



# **Caratteristiche e criticità dei sistemi elettrici di potenza**

***Marino Sforza***  
***TERNA – Direzione Sicurezza Aziendale***  
***Funzione Risk Management***

# I principali compiti di Terna

## Quattro segmenti:

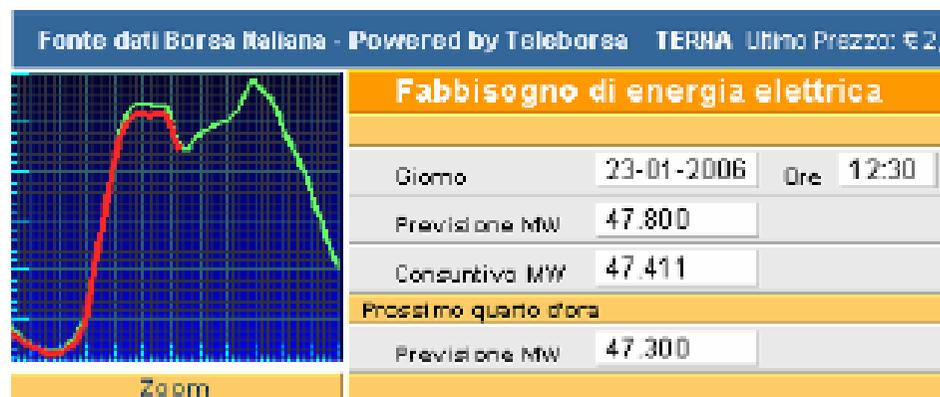
- Produzione
- **Trasmissione**
- Distribuzione
- Vendita



**Società responsabile in Italia di  
trasmissione e dispacciamento dell'energia  
elettrica sulla rete ad alta e altissima  
tensione.**

## ATTIVITA'

- ❖ Gestione del sistema elettrico
- ❖ Ingegneria e gestione impianti
- ❖ Sviluppo della rete



## ➤ Gestione del sistema elettrico

- Programmazione: gestione indisponibilità impianti e fabbisogno.
- Dispacciamento: gestione flussi energia e bilanciamento produzione fabbisogno.

## ➤ Ingegneria e gestione impianti

- Manutenzione

## ➤ Sviluppo della rete elettrica

- Studi di Pianificazione impianti.
- Costruzione degli impianti.

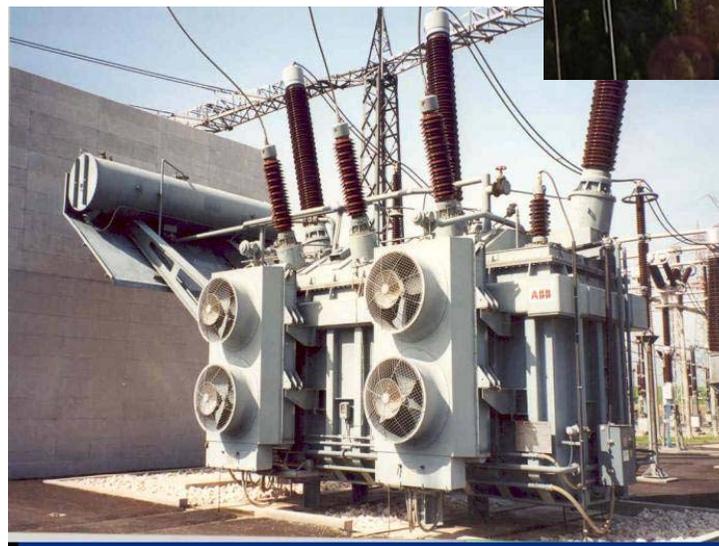


# La consistenza della rete elettrica di TERNA

**Terna è proprietaria di oltre il 98% della Rete di Trasmissione Nazionale e possiede e gestisce:**

- **39427 km di linee:**
  - a 400 kV: 9812 km
  - a 230 kV: 9773 km
  - a 132-150 kV: 19842 km

- **362 stazioni di Trasformazione e Smistamento**

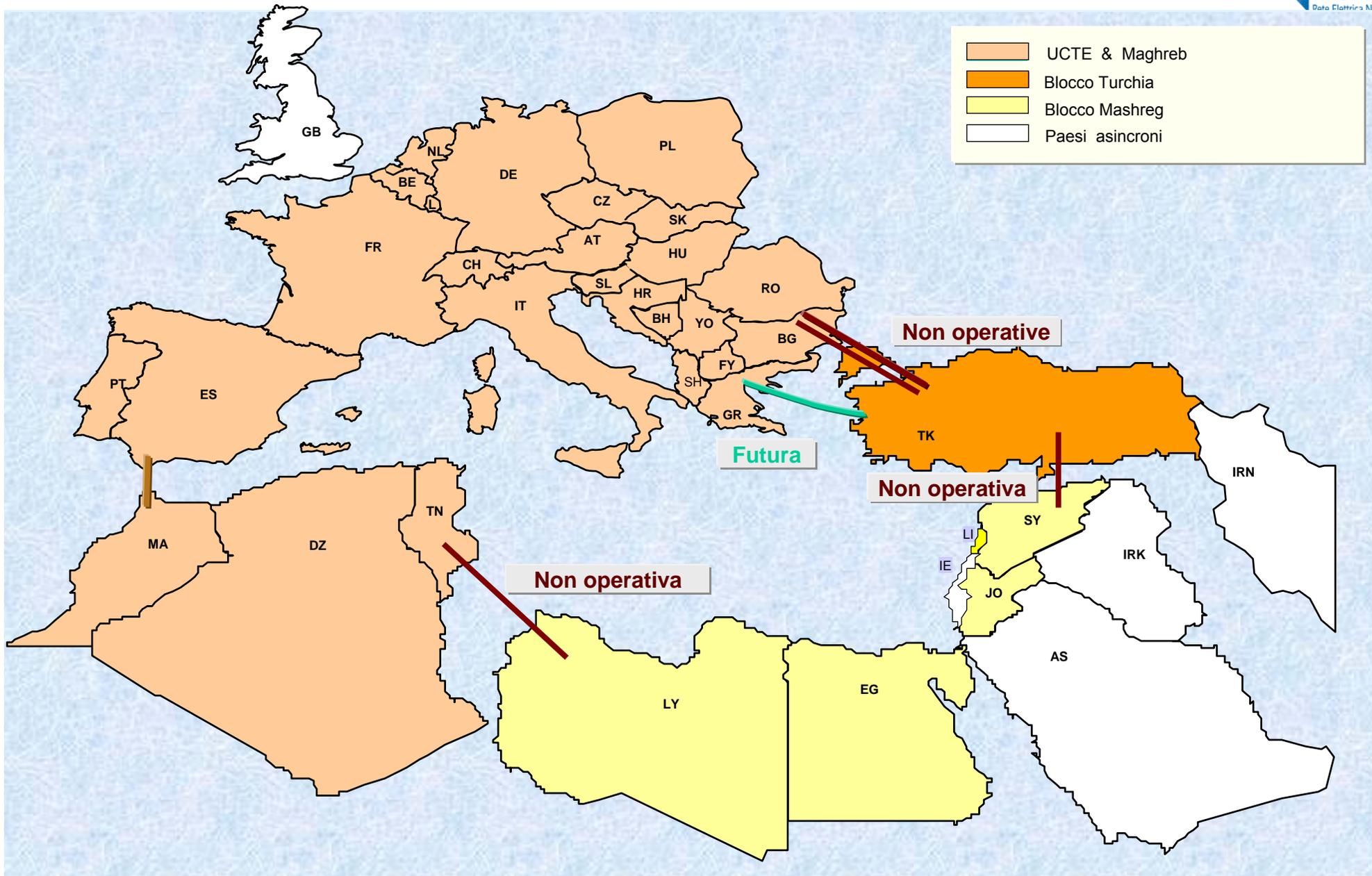


# Il sistema elettrico italiano

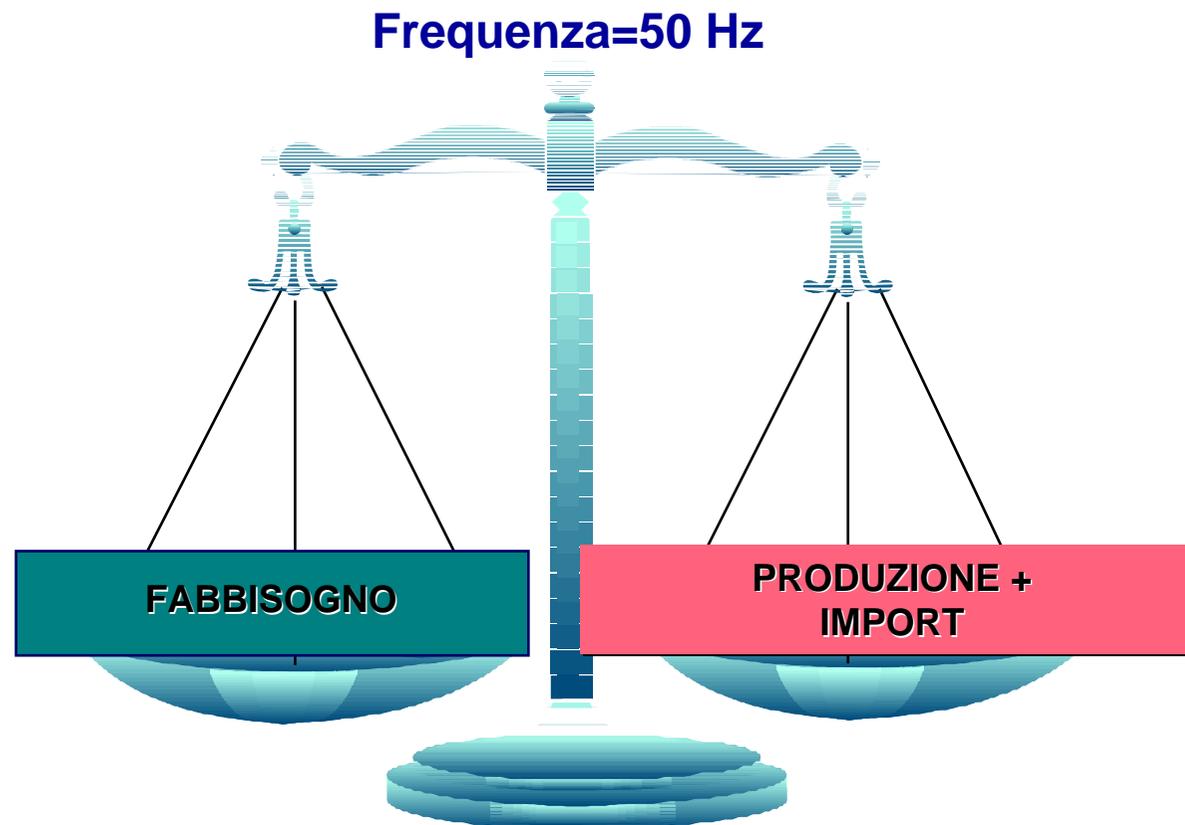
## Rete a 400 kV



# Il contesto elettrico europeo

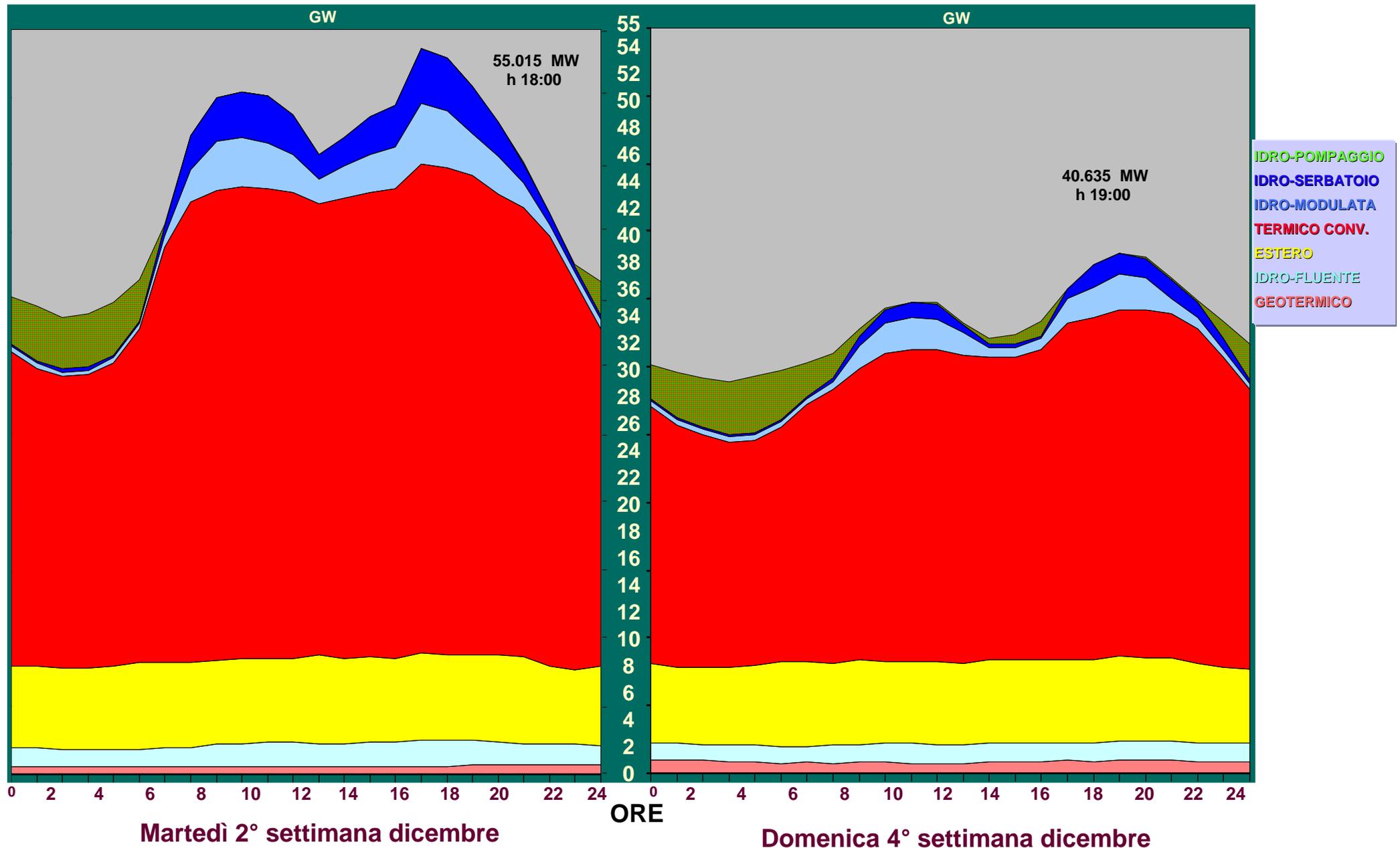


# Il Dispacciamento dell'energia elettrica



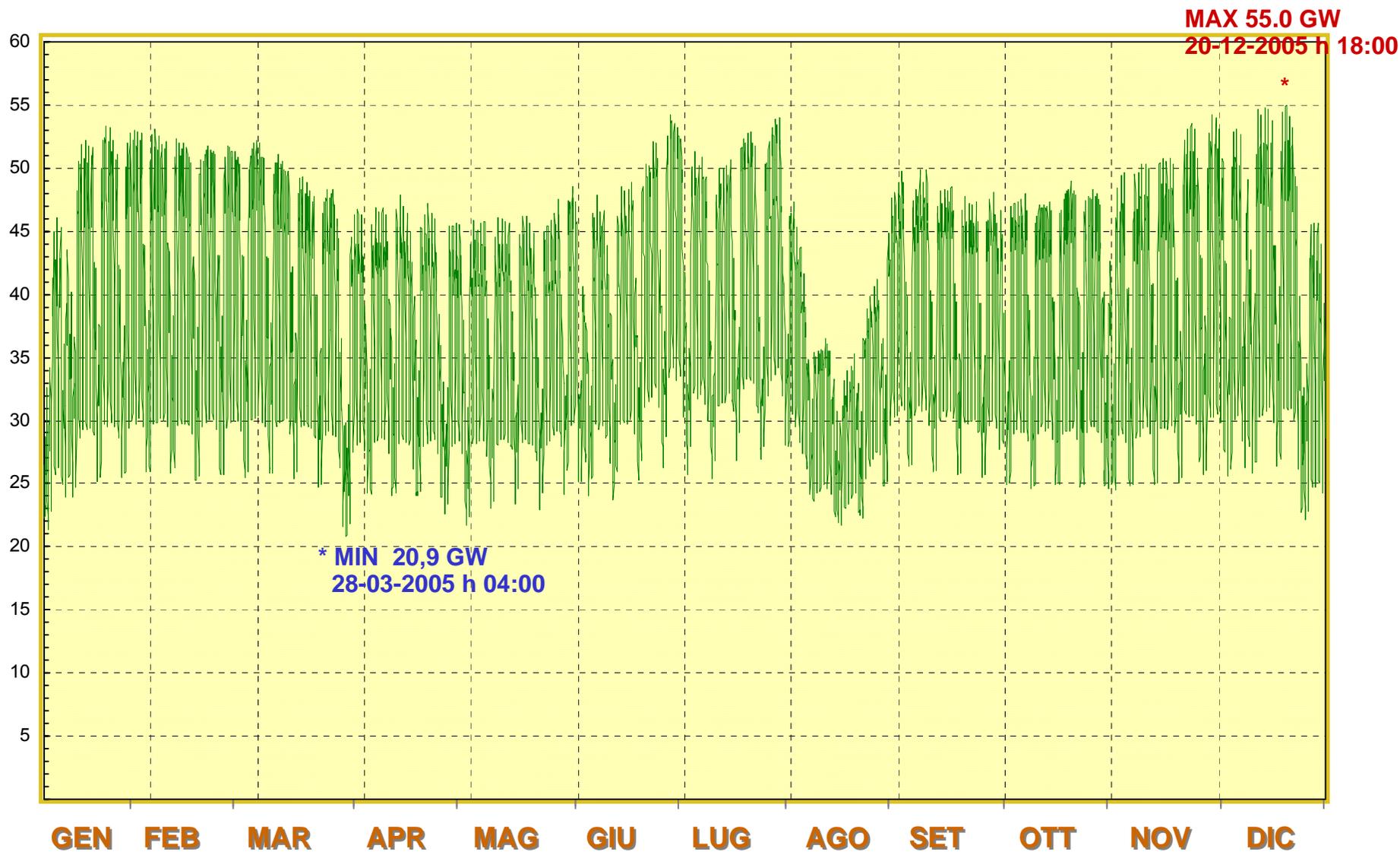
**L'ENERGIA ELETTRICA NON PUO' ESSERE IMMAGAZZINATA  
LA PRODUZIONE DEVE VARIARE CONTINUAMENTE PER SEGUIRE  
L'ANDAMENTO DEL FABBISOGNO**

# Andamento giornaliero del fabbisogno di energia elettrica



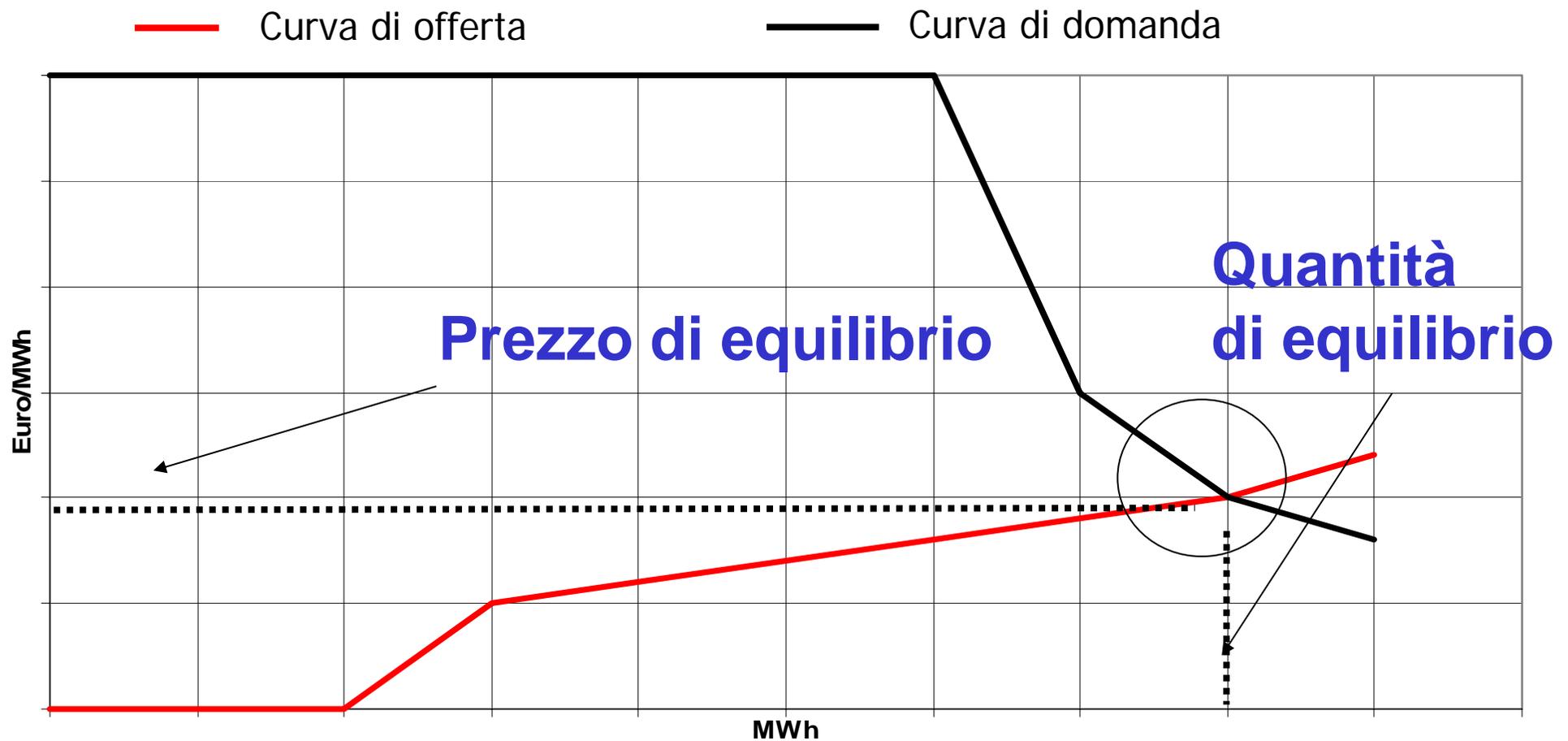
# Curva cronologica del fabbisogno orario

GW

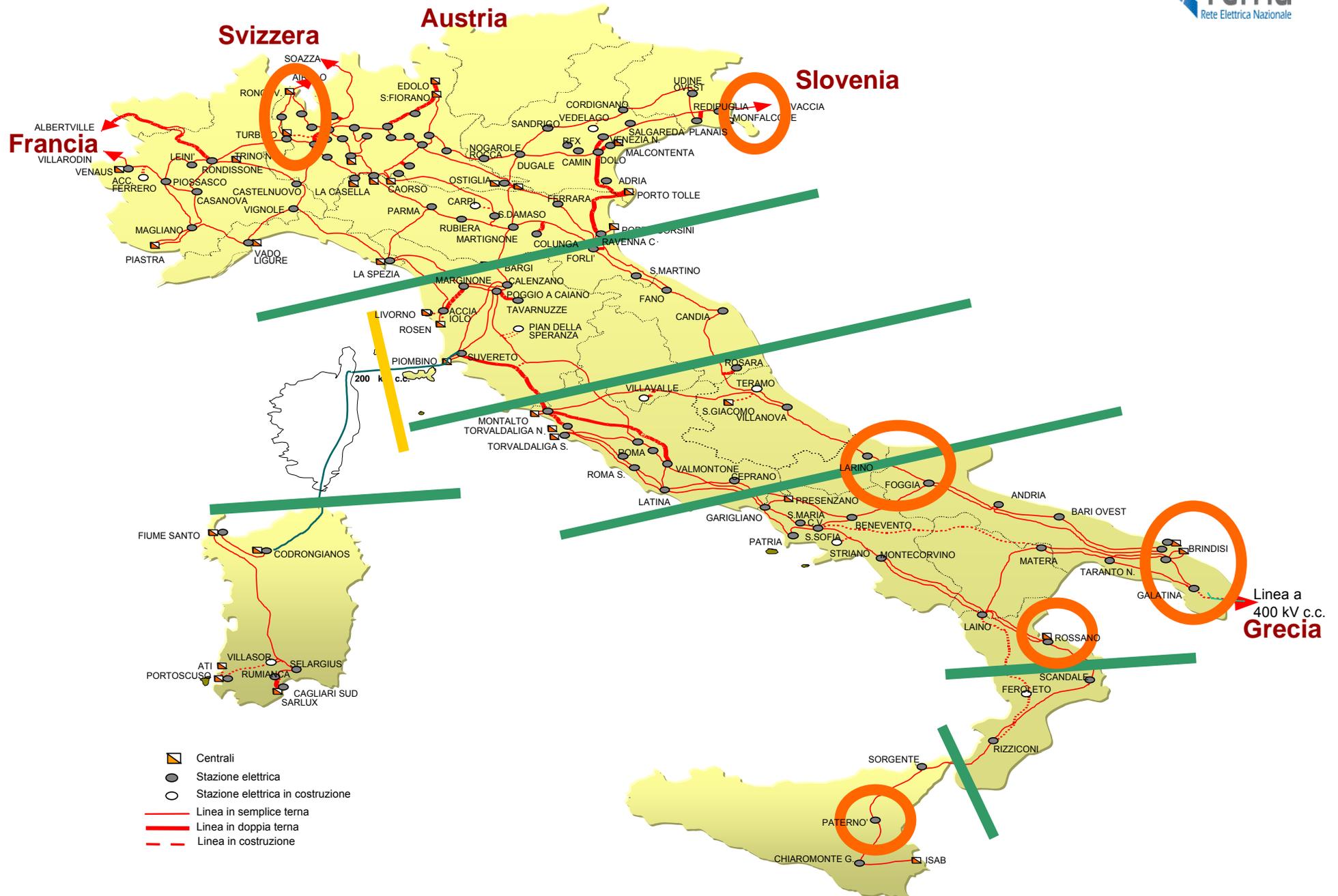


# Il Mercato del Giorno Prima: prezzo di equilibrio

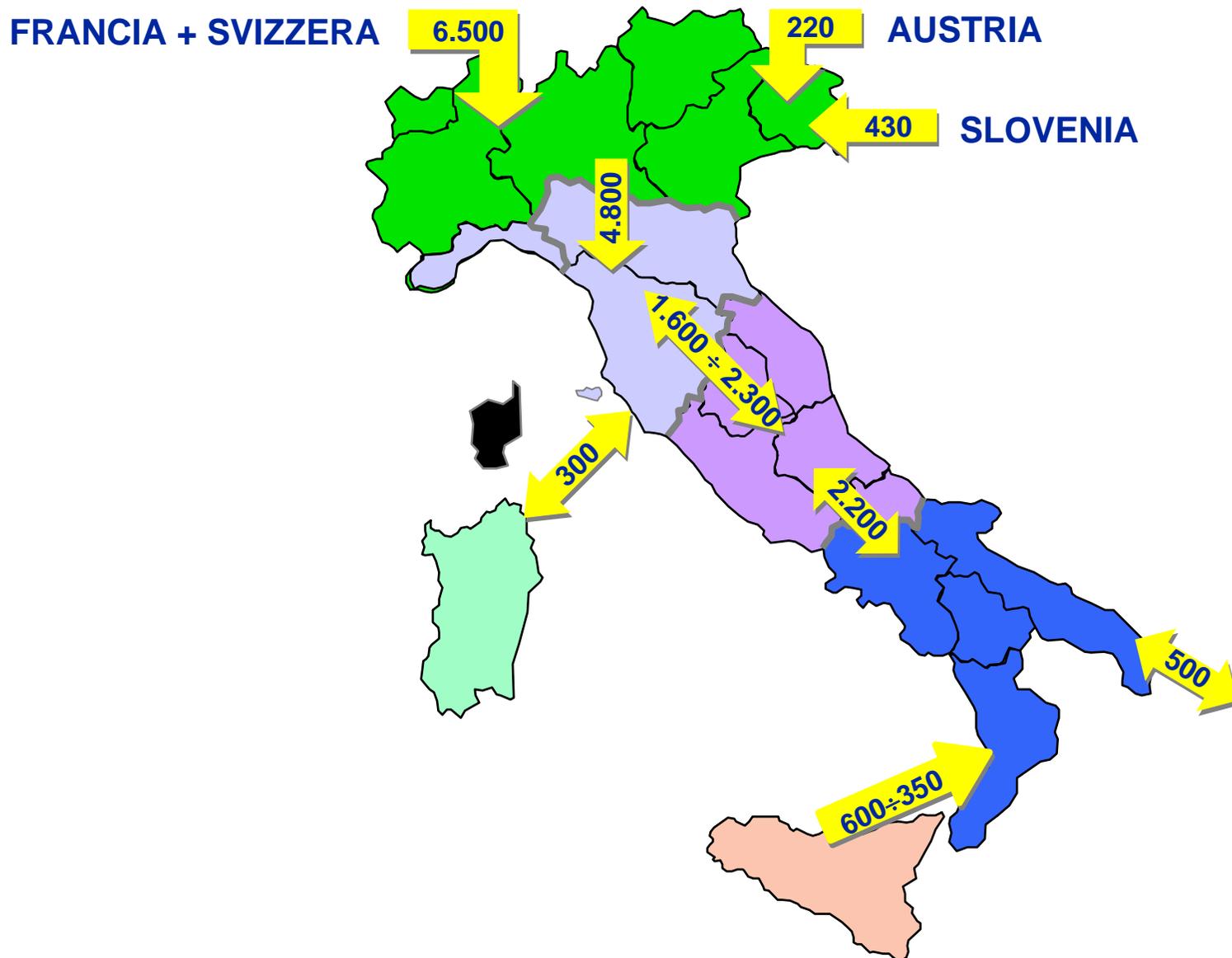
## Determinazione di quantità e prezzi di equilibrio sul mercato del giorno prima dell'energia



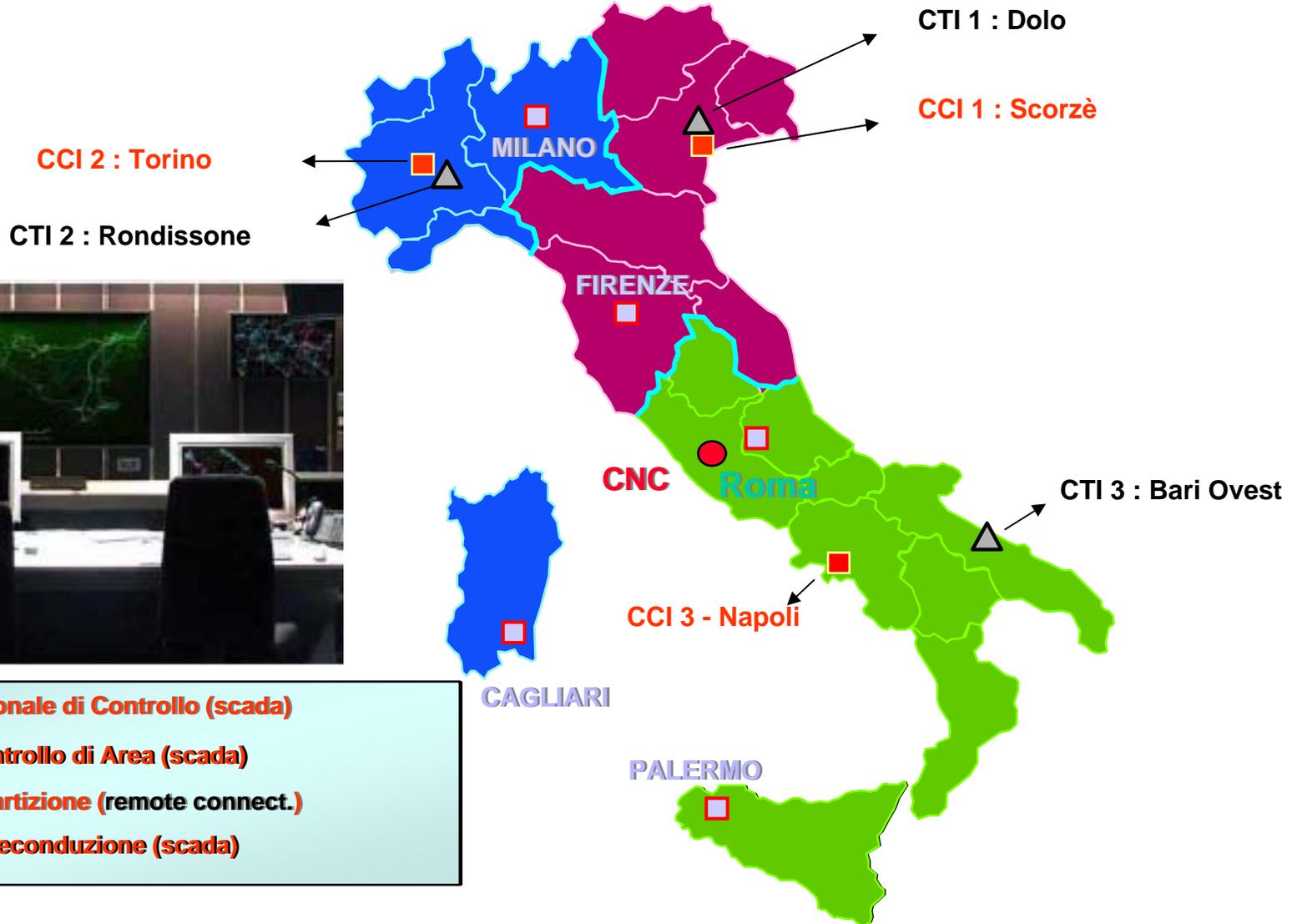
# Sezioni Critiche (Zone di Mercato) e Poli limitati



# Esempio di limiti di transito dei flussi tra zone

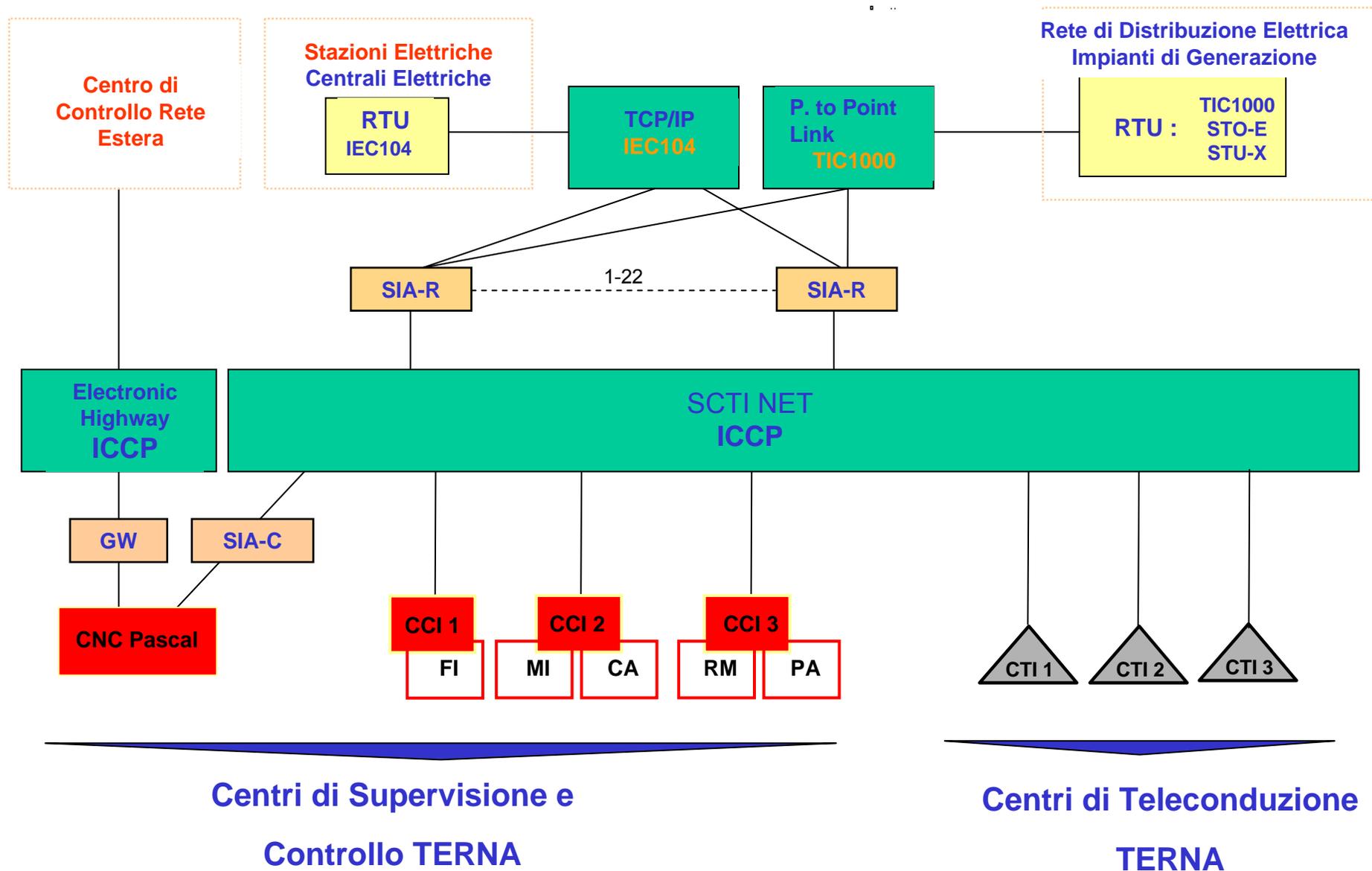


# I Centri di Supervisione, Controllo e Teleconduzione



- **1 CNC – Centro Nazionale di Controllo (scada)**
- **3 CCI – Centro di Controllo di Area (scada)**
- **5 CR - Centro di Ripartizione (remote connect.)**
- △ **3 CTI – Centro di Teleconduzione (scada)**

# Architettura del controllo del sistema elettrico



# I Componenti del Sistema di Controllo e Conduzione

---



**REMOTE TERMINAL UNITS** che acquisiscono dati da :

- 362 Stazioni Elettriche
- 600 Centrali Elettriche di Produzione (costituite da 1200 generatori)
- 1000 Cabine della Rete di Distribuzione ad alta tensione

**24 NODI CONCENTRATORI** basati su sistemi di mercato

- Acquisiscono i dati dalle RTU con protocollo IEC 870-5-104 (e altri protocolli proprietari)
- Distribuiscono i dati ai Centri SCADA via IEC-TASE 2 (ICCP)

**1 CENTRO SCADA NAZIONALE (CNC)** con un sistema di controllo proprietario

- Acquisisce solo una parte di tutti i dati del sistema elettrico (rete a 380/220 kV e le centrali maggiori).
- Gestisce le Regolazioni principali e i servizi di sistema.

**CENTRI SCADA di AREA** basati su piattaforme di mercato.

3 CENTRI DI SUPERVISIONE DI AREA (CCI) : 380/220/150/132 Kv and generation

- 5 CENTRI DI SUPERVISIONE DI AREA che sono connessi ai sistemi SCADA dei CCI

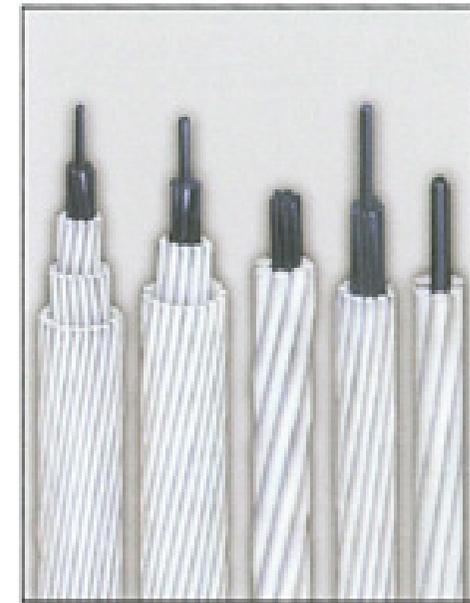
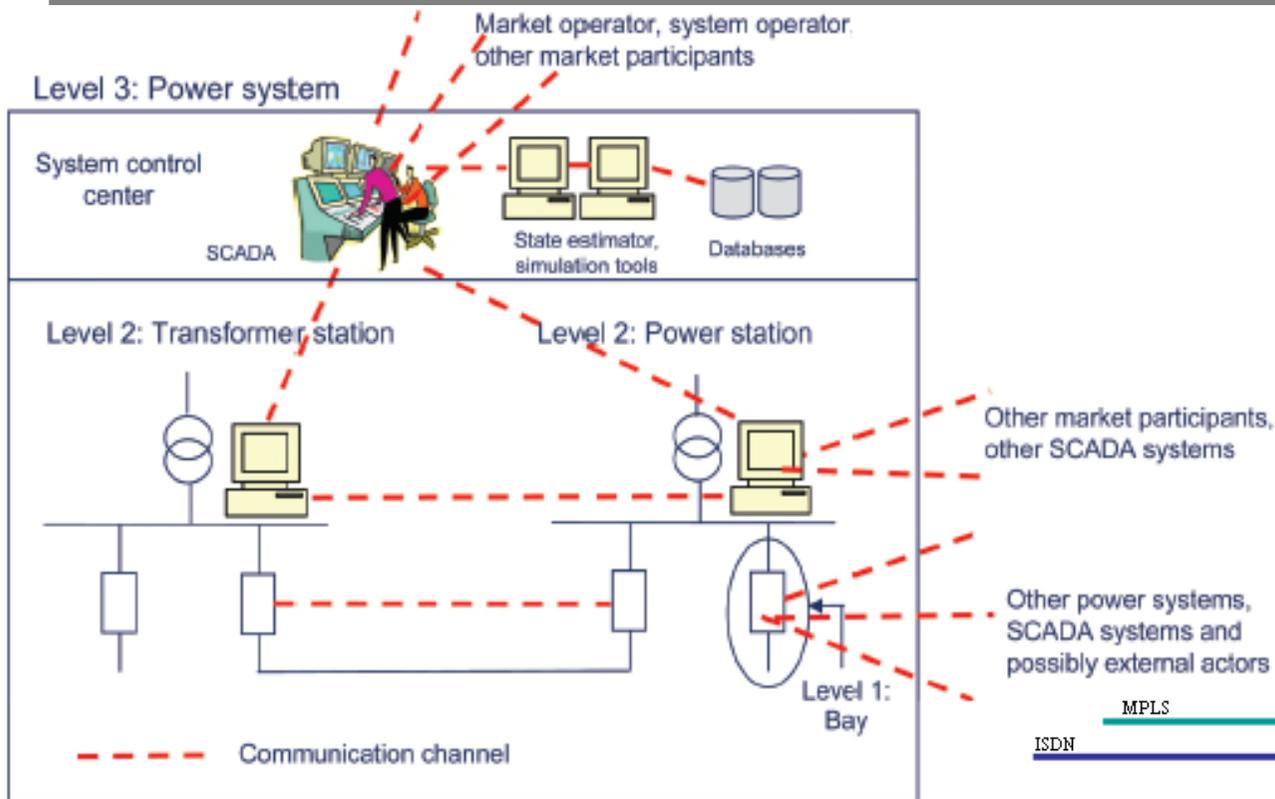
3 CENTRI DI TELECONDUZIONE (CTI) di tutta la rete di trasmissione ad alta tensione.

**GATEWAYS**

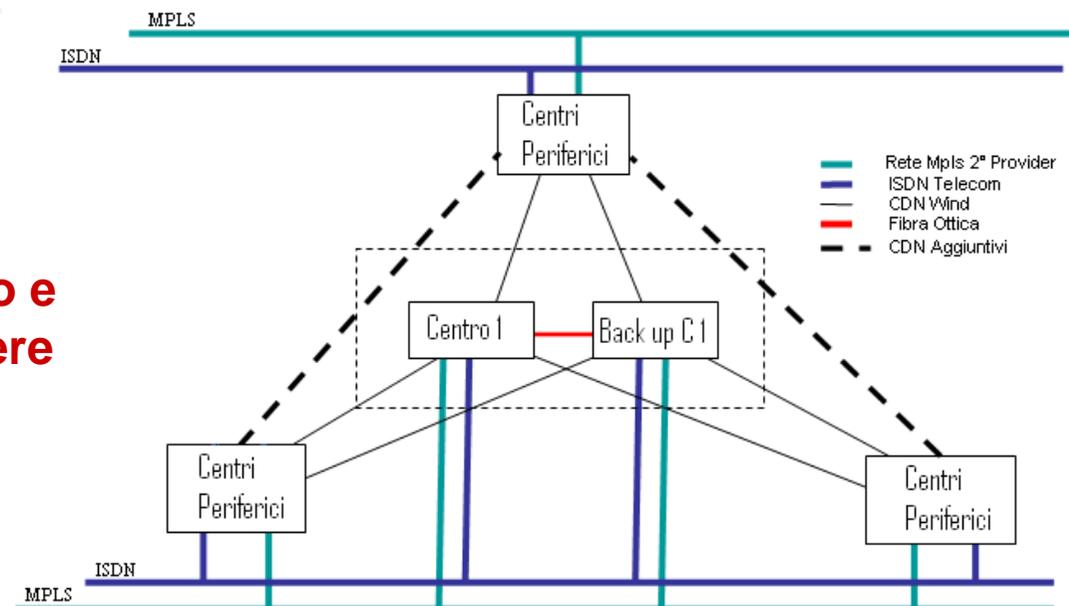
1 GW dedicato allo scambio con i Centri di Controllo Esteri

1 Nodo Concentratore (SIA-C): esegue il front-end tra i sistemi di mercato CCI/CTI e il sistema proprietario del CNC

# Vulnerabilità: La rete di comunicazione.

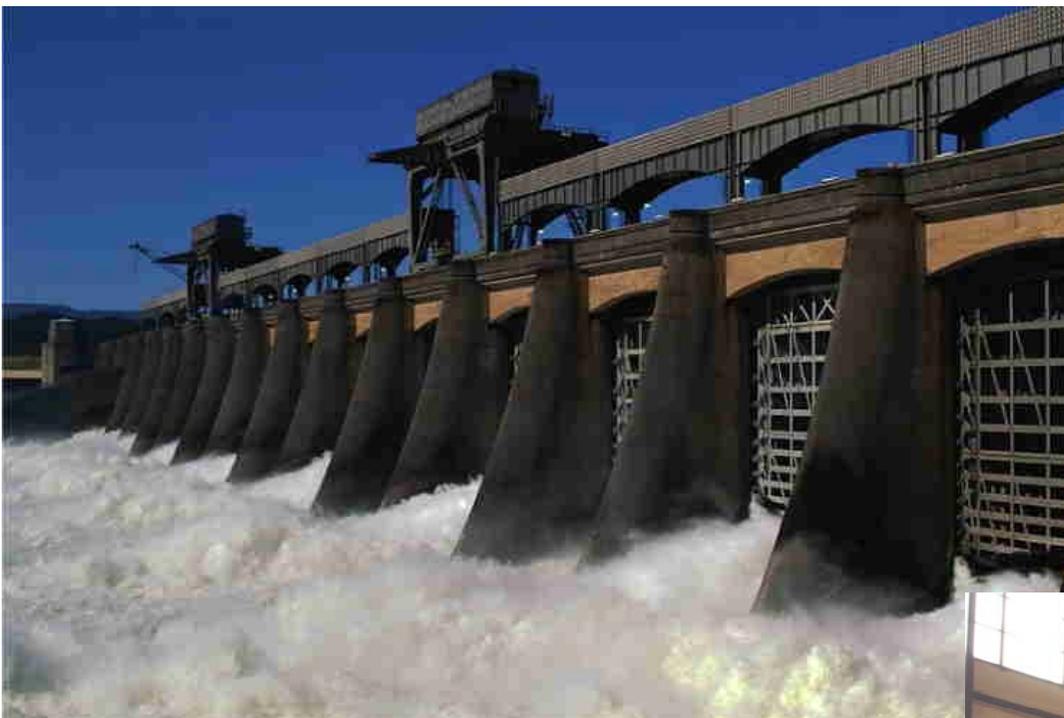


**La rete di comunicazione per il controllo e la difesa del sistema elettrico deve essere un servizio acquisito da uno o più Provider o deve essere di proprietà?**



# Vulnerabilità: Adeguatezza della generazione

**Il funzionamento del sistema elettrico è intrinsecamente instabile. La stabilità è mantenuta dai generatori che, quindi, devono avere delle idonee caratteristiche e prestazioni.**



# Mitigazione Vulnerabilità: I Servizi di Rete

---



*Continuità e la Qualità* dell'alimentazione elettrica → servizi di sistema da parte dei generatori.

I generatori devono essere idonei allo svolgimento dei servizi → **Regole**.

Le Regole devono essere non discriminatorie → istituzione di servizi economici per il grado di sicurezza e qualità programmati.

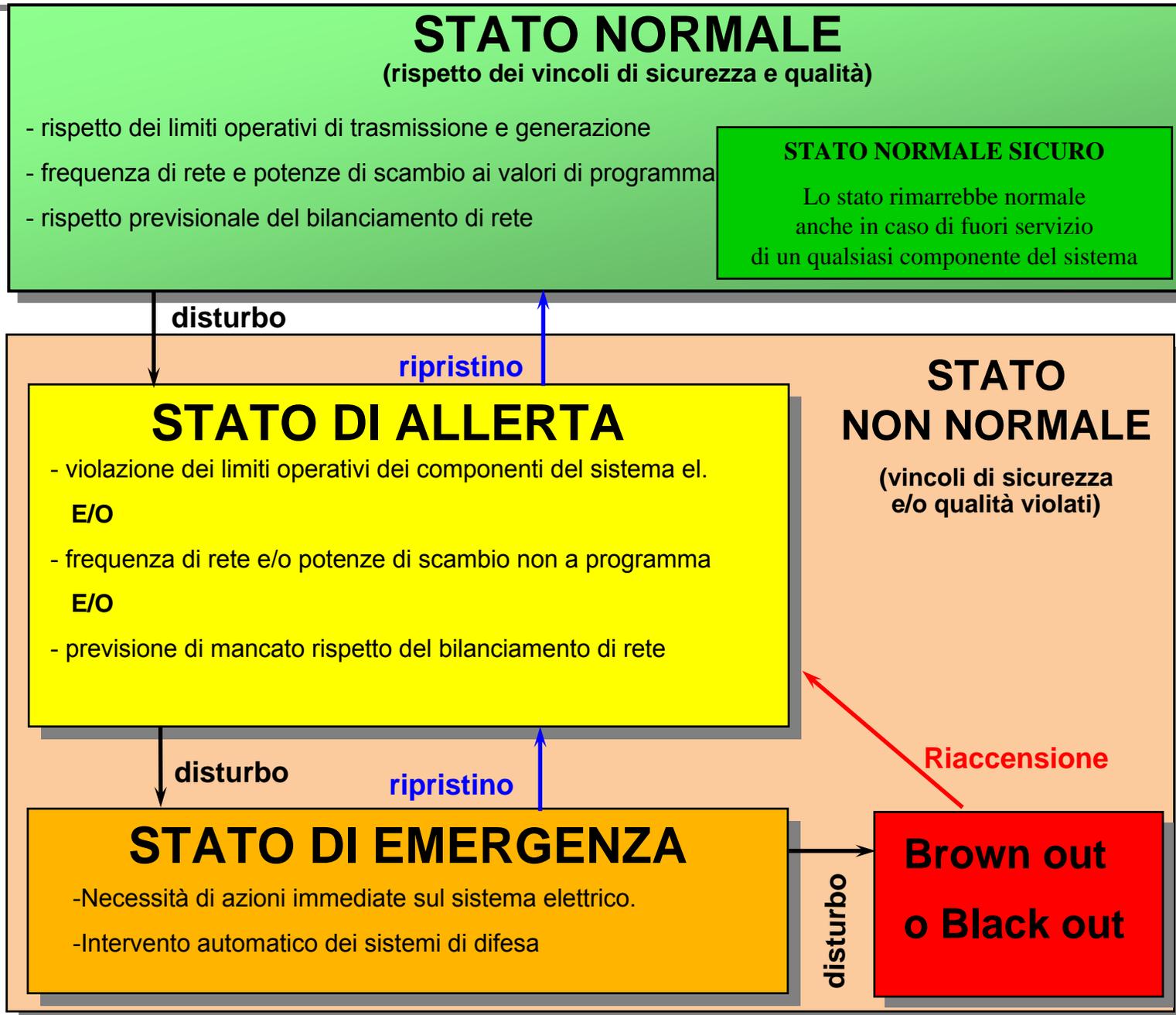
Alcuni servizi sono:

- **Regolazione di Frequenza e Potenza.**
- **Regolazione di Tensione.**
- **Riaccensione.**
- (Bilanciamento, Interrompibilità, Telescatto).

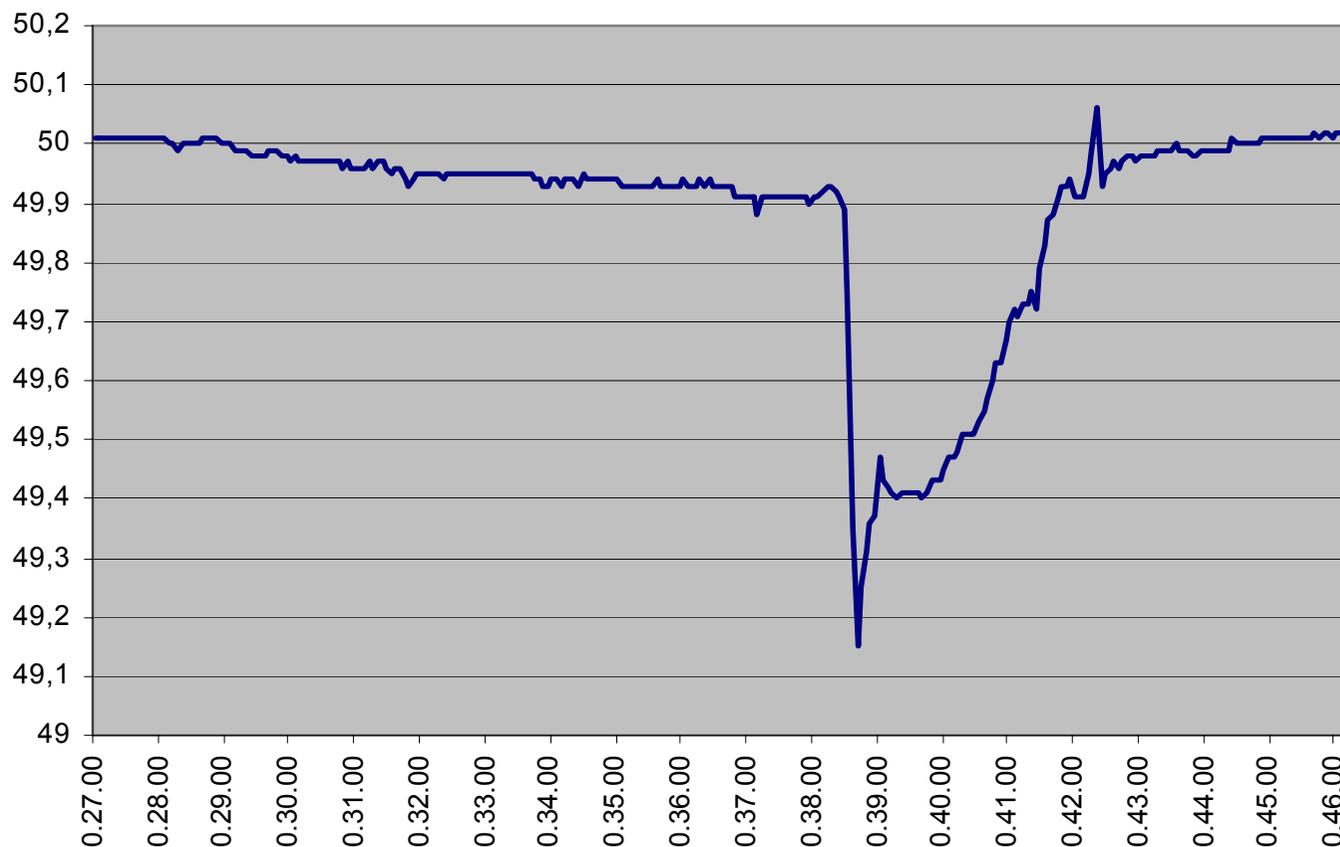
# Mitigazione Vulnerabilità: Criterio di Sicurezza N-1

- La perdita di un qualsiasi elemento di rete (linea, trasformatore, gruppo di produzione, ecc.) non deve provocare disalimentazioni di utenza e sovraccarichi sui restanti elementi di rete.
- Regola applicata in tutte le reti europee
- A seguito dello scatto di un collegamento, le correnti sulle restanti linee possono raggiungere transiti superiori (di circa il 20%) a quelli ammessi.
- Occorre, in tal caso, effettuare re-dispacciamenti di produzione per riportare tali transiti (in tempi dell'ordine di 10-20 min) ai valori ammessi.

# Stati di funzionamento di un sistema elettrico



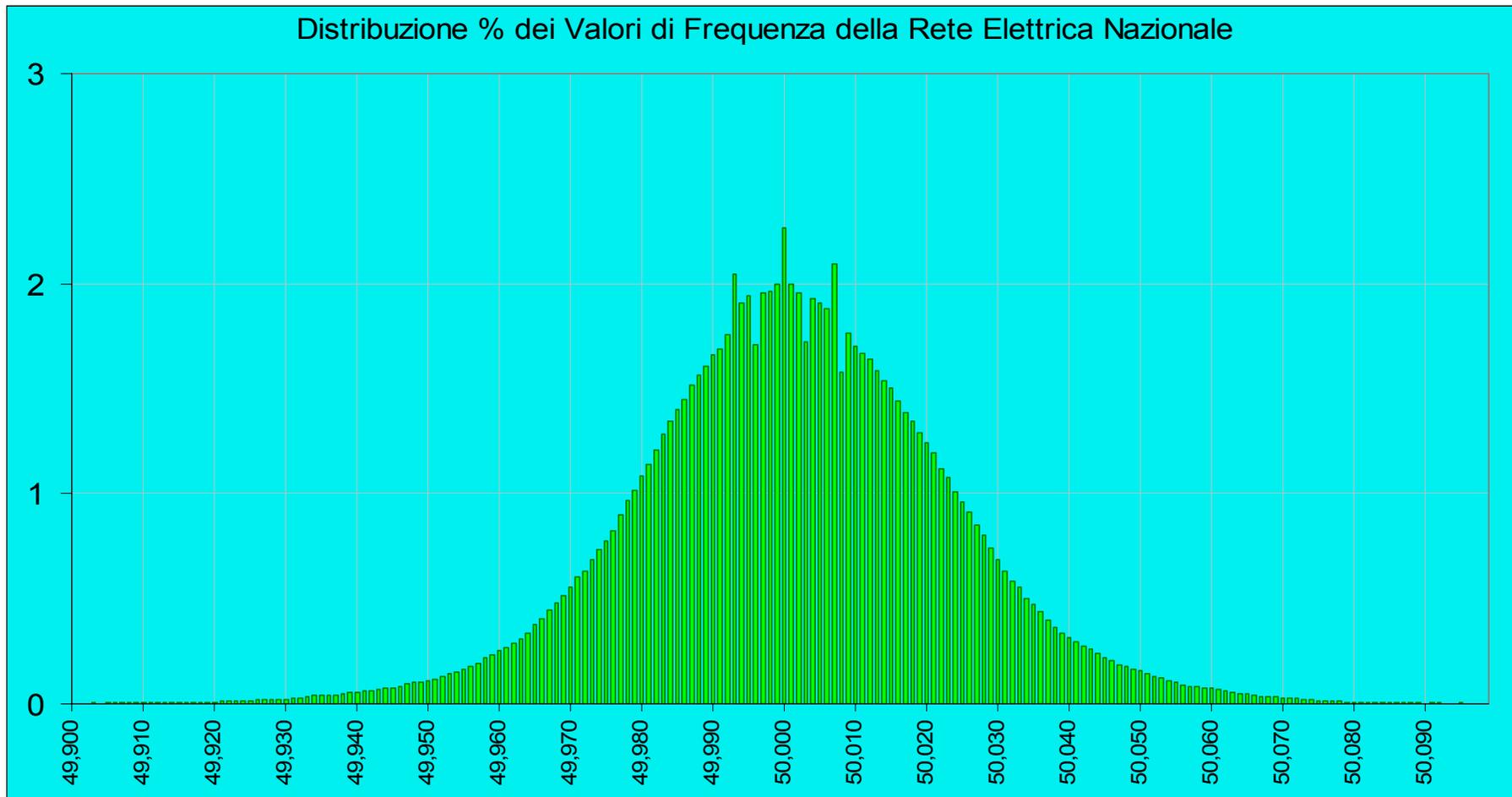
# La Regolazione della Frequenza



Frequenza di un sistema elettrico isolato per perdita di produzione e intervento del distacco automatico di parte del carico e della maggiore potenza prodotta dalle rimanenti unità di produzione per regolazione primaria e secondaria locale.

# Effetto della Regolazione Primaria della Frequenza

Totale campioni	2.416.733
Frequenza media	50,00136
Deviazione Standard $\sigma$	0,022085
Distribuzione entro $\pm \sigma$	72,08%



# Minacce: Eventi di disturbo per l'esercizio

---

**E' "saltata" una linea!**



# Minacce: Eventi di disturbo per l'esercizio



## **Deficit di Produzione**

Centrale La  
Casella  
Fiume Po  
Estate 2003

# Minacce: Eventi di disturbo per l'esercizio

## Guasti permanenti dei componenti

(Autotrasformatore distrutto da una fulminazione atmosferica)

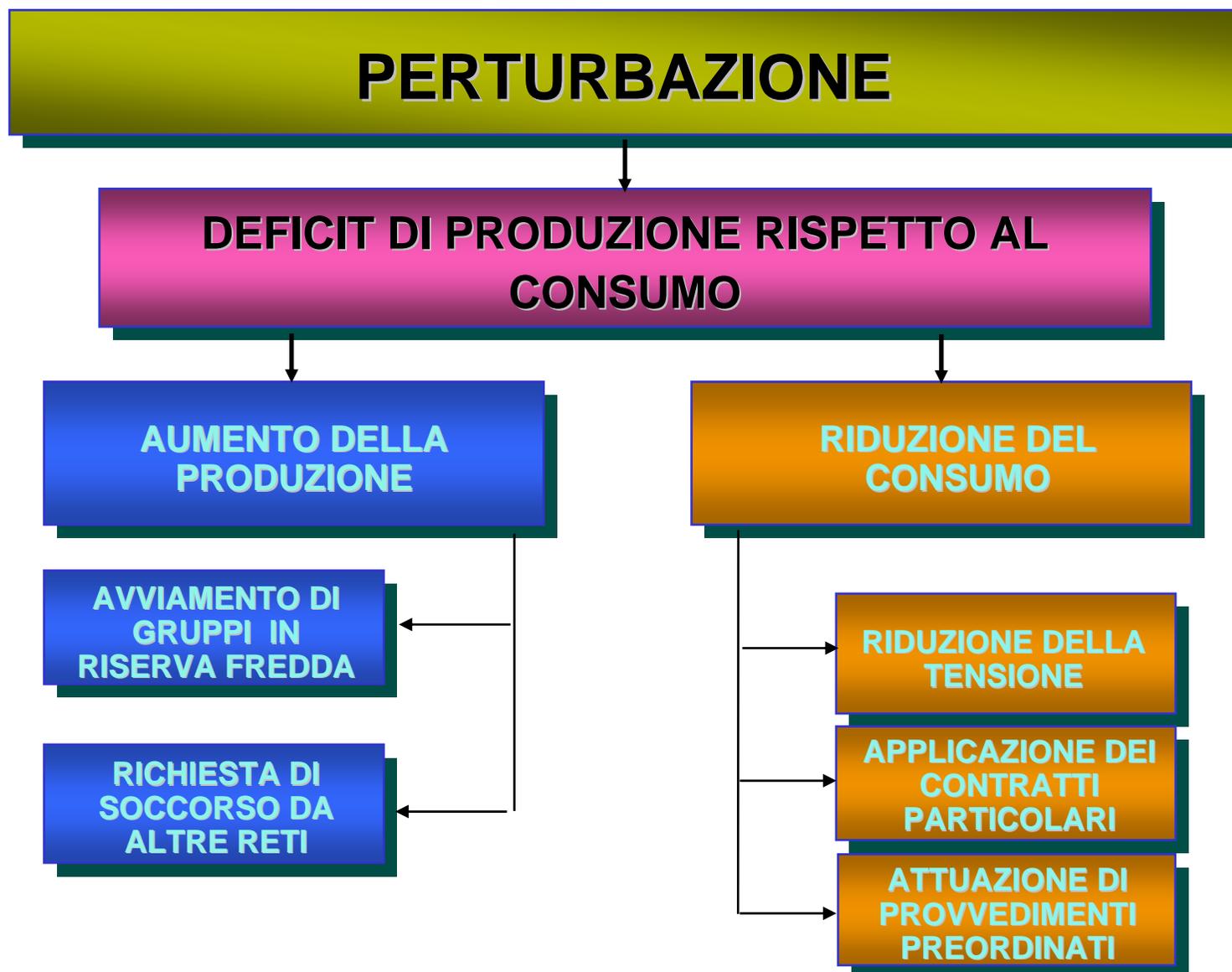


# Minacce: Eventi di disturbo per l'esercizio

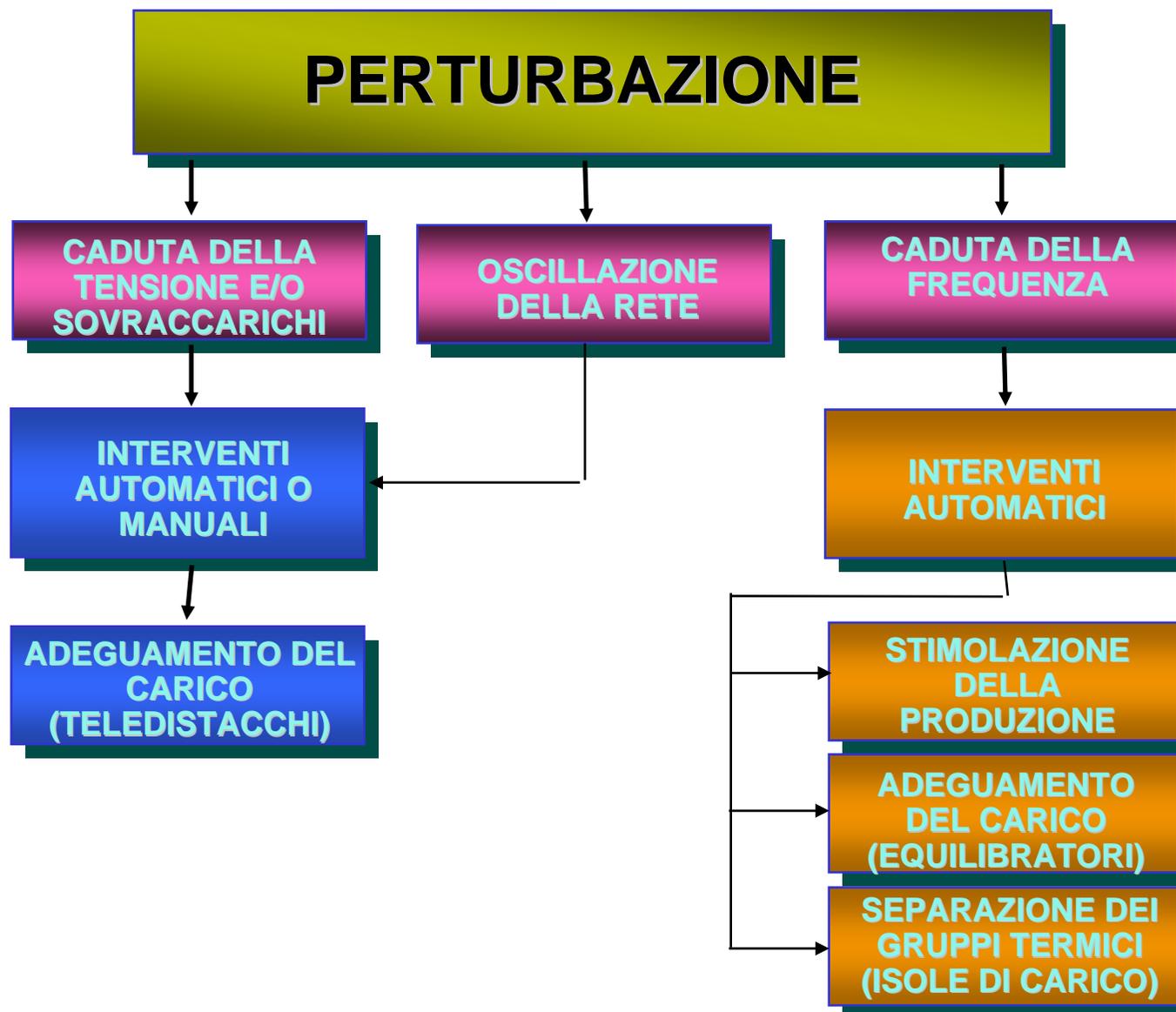


Rottura sezionatore per sovraccarico – (black out in Svezia, estate 2003)

# Incidenti ad evoluzione lenta



# Incidenti ad evoluzione rapida



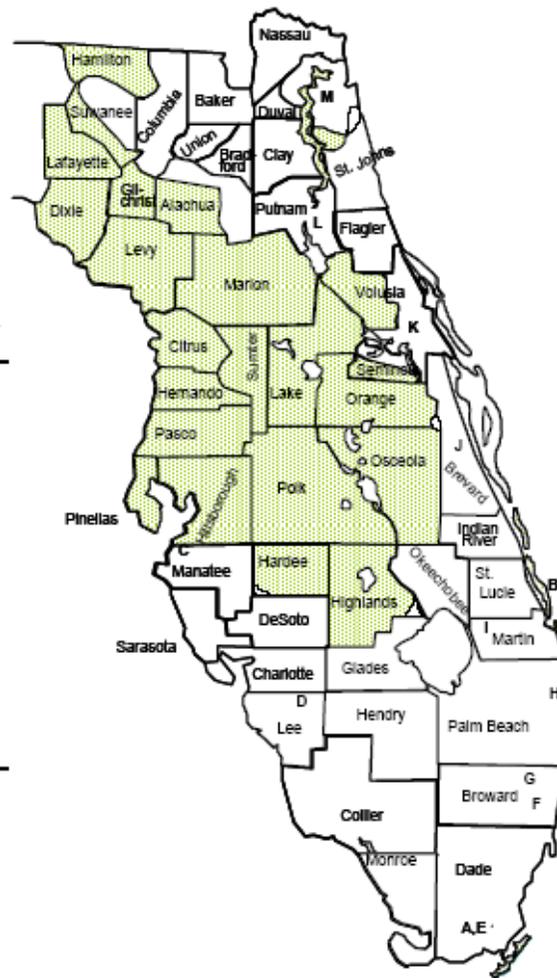
# Esempio: Black out in Florida – 26 febbraio 2008



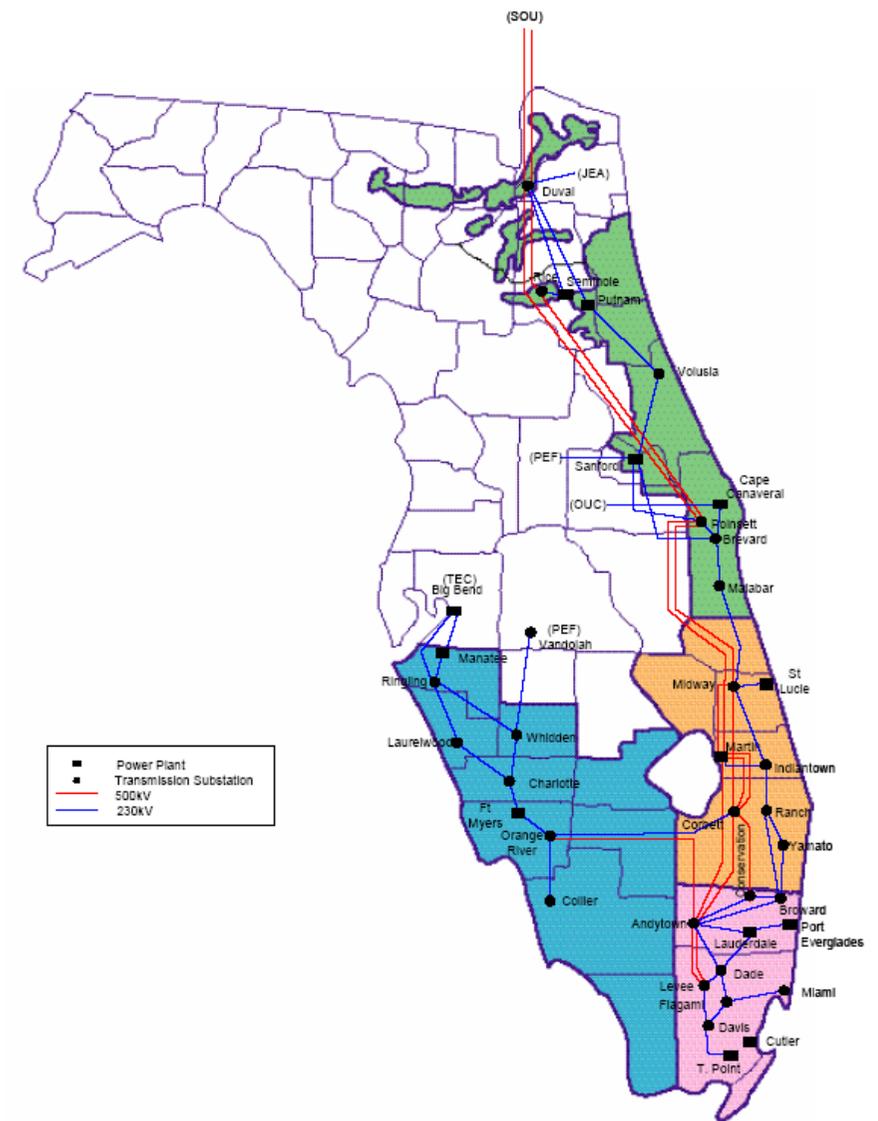
- A "significant equipment failure" at an electric substation in West Miami-Dade County Tuesday afternoon caused a nearby nuclear reactor to shutdown, triggering waves of power outages from Key West as far north as Daytona Beach and Tampa.
- Spokeswoman estimated 700,000 customers were affected, adding that most will have power restored no later than 5:30 p.m.
- Sixty intersections in Broward County were without power at the height of the outage, said .....
- Although the blackout hit as a cold front moved into the area and triggered massive storms in some areas, the events are not connected, FPL said.
- The Nuclear Regulatory Commission said that the two FPL nuclear reactors at Turkey Point about 25 miles south of downtown Miami automatically shut down around 1:09 p.m. Two other power plants farther north in the state, the Crystal River reactor and St. Lucie twin reactors, continued to operate, although officials at those two facilities noticed the grid disturbance.
- "We don't know whether the grid disturbance caused the units to shut down or that their shut down caused the grid disturbance,"
- The outages have no connection to terrorism, Homeland Security Department said. No foul play was suspected, Miami-Dade County Mayor said.
- "There are no safety concerns. The reactors shut down as designed," said Clark. He said both reactors continued to have offsite power. He said two coal-burning power plants at Turkey Point also shut down.
- Driving continued to be a problem Tuesday afternoon, with drivers having trouble.
- The impact was hardly felt by air travelers..... airports are operating on engine-driven generators.
- A railroad signal in the Boca Raton area was briefly affected by the outage, causing delays for one southbound Tri-Rail commuter train around 1 p.m., said Allen Yoder, Tri-Rail's safety and security director. No other disruptions in service were reported due to the outage, Yoder said.

# Esempio: Black Out in Florida – 26 febbraio 2008

Location/ Map Key	Plant Name	Number of Units	Summer MW
A	Turkey Point	4	2,174
B	St. Lucie *	2	1,553
C	Manatee	3	2,742
D	Fort Myers	2	1,764
E	Cutler	2	205
F	Lauderdale	2	872
G	Port Everglades	4	1,219
H	Riviera	2	565
I	Martin	5	3,738
J	Cape Canaveral	2	792
K	Sanford	3	2,044
L	Putnam	2	498
M	SJRPP **	2	250
	Scherer ***	1	648
	Gas Turbines	48	1,908
	Internal Combustion Turbines	5	12
<b>FPL Generation =</b>		<b>89</b>	<b>20,981</b>



Non-FPL Territory



# Mitigazioni Minacce: Il Piano di Difesa del sistema elettrico

---

## Tutte le azioni di controllo automatiche e manuali per:

1. Mantenere il sistema in uno Stato Normale quando sta per evolvere in uno Stato di Emergenza.
2. Riportare in una condizione di Stato Normale il sistema che sia già in Stato di Emergenza.

**1. Azioni Preventive:** ad es. distacchi manuali.

**2. Azioni di Contenimento:** ad es. distacchi automatici per le sezioni critiche.

**3. Azioni Repressive:** alleggerimento automatico del carico in funzione della variazione della frequenza.

# Mitigazione Minacce: Il Piano di Difesa del sistema elettrico

---

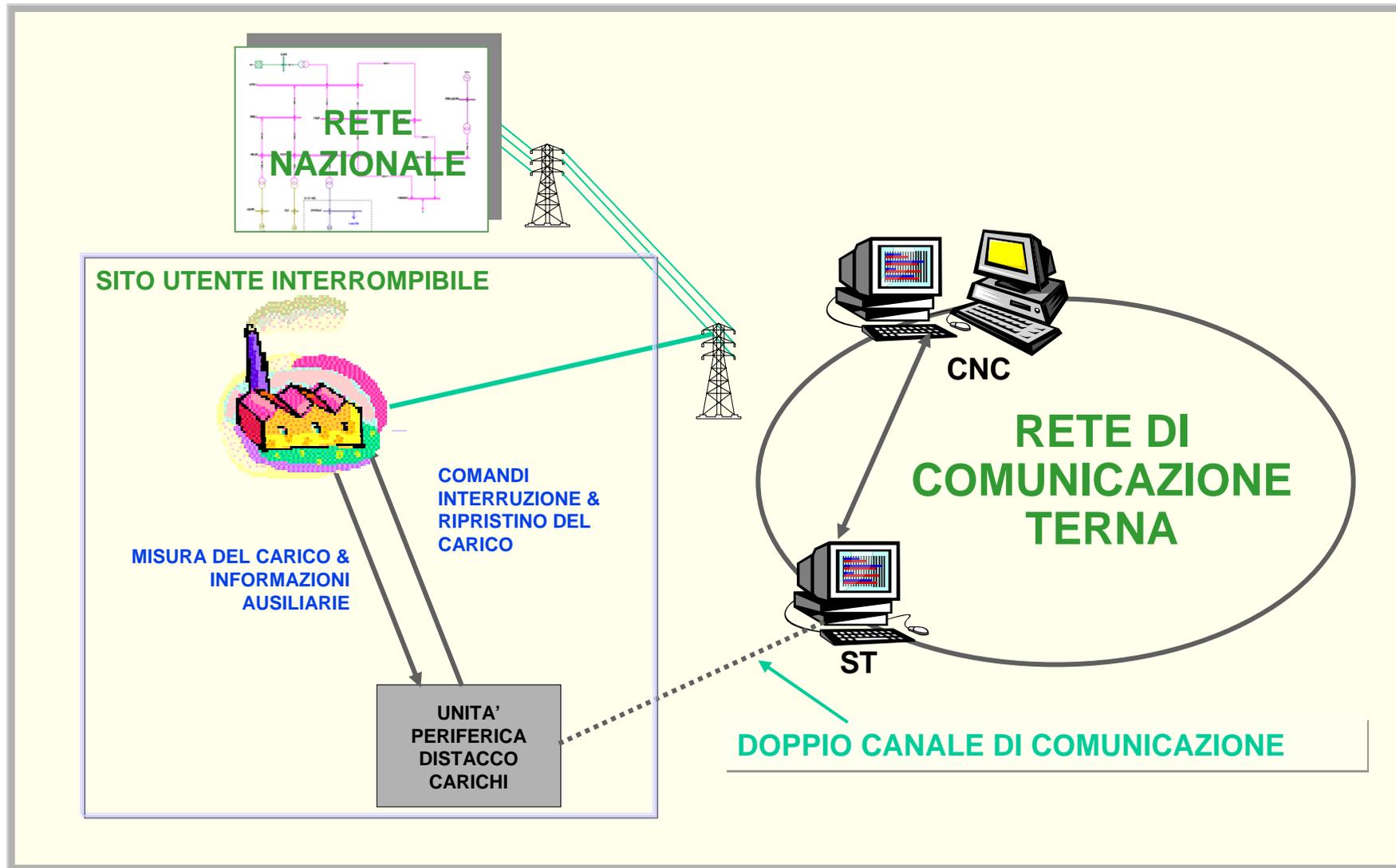
## Sistemi di difesa per Rete Interconnessa

- Controllo Automatico Sezioni critiche
- Telescatto unità di generazione
- Banche Manovra per distacco del carico
- Distacchi Programmati a Rotazione
- **Protezioni**

## Sistemi di difesa per Rete Isolata

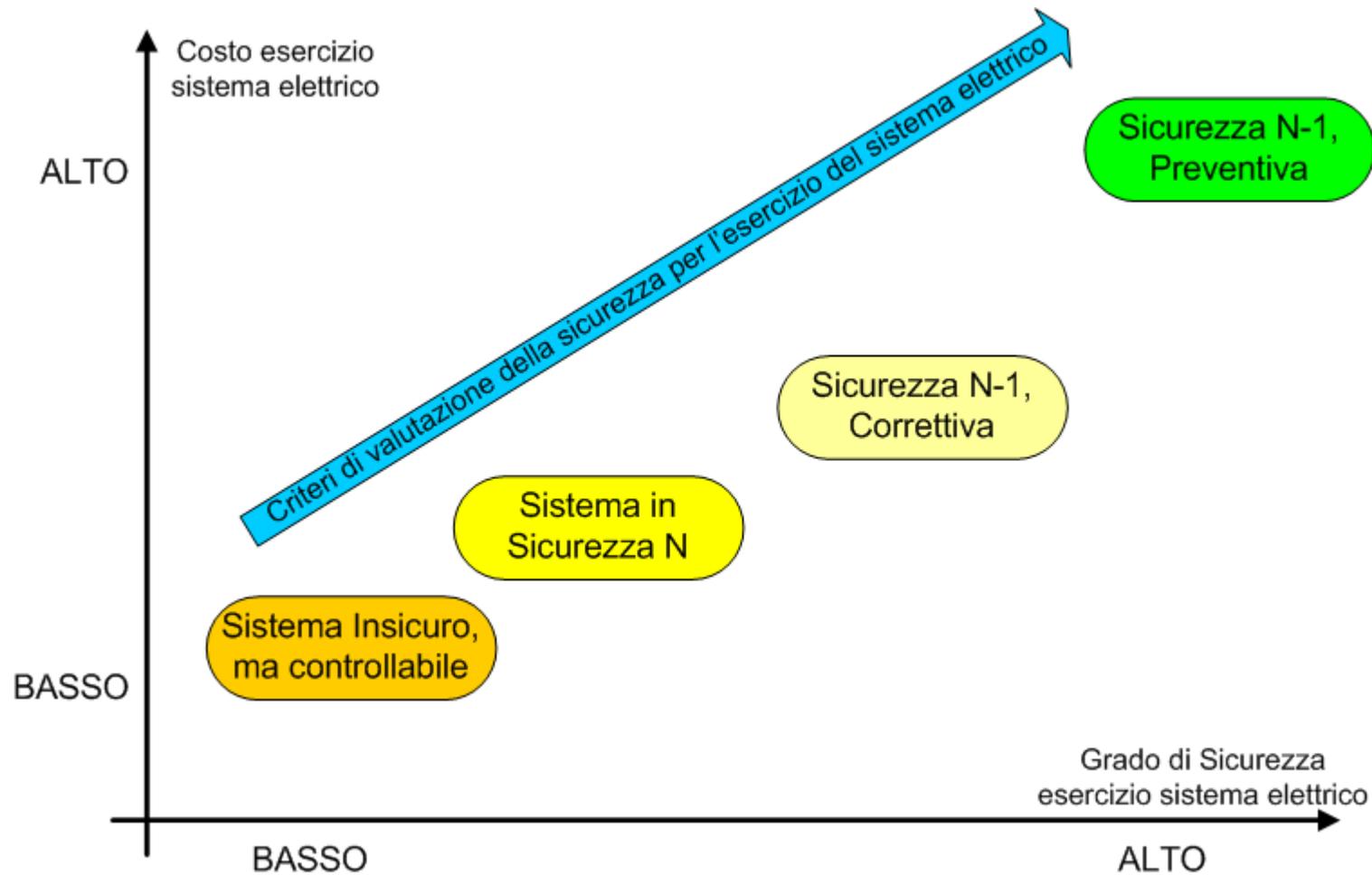
- Alleggerimento automatico del carico
- Telescatto unità di generazione (rete Sicilia)

# Esempio Sistema di Difesa: Banco Manovra Interrompibili – Architettura e Rete Comunicazione

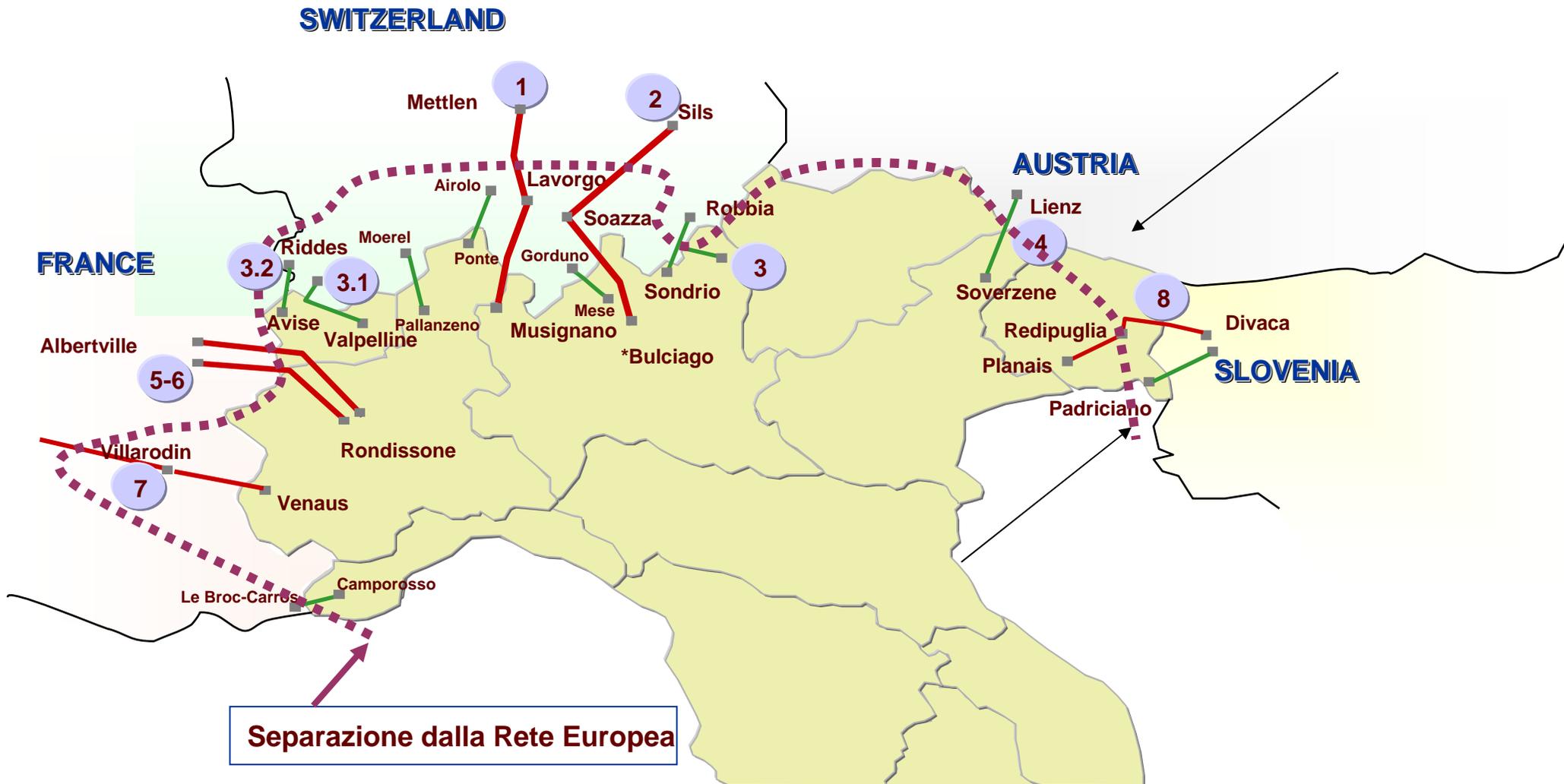


# Mitigazione Vulnerabilità:

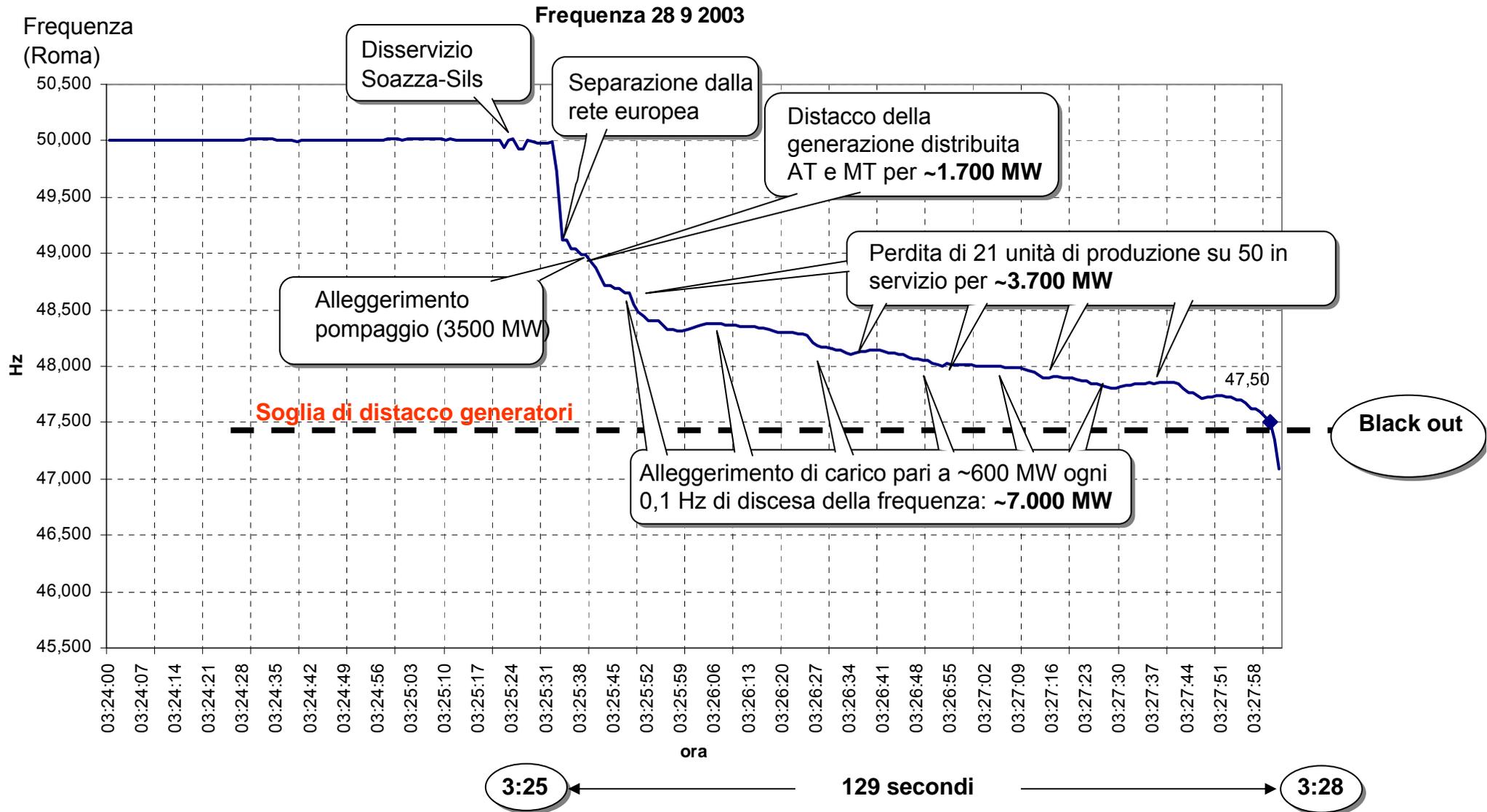
## Sicurezza esercizio / Economia esercizio



# La sequenza degli eventi il 28 settembre 2003



# L'andamento della frequenza durante il transitorio



# Il black out nazionale del 28/09/2003



Importazione F-CH-A-SL	6.400 MW
Importazione Grecia	300 MW
Carico disalimentato	23.900 MW
Energia non fornita	177.000 MWh
Frequenza min raggiunta	0 Hz



