

# Contenido

<b>Prólogo</b> . . . . .	1
Massimo LA SCALA	
<b>Introducción. De las redes inteligentes a las ciudades inteligentes: nuevos paradigmas para las redes del futuro</b> . . . . .	9
Massimo LA SCALA y Sergio BRUNO	
<b>Capítulo 1. Flujo de potencia óptimo trifásico desequilibrado para la optimización de redes de distribución de MT y BT</b> . . . . .	39
Sergio BRUNO y Massimo LA SCALA	
1.1. Sistema avanzado de gestión de la distribución para redes de distribución inteligentes. . . . .	39
1.2. Seguimiento y control de la distribución secundaria. . . . .	43
1.2.1. Monitoreo y representación de las redes de distribución de BT . . . . .	44
1.2.2. Recursos de control de BT y arquitectura de control . . . . .	46
1.3. Flujo de potencia óptimo de distribución trifásica para redes de distribución inteligentes. . . . .	48
1.4. Formulación de problemas y algoritmo de resolución. . . . .	51
1.4.1. Formulación del problema principal . . . . .	51
1.4.2. Aplicación del método de la penalización . . . . .	52
1.4.3. Definición de un problema no restringido . . . . .	54
1.4.4. Aplicación de un método cuasi Newton. . . . .	55
1.4.5. Algoritmo de resolución . . . . .	58
1.5. Aplicación de la metodología propuesta para la optimización de una red de MT . . . . .	60

1.5.1. Caso A: reducción óptima de la carga . . . . .	62
1.5.2. Caso B: regulación conservadora de tensión . . . . .	66
1.5.3. Caso C: efectos del aumento de tensión . . . . .	68
1.5.4. Rendimiento del algoritmo . . . . .	70
1.6. Aplicación de la metodología propuesta para la optimización de una red de MT/BT . . . . .	71
1.6.1. Caso D: congestión de la red de BT . . . . .	73
1.6.2. Caso E: minimización de pérdidas y control reactivo . . . . .	76
1.6.3. Rendimiento del algoritmo . . . . .	77
1.7. Conclusiones . . . . .	78
1.8. Agradecimientos . . . . .	78
1.9. Bibliografía . . . . .	79

## **Capítulo 2. Modelos de programación lineal en enteros mixta para la reconfiguración de redes y la optimización de recursos en redes de distribución de energía . . . . .**

Alberto BORGHETTI

2.1. Introducción . . . . .	83
2.2. Modelo para determinar la configuración óptima de una red de distribución radial . . . . .	85
2.2.1. Función objetivo y limitaciones de las corrientes de líneas . . . . .	86
2.2.2. Restricciones de tensión del bus . . . . .	88
2.2.3. Ecuaciones de bus . . . . .	90
2.2.4. Ecuaciones lineales . . . . .	92
2.2.5. Restricciones de radialidad . . . . .	93
2.3. Resultados de las pruebas de configuración de pérdidas mínimas obtenidas por el modelo PLEM. . . . .	95
2.3.1. Ejemplo ilustrativo . . . . .	95
2.3.2. Resultados de pruebas para redes con varios nodos y ramas. . . . .	97
2.3.3. Comparación entre las soluciones PLEM para las redes de prueba con los correspondientes resultados de cálculo de PF relevantes para las configuraciones de red óptimas obtenidas. . . . .	103
2.4. Modelo PLEM del problema VVO . . . . .	107
2.4.1. Función objetivo . . . . .	107
2.4.2. Ecuaciones de rama . . . . .	109
2.4.3. Ecuaciones de bus . . . . .	110
2.4.4. Restricciones de rama y nodo . . . . .	114
2.5. Resultados de las pruebas obtenidas con el modelo VVO PLEM . . . . .	115

2.5.1. TS1 . . . . .	116
2.5.2. TS2 . . . . .	119
2.5.3. TS3 . . . . .	120
2.6. Conclusiones . . . . .	125
2.7. Agradecimientos . . . . .	126
2.8. Bibliografía . . . . .	126

**Capítulo 3. El rol de los algoritmos metaheurísticos inspirados en la naturaleza para la regulación óptima del voltaje en las redes inteligentes urbanas . . . . . 131**

Giovanni ACAMPORA, Davide CARUSO, Alfredo VACCARO, Autilia VITIELLO y Ahmed F. ZOBAA

3.1. Introducción . . . . .	131
3.2. Necesidades emergentes en los sistemas energéticos urbanos . . . . .	134
3.3. Hacia redes más inteligentes . . . . .	136
3.4. Optimización de redes inteligentes . . . . .	140
3.5. Algoritmos metaheurísticos para la optimización de redes inteligentes . . . . .	142
3.5.1. Algoritmo genético . . . . .	142
3.5.2. Algoritmo <i>hill climbing</i> aleatorio . . . . .	144
3.5.3. Algoritmo de optimización del enjambre de partículas . . . . .	144
3.5.4. Estrategia evolutiva . . . . .	146
3.5.5. Evolución diferencial (ED) . . . . .	149
3.5.6. Optimización basada en la biogeografía . . . . .	151
3.5.7. Programación evolutiva . . . . .	152
3.5.8. Optimización por colonia de hormigas . . . . .	153
3.5.9. Algoritmo de optimización de búsqueda por grupos . . . . .	156
3.6. Resultados numéricos . . . . .	158
3.6.1. Prueba del sistema de alimentación . . . . .	159
3.6.2. Red inteligente urbana real . . . . .	168
3.7. Conclusiones . . . . .	171
3.8. Bibliografía . . . . .	171

**Capítulo 4. Centros urbanos de energía y microrredes: planificación energética inteligente para las ciudades . . . . . 173**

Eleonora RIVA SANSEVERINO, Vincenzo Domenico GENCO, Gianluca SCACCIANOCE, Valentina VACCARO, Raffaella RIVA SANSEVERINO, Gaetano ZIZZO, Maria Luisa DI SILVESTRE, Diego ARNONE y Giuseppe PATERNÒ

4.1. Introducción . . . . .	174
4.1.1. Microrredes frente a centros urbanos de energía . . . . .	175

4.2. Enfoques y herramientas para los polos energéticos urbanos . . . . .	179
4.2.1. Política . . . . .	179
4.2.2. Análisis . . . . .	180
4.2.3. Herramientas óptimas de diseño y funcionamiento . . . . .	185
4.3. Metodología . . . . .	189
4.3.1. Especificación del tipo de edificio y de los parámetros energéticos urbanos . . . . .	190
4.3.2. Simulador de movilidad . . . . .	193
4.3.3. Simulación de energía y estimación de carga eléctrica para edificios . . . . .	198
4.3.4. Software de optimización y simulación para distritos. . . . .	198
4.4. Aplicación . . . . .	199
4.4.1. Análisis . . . . .	199
4.4.2. Simulaciones y optimización . . . . .	208
4.4.3. Movilidad y efectos de las políticas y de las tarifas inteligentes sobre la potencia de pico . . . . .	216
4.5. Conclusiones . . . . .	218
4.6. Bibliografía . . . . .	219

## **Capítulo 5. Optimización de sistemas multiportadores de energía en zonas urbanas**

Sergio BRUNO, Silvia LAMONACA y Massimo LA SCALA . . . . .	225
5.1. Introducción . . . . .	225
5.2. Estrategia de control óptima para un sistema de energía multiportador a pequeña escala . . . . .	228
5.2.1. La arquitectura propuesta . . . . .	229
5.2.2. Formulación matemática. . . . .	232
5.2.3. Resultados de las pruebas . . . . .	239
5.3. Diseño óptimo de un distrito energético urbano . . . . .	248
5.3.1. Distrito energético para la regeneración urbana: el Parque Energético de San Paolo . . . . .	249
5.3.2. Diseño óptimo del distrito energético . . . . .	251
5.3.3. Variables enteras y opciones de diseño . . . . .	256
5.3.4. Formulación matemática del problema de control óptimo . . . . .	257
5.3.5. Resultados de las pruebas . . . . .	265
5.4. Conclusiones . . . . .	279
5.5. Agradecimientos . . . . .	280
5.6. Bibliografía . . . . .	280

## **Capítulo 6. Algoritmo de flujo de gas óptimo para sistemas de distribución de gas natural en entornos urbanos . . . . . 283**

Ugo STECCHI, Gaetano ABBATANTUONO y Massimo LA SCALA

6.1. Introducción . . . . .	283
6.2. Evolución de la red de gas natural . . . . .	288
6.3. Implantación del sistema de monitoreo y control en el proyecto piloto “Gas Smart Grids” . . . . .	292
6.3.1. Sistema SCADA . . . . .	293
6.3.2. Control de los puntos de ajuste de las FRUs . . . . .	298
6.4. Ecuaciones básicas en condiciones de estado estacionario . . . . .	300
6.5. Formulación de flujo de carga de gas . . . . .	306
6.6. Método del flujo óptimo de gas . . . . .	309
6.7. Optimización de las operaciones del turboexpansor . . . . .	312
6.8. Optimización de los perfiles de presión en las redes de distribución de baja presión . . . . .	315
6.9. Conclusiones . . . . .	324
6.10. Agradecimientos . . . . .	324
6.11. Bibliografía . . . . .	324

## **Capítulo 7. Flujo óptimo de energía en sistema multiportador de energía . . . . . 327**

Soheil DERAFFSHI BEIGVAND, Hamdi ABDI y Massimo LA SCALA

7.1. Introducción . . . . .	327
7.2. Conceptos básicos y supuestos . . . . .	330
7.2.1. MEC y centro de energía . . . . .	330
7.2.2. Unidades de cogeneración. . . . .	334
7.2.3. Supuestos generales . . . . .	337
7.3. Formulación del problema . . . . .	338
7.3.1. Ecuaciones de equilibrio de potencia eléctrica . . . . .	338
7.3.2. Ecuación de flujo de energía de gas . . . . .	338
7.3.3. Modelado de centros de energía . . . . .	340
7.3.4. Problema MECOPF . . . . .	341
7.4. Algoritmo de búsqueda gravitacional de coeficiente de aceleración variante en el tiempo . . . . .	342
7.4.1. Breve comparación entre las principales estructuras de TVAC-GSA y PSO . . . . .	347
7.5. Problema MECOPF basado en TVAC-GSA . . . . .	347
7.6. Simulaciones de estudios de caso práctico y resultados. . . . .	350
7.7. Conclusiones . . . . .	356

7.8. Apéndice 1: evaluación del rendimiento del TVAC-GSA para cinco funciones de referencia . . . . .	357
7.9. Apéndice 2: datos del sistema del caso de prueba . . . . .	359
7.10. Bibliografía . . . . .	361
<b>Lista de autores . . . . .</b>	<b>365</b>
<b>Índice alfabético . . . . .</b>	<b>369</b>