

# PrInCE Lab

## Sviluppo di una piattaforma sperimentale per le smart microgrid



*Alessia Cagnano*  
*Enrico De Tuglie*  
*Michele Trovato*



*Ivano Scarrone*  
*Daniele Olivieri*  
*Gaia Valdenazzi*

# La microrete sperimentale

## Unità di generazione/cogenerazione

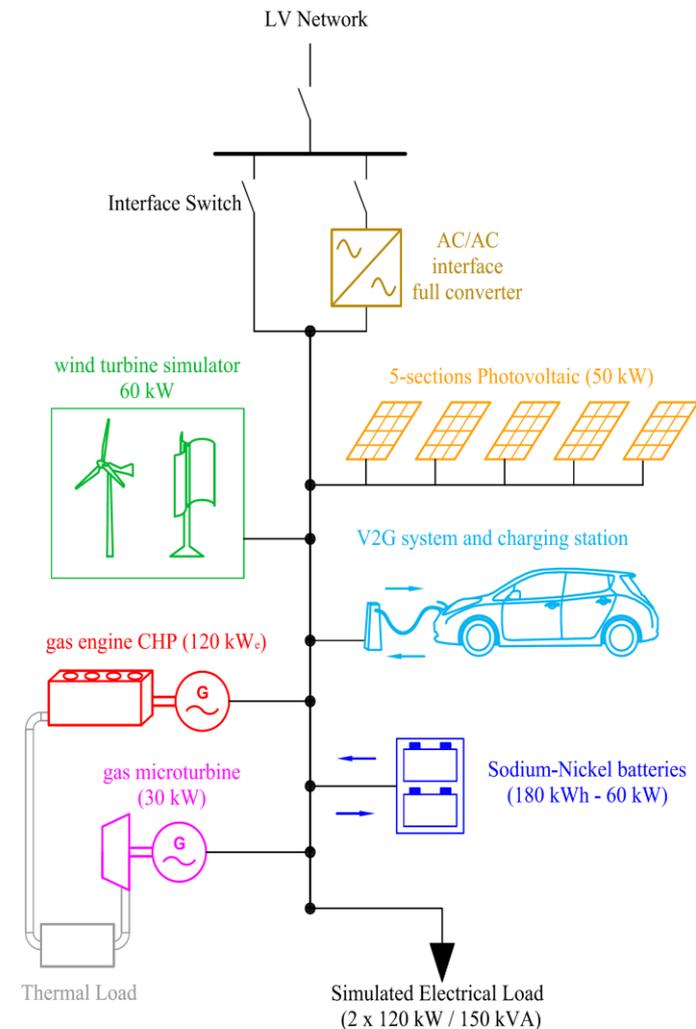
- ➔ Cogeneratore
- ➔ Microturbina a gas
- ➔ Impianto fotovoltaico
- ➔ Simulatore eolico

## Sistemi di accumulo

- ➔ 2 banche di batterie al Sodio-Nichel
- ➔ 2 veicoli elettrici in configurazione V2G

## Carichi

- ➔ 2 carichi programmabili



# Microgrid Switchboard



# Inverter di Interfaccia

- ➔ Inverter trifase c.a./c.a. avente una potenza nominale di 200 kVA.
- ➔ Le principali funzioni a cui assolve questo dispositivo sono:
  - ➔ Disaccoppiare la microrete dalla rete principale
  - ➔ Controllare gli scambi energetici tra la rete di distribuzione pubblica ed il sistema locale.
  - ➔ Gestione della microrete in condizioni di funzionamento critiche dell'utility principale.



# Unità di generazione - Cogeneratore

→ Il cogeneratore ha una potenza elettrica nominale di 120 kW;

È una macchina di mini-cogenerazione elettronica multi-inverter accoppiata ad una unità di generazione termoelettrica a velocità variabile, in grado di mantenere il rendimento elettrico ottimale, a tutti i regimi di funzionamento, tra il 10 ed il 110% della sua potenza nominale.



## Caratteristiche elettriche

Potenza elettrica nominale	[kW]	120
Potenza termica nominale	[kW]	220
Rendimento elettrico	[%]	29
Rendimento termico	[%]	60
Regime di rotazione	[rpm]	variabile da 900 to 2,500
Potenza reattiva		Regolabile con continuità

# Unità di generazione – Microturbina a gas

- ➔ La microturbina a gas naturale ha una potenza elettrica nominale di 30 kW.
- ➔ È costituita da un motore a velocità variabile in grado di modulare la produzione di energia elettrica e di calore dallo 0% al 100% della sua potenza nominale.
- ➔ È equipaggiata con uno scambiatore termico per il recupero del calore dai gas di scarico che consente la produzione di 65 kW termici con acqua calda in/out 60/70° C.



Caratteristiche elettriche		
Potenza elettrica nominale	[kW]	30
Rendimento elettrico	[%]	26
Regime di rotazione	[giri/min]	variabile da 45.000 a 96.000

# Unità di generazione – Impianto fotovoltaico

⇒ L'impianto fotovoltaico ha una potenza nominale pari a circa 50 kWp, che produce oltre 69.000 kWh all'anno.

Sub-arrays	Electric characteristics				
	Maximum output power rating [kWp]	Type of modules	N. of strings	N. of modules per string	Total modules
<b>GFV1</b>	9.216	triple-junction a-Si	4	16	64
<b>GFV2</b>	10.53	Mono-Si	2	19+20	39
<b>GFV3</b>	10.5	Poly-Si	2	21	42
<b>GFV4</b>	9.6	CIS	8	8	64
<b>GFV5</b>	9.9	Mono N-Type	2	17 + 16	33



⇒ I moduli fotovoltaici sono stati posizionati su n. 3 pensiline ad ombreggiamento di parte dei parcheggi di un'area del campus del Politecnico di Bari, secondo una tipologia installativa di tipo fisso.

# Unità di generazione – Simulatore eolico

⇒ Il simulatore eolico ha una potenza nominale di 60 kW.

È costituito da un raddrizzatore/inverter bidirezionale dotato di un microcontrollore locale che, attraverso le misurazioni di vento effettuate da un anemometro installato sul tetto del laboratorio, è in grado di iniettare nella microrete la potenza che una turbina commerciale genererebbe.

⇒

Il software di simulazione è anche in grado di accettare in ingresso il profilo di velocità del vento definito da un sistema di controllo centrale (SCADA) sulla base dei dati storici registrati dalla stazione meteo.

⇒



# Sistemi di accumulo – Batterie al Sodio-Nichel

Il sistema di accumulo è costituito da due banchi di batterie al Sodio-Nichel con una capacità di accumulo pari a 180 kWh ed una potenza di carica/scarica massima pari a 60 kW.

Il sistema è connesso alla  $\mu$ G attraverso un convertitore bi-direzionale, conforme alla Norma CEI 0-21.

L'intero sistema è supportato da un Master Controller (MC) capace di monitorare in tempo reale lo stato di carica della batteria e di rispondere prontamente ai segnali di controllo provenienti dal sistema di controllo centrale della microrete.



# Sistemi di accumulo – Vehicle-to-Grid (V2G)

Il sistema vehicle-to-grid (V2G) è composto da una stazione di ricarica in c.c., ospitata sotto la pensilina fotovoltaica, e da due veicoli elettrici che se collegati alla colonnina in corrente continua (c.c.) possono essere utilizzati come sistemi di accumulo locale.



La colonnina in c.c. è connessa alla  $\mu$ G attraverso un convertitore bidirezionale che consente lo scambio bidirezionale di energia fra il sistema di accumulo a bordo dei veicoli e la microrete.

La carica/scarica delle batterie a bordo dei veicoli elettrici avviene secondo dei programmi definiti dal sistema di controllo centrale sulla base di specifiche strategie di controllo che prendono in considerazione la richiesta di carico, i segnali di prezzo di mercato, la previsione di produzione fotovoltaica ed eolica, lo stato di carica della batteria di ogni veicolo e la presunta disponibilità dell'auto.



# Carichi – Carichi programmabili

➔ Due carichi programmabili, tensione e frequenza dipendenti, ciascuno con una potenza nominale di 150 kVA.

I carichi RLC sono equipaggiati con un inverter collegato ad una resistenza di carico.

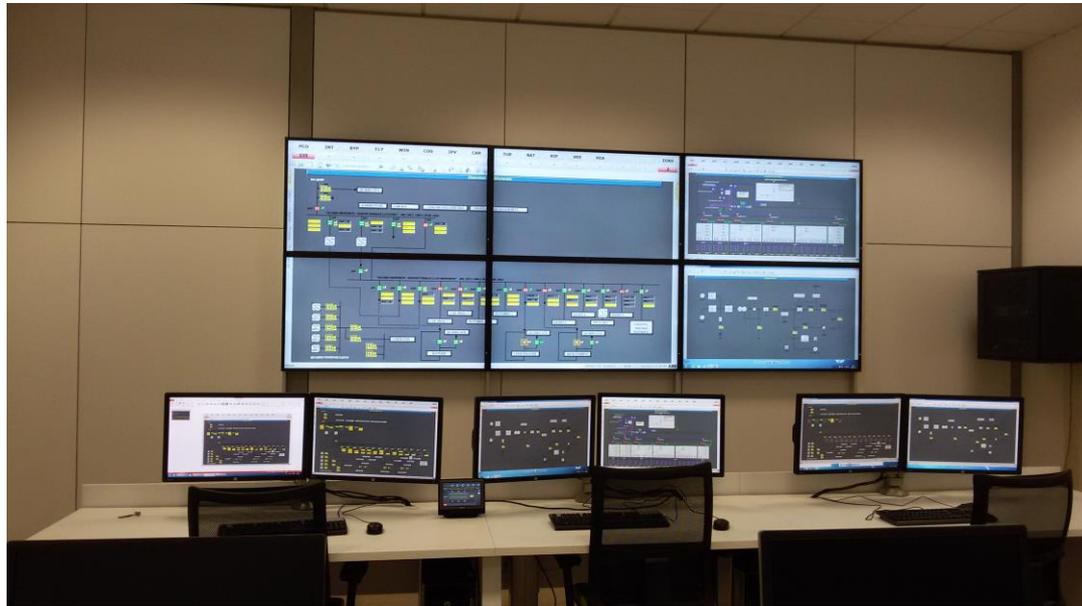
➔ Lo stesso inverter può fornire un carico induttivo o capacitivo.



➔ I parametri dei due carichi RLC possono essere modificati sia attraverso un controllore locale (un PLC a bordo macchina) sia da SCADA.

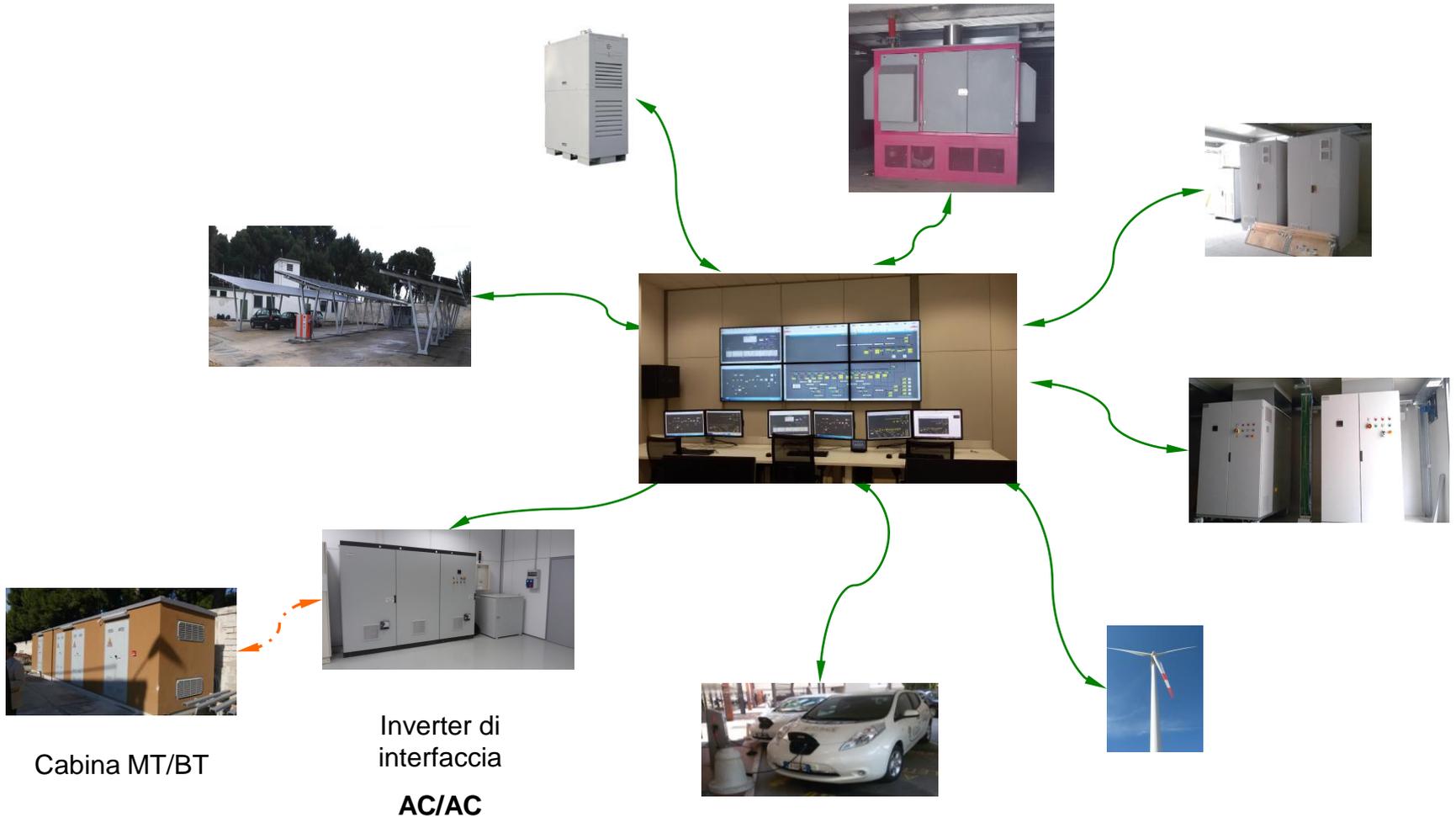
➔ Il controllore locale è dotato di un software ad-hoc che consente di implementare le curve di carico e la dipendenza esponenziale della potenza attiva e reattiva dalla tensione e dalla frequenza.

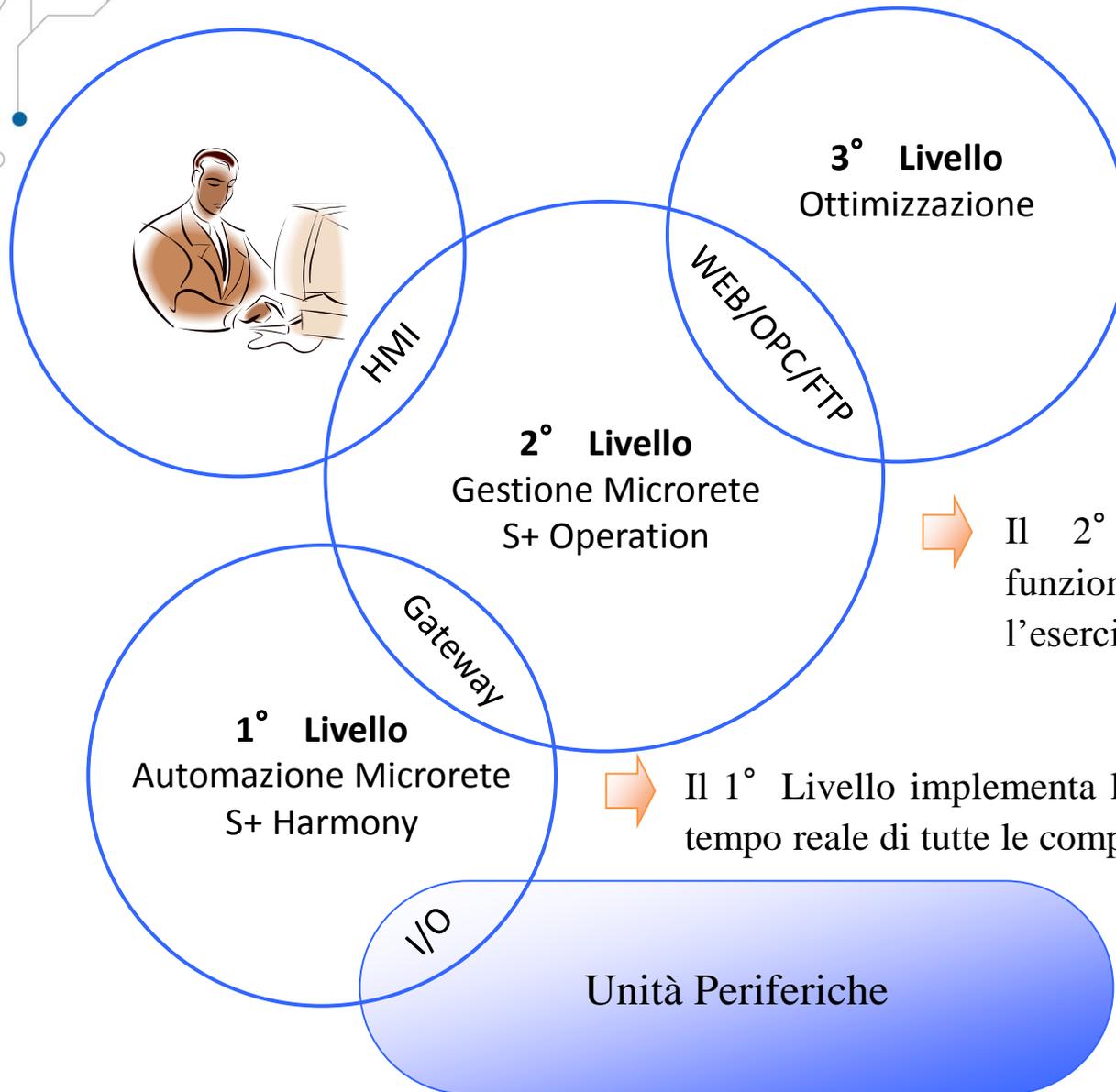
# Control room



- ➔ N. 6 postazioni client che consentono all'operatore, di visualizzare e gestire in maniera ottimale i componenti della microrete.

# Architettura del sistema di controllo



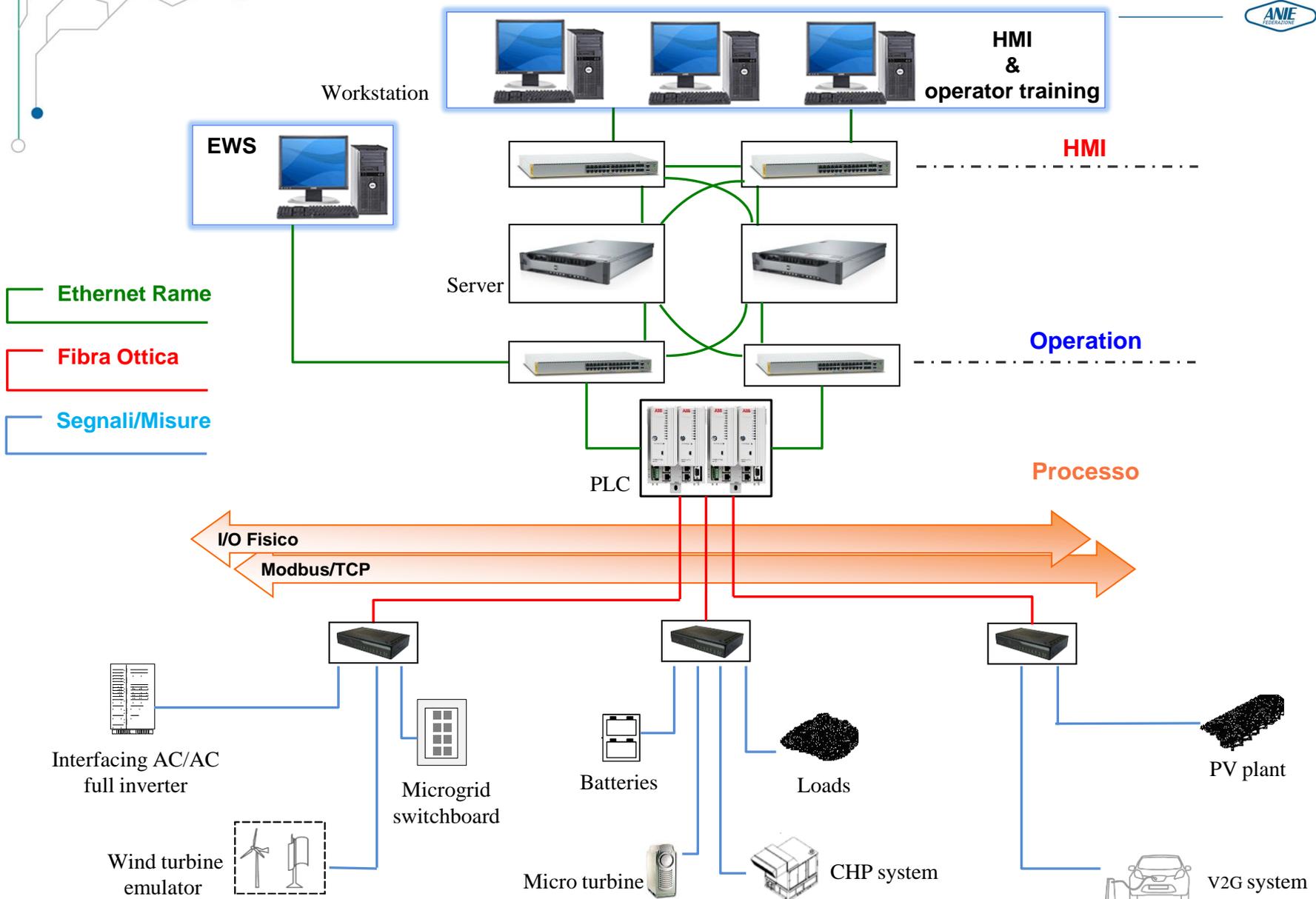
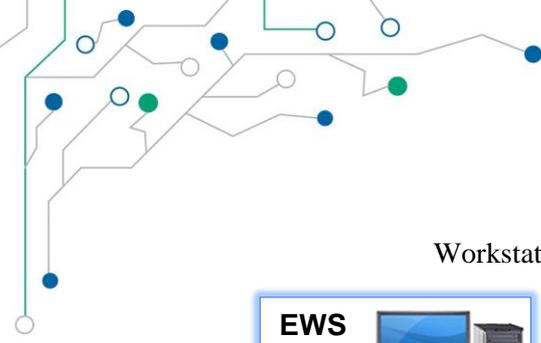


Il 3° Livello implementa funzionalità di elaborazione dei profili di Generazione & Consumo e ottimizzazione run-time dei profili.

Il 2° Livello implementa tutte le funzioni necessarie all'operatore per l'esercizio della microrete.

Il 1° Livello implementa la comunicazione e il controllo in tempo reale di tutte le componenti della microrete.

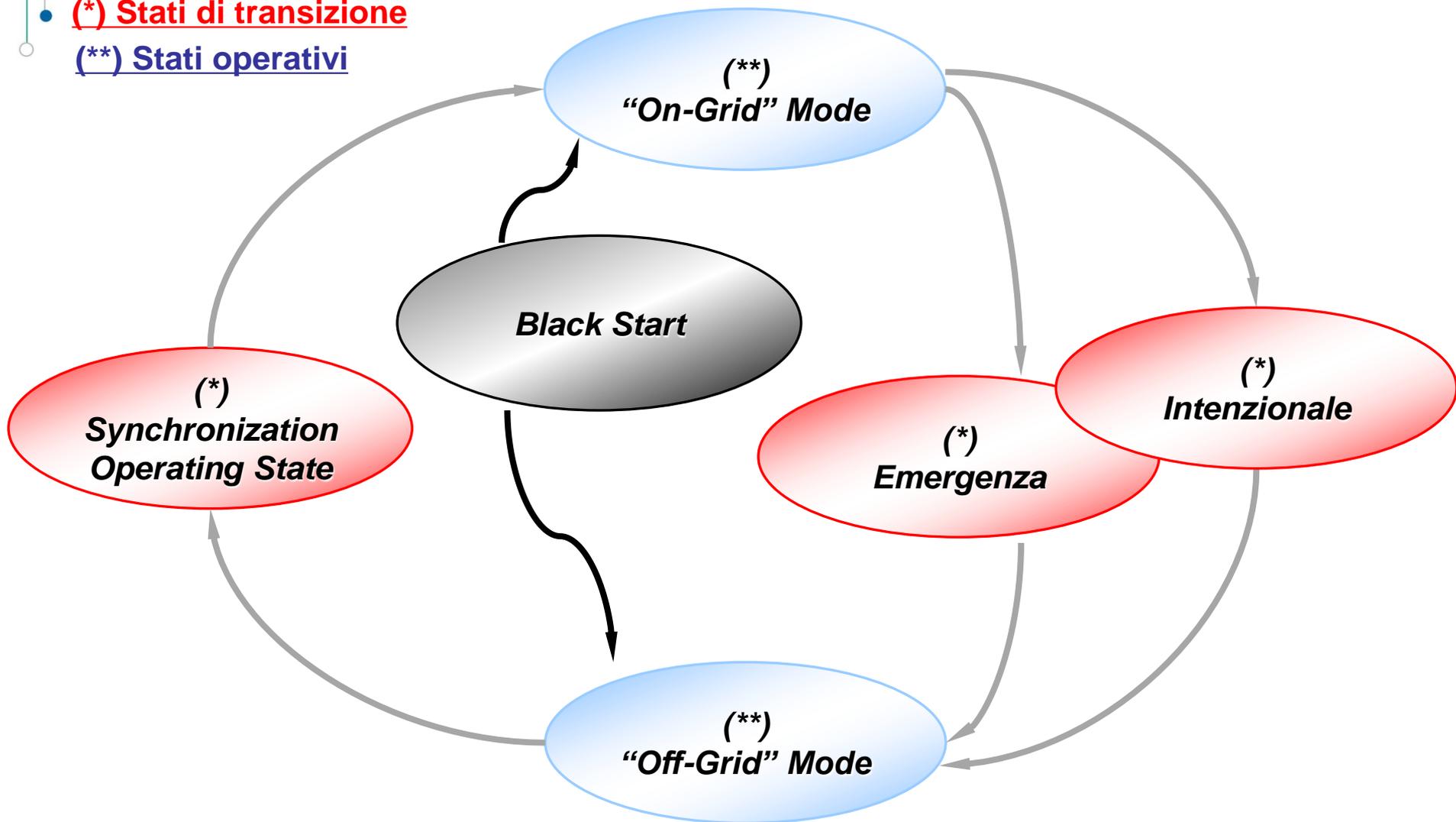
# SCADA – Struttura Fisica



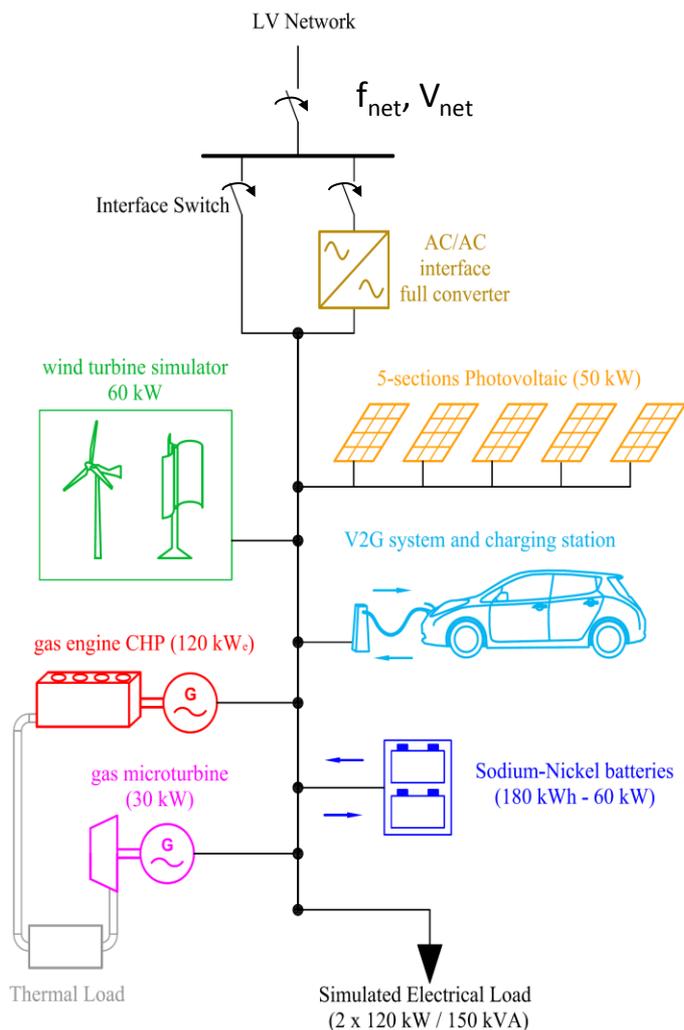
# Gestione delle modalità operative

**(\*) Stati di transizione**

**(\*\*) Stati operativi**



# “On-Grid” Operation Mode

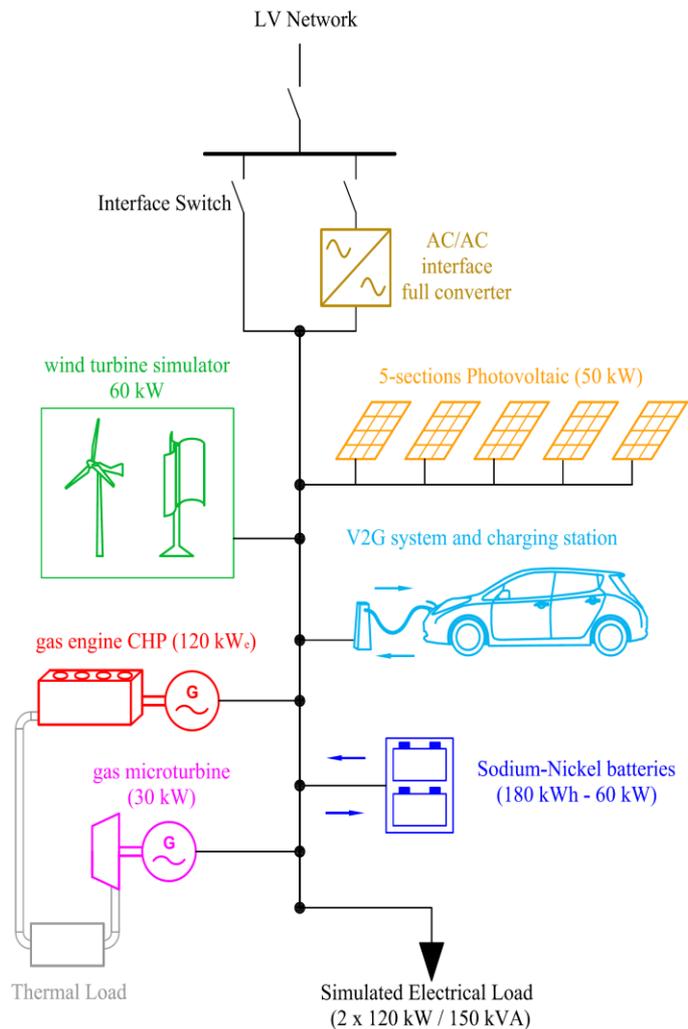


L'esercizio in On-Grid della microrete richiede:

➔ **Dispacciamento Economico** finalizzato a gestire in maniera ottimale le risorse energetiche del sistema locale al fine di minimizzarne i costi operativi e di gestione.

➔ **Regolazione della tensione** la cui funzione è quella di garantire la qualità e la sicurezza della fornitura di energia elettrica.

# Transizione ON-Grid → OFF-Grid



## Isola di emergenza.

È dovuta all'apertura dell'interruttore generale per cause accidentali



## Isola intenzionale non-bumpless.

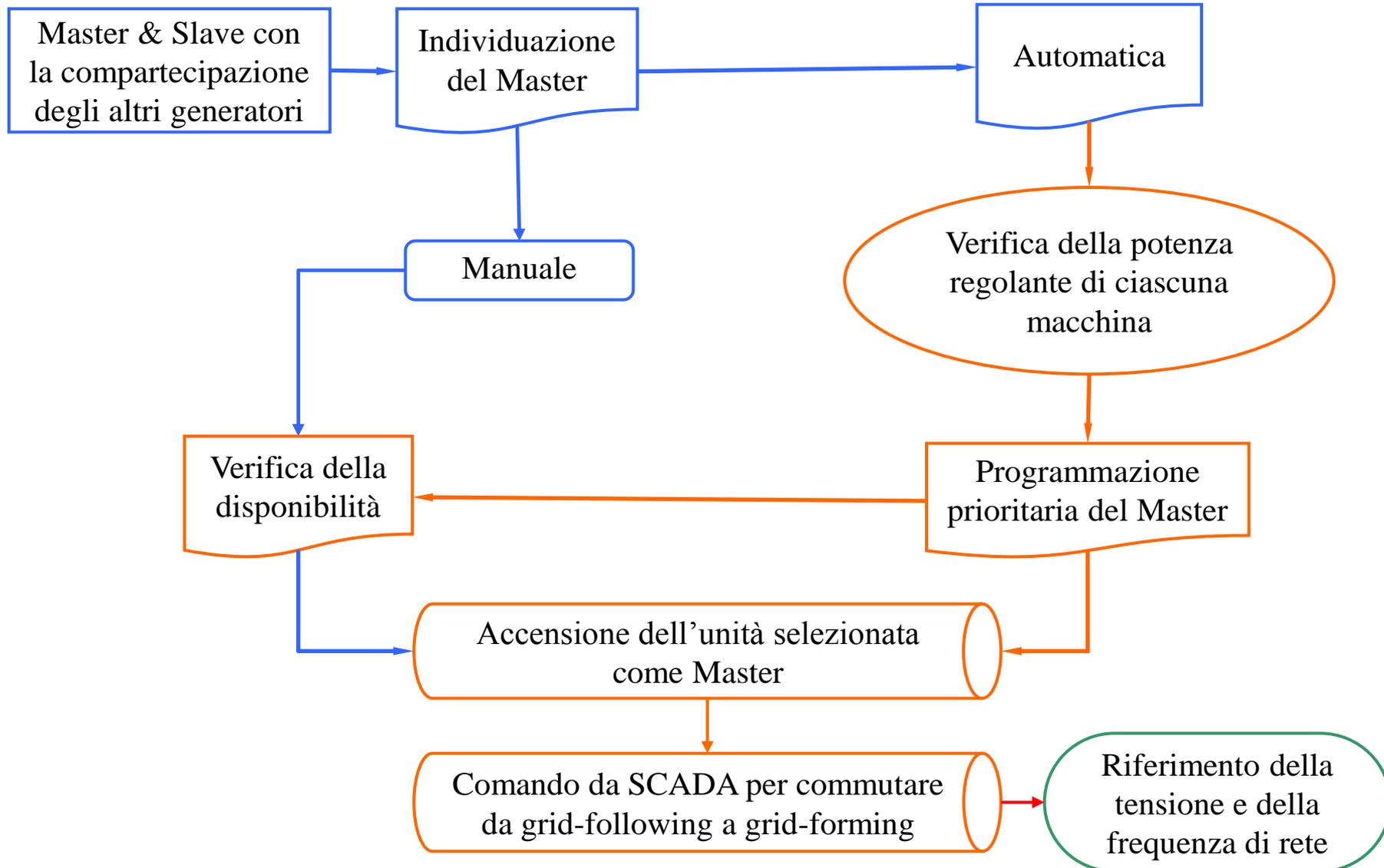
Il passaggio avviene aprendo l'interruttore di bypass su richiesta dell'operatore senza azzerare il transito di potenza attiva/reattiva.



## Isola intenzionale bumpless.

Il passaggio avviene su richiesta dell'operatore. Si realizza aprendo l'interruttore di bypass dopo aver azzerato il suo transito di potenza attiva/reattiva;

# Transizione ON-Grid → OFF-Grid



# “Off-Grid” Operation Mode

## GESTIONE IN SICUREZZA

Massimizzazione della riserva regolante dell'unità Master.

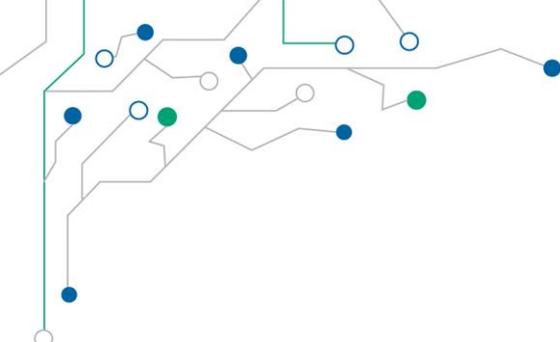
Le azioni di controllo sono valutate a livello centrale attraverso la risoluzione di un problema di ottimizzazione finalizzato a mantenere la potenza effettivamente erogata dal Master il più vicino possibile al 50%.

Attuazione delle azioni di controllo correttivo:

- Load shedding
- Generation shedding

Raggiungimento di sufficienti margini di sicurezza

Attuazione delle strategie di ottimizzazione necessarie a garantire l'esercizio a minimo costo



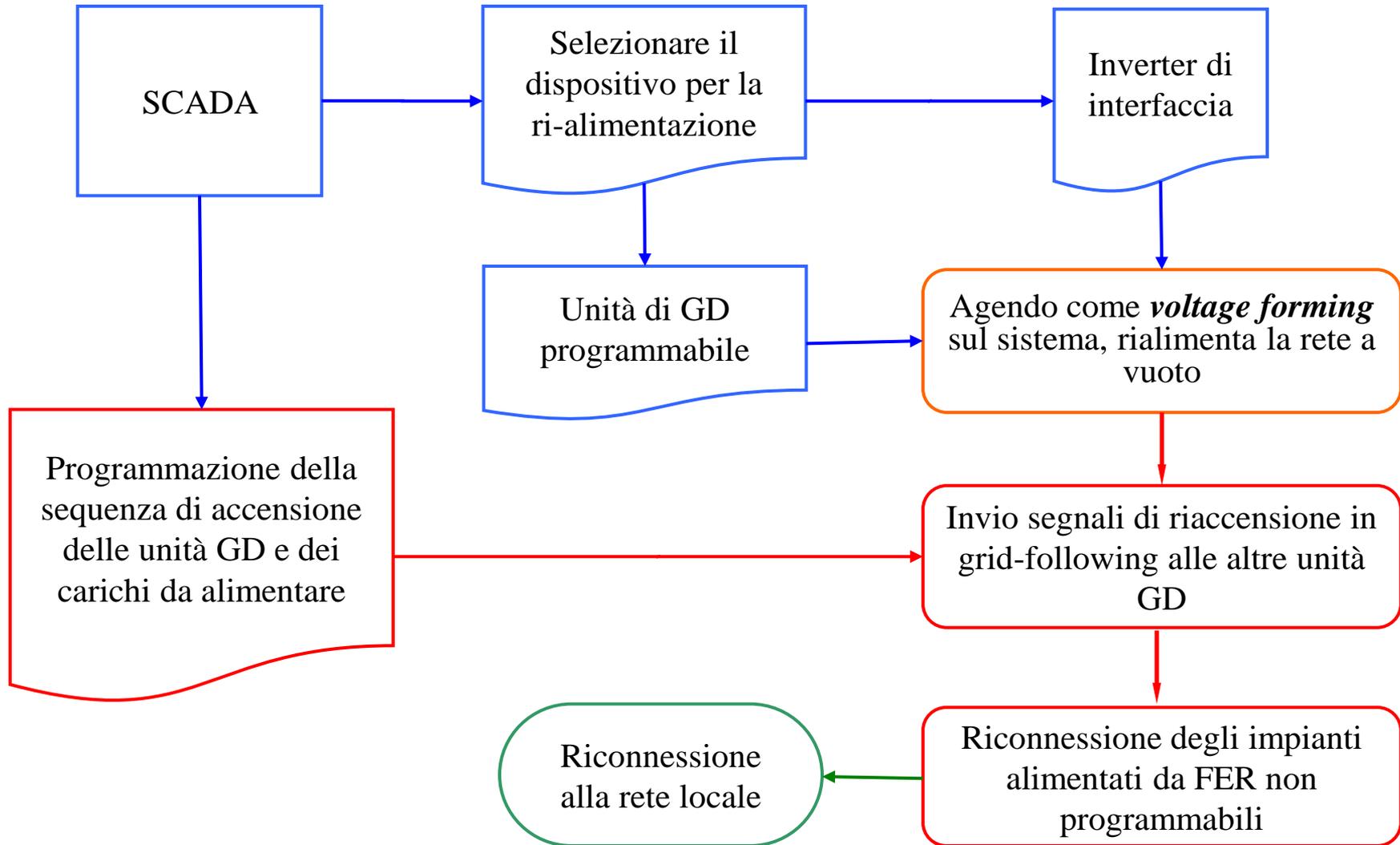
# Transizione OFF-grid → ON-grid

➡ Lo SCADA effettua l'operazione di riconnessione dell'isola alla rete.

➡ Un segnale di tensione viene inviato direttamente all'unità master che provvederà alla risincronizzazione della rete e, una volta ottenuta, un synchrocheck effettuerà l'ultima verifica prima di chiudere l'interruttore di by-pass o l'interruttore generale.

➡ Nel caso di mancato sincronismo, lo SCADA lancerà un segnale di warning all'operatore quindi si dovrà iniziare una procedura di black start manuale o automatica.

# Black Start procedure



# Conclusioni

La microrete sperimentale consente di perseguire obiettivi di ricerca per la:

- ➔ Seprimentazione e sviluppo di dispositivi e di componenti per applicazioni smart grid;
- ➔ Definizione ed implementazione di nuove logiche di controllo per la gestione in sicurezza delle risorse interne alla microrete e la connessione con il distributore;
- ➔ Sviluppo di nuovi criteri per il controllo di microreti isolate;
- ➔ Sviluppo di metodologie per l'esercizio economico di una smart grid che integri segnali di prezzo dei mercati, fonti convenzionali, fonti rinnovabili ed accumuli;
- ➔ Definizione di nuove logiche di protezione;
- ➔ Sviluppo di logiche di controllo per la carica/scarica delle batterie dei veicoli elettrici in configurazione V2G.