

# EL PROYECTO LIFE SUPERHERO: CUBIERTAS VENTILADAS Y PERMEABLES COMO SOLUCIÓN EMERGENTE PARA LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN CLIMÁTICA

**B. Ferrari<sup>a</sup>; M. C. Bignozzi<sup>a</sup>; E. Di Giuseppe<sup>b</sup>; M. D'Orazio<sup>b</sup>; A. Gianangeli<sup>b</sup>; H. Mathieu<sup>c</sup>**

<sup>a</sup> Centro Ceramico, Joint Lab SMILE, Via Terracini 28, 40131 Bologna, Italia

<sup>b</sup> Departamento de Construcción, Ingeniería Civil y Arquitectura (DICEA), Marche Polytechnic University, Via Brece Bianche 12, 60131 Ancona, Italia

<sup>c</sup> Centre Technique des Matériaux Naturels de Construction, 17 Rue Letellier, 75015 Paris, Francia

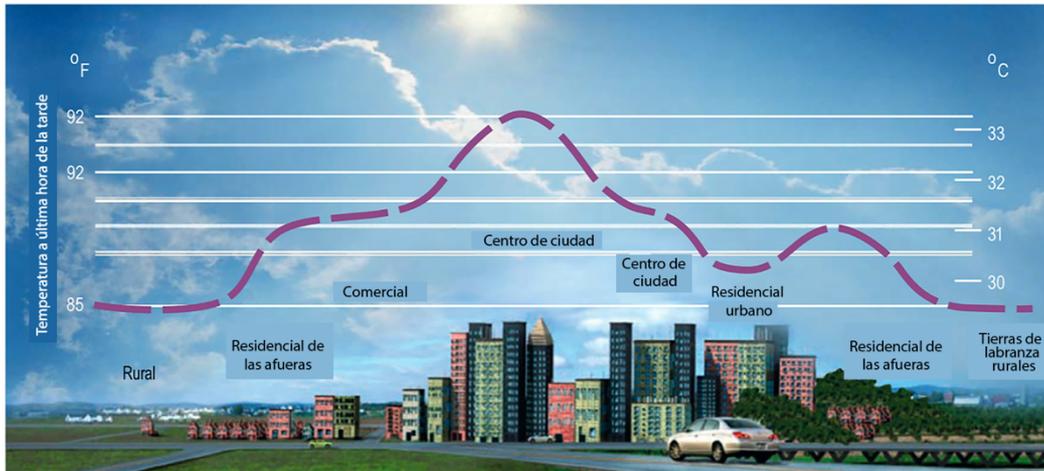
## RESUMEN

El problema planetario del cambio climático y el fenómeno local de las Islas de Calor Urbanas (*Urban Heat Islands, UHI*) se traducen durante el verano en un creciente sobrecalentamiento de las ciudades y los edificios, con el consiguiente aumento del consumo de energía y de las emisiones debidas al uso de sistemas de refrigeración. El flujo de aire en un sistema de ventilación por encima del soporte de cobertura (*Above Sheathing Ventilation, ASV*) que caracteriza a las cubiertas ventiladas de tejas cerámicas, puede reducir significativamente el calor térmico entrante en el periodo estival y, por tanto, la energía necesaria para la refrigeración del interior. Si esto se combina con un aumento de la "permeabilidad al aire" de la cubierta mediante la forma de teja mejorada (ventilación "bajo teja"), se obtiene una mejora adicional del comportamiento de la cubierta en verano y de los beneficios para todo el edificio. El proyecto HEROTILE, finalizado en 2019 y financiado en el marco del programa europeo LIFE "Adaptación al Cambio Climático", permitió desarrollar la teja HEROTILE, una innovadora teja ventilada diseñada para mejorar la transpirabilidad del aire al tiempo que permanece impermeable al agua. El proyecto HEROTILE demostró la eficacia de las cubiertas basadas en tejas HEROTILE (*HEROTILES-based roofs, HBR*) para reducir emisiones de CO<sub>2</sub> y hasta un 50% de la energía de refrigeración en comparación con otras soluciones.

Aunque los beneficios de la ventilación y la permeabilidad al aire de las cubiertas están bien establecidos en la bibliografía científica y el proyecto HEROTILE ha logrado una mejora tecnológica significativa, lo que se sigue desconociendo es el potencial de los sistemas de cubiertas ventiladas y permeables (VPR, por sus siglas en inglés) y de los tejados basados en tejas HEROTILE (HBR), lo que limita su replicabilidad y transferibilidad. Este trabajo pretende promover un concepto innovador de refrigeración pasiva de edificios y difundir el uso de VPR y HBR como soluciones eficaces, sostenibles y de bajo coste para la adaptación y mitigación climática. Se presentan los métodos y los equipos de un novedoso “ensayo de permeabilidad al aire” experimental, desarrollado en el marco del proyecto **SUPERHERO (SUstainability and PERformances for HEROtile-based energy efficient roofs)** del programa LIFE de Adaptación al Cambio Climático. El ensayo, desarrollado sobre la base de las normas BS 5534 y ASTM C1570, consiste en el soplado o aspirado de aire por una tubería hasta una cámara de distribución de aire (*plenum*), encima de la cual se sitúa un conjunto de tejas. Se mide la diferencia de presión de aire a través del conjunto y el caudal de aire volumétrico para determinar la permeabilidad al aire del conjunto. En ensayo tiene por objeto determinar el rendimiento de 18 tipos de tejas (incluidos 2 tipos de tejas HEROTILE), para así abarcar casi todos los tipos de teja disponibles en el mercado: curvas y planas, moldeadas y extrusionadas. Las pruebas preliminares han ayudado a comprender la influencia de la inclinación del tejado y la importancia de las operaciones de montaje. En este trabajo, se tratará el método de ensayo utilizado y se presentarán los resultados preliminares obtenidos por 3 laboratorios independientes, participantes en el proyecto SUPERHERO.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos 15 años, la frecuencia e intensidad de las olas de calor han aumentado en toda la UE debido al cambio climático en curso. Esto, combinado con el aumento de la urbanización, agrava el fenómeno conocido como las Islas de Calor Urbanas (*Urban Heat Islands, UHI*), que provoca temperaturas del aire más altas en las zonas urbanas que en las rurales (Figura 1). El creciente sobrecalentamiento de las ciudades y de los edificios ha exacerbado otros problemas, como son el uso energético para refrigeración con las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes; los riesgos para la salud pública, especialmente para las personas mayores y frágiles; la reducción de la productividad y eficiencia laboral; la imposibilidad de utilizar los espacios públicos; y la menor durabilidad de las estructuras e infraestructuras. Estas repercusiones directas e indirectas ponen a prueba la economía y nuestra calidad de vida [1]. Se prevé que el número de europeos que viven en ciudades llegue a superar el 80% para el 2050 y que la demanda de energía para aire acondicionado en los edificios será mucho más del triple que ahora [2-3]. Las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes contribuirán a agravar la actual situación de emergencia climática en una especie de “círculo vicioso”, al que hay que responder con estrategias específicas y eficaces de mitigación, para reducir la concentración de gases que alteran el clima de la atmósfera, y de adaptación, para que nuestras ciudades y nuestros territorios sean resilientes y estén preparados para hacer frente a los fenómenos climáticos.

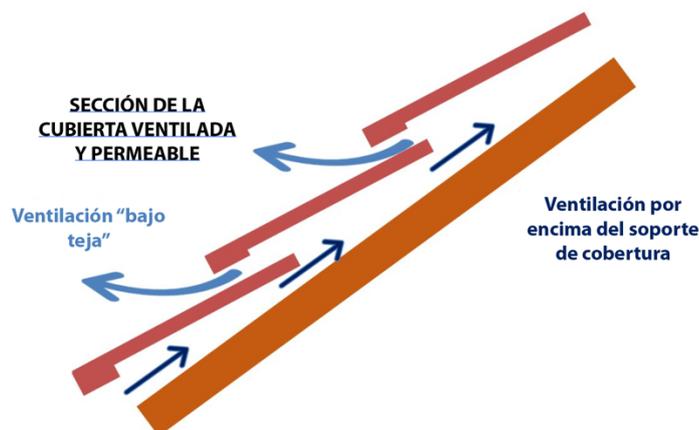


**Figura 1:** Representación cualitativa de la Isla de Calor Urbana.

## 2. CUBIERTAS VENTILADAS Y PERMEABLES

En la actualidad, cerca del 45% de los edificios de la UE fueron construidos antes de los años '90 y casi el 75% del parque inmobiliario es ineficiente desde el punto de vista energético, mientras que la tasa de renovación del parque inmobiliario es muy reducida. El sector de la edificación es uno de los sectores de la UE con mayor impacto sobre el clima. Los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en la UE [4], y la mayor parte de la demanda energética para la calefacción y refrigeración de los edificios sigue generándose a partir de combustibles fósiles.

Una respuesta eficaz al sobrecalentamiento de los edificios es el uso de tecnologías de "refrigeración pasiva", que reducen la temperatura de la envolvente del edificio y, en consecuencia, del aire circundante, sin consumo de energía. Entre estas tecnologías, el uso de las Cubiertas Ventiladas y Permeables (*Ventilated Permeable Roofs, VPR*) con tejas de arcilla permite dispersar eficazmente el calor solar acumulado tanto a través de un sistema de ventilación por encima del soporte de cobertura (*Above Sheathing Ventilation, ASV*) como por la transpiración de las tejas (ventilación "bajo teja"). La Figura 2 muestra el concepto de la cubierta ventilada y permeable (VPR).



**Figura 2:** El concepto de la Cubierta Ventilada y Permeable (VPR)

*En comparación con otras tecnologías populares de las últimas décadas, como los tejados fríos o verdes, que precisan de mantenimiento constante para garantizar su rendimiento a lo largo del tiempo, las cubiertas VPR se fabrican con tejas de arcilla, que se caracterizan por su gran durabilidad y comportamiento estable. El tejado VPR es una solución sostenible y rentable para la "refrigeración pasiva" de los edificios, que aumenta el confort estival de los ocupantes y de las ciudades (por adaptación) y reduce las emisiones de energía y gases de efecto invernadero (mitigación). La eficacia de esta solución se deriva también de los resultados del proyecto LIFE HEROTILE (LIFE14 CCA/IT/000939), en el que se han diseñado y ensayado nuevos tipos de teja de arcilla denominados HEROTILES, cuya forma aerodinámica permite optimizar su permeabilidad al aire (Figura 3). El proyecto, que finalizó en 2019, también ha demostrado la eficacia de las cubiertas basadas en las tejas Herotile (HBR) para reducir hasta un 50% de la energía utilizada en la climatización de los edificios [5].*



**Figura 3:** Las tejas HEROTILE desarrolladas durante el proyecto LIFE HEROTILE.

### 3. EL PROYECTO LIFE SUPERHERO

Aunque los beneficios de la ventilación y la permeabilidad al aire de los tejados están bien establecidos en la bibliografía científica [6-13] y el proyecto LIFE HEROTILE ha logrado una mejora tecnológica significativa, el potencial de refrigeración de los tejados VPR y HBR sigue estando severamente limitado por los reglamentos, normas, sistemas de calificación verde, y contrataciones actuales, tanto de la UE como nacionales, que sólo tienen en cuenta las tecnologías alternativas, incluyendo los tejados verdes y los tejados fríos. Además, siguen centrándose sobre todo en la calefacción de invierno, por lo que el tejado VPR para la adaptación al clima y mitigación de sus efectos sigue siendo bastante desconocido, tanto para el público en general como para los actores de la construcción y responsables políticos, lo que limita su replicabilidad y transferibilidad. Por este motivo, se ha presentado un nuevo proyecto para superar estas barreras legislativas y promover la concienciación sobre estas nuevas tecnologías.

La estructura del consorcio LIFE SUPERHERO (**SU**stainability and **PER**formances for **HERO**tile-based energy efficient roofs), formada por tres estados miembros de la UE (Italia, Francia y España), incluye a fabricantes de tejas, asociaciones de fabricantes, inquilinos de viviendas sociales, y centros de investigación y desarrollo.

El objetivo de LIFE SUPERHERO es promover el uso de los tejados VPR, y especialmente de la cubierta HBR mejorada, como solución eficaz de adaptación y mitigación climática.

Para ello, el proyecto incluye una estrategia basada en 4 pilares de acción paralelos:

1. Proponer normas y reglamentos para superar las barreras políticas/legislativas/ normativas existentes a la difusión de las cubiertas VPR y HBR, actuando a diferentes niveles en términos de difusión (nacional y de la UE) y escala técnica (desde el nivel de producto hasta el de edificio). Esta acción evaluará la producción de un método normalizado de ensayo de permeabilidad al aire, incluido en un Documento Europeo de Evaluación (DEE) voluntario y en una norma CEN; la propuesta de actualizar los sistemas de clasificación ecológica de los edificios y la contratación pública para incluir los beneficios medioambientales de las VPR; una propuesta de mejora de las normas CEN existentes para incluir las cubiertas VPR en el cálculo energético de los edificios.
2. Definir las mejores prácticas para la realización de cubiertas basadas en HEROTILE (HBR) para desarrollar directrices sobre las estrategias adecuadas para la renovación de cubiertas como solución climática. Se instalarán tejas HBR en dos edificios de Reggio Emilia (IT) para demostrar su instalación fácil y rentable a la vez que aportar un alto rendimiento energético y ambiental (reducción de la temperatura de la cubierta y por lo tanto menor UHI; reducción del uso de aire acondicionado). Esto aumentará la concienciación pública y de políticos y de partes interesadas sobre las cubiertas HBR y VPR.
3. Desarrollo del software SUPERHERO, una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para asesores de construcción y administraciones públicas, para evaluar los beneficios ambientales y económicos del ciclo de vida de las cubiertas VPR y HBR, con el fin de seleccionar las mejores soluciones de diseño para sus proyectos y planes climáticos.
4. Replicabilidad, transferibilidad y creación de mejores prácticas para los fabricantes de tejas. Esta acción sentará las bases para una fuerte penetración en el mercado de las cubiertas VPR y HBR, amplificando así los beneficios climáticos obtenidos por el proyecto. Incluirá un conjunto de actividades de transferibilidad; definirá una mejor práctica para la transformación fácil y económica de los procesos tradicionales de fabricación de tejas en procesos HEROTILE; realizará un plan de negocio; creará una marca comercial HBR y promoverá los conceptos VPR y HBR.

Las actividades del proyecto, bajo la coordinación del Centro Cerámico, comenzaron en 2020 y siguen hoy en curso. Las actividades ya realizadas en el marco del pilar 1 se detallan en los siguientes apartados.

#### **4. MÉTODO DE ENSAYO DE LA PERMEABILIDAD AL AIRE**

Durante estos meses, 3 laboratorios de investigación europeos del Consorcio SUPERHERO (CC, CTMNC, UNIVPM) han planificado un *Round Robin Test* (conjunto de ensayos comparativos independientes realizados por diferentes laboratorios) destinado a medir la permeabilidad de 18 tipos diferentes de tejas (incluyendo 2 tipos de HEROTILES), abarcando así a casi todos los diferentes tipos de tejas disponibles en el mercado: curvas y planas, moldeadas y extrusionadas.

El objetivo es aplicar un método de ensayo normalizado que considere la “permeabilidad al aire” como un parámetro del sistema de cubierta incluido en un Documento de Evaluación Europeo (DEE) o en una norma técnica CEN.

El ensayo consiste en el soplado o aspirado de aire por la tubería hacia el interior de una cámara de distribución de aire (*plenum*), (véase la Figura 4), sobre la que se encuentra una disposición de tejas con 4 elementos sin sellar, y el cálculo de la permeabilidad al aire ( $C_d$ ) de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C_d = \frac{Q}{A} = \frac{1}{\sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}}$$

Donde:

- $\Delta p$  diferencia de presión entre el interior y exterior de la cámara *plenum* [Pa];
- $Q$  caudal de aire [ $m^3/s$ ];
- $\rho$  densidad del aire [ $kg/m^3$ ];
- $A$  superficie efectiva del conjunto de la cubierta [ $m^2$ ];



(a)

(b)

(c)

**Figura 3:** Dispositivo de ensayo del Centre Technique del Matériaux Naturels de Construction (a), Marche Polytechnic University (b) y Centro Cerámico (c).

El dispositivo de ensayo y el procedimiento se ajustan a la norma establecida en [14] y [15]. Los métodos y resultados también se han comparado con estudios anteriores realizados durante el proyecto LIFE HEROTILE [16-17]. El caudal se controla mediante un generador de flujo de aire (como un ventilador eléctrico) capaz de inducir una diferencia de presión máxima entre el interior y el exterior de la cámara *plenum* no inferior a 100 Pa. El caudal se mide con un caudalímetro capaz de medir un caudal volumétrico de aire no inferior a 0,25  $m^3/s$  en la tubería de alimentación. Se utiliza un manómetro para medir la diferencia de presión (no inferior a 1000  $N/m^2$ ). El caudal se registra cuando se alcanza una caída de presión objetivo en un intervalo de valores establecidos. Además, se miden la presión y la temperatura del laboratorio para calcular la densidad del aire local ( $\rho$ ). La cámara *plenum*, de planta rectangular y con una profundidad no inferior a 0,5 m, es lo suficientemente grande para alojar al menos 2  $m^2$  de tejas de arcilla.

Para comprobar la estanqueidad del dispositivo, se cerró la parte superior de la cámara *plenum*, fijando y sellando los bordes del panel de cubierta para garantizar que no hubiera fugas, excepto en los puntos conectados a la tubería de alimentación.

Cada tipo de teja se coloca siguiendo las fichas técnicas del fabricante y utilizando los parámetros recomendados (como calibre del listón y anchura de cobertura).

Se sellan todas las juntas y uniones de tejas no representativas, excepto un mínimo de 4 cierres laterales y 4 cierres de cabeza en el centro del conjunto de tejas (véase la Figura 4). Se han realizado las pruebas utilizando diferentes ángulos de pendiente del tejado (0°, 10° y 25°).



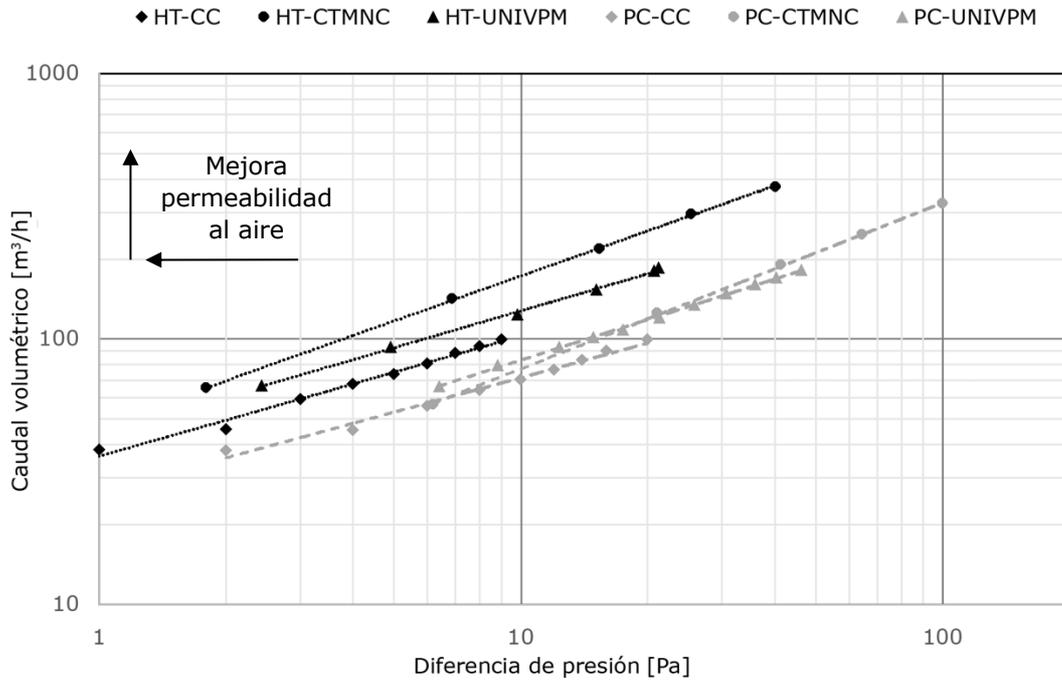
**Figura 4:** Elementos del conjunto sin sellar.

## RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados para el modelo portugués de Herotile (HT), desarrollado en el proyecto LIFE HEROTILE, y un modelo portugués clásico, Portuguese Classic (PC), que se toma como referencia. La Tabla 1 y la Figura 5 muestran los resultados obtenidos en los 3 laboratorios comparados en este estudio.

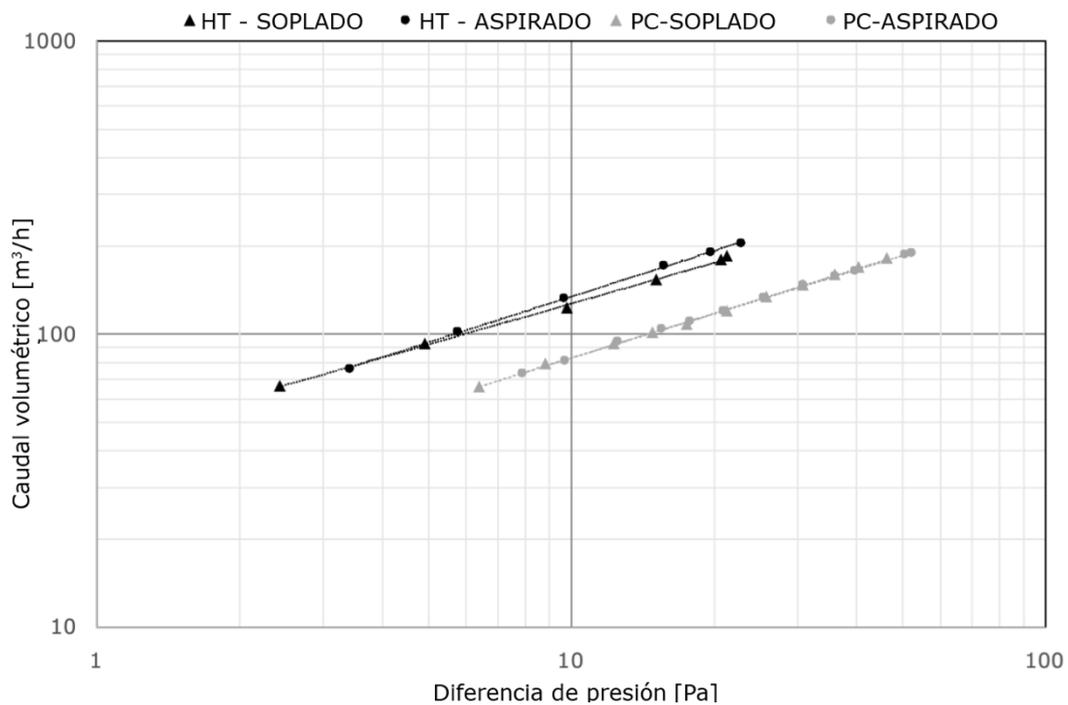
Tabla 1	Área aerodinámica $C_d \cdot A$ [mm <sup>2</sup> ]					
	Herotile (HT)			Portuguese Classic (PC)		
	UNIVPM	CC	CTMNC	UNIVPM	CC	CTMNC
Modo SOPLADO	8723	7082	11.832	5683	4780	6089
Modo ASPIRADO	9175	7295	-	5670	5395	-

**Tabla 1:** Área aerodinámica  $C_d \cdot A$  [mm<sup>2</sup>] de las tejas Herotile y Portuguese Classic obtenida por los distintos laboratorios (CC, UNIVPM and CTMNC).

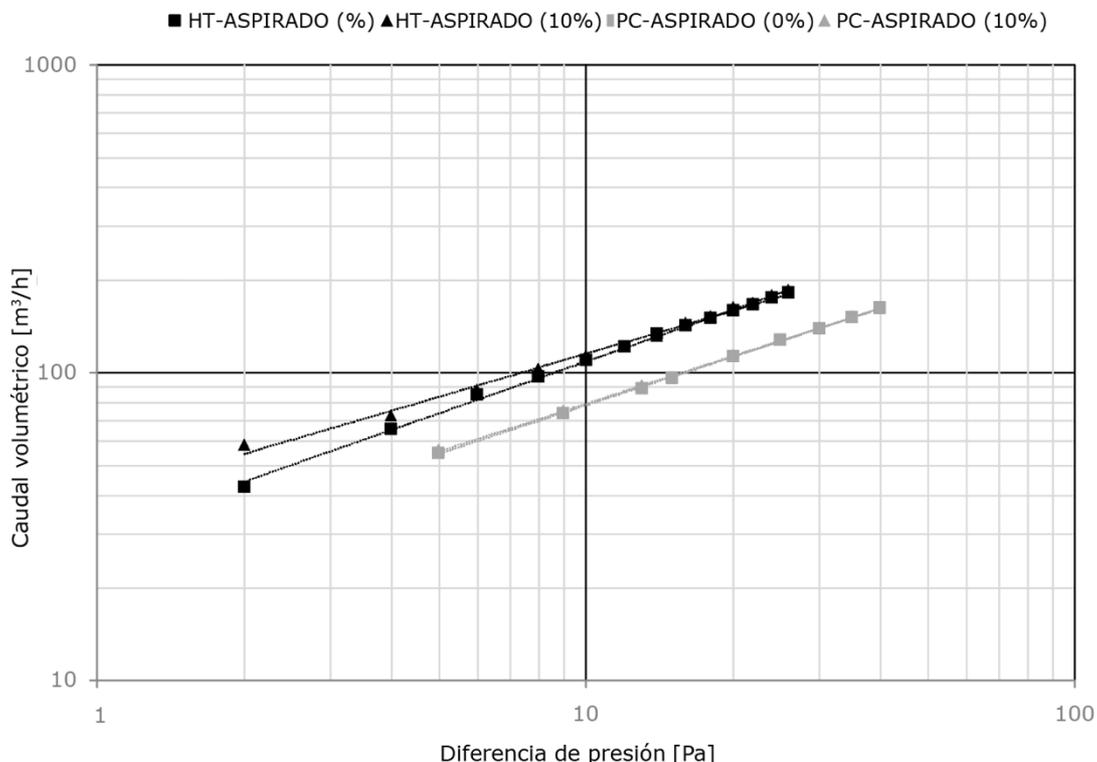


**Figura 5:** Permeabilidad al aire de la teja Herotile (en negro) y de la teja Portuguese Classic (en gris) en modo soplado.

En la Figura 6, se comparan los resultados de los ensayos realizados por UNIVPM usando ambas muestras y variando el modo de funcionamiento del ventilador de soplado a aspirado. Por último, la Figura 7 muestra cómo varía la permeabilidad al aire al variar la inclinación del sistema de cubierta.



**Figura 6:** Resultados de UNIVPM para la teja Herotile (negro) y la teja Portuguese Classic (gris) en modo soplado y aspirado.



**Figura 7:** Resultados de CC para la teja Herotile (negro) y la teja Portuguese Classic (gris) en modo aspirado y variando la pendiente del conjunto (0-10°).

## CONCLUSIÓN

En conclusión, este estudio tenía por objeto evaluar la permeabilidad al aire del sistema de cubierta usando un método innovador. Para validar los datos obtenidos y demostrar la eficacia del sistema, 3 laboratorios independientes han realizado un *Round Robin Test* (conjunto de ensayos comparativos independientes realizados por diferentes laboratorios). Al comparar los resultados de permeabilidad al aire, se observa una diferencia de comportamiento entre los dos tipos de tejas portuguesas analizadas. En concreto, todos los laboratorios destacan que la teja HEROTILE (HT) se caracteriza por menores diferencias de presión y mayor caudal de aire que la teja Portuguese Classic (PC), demostrando así una mejor permeabilidad al aire. Los valores registrados por los diferentes laboratorios se caracterizan por una cierta variabilidad, probablemente debida a las operaciones de instalación de las tejas. El objetivo de las próximas pruebas será minimizar el intervalo de variabilidad entre los resultados. De los primeros resultados analizados, no se desprende ninguna variación significativa de la permeabilidad en función del modo de soplado/aspirado o del ángulo de inclinación de la cubierta.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento al Grupo BMI por compartir su pericia y comentar los resultados obtenidos y las metodologías aplicadas. Además, se agradecen especialmente a las industrias implicadas en el proyecto LIFE SUPERHERO su apoyo técnico y las muestras proporcionadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] EEA Report 12/2016. Urban adaptation to climate change in Europe 2016: Transforming cities in a changing climate (2016)
- [2] European Environment Agency. The European environment – state and outlook 2020. <https://www.eea.europa.eu/soer/publications/soer-2020>.
- [3] International Energy Agency. The Future of Cooling. 2018.
- [4] European Commission. Energy efficiency in buildings. <https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings>.
- [5] LIFE HEROTILE. <https://www.lifeherotile.eu/it/>
- [6] D’Orazio, M., Di Giuseppe, E., Di Perna, C., Cozzolino, N.: Una “riflettanza equivalente” per coperture ventilate in laterizio. *Costr. Laterizio*. 177, 76–91 (2018).
- [7] D’Orazio, M., Di Giuseppe, E., Cozzolino, N., Allen, R., Di Fusco, A., D’Anna, G.: “Equivalent” reflectance of tiled pitched roofs. Assessment of benefits for cooling buildings and Urban Heat Island. *Laterservice Edizioni* (2019).
- [8] Di Giuseppe, E., D’Orazio, M., Di Perna, C., Cozzolino, N.: Riflettanza equivalente di coperture ventilate. *LIT, LATERIZI D’ITALIA*. 5, 35–39 (2018).
- [9] Bortoloni, M., Bottarelli, M., Piva, S., Summer Thermal Performance of Ventilated Roofs with Tiled Coverings, *Journal of Physics: Conference Series*. p. 012023 (2017).
- [10] D’Orazio, M., Di Perna, C., Di Giuseppe, E., The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates (2010): <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.004>
- [11] Dimoudi, A., Androutsopoulos, A., Lykoudis, S.: Summer performance of a ventilated roof component. *Energy Build.* 38, 610–617 (2006): <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.09.006>
- [12] De With, G., Cherry, N., Haig, J.: Thermal Benefits of Tiled Roofs with Above-sheathing Ventilation. *J. Build. Phys.* 33, 171–194 (2009): <https://doi.org/10.1177/1744259109105238>
- [13] Di Giuseppe, E., Sabbatini, S., Cozzolino, N., Stipa, P., D’Orazio, M.: Optical properties of traditional clay tiles for ventilated roofs and implication on roof thermal performance, (2018): <https://doi.org/10.1177/1744259118772265>
- [14] BS 5534:2014 Slating and Tiling for Pitched Roofs and Vertical Cladding – Code of Practice, BSI Standard Limited, (2015)
- [15] ASTM C1570-22 Standard Test Method for Wind Resistance of Concrete and Clay Roof Tiles (Air Permeability Method), ASTM International, (2022)
- [16] Bottarelli, M., Zannoni, G., Bortoloni, M., Allen, R., Cherry, N.: CFD analysis and experimental comparison of novel roof tile shapes, (2017): <http://dx.doi.org/10.1016/j.jprr.2017.05.006>
- [17] Bottarelli, M., Bortoloni, M., Zannoni, G., Allen, R., Cherry, N.: CFD analysis of roof tile coverings, (2017): <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.081>