



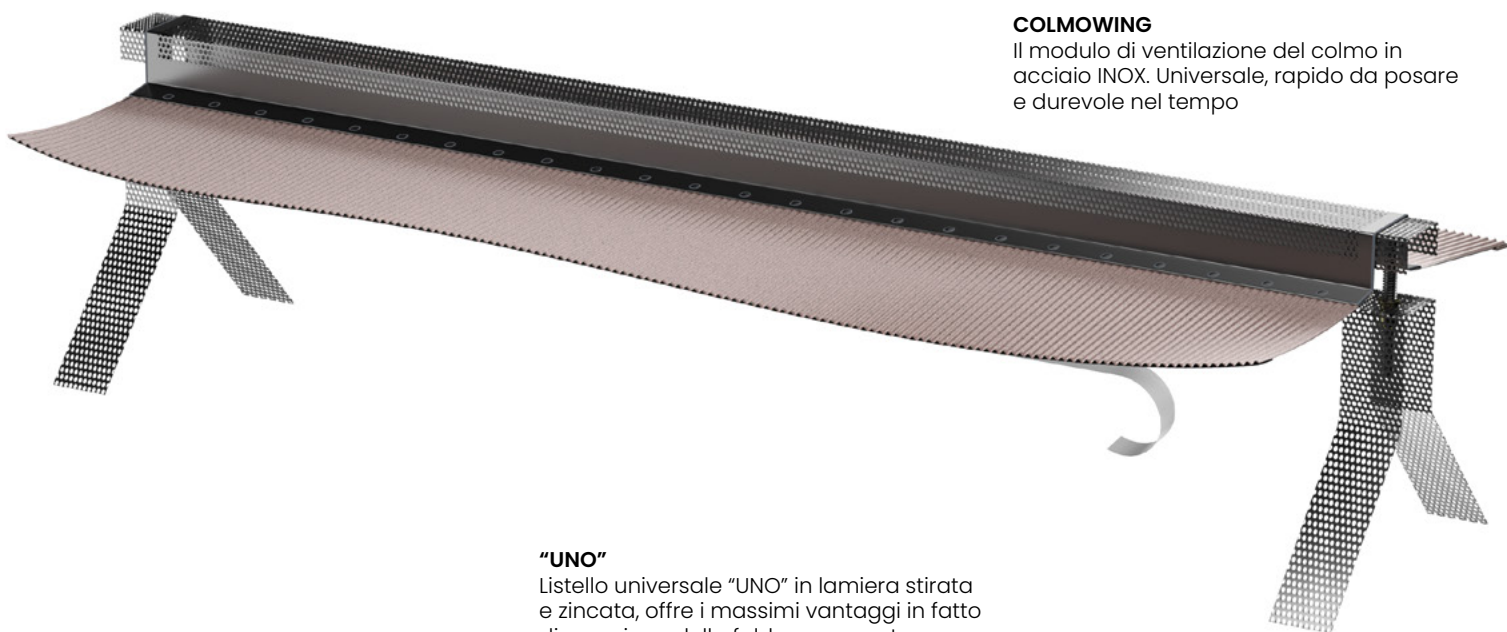
**orio**  
ACCESSORI PER TETTI VENTILATI

ricerca e tecnologia  
nel tetto ventilato



## **INDICE**

<b>IL TETTO VENTILATO</b>	<b>5</b>
BENEFICI E PRESTAZIONI DEL TETTO VENTILATO COL SISTEMA "ARIA"	5
CATALOGO ACCESSORI	5
<b>PERCHÉ SCEGLIERE UN TETTO VENTILATO?</b>	<b>6</b>
BENEFICI ESTIVI	6
BENEFICI INVERNALI	6
DISPOSIZIONI DI LEGGE IN MERITO AI CONSUMI ENERGETICI	6
LA NORMA UNI 9460:2008	6
IN OGNI CONDIZIONE CLIMATICA	7
<b>MODALITÀ COSTRUTTIVE DI UN TETTO VENTILATO</b>	<b>8</b>
MODELLI COSTRUTTIVI	8
IL SISTEMA "ARIA"	9
ERRORI DA EVITARE	11
<b>COME FUNZIONA UN TETTO VENTILATO</b>	<b>12</b>
LA FLUIDODINAMICA DI UN TETTO VENTILATO	12
<b>LA VERIFICA SPERIMENTALE DEL TETTO VENTILATO</b>	<b>15</b>
LA RICERCA DELL'UNIVERSITÀ DI FERRARA	15
IL SISTEMA "ARIA" RISPETTO AL METODO TRADIZIONALE	16
I TEST NEL DETTAGLIO	18
CLIMA METERELOGICO	18
<b>I RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE</b>	<b>20</b>
I FATTORI DETERMINANTI	21
CONSIDERAZIONI FINALI	23
I BENEFICI ALL'INTERNO DELLA STRUTTURA	24
<b>L'IMPORTANZA DEL SOTTOCOLMO</b>	<b>26</b>
COLMOWINGS	26
MICROTEC400	27
<b>VERIFICA DEI PONTI TERMICI</b>	<b>28</b>
IL TEST IN LABORATORIO	28
I RISULTATI DEL TEST	29
<b>INDAGINE NUMERICA E INTERPRETAZIONE DEL MOVIMENTO DELL'ARIA IN INTERCAPEDINE</b>	<b>30</b>
CFD: COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS	30
LE CONDIZIONI	31
IL CALCOLO	31
I RISULTATI	31
<b>REFERENZE</b>	<b>33</b>

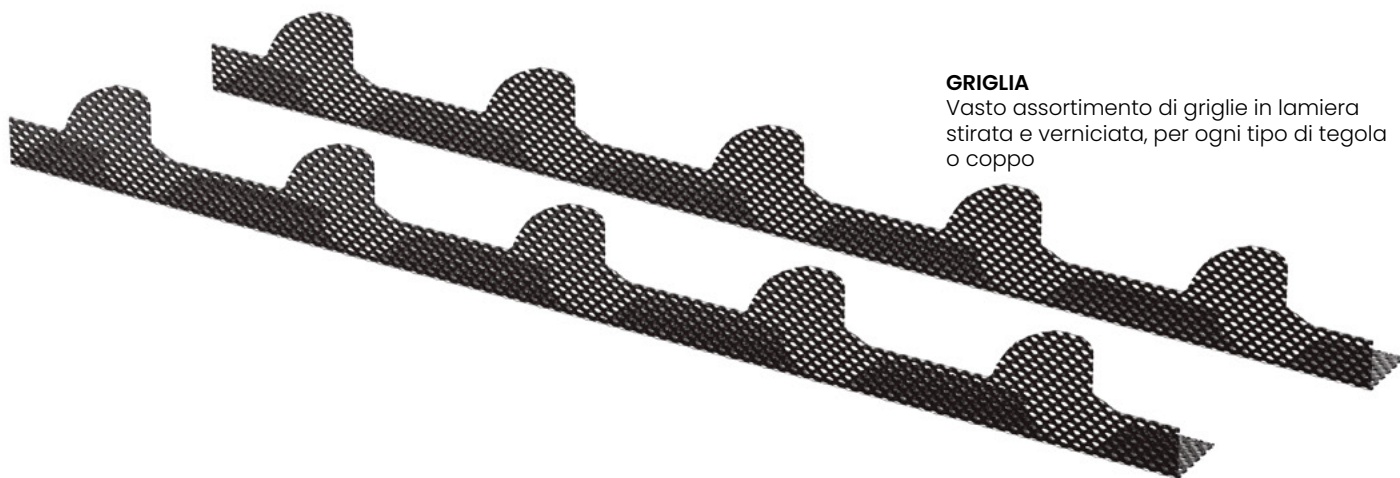
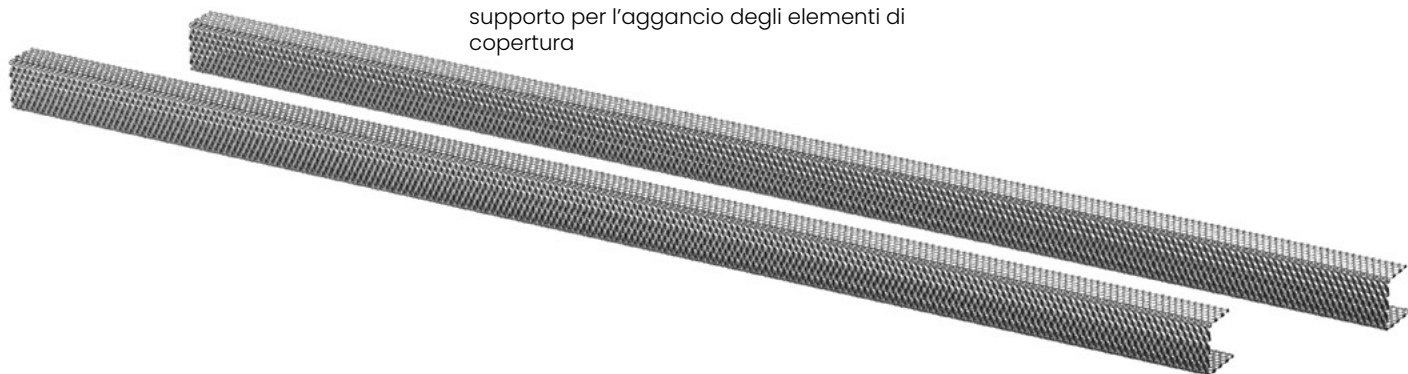


#### **COLMOWING**

Il modulo di ventilazione del colmo in acciaio INOX. Universale, rapido da posare e durevole nel tempo

#### **"UNO"**

Listello universale "UNO" in lamiera stirata e zincata, offre i massimi vantaggi in fatto di aerazione della falda e consente un supporto per l'aggancio degli elementi di copertura



#### **GRIGLIA**

Vasto assortimento di griglie in lamiera stirata e verniciata, per ogni tipo di tegola o coppo

# IL TETTO VENTILATO

## BENEFICI E PRESTAZIONI DEL TETTO VENTILATO COL SISTEMA "ARIA"

Il SISTEMA "ARIA" per la realizzazione di tetti ventilati creato da **OFFICINE RASERA, con domanda di brevetto depositata**, è la soluzione efficace **per la maggior parte delle coperture**.

Grazie ai moduli per la linea di gronda (**griglie**), agli elementi per la falda (**listelli "UNO"**) e ai moduli di sottocolmo (**COLMOWINGS**), è possibile costruire **tetti stabili, durevoli e facilmente manutenibili con un'alta capacità ventilante**, sia per le coperture in **tegole**, sia per quelle in **coppi**.

Il sistema, oltre a consentire **l'aggancio degli elementi a secco** (senza l'utilizzo di malta, sigillanti o schiume), permette la **circolazione longitudinale e trasversale dell'aria** per una ventilazione del sottomanto. L'**intercapedine** d'aria prodotta con la posa di tegole o coppi sui listelli "UNO" **assicura le prestazioni di un tetto ventilato come da norma UNI 9460:2008**.

Il SISTEMA "ARIA" consente la **posa rapida**, senza l'ausilio di utensili particolari e **senza ricorrere a mano d'opera specializzata**.

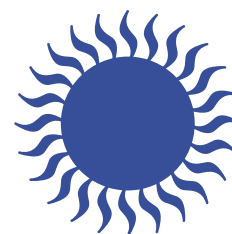
## CATALOGO ACCESSORI

Il catalogo OFFICINE RASERA comprende un **vasto assortimento** di prodotti e accessori utili alla realizzazione e alla finitura di ogni punto del tetto assicurando lo stesso grado di efficacia anche in presenza di eventi atmosferici estremi.

# PERCHÉ SCEGLIERE UN TETTO VENTILATO?

## BENEFICI ESTIVI

La **circolazione dell'aria** al di sotto del manto impermeabile di un tetto a falde ha la funzione di **controllare e limitare il flusso di calore in ingresso in regime estivo**, ossia evitare che il calore del sole che scalda gli elementi del manto si trasmetta al solaio di copertura e agli ambienti sottostanti, surriscaldandoli. Si tratta quindi di **una scelta che porta benefici in termini di comfort senza consumo di energia**.



## BENEFICI INVERNALI

Nel **periodo invernale**, la ventilazione sottomanto facilita invece lo **smaltimento dell'eventuale umidità** presente nel pacchetto della copertura, **contribuendo a conservare le proprietà dello strato isolante ed evitando il deperimento della struttura** e del manto di copertura.



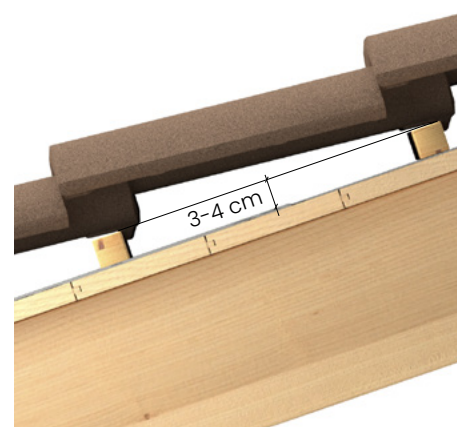
## DISPOSIZIONI DI LEGGE IN MERITO AI CONSUMI ENERGETICI

Le **disposizioni relative alle prestazioni energetiche estive**, legate al contenimento dei consumi in edilizia, segnalano la **necessità di utilizzare tecnologie innovative** per le chiusure superiori in grado di sfasare e attenuare l'onda termica in ingresso. **Una buona circolazione d'aria** in copertura può sicuramente fornire **un valido contributo**, soprattutto in quelle coperture con struttura in legno e quindi con massa limitata.

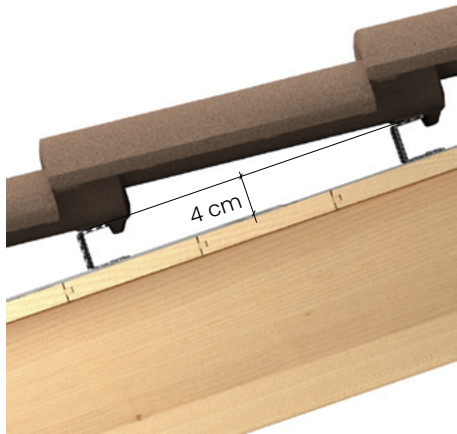
## LA NORMA UNI 9460:2008

La **ventilazione sottotetto** (o ventilazione sottomanto o ventilazione sottocoppo o sottotegola) è quella **lama d'aria circolante immediatamente al di sotto dello strato impermeabile di copertura**.

La norma **UNI 9460:2008** (Coperture discontinue - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture realizzate con tegole di laterizio o calcestruzzo, punti 9.1.3 - 9.1.4) **indica in 3-4 centimetri lo spessore degli elementi di supporto** e aggancio **che distanziano l'intradosso** del manto



Intercapedine con listello in legno



Intercapedine con listello "UNO"

impermeabile **dall'estradosso** del solaio di falda consentendo la circolazione dell'aria.

Si tratta di **una soluzione costruttiva che è sempre prevista dalla normativa** e "... necessaria per il buon funzionamento della copertura e per garantire una durata nel tempo dell'elemento di tenuta..." (UNI 9460:2008).

## IN OGNI CONDIZIONE CLIMATICA

**Questa circolazione d'aria deve essere sempre presente** in qualsiasi condizione climatica e di progetto in quanto, oltre al controllo dell'apporto solare, fornisce altre **numerose prestazioni**:



1. contribuisce a **smaltire il vapore acqueo** che sale dagli ambienti sottostanti prima che, attraversando gli elementi e gli strati del pacchetto di copertura, condensi sull'intradosso freddo delle tegole per poi gocciolare sul solaio di copertura;



2. consente alle tegole di **asciugarsi più rapidamente in caso di eventuale condensa**, o dopo **l'imbibizione dovuta alla pioggia**, soprattutto sull'intradosso;



3. **limita i rischi di rottura causati dal gelo** e dovuti alla lunga permanenza dell'acqua imbibita nella matrice laterizia;



4. contribuisce a evitare che il calore che sale dall'alloggio causi **irregolari scioglimenti e scivolamenti del manto nevoso** con conseguente accumulo di neve e ghiaccio in linea di gronda e possibili ritorni di acqua;



5. **facilita l'allineamento e la posa regolare di tegole e coppi** senza necessità di fili, stagge, metri o altri riferimenti;



6. **impedisce lo scivolamento di tegole e coppi** che altrimenti potrebbero muoversi lungo il piano di falda aprendo delle linee di ingresso dell'acqua.

La ventilazione sottotetto mantiene quindi analoghe caratteristiche termo-igrometriche fra l'estradosso e l'intradosso delle tegole e dei coppi, consentendo agli elementi di "respirare" e di mantenersi asciutti, **augmentando la durata del manto, degli elementi isolanti e delle strutture**.

# MODALITÀ COSTRUTTIVE DI UN TETTO VENTILATO

## MODELLI COSTRUTTIVI

La modalità di costruzione di un tetto ventilato può essere quella artigianale con l'utilizzo di listelli di supporto in legno in singola o doppia orditura.

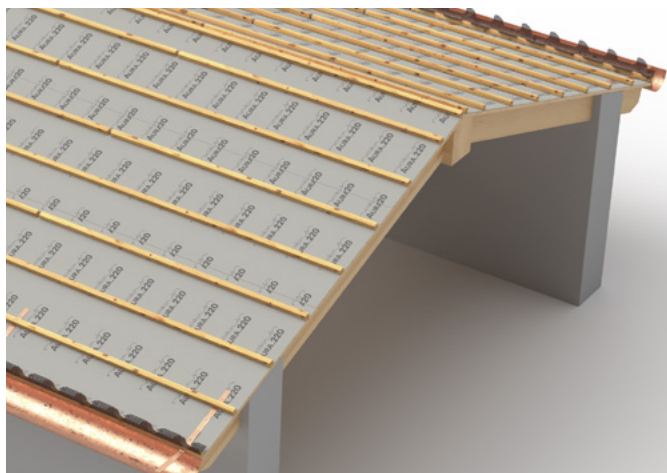
Con il **SISTEMA "ARIA"** è sufficiente una singola orditura grazie al listello "UNO" in lamiera stirata e zincata che, grazie alla sua permeabilità all'aria, non solo assicura la stessa efficacia e gli stessi benefici della ventilazione anche in singolo strato, ma ne migliora le prestazioni.



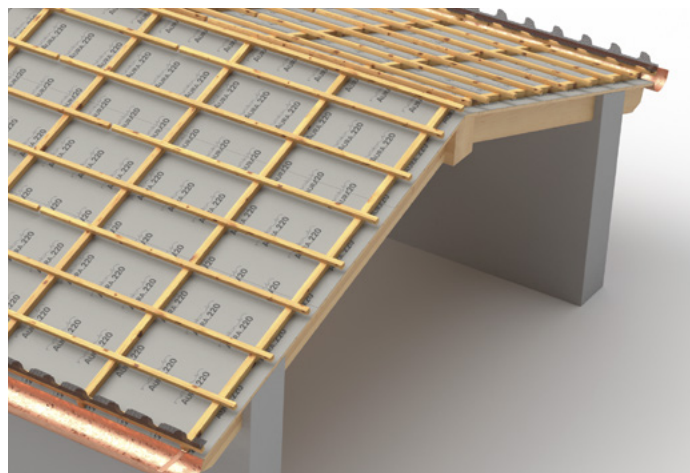
Singola orditura con listelli "UNO"

La posa con **singola orditura di listelli di legno** permette un modesto flusso d'aria in quanto il listello pieno non consente un elevato passaggio dell'aria, che può transitare in minima parte solo attraverso la curvatura della tegola e in alcun modo sotto tegole marsigliesi o piatte. Inoltre, in caso di infiltrazioni d'acqua, crea un bacino con il rischio di danneggiare gli elementi sottostanti del sistema tetto.

Lo stesso accade con la **doppia listellatura in legno**, che presenta l'orditura superiore contromoto rispetto al movimento dell'aria ed è anche più onerosa dal punto di vista costruttivo.



Singola orditura con listelli in legno



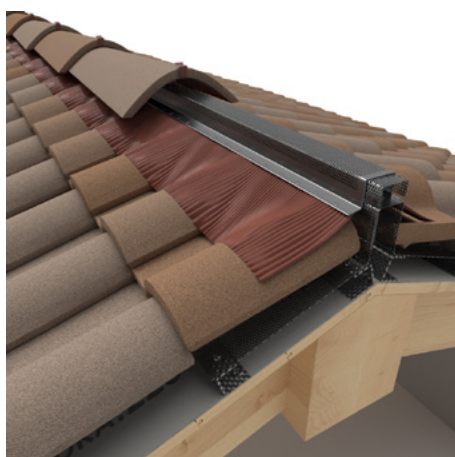
Doppia orditura con listelli in legno



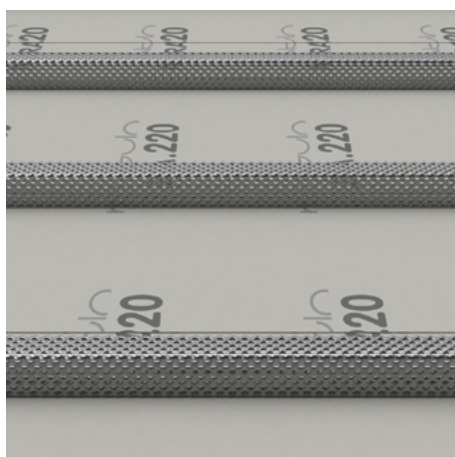
## IL SISTEMA "ARIA"

La configurazione in lamiera stirata del listello "UNO" presenta invece una **maggiore permeabilità** in quanto può essere attraversato dall'aria consentendo un **maggior flusso**. Inoltre, la **foratura consente un fissaggio molto agevole dei listelli al piano del solaio di falda e delle tegole al listello**, oltre a favorire il **facile deflusso dell'eventuale acqua di infiltrazione**.

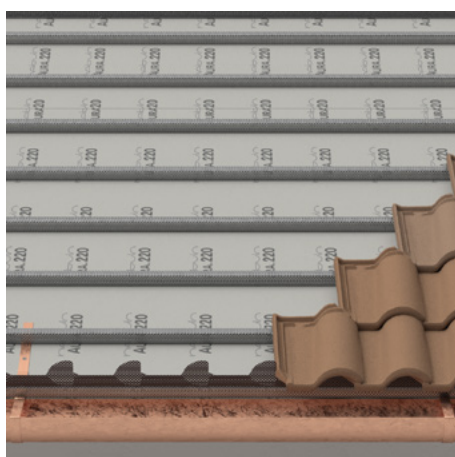
Il SISTEMA "ARIA" è stato pensato e progettato considerando questi aspetti funzionali. È costituito da **tre elementi base più gli accessori**: la **GRIGLIA parapasseri** di gronda, il profilo metallico **listello "UNO"** di aggancio delle tegole e il **sottocolmo COLMOWINGS**.



**Sottocolmo Colmowings, in acciaio inox** (vuoto su pieno oltre i 500 cm<sup>2</sup>/m), caratterizzato da una parte centrale forata **per la fuoriuscita dell'aria di ventilazione**, due bordi laterali **anti risalita dell'acqua** con bande laterali plissettate per una corretta sagomatura sulla superficie delle tegole e due strisce adesive butiliche per una **perfetta aderenza a tenuta d'acqua**. Facile da posare e fissare grazie agli elementi di supporto. **Consente il fissaggio degli elementi di colmo.**



**Listello "UNO"**, realizzato in lamiera di acciaio zincato e stirato (**materiale riciclabile e non dannoso per la salute e l'ambiente**), possiede **elevata resistenza al calpestio** senza deformazioni e lunga **resistenza agli agenti atmosferici**. Presenta **il miglior rapporto fra superficie piena e superficie vuota** rispetto a listelli forati con bucatatura circolare. È facile da tagliare, sagomare e fissare grazie alle forature romboidali presenti.



La **GRIGLIA parapasseri** è in lamiera metallica stirata verniciata a polveri di poliestere per una **maggiore resistenza agli agenti atmosferici** e una **perfetta mimetizzazione** con gli elementi del manto di copertura.

Già predisposta con **la corretta sagomatura e altezza in funzione del tipo e del modello di tegola o coppo**, **facilita la messa in opera fornendo il corretto passo di posa**.

Rispetto alla lamiera forata, il profilo in lamiera stirata presenta il **miglior rapporto tra vuoto e pieno** (maggiore di circa il 30%).



Utilizzo di malta fresca o schiume



Deterioramento del manto di copertura



Formazione di muffe, muschio e licheni



Muffe interne (foto a sinistra)

Rottura di coppi o tegole (foto a destra)



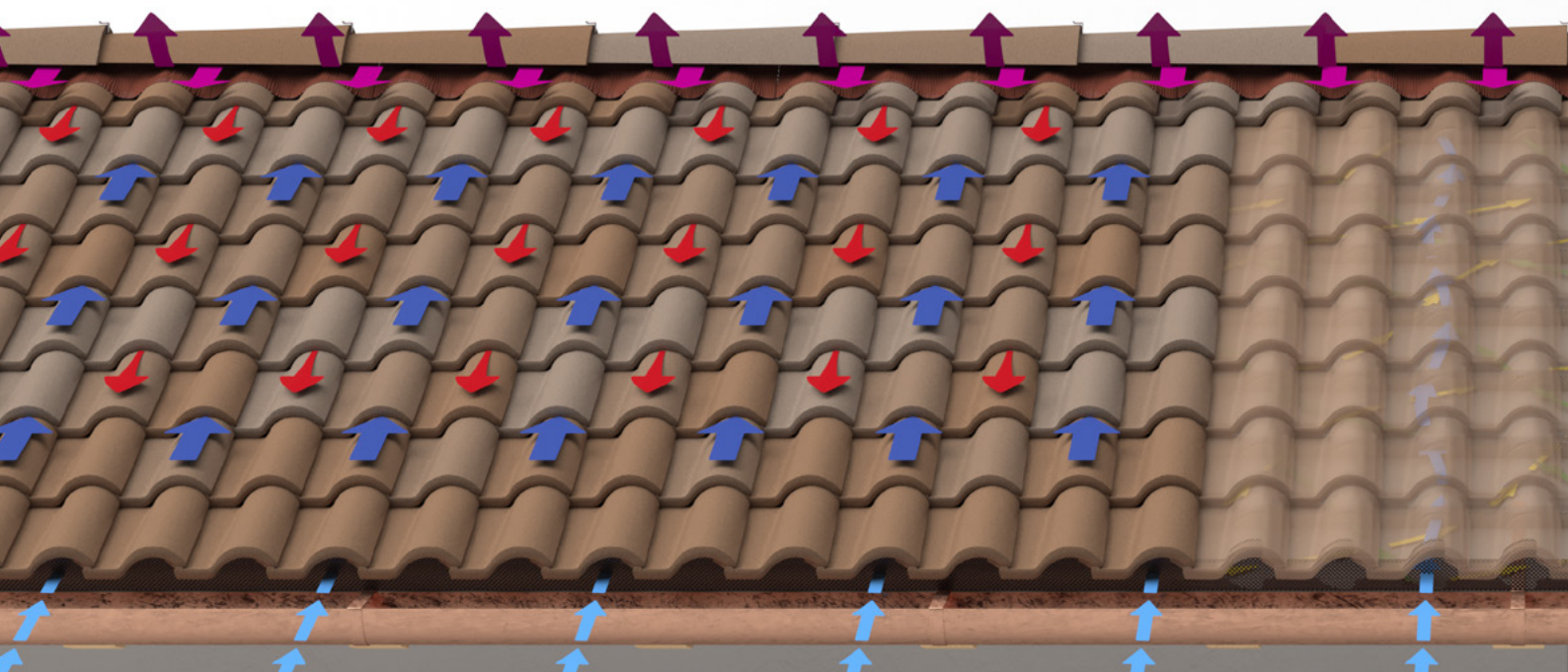
## ERRORI DA EVITARE

Fondamentale è comprendere che la messa in opera e/o il **fissaggio di tegole o coppi tramite allettamento su malta fresca o schiume** (stesa per punti, per singolo elemento, per file, ogni due, tre o quattro file o in qualsiasi altro modo) è da considerarsi **sempre e comunque errata ed è causa di numerosi problemi** alla copertura.

**Questa tecnica di posa:**

1. **non è prevista dalla normativa UNI 9460:2008 e dalla manualistica ANDIL** (Associazione nazionale industriali dei laterizi), al contrario viene espressamente definita errata e quindi **contestabile in caso di malfunzionamenti del tetto** con conseguente **decadenza della garanzia** del produttore del laterizio;
2. **non garantisce l'inamovibilità** dell'intero manto ma solo di alcuni elementi, ossia solo delle file o degli elementi fissati, mentre gli altri possono muoversi e scivolare;
3. questi **fissaggi**, oltre a produrre **rifiuti speciali dannosi** sia per l'uomo sia per l'ambiente, **non sono duraturi** (considerando di almeno cinquant'anni il tempo medio di vita di un tetto correttamente eseguito), **soprattutto quelli eseguiti con schiume**, che con il calore e l'azione dei raggi UV si deteriorano perdendo efficacia;
4. la malta potrebbe diventare il **vettore di infiltrazioni per capillarità** attraverso il manto di copertura imbibito dalla pioggia verso il solaio di copertura, provocando delle macchie all'intradosso del sottotetto;
5. può essere **causa di rotture per gelività** in quanto non consente una rapida asciugatura della matrice laterizia del manto di copertura.

**Inoltre vengono meno tutti i benefici funzionali di un tetto ventilato, in particolare lo smaltimento estivo del calore dovuto alla radiazione solare.**



 Ingresso dell'aria tra tegole o coppi

 Uscita dell'aria tra tegole o coppi

 Uscita dell'aria dal colmo

## COME FUNZIONA UN TETTO VENTILATO

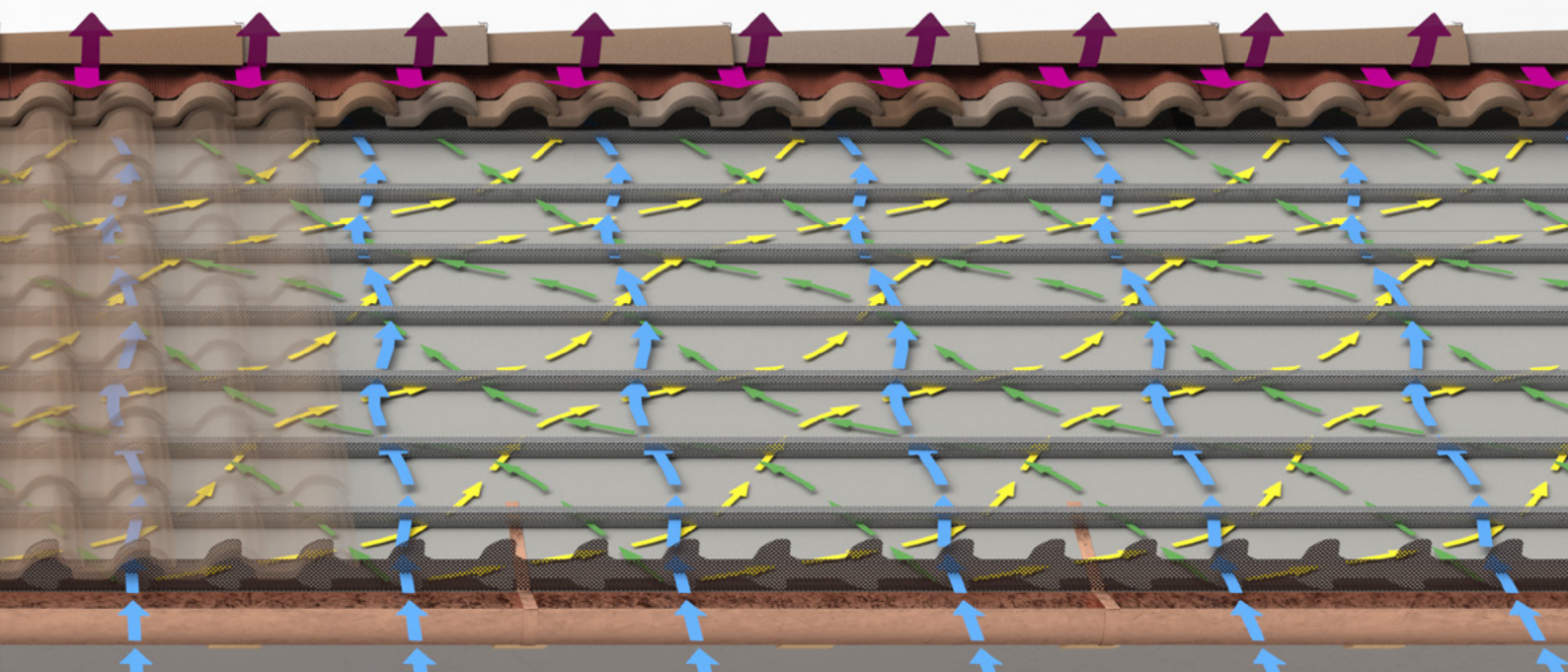
### LA FLUIDODINAMICA DI UN TETTO VENTILATO

Normalmente, in un tetto ventilato, **si pensa che l'aria entri solo lungo la linea di gronda** attraverso il pettine o la griglia parapasseri, **salga longitudinalmente** lungo la verticale con un percorso relativamente lineare, grazie al calore del sole che la riscalda, **ed esca lungo la linea di colmo** attraverso le forature del sottocolmo.

Questo fenomeno termo-fluidodinamico, che governa il movimento dell'aria calda a salire dal basso verso l'alto, viene normalmente chiamato **effetto camino** (o stack effect) e riferito alle **forze di galleggiamento che si innescano per la rarefazione dell'aria più calda**.

In realtà, la ricerca ha dimostrato che **l'andamento dell'aria all'interno dell'intercapedine sottomanto segue percorsi molto più complessi** e differenziati ed è influenzata da numerosi altri fattori:

1. prima di tutto e in modo assolutamente preponderante dalla **presenza del vento**, che è una costante in ogni località. **In un tetto ventilato l'energia delle forze di galleggiamento** (quelle che in un sistema privo di interferenze esterne innescano l'effetto camino) **poco possono fare, da sole**, per limitare il surriscaldamento delle tegole. E nella concezione di un **percorso solo longitudinale dell'aria gronda-colmo, solo un vento perpendicolare alla linea di gronda porterebbe il massimo contributo**; in realtà, è stato appurato che **l'aria passa anche attraverso le sovrapposizioni delle tegole**. Un manto impermeabile discontinuo è progettato per assicurare l'impermeabilità all'acqua in caso di pioggia, ma la tenuta nei confronti dell'aria è improbabile nella maggior parte delle tegole in commercio. Questa caratteristica fa sì che **l'ingresso, il movimento e la velocità dell'aria nell'intercapedine ventilata** siano influenzati anche da **direzioni di vento non perpendicolari alla gronda**, consentendo di sfruttare l'arrivo di questa energia da molti più quadranti.



■ Moto longitudinale nel sottanto

■ ■ Moto multidirezionale, inclinato e trasversale, nel sottanto

L'energia delle forze di galleggiamento è estremamente modesta ed **è sufficiente una leggera brezza con velocità del vento già attorno a 0,3-0,5 m/s per avere ragione di questo effetto camino e modificare il percorso dell'aria**. Laddove la direzione del vento fosse perpendicolare alla linea di gronda, vento ed effetto camino si sommerebbero, ma **con direzioni del vento differenti dalla perpendicolare, è sempre il vento che comanda** la ventilazione;

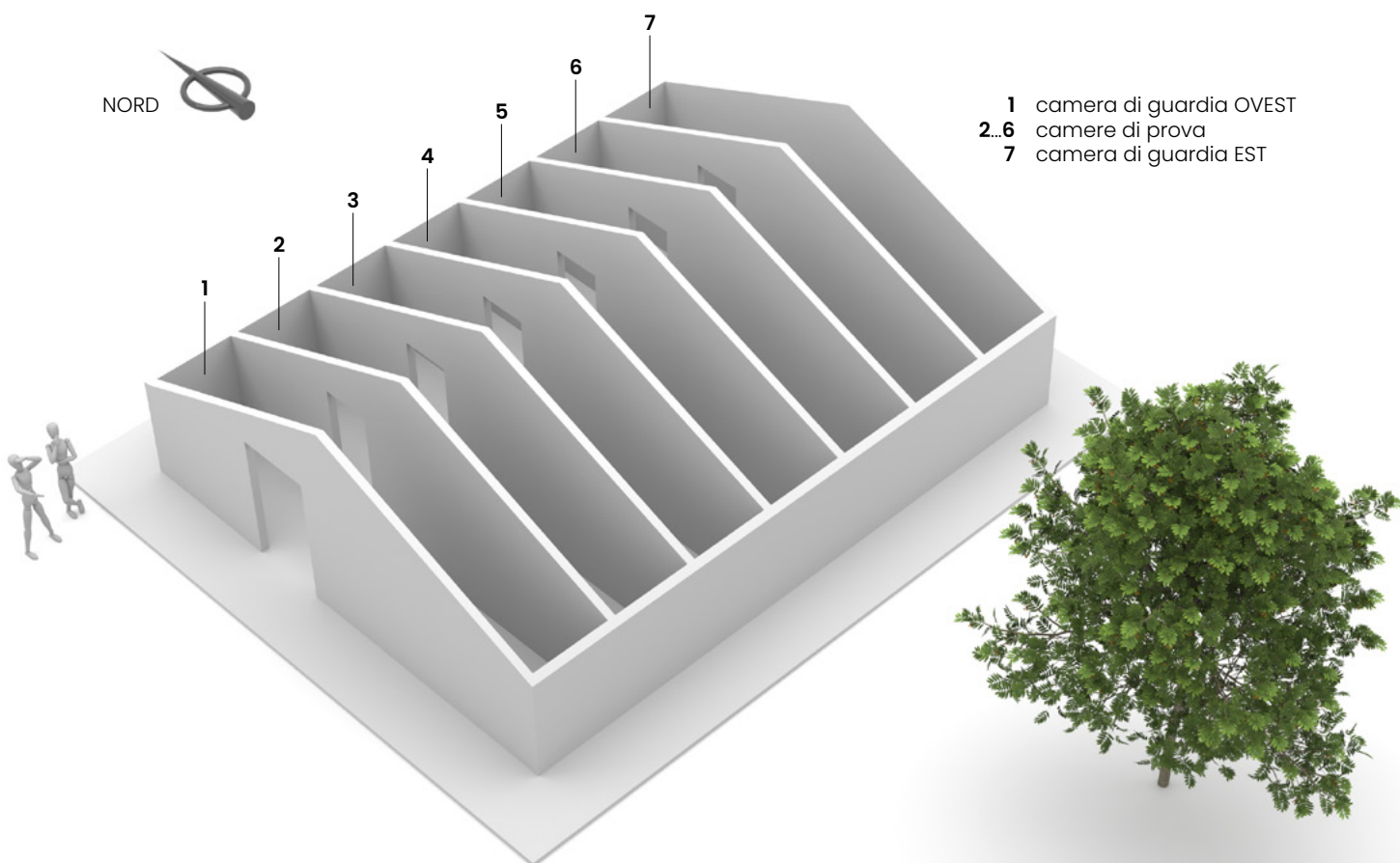
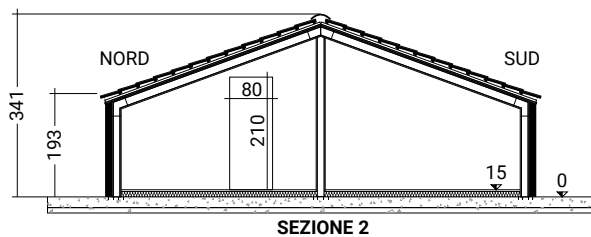
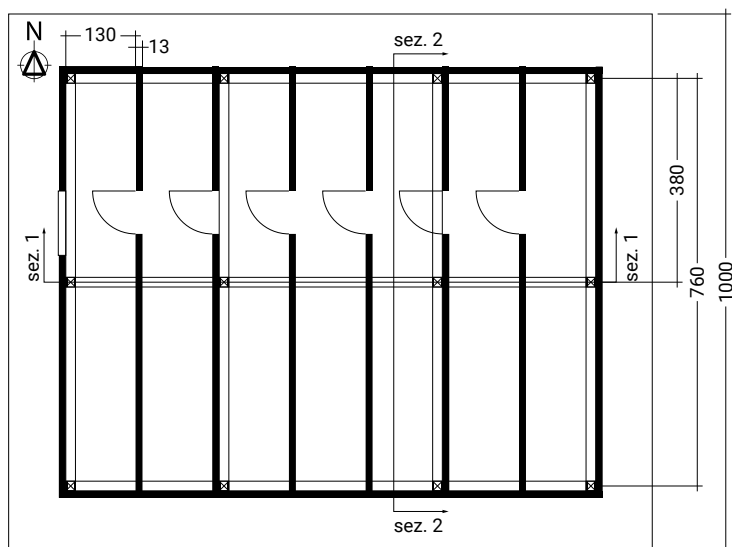
2. in secondo luogo la presenza di elementi di sostegno e ancoraggio delle tegole. Più questi profili sono **trasparenti e permeabili all'aria**, che come visto può arrivare da diverse direzioni, maggiore e più **efficace è la circolazione**.

**Profili pieni invece risultano di ostacolo** al movimento perché creano impedimenti e rallentamenti al libero cammino dell'aria che penetra nel sottanto con diverse angolazioni.

Questi due aspetti sono importanti in quanto lo smaltimento del calore estivo in copertura non avviene semplicemente ed esclusivamente grazie a un movimento longitudinale gronda-colmo dell'aria. Ogni altra circolazione trasversale o diagonale contribuisce a questa funzione.

Ne consegue che l'effetto camino non è l'unico fenomeno che attiva la ventilazione in un tetto ventilato, ma importante è anche l'aria che entra/esce attraverso la sovrapposizione delle tegole e la sua possibilità di muoversi nel sottanto senza ostacoli sfruttando qualunque direzione del vento. Più dello spessore dell'intercapedine, **è quindi rilevante la possibilità dell'aria di muoversi senza incontrare ostacoli dovuti alla presenza di listelli pieni** di supporto delle tegole.

Questi aspetti fondamentali per la ventilazione sono **alla base del progetto degli elementi del SISTEMA "ARIA"**.





## LA VERIFICA SPERIMENTALE DEL TETTO VENTILATO

### LA RICERCA DELL'UNIVERSITÀ DI FERRARA

Le informazioni sul comportamento e sulle prestazioni della circolazione dell'aria nel tetto ventilato sono state ricavate da **una serie di ricerche sperimentali condotte su modelli al vero realizzati presso il Tecnopolo dell'Università di Ferrara da docenti e ricercatori del Dipartimento di Architettura.**

Per questa indagine è stata utilizzata una piccola costruzione caratterizzata da **sette tetti uguali a due falde con orientamento nord-sud**. Il modello si trova su un terrapieno che lo colloca in una situazione di totale esposizione, senza ostacoli che possano alterare significativamente il flusso del vento da ogni direzione.

Al di sotto e coincidenti con queste sette coperture uguali **sono state realizzate altrettante camere, le cinque centrali di prova e le due laterali "di guardia"** finalizzate a mantenere analoghe superfici di esposizione delle cinque camere test centrali. I tetti del modello sono a due falde uguali. Ogni falda ha una larghezza di 160 centimetri e una lunghezza di 430 centimetri per un totale di 5,5 metri quadrati per falda, con inclinazione 20° - 36%.



In diversi punti, **all'interno di ogni camera** e in ogni strato del pacchetto di copertura, sono state posizionate **una serie di sonde per il rilevamento della temperatura, della velocità dell'aria e del flusso termico**, oltre a un **impianto di condizionamento ad aria per il mantenimento costante della temperatura interna** collegato a un termostato elettronico e a un contacalorie per il rilevamento dei consumi di energia.

**All'esterno, stazioni meteo e anemometri** a coppe collocati a differenti altezze e in differenti posizioni consentivano il monitoraggio delle condizioni atmosferiche.

## **IL SISTEMA "ARIA" RISPETTO AL METODO TRADIZIONALE**

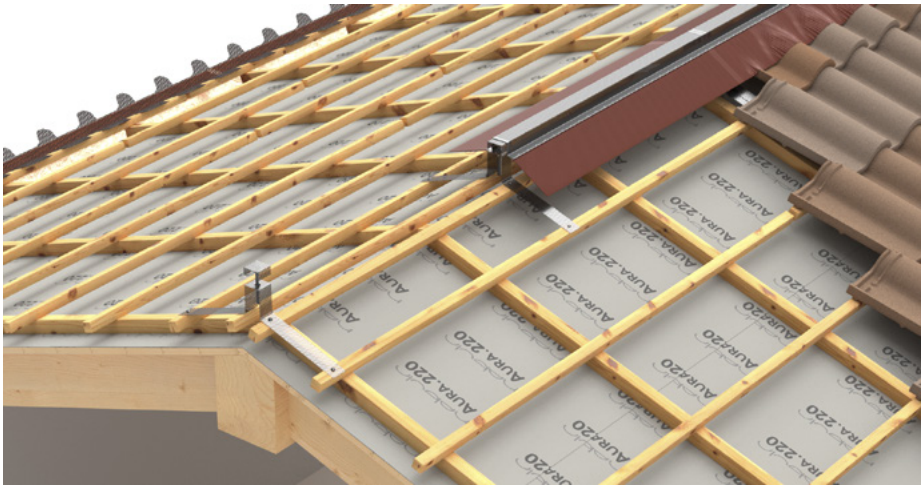
Nei periodi primavera/estate del 2019 e 2020 sono state effettuate due ricerche sperimentali specificatamente dedicate al **monitoraggio e al confronto delle prestazioni di tetti ventilati** realizzati con il SISTEMA "ARIA" rispetto a coperture posate con metodi tradizionali.

Sulle coperture dell'edificio sperimentale dell'Università di Ferrara sono stati realizzati **quattro tetti con manto di copertura in tegole portoghesi posate con tre differenti tecniche** di messa in opera:

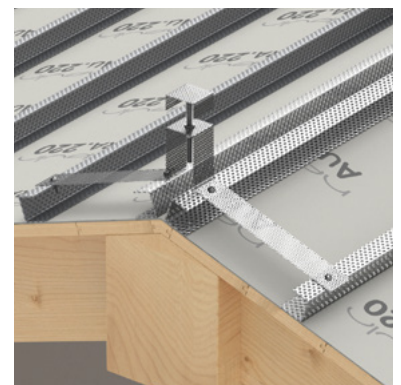
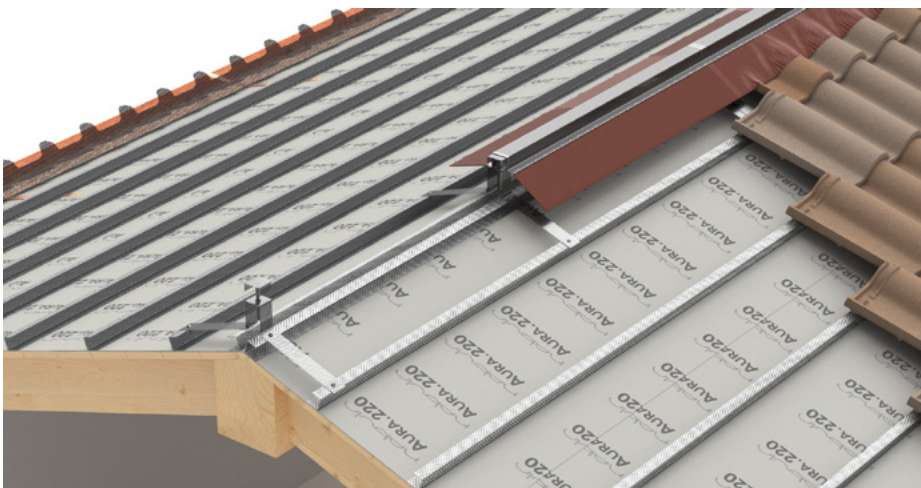
1. posa delle tegole su **doppia orditura di listelli in legno** di 4+3 centimetri di altezza, GRIGLIA di gronda in lamiera stirata verniciata e **sottocolmo COLMOWINGS**;
2. posa delle tegole su **orditura singola realizzata con listello "UNO"** di 4 centimetri di altezza, GRIGLIA di gronda in lamiera stirata verniciata e **sottocolmo COLMOWINGS (SISTEMA "ARIA")**;
3. posa delle tegole su **orditura singola realizzata con listello "UNO"** di 4 centimetri di altezza, GRIGLIA di gronda in lamiera stirata verniciata e **sottocolmo a rotolo MICROTEC400**;
4. posa delle tegole **direttamente sull'estradosso del solaio** di falda con **fissaggio a schiuma** di alcune file oltre alla linea di gronda e alla linea di colmo.

Nelle prime tre falde ventilate è stato posato il medesimo profilo di gronda in lamiera verniciata, in modo da concentrare la sperimentazione e il confronto principalmente sulle prestazioni del sistema di supporto e aggancio delle tegole e sul profilo sottocolmo.





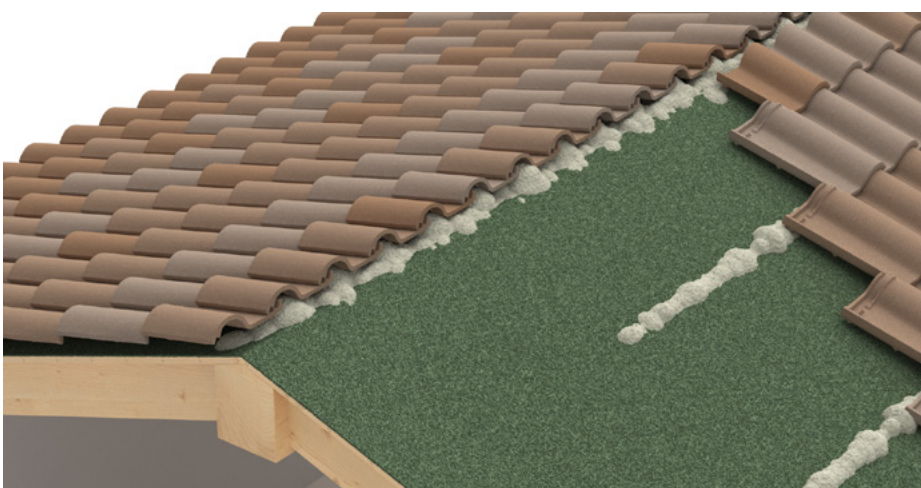
CASO 1  
Doppia orditura di listelli in legno, GRIGLIA di gronda e sottocolmo COLMOWINGS



CASO 2  
Orditura singola con SISTEMA "ARIA"



CASO 3  
Orditura singola con listelli "UNO", GRIGLIA di gronda e sottocolmo MICROTEC400.



CASO 4  
Posa diretta sull'estradosso del solaio e fissaggio a schiuma.



## I TEST NEL DETTAGLIO

Durante queste campagne di monitoraggio la temperatura **all'interno delle camere** test sottostanti ai tetti di prova è stata mantenuta costante dall'impianto di condizionamento, con un **set point di 26 °C** che corrisponde alle disposizioni di norma per la temperatura indoor in regime estivo.

## CLIMA METEOROLOGICO

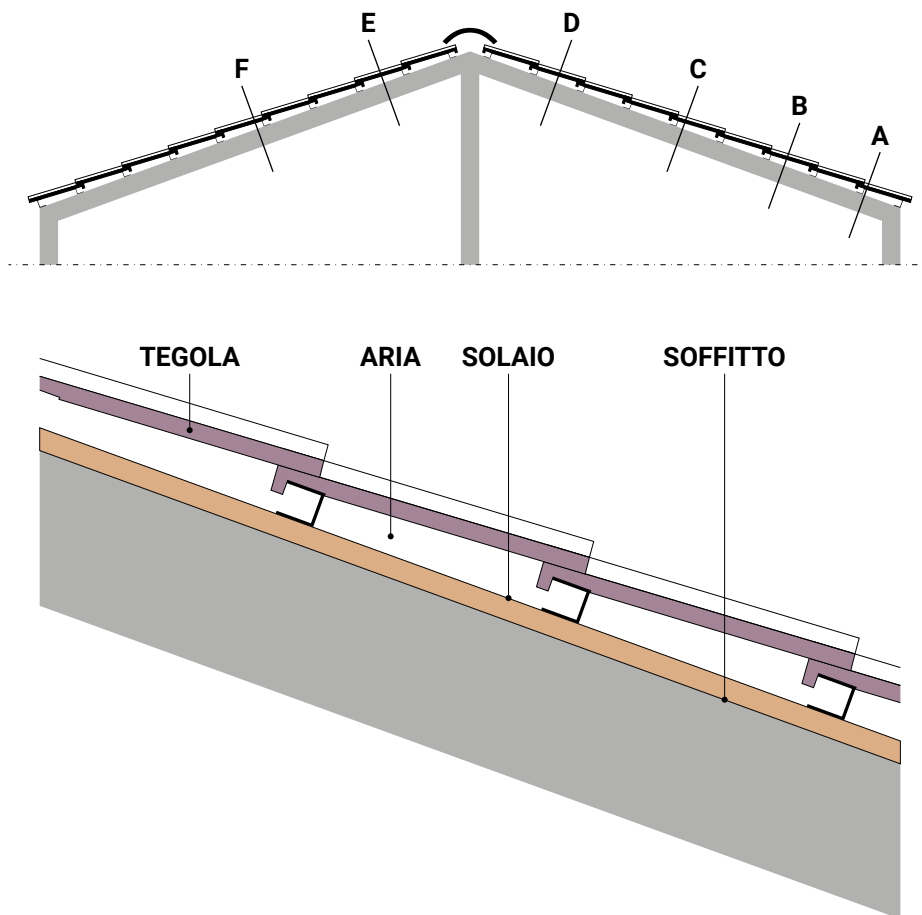
Nei due periodi di prova, in località Ferrara, la temperatura media esterna ha oscillato da un massimo di 37 °C del primo pomeriggio a un minimo di 18 °C nel periodo pre-alba, con una media di 28 °C nel periodo dalle ore 08.00 alle 20.00

	TEMPERATURA MINIMA		TEMPERATURA MEDIA		TEMPERATURA MASSIMA	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020
<b>giugno</b>	17 °C	18 °C	26 °C	26 °C	38 °C	35 °C
<b>luglio</b>	18 °C	22 °C	26 °C	28 °C	38 °C	36 °C
<b>agosto</b>	18 °C	20 °C	26 °C	29 °C	38 °C	37 °C

In ogni tetto sono state previste sei sezioni di misura (4 nella falda a sud e 2 nella falda a nord) dove rilevare la velocità dell'aria nell'intercapedine, le temperature di tutti gli strati all'estradosso e all'intradosso e il flusso di calore.

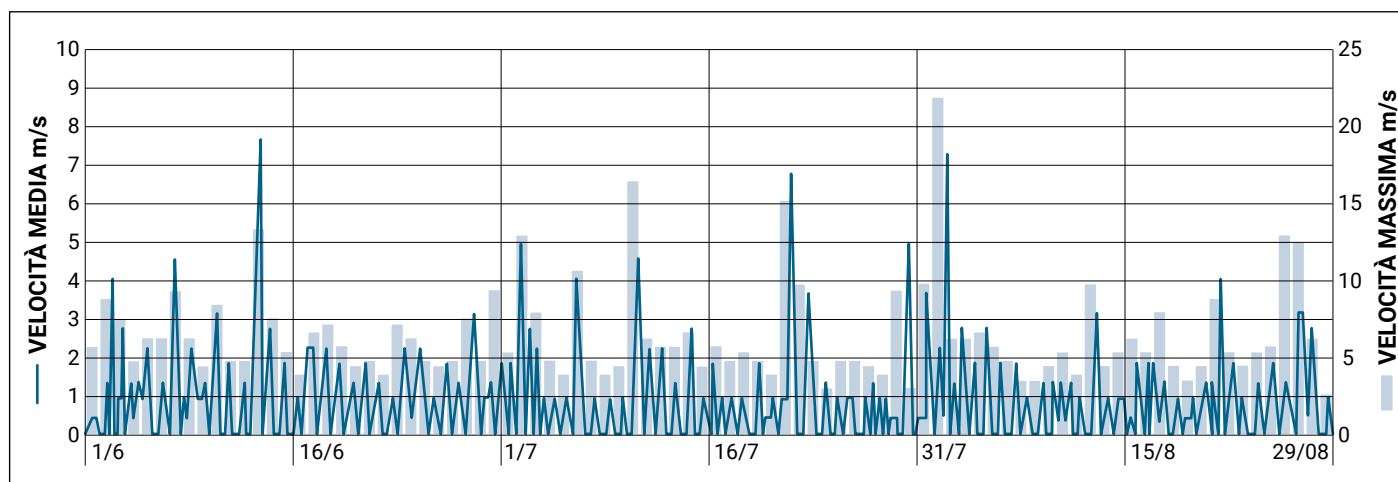
In particolare, attraverso un Datalogger, sono stati acquisiti, con intervallo di 10 minuti, dati riguardanti la:

1. **Temperatura sottotegola (TILE)**, ovvero all'intradosso della tegola portoghese - (termocoppie e PT100)
2. **Temperatura aria di ventilazione (ASV, Above Sheathing Ventilation)**, quindi della ventilazione sottomanto - (termocoppie e PT100)
3. **Temperatura estradosso** del piano di solaio (DECK) in tavolato di legno - (termocoppie e PT100)
4. **Temperatura intradosso** del solaio (CEILING) - (termocoppie e PT100)
5. **Temperatura interna delle stanze (ROOM)** - (termocoppie e PT100)
6. **Velocità dell'aria** nello spessore dell'intercapedine di ventilazione (ASV) - (anemometri a filo caldo e film caldo omnidirezionali e direzionali)
7. **Flusso termico all'intradosso** del solaio di falda per la misura del passaggio dell'energia solare - (termoflussimetri sulle falde rivolte a sud)
8. **Velocità e direzione del vento** monitorati a Nord e Sud dell'edificio a differenti quote - (anemometri a coppe e banderuole a 0-20 kohm)



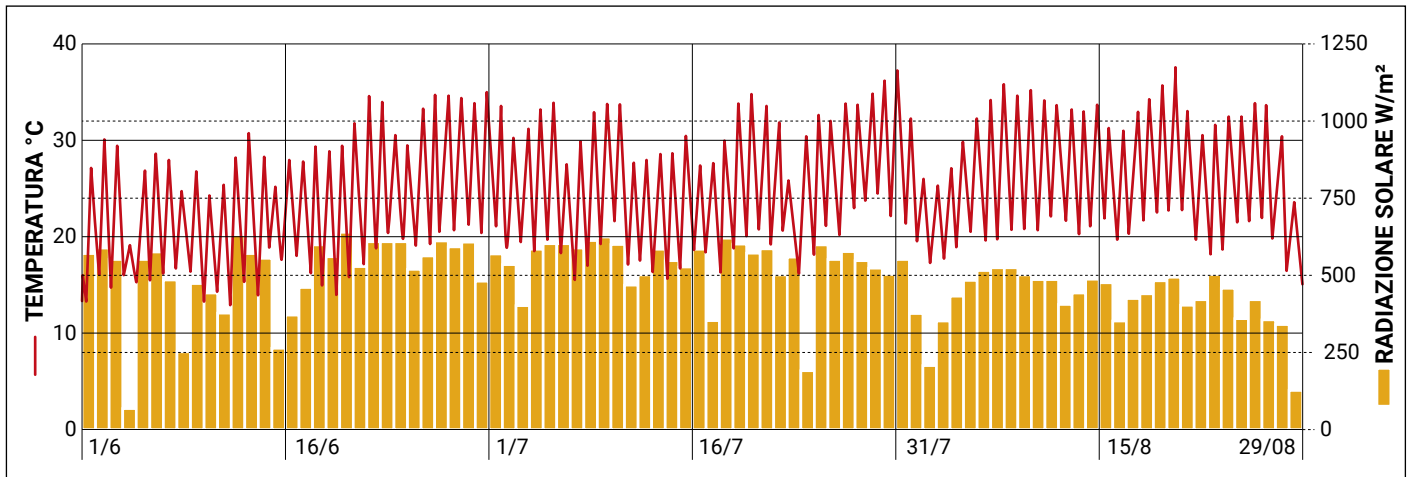
**La velocità del vento ha raramente raggiunto livelli di rilievo**, nonostante il sito del modello sperimentale sia elevato rispetto al contesto e senza impedimenti alla esposizione al vento, in quanto Ferrara si trova in una condizione altimetrica non rilevante e caratterizzata da una limitata ventosità.

Vista l'importanza del vento per le prestazioni della ventilazione sottotegola, **questo significa che i valori e i benefici rilevati durante questa sperimentazione possono essere soggetti a incrementi** anche notevoli in località caratterizzate da una ventosità più in linea con la media nazionale. I dati riportano una velocità media del vento, durante le due stagioni di prova, inferiori a 1 m/s, con picchi occasionali oltre i 3 m/s e ancor più raramente oltre questo valore.



Velocità del vento nel periodo giugno-luglio-agosto 2020 (valori della velocità massima in ordinata destra, della velocità media in ordinata sinistra)

**L'irraggiamento solare** medio è stato di 512 W/m<sup>2</sup> durante il periodo 2019 e di 498 W/m<sup>2</sup> nel periodo 2020, ma toccando frequentemente punte oltre i 900 W/m<sup>2</sup>, segno che l'apporto solare nel riscaldare la superficie delle tegole è stato notevole. Si può quindi ribadire che le condizioni al contorno (modesta anemometria, rilevante irraggiamento) siano state poco favorevoli e che i benefici ottenuti dalla ventilazione sottotetto possano essere facilmente incrementabili in altre aree geografiche.

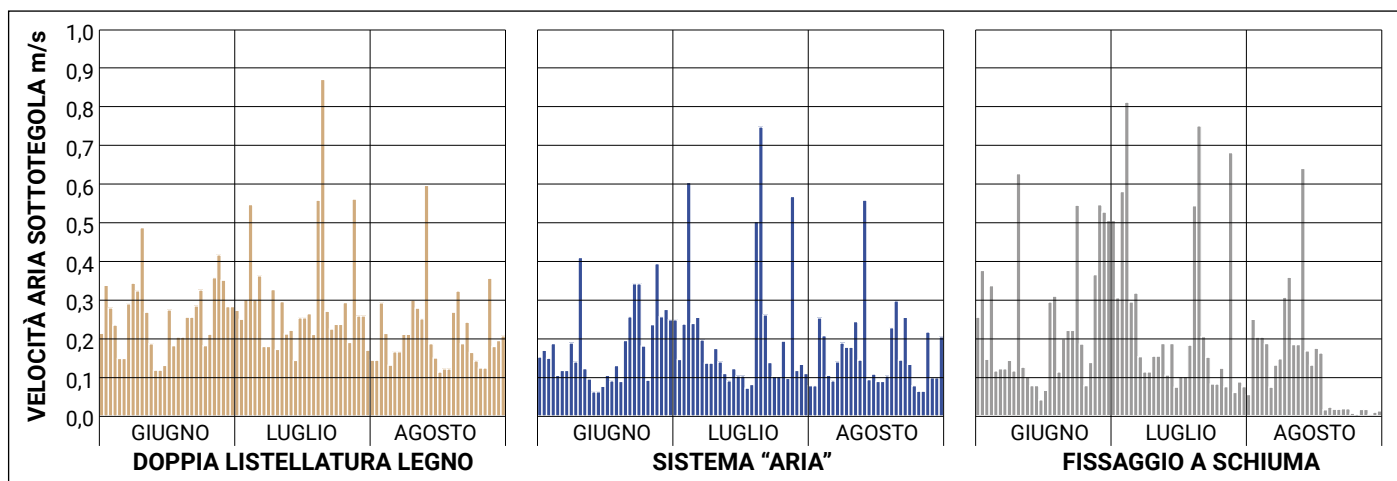


Radiazione solare nel periodo giugno-luglio-agosto 2020 (valori in ordinata destra) e della temperatura esterna (valori in ordinata sinistra)

## I RISULTATI DELLA SPERIMENTAZIONE

Durante le due campagne di misura sono state raccolte diverse migliaia di dati: i più importanti riguardano **velocità e temperatura dell'aria nel sottotetto** e soprattutto la **capacità di questa ventilazione nello smaltire il calore solare**, che mostrano una **netta prevalenza del tetto ventilato con il SISTEMA "ARIA"** rispetto a un tetto non ventilato con tegole o coppi posati con schiuma/malta.

Il **maggior movimento di aria** si ha nella falda con doppia listellatura, seguita dalla falda con SISTEMA "ARIA" mentre la falda con tegole posate a schiuma mostra complessivamente minori velocità e soprattutto un andamento piuttosto incerto e variabile, perlopiù legato alla presenza delle linee di schiuma o malta di fissaggio delle tegole che ostacolano una lineare circolazione d'aria nel sottotetto.



I tre grafici mostrano la velocità dell'aria in intercapedine nei diversi modelli sperimentati: tegole posate su doppia listellatura in legno con sottocolmo COLMOWINGS, tegole posate su listello "UNO" con sottocolmo COLMOWINGS e tegole posate su schiuma.

Informazioni analoghe si hanno confrontando la **temperatura dell'aria circolante nel sottomanto**, con i valori più bassi nei primi due tetti (differenze non superiore a 1 °C) e decisamente più alti nel terzo tetto, oltre i 39 °C.

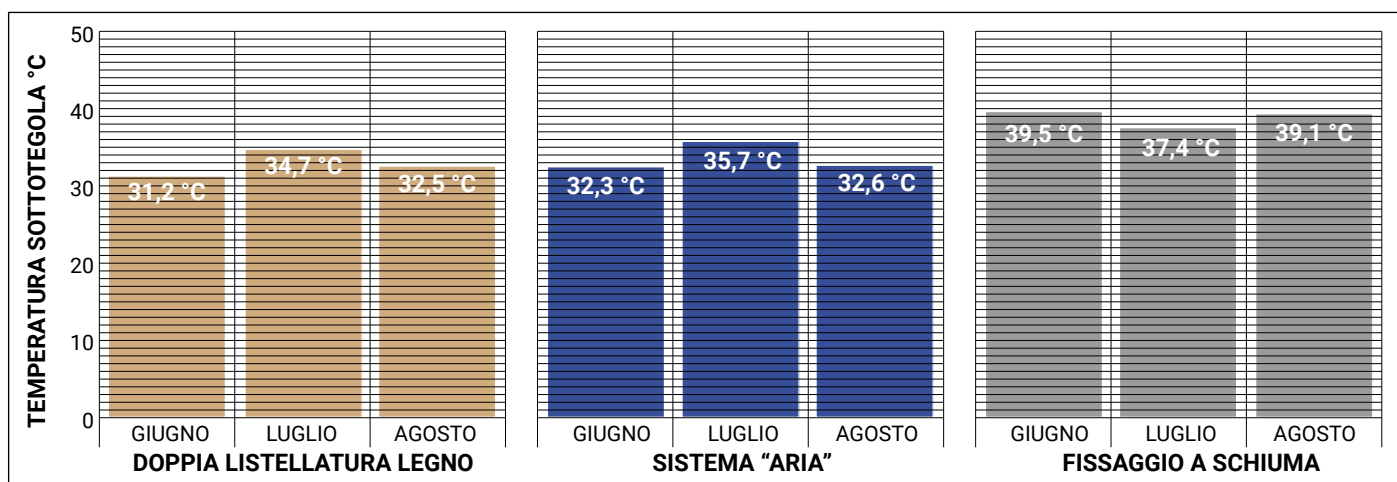


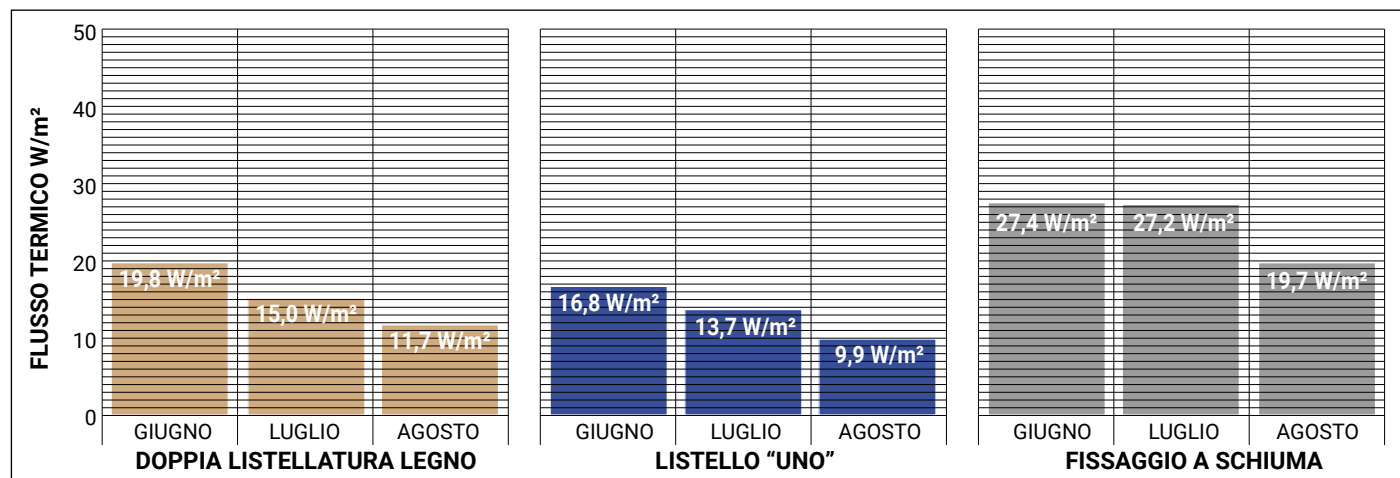
Grafico delle temperature sottotegola nei tre tipi di tetto. Media misurata tra le 8:00 e le 20:00.

## I FATTORI DETERMINANTI

Dato che **la prestazione più importante di un tetto ventilato è quella di evitare l'ingresso dell'energia termica dovuta alla radiazione solare**, più importante della velocità e della temperatura dell'aria è la sua **capacità di smaltire questa energia**, che prevalentemente dipende dal tipo di moto dell'aria.

È evidente che, per lo smaltimento del calore del sole, **è importante la libertà di movimento dall'aria piuttosto che la sua velocità o temperatura.**

Velocità più elevate possono essere dovute a vortici o turbini dell'aria rilevati dall'anemometro ma senza che avvenga una vera e propria espulsione di calore, mentre **velocità più basse ma più lineari sono più efficaci** allo scopo.



Il grafico mostra il flusso di calore in ingresso nelle camere test sotto i tre tetti di prova, evidenziando migliori prestazioni nella copertura con listello "UNO" rispetto alla doppia listellatura in legno. La posa delle tegole su schiuma della terza copertura ha ovviamente le prestazioni peggiori. Media misurata tra le 8:00 e le 20:00.

Ciò è dovuto alla **possibilità del movimento trasversale e diagonale dell'aria attraverso le forature del listello "UNO", che bilanciano il minor spessore dell'intercapedine rispetto alla doppia listellatura**, dove i listelli pieni in legno e in doppio strato sono un ostacolo al movimento trasversale e longitudinale dell'aria.

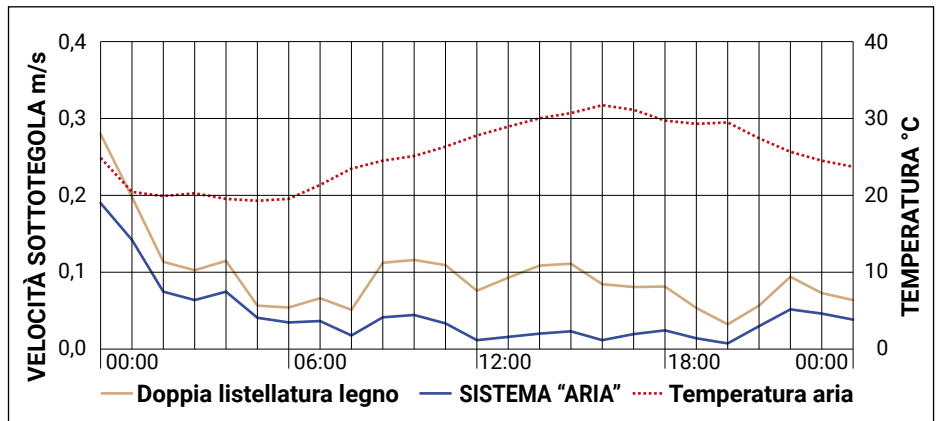
Quindi la lamiera stirata del **listello UNO consente il movimento multidirezionale all'aria** e permette di sfruttare meglio la permeabilità all'aria fra le tegole.

**L'analisi dei valori degli anemometri direzionali e omnidirezionali a film caldo e a filo caldo, hanno evidenziato questo fenomeno.**

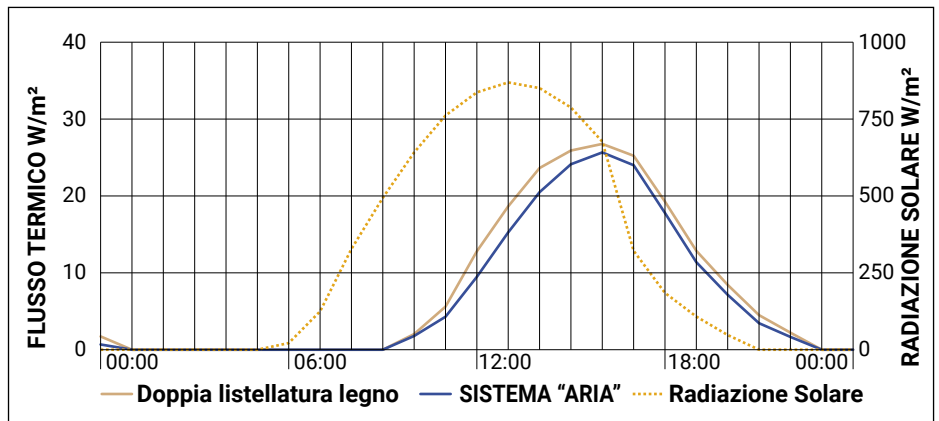
Una conferma viene anche dall'analisi puntuale di una giornata tipo estratta dal periodo di sperimentazione. Analizzando la velocità dell'aria in intercapedine e il flusso di calore del tetto con la doppia orditura e quello con il SISTEMA "ARIA" il giorno 23 luglio, si vede che la velocità dell'aria è maggiore nel tetto con doppia orditura, ma **il flusso di calore è minore nel tetto con SISTEMA "ARIA"**.

Confronto fra la velocità dell'aria nel sottotegola e il corrispondente flusso termico nei tetti con doppia listellatura e col SISTEMA "ARIA" il giorno 23 luglio. Non sempre a maggiori velocità consegue un minor flusso di calore

Velocità sottotegola e temperatura dell'aria



Flusso termico e radiazione solare



## CONSIDERAZIONI FINALI

A fronte di questi dati, **la valutazione dei benefici**, per quanto contenuta in termini di valori assoluti, risulta comunque **a favore del SISTEMA "ARIA" e si sommano ad altri parametri di valutazione** come:



1. **ventilazione più efficiente**

allunga la vita del tetto e migliora il benessere nel sottotetto;



2. il **ridotto spessore del pacchetto** del tetto

vantaggioso per i rifacimenti in centri storici;



3. gli **aspetti manutentivi**

manutenzione localizzata e senza l'ausilio di attrezzatura;



4. la possibilità di **fissaggio di coppi e tegole**

stabilità degli elementi;



5. il **minor costo complessivo** (prodotto + posa)

vantaggio economico;



6. gli accessori del **SISTEMA "ARIA"** per la posa e la ventilazione **non sono dannosi per la salute dell'uomo e dell'ambiente.**



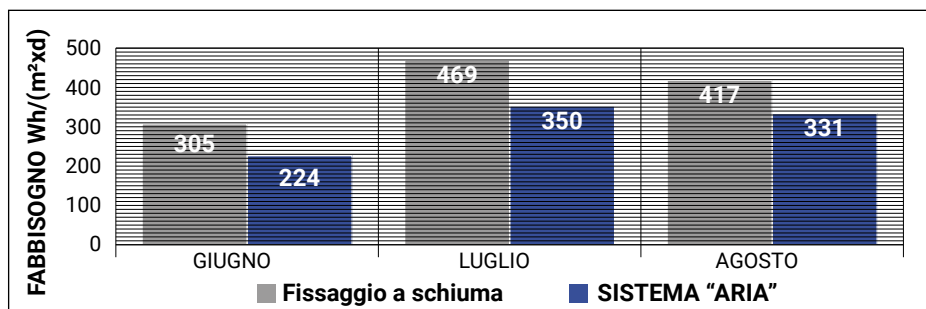
## I BENEFICI ALL'INTERNO DELLA STRUTTURA

Una importante differenza emerge invece valutando le **differenze dei costi di climatizzazione indoor in regime estivo** del tetto ventilato con SISTEMA "ARIA" a confronto con il tetto non ventilato (con manto di copertura posato a schiuma/malta).

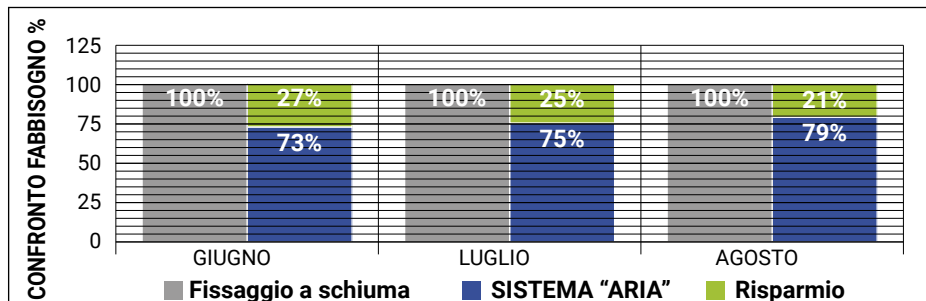
Questa valutazione è stata effettuata **climatizzando ciascuna stanza test al di sotto dei tetti in prova** tramite un ventilconvettore (fan coil) attivato da un termostato digitale il quale, ogniqualvolta la temperatura interna misurata fosse risultata maggiore della temperatura di set point (26 °C come di norma per l'estate), accendeva il condizionatore. Un contacalorie sul medesimo circuito ha rilevato le temperature (in/out) e la portata conteggiando al contempo frigorifiche e caloriche, ovvero l'energia termica per la climatizzazione.

Nei grafici è riportato il **fabbisogno medio giornaliero di energia termica** (Wh/m<sup>2</sup>giorno) nell'intervallo orario dalle 8 alle 20 (ossia durante il periodo di maggiore insolazione), per unità di superficie per ciascuna stanza di prova nei mesi di giugno, luglio e agosto.





Fabbisogno termico medio diurno (8-20) nei mesi di giugno, luglio e agosto per il raffrescamento per unità di superficie

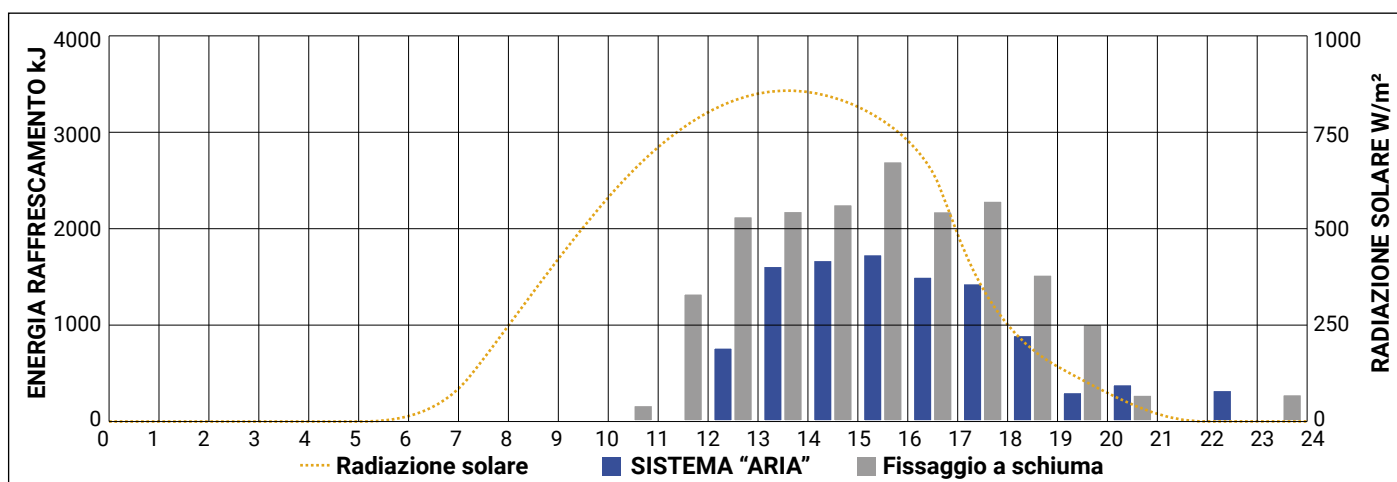


Calo % del fabbisogno termico medio diurno nei mesi di giugno, luglio e agosto per il raffrescamento per unità di superficie rispetto al tetto con tegole posate su schiuma

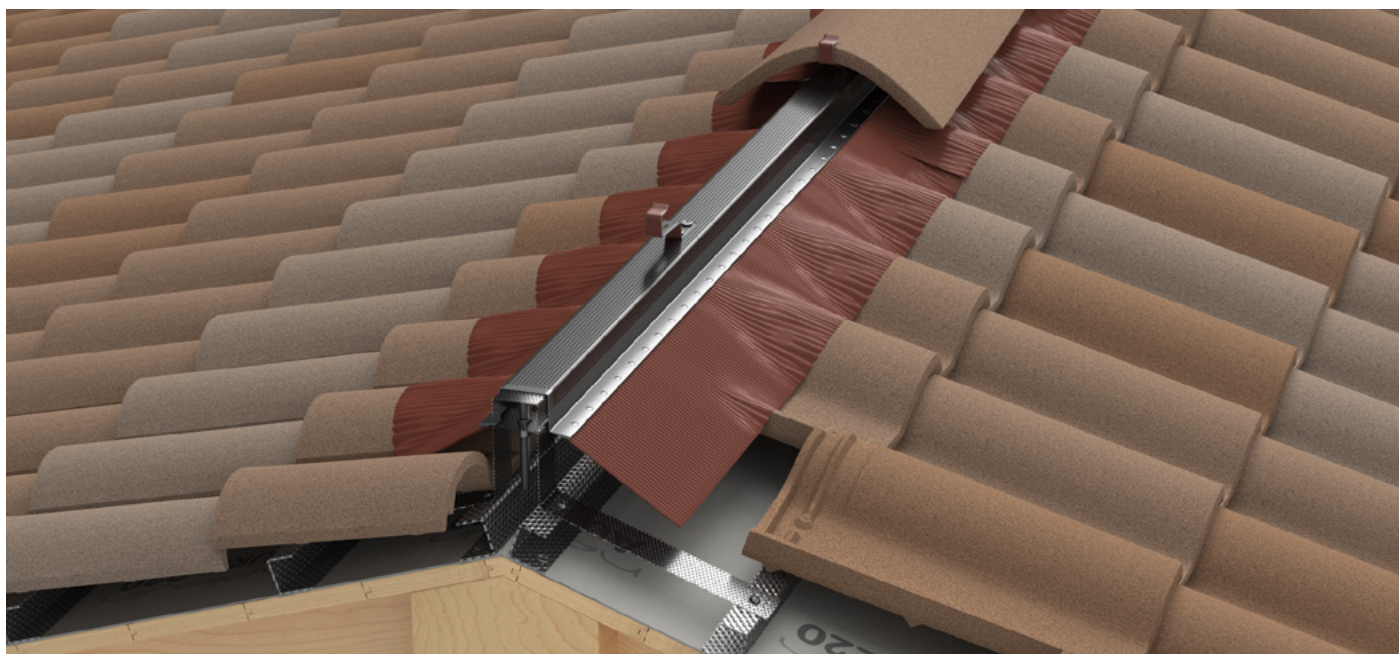
Si osserva che il tetto con le tegole posate a schiuma/malta è evidentemente il più energivoro per il raffrescamento, ossia mediamente 397 Wh/m<sup>2</sup> giorno nei tre mesi di monitoraggio contro i 302 Wh/m<sup>2</sup> giorno del tetto con il SISTEMA "ARIA".

**Nel confronto**, si rileva che la stanza con le tegole posate **sul SISTEMA "ARIA", consuma mediamente il 24% in meno** rispetto alla stanza con le tegole posate su schiuma/malta.

Il grafico seguente, che riporta **l'energia necessaria per il raffrescamento**, è riferito sempre alla giornata tipo del 23 luglio, chiarisce ancor meglio questa equivalenza: in tutto l'arco della giornata, il tetto con le tegole posate a schiuma/malta richiede un maggiore apporto di energia per mantenere i 26 °C all'interno della propria stanza rispetto al tetto correttamente ventilato con il SISTEMA "ARIA".



23 luglio 2020 - IRR max: 859 W/m<sup>2</sup> - T\_OUT max: 31 °C. Fabbisogno termico per il raffrescamento per unità di superficie, confronto fra SISTEMA "ARIA" e posa a schiuma/malta (irraggiamento: valori in ordinata destra, energia consumata per il raffrescamento: valori in ordinata sinistra)



COLMOWINGS

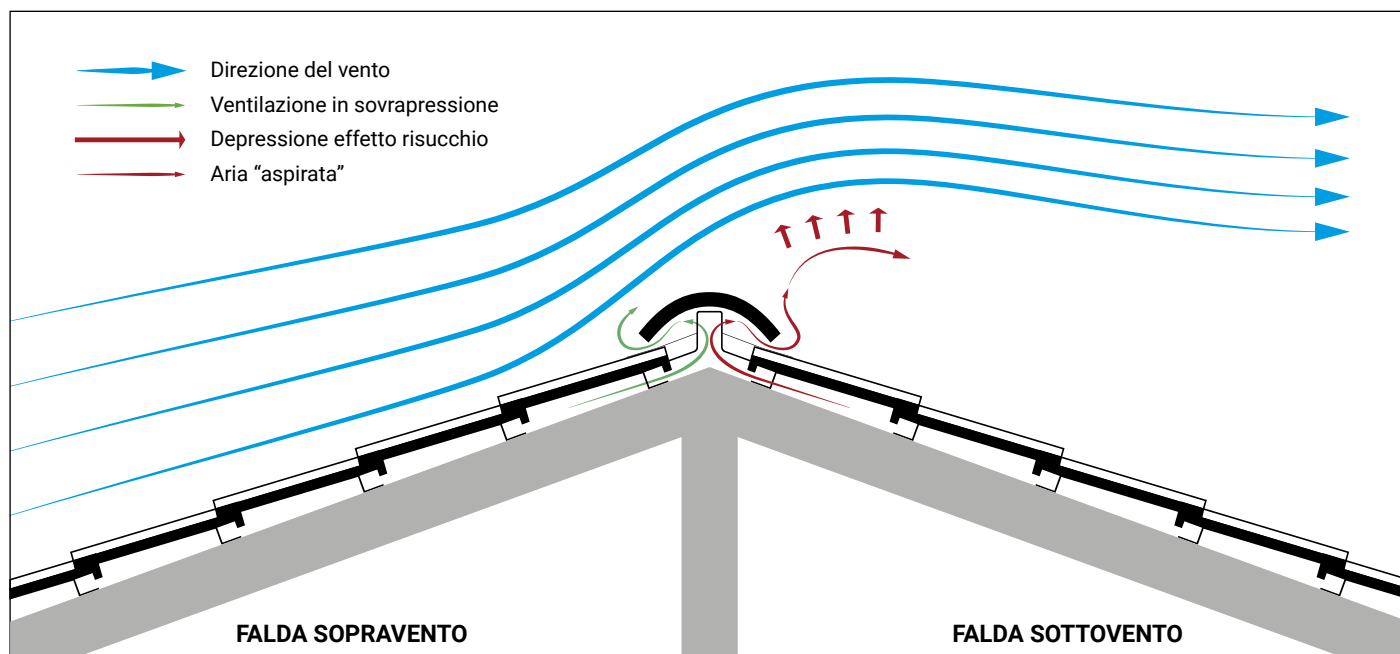
## L'IMPORTANZA DEL SOTTOCOLMO

### COLMOWINGS

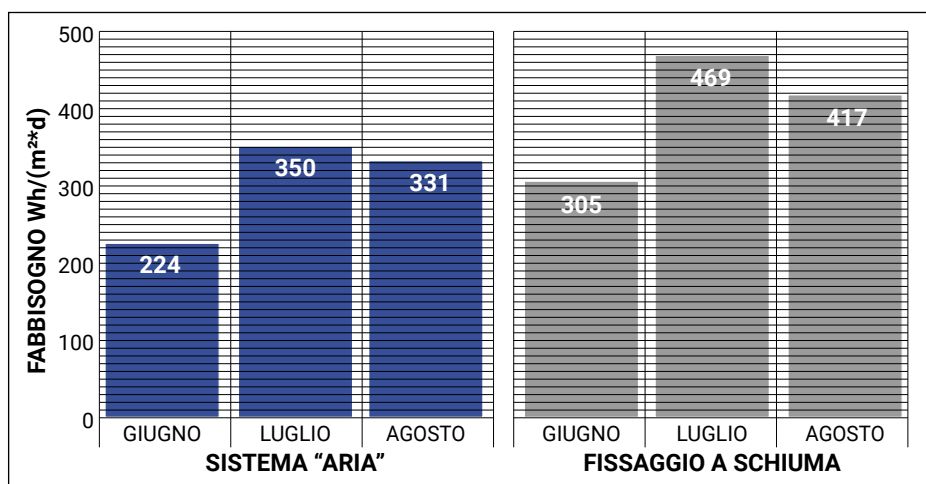
Un discorso a margine di questa sperimentazione merita **il sottocolmo**. Lo studio è stato effettuato sul **profilo COLMOWINGS** applicato sia al tetto con **doppia listellatura in legno**, sia a quello con **listello "UNO"**. Nessun sottocolmo è stato montato nel tetto con gli **elementi di colmo posati direttamente a schiuma**.

Nella **falda sopravvento**, la ventilazione si trova in **sovrappressione** grazie alla **spinta del vento favorevole**; questa stessa falda **funge anche da trampolino** indirizzando il vento verso l'alto e creando una **depressione sulla falda opposta (sottovento)**.

Il risultato è un **effetto risucchio** nei confronti della falda sottovento che, attraverso il colmo, richiama aria dalla falda opposta; il sottocolmo quindi **consente sia l'espulsione dell'aria dalla falda sopravvento, sia l'aspirazione d'aria da quella sottovento, sia il transito e l'espulsione di questa aria dalla falda sottovento**.



EFFETTO RISUCCHIO D'ARIA

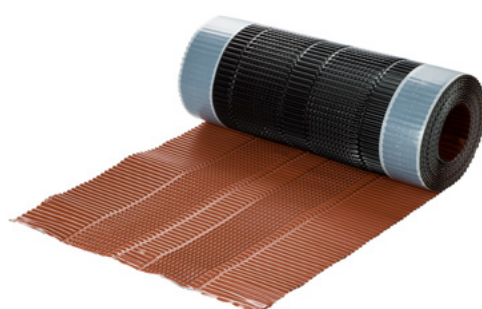


Fabbisogno termico medio diurno (8-20) nei mesi di giugno, luglio e agosto per il raffrescamento per unità di superficie

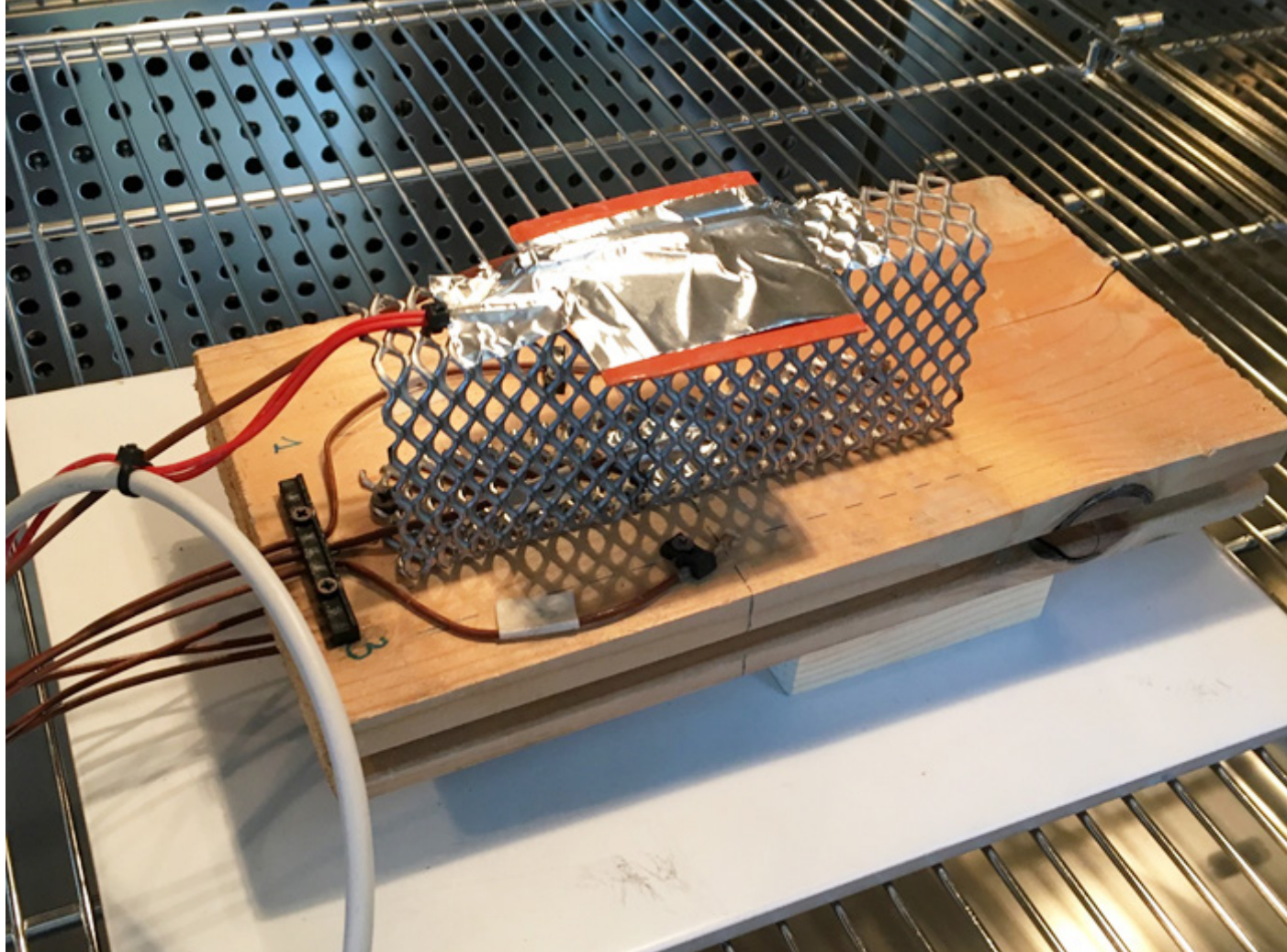
## MICROTEC400

Anche la **tipologia del profilo sottocolmo**, le caratteristiche delle forature, il rapporto fra parti piene e forate, la posizione e l'ampiezza sono importanti per facilitare questa circolazione dell'aria.

Ad avvalorare questa tesi è la prova fatta **con sottocolmo a rotolo MICROTEC400 in alluminio** nella terza falda di prova che, **nonostante la presenza della griglia e del listello "UNO"**, ha avuto necessità di un fabbisogno energetico per il raffrescamento della stanza sottostante, maggiore rispetto al tetto con il SISTEMA "ARIA" completo di COLMOWINGS.



MICROTEC400



## VERIFICA DEI PONTI TERMICI

### IL TEST IN LABORATORIO

Nel corso della ricerca è stato effettuato un **test in laboratorio per valutare se listello "UNO"**, impiegato come supporto delle tegole, **potesse costituire un ponte termico**, nonostante la massa particolarmente ridotta.

Una porzione di profilo metallico è stato posizionato su un campione di solaio analogo a quello del tetto sperimentale. Sul profilo è stata fissata una resistenza termica come sorgente di calore, emulando il flusso termico della radiazione solare che, passando attraverso le tegole, raggiunge il listello e successivamente il solaio.

Il campione è stato **collocato in una camera climatica**, per eseguire un test ripetibile in ambiente controllato, impostando una temperatura di 40 °C (analogo a quella dell'aria nel sottotegola) e la resistenza elettrica è stata collegata a un alimentatore.

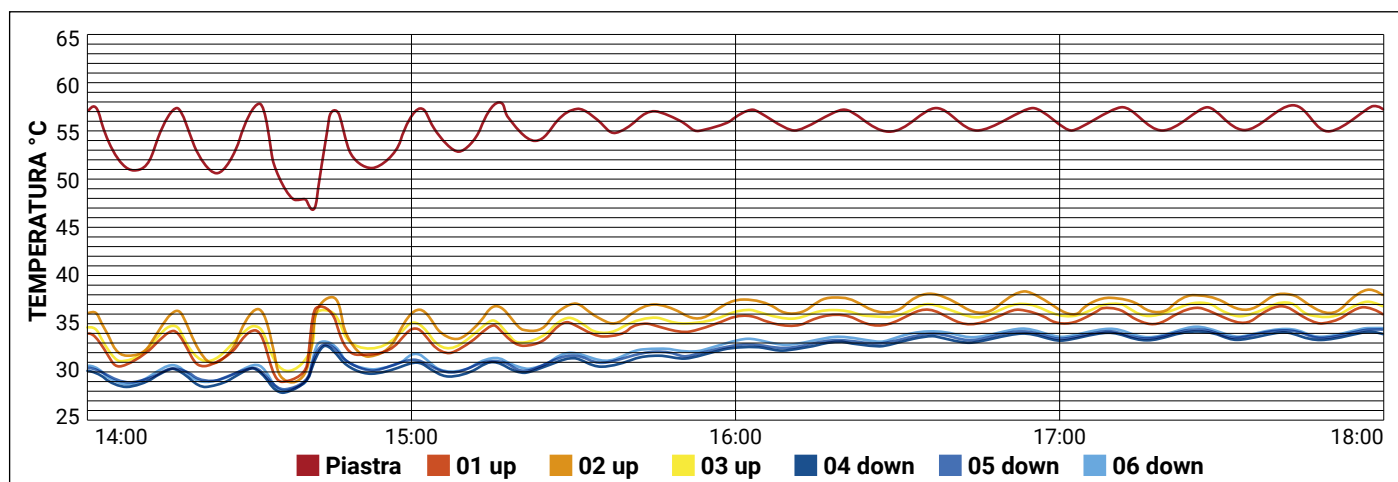
## I RISULTATI DEL TEST

**Il confronto fra le temperature rilevate** dalle termocoppie collocate all'intradosso del tavolato del solaio, sia in corrispondenza del listello che distante da questo, ha mostrato **differenze di temperatura tutte comprese in un intervallo di pochi decimi di °C** (tre linee blu coincidenti del grafico), al limite della sensibilità dei sensori.

Questo evidenzia che **la presenza del listello "UNO"**, pur possedendo una elevata resistenza meccanica al calpestio e al peso delle tegole, **non influisce sulla trasmissione del calore** data la sua configurazione e la limitata massa.



Camera climatica per la verifica dei ponti termici



### TEST IN CAMERA CLIMATICA.

Le linee rosse e arancio segnano la temperatura al di sopra del solaio di falda, quelle blu azzurro la temperatura all'intradosso

# INDAGINE NUMERICA E INTERPRETAZIONE DEL MOVIMENTO DELL'ARIA IN INTERCAPEDINE

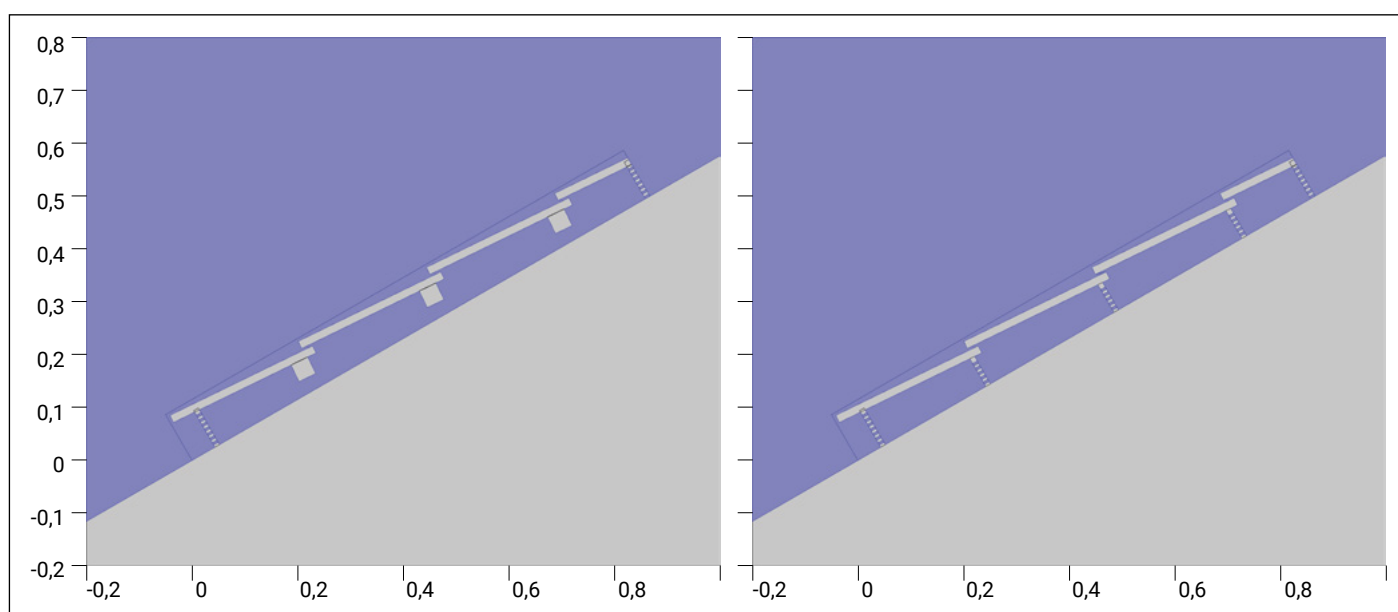
## CFD: COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Durante la ricerca sperimentale è stata condotta una **ulteriore indagine numerica CFD** (Computational Fluid Dynamics) per approfondire il differente movimento dell'aria in intercapedine confrontandone il comportamento in un **tetto ventilato con doppia orditura di listelli in legno e un tetto con Listello "UNO"**.

Nelle due porzioni di tetto schematizzate sono stati previsti **analoghi profili in linea di gronda e di colmo** per finalizzare l'indagine sulle prestazioni dei sistemi di supporto delle tegole.

**Il primo modello** è costituito da **traversi in listelli di legno pieni di sezione 3,5x3,5 cm** per l'aggancio delle tegole, uno per ogni fila. Lo schema predisposto semplifica la costruzione di una doppia listellatura eliminando i correnti longitudinali in quanto paralleli al moto ascendente dell'aria e quindi poco influenti nella sperimentazione in corso.

**Il secondo modello** è configurato con **listelli "UNO"** disposti nelle medesime posizioni dei precedenti.



Rappresentazione del modello su listelli di legno pieno

Rappresentazione del modello su listelli "UNO"

## LE CONDIZIONI

È stato supposto un **vento pari a 0.5 m/s** entrante dal lato sinistro del dominio (linea di gronda) **con direzione orizzontale** (inlet), mentre al bordo destro è supposta la sezione di uscita (linea di colmo) a pressione relativa nulla (outlet).

Superiormente è stata imposta la condizione di dominio aperto (open boundary).

## IL CALCOLO

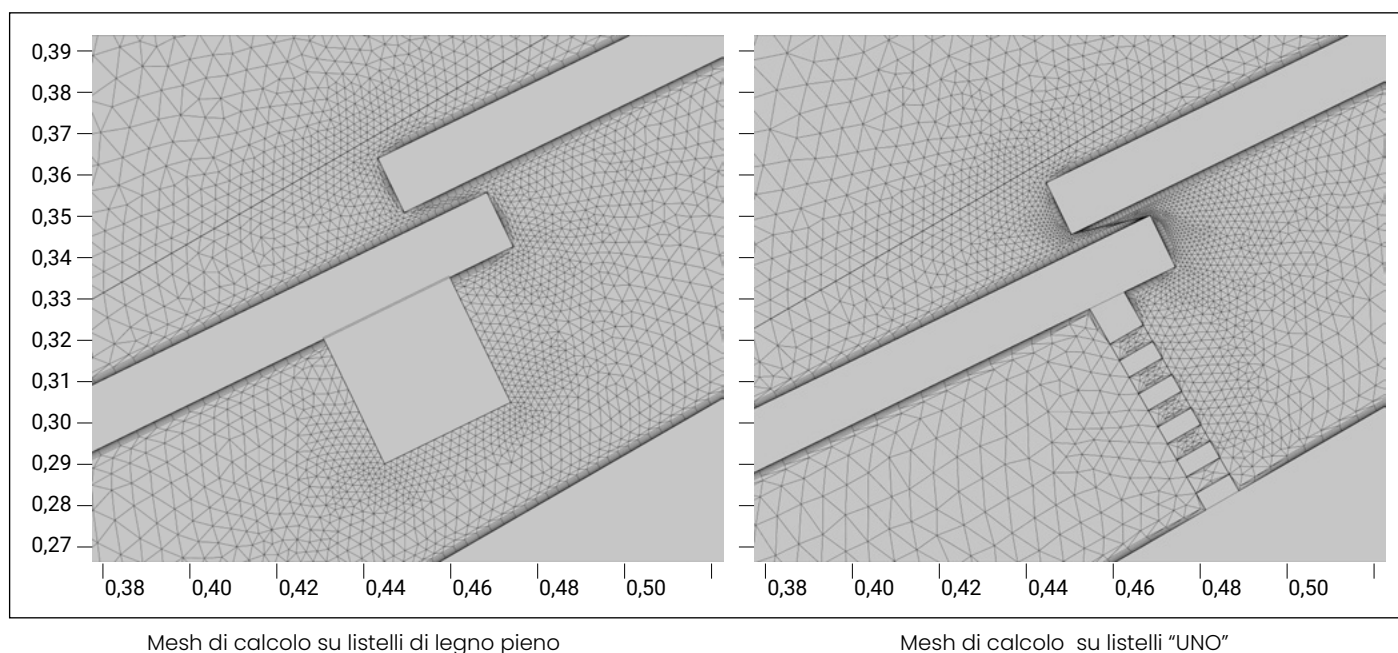
**La mesh di calcolo** (cioè il reticolo di elementi per la soluzione numerica del problema termo-fluidodinamico) è stata costruita imponendo in **8 sottolivelli la suddivisione dello strato limite presente sugli elementi solidi**.

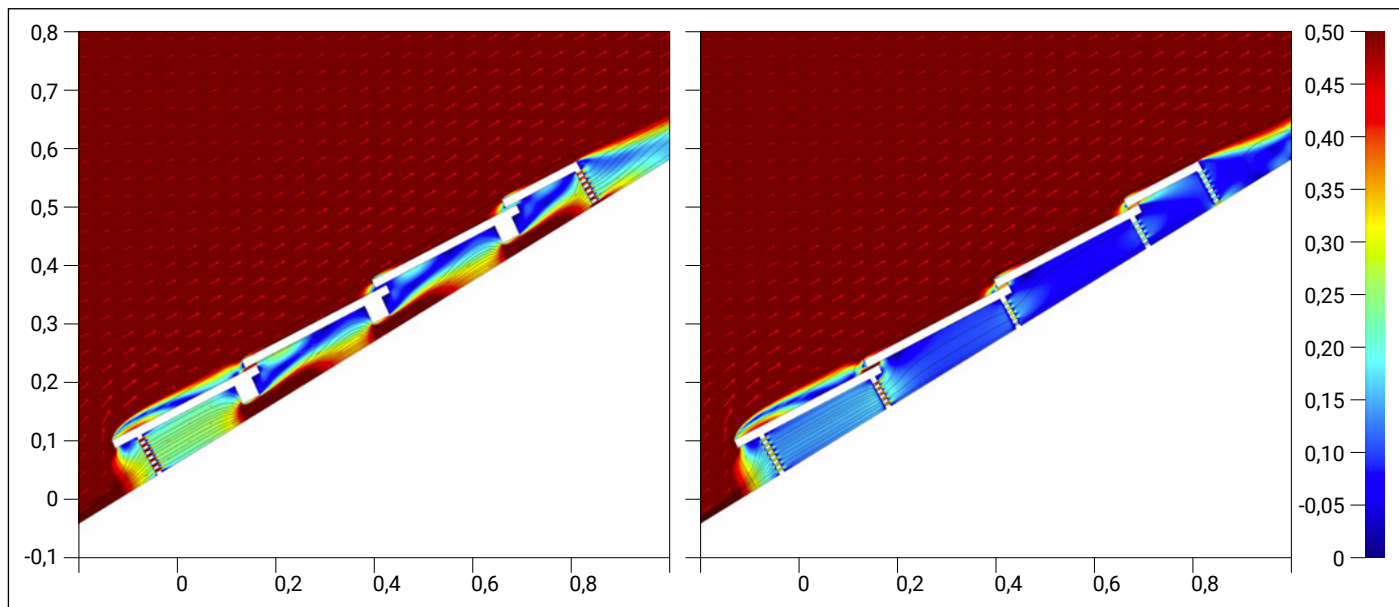
La forma di organizzazione dei punti della mesh è di tipo triangolare e il numero di elementi finiti è risultato mediamente pari a circa 40.000.

**Le simulazioni sono state condotte in regime di moto stazionario**, ossia invariante nel tempo.

## I RISULTATI

I risultati riportati **riguardano la distribuzione delle velocità dell'aria**, con particolare mappatura delle streamline nella camera di ventilazione.





Velocità dell'aria nell'intercapedine con listelli di legno pieno

Velocità dell'aria nell'intercapedine con listelli "UNO"

Dal confronto si osserva che:

1. nella soluzione di messa in opera delle **tegole su doppia orditura**, la presenza del **listello in legno di supporto alle tegole e trasversale al moto dell'aria determina un restringimento della sezione** del canale e il conseguente **aumento della velocità** di transito in prossimità dell'estradosso del piano di falda, senza causare particolari rallentamenti poiché non si osserva una grande riduzione di velocità tra le diverse listellature. Nella parte alta invece, nell'immediato sottotegola dove si potrebbe innescare il fenomeno della ventilazione trasversale di ingresso/uscita dell'aria fra la sovrapposizione delle tegole, dove maggiore è la necessità di ventilazione, l'aria presenta un ampio cuscinetto (blu) relativamente stazionario. Sono visibili anche le turbolenze immediatamente prima del listello;
2. nella soluzione di messa in opera delle **tegole su orditura singola costruita con listelli "UNO"** si può notare un **rallentamento del flusso d'aria**, conseguente alla perdita di carico nell'attraversamento dei fori del listello forato. Questa soluzione **influisce sulle velocità ma consente una migliore distribuzione del flusso d'aria che investe in maniera più uniforme l'intera altezza dello strato di ventilazione**, senza particolari vortici, e consente di sfruttare pienamente la permeabilità all'aria fra le tegole con prestazioni più uniformi sull'intero manto.

**La soluzione a doppia orditura di listelli** evidenzia maggiori velocità, ma la presenza dei listelli trasversali pieni ostacola il moto dell'aria in senso longitudinale. Analogamente il listello longitudinale, assente in questa simulazione ma presente nella



realtà, costituisce un ostacolo per moti differenti della semplice direzione gronda-colmo, interferendo con il movimento trasversale dell'aria che fornisce un importante contributo all'ingresso/uscita del fluido fra la sovrapposizione delle tegole.

### **Tale limitazione non è invece operante nella soluzione**

**dei listelli "UNO"** in quanto non sono presenti elementi longitudinali nella direzione gronda-colmo, ma solo trasversali e relativamente trasparenti all'aria. Questa **assenza di vincoli per moti in direzioni che non siano semplicemente quello gronda-colmo** si sono confermati importanti per le prestazioni di un tetto ventilato.

Come già evidenziato, la permeabilità all'aria di un manto discontinuo come quello in tegole consente l'infiltrazione dell'aria fra le sovrapposizioni, permettendo **l'ingresso del vento da molteplici direzioni e non solo dalla linea di gronda. Con la soluzione del listello "UNO" viene meglio sfruttata questa caratteristica** della permeabilità delle tegole.

### **Il SISTEMA "ARIA" fa riferimento alle norme UNI 9460:2008**

Coperture discontinue. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture realizzate con tegole di laterizio o calcestruzzo **e UNI 11418:2011** Coperture discontinue.

Qualifica dell'addetto alla posa in opera delle coperture discontinue. Parte 2: Linea guida ed istruzioni per la posa in opera e alle linee guida della manualistica ANDIL alle quali l'esecutore è tenuto ad attenersi.

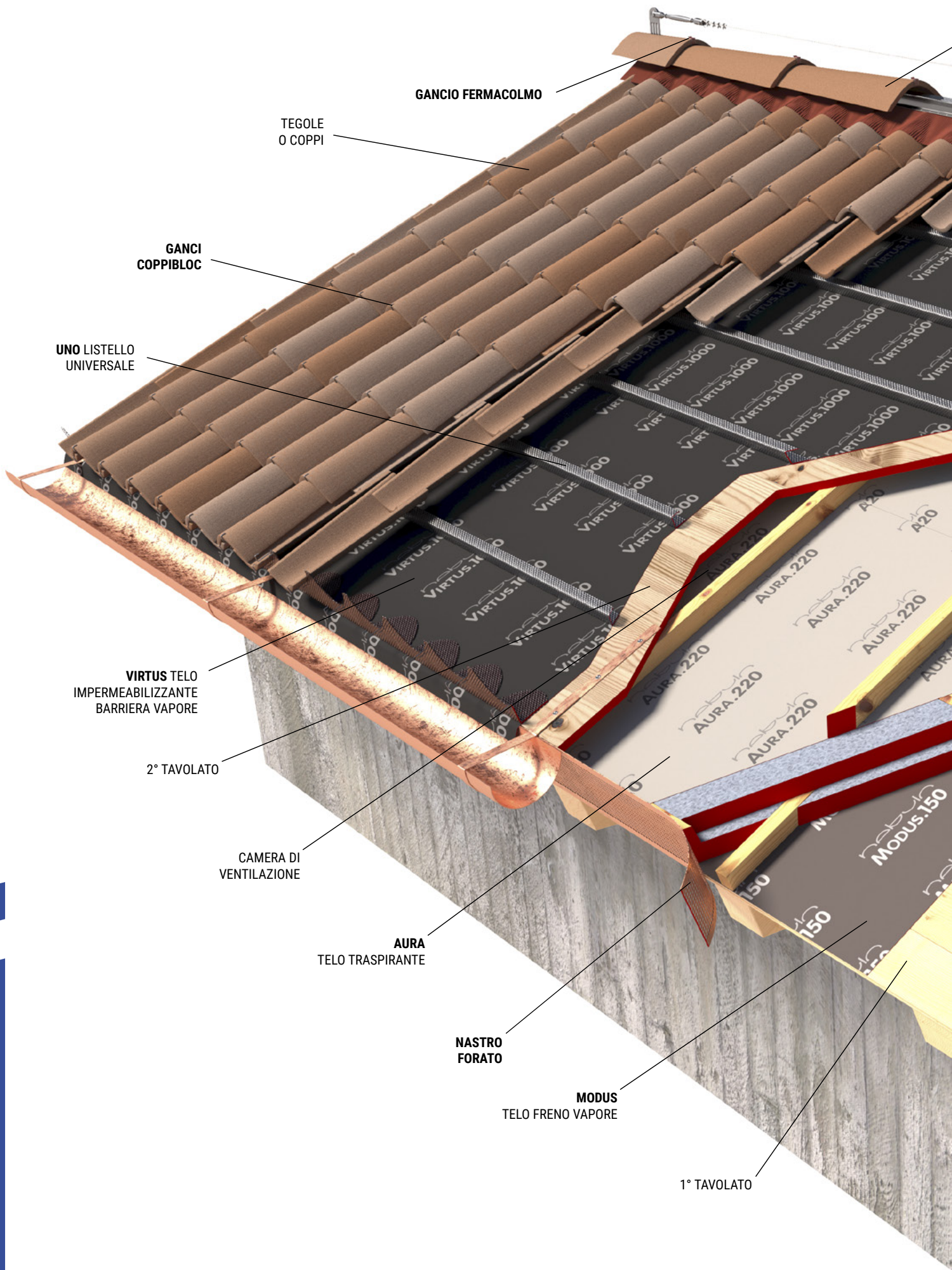
### **REFERENZE**

La presente ricerca è frutto di una convenzione fra OFFICINE RASERA e Consorzio Futuro in Ricerca ed è stata condotta presso il laboratorio Teknehub dell'Università di Ferrara dai docenti e ricercatori del Dipartimento di Architettura Michele Bottarelli (responsabile scientifico), Giovanni Zannoni e Eleonora Baccega. Con loro hanno lavorato i tecnici e i responsabili di OFFICINE RASERA Gildo Piva, Stefano Donadini e Ettore Cunial.

Consorzio Futuro in Ricerca, Modalità di progettazione di coperture a falde con manto discontinuo, Italia-Israele, 2011-2013.

Progetto di ricerca HEROTILE (LIFE14 CCA/IT/000939), High Energy savings in building cooling by ROof TILES shape optimization toward a better above sheathing ventilation, programma Europeo LIFE "Climate Change Adaptation" ([www.lifeherotile.eu/](http://www.lifeherotile.eu/)), 2015-2019.

Per le analisi fluidodinamiche, è stato utilizzato il software COMSOL Multiphysics nel quale è stato implementato un modello 2D di una porzione tipo di tetto per la soluzione del problema fluido-dinamico (CFD) in condizioni stazionarie. Il modello CFD è stato risolto nell'ipotesi di moto turbolento, adottando la semplificazione  $k-\epsilon$  e la condizione di fluido incomprimibile.



GANCIO FERMACOLMO

TEGOLE  
O COPPI

GANCI  
COPPIBLOC

UNO LISTELLO  
UNIVERSALE

VIRTUS TELO  
IMPERMEABILIZZANTE  
BARRIERA VAPORE

2° TAVOLATO

CAMERA DI  
VENTILAZIONE

AURA  
TELO TRASPIRANTE

NASTRO  
FORATO

MODUS  
TELO FRENO VAPORE

1° TAVOLATO





**OFFICINE  
RASERA**

**OFFICINE RASERA srl**

Via Degli Artigiani, 35  
CROCETTA del MONTELLO  
TV - ITALY

tel +39.0423.639823

fax +39.0423.639836

info@rasera.com

**www.rasera.com**



Il SISTEMA "ARIA" è un marchio di  
OFFICINE RASERA srl.

**Domanda di brevetto depositata.**