



## ***L'impatto delle rinnovabili sul sistema elettrico***

### ***Generazione distribuita – l'esperienza del Gruppo HERA***

***Paolo Manià – Direzione Energia & IP – Esercizio***

***Fabrizio Rossi – Direzione Gas ed energia elettrica***

***Venezia Mestre, 14 Novembre 2014***

# Sommario

- **Introduzione;**
- **Generazione distribuita e regolazione delle tensioni;**
- **Perdite in rete;**
- **Pavullo;**
- **Conclusioni.**



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE  
Department of Engineering

Lab of Power Systems  
Control Theory  
Optimization and Control

Application of new voltage control rules in distribution networks

R. Compiani\*, M. Chiandone\*, F. Milano\*\*, P. Manià\*\*\* and G. Suligo\*

Affiliations:  
\*Department of Engineering and Architecture University of Trieste, Trieste, Italy  
\*\*School of Electric, Electronic and Communications Engineering University College Dublin, Belfield, Dublin, Ireland  
\*\*\*Acegaps/HERA Group, Trieste, Italy

ICRERA  
2023 October 2024  
Trieste, Italy

Optimization Research Group  
University of Essex

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE  
Department of Ingegneria e Architettura

## Minimum Loss Reconfiguration of Electrical Distribution Networks with Quality Requirements

Laura Codreanu - Department of Engineering and Architecture, University of Trieste  
Matteo Piva Favari - Department of Electronics and Informatics, Polytechnic of Bari  
Paolo Mariani - Acegas/Aps S.p.A., Trieste  
Giovanni Piccoli - Acegas/Aps S.p.A., Trieste  
Walter Florkovich - Department of Engineering and Architecture, University of Trieste

ACC 2013 - Washington D.C.



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – dati caratteristici

### HERA S.p.A. (Modena e Imola)

<b>Tabelle consistenze al 31 dicembre 2013</b>	<b>Consistenze</b>	
Impianti Primari	n°	10
Cabine secondarie	n°	3.974
Cabine secondarie con telecomando	n°	517
Sezionatori da palo motorizzati	n°	68
Linee MT	km	2.651
Linee BT	km	7.402
Utenti BT	n°	257.907
Utenti MT	n°	934

### AcegasApsAmga S.p.A. (Trieste e Gorizia)

<b>Tabelle consistenze al 31 dicembre 2013</b>	<b>Consistenze</b>	
Impianti Primari	n°	5
Cabine secondarie	n°	1.347
Cabine secondarie con telecomando	n°	57
Sezionatori da palo motorizzati	n°	0
Linee MT	km	636
Linee BT	km	1.429
Utenti BT	n°	163.431
Utenti MT	n°	251



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – sistema di telecontrollo



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – impianti telecontrollati



Gruppo HERA S.p.A.



**AcegasApsAmga**  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – impianti telecontrollati



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – impianti telecontrollati



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD: standard tecnici da ripensare

- Dimensionamento impianti;
- Correnti di guasto;
- Stabilità;
- Inversione dei flussi;
- **Mantenimento tensioni;**
- **Qualità del servizio;**
- **Perdite in rete;**
- Sistemi di protezione, etc.



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera



## GD e regolazione delle tensioni

UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE  
*Department of Engineering and Architecture*

Lab. of Power Electronics  
Electric Power  
Generation and Control



*Application of new voltage control rules in  
distribution networks*

R. Campaner\*, **M. Chiandone\***, F. Milano\*\*, P. Maniá\*\*\*  
and G. Sulligoi\*

*Affiliations:*

\*Department of Engineering and Architecture University of Trieste  
Trieste, Italy

\*\*School of Electrical, Electronic and Communications Engineering  
University College Dublin, Belfield, Dublin, Ireland

\*\*\*Acegas-Aps / Hera Group, Trieste, Italy



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

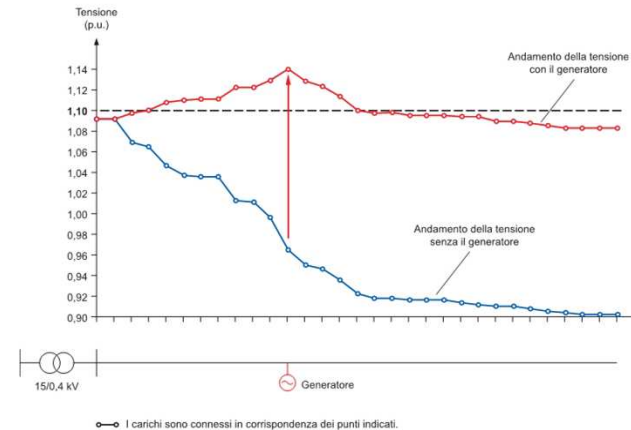
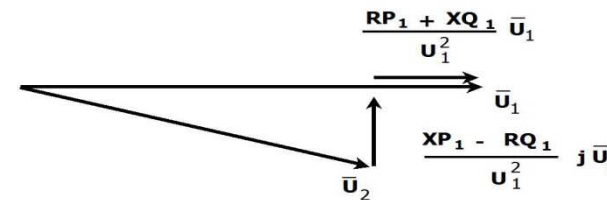
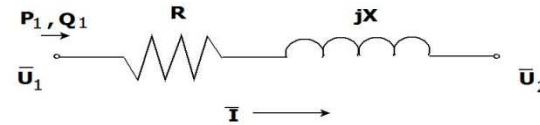
## GD e regolazione delle tensioni

- Sovratensioni causate dall'iniezione di potenza attiva nei nodi di rete;

$$U_1 - U_2 \cong \frac{RP_1 + XQ_1}{U_1}$$

### Situazioni di attenzione:

Le sovratensioni si manifestano maggiormente in corrispondenza di iniezioni di potenza attiva e bassi carichi; le reti di distribuzione non erano storicamente dotate di sistemi di misura real-time delle tensioni lungo linea, nè di sistemi di stima in tempo reale.



Gruppo HERA S.p.A.



**AcegasApsAmga**  
Società del Gruppo Hera

## GD e regolazione delle tensioni: panorama normativo

- In letteratura generale consenso circa la necessità di introdurre cambiamenti in tempo reale dei set-point dei generatori e svariate strategie di controllo sono state proposte;
- Il quadro normativo europeo che governa le connessioni della GD è in fase di armonizzazione; si presenta ad oggi ancora eterogeneo;
- In Italia gli allegati al codice di rete di TERNA A70 e A72 e le norme CEI 0-16 e CEI 0-21 hanno profondamente cambiato le regole di connessione e dinamicamente affrontano le nuove sfide che pone la GD.



Gruppo HERA S.p.A.

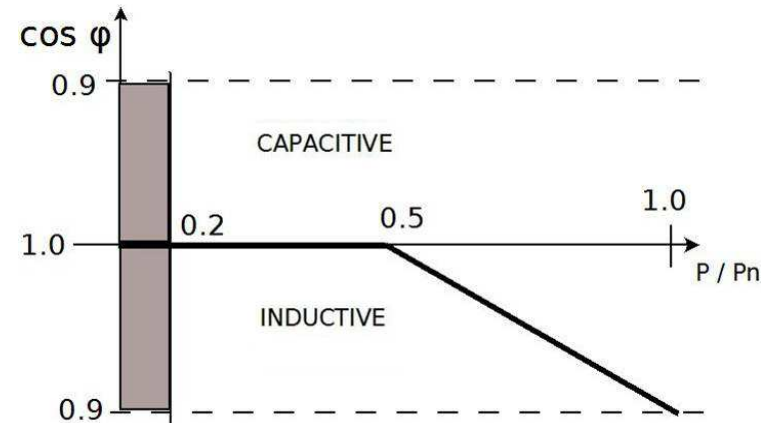


 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e regolazione delle tensioni

- Regolazione automatica della potenza reattiva in funzione della potenza attiva secondo curva caratteristica:  $\cos \varphi = f(P)$
- Assorbimento di potenza reattiva dalla GD al solo fine di limitare sovratensioni dovute all'iniezione di potenza attiva.

$$\cos \varphi = -0.2 \frac{P}{P_n} + 1.1$$



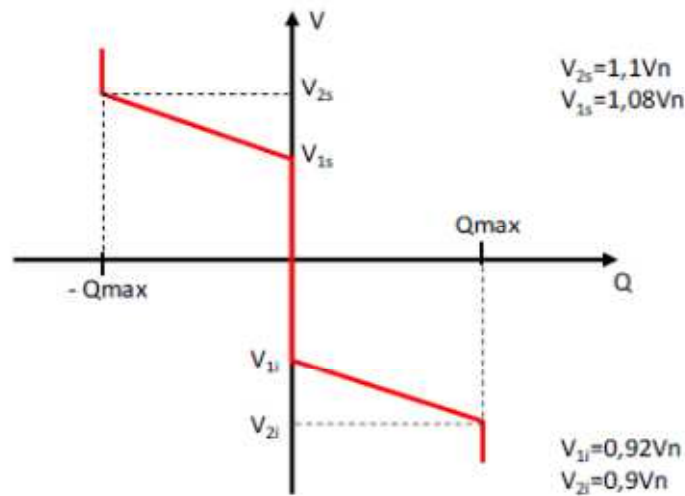
Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e regolazione delle tensioni

- Assorbimento o iniezione di potenza reattiva in funzione della tensione ai terminali di consegna;
- È un servizio di rete;
- I generatori devono essere capaci di assorbire o iniettare potenza reattiva in rete secondo una logica di controllo  $Q=f(V)$ ;










Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e regolazione delle tensioni

- Per verificare le logiche di controllo proposte dalla CEI 0-16 in un'ottiva di sviluppo della rete sono stati sviluppati scenari presenti e ipotizzati futuri;
- L'analisi è stata focalizzata su una porzione di rete che partiva già con un una forte penetrazione di GD e caratterizzata da vari sistemi di tensione: 10, 20, 110 e 132 kV
- 7 tipologie di cavo.

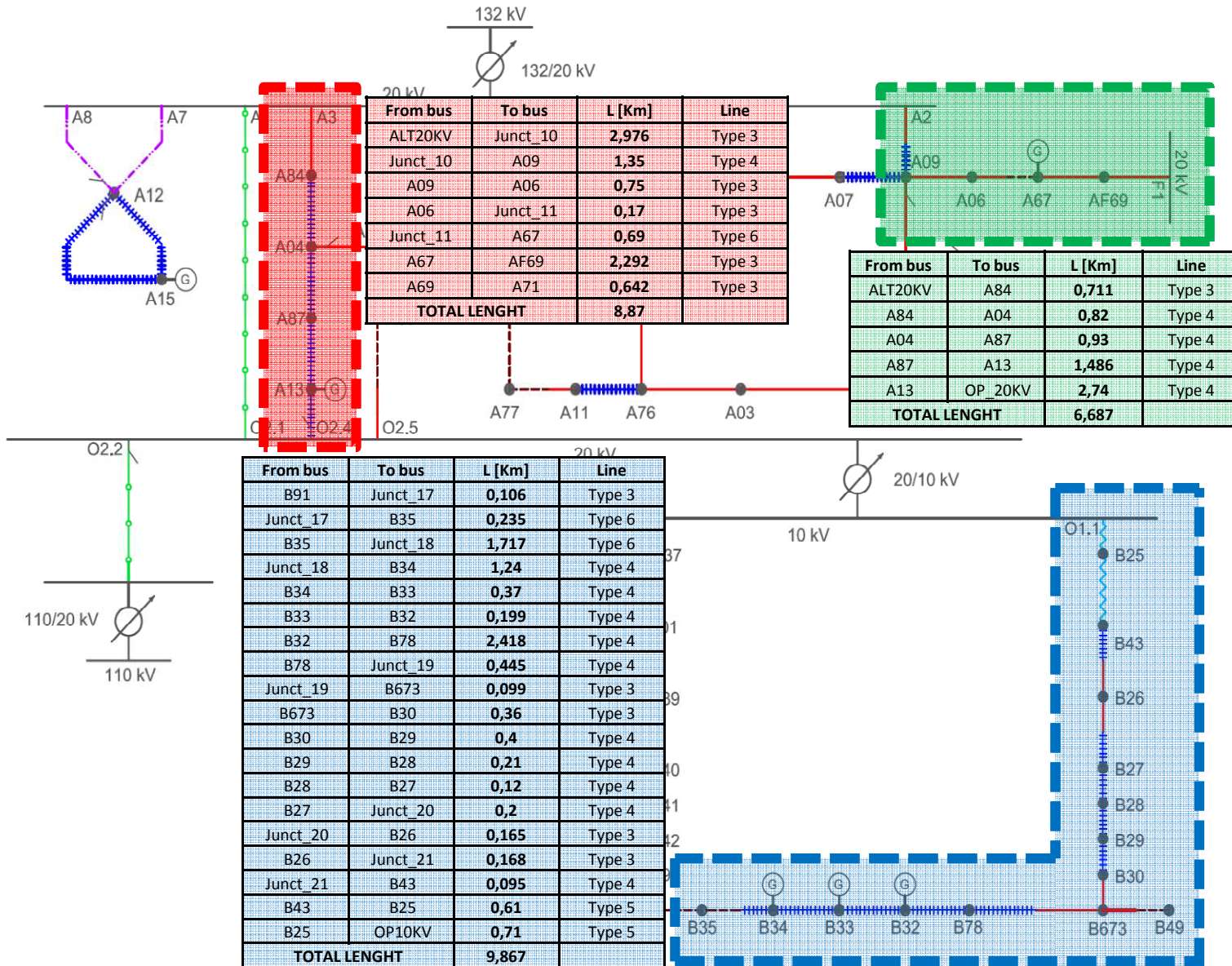
Line Type	Graphic symbol	R	l	c
		[Ohm/Km]	[mH/Km]	[μF/Km]
Type 1		0,047	0,315	0,390
Type 2		0,075	0,350	0,320
Type 3		0,124	0,350	0,270
Type 4		0,125	0,318	0,330
Type 5		0,206	0,350	0,270
Type 6		0,387	0,413	0,180
Type 7		0,524	0,446	0,170



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera



From bus	To bus	L [Km]	Line
ALT20KV	Junct_10	2,976	Type 3
Junct_10	A09	1,35	Type 4
A09	A06	0,75	Type 3
A06	Junct_11	0,17	Type 3
Junct_11	A67	0,69	Type 6
A67	AF69	2,292	Type 3
A69	A71	0,642	Type 3
<b>TOTAL LENGHT</b>		<b>8,87</b>	

From bus	To bus	L [Km]	Line
ALT20KV	A84	0,711	Type 3
A84	A04	0,82	Type 4
A04	A87	0,93	Type 4
A87	A13	1,486	Type 4
A13	OP_20KV	2,74	Type 4
<b>TOTAL LENGHT</b>		<b>6,687</b>	

From bus	To bus	L [Km]	Line
B91	Junct_17	0,106	Type 3
Junct_17	B35	0,235	Type 6
B35	Junct_18	1,717	Type 6
Junct_18	B34	1,24	Type 4
B34	B33	0,37	Type 4
B33	B32	0,199	Type 4
B32	B78	2,418	Type 4
B78	Junct_19	0,445	Type 4
Junct_19	B673	0,099	Type 3
B673	B30	0,36	Type 3
B30	B29	0,4	Type 4
B29	B28	0,21	Type 4
B28	B27	0,12	Type 4
B27	Junct_20	0,2	Type 4
Junct_20	B26	0,165	Type 3
B26	Junct_21	0,168	Type 3
Junct_21	B43	0,095	Type 4
B43	B25	0,61	Type 5
B25	OP10KV	0,71	Type 5
<b>TOTAL LENGHT</b>		<b>9,867</b>	

## GD e regolazione delle tensioni

La rete è stata simulata in 3 differenti scenari:

- livelli di generazione bassi e alti;
- senza applicare i controlli e assegnando un fattore di potenza unitario ai produttori;
- applicando il controllo sul fattore di potenza;
- applicando il controllo della potenza reattiva in funzione della tensione.



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

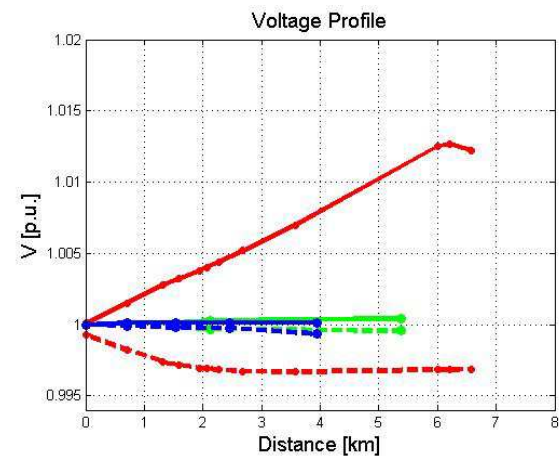


## GD e regolazione delle tensioni

- DG :

Bus	P gen [kW]
A13	780
A14	321
A15	137
A67	0
B32	997
B33	1566
B34	999

- I profili di tensione non cambiano in maniera significativa.
- I controlli di tensione non lavorano mai.



Gruppo HERA S.p.A.

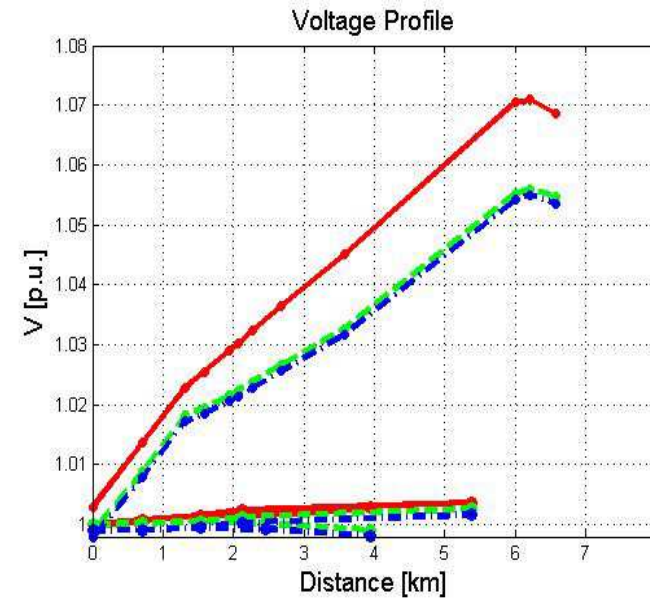


AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e regolazione delle tensioni

- La potenza dei generatori è stata quintuplicata ipotizzando scenari di notevole sviluppo della GD.
- DG:

Bus	P gen [kW]
A13	3900
A14	1605
A15	6865
A67	0
B32	4985
B33	7830
B34	4995



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e regolazione delle tensioni: conclusione delle analisi

- La fenomeno delle sovratensioni dipende principalmente da due fattori:
  - Le caratteristiche progettuali della rete;
  - La posizione dei generatori.
- Le logiche di controllo della tensione potrebbero essere implementate con la stessa regola per tutti i produttori, ma entrerebbero di fatto in azione penalizzando la GD localizzata in porzioni di rete “deboli”;



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – caso di studio 2



Operations Research Group at  
University of Trieste



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE  
Dipartimento di Ingegneria  
e Architettura

### Minimum Loss Reconfiguration of Electrical Distribution Networks with Quality Requirements

Luca Coslovich – Department of Engineering and Architecture, University of Trieste  
Maria Pia Fantò – Department of Electrotechnics and Electronics, Politecnico di Bari  
Paolo Manià – AcegasAps S.p.A., Trieste  
Giovanni Piccoli – AcegasAps S.p.A., Trieste  
Walter Ukovich – Department of Engineering and Architecture, University of Trieste

ACC 2013 – Washington D.C.



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- Minimizzazione delle perdite nei sistemi elettrici di distribuzione in presenza di:
  - Generazione distribuita nel paradigma smart-grid
  - **vincoli di qualità del servizio.**
- Rete modellata come:
  - Nodi
  - rami.
- Problema di riconfigurazione della rete inquadrato come un problema quadratico **con un approccio multiobiettivo.**



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- Il problema è stato trattato in due fasi:
  1. Modellizzazione della rete e definizione di una funzione obiettivo da minimizzare al fine di minimizzare le perdite a fronte di vincoli operativi e di qualità del servizio
  2. Un indice di qualità del servizio è associato ad ogni soluzione e un'analisi con il metodo di Pareto permette di soppesare soluzioni a minime perdite e qualità del servizio attesa;
- Per valutare il valore del metodo e affinarlo a step successivi è stato implementato sia su reti campione sia su porzioni di reti reali.



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- La rete è descritta come un grafo  $G(V, B)$ , dove  $V = \{i | i = 0, 1, 2, \dots, N\}$  è l'insieme dei nodi and  $B$  è l'insieme dei rami (tratti tra cabine secondarie)
- Ogni nodo  $i$  può rappresentare:
  - Una sorgente (immissione di P in rete)
  - Un pozzo (prelievo di P dalla rete)
  - Un nodo di transito
- Per completare il modello è stato necessario introdurre 3 nodi fittizi:
  - Nodo  $i = 0$ , che connette tutte le cabine primarie;
  - Nodo  $i = S$ , che collega tutti i nodi sorgente (non appartiene all'insieme  $V$ )
  - Nodo  $i = P$ , che collega tutti i nodi pozzo (non appartiene all'insieme  $V$ )



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- Funzione obiettivo

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_{i,j}$$

$$P_{i,j} = 3 \times r_{i,j} \times I_{i,j}^2, \quad \text{per } i, j = 1, \dots, N$$

$$r_{i,j} = \frac{Z_{i,j} \times L_{i,j}}{1,000}, \quad \text{per } i, j = 1, \dots, N$$

- Variabili decisionali:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{se sezionatore } (i, j) \text{ è chiuso, } i, j = 1, \dots, N, i < j \\ 0 & \text{altrimenti} \end{cases}$$



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera



## GD e minimizzazione delle perdite

- I vincoli del problema:
  - Intervallo di valori per le tensioni;
  - Limiti di corrente per le linee;
  - Prima e seconda legge di Kirchhoff
  - Configurazione di rete fattibile (ogni cabina secondaria deve essere raggiunta da almeno un ramo);



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- La soluzione del problema presentato **MIQPP** fornisce una configurazione di rete che minimizza le perdite;

$$\Gamma = \{G_t = (V, B_t) \mid B_t \subset B \quad \text{and} \quad G_t \text{ is a tree}\}$$

- Per trovare un set di configurazione di rete che minimizzano le perdite, le soluzioni trovate sono via via rese inammissibili di modo da ottenere nuove soluzioni e poterle poi valutare combinando parametri legati ad analisi di affidabilità e qualità del servizio;



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- Due gli indici principali sviluppati in letteratura e presenti nel quadro regolare:
  - **SAIFI** (System Average Interruption Frequency Index)
  - **SAIDI** (System Average Interruption Duration Index)
- Il problema affrontato richiede di minimizzare le perdite e massimizzare la qualità del servizio (focus su indice SAIFI)
- **Approccio Pareto; 2 fasi:**
  1. Si ottiene un set di soluzioni ottime;
  2. Ad ogni soluzione viene assegnato un indice di qualità;



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- Elaborazione SAIFI: euristicamente, si ottiene minimizzando la profondità degli alberi, ovvero cercando di far sì che la maggior parte dei clienti sia quanto più possibile prossima alle sbarre di cabine, nell'ipotesi che l'affidabilità delle linee sia la stessa.
- dunque, si può definire un indice di qualità come segue:

$$Q_i = p_i \times U_i, \quad \text{for } i = 1, \dots, N$$

where:

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^N Q_i$$

- $Q$  è l'indice del nodo  $Q_i$
- $P_i$  è la distanza del nodo  $i$  dalla sbarra MT
- $U_i$  è il numero di clienti connessi al nodo  $i$ ;
- $Q_{tot}$  è l'indice di qualità complessivo associato ad una specifica configurazione di rete.



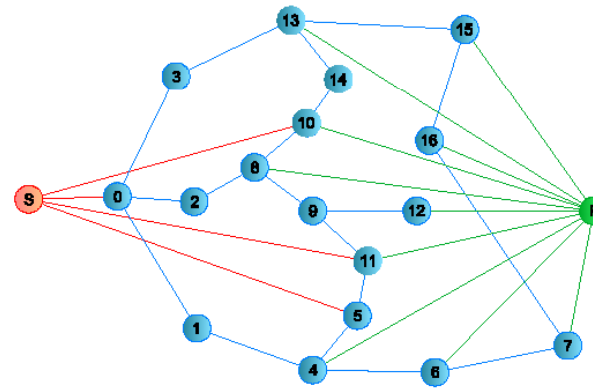
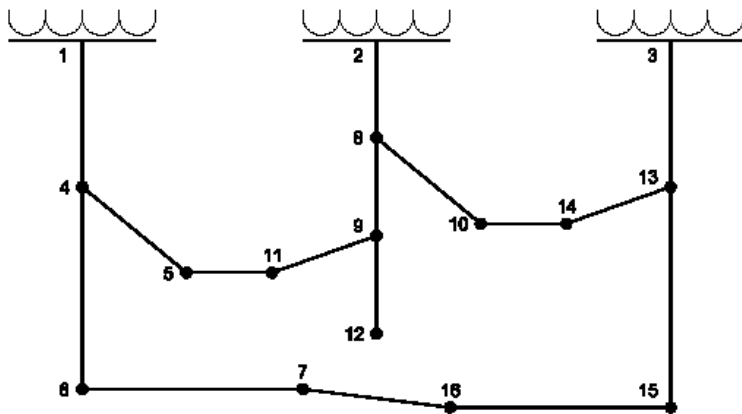
Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – caso di studio 2

- Un benchmark network



Gruppo HERA S.p.A.



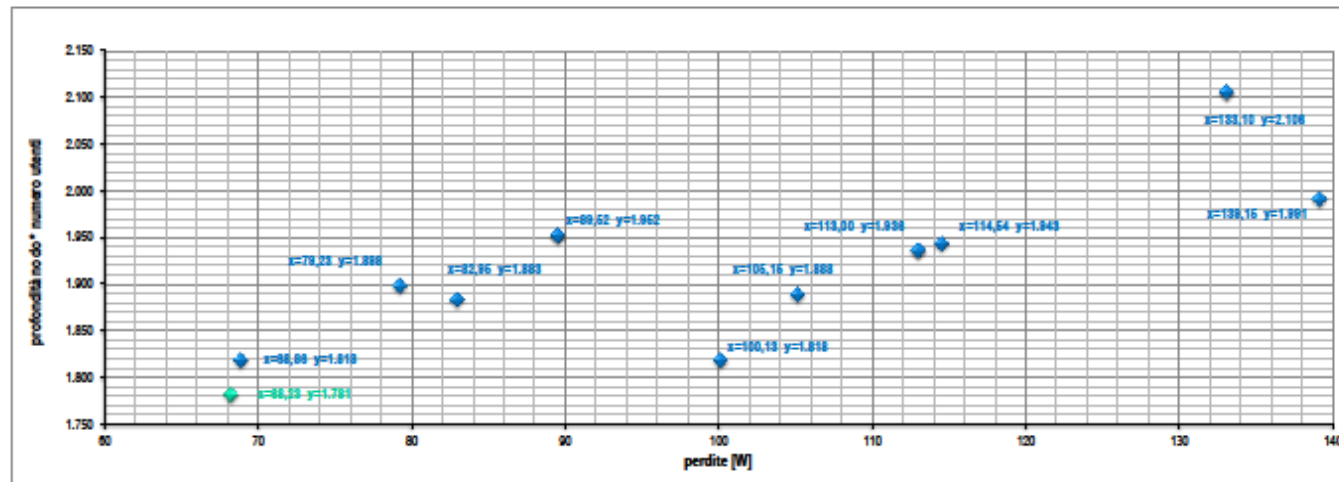
AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- Si costruisce un set di soluzioni ottime vietandole mano a mano il sistema le trova, associando a ciascuna configurazione trovata un indice di qualità complessiva
- Le differenze tra la miglior e peggior soluzione trovata al problema sono in termini di perdite sono rispettivamente:

$$\Delta P = 139.15 - 68.23 = 70.92kW$$

$$\Delta Q = 2,106 - 1,781 = 325$$



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## GD e minimizzazione delle perdite

- Nel corso dello studio si sono apprezzate diminuzioni dell'ordine del 20% cambiando i punti di sezionamento sulla rete MT;
- Intuita potenzialità della GD a patto di pianificarla in prossimità di carichi analoghi con diminuzioni significative di perdite;
- Analogia con l'assioma della lean manufacturing sulla vicinanza dei fornitori.



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – progetto pilota Smart Grid Pavullo

La diffusione degli impianti di generazione da fonte rinnovabile non programmabile sulle reti di distribuzione in BT ed MT, unitamente a sempre maggiori obiettivi di qualità del servizio ha imposto un ripensamento delle logiche di gestione della rete elettrica di distribuzione.

In uno scenario di questo tipo, la distribuzione deve essere in grado di sopportare in modo flessibile le forti variazioni dei flussi di potenza immessa e prelevata sulla rete per il trasporto della stessa.

Risulta pertanto necessario avere una rete flessibile capace di:

- ✓ garantire una corretta gestione dei flussi energetici bidirezionali facendo fronte in tempi brevi alla variazione dei flussi di potenza in rete e mantenendone i valori all'interno dei range ammissibili;
- ✓ garantire il mantenimento dei livelli di affidabilità e sicurezza del sistema elettrico riducendo la durata media delle interruzioni in caso di guasto e il numero medio degli utenti coinvolti;
- ✓ evitare la formazione di isole di carico indesiderate, l'inversione di flusso a livello dei trasformatori AT/MT di Cabina Primaria, e aumentando la hosting capacity.

HERA ha deciso di sviluppare uno specifico *know how* interno, implementando un progetto dimostrativo di applicazione delle tecnologie Smart Grid su una porzione di rete di distribuzione dell'Area Nord Ovest in partnership con Enel Distribuzione S.p.A..



Gruppo HERA S.p.A.

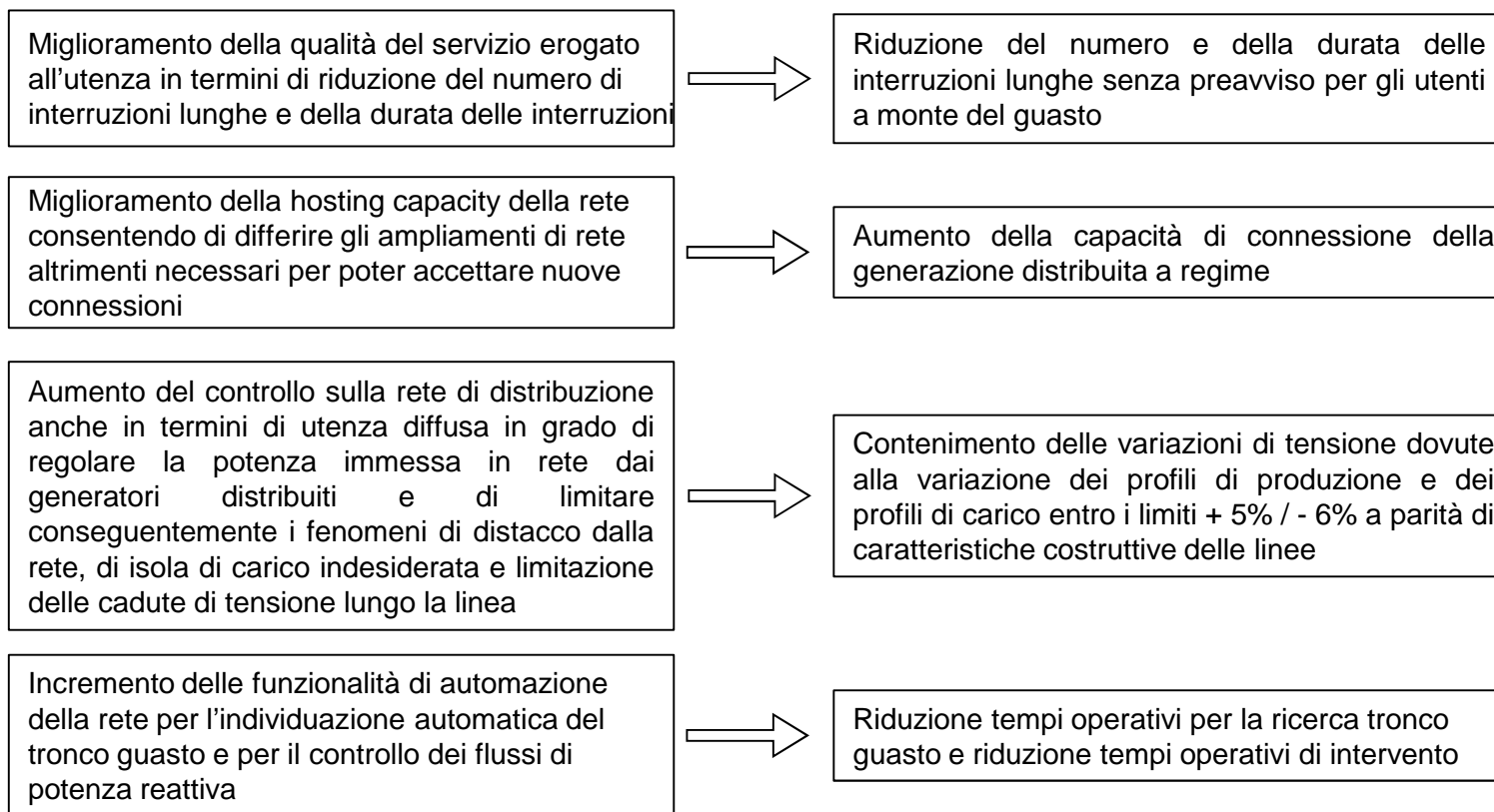


 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera



## Gruppo HERA S.p.A. – progetto pilota Smart Grid Pavullo

Benefici attesi dall'implementazione del progetto pilota



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

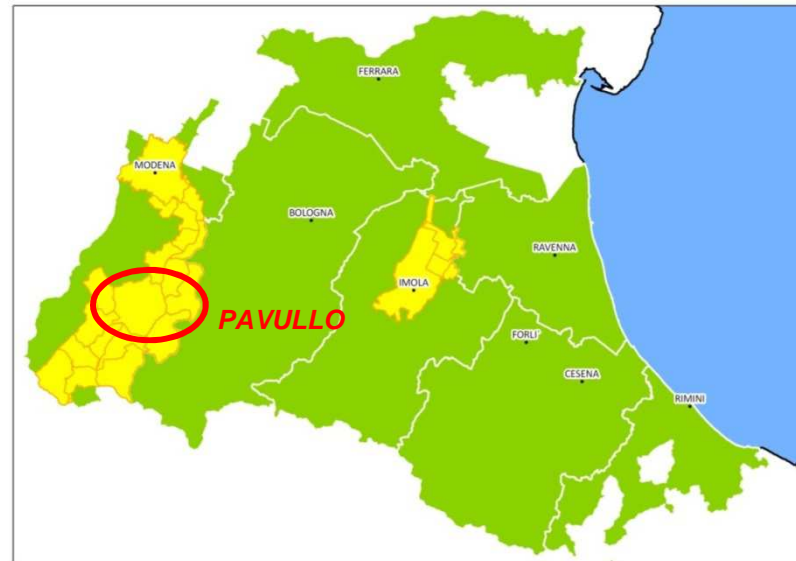
## Gruppo HERA S.p.A. – progetto pilota Smart Grid Pavullo

Nell'arco piano del progetto è prevista l'introduzione di meccanismi di controllo da remoto della Generazione Distribuita da fonti rinnovabili al fine di assicurare un'estensione dell'area di controllo della rete di distribuzione in modo da fronteggiare al meglio i fenomeni tipicamente causati dalla presenza delle suddette fonti rinnovabili non programmabili quali:

- ✓ l'inversione dei flussi energetici;
- ✓ l'innalzamento della tensione di rete.

Sono previste due fasi di sviluppo nell'ambito del progetto:

- ✓ controllo della tensione di Cabina Primaria Pavullo **off-line**: avverrà attraverso algoritmi del DMS di HERA, effettuati sulla base dei dati storici relativi agli andamenti di carichi/generazioni, in specifici periodi dell'anno;
- ✓ controllo della tensione di Cabina Primaria Pavullo **on-line**: realizzato attraverso algoritmi del DMS di HERA effettuati sulla base dei dati acquisiti dal campo in presenza di un sistema di comunicazione dedicato con i generatori installati lungo le linee MT.



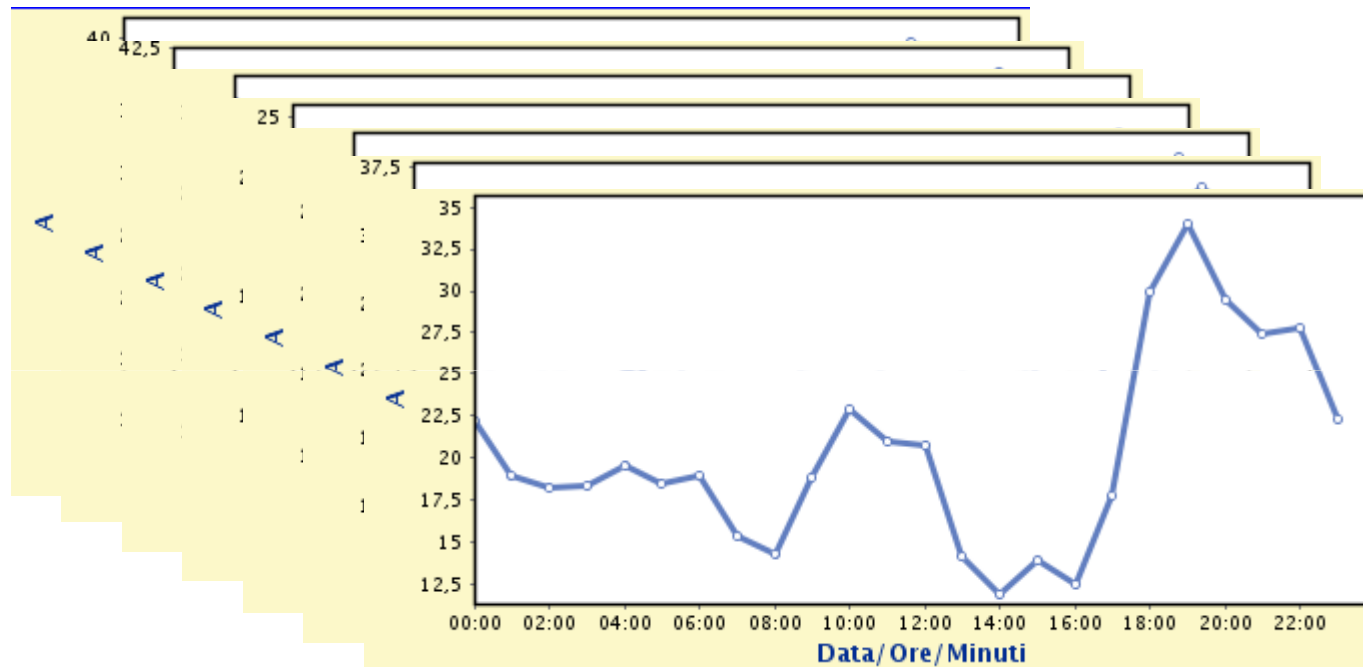
Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

## Gruppo HERA S.p.A. – progetto pilota Smart Grid Pavullo

Andamento della corrente testa linea MT (1,7 MW di fotovoltaico installato lungo linea)



Gruppo HERA S.p.A.



AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera

Gruppo HERA S.p.A.

Grazie per l'attenzione

*Domande e risposte...*

*Paolo Manià*

*E-mail: [pmania@acegasapsamga.it](mailto:pmania@acegasapsamga.it)*



Gruppo HERA S.p.A.



 AcegasApsAmga  
Società del Gruppo Hera