



7a Conferenza Nazionale Poliuretano Espanso Rigido

PROGETTARE l'efficienza, COSTRUIRE il cambiamento



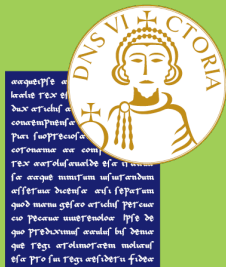
Roma, 7 maggio 2026

## Isolanti Bio-Based per l'edilizia: analisi sperimentale delle prestazioni termiche

*Rosa F. De Masi<sup>1</sup>, Giuseppe C. Lama<sup>2</sup>, Federica Recupido<sup>2</sup>,  
Silvia Ruggiero<sup>1</sup>, Alessandro Russo<sup>1</sup>, Letizia Verdolotti<sup>2</sup>,  
Francesca Villano<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi del Sannio, Benevento, Italia

<sup>2</sup> Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali, Consiglio Nazionale Italiano della Ricerca (IPCB-CNR), Piazzale Enrico Fermi 1, 80055 Portici, Italia



*Ing. Giuseppe Cesare Lama*

*Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali,  
Consiglio Nazionale Italiano della Ricerca (IPCB-CNR)*

# Isolamento edilizio: prestazioni o sostenibilità?

- **Decarbonizzazione** del settore edilizio
- Crescente domanda di **materiali sostenibili**
- **Limiti ambientali** dei materiali isolanti tradizionali

CONTESTO

- Elevate prestazioni  $\neq$  sostenibilità
- Materiali super-isolanti  $\rightarrow$  criticità (**costo**, durabilità)
- **Mancanza di dati** in condizioni reali per materiali bio-based

PROBLEMI



OBIETTIVI  
DELLA  
RICERCA

- Valutare un isolante innovativo bio-polimerico
- **Confronto diretto** con: lana di roccia (tradizionale), pannelli sottovuoto (VIP, alte prestazioni)
- **Analisi in laboratorio + condizioni reali**

# - Caso studio - La stazione sperimentale MATRIX a Benevento

**Localizzazione:** Benevento (41°N, 14°E) – zona climatica **C** (D.P.R. 412/93), zona **4A** (ASHRAE). Gradi giorno per il riscaldamento: 1817 GG (base 20°C)

**Condizioni:** umidità medio-elevata, elevata variabilità stagionale

**Superficie:** 36 m<sup>2</sup>

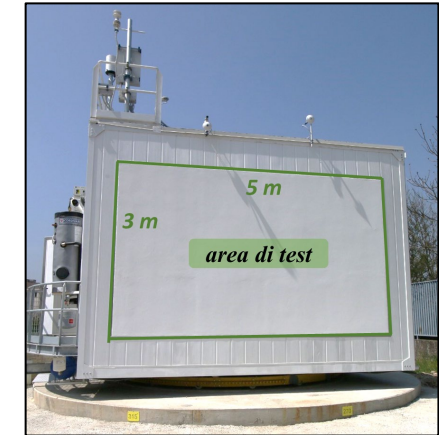
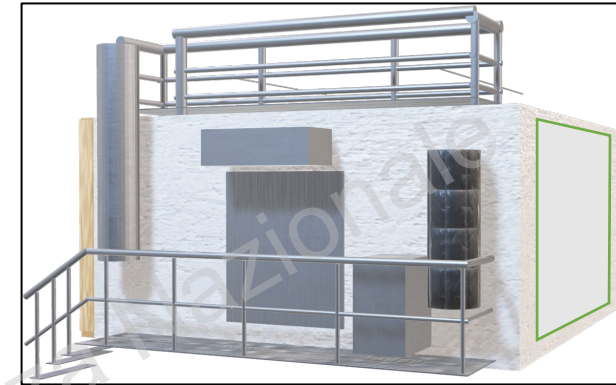
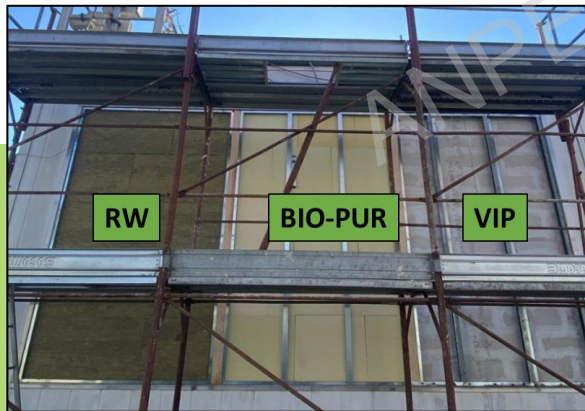
**Dimensioni:** 6 × 6 × 5.5 m<sup>3</sup>

Struttura: acciaio + solai in legno

Soluzione costruttiva → riduzione ponti termici strutturali

Prestazioni involucro (**ante intervento**):

- Pareti/pavimento:  $U \approx 0.05 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Copertura:  $U \approx 0.06 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Isolamento: 42 cm PUR continuo

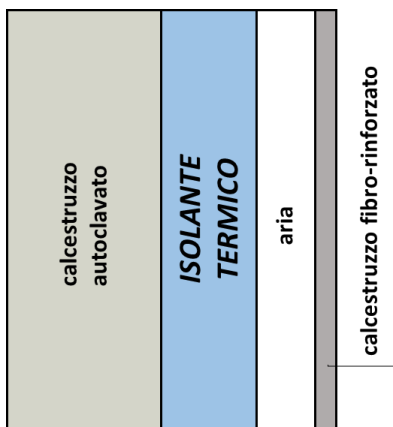


Parete selezionata:

- Esposizione Nord (riduzione radiazione solare)
- Superficie: 15 m<sup>2</sup> (5 × 3 m)
- Suddivisione in 3 sezioni verticali (1.70 m ciascuna)
- Materiali: RW (**lana di roccia**), VIP (**pannelli sottovuoto**), BIO-PUR (**poliuretano bio-based**)

**Confronto diretto in situ, sotto le stesse condizioni climatiche e operative**

## - Materiali impiegati -



Ordine stratigrafico (interno → esterno)	Materiale	Spessore [m]	Proprietà termo-fisiche principali ( $\lambda$ = conducibilità termica; $\rho$ = densità; $c$ = calore specifico; $R$ = resistenza termica)
Strato strutturale interno	Calcestruzzo autoclavato	0.10	$\lambda = 0.116 \text{ W/m K}$ ; $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ ; $c = 1000 \text{ J/kg K}$
<b>Strato isolante</b>	<b>Lana di roccia (RW)</b>	<b>0.05</b>	<b><math>\lambda = 0.035 \text{ W/m K}</math>; <math>\rho = 100 \text{ kg/m}^3</math></b>
<b>Isolante sperimentale</b>	<b>Poliuretano bio-based (BIO-PUR)</b>	<b>0.05</b>	<b><math>\lambda = 0.036 \text{ W/m K}</math>; <math>\rho = 100 \text{ kg/m}^3</math></b>
<b>Isolamento ad alte prestazioni</b>	<b>Pannello isolante sottovuoto (VIP)</b>	<b>0.01</b>	<b><math>\lambda</math> di progetto = <math>0.008 \text{ W/m K}</math>; <math>\rho = 100 \text{ kg/m}^3</math>; <math>\lambda</math> reale - invecchiamento: <math>0.0108 - 0.0111 \text{ W/m K}</math></b>
Intercapedine	Aria	0.85	$R = 0.18 \text{ m}^2\text{K/W}$
Rivestimento esterno	Calcestruzzo fibro-rinforzato	0.013	$\lambda = 0.440 \text{ W/m K}$ ; $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ; $c = 900 \text{ J/kg K}$

### RW

Euroclasse A1 (non combustibile)  
 Assorbimento acqua limitato  
 Materia: ~80% naturale + quota riciclata  
Riferimento tradizionale

### BIO-PUR

$\lambda$  lab:  $0.036 \pm 0.001 \text{ W/m K}$   
 Densità:  $100 \pm 10 \text{ kg/m}^3$   
 Resistenza compressione: 0.66 MPa  
 Riempitivo: diatomite (5%)  
 Stabilità termica:  $> 300^\circ$   
Equilibrio prestazioni + sostenibilità

### VIP

Sensibile a: perforazioni e perdita vuoto  
 Criticità: degrado nel tempo  
Altissime prestazioni

## - Materiali impiegati -

### **BIO-PUR**

$\lambda$  lab:  $0.036 \pm 0.001$  W/m K

Densità:  $100 \pm 10$  kg/m<sup>3</sup>

Resistenza compressione: 0.66 MPa

Riempitivo: diatomite (5%)

Stabilità termica:  $> 300^\circ$

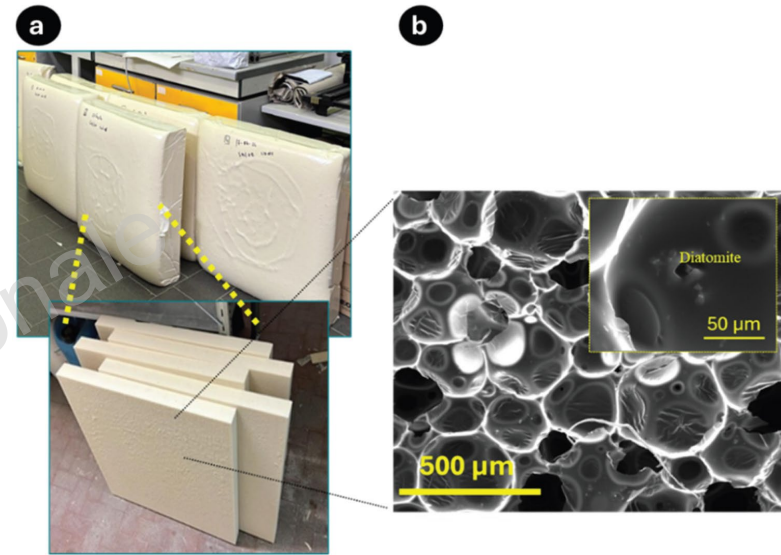
Equilibrio prestazioni + sostenibilità

# - Materiali impiegati – Focus su BIO-PUR -

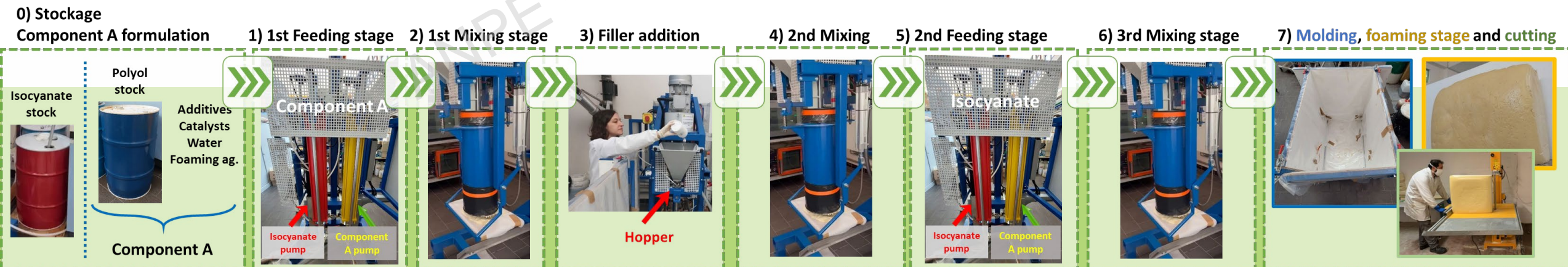
- Componente A: blend di **polioli poliesteri bio-based (da cardanolo)**, **olio di ricino**, catalizzatori, ritardanti di fiamma, agenti espandenti fisici, filler, surfattanti.
- Componente B: **Isocianato**. Rapporto A/B=100/124 (g/g), NCO/OH (mol/mol) = 1.3.
- Filler: **scarti** di produzione di calcestruzzo aerato autoclavato, **diatomite**, nanoparticelle di silice (da cenere di **lolla di riso**) funzionalizzata (< 150 μm).

**BIO-PUR**

λ lab: 0.036 ± 0.001 W/m K  
 Densità: 100 ± 10 kg/m<sup>3</sup>  
 Resistenza compressione: 0.66 MPa  
 Riempitivo: diatomite (5%)  
 Stabilità termica: > 300°  
Equilibrio prestazioni + sostenibilità



$$\text{Indice di Sostenibilità} = \frac{\sum \text{Peso componente sostenibile (g)}}{\text{Peso totale (g)}} = \sim 50\%$$



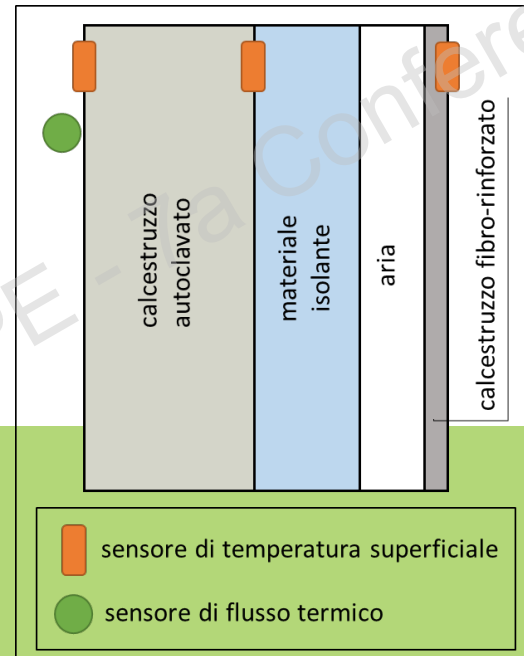
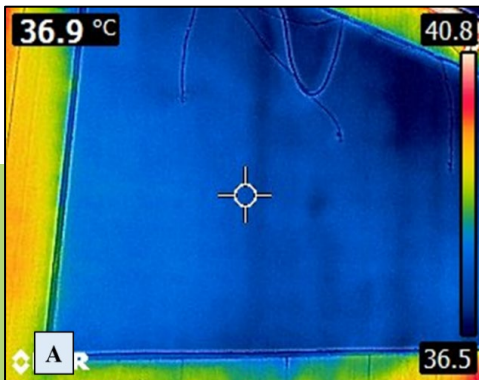
# - Monitoraggio - Strumentazione di acquisizione dati

- Analisi qualitativa → termografia IR
- Analisi quantitativa → trasmittanza in opera
- Analisi dinamica → flusso termico e temperature

## Integrazione di tecniche per caratterizzare comportamento reale dell'involucro

### Analisi termografica (UNI EN 13187)

- Strumento: FLIR E8
- Data: 11 marzo 2025 - ore 10:33.  
Condizioni: cielo coperto, assenza  
irraggiamento diretto,  $\Delta T$  int-ext  $\geq$   
5°C



### Analisi della trasmittanza termica in opera (ISO 9869)

- Strumento: ThermoZig (Carlesi Strumenti)
- Posizionamento: flussimetro → lato interno, sonde → interno + esterno
- Dati: campionamento ogni 10 min, condizioni quasi stazionarie
- Software: UCALC
- Misura diretta in situ → maggiore affidabilità rispetto ai dati di laboratorio

### Monitoraggio dinamico: flusso termico e temperature

#### Temperatura superficiale:

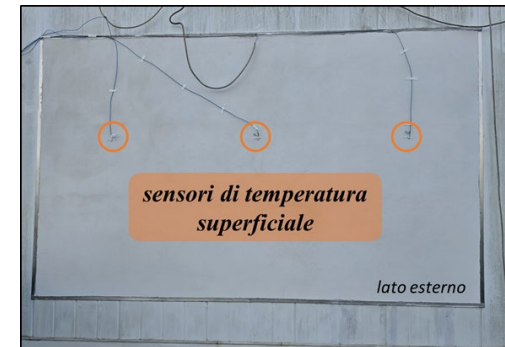
- Sensori: Pt100 (NESA ANS-TC-N)
- Accuratezza:  $\pm 0.1$  °C
- Posizioni:
  - superficie interna
  - superficie esterna
  - interfaccia isolante

#### Flusso termico:

- Sensori: HFP01 (Hukseflux)
- Precisione:  $\pm 5\%$

#### Sistema:

- Monitoraggio continuo



# - Monitoraggio - Periodo di acquisizione dati

## Analisi sia in condizioni reali dinamiche che controllate

Periodo: **dicembre 2024 – febbraio 2025**

**Evoluzione libera** 21/12/2024 – 09/01/2025 [Riscaldamento OFF]

**Riscaldamento controllato** 10/01/2025 – 19/02/2025 [Set-point: 20°C]

### Campagna 1 – Trasmittanza

Periodo: 23 gennaio – 14 febbraio 2025

Metodo: ISO 9869

Durata: ~1 settimana per materiale

Dettaglio:

- RW: 23–29 gennaio
- VIP: 30 gen – 5 feb
- BIO-PUR: 5–14 feb

### Campagna 2 – Monitoraggio continuo

Periodo: 20 dicembre – 19 febbraio

Modalità:

- free-floating
- riscaldamento attivo

Analisi quantitativa + comportamento dinamico reale

## Confronto in condizioni limite e rappresentative

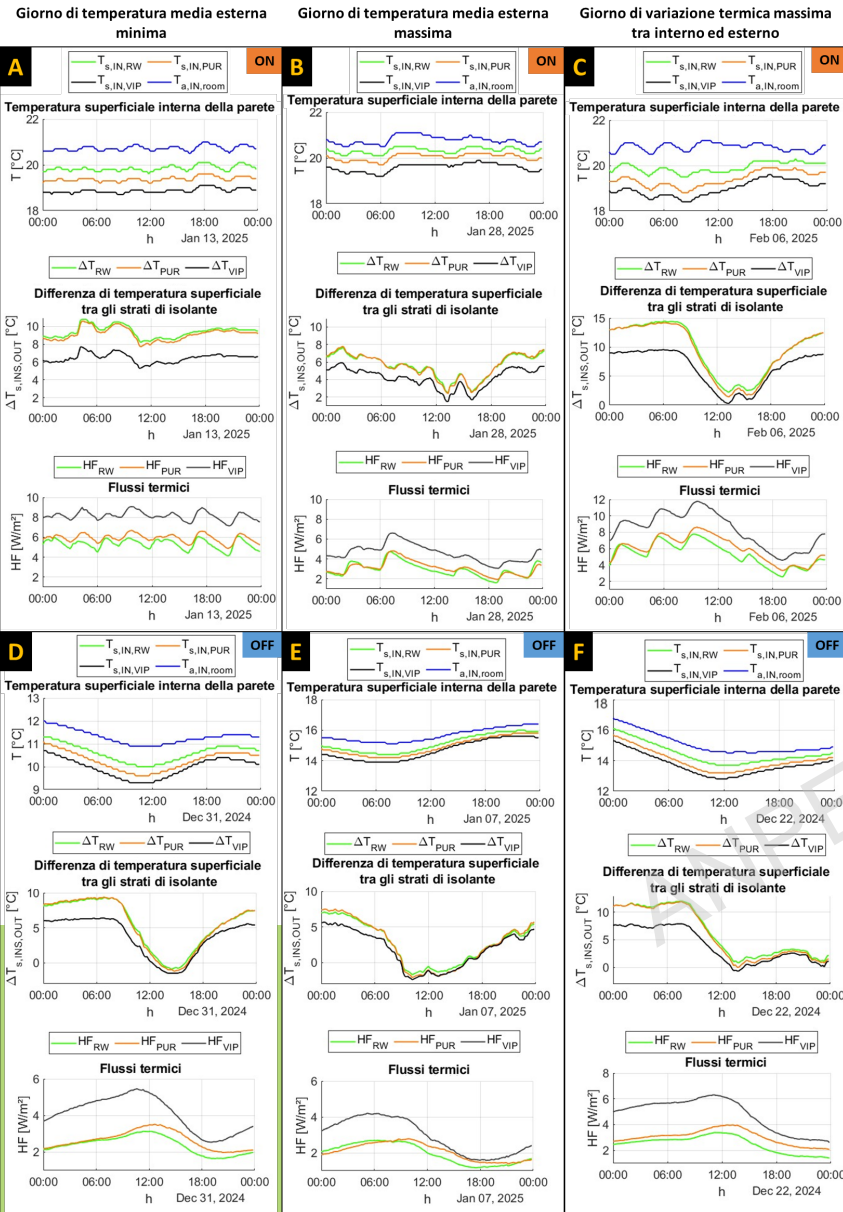
La procedura di selezione dei giorni rappresentativi ha seguito il criterio seguente, applicato sia per i periodi con impianto acceso (on) che spento (off):

- giorno di temperatura esterna media minima
- giorno di temperatura esterna media massima
- giorno di variazione termica massima tra interno ed esterno

Data	$T_{ext,mean}$ [°C]	$T_{ext,max}$ [°C]	$\Delta T_{int,ext,mean}$ [°C]	$\Delta T_{int,ext,max}$ [°C]
<b>Impianto ON</b>				
<b>13 Gennaio 2025</b>	5.5	6.5	15.2	17.1
<b>28 Gennaio 2025</b>	12.4	16.2	8.3	10.7
<b>6 Febbraio 2025</b>	5.8	15.6	15.0	22.2
<b>Impianto OFF</b>				
<b>31 Dicembre 2024</b>	3.6	13.8	7.7	13.5
<b>7 Gennaio 2025</b>	11.4	16.2	4.2	10.6
<b>22 Dicembre 2024</b>	5.8	13.4	9.3	16.7

# - Risultati -

## Analisi di confronto delle prestazioni dei materiali



Parametro	RW	BIO-PUR	VIP
<b>T<sub>s,IN</sub> (superficie interna)</b>	Alta, stabile	≈ RW	Più bassa (-0.5 ÷ -2°C)
<b>ΔT isolante (ΔT<sub>s,INS,OUT</sub>)</b>	Elevata (≈8-15°C)	≈ RW	Inferiore (≈5-10°C)
<b>Flusso termico HF</b>	2-9 W/m <sup>2</sup>	≈ RW	Maggiore (fino a 12 W/m <sup>2</sup> )
<b>Capacità di smorzamento</b>	Buona	Buona	Ridotta
<b>Risposta dinamica</b>	Ritardata	Ritardata	Rapida (meno inerzia)
<b>Stabilità (statistica)</b>	Alta	Alta	Più dispersa
<b>Capacità isolante reale</b>	Elevata	Elevata	Ridotta (degrado)

Il confronto dinamico mostra che il **BIO-PUR** ha un comportamento praticamente **sovrapponibile alla lana di roccia**, con temperature superficiali più elevate, **maggiore salto termico** attraverso l'isolante e flussi di calore più contenuti rispetto ai pannelli **VIP**, che invece evidenziano **prestazioni inferiori** probabilmente dovute a fenomeni di degrado.

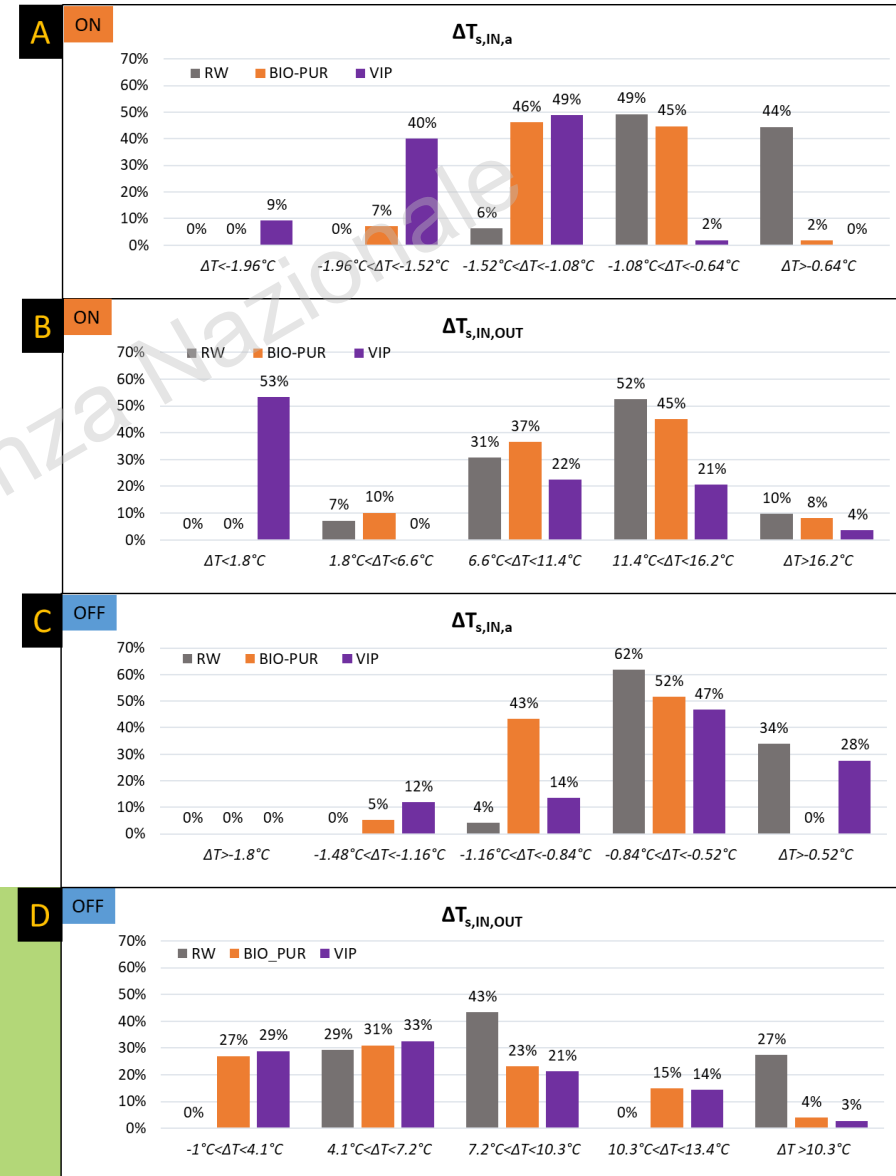
In particolare, **RW e BIO-PUR mostrano anche una maggiore capacità di smorzare e ritardare le variazioni termiche**, mentre il VIP risponde più rapidamente ma in modo meno efficace dal punto di vista isolante.

# - Risultati -

## Analisi di confronto delle prestazioni dei materiali

L'analisi statistica conferma questi risultati, mostrando che BIO-PUR e RW mantengono le **superfici interne più vicine alla temperatura dell'aria** e sostengono un salto termico più elevato, mentre il **VIP presenta superfici più fredde e una minore capacità isolante**.

Questo comportamento è **coerente sia con impianto acceso che spento**, a conferma della maggiore affidabilità di BIO-PUR e RW in condizioni reali.



## - Conclusioni -

### **Prestazioni termiche**

- BIO-PUR:  $U = 0.412 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $\approx \text{RW: } 0.394$ )
- Scostamento ridotto: +4% (BIO-PUR) vs +47% (VIP)

### **Comportamento dinamico**

- BIO-PUR  $\approx$  RW
- Superfici più calde rispetto ai VIP ( $+0.5 \div 2^\circ\text{C}$ )
- Flussi termici più contenuti ( $2\text{--}9 \text{ W/m}^2$  vs fino a  $12 \text{ W/m}^2$ )

### **Capacità isolante reale**

- BIO-PUR e RW  $\rightarrow$  65–70% salto termico
- VIP  $\rightarrow$  50–55%

### **Stabilità (analisi statistica)**

- BIO-PUR: comportamento stabile e coerente
- Prestazioni sovrapponibili a RW
- Superiori ai VIP in condizioni reali



**BIO-PUR = equilibrio tra prestazioni e sostenibilità**

**Prestazioni comparabili ai materiali tradizionali**

**Maggiore affidabilità rispetto ai VIP nel tempo**

**Il BIO-PUR rappresenta una soluzione promettente per l'isolamento edilizio, in grado di coniugare prestazioni termiche affidabili, stabilità nel tempo e sostenibilità ambientale**

Possibili sviluppi futuri:

- analisi LCA
- comportamento a lungo termine
- applicazione in diversi climi



# 7a Conferenza Nazionale Poliuretano Espanso Rigido



PROGETTARE l'efficienza, COSTRUIRE il cambiamento

Roma, 7 maggio 2026

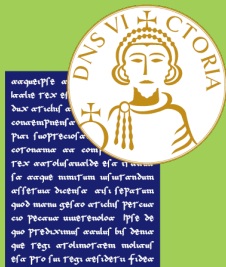
GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE!

Isolanti Bio-Based per l'edilizia: analisi  
sperimentale delle prestazioni termiche

Rosa F. De Masi<sup>1</sup>, Giuseppe C. Lama<sup>2</sup>, Federica Recupido<sup>2</sup>,  
Silvia Ruggiero<sup>1</sup>, Alessandro Russo<sup>1</sup>, Letizia Verdolotti<sup>2</sup>,  
Francesca Villano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi del Sannio, Benevento, Italia

<sup>2</sup> Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali, Consiglio Nazionale Italiano della Ricerca (IPCB-CNR), Piazzale Enrico Fermi 1, 80055 Portici, Italia



Ing. Giuseppe Cesare Lama

Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali,  
Consiglio Nazionale Italiano della Ricerca (IPCB-CNR)