

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

INGENIERÍA INDUSTRIAL: TECNOLOGÍAS ENERGÉTICAS

Proyecto Fin de Carrera

Estudio Energético y de viabilidad económica para la definición de una solución de alta eficiencia energética y uso de energías renovables para satisfacer las necesidades de un nuevo barrio en Gorgonzola (Milán).

Junio 2011

(PFC realizado en la Università degli studi di Pavia y RSE S.p.A)

Autora: Iris Gil Berrocal

Tutor: Carlo Belli

Co-Tutor Carlos III: Guillermo Carpintero

Tutor RSE: Omar Perego

ÍNDICE RESUMEN

| | |
|---|----|
| Índice Resumen..... | 2 |
| Introducción | 3 |
| 1. Situación: Gorgonzola..... | 5 |
| 1.1. Comparto C6: Un barrio con un elevado estándar energético. | 5 |
| 1.2. Exigencia expresa de la comunidad de Gorgonzola: Utilización de los recursos renovables locales..... | 6 |
| 1.3. Posibles vínculos y oportunidad del proyecto..... | 6 |
| 1.3.1. Autosuficiencia energética | 7 |
| 1.3.2. Solo fuentes renovables → Emisiones CO ₂ = 0..... | 7 |
| 1.3.3. Estándar cualitativo de sistema elevado (por lo menos igual al de la red). | 7 |
| 1.3.4. Uso de la red como apoyo → medición neta. | 7 |
| 1.4. ¿Qué solución adoptar?..... | 8 |
| 2. Análisis de necesidades energéticas..... | 9 |
| 2.1. Tipos de usuarios: | 9 |
| 2.2. Necesidades térmicas y de refrigeración..... | 9 |
| 2.3. Necesidades eléctricas..... | 9 |
| 3. Balance energético | 10 |
| 3.1. Consideraciones generales | 10 |
| 3.2. Soluciones propuestas | 10 |
| 3.2.1. Solución 1 → PV + PdC | 10 |
| 3.2.2. Solución 2 → PV + PdC + CHP 400 kW | 15 |
| 3.2.3. Solución 3 → PV + PdC + CHP 1 MW | 19 |
| 4. Conclusiones | 23 |
| 5. Bibliografía | 25 |

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es el estudio energético y de viabilidad económica para la definición de una solución de alta eficiencia energética que satisfaga las necesidades energéticas de un barrio de Gorgonzola (Milán), utilizando energías renovables para conseguir un mayor ahorro energético.

Para definir la mejor solución del sector C6 se han analizado diferentes soluciones (centralizada o distribuida), con diferentes sistemas de energías renovables, según la evaluación del tipo de usuarios y las necesidades del propio sector.

Este proyecto incluye el estudio económico y de inversión de las soluciones energéticas elegidas, ya que la elección de la solución energética óptima no puede separarse de sus resultados económicos.

El sector C6 es un barrio situado en las afueras de Gorgonzola, en el cuál se construirán edificios residenciales y de uso público donde la prestación de servicios energéticos (electricidad, calefacción y aire acondicionado) deberán ser realizadas a través del sistema más eficiente de generación de energía (cogeneración y bombas de calor), o mediante el uso de sistemas de energías renovables (fotovoltaica y biomasa).

El trabajo está sujeto a varias limitaciones y oportunidades, que son:

- El municipio requiere que los operadores en el distrito C6 sean lo más autosuficiente energéticamente posible.
- La producción local de energía debe hacerse utilizando únicamente fuentes renovables con emisiones de CO₂ nulas.
- Los altos estándares de calidad del sistema eléctrico no deben verse afectados por la integración de sistemas de generación distribuida en red.
- Se puede utilizar la red como un mecanismo de apoyo para "medición neta".
- El sistema italiano prevé formas de incentivos para que los recursos renovables tales como la "Cuenta de Energía" para la energía fotovoltaica, el "precio todo incluido" para la biomasa y otras formas de incentivos (como la recuperación de los impuestos).

Para estudiar qué solución adoptar, se compararán las diferentes opciones con la solución base, en la que el usuario está conectado a la red eléctrica y el calor es suministrado por una caldera de gas de alta eficiencia.

Entre las diferentes configuraciones del sistema se identifican estas tres soluciones del sistema:

- Solución 1 → Sistema distribuido en el que todos los edificios están equipados con un sistema fotovoltaico que genera electricidad por un sistema de bomba de calor, con apoyo de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS).
- Solución 2 → Sistema centralizado de cogeneración de energía de fluidos orgánicos a 400 kW alimentado por astillas de madera, que distribuye el calor a una red de calefacción urbana que llega a los usuarios del sector C6, el sistema general se basa, sin embargo, en la instalación distribuida a cada edificio e integrada a la red de calefacción por bombas de calor, alimentadas de energía fotovoltaica, con apoyo de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS).
- Solución 3 → Sistema centralizado de cogeneración de energía de fluidos orgánicos a 1MW alimentado por astillas de madera, que distribuye calor a una red de calefacción urbana que llega a los usuarios del sector C6, el sistema general se basa, sin embargo, en la instalación distribuida a cada edificio e integrada a la red de calefacción por bombas de calor,

alimentadas de energía fotovoltaica, con apoyo de energía solar térmica para la producción de agua caliente sanitaria (ACS).

El análisis económico y de inversión de las 3 soluciones energéticas nos ha permitido identificar los resultados económicos de cada uno de ellos, lo que le permite elegir la solución óptima para el sector C6.

1. SITUACIÓN: GORGONZOLA

El ayuntamiento de Gorgonzola ha previsto en el plano de regulación del territorio la edificación de un nuevo distrito residencial en un área identificada en los documentos oficiales del ayuntamiento como “Comparto C6”.

El Comparto C6 es un proyecto de construcción en el ayuntamiento de Gorgonzola, en la zona delimitada de la línea metropolitana milanesa “Verde” y el Naviglio Martesana, a la altura de la parada de “Cascina Antonietta” frontera con el ayuntamiento de Gessate (el área de estudio está señalado en rojo en la Figura 1).

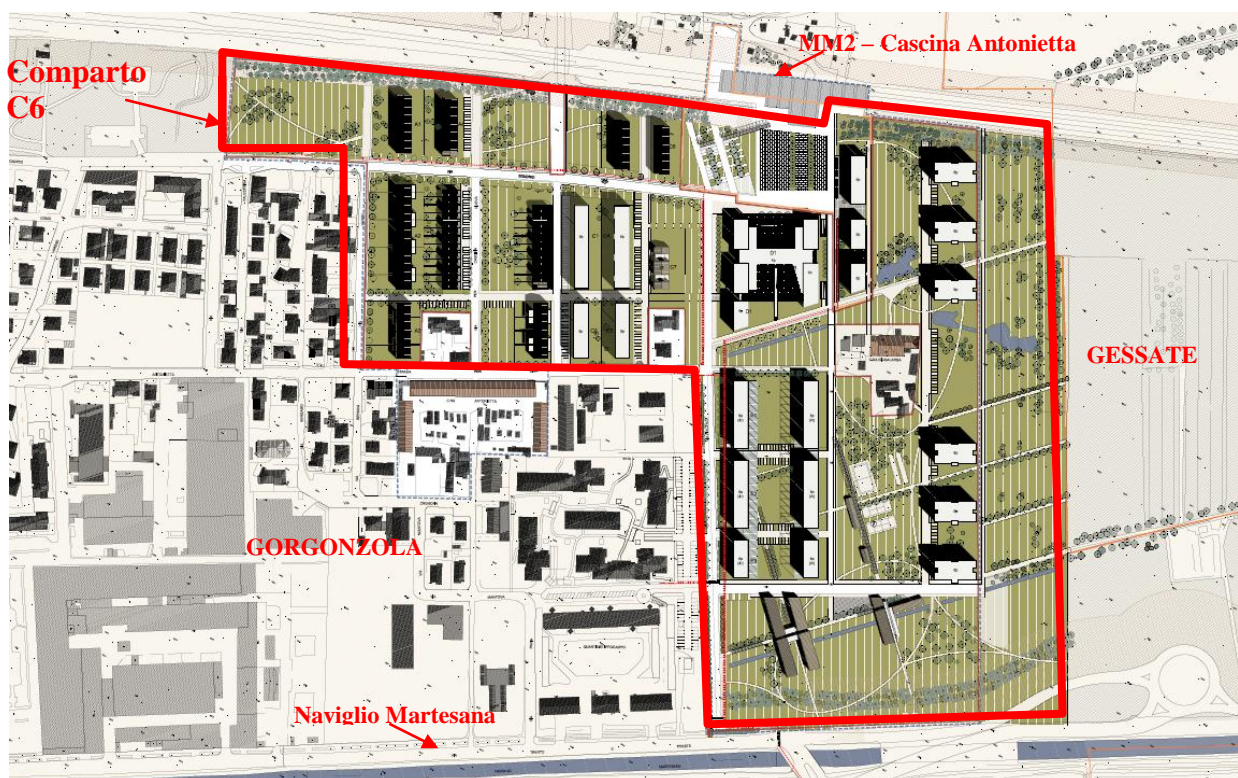


Figura 1- Comparto C6: Construcción de un nuevo barrio en la localidad de Gorgonzola.

1.1. *Comparto C6: Un barrio con un elevado estándar energético.*

El Comparto C6 es un distrito nuevo, por lo tanto debe garantizar un estándar energético muy elevado.

El plano prevé la realizaciones de edificios residenciales y de utilización pública (entre ellos un colegio, oficinas, centro comercial, etc.) para un volumen total de alrededor de **240.000 m³**. El número de unidades inmobiliarias son estimadas alrededor de **700**.

Los edificios responderán a las mejores características constructivas: se asume una clase energética A o B para los muros y ventanas. La clase es definida en base al consumo de energía, en referencia a la norma regional [7]: clase A, cuando el índice térmico es inferior a los 30 kWh/m² al año; clase B, cuando el índice térmico es inferior a los 50 kWh/m² al año.

También por ley, parte de las necesidades energéticas debe ser satisfecha por las fuentes de energía renovables. En efecto, según la [7], a partir del uno de enero del 2008 es obligatorio el uso del solar térmico para el calentamiento del agua sanitaria, en una fracción de al menos del 50% de las necesidades de agua caliente, y la instalación de un implante fotovoltaico.

1.2. Exigencia expresa de la comunidad de Gorgonzola: Utilización de los recursos renovables locales.

El objetivo de este proyecto, realizada en colaboración con ERSE, es presentar una hipótesis de realización para el distrito C6 que prevé esencialmente la disposición de servicios energéticos (electricidad, calor y aire acondicionado), a través de sistemas de generación mas eficientes (cogeneración y bombas de calor) y a través de recursos de sistemas de energía renovables (fotovoltaico y biomasa).

El complejo urbanístico no surgirá todo a la misma vez, la fase constructiva seguirá un proceso definido para los próximos 5 o 10 años.

La elección de la solución para satisfacer la exigencia del distrito C6 será necesariamente legada a este desarrollo temporal.

En sustancia, los sistemas previstos para satisfacer las necesidades energéticas del distrito C6 pueden ser los siguientes:

- Fotovoltaico (**FV**) para la producción de energía eléctrica, sobre los techos de cada edificio del barrio objeto de la iniciativa, oportunamente inclinados y orientados al SUR;
- Solar térmico (**ST**), para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), sobre los techos de cada edificio del barrio objeto del la iniciativa, oportunamente inclinados y orientados al SUR;
- Sistemas de bombas de calor (**PdC**) para la producción de energía térmica (calefacción y ACS);
- Cogeneración (**CHP**) a biomasa leñosa para la producción de energía eléctrica y térmica.

1.3. Posibles vínculos y oportunidad del proyecto

La administración del ayuntamiento de Gorgonzola ha pedido a los operadores, que han adquirido los derechos a construir el sector C6, de realizarlos con los estándares cualitativos de mayor eficiencia energética. Por otro lado los operadores son incentivados por el ayuntamiento de Gorgonzola a utilizar sistemas de producción energética “innovadora”, utilizando fuentes de energía renovables.

Compatible con el aumento de costes que esta operación energética porta a los operadores, el ayuntamiento de Gorgonzola ha puesto objetivos energéticos para el distrito C6, que los operadores deberán cumplir.

Este proyecto informa en los siguientes capítulos de algunas soluciones energéticas en grado de satisfacer solo en parte o en su totalidad las siguientes “limitaciones” dadas por la administración municipal y para maximizar las siguientes “oportunidades” que ofrecen la legislación italiana en términos de incentivos.

1.3.1. Autosuficiencia energética

Encontrar la solución que hará que el barrio sea energéticamente autosuficiente

1.3.2. Solo fuentes renovables → Emisiones CO₂ = 0

Búsqueda de la solución mediante solo fuentes renovables, capaz de hacer que las emisiones de CO₂ proporcionadas por el distrito sean nulas.

Según la deliberación de la junta regional Lombarda [7] es obligatorio proyectar y realizar la planta de producción de energía térmica en modo de cubrir al menos el 50% de las necesidades anuales de energía primaria solicitada por la producción de agua caliente sanitaria a través de la contribución de los sistemas de energía solar térmica (artículo 6.5).

La deliberación Lombarda [7], para limitar las necesidades energéticas para la climatización estiva, sugiere el uso de “protecciones solares” externas para los nuevos edificios (artículo 4.b), fijando los requisitos mínimos para la envolvente del edificio (artículo 5).

En la misma deliberación está obligado para los edificios situados en el mercado de la vivienda informar de su consumo de energía (artículo 9).

Por otro lado el Decreto DPR n. 59/2009 [5], respecto a los edificios de bajo consumo, contiene las disposiciones para la aplicación del Decreto Comunitario CE/91/2002 [4] donde se extiende las **obligaciones de instalar sistemas fotovoltaicos** en edificios de nueva construcción. En particular el decreto [5] prevé la instalación de sistemas fotovoltaicos en edificios públicos y privados de nueva construcción (art. 4 Coma 23).

1.3.3. Estándar cualitativo de sistema elevado (por lo menos igual al de la red).

Las soluciones de los sistemas identificados en este estudio deben proporcionar por lo menos las mismas normas de calidad del sistema eléctrico actual. De hecho, las plantas de energía renovables tienen los mismos dispositivos de seguridad que los sistemas tradicionales; siempre que la generación de fuentes renovables, conectadas a la red de distribución, permanezca en un pequeño porcentaje, ello no supondrá un elemento crítico a la red.

1.3.4. Uso de la red como apoyo → medición neta.

El servicio de medición neta consiste en realizar una particular forma de “autoconsumo in situ” consiste en que la energía eléctrica producida y vertida a la red podrá ser recogida y consumida en un tiempo diferente al que se produce, utilizando el sistema eléctrico como una herramienta para el almacenamiento de energía eléctrica producida, pero no constantemente auto consumida.

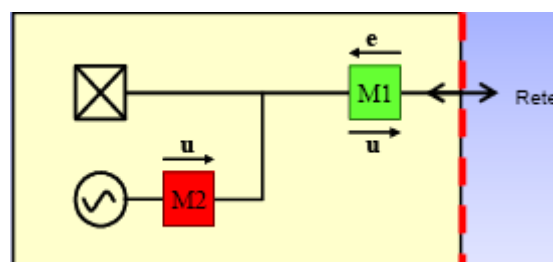


Figura 2 – Esquema de conexión y medición neta.

1.4. ¿Qué solución adoptar?

En este estudio se han analizado las soluciones de ingeniería que hacen uso de fuentes de energía renovables, mediante la comparación con la solución básica, en la cual, el usuario está conectado a la red eléctrica y el calor es suministrado por una caldera de alta eficiencia.

Beneficios y barreras en el uso de fuentes de energía renovables

Las fuentes renovables ofrecen una estrategia global para el desarrollo sostenible y reducen la dependencia de la UE sobre las importaciones de energía, garantizando así la seguridad del suministro, ayudando a mejorar la competitividad global de la industria europea.

El uso de la energía renovable ofrece una opinión pública favorable, y permite una reducción de las emisiones de CO₂. Por último, el uso de las energías renovables tiene efectos positivos sobre el desarrollo regional y el empleo.

En la actualidad, las energías renovables se promueven en las diversas formas tanto por el Estado italiano como por las autoridades locales.

Sin embargo, los costes de inversión son elevados y los plazos de amortización muy largos, existiendo dificultades asociadas con las variaciones estacionales de determinadas fuentes de energía (eólica y solar); otras fuentes de energía (biomasa) requieren una infraestructura adecuada. Hay problemas técnicos y económicos de la conexión a las redes eléctricas centralizadas y manifiestan una actitud de resistencia general al cambio. Se añade la falta de conciencia acerca de las posibilidades que ofrecen las energías renovables a la hora de tomar las decisiones.

2. ANALISIS DE NECESIDADES ENERGÉTICAS

2.1. Tipos de usuarios:

El distrito C6 de Gorgonzola prevé la construcción de edificios residenciales y comerciales, complementado por oficinas y una escuela: alrededor del 80% del volumen será ocupado por el uso residencial, mientras que el 20% será de uso comercial o de negocios.

Cada usuario necesita servicios térmicos de calefacción para los meses de invierno, mientras que en verano habrá necesidad de refrigeración. Las necesidades de agua caliente sanitaria (ACS) y de la electricidad se han extendido a todo el año.

2.2. Necesidades térmicas y de refrigeración

En el análisis siguiente se ha realizado una hipótesis de que los edificios se han construido al menos en clase B, según los requisitos de la normativa energética regional [7] (apéndice A.4). En la Tabla 1 se muestran las necesidades de calefacción y refrigeración de los edificios del sector C6, según la escala de Lombardía [7], referida a la clase B.

| | Residenza | Commerciale+terziario | Scuole | TOTALE |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Volumetrie | | | | |
| Volumetria | 164.643 m ³ | 41.161 m ³ | 27.700 m ³ | 233.504 m ³ |
| Fattore di superficie | 3,1 m ³ /m ² | 3,1 m ³ /m ² | 3,4 m ³ /m ² | |
| SLP | 53.111 m ² | 13.278 m ² | 8.147 m ² | 74.535 m ² |
| Fabbisogni termici specifici di riscaldamento, raffrescamento e ACS | | | | |
| Fabbisogno riscaldamento | 30 kWh/m ² -anno | 9 kWh/m ³ -anno | 9 kWh/m ³ -anno | |
| Fabbisogno raffrescamento | 16 kWh/m ² -anno | 14 kWh/m ² -anno | 14 kWh/m ² -anno | |
| Fabbisogno ACS | 10 kWh/m ² -anno | 10 kWh/m ² -anno | 10 kWh/m ² -anno | |
| Fabbisogni termici di riscaldamento e ACS | | | | |
| Fabbisogno riscaldamento | 1.600.000 kWh/anno | 360.000 kWh/anno | 250.000 kWh/anno | 2.210.000 kWh/anno |
| Fabbisogno ACS | 530.000 kWh/anno | 140.000 kWh/anno | 100.000 kWh/anno | 770.000 kWh/anno |
| Fabbisogno termico TOTALE | 2.130.000 kWh/anno | 500.000 kWh/anno | 350.000 kWh/anno | 2.980.000 kWh/anno |
| Fabbisogni di raffrescamento | | | | |
| Fabbisogno raffrescamento | 850.000 kWh/anno | 190.000 kWh/anno | 110.000 kWh/anno | 1.150.000 kWh/anno |

Tabla 1 – Necesidades térmicas de los usuarios relacionados con el volumen y uso.

Las necesidades totales de **calefacción** se estiman en **2.210.000 kWh_{TH}/año**, mientras las de **ACS** en **770.000 kWh_{TH}/año**. Las necesidades de **refrigeración** son estimadas en **1.150.000 kWh_{FR}/año**.

2.3. Necesidades eléctricas

Para el cálculo de las necesidades eléctricas de los usuarios individuales del Comparto C6 (unidades de vivienda y de negocios), se ha considerado el consumo medio per cápita derivado de las estadísticas publicadas por TERNA para el año 2008 en Lombardía [9]. El consumo anual se estima en aproximadamente **2 millones kWh_{EL} / año**.

A continuación, se hipotetiza un consumo de los servicios comunes de todo el sector C6, es decir, el consumo de los edificios (las luces del condominio, ascensor, bomba de agua, planta, etc.), de los establecimientos públicos y en general del macro condominio (iluminación pública, etc.), de aproximadamente el 25% del consumo total de los usuarios individuales, es decir, igual a **500.000 kWh_{EL}/año**.

3. BALANCE ENERGÉTICO

3.1. Consideraciones generales

Las dos posibles arquitecturas de sistema (centralizada y distribuida) se pueden combinar con eficacia, previniendo la creación de una red de calefacción urbana, que puede ampliarse a otras zonas de la ciudad de Gorgonzola.

Una red distribuida puede incluir el uso de bombas de calor térmico en cada edificio para producir calefacción y agua caliente sanitaria, con paneles solares térmicos instalados en los tejados de los edificios para complementar la bomba de calor en la producción de ACS. La bomba de calor está completamente alimentada de la electricidad proporcionada por los paneles fotovoltaicos instalados en los techos de los edificios.

Las soluciones intermedias, que no excluyen una distribución de calor a través de la red de calefacción urbana, se expresan en las siguientes soluciones:

- Bomba de calor en central térmica con la red de calefacción urbana para satisfacer las necesidades de calefacción, energía solar térmica complementada con calderas de gas para la producción de ACS. En este caso, el sistema global de la red de calefacción urbana no se penaliza (y puede ser más conveniente): La bomba de calor central proporciona calor para calefacción y agua caliente sanitaria sólo en los meses de invierno, es posible proveer un sistema reversible de refrescamiento, dimensionando oportunamente la red y utilizando una bomba de calor reversible. El ACS es, de hecho, producido a partir de energía solar térmica y calderas de gas. Suponiendo que se cubrirá el 60% del consumo de agua caliente sanitaria con energía solar, y sólo el 10% del consumo de calor será satisfecho con combustibles fósiles. (solución 1)

- Instalación de un sistema de cogeneración de biomasa. La cogeneración será necesariamente centralizada pero podrá integrarse en un sistema de bomba de calor a nivel de edificio. (soluciones 2 y 3).

3.2. Soluciones propuestas

En este capítulo se han presentado tres soluciones que satisfacen total o en parte las necesidades energéticas del sector C6.

3.2.1. Solución 1 → PV + PdC

La solución prevé una arquitectura de sistema distribuida, en el que cada edificio es dotado de su propia instalación para producir calor para la calefacción y el ACS.

El 60% del calor para alimentar el sistema de ACS es producido por solar térmico. El restante (40%), es el calor necesario para la calefacción y es producido mediante bombas de calor.

Se prevé poder cubrir las necesidades de energía eléctrica anual de las bombas de calor a través del fotovoltaico.

Producción del calor para la calefacción

La demanda de calor para la calefacción de los usuarios se estima en 2.210.000 kWh_{TH}/año. La solución incluye el suministro de este calor a través de un sistema de calefacción radiante, que trabaja a bajas temperaturas y que permite utilizar la bomba de calor de alta eficiencia. Suponiendo una COP de 3.0, el consumo de electricidad para las bombas de calor es igual a cerca de 740.000 kWh_{EL}/año.

El sistema es del tamaño adecuado para satisfacer las necesidades pico de los usuarios, siendo la potencia pico de 3.800 kW_{TH}. La capacidad de refrigeración del sistema reversible es un poco inferior.

Producción del calor para el ACS

La cuota de producción (40%) de energía térmica para ACS no está cubierta por energía solar térmica, igual a 310.000 kWh_{TH}/año, con un COP medio de 2.5 (el ACS es proporcionado al usuario a una temperatura superior respecto a la de la calefacción, esto lleva a la disminución del rendimiento de la bomba de calor), implicando un consumo de energía de alrededor de 130.000 kWh_E/año.

La proporción de energía térmica para la producción de ACS cubierta por el implante solar (60%) es igual a 465.000 kWh_{TH}/año. Considerando que el aporte de energía por panel es de 500 kWh_{TH}/año*m², será necesaria la instalación de 930 m² de paneles solares en los tejados de los edificios.

La capacidad total de acumulación de sistema de suministro de ACS se estima en alrededor de 70.00 litros.

Producción de energía eléctrica proveniente del fotovoltaico.

La energía eléctrica total consumida por las bombas de calor para producir energía térmica es igual a 870.000 kWh_{EL}/año.

Considerando que la producción de 1.000 kWh_{EL} / año por cada kW de potencia de pico fotovoltaica instalada y un rendimiento de un panel fotovoltaico alrededor de 100 W_p/m², resulta de la necesidad de una planta fotovoltaica de 870 kW_p con una superficie ocupada sobre los techos de los edificios cerca de 9.000 m², para producir la electricidad necesaria para alimentar las bombas de calor.

Esta solución supone que se tiene la disponibilidad suficiente de superficie en los techos de los edificios para instalar la potencia de pico calculada. Se tiene en cuenta que para instalar 9.000 m² de paneles, se necesita por lo menos el doble de superficie para evitar interferencias entre las filas sucesivas de paneles, mientras que la superficie de una cubierta a dos aguas puede cubrir casi el 100% de los paneles, sólo si está orientada hacia el sur. Un análisis de una planimetría volumétrica recibida por el ayuntamiento de Gorgonzola [11], resulta una superficie útil sobre los techos de los edificios suficiente para instalar 800 kW_p de fotovoltaico. Se supone que es capaz de disfrutar de otras superficies útiles, tales como parking y otros terrenos, para alcanzar la potencia necesaria (870 kW_p).

Otras necesidades

Las necesidades eléctricas de los usuarios individuales y de los servicios comunes del sector C6 no se tienen en cuenta en esta solución de sistema. Se hipotetiza el suministro de energía eléctrica de la red para satisfacer estas necesidades y para cubrir el consumo eléctrico de las bombas de calor que eventualmente no son cubiertos por el fotovoltaico.

Análisis energético y ambiental

El esquema energético de la solución analizada se denomina “solución distribuida, sin cogeneración”, se muestra en la Figura 3.

De los cálculos efectuados, realizados en la Tabla 2, se deduce que el ahorro de energía primaria fósil garantizada por esta solución es de 3,5 GWh, igual al 37,5% del gasto energético de un sistema de red eléctrica y caldera de gas (sistema BASE representado en la Figura 4) que garantiza los mismos servicios de electricidad, calefacción y enfriamiento requerido por el usuario. Las emisiones evitadas de CO₂ son de 690 toneladas (Tabla 2).

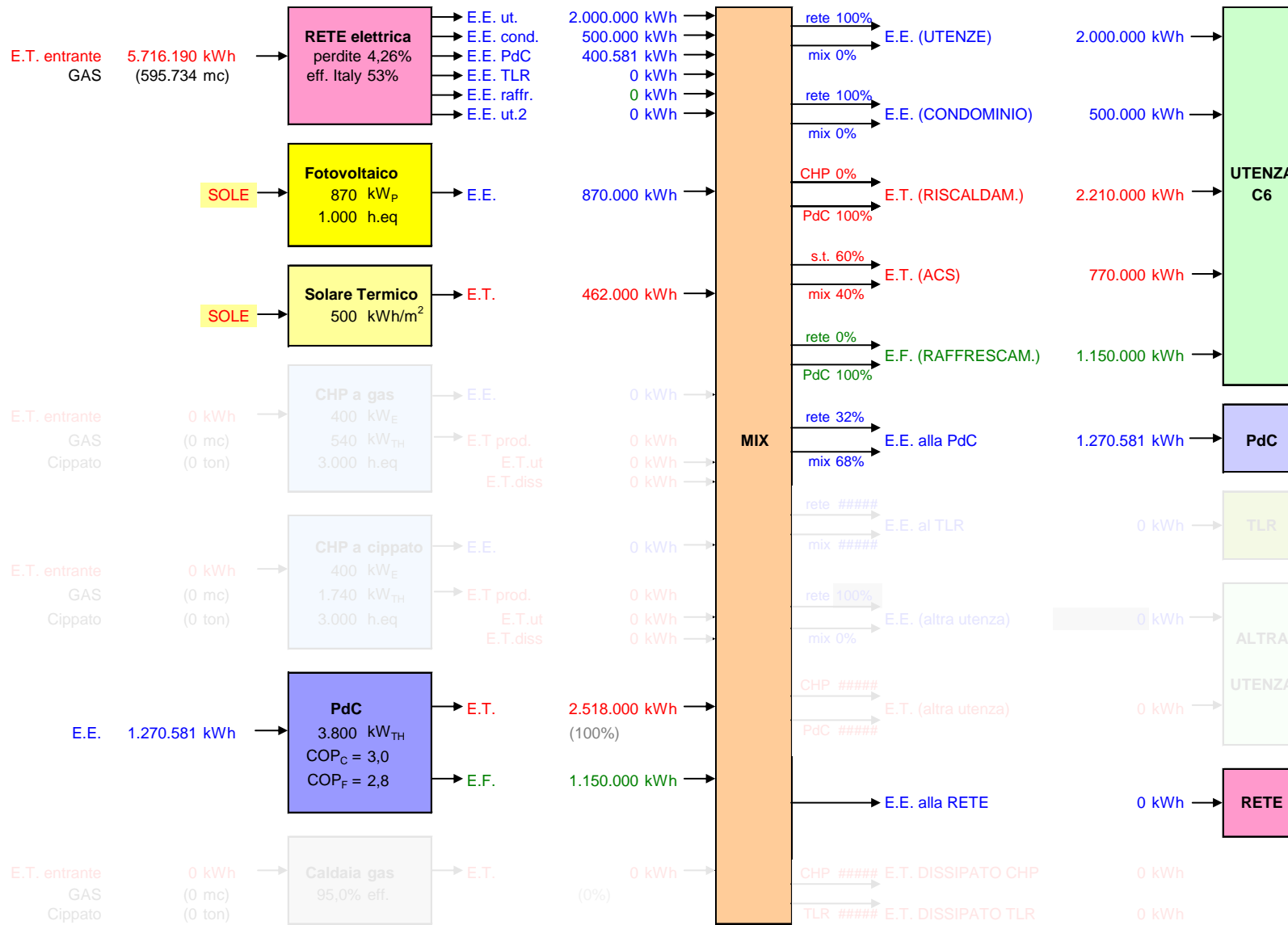


Figura 3 – Solución 1 – Representación esquemática de la “solución distribuida, sin CHP”.

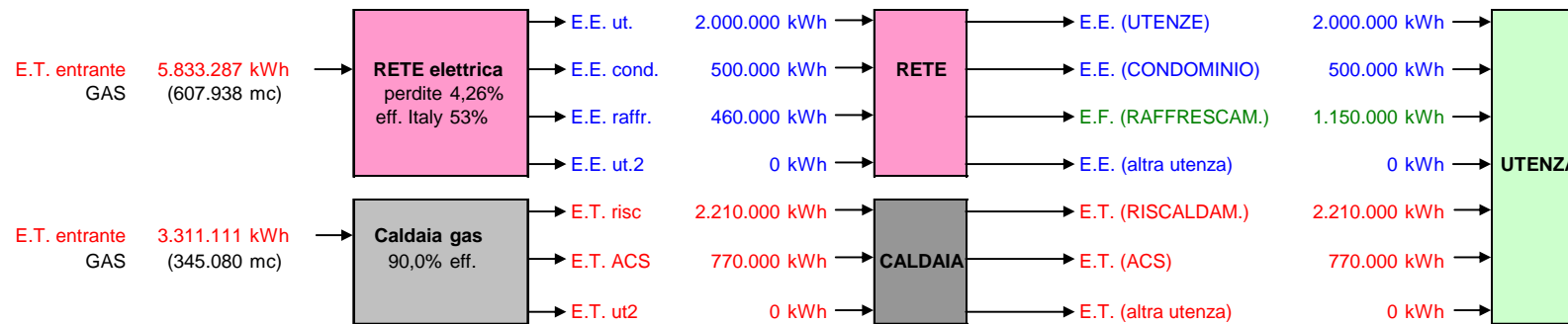


Figura 4 – Solución 1 – Representación esquemática de la “solución BASE”.

| | |
|---|----------------------|
| E.Primaria FOSSILE MIX | 5.716.190 kWh |
| E.Primaria FOSSILE BASE | 9.144.398 kWh |
| Risparmio Energia primaria FOSSILE | 3.428.209 kWh |
| | (37,5%) |
| Emissioni CO₂ da sistema MIX | |
| TOTALE | 1.154 ton |
| RETE elettrica | 1.154 ton |
| CHP | 0 ton |
| Caldaie | 0 ton |
| Emissioni CO₂ da sistema BASE | |
| TOTALE | 1.847 ton |
| RETE elettrica | 1.178 ton |
| Caldaie | 669 ton |
| Emissioni evitate di CO₂ | 692 ton |
| | (37,5%) |

Tabla 2 – Solución 1 – Ahorro de energía primaria fósil y emisiones evitadas de CO₂.

3.2.2. Solución 2 → PV + PdC + CHP 400 kW

La solución prevé la instalación de un cogenerador (CHP) alimentado de biomasa forestal. El posible cogenerador es un generador de ciclo Rankine a fluido orgánico (ORC), producido por Turboden (www.turboden.eu), alimentado de una caldera de fluido diatérmico a biomasa leñosa (astillas de madera), proveniente de la poda y de los procesos industriales, recogidos en territorios vecinos al distrito de Gorgonzola, que pertenecen a la cuenca de la Martesana y del Molgora.

El módulo de Turboden adaptado a esta solución es el TURBODEN 4 CHP, capaz de proporcionar una red de energía eléctrica activa neta de $400 \text{ kW}_{\text{EL}}$ y $1.800 \text{ kW}_{\text{TH}}$ a disposición de los usuarios.

El calor producido por cogeneración, instalado en el distrito central, situado en posición céntrica respecto a las cargas térmicas, se distribuyen a través de una red de calefacción urbana (TLR) que se desarrolla dentro del distrito y que se espera extender en el futuro a otros usuarios de Gorgonzola.

La red de TLR, según lo dispuesto en esta solución para el compartó C6, tiene un consumo de energía (bomba y auxiliares) del orden de $60 \text{ MWh}_{\text{E}}/\text{año}$ y una disipación térmica de $230 \text{ MWh}_{\text{TH}}/\text{año}$ (alrededor del 11% del calor producido).

Bomba de calor y solar térmico

Como en la solución anterior las PdC son instaladas en cada edificio del “Comparto” y contribuyen a satisfacer las necesidades de calefacción del sector junto a la cogeneración. Asumimos un sistema de distribución de calor para la calefacción hecho con ventilación mecánica, lo que permite el uso de la bomba de calor a baja temperatura (y por lo tanto de alta eficiencia). Al igual que en la primera solución, se estima que la energía térmica producida por solar térmico (930 m^2) satisface el 60% de las necesidades de ACS y el 40% restante es garantizado por la PdC.

En esta solución se ha elegido instalar una PdC reversible ($3.800 \text{ kW}_{\text{TH}}$) con intercambiador de aire, donde el rendimiento es todavía comparable al de la PdC de la sonda geotérmica, pero en el que el coste es inferior. Siendo reversible, las PdC, trabajan como refrigeradores, siendo capaces de satisfacer las necesidades de enfriamiento de todo el sector.

Fotovoltaico

La solución consiste en la instalación sobre los tejados de un implante solar fotovoltaico con una capacidad total de $870 \text{ kW}_{\text{P}}$. La estimación es coherente con los cálculos analizados en la planimetría volumétrica recibida en octubre del 2009 del ayuntamiento de Gorgonzola [12], donde se puso en relieve la posibilidad de instalar hasta 9.000 m^2 de paneles solares en los techos de los edificios.

Necesidades eléctricas

La energía eléctrica es necesaria para hacer funcionar las bombas de calor (para satisfacer tanto su producción térmica para la calefacción y ACS y el aire acondicionado en verano), para el consumo de TLR, para el consumo de los servicios comunes del Comparto C6, y en parte, para el consumo de usuarios individuales, puede ser producida a partir de la energía solar y del ORC. Cabe destacar que esté es un análisis del balance energético (energía producida, energía consumida y energía disipada), en la realidad es imposible para los usuarios individuales (hogares, oficinas, tiendas) poder realizar autoconsumo de la energía eléctrica producida de un generador en propiedad del sector, debido a un límite legal.

En todo caso, la solución propuesta es energética y económicamente eficiente: La comunidad del sector C6 en esta solución está cerca de lograr la autosuficiencia energética, por otra parte, la rentabilidad económica está asegurada por la venta de la energía eléctrica producida a partir de la

cogeneración a biomasa a través del mecanismo de “precio global” y del fotovoltaico a través de la “factura energética”. Aunque cada usuario individual debe obtener energía eléctrica de la red.

Análisis energético y ambiental

El esquema energético de esta solución se denomina “solución centralizada intermedia, con CHP de 400kW”, y se muestra en la Figura 5.

El ahorro de energía primaria fósil que ofrece esta solución es de 7,2 GWh, lo que representa el 74,1% de la energía gastada en un sistema BASE (representado en la Figura 6) que proporciona los mismos servicios de electricidad, calefacción y enfriamiento requeridos por el usuario. Las emisiones evitadas de CO₂ son de 1450 toneladas (Tabla 3).

Los límites de balance energético de esta solución son:

- El sector C6 no es todavía completamente autosuficiente energéticamente (alrededor de 1,3 GWh de electricidad sigue siendo suministrada de la fuente de alimentación a los usuarios individuales);
- La energía térmica producida del ORC es considerablemente mayor que las necesidades térmicas del sector C6; como no se está permitido a disiparla, es necesario extender la red de TLR a las nuevas cargas térmicas (secado de la biomasa leñosa, otros usuarios del ayuntamiento de Gorgonzola, etc.).

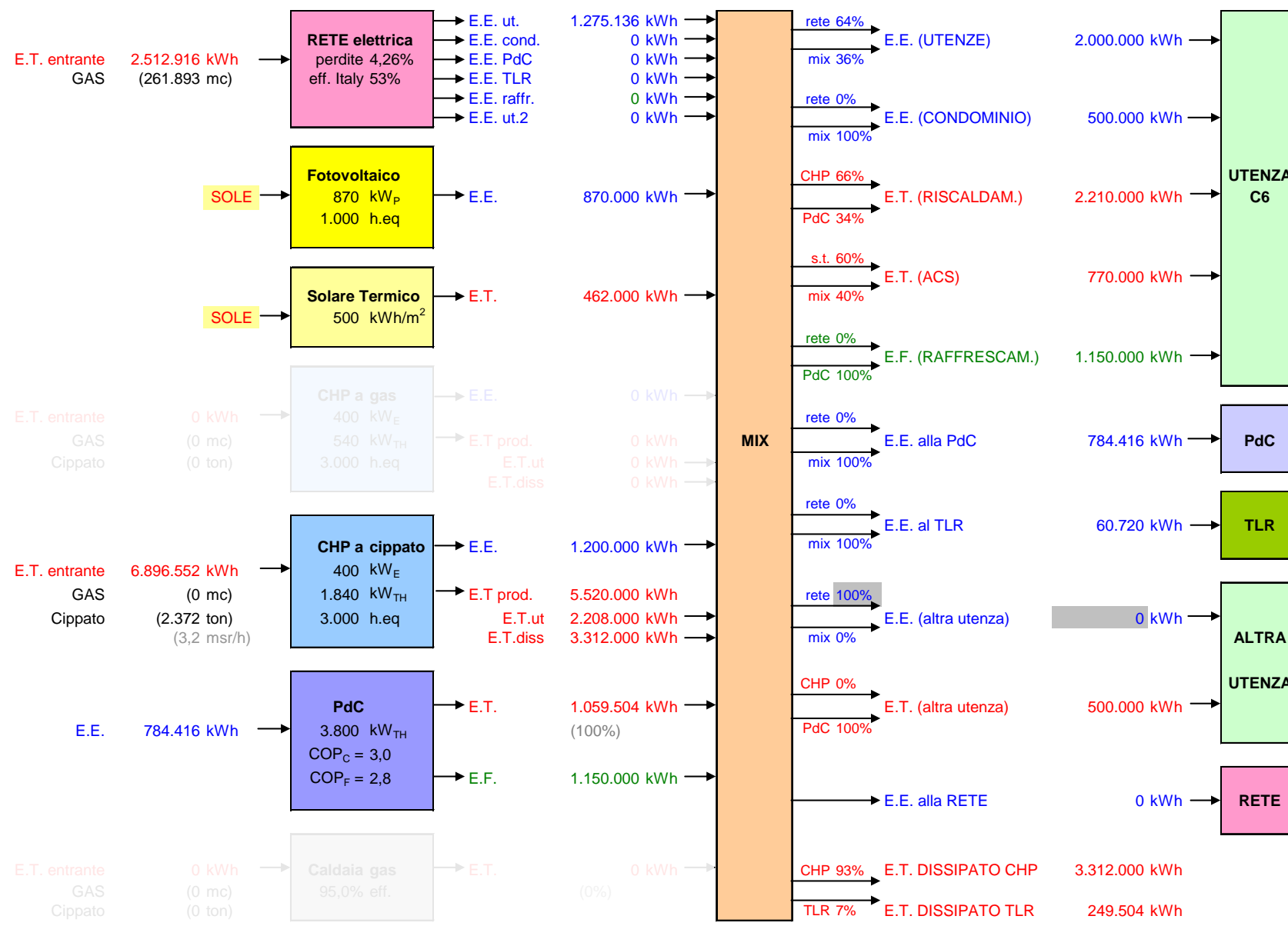


Figura 5– Solución 2 – Representación esquemática de la “solución centralizada intermedia, con CHP de 400 kW”.

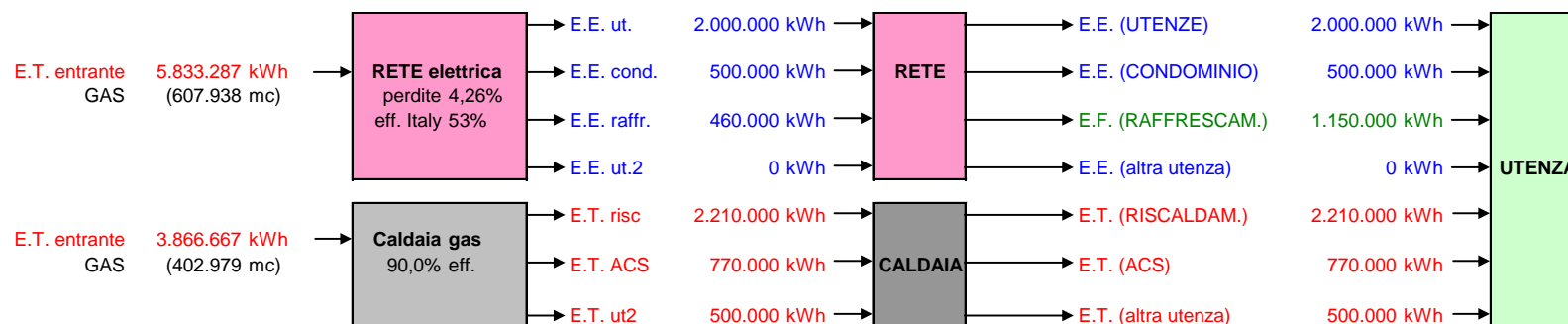


Figura 6 – Solución 2 – Representación esquemática de la “solución BASE”.

| | |
|---|----------------------|
| E.T. entrante MIX | 9.409.468 kWh |
| E.T. entrante BASE | 9.699.954 kWh |
| Risparmio Energia primaria | 290.486 kWh |
| | (3,0%) |
| E.Primaria FOSSILE MIX | 2.512.916 kWh |
| E.Primaria FOSSILE BASE | 9.699.954 kWh |
| Risparmio Energia primaria FOSSILE | 7.187.037 kWh |
| | (74,1%) |

| | | |
|---|----------------|------------------|
| Emissioni CO₂ da sistema MIX | TOTALE | 508 ton |
| | RETE elettrica | 508 ton |
| | CHP | 0 ton |
| | Caldaie | 0 ton |
| Emissioni CO₂ da sistema BASE | TOTALE | 1.959 ton |
| | RETE elettrica | 1.178 ton |
| | Caldaie | 781 ton |
| Emissioni evitate di CO₂ | | 1.451 ton |
| | | (74,1%) |

Tabla 3 – Solución 2 – Ahorro de energía primaria fósil y emisiones evitadas de CO₂.

3.2.3. Solución 3 → PV + PdC + CHP 1 MW

Como en el caso anterior, la solución incluye la instalación de una planta de cogeneración (CHP) y de una caldera de fluido diatérmico alimentada de biomasa leñosa. Un cogenerador posible para esta solución es el módulo TURBODEN 10 CHP (www.turboden.eu), capaz de proporcionar un suministro de energía eléctrica activa neta de 950 kW_E y 4.100 kW_{TH} a disposición de los usuarios, cuyas características se muestran en la Tabla 4.

Una vez más, el calor producido por la cogeneración se vende a través de una red de calefacción urbana (TLR) que se desarrolla dentro del sector y se espera que aumente en el futuro a otros usuarios de Gorgonzola. La red de TLR, según lo dispuesto en esta solución para el sector C6, tiene un consumo de energía (bombas y auxiliares) del orden de 60 MWh_E / año y la disipación térmica de 250 MWh_{TH} / año (alrededor del 11% del calor producido).

Bomba de calor y solar térmico

Las PdC son instaladas en cada edificio del “Comparto” (como en la solución anterior) y contribuyen a satisfacer las necesidades de calefacción del sector junto con la cogeneración. Asumimos un sistema de distribución de calor para la calefacción hecho con ventilación mecánica, lo que permite el uso de bombas de calor a baja temperatura (y por lo tanto, de alta eficiencia).

Al igual que en la solución anterior, se estima que la energía térmica producida por energía solar térmica (930 m^2) cumple con los requisitos del 60% de ACS, el 40% restante está garantizada por la PdC.

En esta solución se ha elegido instalar PdC reversible (3800 kW_{TH}) con intercambiador de aire, donde el rendimiento es todavía comparable al de la PdC de la sonda geotérmica, pero el coste es inferior. Siendo reversibles, las PdC, funcionan como refrigeradores, siendo capaces de satisfacer las necesidades de enfriamiento de todo el sector.

Fotovoltaico

La solución consiste en la instalación sobre los tejados de un implante solar fotovoltaico con una capacidad total de 870 kW_P . La estimación es coherente con los cálculos analizados en la planimetría volumétrica recibida en octubre del 2009 del ayuntamiento de Gorgonzola [11], donde se puso en relieve la posibilidad de instalar hasta 9.000 m^2 de paneles solares en los techos de los edificios.

Necesidades eléctricas

La energía eléctrica es necesaria para hacer funcionar las bombas de calor (para satisfacer tanto su producción térmica para la calefacción y ACS y el aire acondicionado en verano), para el consumo de TLR, para el consumo de los servicios comunes del Comparto C6, y en parte, para el consumo de usuarios individuales, puede ser producida a partir del fotovoltaico y del ORC.

Estando completamente satisfecho por ORC, PdC y solar térmico el consumo térmico, el sector C6 puede considerarse completamente **autosuficiente** energéticamente (y prácticamente le libera de las contribuciones de la red eléctrica); Este análisis es un balance energético (energía producida, energía consumida y energía disipada); en la realidad los usuarios individuales (hogares, oficinas, tiendas) no pueden realizar autoconsumo de la energía eléctrica producida de un generador en propiedad del sector, debido a un límite legal.

En cada caso, la solución propuesta es energética y económicamente eficiente: La comunidad del sector C6 en esta solución es autosuficiente energéticamente, y la rentabilidad económica está asegurada por la venta de la energía eléctrica producida a partir de la cogeneración a biomasa a través del mecanismo de “precio global” y del fotovoltaico a través de la “factura energética”.

Análisis energético y ambiental

El esquema energético de esta solución se denomina “solución centralizada autosuficiente, con CHP de 1 MW”, y se muestra en la Figura 7.

El ahorro de energía primaria fósil que ofrece esta solución es de **9,7 GWh**, igual al **100%** de la energía gastada de un sistema BASE (representado en la Figura 8) que proporciona los mismos servicios de electricidad, calefacción y enfriamiento requeridos por el usuario. Las emisiones evitadas de CO₂ son de 1.960 toneladas (Tabla 4).

El límite del balance energético de esta solución es que la energía térmica producida por el ORC es superior a la demandada por el Comparto C6. Por lo tanto, surge la necesidad de ampliar la red de TLR a las nuevas cargas térmicas para distribuir hasta 10 GWh de calor que no se utiliza en el sector C6.

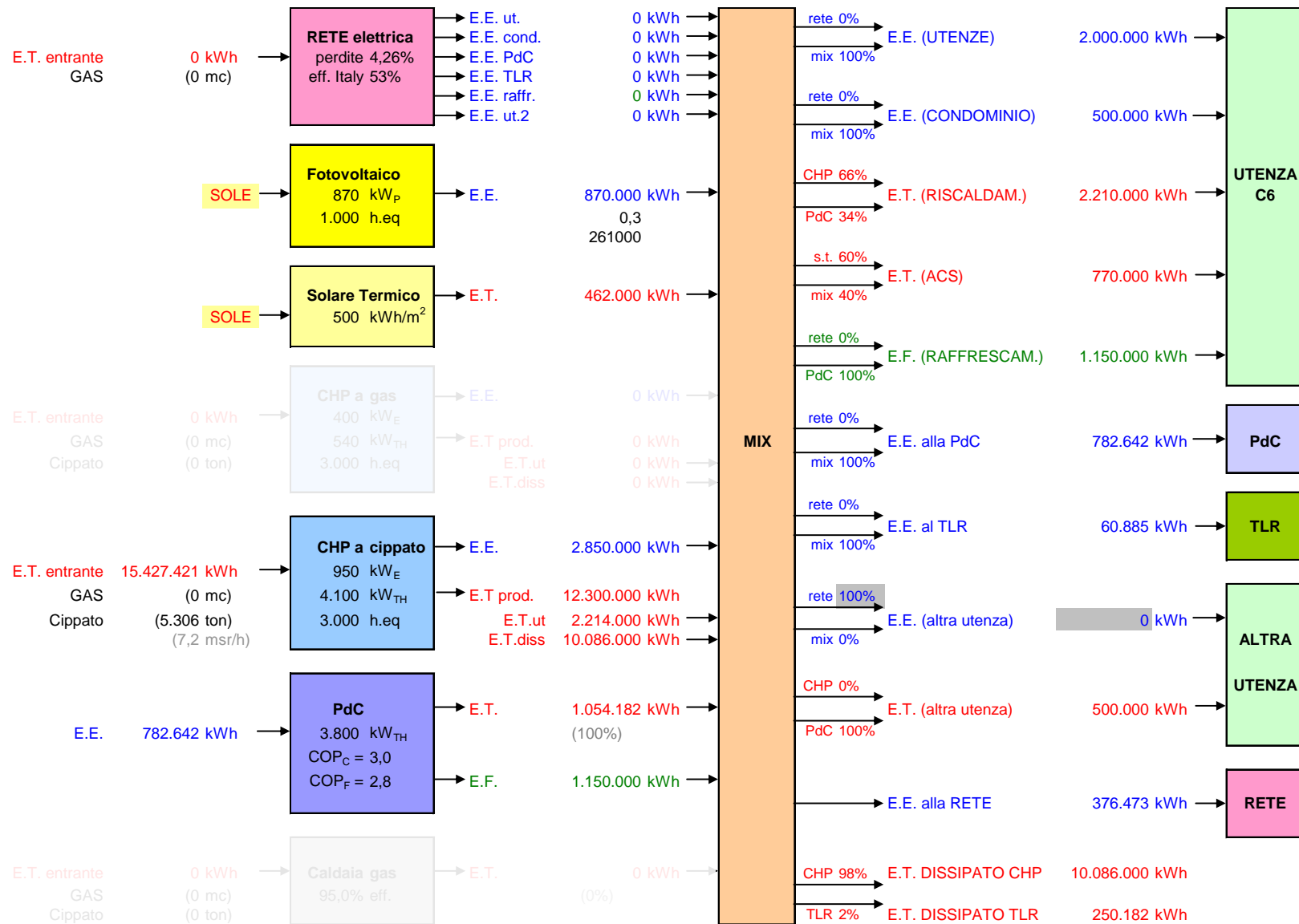


Figura 7 – Solución 3 – Representación esquemática de la “solución centralizada autosuficiente, con CHP da 1 MW”

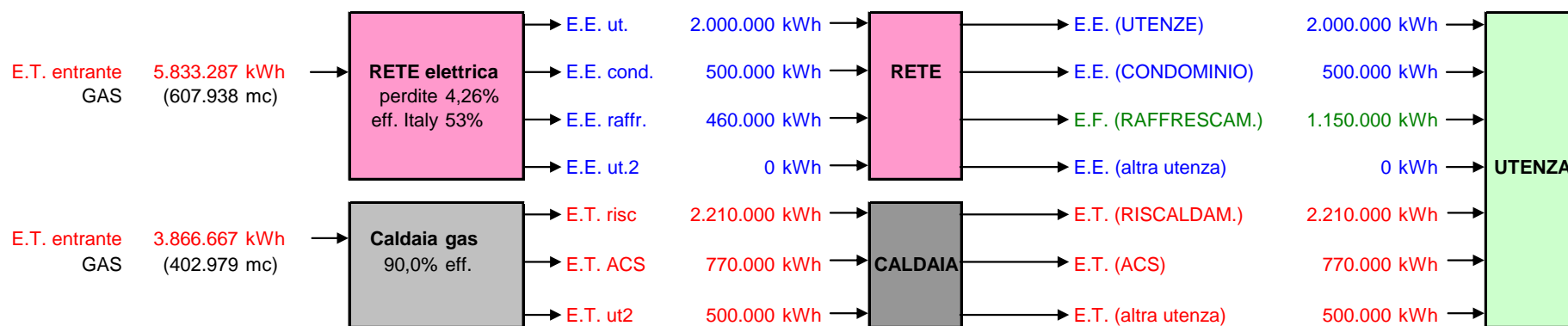


Figura 8 – Solución 3 – Representación esquemática de la “solución BASE”.

| | |
|---|-----------------------|
| E.T. entrante MIX | 15.427.421 kWh |
| E.T. entrante BASE | 9.699.954 kWh |
| Risparmio Energia primaria | -5.727.467 kWh |
| | -(59,0%) |
| | |
| E.Primaria FOSSILE MIX | 0 kWh |
| E.Primaria FOSSILE BASE | 9.699.954 kWh |
| Risparmio Energia primaria FOSSILE | 9.699.954 kWh |
| | (100,0%) |

| | | |
|---|----------------|------------------|
| Emissioni CO₂ da sistema MIX | TOTALE | 0 ton |
| | RETE elettrica | 0 ton |
| | CHP | 0 ton |
| | Caldaie | 0 ton |
| Emissioni CO₂ da sistema BASE | TOTALE | 1.959 ton |
| | RETE elettrica | 1.178 ton |
| | Caldaie | 781 ton |
| <hr/> | | |
| Emissioni evitate di CO₂ | | 1.959 ton |
| | | (100,0%) |

Tabla 4 – Solución 3 – Ahorro de energía primaria fósil y emisiones evitadas de CO₂.

4. CONCLUSIONES

Las tres soluciones consideradas han presentado un buen rendimiento en términos de ahorro de energía primaria fósil y emisiones de CO₂ evitados.

La primera solución “distribuida” sin cogeneración es la menos interesante, ya que está alejada del concepto de autosuficiencia energética (no serán cubiertas las necesidades eléctricas del sector C6 y de los usuarios individuales, además no estará previsto usar la bomba de calor en modalidad reversible) y presenta el rendimiento energético menor. Esta solución es la menos flexible, no permitiendo controlar el flujo de la energía a la elección de los usuarios.

Sin embargo, es la más fácil de realizar y la menos invasiva, ya que no es necesario disponer de una central térmica (las bombas de calor pueden ser colocadas en el interior de las salas de las calderas de cada edificio y los paneles fotovoltaicos y de solar térmico son colocados sobre los tejados), tampoco prevé una red de calefacción urbana.

Por otra parte, la premisa de colocar los módulos de unas pocas decenas de kW sobre cada edificio, con un inversor y con una conexión eléctrica AC para cada uno de ellos, es la solución óptima, ya que por un lado permite una conexión a baja tensión, menos costosa, y por el otro asegura un mayor rendimiento de la energía producida, gracias a la arquitectura de integración y a la posibilidad de realizar “medición neta”, que permite diferenciar temporalmente el consumo eléctrico de las bombas de calor del de la producción de energía fotovoltaica, siendo esta solución autosuficiente en cuanto a las necesidades de agua caliente.

La hipótesis se ha formulado para dimensionar el sistema fotovoltaico para cubrir las necesidades de energía eléctrica de las bombas de calor para la producción de agua caliente sanitaria, imaginando que la disponibilidad de superficie en los tejados de los edificios es suficiente para cubrir la potencia máxima requerida, o eventualmente de explotar otras superficies como son fachadas, parkings, etc. Un análisis de la planimetría volumétrica recibida en octubre del 2009 recibida del ayuntamiento de Gorgonzola, dicta de una superficie útil sobre los tejados de los edificios suficiente para cubrir la instalación de un máximo de 870 kWp de fotovoltaica, permitiendo que las bombas de calor satisfagan sus necesidades energéticas en invierno (calefacción).

Las soluciones “centralizadas” con cogeneración a biomasa presentan un rendimiento mejor, debido a su autosuficiencia en la solución 3. Estas soluciones son más complicadas de implementar y administrar, y las inversiones son en general más costosas, aunque no demasiado teniendo en cuenta los altos beneficios energéticos y medioambientales.

Desde un punto de vista económico, las soluciones “centralizadas” obtienen los beneficios derivados principalmente de los incentivos concedidos a la producción de energía fotovoltaica y a la medición neta de la biomasa. Siendo estos incentivos importantes. Para el sistema fotovoltaico se ha estimado un retorno de la inversión de unos 11 años. Para la biomasa el incentivo de la tarifa “todo incluido”, no permite un retorno inmediato de la inversión, si no se utiliza adecuadamente el calor producido (destinándolo a otros usuarios a través de la red de calefacción urbana y no solamente al sector C6) y si no se hace funcionar la instalación durante un número de horas que seguramente superan el periodo invernal. Esto introduce la necesidad de disipar el calor si no se encuentra una carga térmica capaz de explotarla también en la estación estiva.

Con 5.000 horas de funcionamiento, se producen 8.000.000 kWh de calor, suponiendo un coste de la materia prima (astillas de madera) de 45 € / tonelada, para la solución 3 se obtiene un retorno de la inversión en 7 años.

Si el ayuntamiento fuera capaz de garantizar al sector C6 el aprovisionamiento de la biomasa leñosa, astillado en el acto, y a precios competitivos con el mercado (20-30 €/ tonelada), el retorno de la inversión sería aún más atractivo.

En cuanto a la solución 1, que integra los sistemas fotovoltaicos de generación térmica con bomba de calor, se ha observado que el coste de la electricidad es muy alto mientras que la del gas demasiado bajo, por lo tanto la conveniencia de este sistema está penalizada. Por lo que para el ayuntamiento de Gorgonzola, será más efectivo un sistema de cogeneración.

Por todo lo visto anteriormente, para el Sector C6 se identifica la solución 3 como la más viable económicamente, considerando que es la que garantiza el mejor rendimiento en términos de energía y emisiones de CO₂.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Legge 27 dicembre 2006 , n. 296 - Legge finanziaria 2007 Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2007);
- [2] Legge 23 luglio 2009, n. 99 – Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia de energia.
- [3] Deliberazione ARG/elt n. 1/09: Attuazione dell'articolo 2, comma 153, della legge n. 244/07 e dell'articolo 20 del decreto ministeriale 18 dicembre 2008, in materia di incentivazione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili tramite la tariffa fissa onnicomprensiva e di scambio sul posto - Allegato A;
- [4] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia;
- [5] Decreto del Presidente della Repubblica 2 Aprile 2009, N. 59 – Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.
- [6] Manuale operativo del servizio di scambio sul posto. Autorità per l'energia elettrica e il gas. Direzione energia elettrica.Milano, 12 aprile 2006;
- [7] Delibera della Giunta Regionale Lombardia n. VIII/8745 del 22 Dicembre 2008 – Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici;
- [8] Salvatore Guastella, Matteo Marzoli, Fabrizio Paletta, Omar Perego – Supporto tecnico-scientifico alle iniziative di risparmio energetico e monitoraggio di sistemi di GD con utenze reali. – Rapporto RdS n. 10000237 del 28/02/2010, disponibile su www.erse-web.it;
- [9] TERNA (www.terna.it) – Dati statistici sull'energia elettrica in Italia, anno 2008;
- [10] Documento redatto da uno studio di progettazione, protocollato dal Comune di Gorgonzola con n. OCO482 – “Ipotesi impiantistica di quartiere – comune di Gorgonzola, Comparto C6”;
- [11] Planimetrie volumetriche datate 08/10/2009, fornite dallo studio d'architettura a cui gli operatori hanno commissionato il lavoro;
- [12] Turboden – www.turboden.it – Brochure informativa – Unità di cogenerazione standard, Copyright © 2009 TURBODEN SRL;
- [13] Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 – Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità;
- [14] Deliberazione AEEG n. 28/06 – Condizioni tecnico-economiche del servizio di scambio sul posto dell'energia elettrica prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza nominale non superiore a 20 kW, ai sensi dell'articolo 6 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387;
- [15] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 – Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia;

- [16] Legge 24 dicembre 2007, n. 244 – Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2008);
- [17] Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 18 dicembre 2008 - Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, ai sensi dell'articolo 2, comma 150, della legge 24 dicembre 2007, n. 244;
- [18] Decreto Legislativo 8 febbraio 2007, n.20 – Attuazione della direttiva 2004/8/CE sulla promozione della cogenerazione basata su una domanda di calore utile nel mercato interno dell'energia, nonché modificata alla direttiva 92/42/CEE;
- [19] Deliberazione 3 giugno 2008 – ARG/elt 74/08 – Testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per lo scambio sul posto (TISP);
- [20] Decreto 19 febbraio 2007 – Criteri e modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, in attuazione dell'articolo 7 del decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387;
- [21] Deliberazione AEEG n. 90/07 – Attuazione del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico, di concerto con il Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 19 febbraio 2007. ai fini dell'incentivazione della produzione di energia elettrica mediante impianti fotovoltaici
- [22] Bozza¹ decreto fotovoltaico del 2010.06.01;
- [23] D.M 18 dicembre 2008 – Incentivazione della produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, ai sensi dell'articolo 2, comma 150, della legge 24 dicembre 2007, n. 244;
- [24] W. Grattieri – Rapporto di sintesi del Progetto: Studi e Valutazioni sull'Uso Razionale dell'Energia Elettrica – Area: Razionalizzazione e Risparmio nell'Uso dell'Energia Elettrica – Marzo 2010 – Piano Annuale di Realizzazione 2009 – Rapporto RdS n. 10000784 del 26/03/2010, disponibile su www.erse-web.it;
- [25] Manuale Foresta, Legno, Energia – Sviluppo della filiera foresta-legno-energia attraverso il rafforzamento dell'associazionismo forestale – linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici – Progetto GAL, cofinanziato dall'Unione Europea, Fondo F.E.A.O.G. sez. orientamento – Programma Leader Plus;
- [26] Cippatrice mod. CIPPO 25, versione elettrica - kW 29 - 380 V - Produzione 14 m³/h - diam. cippabile 25 cm;
- [27] DACES 2050 - Database clean energy supply 2050 - Final Report - Project for the Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment – by: Utrecht Centre for Energy research e altri - September 2001;
- [28] LEGGE 24 Dicembre 2007 , n. 244 - Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2008);
- [29] O. Perego, C. Bossi, F. Paletta, C. Zagano, L. Augello – Costi di produzione degli impianti termoelettrici alimentati a biomassa – Rapporto RdS n. 09003602 del 28/02/2010, disponibile su www.erse-web.it;

¹ Il decreto fotovoltaico è stato emesso ad Agosto 2010; i valori delle tariffe del conto energia non sono cambiati rispetto a quelli espressi in bozza. Qui di seguito si riportano i riferimenti: DM 6 Agosto 2010 del Ministro dello Sviluppo Economico – Incentivazione alla produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.

- [30] Legge 22 dicembre 2008, n. 203 – Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2009)" – pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 303 del 30 dicembre 2008 - Supplemento Ordinario n.285/L;
- [31] Dipartimento del Tesoro - Rendimenti composti lordi all'emissione per l'anno 2010 (1° semestre) dei Titoli di Stato (www.dt.tesoro.it/it/debito_pubblico/dati_statistici);