

## Resultados experimentales preliminares de Fachada Fotovoltaica con células Peltier

## Resultados experimentales preliminares de Fachada Fotovoltaica de células Peltier

*Paolo Piantanida y Antonio Vottari*

*Politecnico di Torino, Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering  
(DISEG), Turín, Italia*

[paolo.piantanida@polito.it](mailto:paolo.piantanida@polito.it)- [antonio.vottari@polito.it](mailto:antonio.vottari@polito.it)

### RESUMEN

El artículo presenta resultados experimentales preliminares de un sistema de fachada ventilada con paneles fotovoltaicos que alimentan un sistema de células Peltier para mejorar el confort interior en condiciones de verano, para la ciudad de Turín, Italia. El sistema también puede funcionar como calefacción complementaria en invierno.

La capa exterior de la fachada está formada por paneles fotovoltaicos, mientras que entre el espacio interior y la cavidad de la fachada se instalan intercambiadores de calor de aleación ligera, acoplados en los lados opuestos de las células Peltier.

Las células Peltier están conectadas eléctricamente de forma directa a las células solares: cuanto más incide el sol en la fachada, más energía producen las células solares para alimentar las células Peltier, que funcionan como una bomba de calor estática, refrigerada por el aire que circula por la cavidad de la fachada ventilada.

### ABSTRACT

The paper presents preliminary experimental results of a ventilated facade system with photovoltaic panels powering a Peltier cell system to improve indoor comfort in summer conditions, for the city of Turin, Italy. The system can also function as supplementary heating in winter.

The outer layer of the facade consists of photovoltaic panels, while light alloy heat exchangers, coupled on opposite sides of the Peltier cells, are installed between the interior space and the facade cavity.

The Peltier cells are electrically connected directly to the solar cells: the more the sun hits the facade, the more the energy produced by the solar cells powers the Peltier cells, which function as a static heat pump, cooled by the air flowing through the cavity of the ventilated facade.

**PALABRAS CLAVES:** Rehabilitación de fachadas, refrigeración sostenible, refrigeración solar, energías renovables, fachada híbrida.

**KEY WORDS:** facade retrofitting, sustainable cooling, solar cooling, renewable energy, hybrid building envelope.

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 12/4/2022 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 15/6/2022

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0195966>

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha habido una creciente atención hacia la eficiencia de las envolventes de los edificios: por un lado, los rendimientos pasivos de la piel del edificio (por ejemplo, el aislamiento térmico) están aumentando, por el otro lado, la envolvente es cada vez más inteligente, cambiando su comportamiento y su forma para acoplarse al máximo con el clima real. En el campo de investigación sobre la envolvente del edificio llevado a cabo por el antiguo Departamento de Ingeniería de Construcción y Sistemas Territoriales (DISET) en el Politécnico de Turín (ahora Departamento de Ingeniería Estructural, de Construcción y Geotécnica, DISEG) se desarrolló y probó un innovador sistema de fachada como un prototipo a pequeña escala. Refiriéndose a la clasificación de las envolventes de los edificios (Dall'O, 2000), este tipo de fachada pertenece a la categoría de Tecnologías de Construcción de Comportamiento Dinámico Ambiental (TECAD) debido a su capacidad para modificar parcialmente el equilibrio térmico de la fachada de acuerdo con la radiación solar diaria y la necesidad de calefacción / refrigeración. A menudo, el uso de energía solar se dirige a la calefacción de invierno o la ventilación interior de verano, el Muro trombe se mejora varias veces, por ejemplo, agregando ventiladores eléctricos e incluso paneles fotovoltaicos (Butera, Adhikari, Aste y Bracco, 2005) en algunos casos más recientes, el uso de energía solar se propone para mejorar el confort del verano a través de un enfriamiento por desecante asistido por energía solar (Butera, Adhikari, Aste y Bracco, 2005) o para mejorar la eficiencia energética general del edificio conectando los paneles fotovoltaicos a la red eléctrica y enfriándolos a través del efecto chimenea de la cuchilla de aire (Arlati, 2012) en caso de equipar los paneles fotovoltaicos con absorbedores de calor (Vokas, Theodoropoulos y Georgiu, 2014).

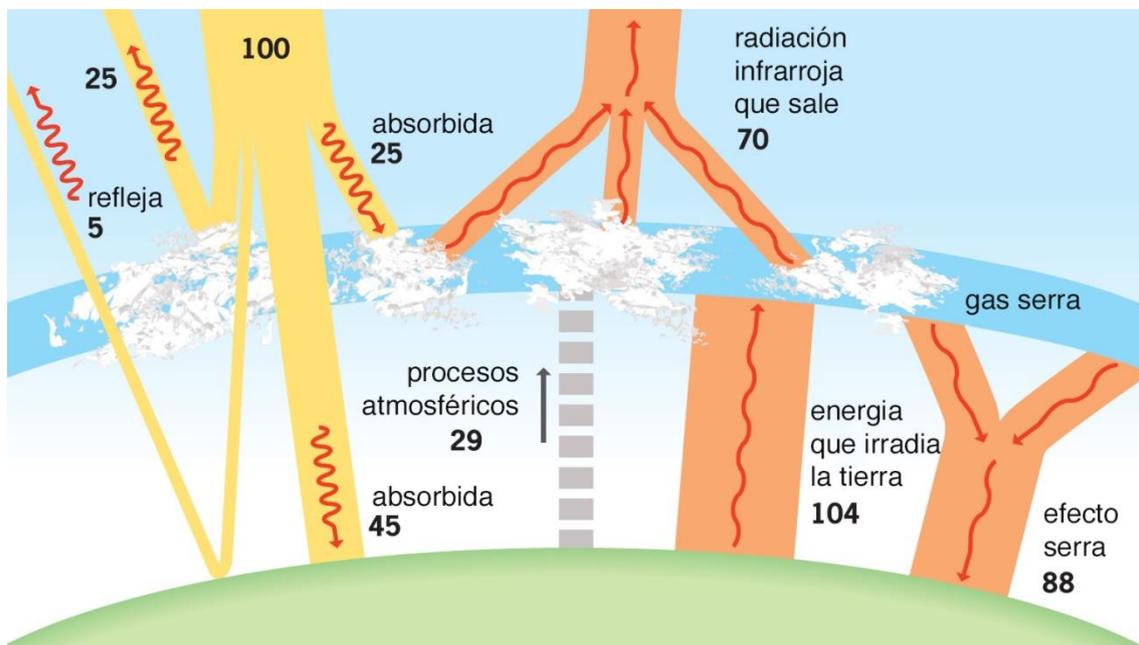


Figura 1. Solamente el 50% de los rayos solares llegan a la superficie terrestre (el 5% es reflejado por el suelo). El otro 50% es emitido, como radiación infrarroja, desde la misma atmósfera y desde el suelo, después de haber dado origen a fenómenos atmosféricos

El objetivo del prototipo es utilizar la radiación solar que incide en los edificios (aproximadamente el 45% de la radiación solar en el espacio, véase la figura 1) en beneficio del bienestar interior, no sólo en invierno, sino también en verano, cuando, normalmente, la acción del sol tiende a aumentar desfavorablemente la temperatura interior de los espacios cerrados en comparación con el exterior.

La innovación del sistema propuesto es el uso directo de la energía solar fuera de la red para generar un efecto de refrigeración sin ningún intercambio de aire dentro y fuera de la habitación y sin el uso de la energía de la red o del combustible.

El comportamiento del edificio así equipado es pasivo, incluso en la refrigeración de verano, pero si se analiza en detalle el funcionamiento del sistema de la fachada, ésta es activa. En su conjunto, la tecnología de la envoltura del edificio es, por tanto, híbrida.

El sistema de fachada fue diseñado para:

1. autorregulación del flujo térmico en función de la intensidad de la radiación solar;
2. contener el sobrecalentamiento de sus capas internas en verano y promover la refrigeración de los módulos fotovoltaicos durante todo el año, evitando que su producción disminuya debido al sobrecalentamiento;
3. reducir la temperatura ambiente durante las horas de sol de verano;
4. aumentar la temperatura ambiente durante los días soleados de invierno: en invierno hay pocas horas de sol en comparación con el verano, pero el rendimiento del sistema es muy favorable, porque la energía térmica captada del aire exterior se vierte en la habitación, a la que se añade conceptualmente la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico.

## DESARROLLO

### Sistemas de fachadas híbridas

El sistema está hecho de una fachada ventilada con su piel externa formada por paneles fotovoltaicos. Estos paneles se enfrían por el efecto chimenea de la pala de aire que fluye en el interespacio; también son muy útiles debido a su ensamblaje en seco en el sistema con todo el cableado oculto en el espacio de aire.

Los paneles fotovoltaicos están soportados por la subestructura metálica habitual de cualquier fachada ventilada, por lo que no se introducen elementos inusuales en la modularidad de dimensión de la envoltura. Los paneles FV ya están disponibles y se utilizan ampliamente en la construcción, al igual que las células Peltier de bajo coste, que suelen utilizarse de forma amateur para refrigerar microprocesadores o de forma industrial en la producción de pequeños refrigeradores portátiles que pueden conectarse, por ejemplo, al sistema eléctrico de los coches. Eléctricamente, el sistema consiste en una serie de paneles fotovoltaicos que se acoplan directamente a las células Peltier. Las células fotovoltaicas se acoplan sin ninguna interposición de reguladores u otros circuitos electrónicos a bombas de calor estáticas, que consisten en una fila de células Peltier con sus intercambiadores de calor. Se montan de forma que separan el interior de la cavidad de la fachada ventilada. Elegimos utilizar las células Peltier porque la bomba de calor estática compuesta por estos semiconductores funciona con corriente continua y con la fuente de alimentación proporcionada por los paneles fotovoltaicos sin necesidad de conversiones complejas adicionales de CC / CC. La coincidencia directa de los paneles fotovoltaicos y las celdas Peltier solo es posible si se seleccionan para tener la salida de voltaje máximo fotovoltaico similar a la entrada máxima peltier (Piantanida, 2009).



Figura 2. Esquema del efecto Peltier

Las células Peltier se acoplan térmicamente por medio de una pasta de silicona conductora con dos series de intercambiadores de calor de aluminio, uno en el lado caliente de las celdas y otro en el lado frío. En verano, los paneles fotovoltaicos tienen la tarea de cortar la radiación solar en la envoltura y dar energía a las células Peltier. De esta manera podemos invertir el efecto sol: cuanto más capte el sol la fachada, más enfriarán los Peltiers el interior. Los intercambiadores de calor en el lado frío eliminan el calor del aire ambiente: su posición óptima está, por lo tanto, en la parte superior de la habitación. Los intercambiadores de calor en el lado caliente disipan el calor eliminado de la habitación y la potencia necesaria para operar las celdas Peltier (ver Figura 2).

Durante el invierno el efecto es el contrario, simplemente conmutando la polaridad de las conexiones de los Peltiers. Por lo tanto, la energía solar se convierte en calefacción interior, recuperando parcialmente el calentamiento de la envoltura perdido que de otro modo habría sido cortado por el interespacio ventilado. El intercambio de calor con el espacio aéreo de la fachada se ve favorecido por el efecto chimenea aumentado a través del calor que irradia desde las espaldas de los paneles. En verano, el intercambio de calor interno se debe principalmente a la convección natural, a través de los enfriadores de aluminio colocados en la parte superior de la pared interior; en invierno, el intercambiador de calor calentará la capa superior del aire de la habitación y, por lo tanto, todo el techo (calefacción radiante).

Para ambas series de intercambiadores se prefirió obtener el intercambio térmico por convección natural en lugar de la convección forzada más común (Gutschker y Rogass, 1997) (Kamthania, Nayak y Tiwari, 2011) porque la primera no consume electricidad para los ventiladores en funcionamiento.

Como efecto secundario, la convección natural presenta un intercambio térmico menos eficiente y, por lo tanto, necesita intercambiadores de calor más grandes que tengan la ventaja, en el lado interno, de reducir (verano) o aumentar (invierno) la temperatura radiante promedio (Piantanida y Picco, 2004).

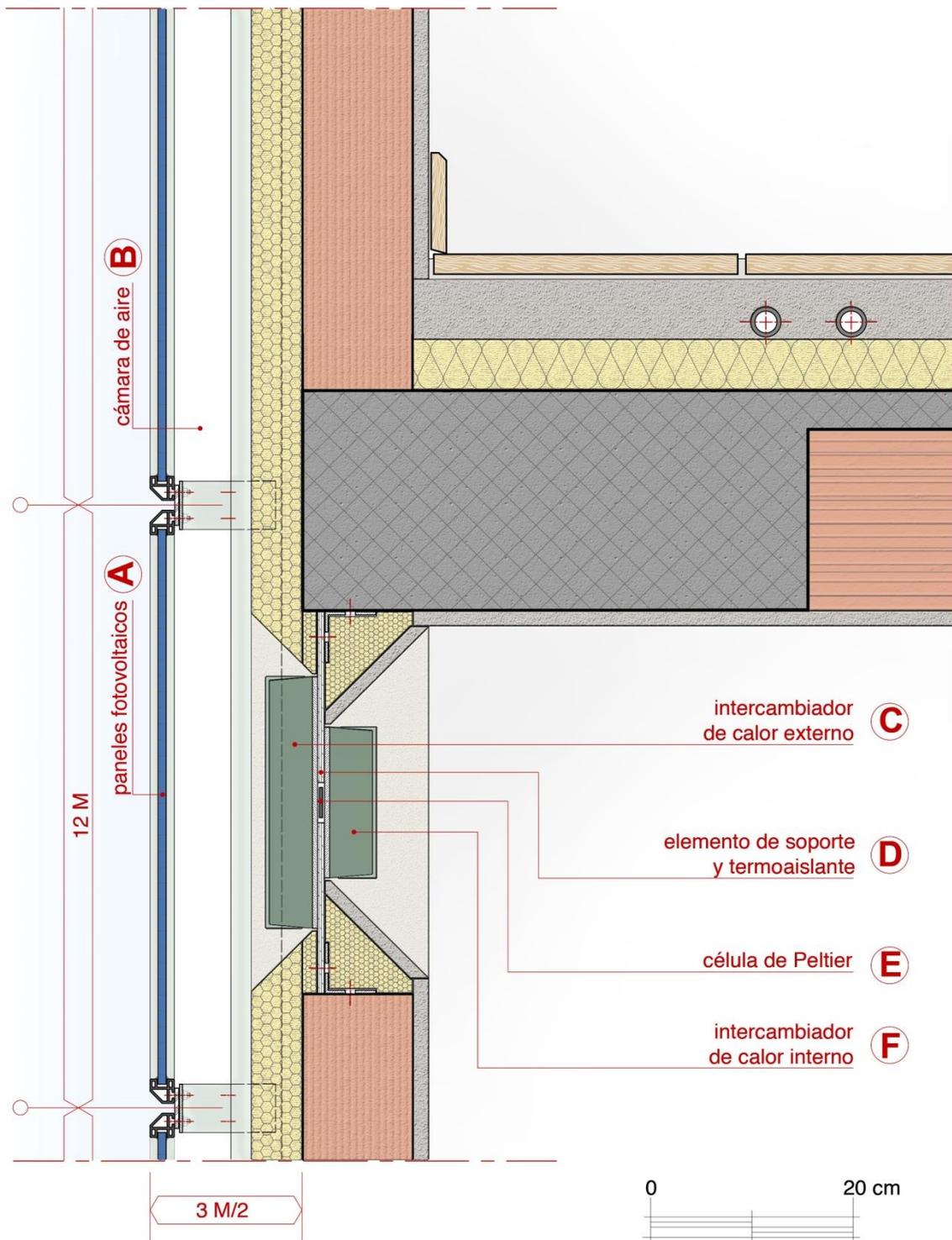


Figura 3. Sección transversal del sistema: paneles fotovoltaicos (A); Cámara de aire (B); Disipador exterior (C); elemento soporte (D); Célula de Peltier (E); Disipador interno (F)

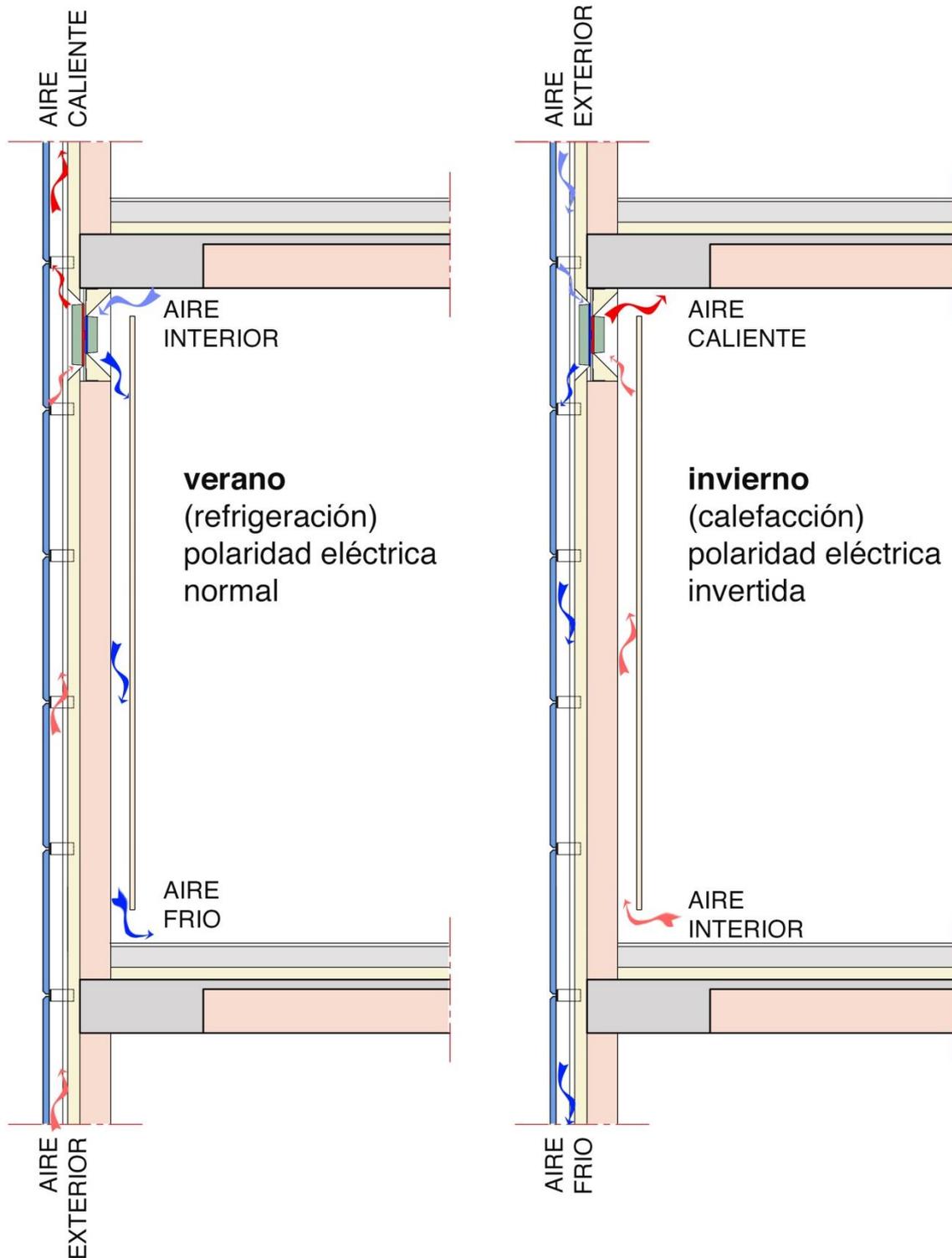


Figura 4. Sistema completo: funcionamiento y diagrama de flujo de calor en caso de invierno y verano

### Capas de fachada ventilada Fotovoltaica con células Peltier

Los elementos y capas del sistema se conciben de la siguiente manera (ver Figura 3 y 4):

- Piel externa (A): de paneles fotovoltaicos cuyo patrón debe integrarse en el diseño de la fachada. El sistema propuesto puede tener una piel vertical totalmente plana o una piel similar a una especie de persiana veneciana. De esta manera, cada fila fotovoltaica podría inclinarse, por ejemplo, de 60° a la horizontal para favorecer la eficiencia y la operación en invierno: de hecho, en Turín (45 ° 7 ' lat. N) durante el verano la inclinación de las células fotovoltaicas de 30° a la horizontal se considera óptima (Dotta, 2006), mientras que una mayor inclinación facilita la eficiencia invernal, un punto débil real teniendo en cuenta las horas de sol.
- Cámara de aire (B): Siendo el elemento distintivo de cualquier fachada ventilada, en este caso la ventilación interespacial tiene una triple finalidad: evitar el aumento de temperatura en las capas interiores de la fachada debido a la radiación solar; enfriamiento de los paneles fotovoltaicos; enfriamiento (verano) o calefacción (invierno) los intercambiadores de calor externos.
- Disipadores externos (C) Intercambiadores de calor de aleación de aluminio (H x L x W: 250 x 240 x 46 mm cada uno) transfiriendo el calor peltier por convección natural a la pala de aire (B) y aumentando el efecto chimenea. Coeficiente de disipación convectiva natural 3,125 W/K.
- Placa portante (D) Placa de soporte multicapa, integrando en el cierre vertical de la envolvente el aislamiento térmico y las celdas Peltier (E) con sus disipadores internos (F) y disipadores exteriores (C).
- Bomba de calor estática (E) Una fila de 4 celdas Peltier (ver Tabla 1), semiconductores que se comportan como bombas de calor estáticas cuando la CC se alimenta con la electricidad generada por paneles fotovoltaicos. Dependiendo de la polaridad de la potencia, la célula Peltier puede enfriar o calentar la habitación. En verano el calor extraído es aproximadamente 1/2 de la potencia proporcionada, mientras que en invierno el efecto calefactor puede alcanzar teóricamente los 3/2 de la potencia eléctrica.

Tabla 1. Ficha de datos de la Célula Peltier

1. Especificaciones	2. nidad	3. r	Valo
4. Potencia Nominal	5.	6.	33,4
7. Corriente Máxima	8.	9.	3,9
10. Voltaje máximo	11.	12.	15,4
13. Temperatura Máxima	14. C	15.	85
16. Máximo $\Delta T$ entre lados opuestos	17.	18.	67

- Disipadores internos (F): El extremo interior del sistema. Estos intercambiadores de calor de aleación de aluminio (H x L x W: 150 x 240 x 46 mm cada uno) funcionan por convección natural, para no tener ninguna pérdida de potencia fotovoltaica para hacer funcionar los ventiladores: esto resulta en un mantenimiento más simple (sin filtros) y sin ruido. El coeficiente de disipación convectiva natural es de 2,5 W/K. La ubicación de estos intercambiadores de calor está muy cerca del techo, para favorecer el intercambio de calor de verano y la estratificación del aire más frío en la parte inferior de la habitación, donde realmente sirve más. En cambio, durante la estación fría, los intercambiadores calientan la capa superior de aire y, por lo tanto, el techo que contribuirá a calentar toda la habitación por su radiación IR.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Un sistema a pequeña escala fue probado en las condiciones de verano. La prueba se realizó a través de la comparación entre la temperatura interior en dos pequeñas habitaciones (aproximadamente 1 m<sup>3</sup> cada una), una equipada con el sistema de fachada híbrida y la otra con una fachada ventilada convencional. Ambas habitaciones estaban completamente expuestas al clima de verano (cuatro paredes externas, techo y piso externos), con el fin de simular una situación de carga climática real en Turín. Se colocaron sensores térmicos (precisión de 0,15 °C) para medir la temperatura de cada habitación, la temperatura exterior y la temperatura de la capa de aire en el sistema híbrido; se conectaron con registradores de datos para monitorear las salas de prueba continuamente (12 lecturas por hora).

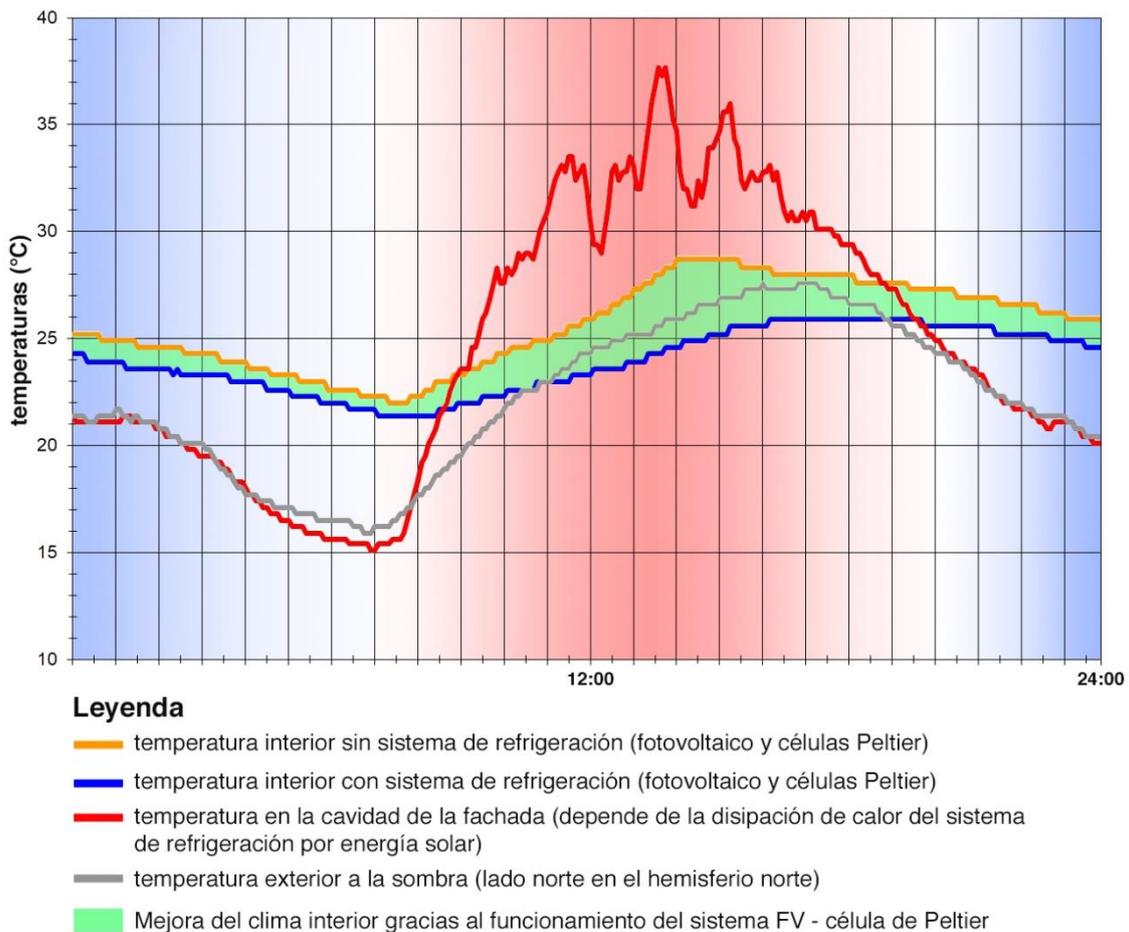


Figura 5. Contribución del sistema de refrigeración en un día soleado de septiembre (ventanas cerradas)

La situación típica de un día soleado de verano se muestra en la Figura 5: el sistema híbrido contribuye a bajar la temperatura interior entre 2 y 3 °C en comparación con la habitación equipada con una fachada ventilada convencional.

## CONCLUSIONES

El sistema propuesto ofrece la ventaja de hibridar los sistemas técnicos actualmente en el mercado (paneles fotovoltaicos, células Peltier, fachadas ventiladas, etc.) para afectar los flujos de energía a través de la envolvente del edificio con el fin de lograr un mejor confort y reducir las

necesidades energéticas del edificio. El sistema se presta bien a varios grados de integración de edificios, y también se puede configurar como una unidad de envolvente de renovación en edificios existentes. Incluso puede trabajar en sinergia con envolventes transparentes equipadas con vidrio parcialmente fotovoltaico, un caso que se considera particularmente interesante, especialmente teniendo en cuenta los problemas de confort de verano en envolventes semitransparentes que hacen frente a una pequeña masa térmica.

También es importante enfocar la capacidad del sistema híbrido para reducir no solo la potencia de enfriamiento general del edificio, sino principalmente sus picos de energía debido a la irradiación solar, con una reducción favorable de los costos de las instalaciones y un efecto positivo en las cargas máximas en el sistema eléctrico nacional.

En los días menos calurosos (por ejemplo, en septiembre), el sistema híbrido es capaz de proporcionar toda la refrigeración necesaria para mantener las condiciones de temperatura interior dentro de los estándares de confort, aumentando significativamente la sostenibilidad del edificio también en vista de que es adecuado para la readaptación de las fachadas energéticamente eficiente y sostenible.

Una mayor experimentación del sistema de fachada híbrido debería lograr en el futuro una prueba a escala natural para recopilar todos los datos necesarios (sobre todo, la evolución temporal de la potencia de refrigeración frente a las necesidades de refrigeración) para optimizar los parámetros de diseño. También una prueba a gran escala será efectiva para comparar las salidas de la fachada híbrida con los rendimientos de un sistema conectado a la red fotovoltaica que alimenta un enfriador de compresión de vapor, comparación imposible de hacer en un prototipo a pequeña escala, en el que el aire acondicionado necesariamente estaría sobredimensionado, afectando en gran medida la consistencia de las medidas (temperatura interior, demanda eléctrica, etc.).

**Agradecimientos:** al “Environmental Park” de Turín, que proporcionó el sitio de prueba y lo financió parcialmente, y a Marco Scaglione que colaboró en el diseño del sistema híbrido.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arlati E. (2012). Involucro ventilati fotovoltaici ad alta efficienza energetica. In: *Protecta 2012*; 4:67-69.
- Butera F, Adhikari RS, Aste N, Bracco R, (2005). Hybrid photovoltaic-thermal technology and solar cooling: the CRF solar facade case study. In: *1st International Conference on Passive and Low Energy Cooling (PALENC) Proceedings*; Santorini. p. 645-649.
- Dall’O G. (2000). *Gli impianti nell’architettura*. Torino: UTET.
- Dotta S. (2006). Il nuovo progetto di completamento [dell’Environment Park]. In: *Energy Week 06 lectures*; Torino.
- Gutschker O, Rogass H. (1997). Simulation of a photovoltaic hybrid façade. In: *IBPSA Conference Proceedings*. Prague.
- Kamthania D., Nayak S., Tiwari GN. (2011). Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal double pass façade for space heating. In: *Energy and Buildings*; 43:2274-2281.
- Piantanida P, Picco MB. (2004). A preliminary proposal for an hybrid building envelope. In: *Proceedings of XXXII IAHS World Congress*; Trento: University of Trento.
- Piantanida P. (2009). Fotovoltaico e celle di Peltier: una soluzione di involucro opaco attivo. In: *Ricerche ISTeA verso una Edilizia “ragionevole”*; Procchio.
- Vokas GA, Theodoropoulos NG, Georgiu DP (2014). Simulation of hybrid photovoltaic/thermal air systems on building facades. In: *International Conference on technologies and materials for renewable energy, environment and sustainability (TMREES14)*; Beirut.

