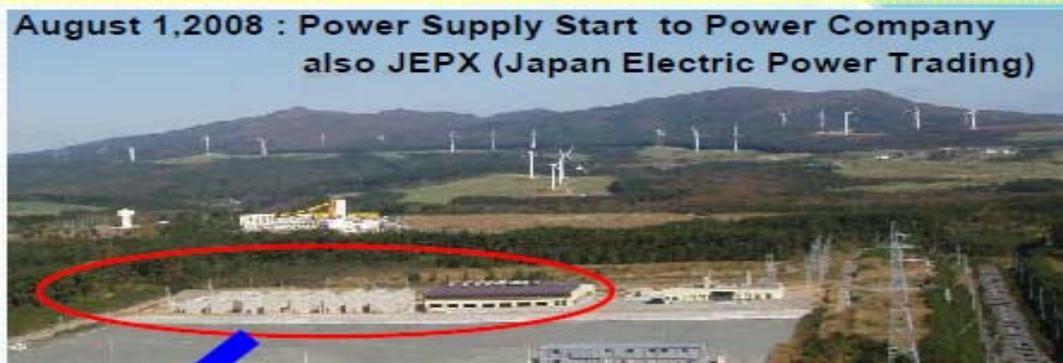
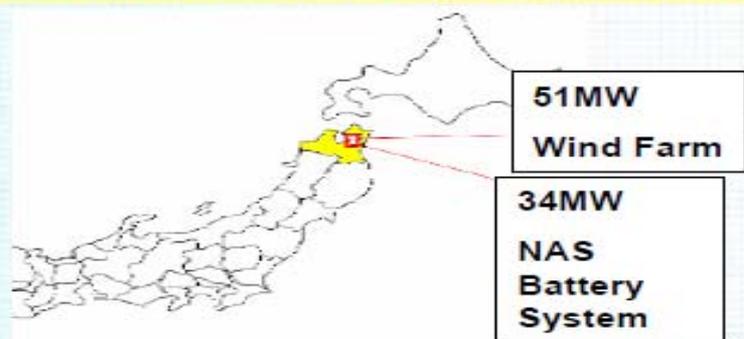


# TIME SHIFTING ON PROGRAM

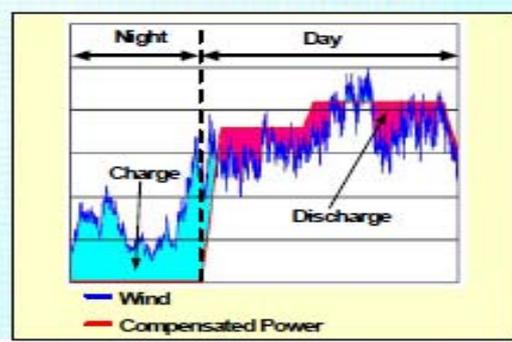
## 34 MW -150 MWh per un campo Eolico da 51 MW

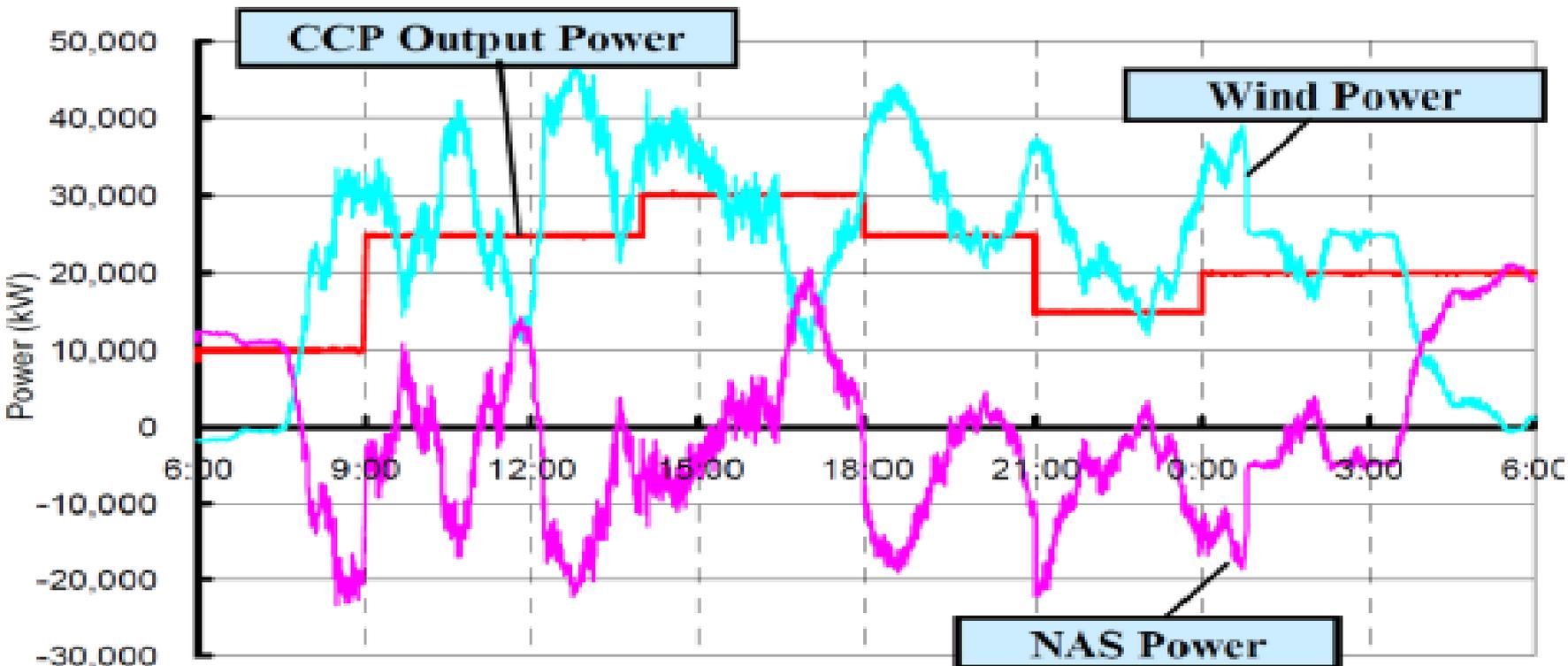
### Wind Application :Rokkasho Wind Farm

### 34MW Battery System for 51MW Rokkasho Wind Firm

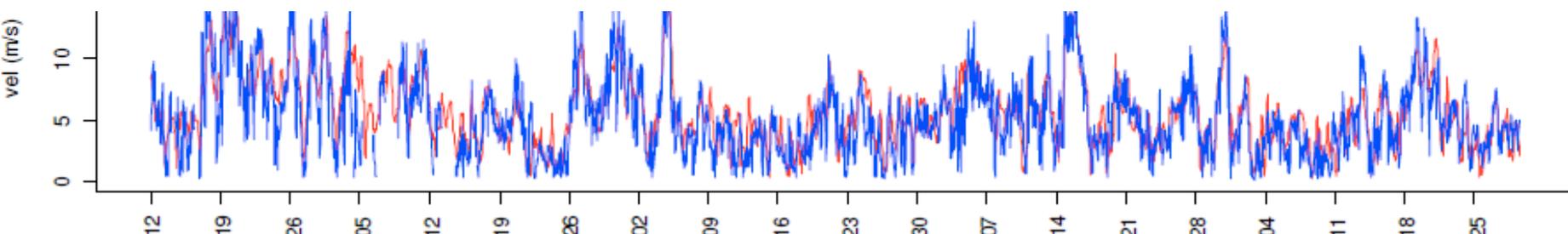


#### Flat Control method





**: Profilo di produzione registrato il 5 aprile 2009 nel parco eolico giapponese**



## ➤ Regulatory frame

### ➤ Delibera 281/12: introduzione oneri di sbilanciamento per Rinnovabili > 10 MW - da Gennaio 2013

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4
Sbilanciamento Unità Produttiva (UP)				
Sbilanciamento Zonale				
Unità Produttiva (Regolazione del corrispettivo con TERNA)	<b>UP RICEVE Corrispettivo</b>	<b>UP RICEVE Corrispettivo</b>	<b>UP PAGA Corrispettivo</b>	<b>UP PAGA Corrispettivo</b>
Prezzo del Corrispettivo	MINIMO tra: - MGP - Media Offerte In Acquisto MSD	MASSIMO tra: - MGP - Media Offerte In Vendita MSD	MASSIMO tra: - MGP - Media Offerte In Vendita MSD	MINIMO tra: - MGP - Media Offerte In Acquisto MSD
Rischio/Opportunità	<b>PENALIZZANTE</b> Se UP riceve un corrispettivo inferiore al Prezzo MGP	<b>PREMIANTE</b> Se UP riceve un corrispettivo superiore al Prezzo MGP	<b>PENALIZZANTE</b> Se UP paga un corrispettivo superiore al Prezzo MGP ricevuto	<b>PREMIANTE</b> Se UP paga un corrispettivo inferiore al Prezzo MGP ricevuto

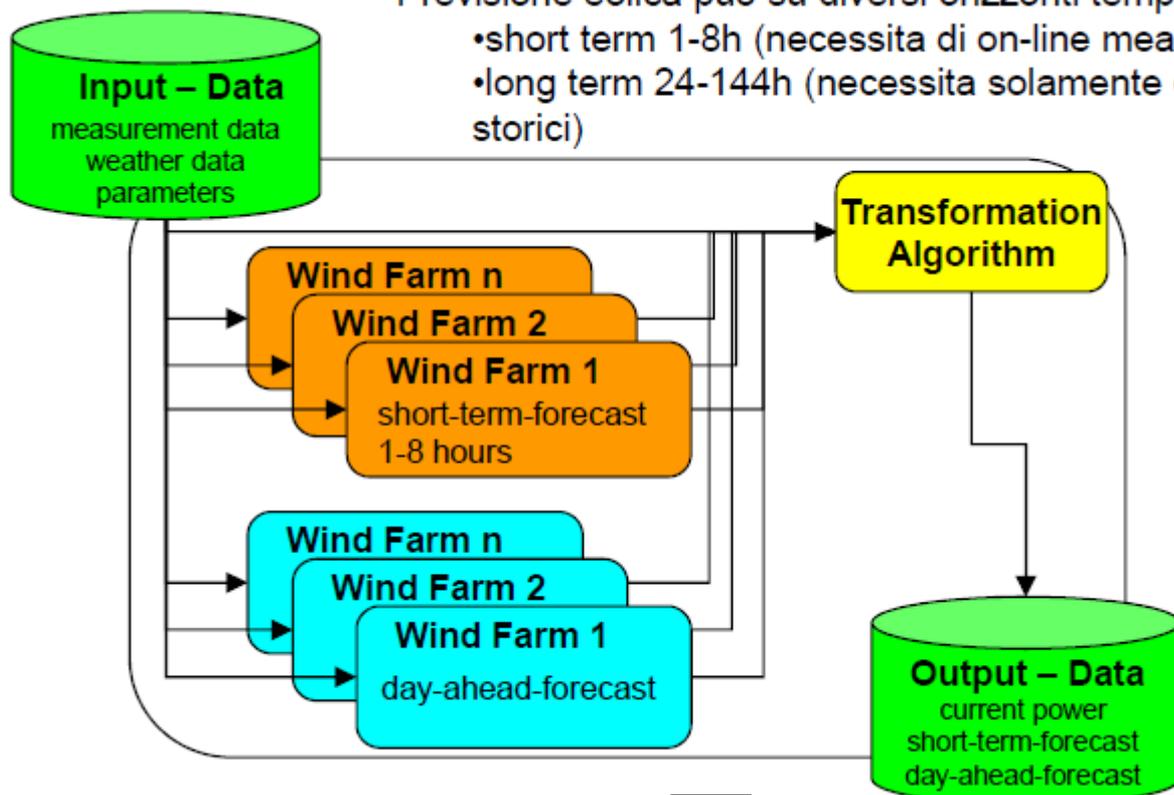
*Fonte EnelGreenpower*

### ➤ DCO 508: proposta di introdurre una remunerazione economica per la riserva primaria

## Integrazione FRNP per Profilo Prevedibile

Previsione eolica può su diversi orizzonti temporali:

- short term 1-8h (necessita di on-line measurement)
- long term 24-144h (necessita solamente dei dati storici)



E' possibile creare un raggruppamento di Wind Farms in una grossa VPP Virtual Power Plant  
Con programma di produzione molto accurato

Invece che gli sbilanciamenti di zona  
Sbilanciamenti Programma VPP

## Integrazione FRNP per Profilo Prevedibile

### La partecipazione delle rinnovabili alla regolazione primaria per $FRNP > 10$ MW

I gruppi di generazione che forniscono il servizio di regolazione primaria di frequenza devono:

- rendere disponibile una banda di regolazione primaria non inferiore a  $\pm 3$  % della potenza efficiente;
- erogare 50% della propria “riserva di regolazione primaria” entro un tempo massimo di 15 secondi e il 100% in 30 s dall’evento ( $\Delta f$ )
- continuare l’erogazione della potenza di riserva almeno per i successivi 15 minuti.

La regolazione dello Storage sulla rete TSO

## FRNP CON REGOLAZIONE PRIMARIA

Dall'obbligo di regolazione primaria sono esclusi (art. 1B.5.6.1) gli impianti da FRNP .

Priorità Dispacciamento

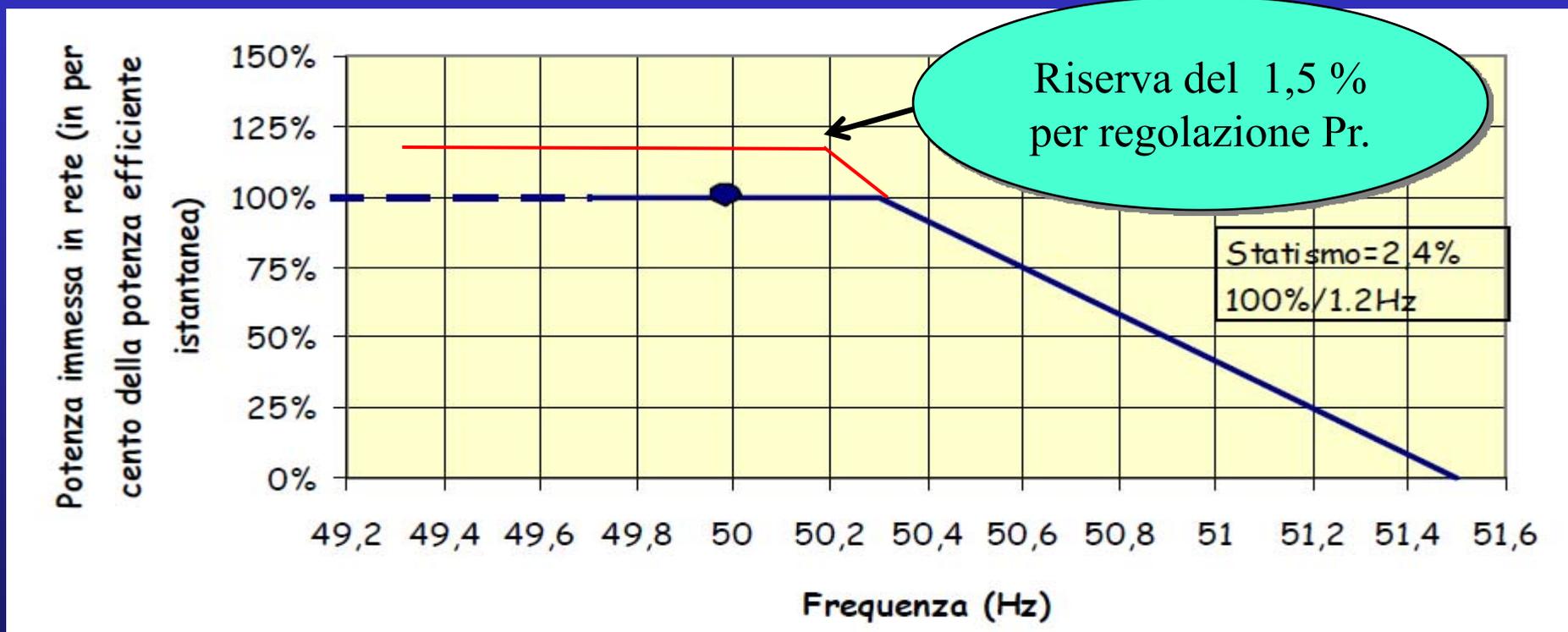
Non obbligo riserva.

Ma allora se ci fossero FRNP  
in grado di avere la riserva regolante

Perché non remunerare  
alle FRNP il servizio ?



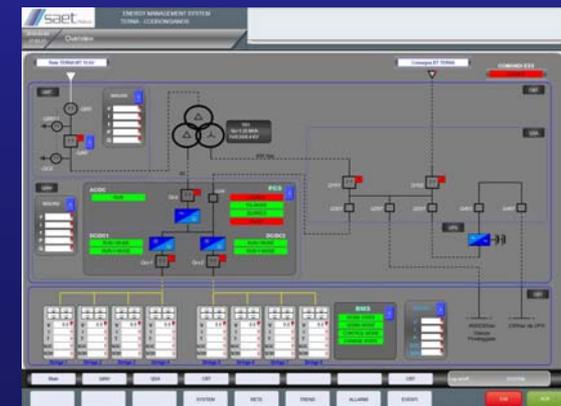
## Regolazione della potenza in rete in funzione della frequenza



Normalmente per le FRNP si regola solamente l'eventuale riduzione progressiva della produzione in caso di sovralfrequenza, mentre si potrebbe erogare il servizio di regolazione anche a salire (in asservimento ai sistemi di difesa)

Esperienze ENERGY e POWER Intensive

Le nostre esperienze  
**STORAGE**  
con Enel e con Terna  
**POWER INTENSIVE**  
**ENERGY INTENSIVE**



Esperienze ENERGY e POWER Intensive

# Partecipazione al programma ENEL POI

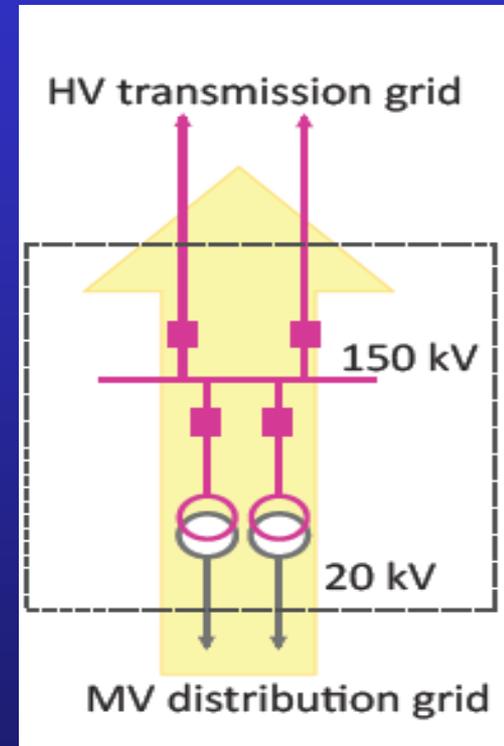
## Il supporto di rete con accumulo

### INTENSIVE



3 Esperimenti Pilota 2 MW  
Dirillo, **Campi Salentina**, Chiaravalle

**ESS in HV/MV substations**  
**ESS in the Primary Substation (POI Project)**



Principali Funzioni

**Reg Primaria, Power Quality, Harmonic comp., Reg.V**

## Programma Operativo Interregionale Energie Rinnovabili e Risparmio Energetico 2007-2013 (POI Energia)

- \_ **target**: interventi di efficientamento, risparmio energetico e produzione di energia da fonti rinnovabili nelle Regioni Obiettivo Convergenza dell'Unione Europea (Calabria, Campania, Puglia, Sicilia)
- \_ **risorse** : fondi UE e nazionali (Ministero sviluppo economico)

### Programma "Potenziamento della Rete MT per produttori da fonti rinnovabili"

Adeguamento e potenziamento della rete di distribuzione di energia elettrica nel Sud Italia per favorire la crescente domanda di connessione degli impianti da fonti rinnovabili.

- Realizzazione di 30 nuove Cabine Primarie (nodi di trasformazione Alta-Media Tensione)
- possibilità di sperimentare sistemi per l'accumulo di energia elettrica presso alcune Cabine Primarie per :
  - ✓ mitigare l'aleatorietà delle fonti rinnovabili
  - ✓ aumentare la capacità di accoglimento dell'energia immessa in rete migliorando la prevedibilità dei profili di scambio di energia AT-MT



# Esperienze ENERGY e POWER Intensive

$P_n = 2 \text{ MW}$   
 $E_n = 1 \text{ MWh}$   
Tempo di scarica  
Nominale 30 min.  
Tipologia LITIO



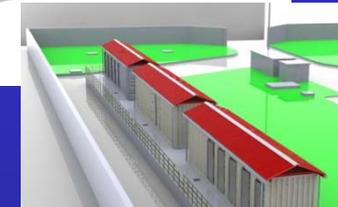
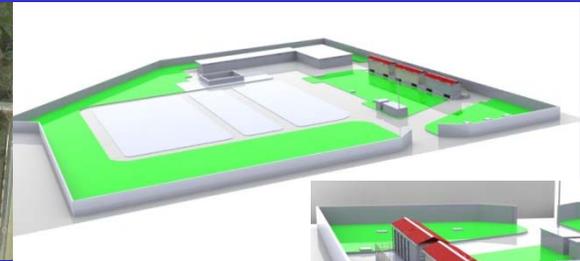
Funzioni di rete  
regolazione P-Q  
regolazione f  
regolazione V  
Black Start,  
funz. in isola



PROGETTO CAMPI SALENTINA

## ➤ Caratteristiche: turn key

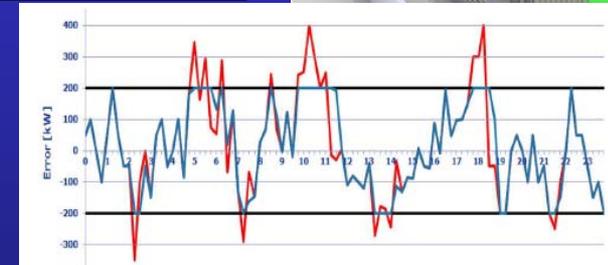
- ✓ Tecnologia ioni di litio (NCA)
- ✓ Numero cicli garantiti: 2000
- ✓ Rendimento: 85%
- ✓ Area installazione: 200 m<sup>2</sup>

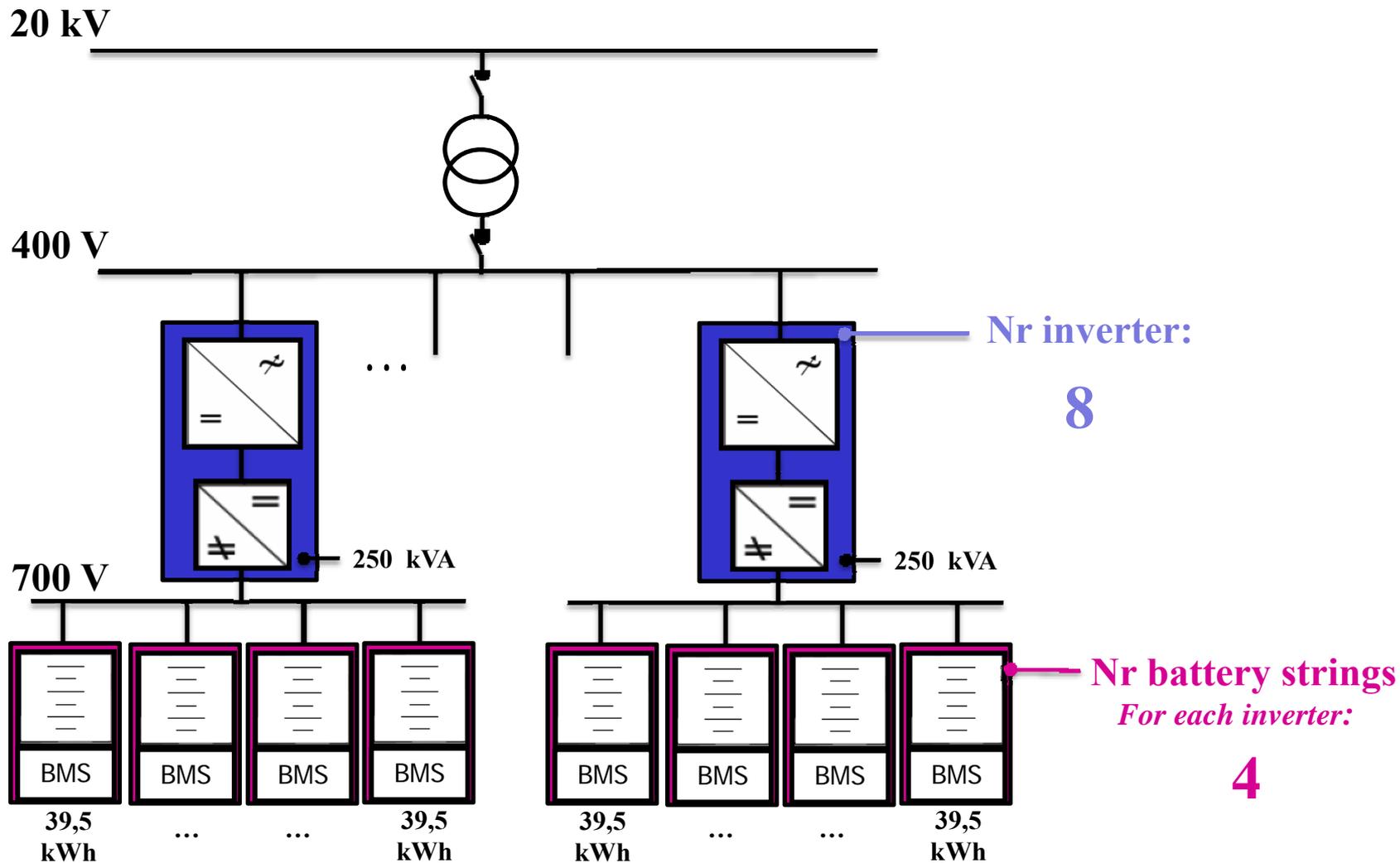


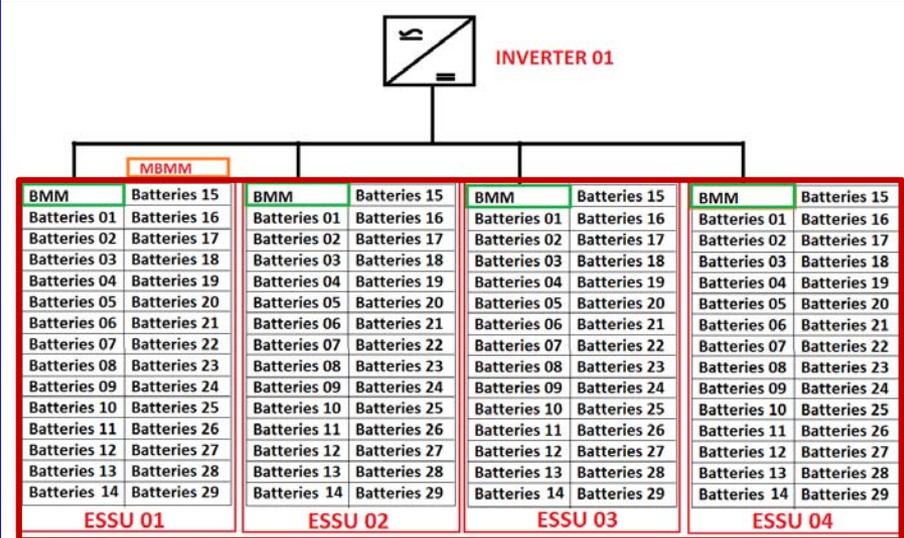
**ESS 2MVA - 1MWh**

## ➤ Integrazione da RES con profilo prevedibile

- ✓ Time shift + peak shaving
- ✓ Power balancing (mitigazione dell'aleatorietà della produzione da RES)
- ✓ Power quality (compensazione squilibri , buchi di tensione, armoniche)
- ✓ Regolazione di tensione e frequenza (riserva primaria e secondaria)
- ✓ Rifasamento
- ✓ Black start

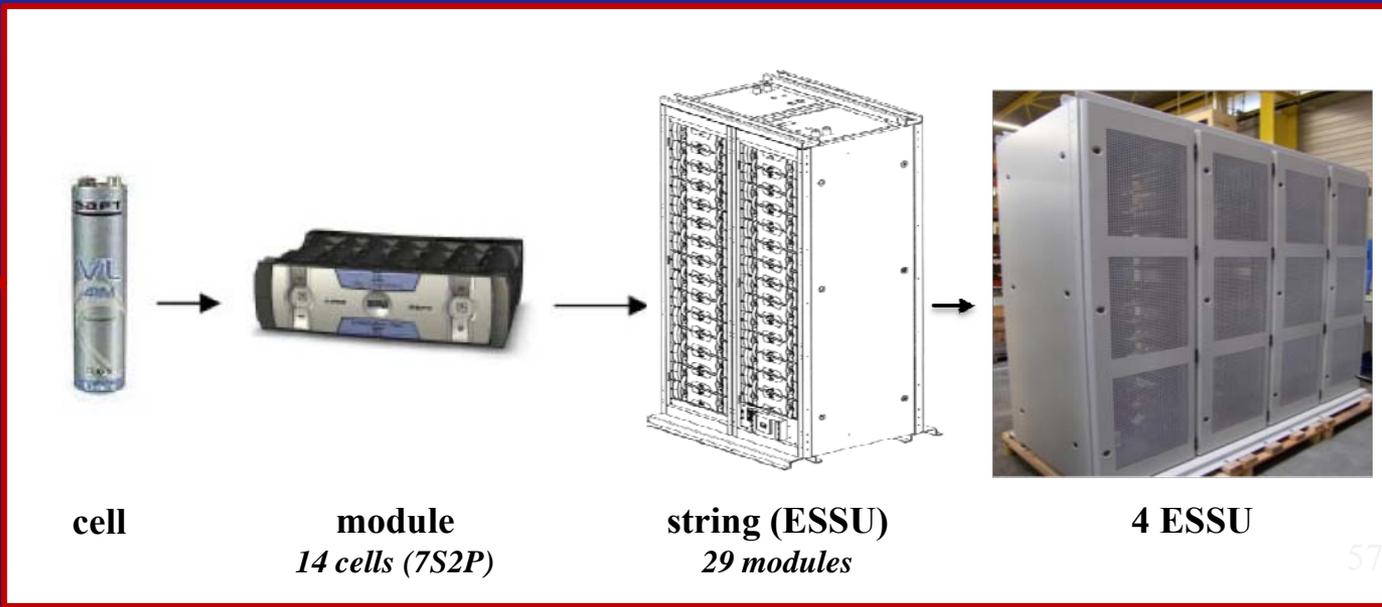
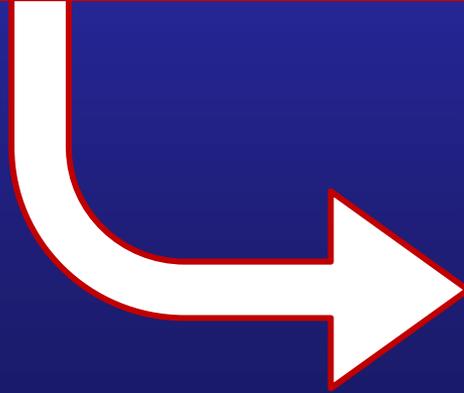






### Energy Storage System Unit characteristics (29 SYNERION 24P Modules)

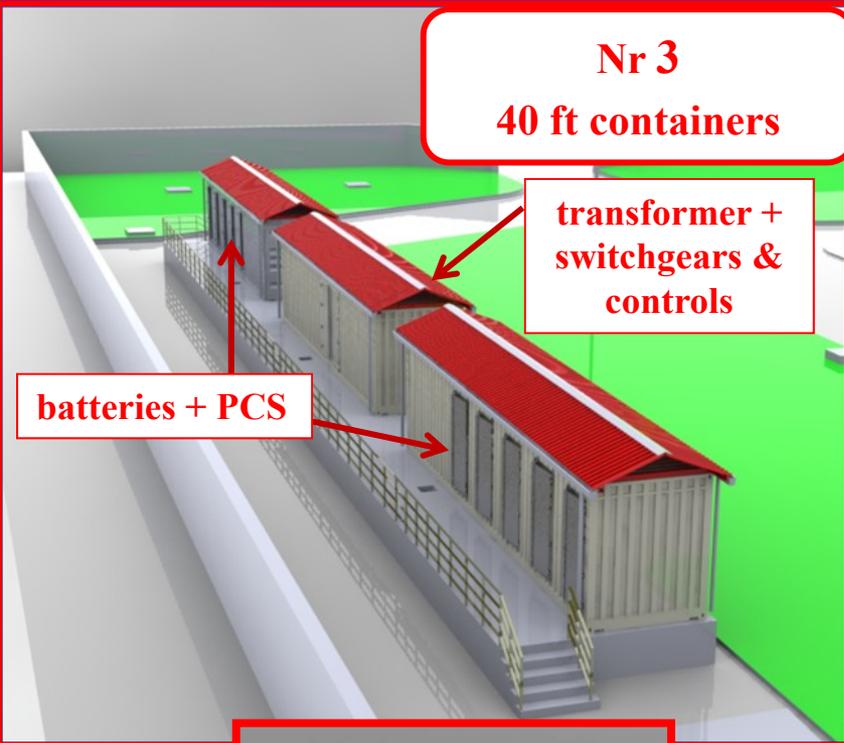
BoL Energy	39.5	kWh
Nominal voltage	730	V
Max Discharge power, continuous @ 100% SOC, 25° C	142	kW
Max discharge current	180	A



# Esperienze ENERGY e POWER Intensive

➤ One year ago...

➤ Today...





## Energy Intensive

### ***Delibera 66/2013/R/EEL***

SANC

- Progetti Energy intensive approvati:
  - 35 MW da sviluppare in 3 siti nel Sud Italia
- Extra-remunerazione approvata: +2% on WACC base

## Power Intensive

### **Prima Fase**

#### ***Delibera 43/2013/R/EEL***

Storage  
LAB

- Progetti Power Intensive approvati:
  - 8 MW in Sicilia
  - 8 MW in Sardegna
- Extra-remunerazione approvata: +2% on WACC base

### **Seconda Fase**

- Extra-remunerazione approvata: +1.5% on WACC base

TERNA STORAGE  
Project

**SANC**

Sistemi di Accumulo  
Non Convenzionale

Principali Funzioni

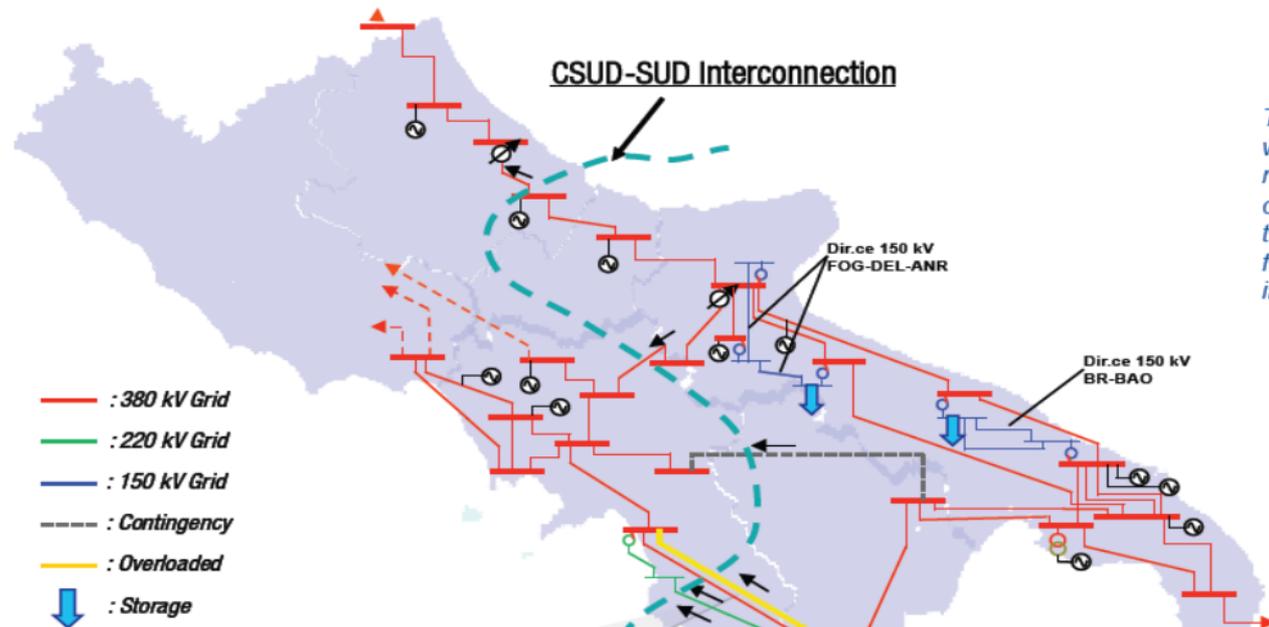
**MPE**

**Congestioni di Rete**



## BESS Application

Integration with the Safety Plan



- 12 MW/80 MWh Ginestra- su Campobasso - Benevento 2 - Volturara - Celle San Vito
- 12 MW/80 MWh Flumeri-Linea Benevento 2 - Bisaccia 380
- 10,8 MW/72 MWh Scampitella Linea Benevento 2 - Bisaccia 380

## TERNA Development plan 2011 – 35MW SdA Energy Intensive

Riduzione delle congestioni su dorsali AT con elevata penetrazione eolica

✓ Immagazzinamento energia per un Nr ore compatibile con I profili di congestione linee 150kV

✓ Supporto a regolazione primaria

✓ Incremento riserva terziaria

✓ Regolazione di tensione

### Caratteristiche

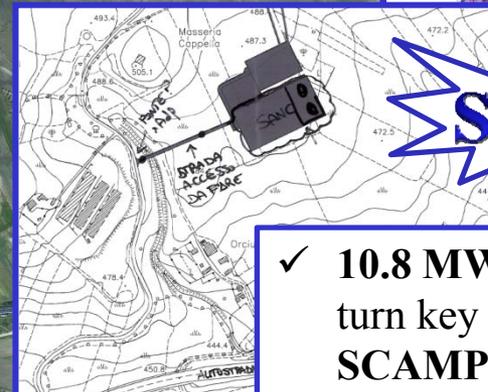
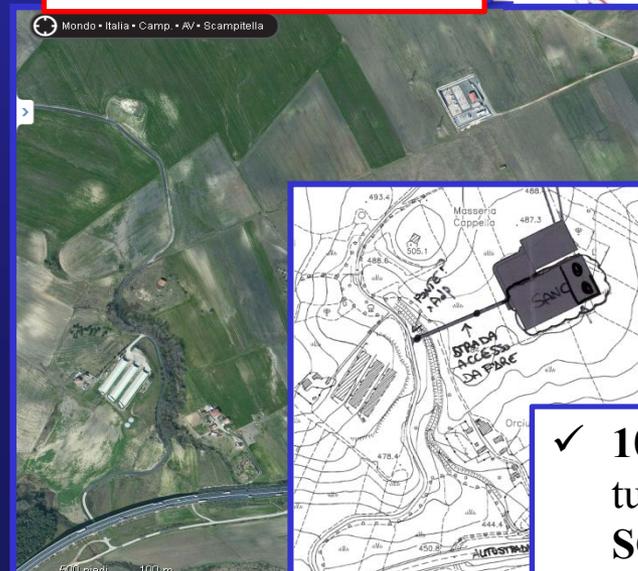
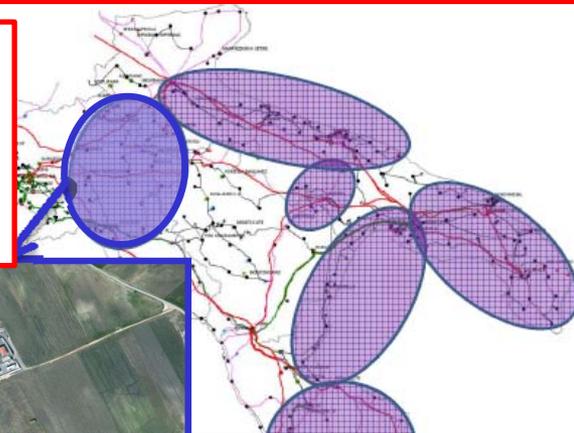
✓ Tecnologia accumulo: NaS

✓ Elevato rapporto E/P (>7)

SANC frame contract - first phase

#### 3 projects:

- ✓ Nr 2 12 MW/ 90 MWh installations
- ✓ Nr 1 10.8 MW/ 81 MWh installation

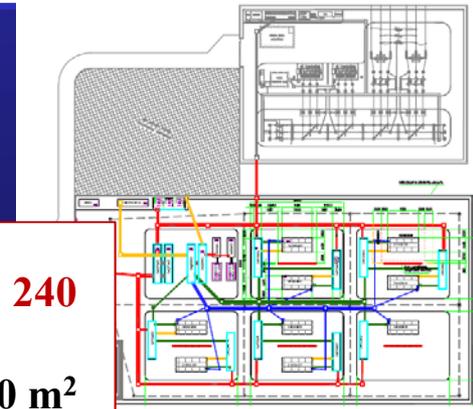
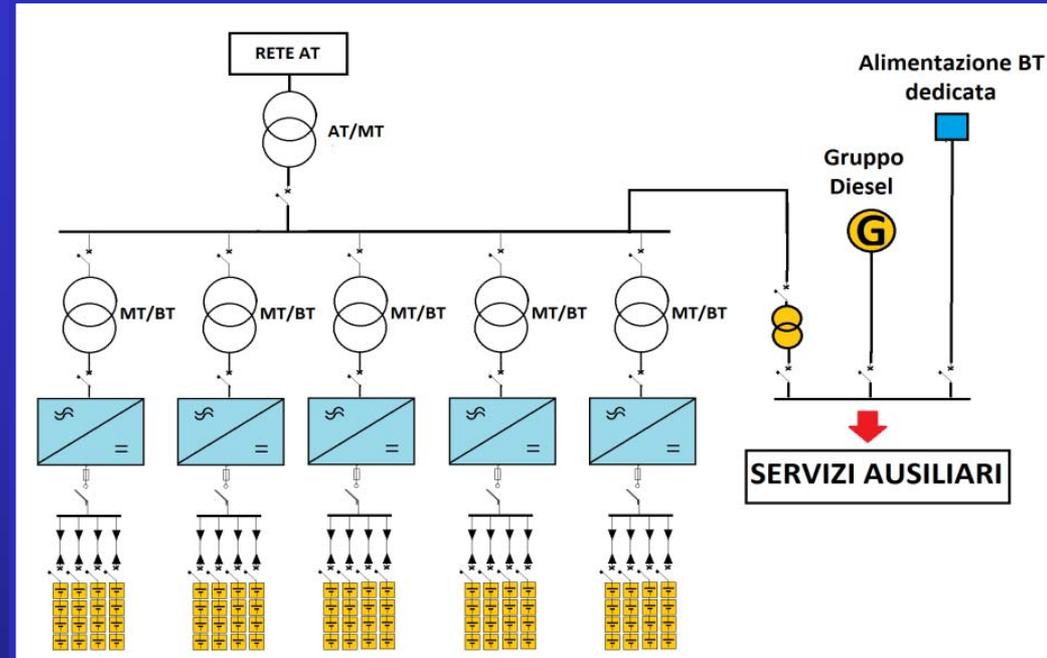


✓ **10.8 MW / 81 MWh**  
turn key plant in  
**SCAMPITELLA (AV)**

# Esperienze ENERGY e POWER Intensive

## ➤ Fornitura turn key:

- batterie NaS in container
- n. 9 PCS in container;
- sistema MT in container;
- trasformatori MT/BT
- sistema BT in container;
- cabinati/shelter per gruppi elettrogeni;
- cabinati/shelter per il sistema di controllo e SA
- cavidotto MT :sist. di Emergenza
- sistema di controllo PCS-batterie
- opere civili



➤ **Tempi realizzazione: 240 giorni**

➤ **Area: 124000 x 66100 m<sup>2</sup>**

TERNA STORAGE Project

# Storage Lab

Power Intensive

Sardegna:

**8 MW**

Codrongianus



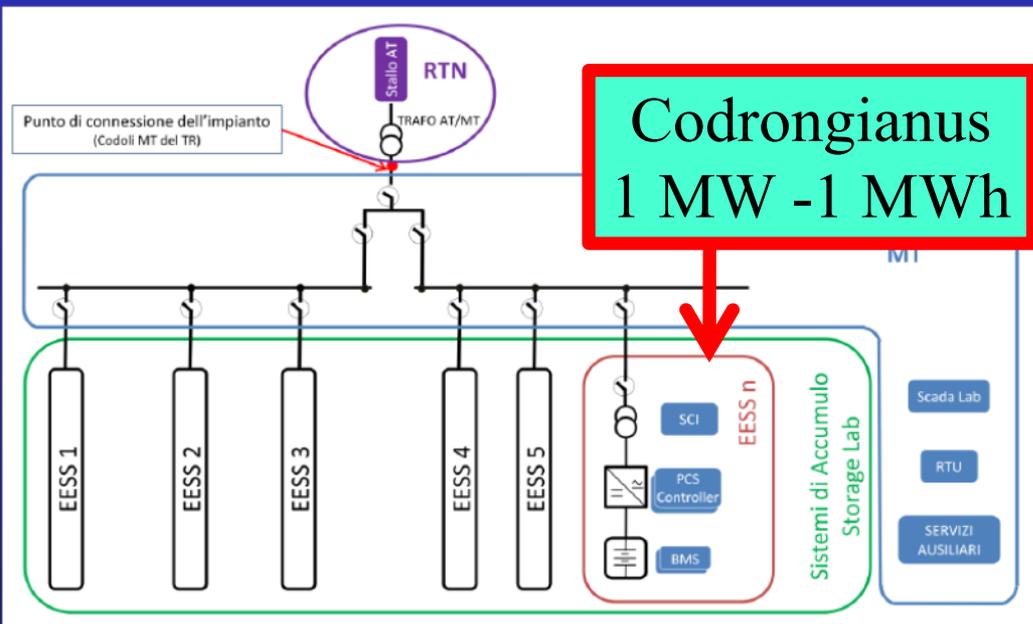
Sicilia:

**8 MW**

Ciminna



Totale da realizzare in 1<sup>a</sup> fase **16 MW**



Codrongianus  
1 MW -1 MWh

Con lo scopo di garantire la sicurezza del sistema elettrico, in particolare in Sicilia e Sardegna, fornendo la riserva primaria e secondaria che gli impianti convenzionali non forniscono in quantità sufficiente

## STORAGE LAB Piano di difesa 2012 – 40MW SdA Power Intensive

### ➤ Applicazioni: sicurezza del SE delle isole

- ✓ Riserva e regolazione di frequenza/potenza
- ✓ Regolazione di tensione
- ✓ Power quality
- ✓ Integrazione con sistemi TSO

### ➤ Caratteristiche

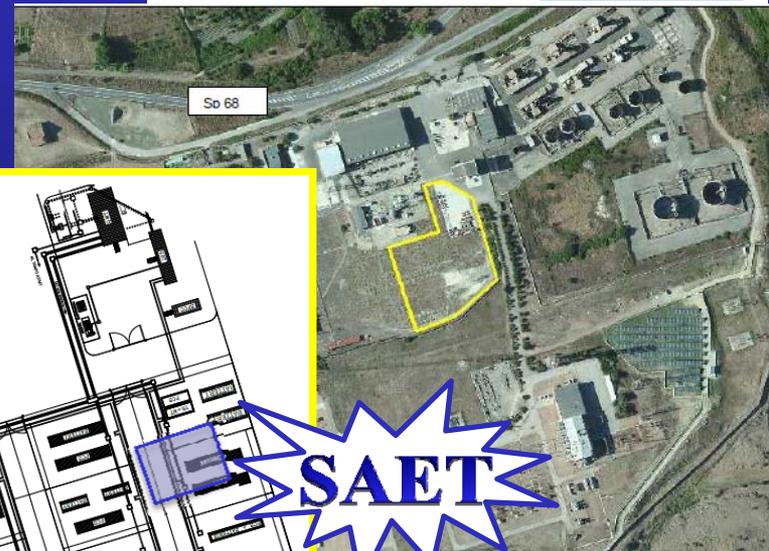
- ✓ Tecnologia ioni di litio, NaNiCl
- ✓ Basso rapporto E /P (<5)
- ✓ Tempi di risposta rapidi

1° PHASE: Storage Lab – 16MW

Sardegna:

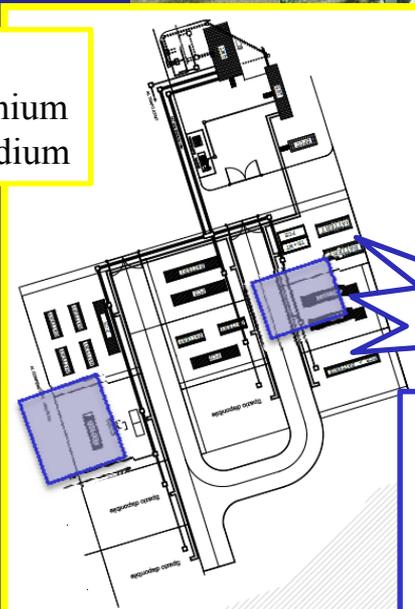
**8 MW**

Codrongianos



7 ESS:

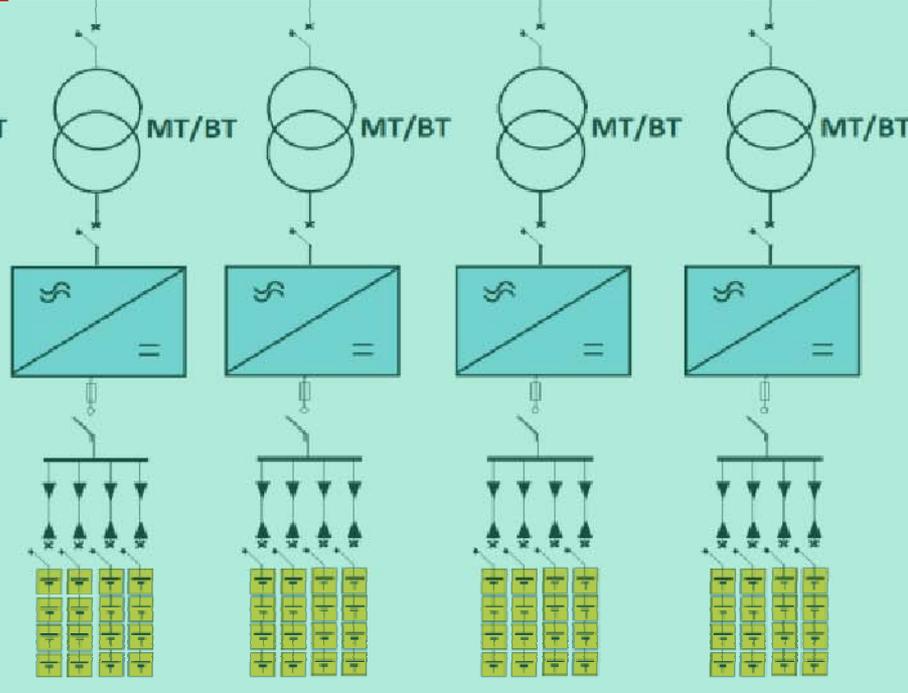
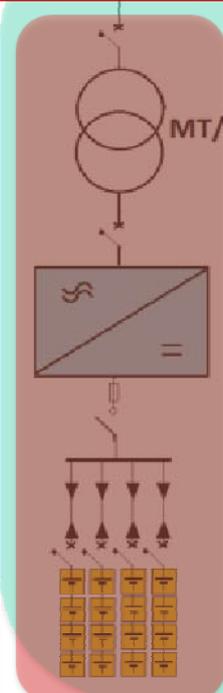
- ✓ 5 lithium
- ✓ 2 sodium



**SAET**

- ✓ 1MW/1MWh lithium turn key supply
- ✓ 1 MW/2MWh sodium plant integration

**Power Intensive**



Alimentazione BT dedicata

Gruppo Diesel



SERVIZI AUSILIARI

**Energy Intensive**

# Storage al Litio al Sodio e Solfuro di Sodio

LiFePO4

4000 cicli

$\eta = 95\%$  E/P = 1

**Litio**

**1MW/1MWh**



NaNiCl2

4000 cicli

$\eta = 85\%$  E/P = 4

**Sodio nickel**

**1MW/2MWh**



450 kg  
20 kWh



12x2x2 m  
3MWh



$\eta = 85\%$

NaS

4500 cicli

$\eta = 75\%$  E/P = 6-8

**Sodio zolfo**

**10.8MW/81MWh**



3000 kg  
225 kWh



9x4x4 m  
9MWh



$\eta = 75\%$

# CONCLUSIONI

La crescita esponenziale delle FRNP ha portato a problemi di rete con un significativo impatto sulla regolazione di frequenza e approvvigionamento risorse di regolazione

Esigenza di soluzioni SMART : nuove risorse di flessibilità per il controllo della frequenza

Tecnicamente l'accumulo elettrochimico appare come una possibile soluzione a diversi problemi di rete e comporta vantaggi sia Energy Intensive che Power intensive.

I relativi benefici non si possono semplicemente sommare, poiché le diverse applicazioni sono spesso alternative

# CONCLUSIONI

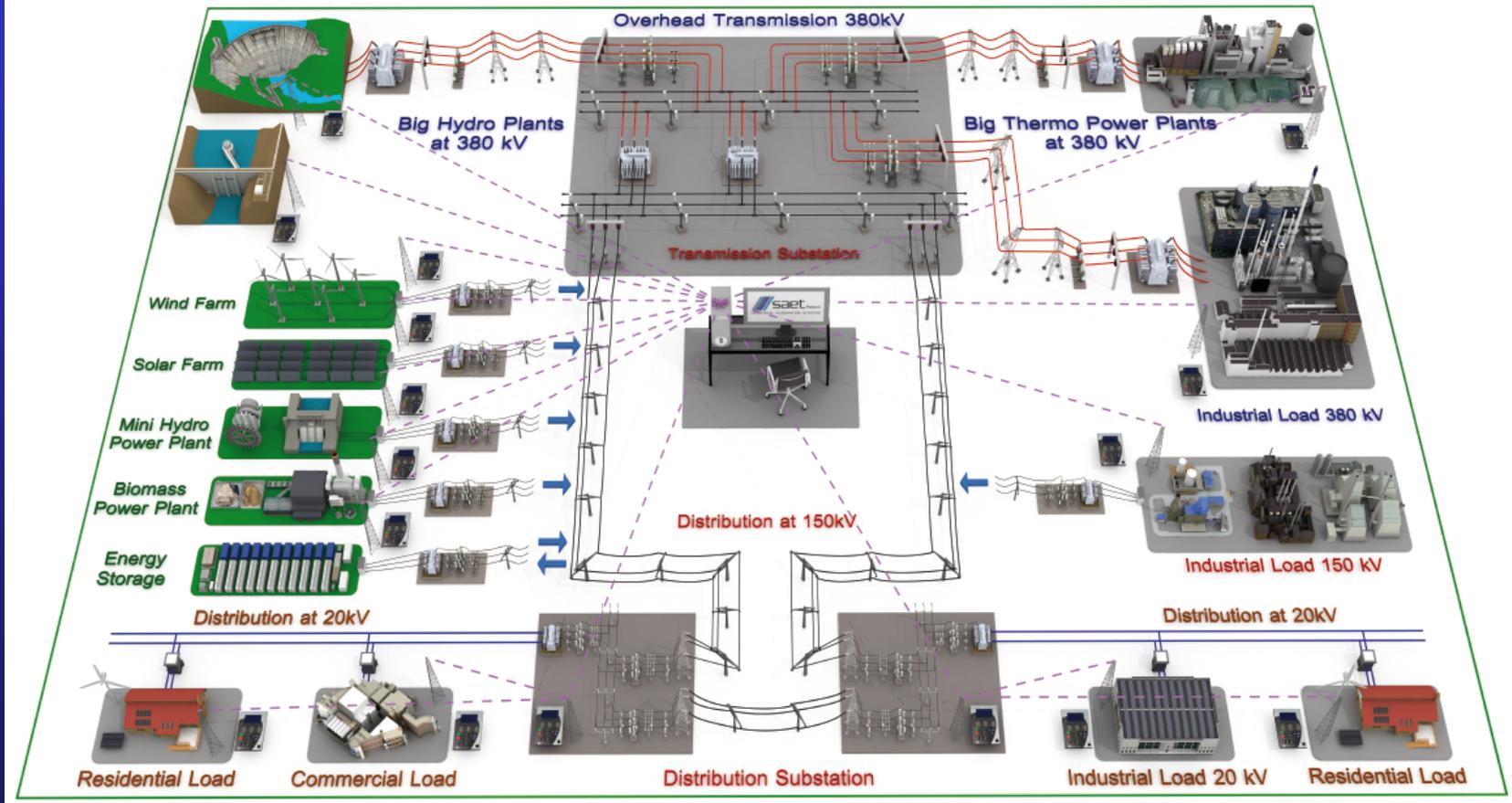
Le applicazioni per il profilo prevedibile (che aiuterebbero il dispacciamento) non sono ancora significative anche perché le penalità per gli oneri di sbilanciamento sono ancora in fase di studio

Nelle applicazioni «energy intensive», i costi non sembrano ancora giustificare i benefici : la sperimentazione di TERNA in un'area importante darà sicuramente delle utili indicazioni

Nelle applicazioni «power intensive», i potenziali benefici sembrano più promettenti e con costi inferiori (dovuti alla minore capacità di accumulo) per cui si possono ipotizzare applicazioni generalizzate per TSO.

L'industria italiana appare pronta e reattiva a supportare Terna in questi progetti da utilizzare come referenza in progetti internazionali

# Can We Smart Your Grid?



## BIBLIOGRAFIA



TERNA Piano di Sviluppo 2012

Electricity Storage- Making large scale adoption of Wind and Solar Energies a Reality  
CORNELIUS PIEPER HOLGER RUBEL BCG Boston Consulting Group March 2010

DOE/EPRI 2013 Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA  
Abbas A. Akhil, Georgianne Huff, Aileen B. Currier, SANDIA Laboratories July 2013

*L'accumulo di energia elettrica* : monografia RSE  
2011 IL MELOGRANO Editore srl

Grid Energy Storage- U.S. Department of Energy- December 2013

Energy storage for wind power plants  
FRANCISCO DAZ GONZALEZ,

Smart Grids, passaggio obbligato per l'integrazione delle rinnovabili in rete  
MASSIMO GALLANTI - RSE Pavia novembre 2011