

# La transizione energetica e la produzione distribuita di energia elettrica: Problematiche di esercizio, orientamenti regolatori e normativi

**Prof. Ing. Massimo La Scala**

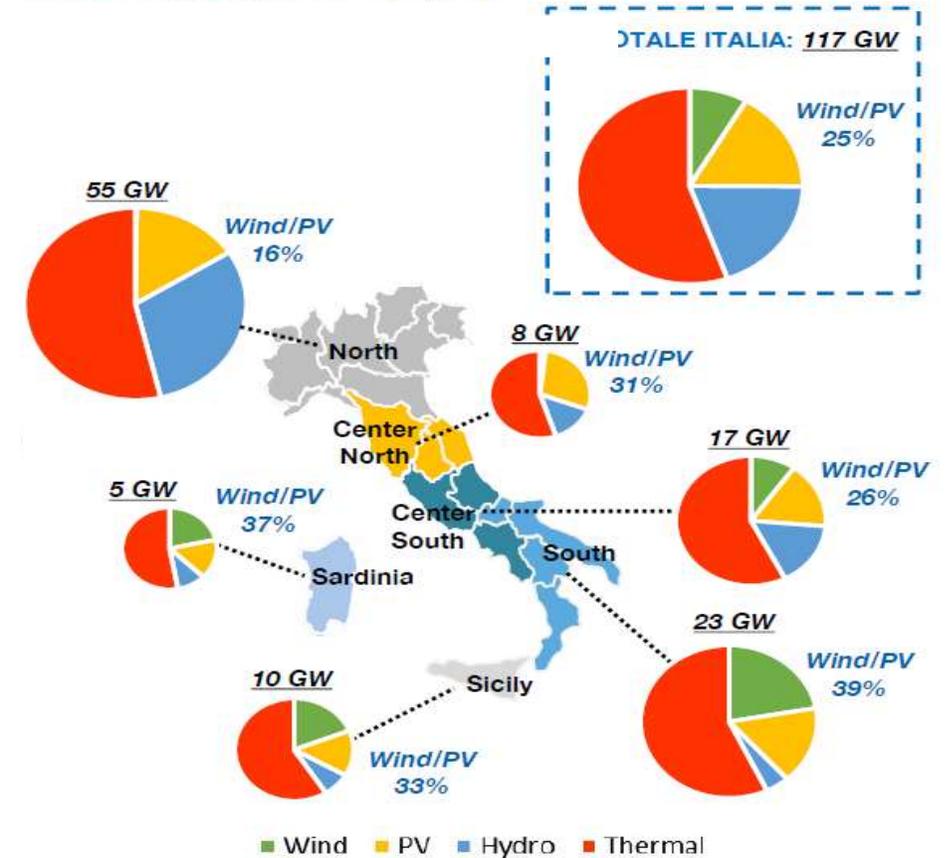
[massimo.lascala@poliba.it](mailto:massimo.lascala@poliba.it)

## ENERGY TRANSITION DAYS

Bari 20 e 21 aprile 2023

# Localizzazione e distribuzione temporale della produzione da FER

- Localizzazione e distribuzione temporale disomogenea
  - **Produzione eolica** concentrata in alcune **aree territoriali**
  - **Produzione fotovoltaica** concentrata in alcune **ore della giornata**
- ↓
- **Rinforzo dell'infrastruttura di rete per il trasporto dell'energia elettrica** necessario in alcune aree
  - Localizzazione ex-ante degli impianti? Incentivi per la localizzazione?
  - Più **risorse flessibili**, DER e smart grids?
  - **Nuovi servizi ancillari** necessari per assicurare **maggiore flessibilità**



Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

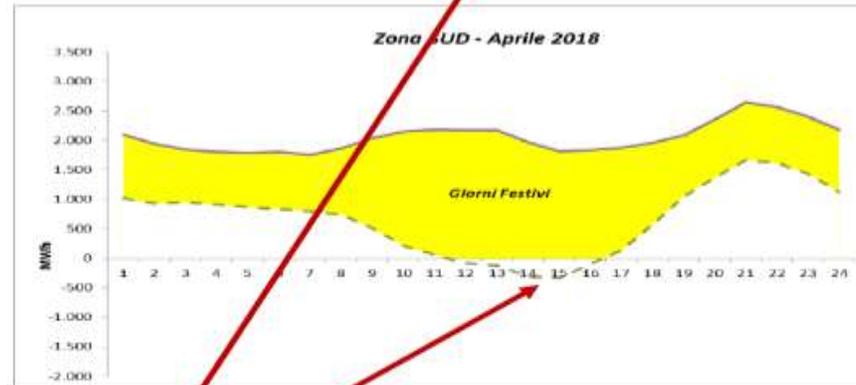
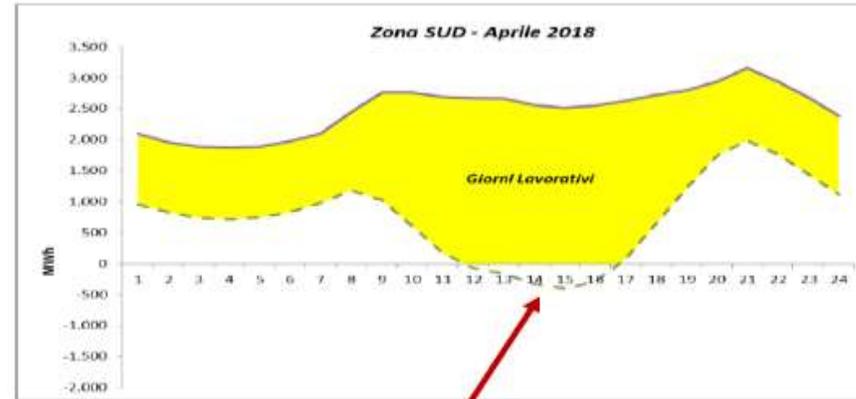
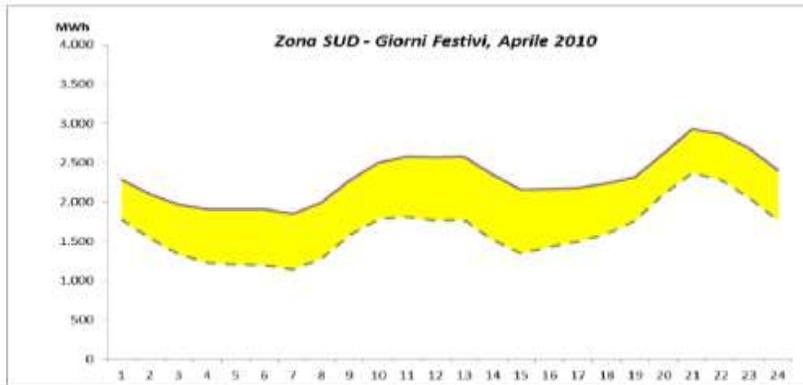
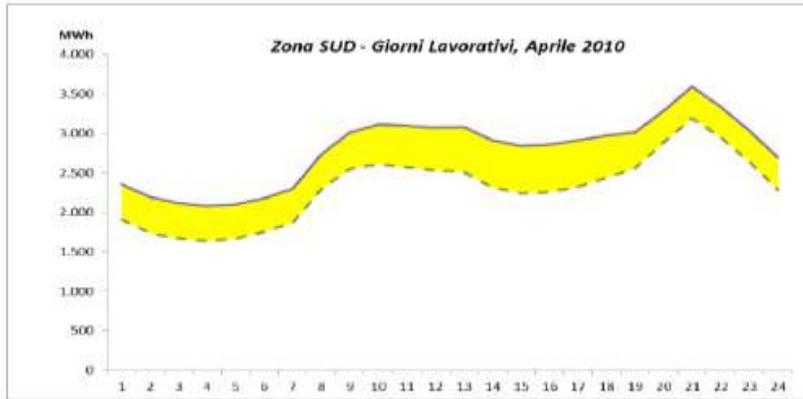
# Carico residuo

La curva a cammello diventa ad anatra



Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Carico residuo (Italia)



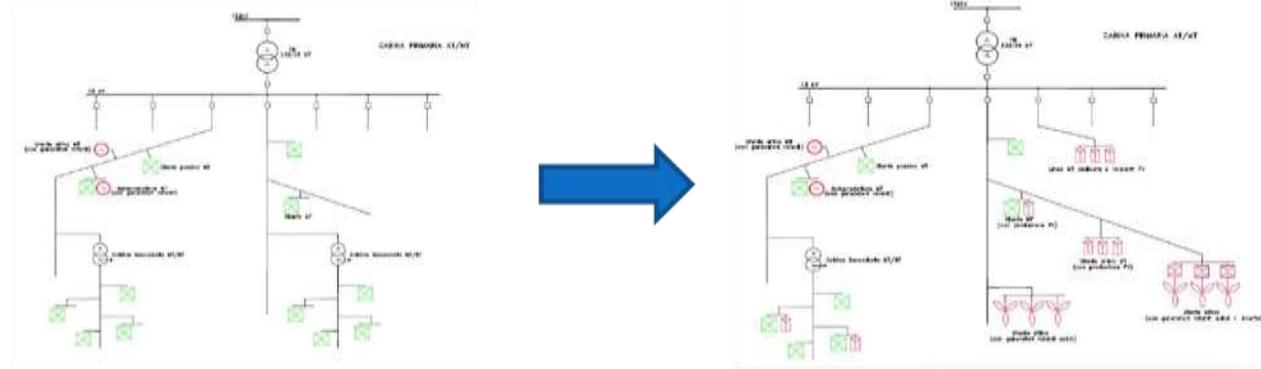
Rischio di **overgeneration**

Fonte TERNA

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Osservabilità della generazione (Caso Italia)

**Come 20 impianti nucleari invisibili**

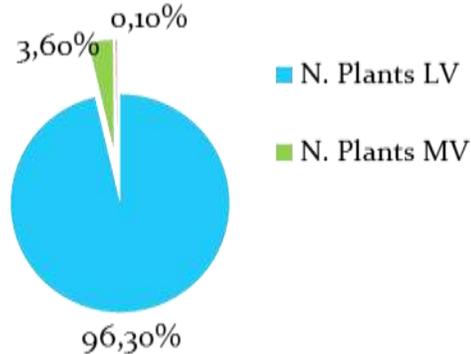


**Perimetro BT/MT**

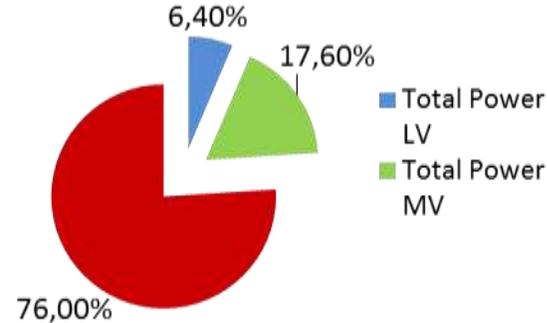
**826000 impianti**

**28,37 GW**

**Distribuzione Numerosità degli Impianti**



**Distribuzione Potenza Impianti**



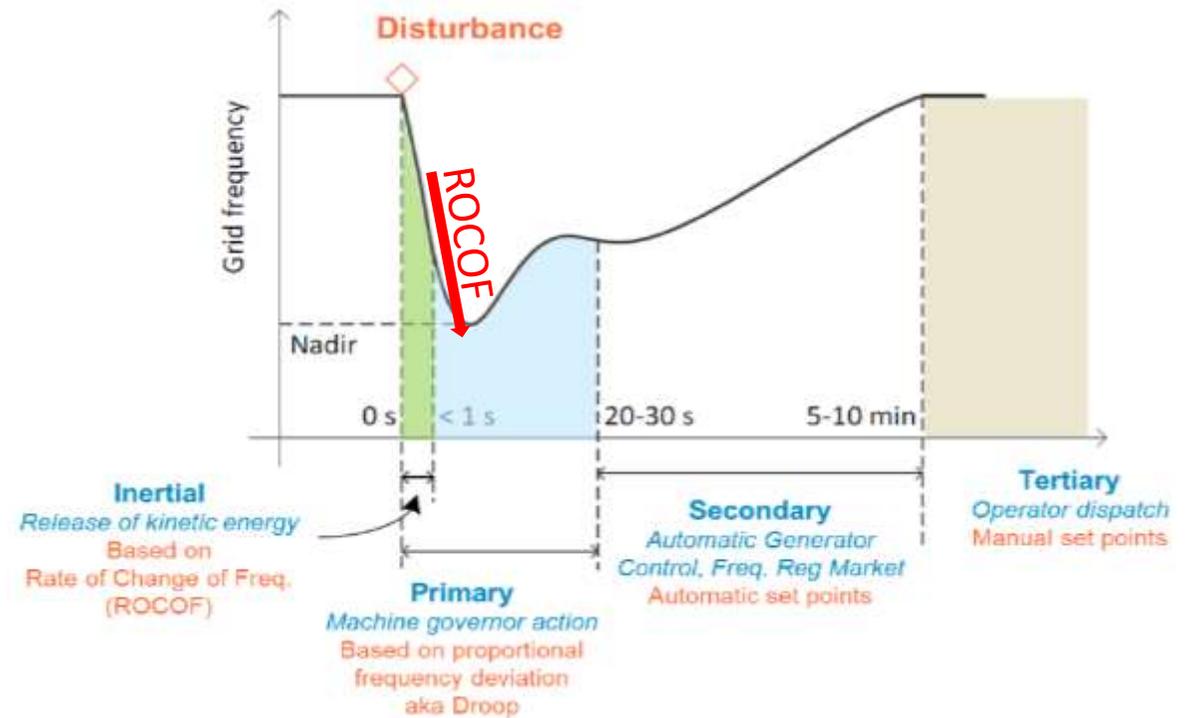
In Italia, **circa 1/4 della potenza è installata su reti MT/BT (≈28 GW).**

**I sistemi di stoccaggio e le tecnologie smart grid** saranno la chiave per consentire la dispacciabilità della generazione distribuita

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Regolazione della Frequenza con le DERs

- La risposta in frequenza alla variazione di Potenza dipende dall'**inerzia del sistema**
- Aumento della **generazione inverter-based** → **riduzione dell'inerzia totale**
- **ENTSO-E** considera la fornitura di **inerzia sintetica (IS)** un possibile **servizio ancillare**
- **BESS** possono teoricamente fornire un **servizio di IS** o **regolazione rapida di frequenza (FFR)**



Fonte PG&E

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

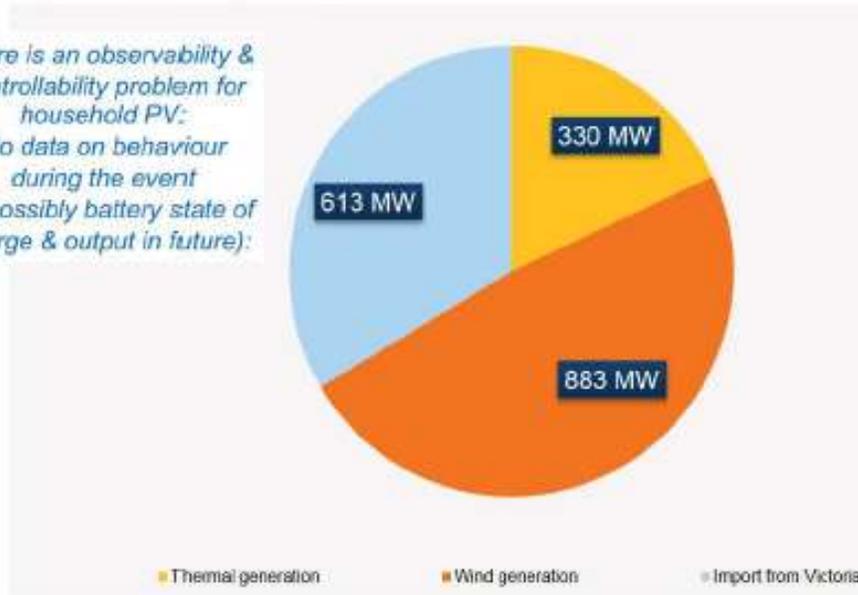
# Mancanza di Inerzia e osservabilità

SA blackout 28/9/16 AEMO preliminary report, 5/10/16, p 8

<http://www.aemo.com.au/Media-Centre/Media-Statement-South-Australia-Interim-Report>

Figure 1 SA generation mix pre-event

There is an observability & controllability problem for household PV:  
No data on behaviour during the event (& possibly battery state of charge & output in future):



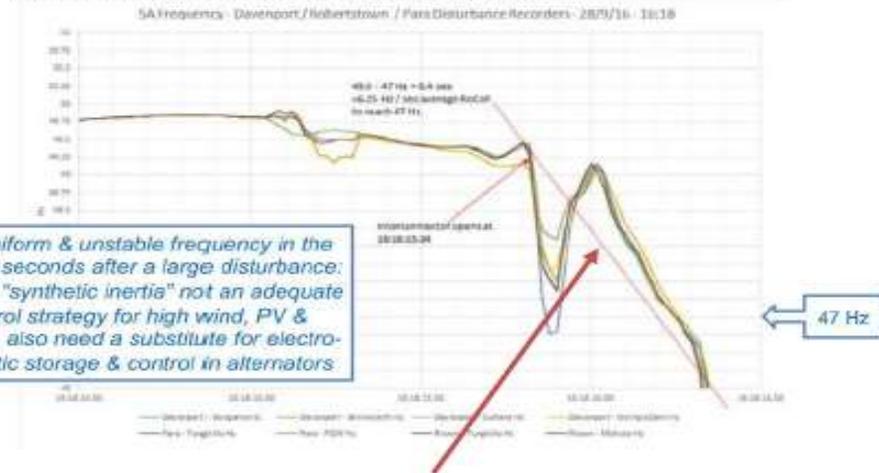
2016: Black out in Australia

SA blackout 28/9/16 AEMO preliminary report, 5/10/16

<http://www.aemo.com.au/Media-Centre/Media-Statement-South-Australia-Interim-Report>

Note: conditions evolved very rapidly

Figure 5 Frequency response and RoCoF during pre-event and event



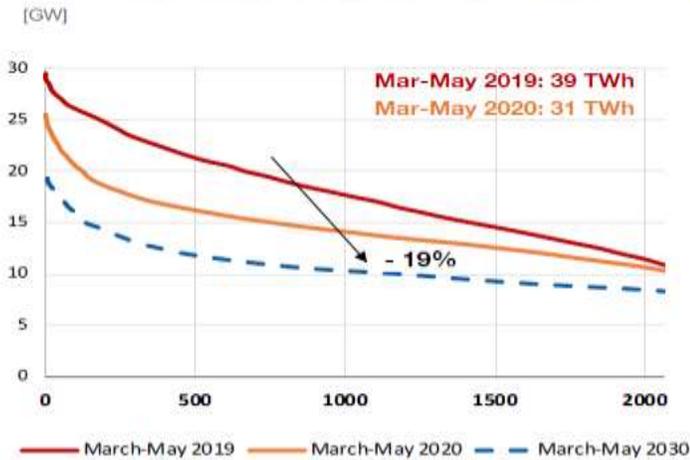
Non-uniform & unstable frequency in the first few seconds after a large disturbance: UFLS & "synthetic inertia" not an adequate control strategy for high wind, PV & storage, also need a substitute for electromagnetic storage & control in alternators.

6.25 Hz/s

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Il Covid 19 è stato un test per la Transizione Energetica

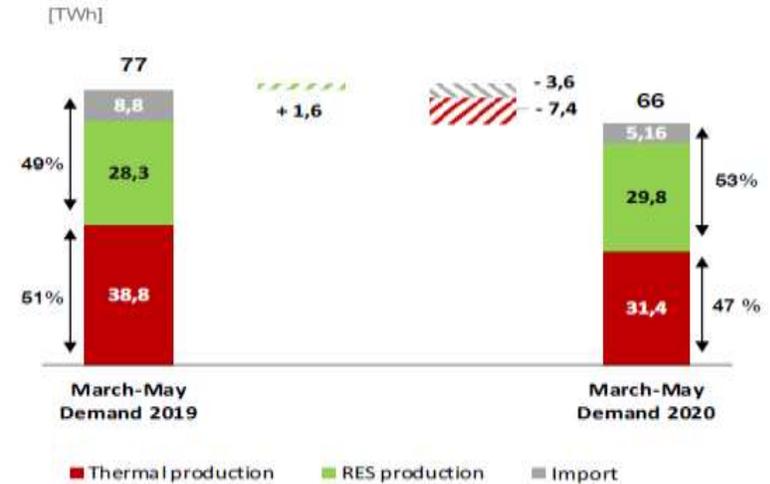
March-May 2020 vs 2019 – Thermal generation



... Tutto andrà bene



March-May 2020 vs 2019 – Generation mix



... Tutto è andato bene!  
(almeno per il sistema elettrico)

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

Fonte:TERNA

# Più flessibilità: Demand Response in Italia

Prima della Delibera ARERA 300/2017

- La Domanda è soddisfatta dal mercato dell'Energia e **non partecipa ai mercati dei servizi Ancillari**
- Il TSO italiano Terna è responsabile dell'attività tecnica relativa al **dispacciamento**.
- Per raggiungere lo scopo utilizza grandi unità alimentate a combustibili fossili e impianti idroelettrici
- **Servizi di interrompibilità** sono disponibili solo per **situazioni di emergenza** e non possono essere usati per assicurare «adeguatezza»



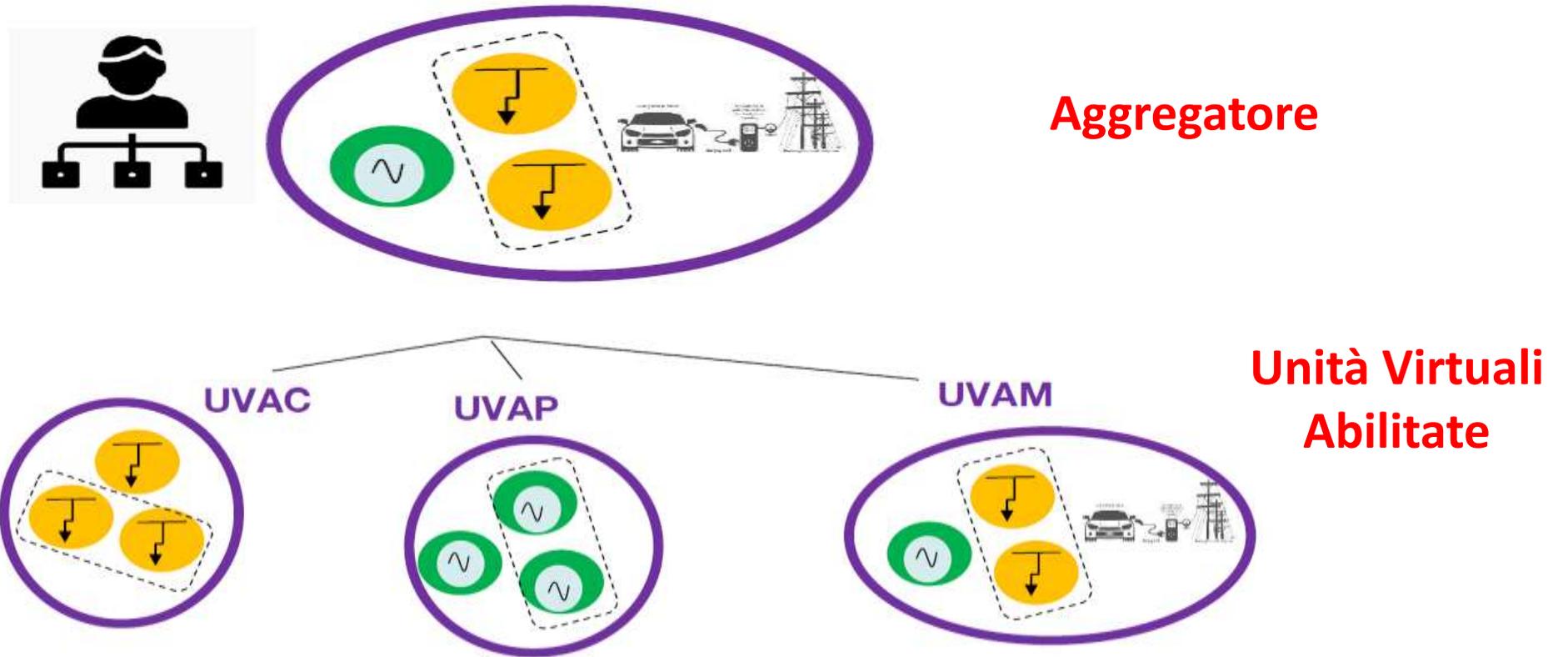
Dopo la Delibera ARERA 300/2017

- La Domanda partecipa al mercato dei servizi ancillari su base volontaria
- La domanda è proposta al MSD come la generazione per il principio di «neutralità tecnica»



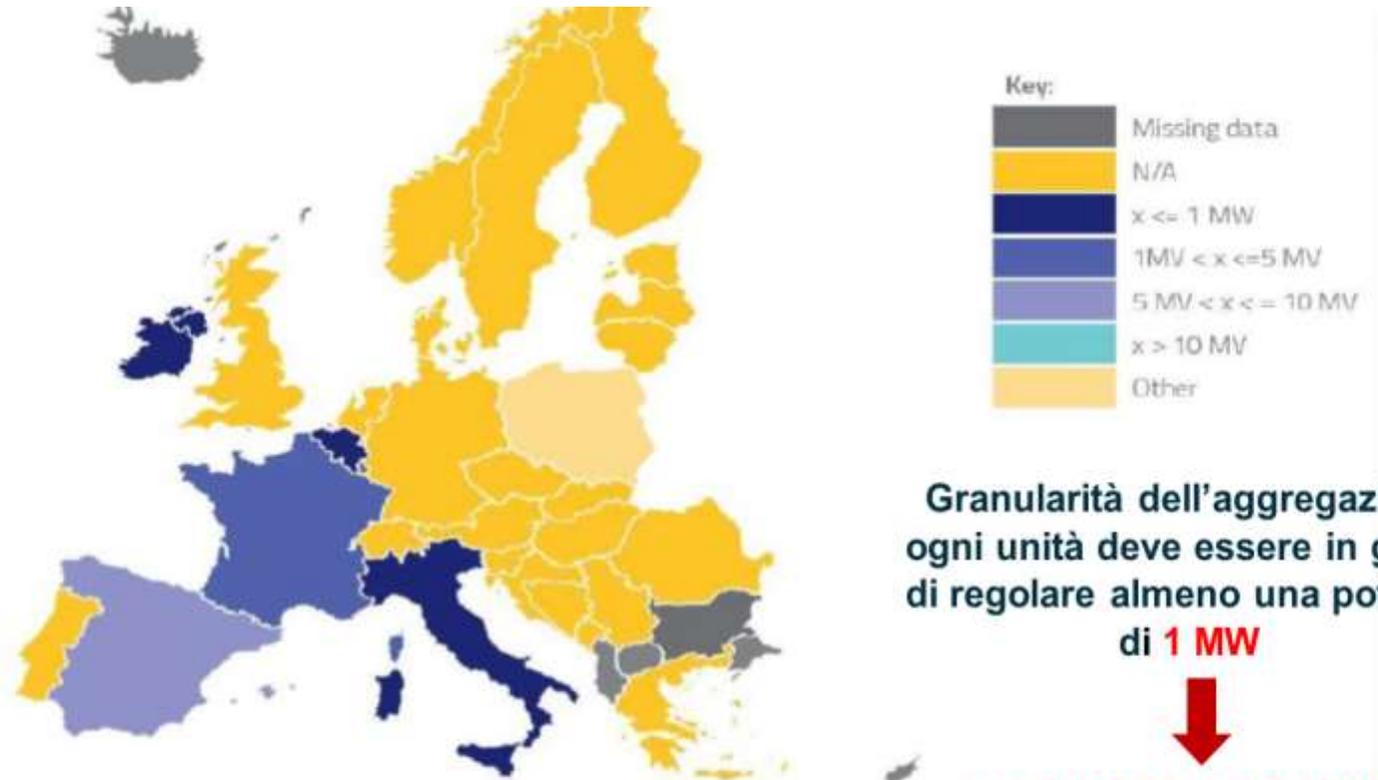
Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Demand Response in Italia



Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Demand Response in Italia



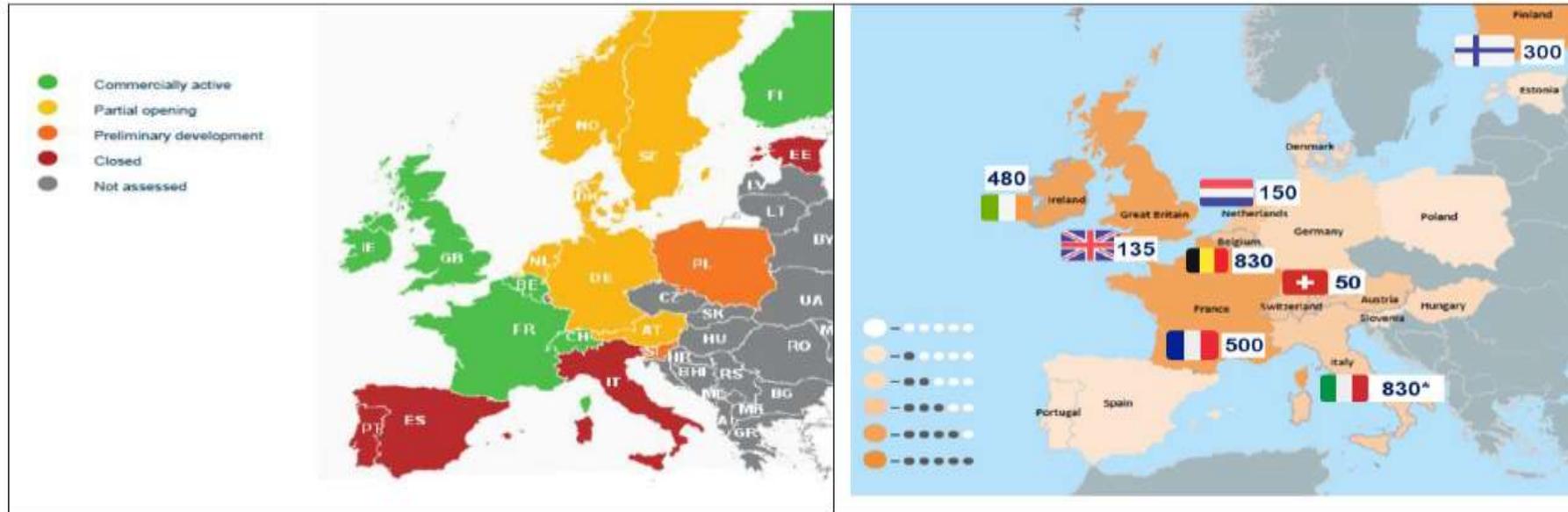
Granularità dell'aggregazione  
ogni unità deve essere in grado  
di regolare almeno una potenza  
di **1 MW**



**La più bassa in Europa!**

Source: ENTSO-E Ancillary Service Survey

# Mercato delle risorse distribuite



2017

2018-2019

SmartEN Map-2018- potenza disponibile in MW

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Delibera ARERA 300/2017/R/eel e UVAM

Ordini di dispacciamento inviati da Terna (esclusi test di affidabilità)

## Ordini di dispacciamento «a salire» agosto 21 - luglio 22

Numero di ordini di dispacciamento	1.243
Quantità accettata totale	6.990 MWh
Quantità accettata media	5,6 MWh
Prezzo medio ponderato accettato	314,6 €/MWh

**Mercato del Bilanciamento** agosto 2021-  
luglio 2022

aumento ordini di dispacciamento «a salire» non a scopo di test, per una quantità totale accettata di **5,98 GWh**.

## Ordini di dispacciamento «a scendere» agosto 21 - luglio 22

Numero di ordini di dispacciamento	72
Quantità accettata totale	57,7 MWh
Quantità accettata media	0,8 MWh
Prezzo medio ponderato accettato	4,2 €/MWh

Fonte: Rielaborazione su dati Terna

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# ARERA – TIAD - Del. 727/2022

## SSPC e SDC

**Sistemi Semplici di  
Produzione e Consumo  
– SSPC**



**Impianto di produzione direttamente interconnesso all'utenza di un cliente finale con un collegamento diretto di lunghezza non superiore a 10 chilometri** (nel DCO 390/2022 definito come «autoconsumo individuale da fonti rinnovabile a distanza **con linea diretta**»), ricadano all'interno della definizione di **SSPC**.

**Sistemi di Distribuzione  
Chiusi – SDC**



Art. 17 del D. Lgs. 210/21, ha introdotto nuovamente la possibilità di **realizzazione di nuovi Sistemi di Distribuzione Chiusi – SDC per la distribuzione di energia elettrica a unità di consumo industriali, commerciali o di servizi condivisi collocate in un'area geograficamente limitata**, purché il gestore del SDC sia titolare di una **sub-concessione** di distribuzione stipulata con l'impresa distributrice concessionaria competente nel territorio interessato e **previamente autorizzata dal Ministero della Transizione Ecologica**.

Gli **SDC esistenti** continuano ad essere **soggetti alle disposizioni vigenti**, mentre **i nuovi SDC sono considerati reti pubbliche di distribuzione con obbligo di connessione di terzi**, per cui le componenti tariffarie a copertura degli oneri generali di sistema si applicano a ciascuna utenza del SDC.

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Generic Microgrid Controller

**IEEE**

IEEE 2030.7, *Specification of Microgrid Controllers*

IEEE 2030.8, *Testing of Microgrid Controllers*

*Microgrid  
control  
system*

Level 3	Higher level functions – Supervisory / DMS / DSO level Operator interface Grid/market	Communications/SCADA Optimal dispatch
Level 2	Core level functions – Microgrid / POI level Transition (Connect/disconnect)	Dispatch (including simple rules)
Level 1	Lower level functions – DER / Load / Devices level Voltage/frequency control Real/reactive power control	Device specific functions

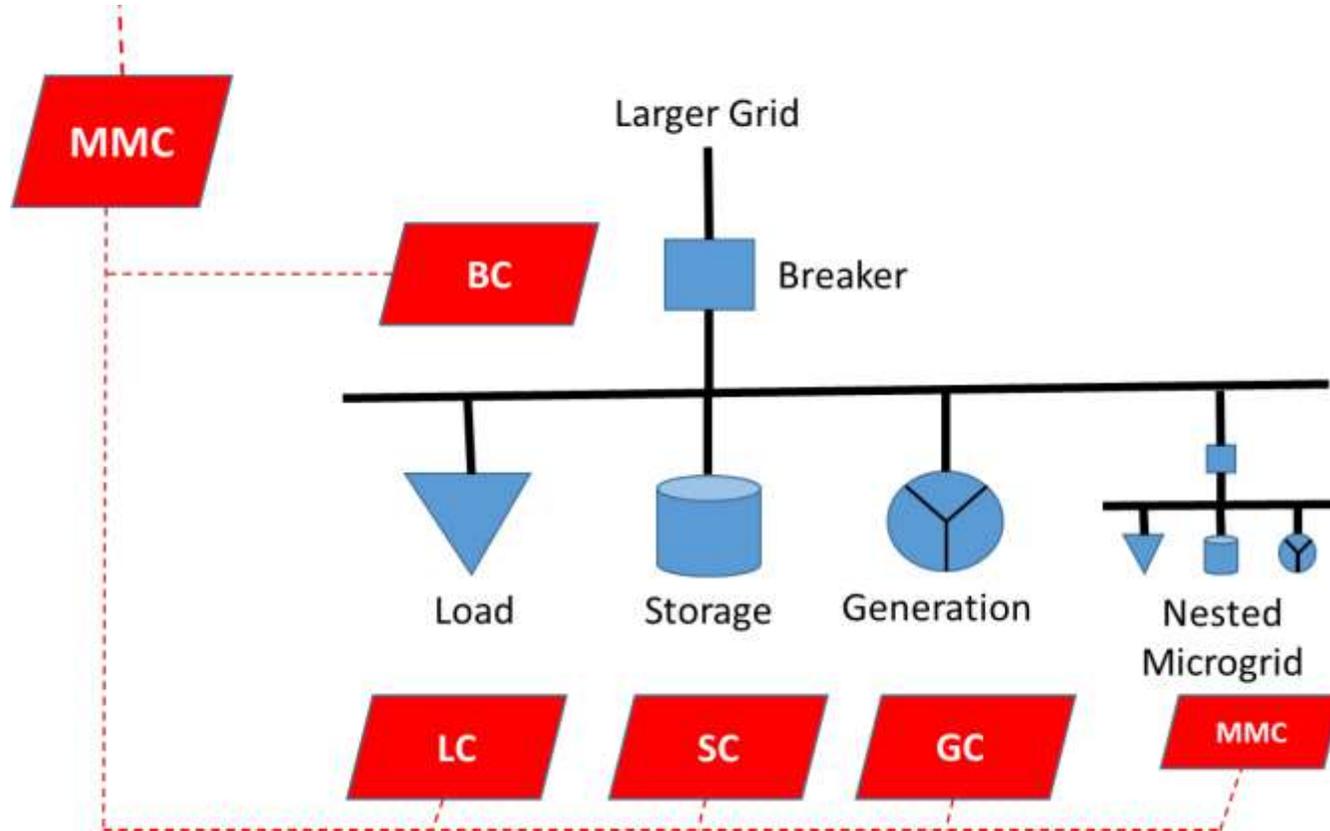
**DOE**

*A generic microgrid controller*

*Schema funzionale di controllo di una microrete  
IEEE Std 2030.7-2017*

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Utilizzo del Generic Microgrid Controller



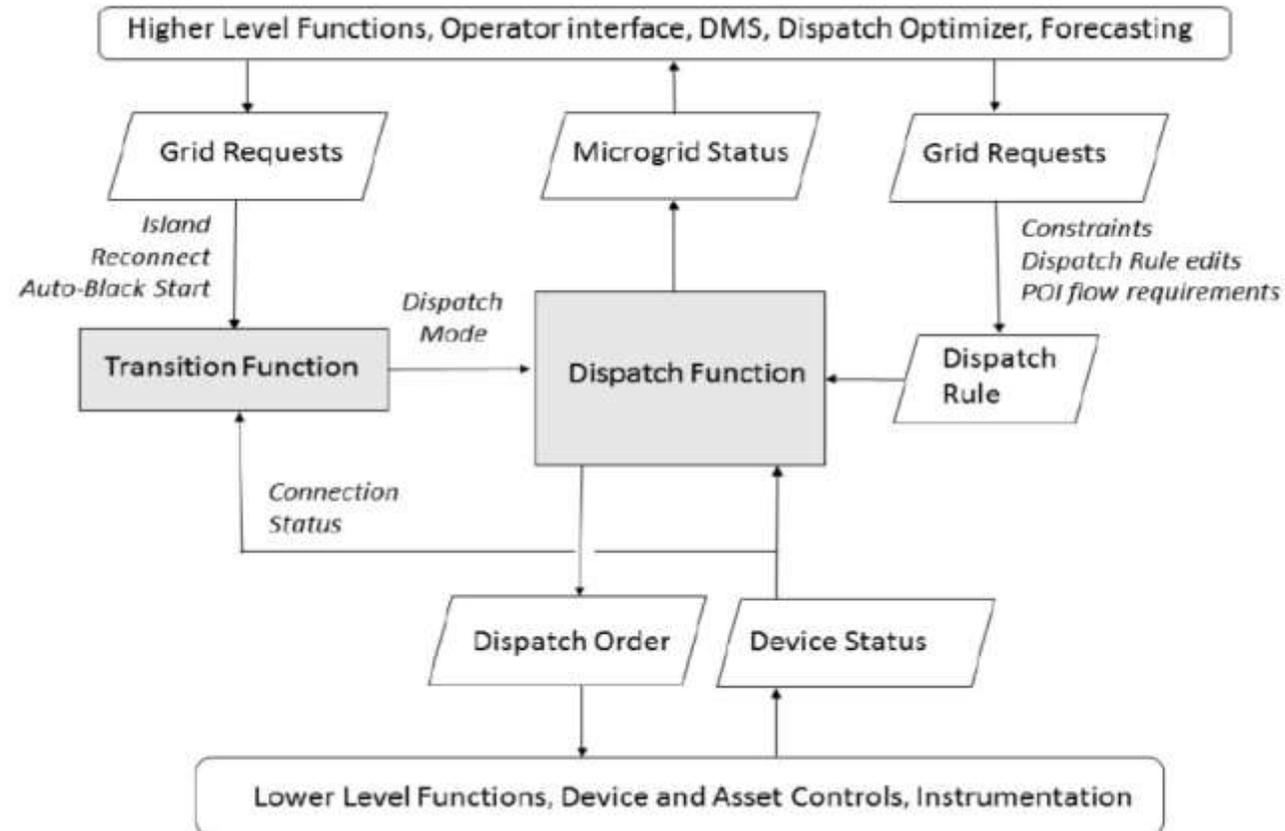
Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Master Microgrid controller

**IEEE**

IEEE 2030.7,

*Specification of Microgrid Controllers*



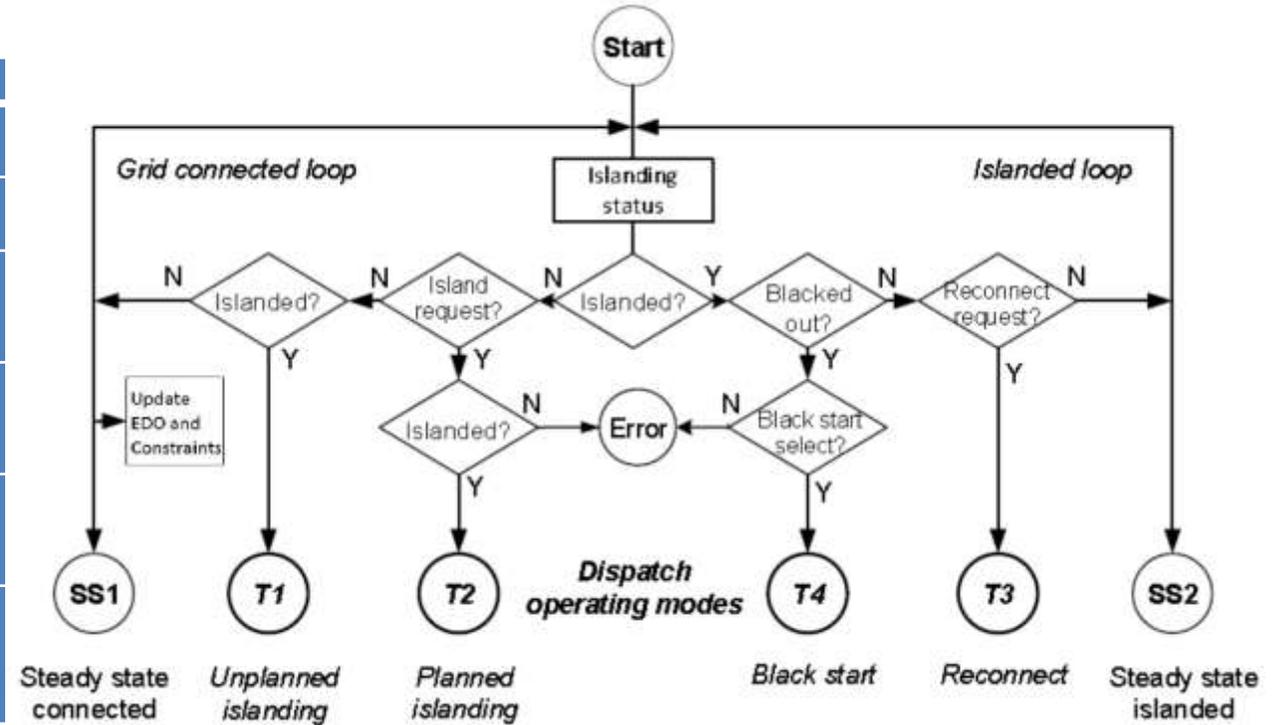
Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Master microgrid controller: Es. Logica Transition

IEEE

IEEE 2030.7, *Specification of Microgrid Controllers*

Simbologia	Descrizione	Commenti
SS1	Microrete interconnessa allo stato stazionario	Condizione di microrete connessa alla rete di distribuzione (o altra microrete) allo stato stazionario
SS2	Microrete in isola allo stato stazionario	Condizione di microrete in isola allo stato stazionario
T1	Transizione a isola non intenzionale	Primi istanti di funzionamento della microrete che è passata in isola a seguito dell'intervento dell'interruttore di protezione al PCC, non intenzionale, partendo dalla modalità operativa SS1
T2	Transizione a isola intenzionale	Preparazione al passaggio in isola e primi istanti dopo l'apertura intenzionale dell'interruttore al PCC prima di passare alla modalità operativa SS2
T3	Riconnessione	Preparazione alla riconnessione con la rete di distribuzione (o altra microrete) partendo dalla modalità operativa SS2 e terminando con la modalità operativa SS1
T4	Black-start	Dalla condizione di rete in isola disalimentata, serie di operazioni per l'alimentazione della microrete fino al raggiungimento della modalità operativa SS2



Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Master microgrid controller

Simbologia	Descrizione	Commenti
I	Modalità isocrona	Modalità grid forming a frequenza e/o tensione costante
D	Modalità droop	Modalità grid forming con controllo di potenza attiva e reattiva per droop di frequenza e tensione
Fd	Modalità grid feeding	P e Q indipendenti da frequenza e tensioni
Spt	Modalità grid supporting	P e Q dipendenti da frequenza e tensioni (droop)
G	Totale generazione presente	Somma dell'uscita di tutti i generatori
L	Totale carico presente	Somma di tutti i carichi
LCrit	Carico critico	Carico che deve essere sempre alimentato
GBig	Potenza generata maggiore tra le unità prese singolarmente	Uscita di corrente, non la massima uscita di corrente possibile
LA	Massimo carico previsto	
LOL	Massima perdita di carico potenziale	
MMax	Massima corrente di avviamento	Massima corrente all'avviamento di ogni motore non bloccato
MStart	Massima corrente disponibile per l'avviamento	Totale generazione e storage, in ampere, disponibile con $V \geq 0.8$ p.u.
S	Potenza di storage	Carica o scarica in kW
SOC	Stato di carica	Di tutte le risorse di storage in kWh
DR	Demand Response	Carico riducibile disponibile
BR	Carico zavorra	Carico disponibile da inserire per mitigare il LOL
U	Riserva di potenza di salita	Potenza aggiuntiva disponibile per la generazione connessa
D	Riserva di potenza in discesa	Potenza in discesa disponibile per la generazione connessa
U-1	Riserva di potenza in salita N-1	Riserva in salita dopo il distacco del generatore che alimenta più carico.
UIC	Vincoli di isola non intenzionale	Limiti di dispacciamento con la microrete interconnessa per supportare una possibile isola non intenzionale.
ITR	Richiesta all'interconnessione	Flussi di P/Q richiesti dalla rete o dall'operatore al PCC
ITC	Vincoli all'interconnessione	Requisiti di interconnessione (per esempio anti-islanding, ride-through)

Parametri controllati/monitorati dal MMC

# ALLEGATO O – CEI 0-16/V1

Deve essere attuato in **ogni nuova connessione** alla rete MT per:

**Controllore  
Centrale  
d’Impianto**

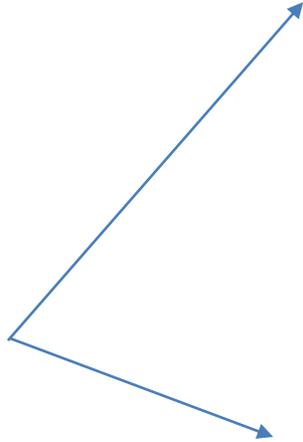


- Impianti di generazione con **Potenza nominale (Pn)  $\geq 1$  MW**
- Impianti partecipanti al Mercato dei Servizi di Dispacciamento (**MSD**)

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

## ALLEGATO O – CEI 0-16/V1

### Controllore Centrale d’Impianto

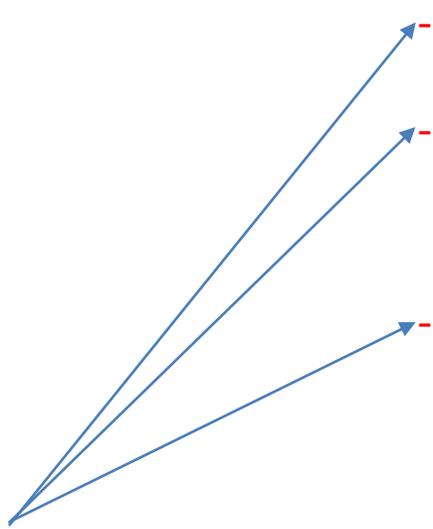


Tale controllore ha come scopo principale di **rendere l’impianto sotteso “osservabile” dal DSO**, tramite misura di grandezze e trasmissione delle stesse attraverso un **canale di comunicazione con standard EN 61850**.

Scopo non meno importante del CCI è quello di **coordinare i diversi elementi dell’impianto sotteso** per soddisfare le richieste del DSO al *punto di consegna (PdC)*, in modo da rendere l’intero impianto, agli occhi del DSO stesso, **come un unico generatore equivalente**. La gestione ottimale dell’impianto potrebbe prevedere anche il controllo di carichi controllabili che però non sono trattati in questo allegato.

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

Controllore  
Centrale  
d’Impianto



- **PF1 = Obbligatorie:** scambio di informazioni con il DSO (**osservabilità**)
- **PF2 = Opzionali:** regolazione tensione e potenza al PdC, prestazioni non obbligatorie ma che devono essere obbligatoriamente disponibili sul CCI.
- **PF3 = Facoltative:** prestazioni per la gestione (ottimale) dell’impianto e per la **partecipazione all’MSD**. Le prestazioni funzionali legate alla gestione dell’impianto comprendono **l’avviamento e il ri-avviamento** dell’impianto, la **riconnessione e distacco** dalla rete e la gestione ottimizzata delle risorse. I servizi dell’MSD a cui si sta pensando di poter partecipare, invece, comprendono i **servizi di bilanciamento, la regolazione secondaria e terziaria di frequenza.**

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

### Controllore Centrale d’Impianto

Il CCI *non deve* svolgere funzioni di *protezione e regolazione della potenza nei transitori di frequenza* (regolazione veloce della frequenza, regolazione primaria)

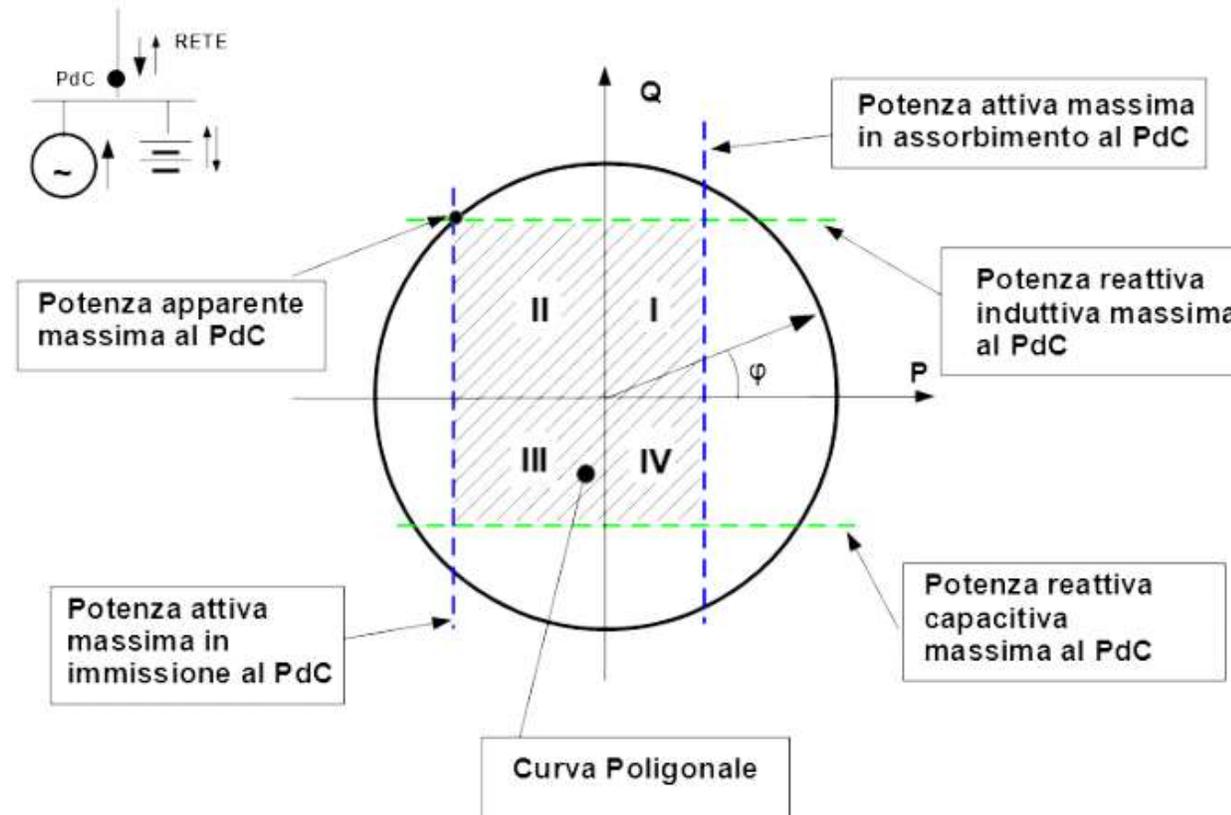
Misure al PdC ogni 200 ms e invio al DSO (e MGC) ogni 4 secondi delle misure *metodo dell’intervallo a blocco fisso* di durata pari a *4 secondi* (allegato B alla IEC 61557-12).

Modalità di funzionamento:

- *Regolazione della tensione*
- *Limitazione/Modulazione della potenza attiva*
- *Dati : Curva Poligonale, Monitoraggio DSO, Dati MSD al TSO*

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

## Curva Poligonale (PF2,PF3)



Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

## ALLEGATO O – CEI 0-16/V1: Dati verso DSO e TSO

### Regolazione della tensione (PF2)

La partecipazione alla regolazione della tensione nel PdC **RICHIEDE** la presenza di tutte le 4 seguenti:

1.  $\text{Cos } \phi = \text{cost}$
2.  $\text{Cos } \phi = f(P)$
3.  $Q=f(V)$
4.  $Q=$  asservita a comando DSO; ha priorità sulle altre due

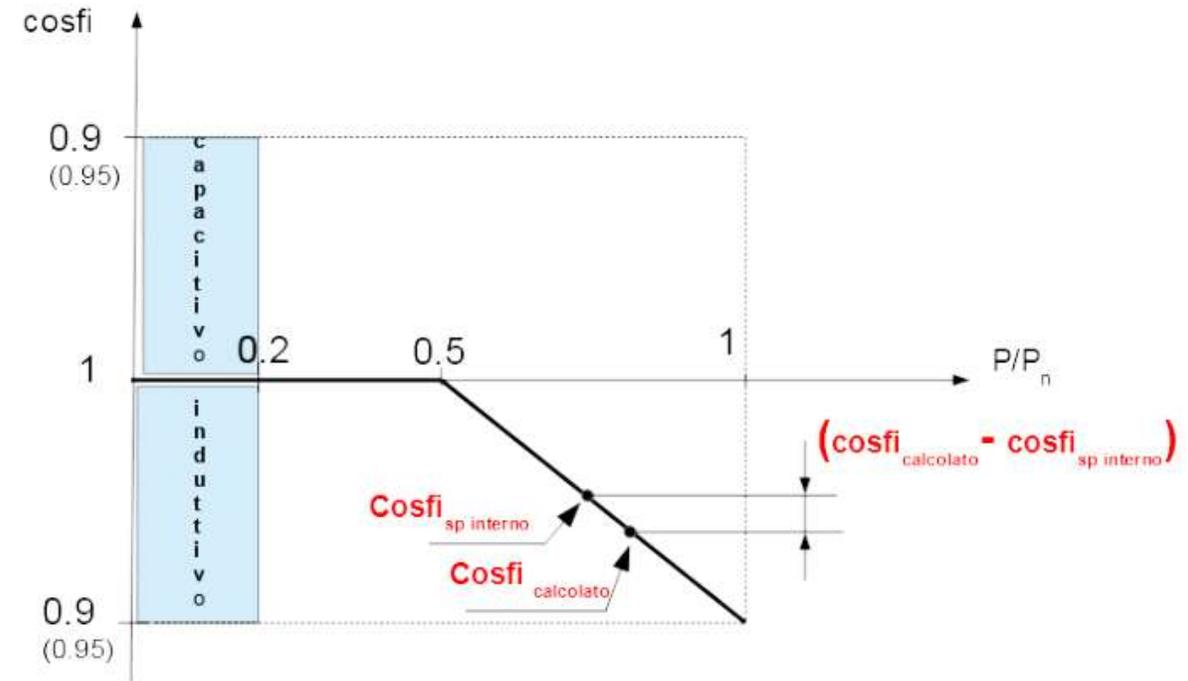
Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

## Regolazione della tensione (PF2)

### Modalità 2: $\text{Cos } \phi = f(P)$

Comunicare:

- Curva
- Valori di soglia di lock-in e lock-out
- Soglia errore (di solito inferiore al 2%) di  $|\text{cosfi}_{\text{calcolato}} - \text{cosfi}_{\text{sp interno}}|$



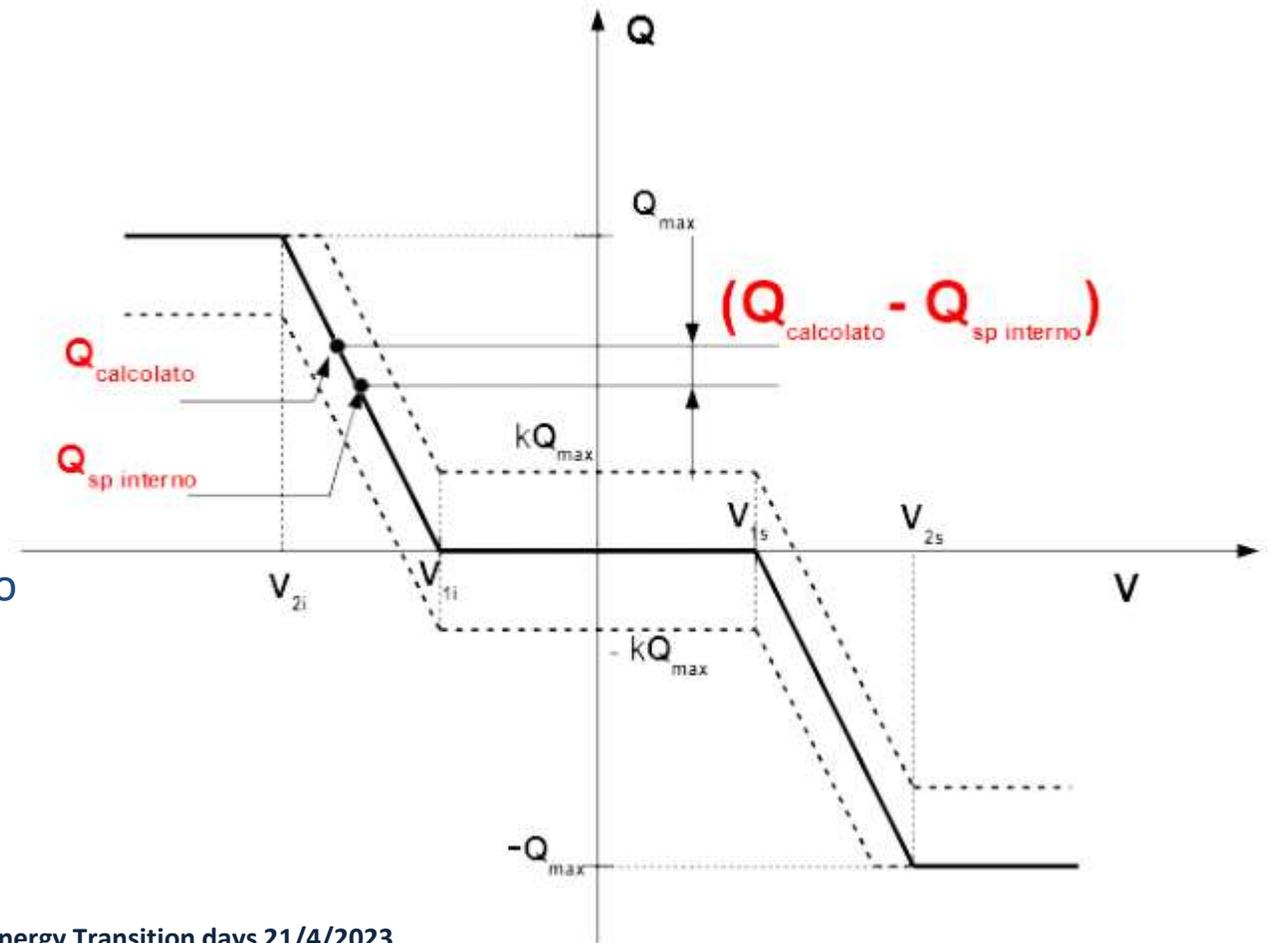
Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

## Regolazione della tensione (PF2)

### Modalità 3: $Q = f(V)$

Comunicare:

- Curva
- Valori di soglia di lock-in e lock-out di tensione
- Soglia errore di  $|Q_{calcolato} - Q_{sp\ interno}|$  di solito inferiore a 5%  $Q_{max}$



Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

## Limitazione della potenza attiva (PF2)

La **limitazione** della **potenza attiva** **DEVE** essere predisposta nel CCI per fronteggiare **ALMENO** i due seguenti casi:

1. Limitazione per **valori di tensione prossimi al 110%** del valore di tensione nominale ( $U_n$ ), per prevenire la disconnessione per sovratensione dell'impianto. Tale **funzione è autonoma** e i parametri della caratteristica  **$Q=Q(V)$  devono essere scelti accuratamente** al fine di evitare l'instabilità tra la limitazione della potenza attiva e il controllo automatico della potenza reattiva (si rimanda **all'allegato I della CEI 0-16**).
2. Limitazione su **comando esterno** proveniente dal DSO.

In entrambi i casi si può agire su **unità generatrici o su sistema di accumulo**.

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

### Gestione dell'impianto e partecipazione all'MSD (PF3)

- **Presenza di carico graduale in avviamento**, che deve avvenire con **gradiente positivo della potenza non superiore al 20% di Pn al minuto**. Questa funzione può essere realizzata sia avviando le unità seguendo una sequenza prestabilita che imponendo un'adeguata rampa di avviamento a tutte le unità (o una combinazione delle due possibilità)
- **Partecipazione al MSD**, che impone la predisposizione di una funzione in grado di ricevere un **set-point di potenza attiva/reattiva** che impone al CCI di immettere al PdC la potenza attiva/reattiva richiesta, attraverso la modulazione della potenza prodotta dalle unità di generazione/accumulo.
- **Gestione ottimizzata dell'impianto** (e altre esigenze specifiche dell'utente), che può coinvolgere non solo le unità di **generazione e accumulo, ma anche eventuali carichi controllabili**.

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

## Compatibilità e priorità tra le funzioni di regolazione del CCI

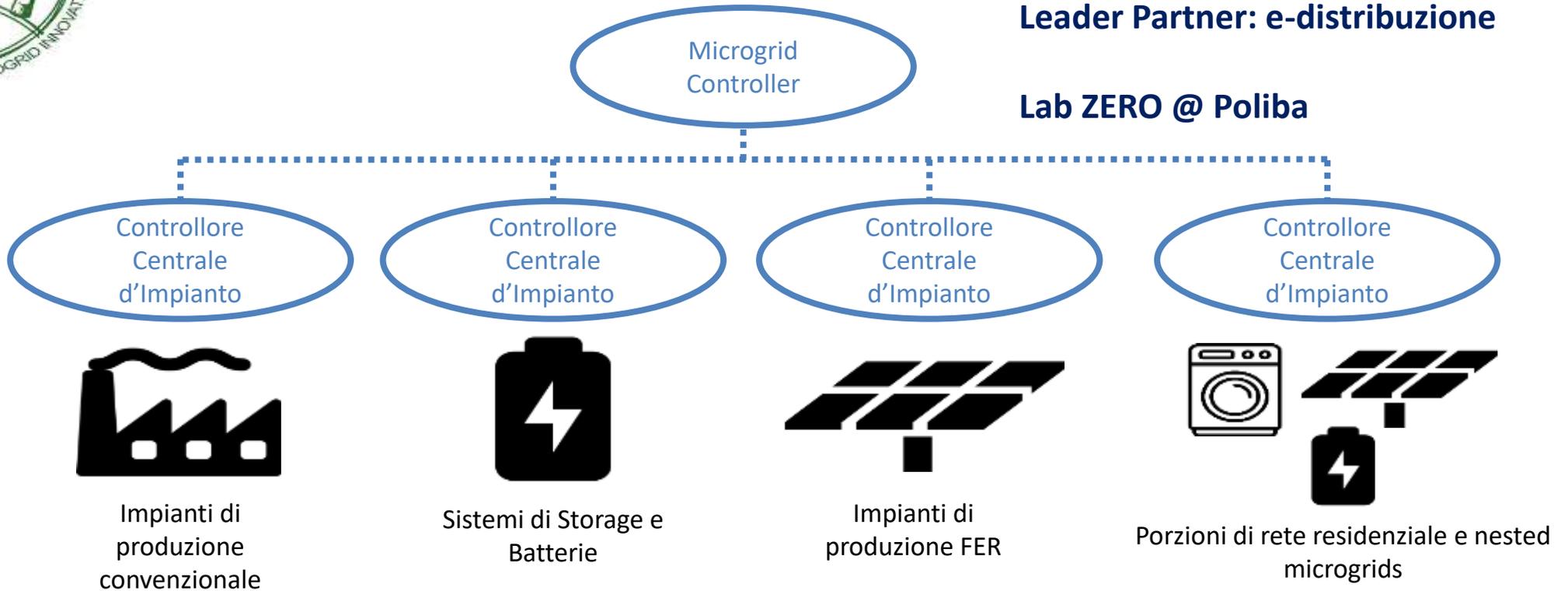
- Alla richiesta di attivazione di una funzione quando un'altra funzione NON compatibile è già in esecuzione, il CCI dovrà, se la priorità della nuova funzione è maggiore o uguale (quindi indice di priorità più basso o uguale) a quella già in esecuzione, **avviare la nuova funzione interrompendo l'attuale.**
- Le funzioni di **regolazione della potenza attiva per transitori di frequenza** implementate a livello di macchina hanno **priorità assoluta** su ogni altra tipologia di regolazione, analogo discorso per il **telescatto** nell'ambito della partecipazione ai piani di difesa del **SEN.**

Funzioni di regolazione	Indice di Priorità
Intervento del limite di potenza attiva per $V \approx 110\%VN$ (O.9.2.1)	1
Limitazione potenza attiva su comando esterno del DSO (O.9.2.2)	2
Modulazione della Potenza attiva immessa al PdC su comando esterno proveniente dal DSO (O.9.2.3)	3
Funzione Set-Point della Potenza Attiva su comando esterno (O.10.3.1)	4
Funzionamento in regolazione di tensione con erogazione di potenza reattiva su comando esterno proveniente dal DSO (O.9.1.4)	5
Set point Fattore di potenza (Set-point $\cos\phi$ ) (O.9.1.1)	6
Regolazione $Q=f(V)$ (O.9.1.3)	6
Regolazione $\cos\phi=f(P)$ (O.9.1.2)	6
Funzione Set-Point della Potenza Reattiva su comando esterno (O.10.3.2)	7

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Progetto I.S.M.I.

## (Integrated Storage and Microgrid Innovation)

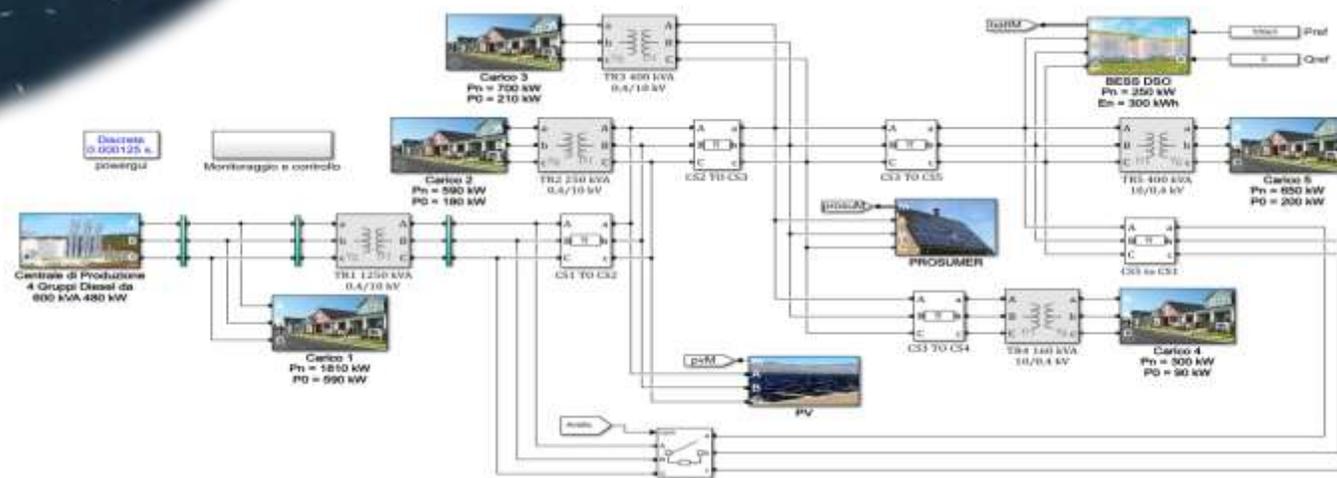


Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023



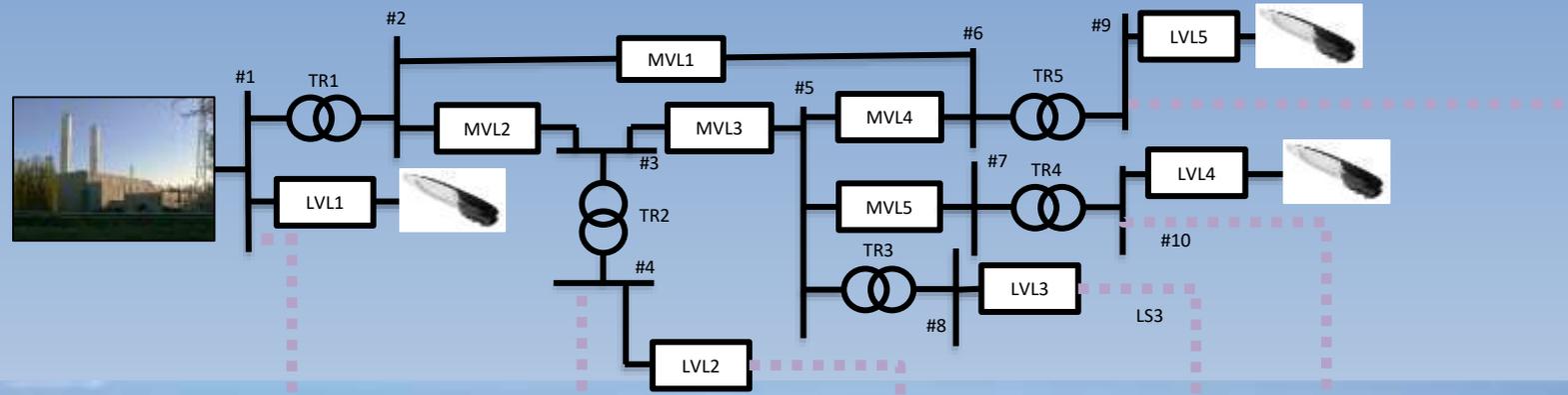
# Test su isola di Ventotene

Sviluppo di un algoritmo di controllo di alto livello in grado di allocare l'idonea **riserva operativa** necessaria a garantire il corretto e sicuro funzionamento dell'isola anche a seguito di guasti sulla rete e **incrementare l'hosting capacity dell'isola**



Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023

# Risorse distribuite e Inerzia sintetica per stabilizzare



Isola di Favignana

# Conclusioni

- **Microreti, CE, Produzione Distribuita** catalizzatori di **filiere corte locali**, ad alto valore aggiunto e a forte **valenza conoscitiva e tecnologica** (**privati cittadini, tecnici e artigiani locali, partite IVA**)
- Cittadini, PP.AA., PMI, ricevono **asset intangibili** (competenze in ambito energetico).
- Strumento essenziale per la **Clean Electrification** (pompe calore, trasporti etc.)
- **Convergenza tra Assetti regolatori, Standard, Tecnologia, Finanziamenti** (es. PNRR, Borghi e piccoli Comuni)
- **Nuovi servizi ausiliari alla rete remunerati** che richiederanno **nuovi sistemi di automazione**

Massimo La Scala – Energy Transition days 21/4/2023