



## ATTIVITA' DI STUDIO E RICERCA

### SETTORE ENERGIA E AMBIENTE

Report n. 1 del 09/11/2022

#### **Efficacia delle miscele nanotecnologiche con microsferi ceramiche a granulometria variabile commercializzate per l'isolamento termico a basso spessore (da 2 a 10 mm) degli edifici ai fini della riduzione dei consumi energetici.**

-----

Il professionista abilitato e iscritto all'albo deve osservare il codice deontologico e operare con probità e diligenza, sotto la vigilanza dell'Ordine (ex art. 37, R.D. 2537/1925), nel rispetto della regola dell'arte, della legge e, più in generale, dell'interesse legittimo del committente, che da un intervento di isolamento termico si aspetta una riduzione dei consumi e delle spese energetiche.

In particolare, l'art. 6 del D.Lgs. 192/2005 disciplina i casi in cui è necessaria la redazione dell'attestato di prestazione energetica, che fornisce il valore di energia totale consumata dall'edificio climatizzato ogni anno per metro quadrato di superficie (unità di misura: kWh/m<sup>2</sup> anno); in esso devono essere contenute le raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza dell'edificio con le proposte degli interventi più significativi ed economicamente convenienti, valutando anche gli incentivi di carattere finanziario.

Inoltre, se si intende accedere al super ecobonus ex art. 119, D.L. 34/2020, è necessario che un professionista abilitato asseveri che dall'intervento consegua un miglioramento di almeno due classi energetiche, tramite la redazione dell'attestato prima e dopo l'intervento, e che le spese sostenute siano congrue rispetto ai prezzi predisposti dalle Regioni e dalle Province autonome territorialmente competenti o, in alternativa, ai prezzi riportati nelle guide sui "Prezzi informativi dell'edilizia" edite dalla casa editrice DEI - Tipografia del Genio Civile, come disposto al punto 13.1, lettera a) dell'allegato A al D.M. 6.8.2020.

È quindi determinante la scelta progettuale dei materiali da utilizzare per l'isolamento termico, perché dalle loro prestazioni dipendono la regolarità dell'intervento e la riduzione dell'energia consumata per la climatizzazione, quindi, la possibilità o meno di accedere alle detrazioni fiscali.

Il professionista può - e, in molti casi, deve - attingere dai prezzi per redigere il computo metrico estimativo o per individuare gli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica più significativi ed economicamente convenienti.



Consultando il prezzario DEI "Recupero, Ristrutturazione, Manutenzione" del 1° semestre 2022, nel capitolo "isolamento termico di parete interna e esterna", tra le tante, sono presenti le seguenti voci:

- Cod. B15095a. **Lana di roccia** mono densità, in pannelli posti in opera per cappotto ETICS, rivestiti sul lato esterno con idoneo primer, con resistenza a compressione > 20 kPa, resistenza a trazione 7,5 - 10 kPa, provvisto di ETA, rispondente ai CAM (Criteri Ambientali Minimi), classe reazione al fuoco A1, conducibilità termica  $\lambda D \leq 0,035 \text{ W/mK}$ , completo di intonaco sottile armato con rete in fibra di vetro antialcalina del peso  $\geq 140 \text{ g/m}^2$ , dimensioni di  $600 \times 1.000 \text{ mm}$ , escluso rivestimento di finitura adeguato all'ETA del produttore del sistema: Spessore 40 mm, 67,06 €/m<sup>2</sup>.
- Cod. B15090a. **Polistirene espanso** sinterizzato EPS bianco conforme alla norma UNI EN 13163, avente valore di conducibilità termica  $\lambda D$  compreso tra **0,035 e 0,037 W/mK**, resistenza a trazione  $\geq 100 \text{ KPa}$ , euroclasse di reazione al fuoco E secondo EN 13501-1, rispondente ai criteri CAM (Criteri Ambientali Minimi), in pannelli posti in opera per isolamento termico a cappotto. Il sistema a cappotto, posato su pareti esterne già preparate, provvisto di ETA, è costituito da adesivo minerale ad elevate prestazioni, fissaggio meccanico eseguito con idonei tasselli, successiva rasatura eseguita in due mani con idoneo rasante, con interposta rete in fibra di vetro antialcalina del peso  $\geq 140 \text{ g/m}^2$ , dimensioni pannelli  $1.000 \times 500 \text{ mm}$ , compresi rinforzi diagonali in rete presso le aperture, nastri autoespandenti sigillanti, rinforzi di parapigolo, gocciolatoio, compreso primer e rivestimento di finitura adeguato all'ETA del produttore del sistema: Spessore 80 mm, 87,84 €/m<sup>2</sup>.
- B15162. Cappotto termico a basso spessore mediante applicazione di primer fissativo a base di silicati alcalini, applicazione a spatola di rasante termico in due mani composto da **miscela prodotta con nanotecnologica con microsfere ceramiche a granulometria variabile** ad elevata traspirabilità, impermeabilità e resistenza all'umidità, spessore 5 mm, provvisto di ETA, inclusa rete di armatura in fibra di vetro antialcalina del peso  $\leq 160 \text{ g/m}^2$ , conducibilità termica  $\lambda = 0,002 \text{ W/mK}$ , esclusi preparazione delle superfici e rivestimento finale adeguato all'ETA del produttore del sistema da pagarsi a parte: 129,61 €/m<sup>2</sup>.

(Si evidenzia che nelle prime due voci viene utilizzato il simbolo  $\lambda D$ , mentre nell'ultima viene utilizzato il simbolo  $\lambda$ )

Le prestazioni dei prodotti nanotecnologici appaiono sorprendenti, migliori di oltre un ordine di grandezza rispetto ad altri prodotti normalmente in uso; in base ai valori indicati, con soli 5 mm di spessore si otterrebbero prestazioni simili ad un cappotto in lana di roccia o polistirene estruso spesso 8-9 cm, e questo può fare la differenza negli edifici caratterizzati da modanature architettoniche e cornici in rilievo che ornano le facciate.



FONDAZIONE  
DEGLI ORDINI  
DEGLI INGEGNERI  
DELLA LIGURIA  
PER LA CULTURA



Ad esempio, il Regolamento Edilizio di Genova, all'art. 90 comma 2, vieta la modifica, la semplificazione o l'eliminazione di tali elementi di decoro.

Per chiarire le procedure, il 7 marzo 2022 il Comune di Genova ha pubblicato le [Linee guida per interventi edilizi su facciate di edifici non sottoposti a tutela ai sensi delle Parti II e III del Codice dei Beni Culturali, anche ai fini dell'applicazione della Legge 77 del 17 luglio 2020, art. 119 \(c.d. Superbonus 110 %\) e ss. mm. ii.](#), dove, ai punti 3.2 e 4.2, viene fatto riferimento anche a metodi di efficientamento e isolamento termico alternativi al cappotto termico, quali intonaci termoisolanti, pannelli isolanti "nanotecnologici" a basso spessore ed alte prestazioni, etc. etc., da valutare caso per caso sulla base di "approfonditi studi specifici", vista la scarsa casistica applicativa e la limitata conoscenza scientifica di questi prodotti.

In tale sede è stata chiesta la collaborazione degli Ordini e Collegi professionali, anche in ragione del fatto che l'art. 5, punto 3 della Legge 1395/1923 attribuisce all'Ordine degli Ingegneri e degli Architetti il compito di rilasciare pareri sulle controversie professionali, visto che ci sono tecnici che certificano questi prodotti, rimettendo la responsabilità delle prestazioni alla dichiarazione del produttore (è consentito dalla norma), mentre altri non lo fanno, ritenendo poco chiaro il procedimento in base al quale viene calcolata la conducibilità termica di questi materiali di nuova generazione.

Per capire quali studi possano / debbano essere condotti dal professionista, è stato commissionata al Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e Trasporti (DIME) dell'Università degli Studi di Genova una ricerca per la comparazione dei consumi di energia (in kWh) necessari per il riscaldamento invernale con resistenza elettrica di tre distinti ambienti, a parità di temperatura esterna (nella prova 20°C) e interna (nella prova 40°C), uno con superficie disperdente rivestita esternamente con malta rasante di spessore 2 mm (conducibilità termica dichiarata dal produttore 0,002 W/mK), uno privo di trattamento e uno isolato esternamente con polistirene espanso di spessore 40 mm (vedi allegato).

Si tratta della verifica in concreto del raggiungimento del risultato generalmente atteso dal cliente, ossia, consumare e pagare di meno; essa non necessita di conoscere le prestazioni dei prodotti utilizzati, né entra nel merito dell'attendibilità della dichiarazione del produttore, perché il risultato viene ottenuto con altro metodo, sperimentale e oggettivo, ossia, la misurazione diretta in kWh dell'energia elettrica effettivamente consumata in presenza o in assenza della rasatura nanotecnologica, oppure in comparazione con un isolamento "tradizionale" di caratteristiche note.



FONDAZIONE  
DEGLI ORDINI  
DEGLI INGEGNERI  
DELLA LIGURIA  
PER LA CULTURA



Nello specifico, l'esito del test ha evidenziato che **nessun effetto di significativo aumento delle prestazioni termiche in isolamento e della riduzione dei disperdimenti energetici dell'involucro può essere attribuito alla malta rasante utilizzata**, che si precisa essere stata acquisita sul mercato in modo casuale, tra i prodotti aventi caratteristiche simili a quelle indicate nel prezzario DEI, così da non identificare un determinato marchio di fabbrica ed evitare speculazioni o generalizzazioni.

Ciò non esclude che possano esservi sul mercato prodotti con prestazioni maggiori, ma, **a valle di questa sperimentazione, è acclarato che possono esistere casi in cui il risparmio energetico previsto a progetto, basato sui valori di conducibilità delle miscele nanotecnologiche dichiarati dal produttore, non trovi poi conferma reale nell'opera finita.**

Una verifica sperimentale di questo tipo (costo ~ 2000 - 4000 €), eseguita caso per caso da parte dei professionisti, offrirebbe loro una maggior tutela nei confronti delle responsabilità civili, penali e deontologiche che assume nel progettare, dirigere e asseverare gli interventi del super ecobonus 110%, specie dopo l'inserimento del comma 13-bis.1 nell'art. 119 del D.L. 34/2020 (in vigore dal 29.3.2022), che così recita: "*Il tecnico abilitato che, nelle asseverazioni di cui al comma 13 e all'articolo 121, comma 1-ter, lettera b), espone informazioni false o omette di riferire informazioni rilevanti sui requisiti tecnici del progetto di intervento o sulla effettiva realizzazione dello stesso ovvero attesta falsamente la congruità delle spese è punito con la reclusione da due a cinque anni e con la multa da 50.000 euro a 100.000 euro. Se il fatto è commesso al fine di conseguire un ingiusto profitto per sé o per altri la pena è aumentata.*".

Dato che l'esercizio della professione è libero e fondato sull'autonomia e indipendenza di giudizio, intellettuale e tecnico (ex art. 2, comma 2, D.P.R. 137/2012), si auspica che il presente studio possa favorire un maggiore approfondimento da parte degli operatori di settore su questo importante aspetto, per conseguire, in concreto, l'obiettivo del risparmio energetico, a tutela dell'ambiente e nell'interesse dei committenti.

***Iniziativa promossa da:*** Ordine degli Ingegneri di Genova (Enrico Sterpi, Presidente)

***Report di studio e ricerca:*** Fondazione degli Ordini degli Ingegneri della Liguria per la Cultura (Maurizio Michelini, Presidente)

***Realizzazione prototipi e sperimentazione:*** Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Energetica, Gestionale e dei Trasporti dell'Università di Genova (Marco Fossa, Professore Ordinario di Fisica Tecnica, Responsabile della ricerca)

***Gruppo di lavoro presso l'Ordine degli Ingegneri di Genova:*** Paolo Cavalletti, Nicola Criniti, Raffaele Forte, Deborah Savio (Coordinatore)



**RELAZIONE FINALE  
CONTRATTO DI RICERCA**

**Realizzazione di prototipi e successiva sperimentazione  
per la verifica delle caratteristiche termoisolanti di  
materiali per l'edilizia**

## **Premessa**

La presente Relazione attiene le attività previste al contratto di ricerca tra il Dipartimento Dime dell'Università di Genova e l'Ordine degli Ingegneri Genova, anno 2022.

La durata delle attività si è protratta oltre il periodo inizialmente previsto in ragione di esigenze emerse da parte di Ordine, il quale ha richiesto a Dime una proroga delle attività rispetto a quanto inizialmente concordato. La Relazione illustra le risultanze della sperimentazione condotta presso i laboratori del Dime su sezioni di prova riscaldate al loro interno e soggette ad assegnate differenze di temperatura rispetto ad un ambiente esterno climatizzato e termostato. Le misure di flusso termico disperso hanno consentito di quantificare le prestazioni dell'involucro della sezione di prova (rappresentante in scala un ambiente di un edificio) per diverse caratteristiche dell'involucro perimetrale medesimo, nello specifico in condizioni di riferimento (REF), con la presenza di uno strato di materiale isolante costituito da polistirene espanso (PE) applicato sull'involucro REF, in presenza di rasante termico (RAS) applicato sull'involucro di riferimento. L'applicazione del RAS è avvenuta a cura di Ordine che ha provveduto al ritiro e alla consegna della sezione di prova RAS al Dipartimento Dime.

Genova 16 settembre 2022

Marco Fossa, Responsabile della Ricerca

*Marco Fossa, PhD, Professore Ordinario di Fisica Tecnica*

*Docente di Renewable Energies in Buildings*

*Direttore del Master Unige "Energia e Sostenibilità"*

*Delegato del Rettore all'Offerta Formativa Internazionale*

*Dime, Via Opera Pia 15a, 16145 Genova*

[marco.fossa@unige.it](mailto:marco.fossa@unige.it)

# Indice

## Lista dei simboli

1. Introduzione: contesto e finalità
2. Sperimentazione: sezioni di prova, sensori e calibrazione, procedure di misura
3. Analisi dei risultati
4. Conclusioni
5. Ringraziamenti
6. Riferimenti bibliografici

## Lista dei simboli

A	area, superficie di scambio	[m <sup>2</sup> ]
E	Energia elettrica	[k Wh]
k	conducibilità termica	[W/mK]
K	trasmittanza	[W/K]
P	potenza	[W]
$\dot{Q}$	flusso termico	[W]
T	temperatura	[°C]
TC	termocoppia	
V	volume	[m <sup>3</sup> ]

## Simboli Greci

$\tau$	Tempo	[s]
--------	-------	-----

## Pedici

air	aria
ave	valore medio nel tempo
EP	relativo al box coibentato con EPS
in	lato interno
out	lato esterno
PT100	relativo alla termoresistenza di riferimento
ref	di riferimento
RAS	relativo al box coibentato con malta rasante termica
REF	relativo al box non coibentato
TC	relativo a misura effettuata con termocoppia di tipo K
wall	parete

## Apici

'	referito all'unità di lunghezza
"	referito all'unità di area
'''	referito all'unità di volume



## **Introduzione: contesto e finalità**

I consumi energetici degli edifici del solo settore civile rappresentano circa il 50% dei consumi finali di energia della Regione Liguria (PEAR Liguria 2014-2020 [1]). Di questi consumi, sempre secondo il PEAR Liguria, il 70% è attribuibile alle necessità di climatizzazione invernale ed estiva. Come è noto, il consumo di energia per la climatizzazione degli edifici è fortemente influenzato dalle caratteristiche dell'involucro edilizio, a sua volta connotabile con i valori della trasmittanza delle pareti esposte verso l'ambiente esterno. Tali trasmittanze, direttamente proporzionali al flusso termico disperso dagli edifici attraverso le pareti opache, assumono valori che possono variare in un vasto campo (come ordini di grandezza tra 2 e  $0.2 \text{ W/m}^2/\text{K}$ ) in relazione alla stratigrafia delle pareti in termini di spessore degli strati e conducibilità termica degli stessi. Le migliori conducibilità termiche ai fini del risparmio energetico degli edifici sono quelle dei materiali propriamente detti isolanti termici, che nella tipologia più ricorrente ed utilizzata a livello mondiale sono i pannelli appartenenti alla famiglia dei polistireni (EPS espanso/estruso) e quello dei pannelli costituiti da fibre di roccia o da fibre naturali (e.g. fibra di legno). Questi materiali isolanti di utilizzo comune e consolidato sono soggetti a specifica normativa tecnica (e.g. UNI, EN, ISO) che definisce le modalità di test necessarie per misurare la conducibilità termica del materiale stesso, che per pannelli in EPS [2,3] e materiali in fibra [4,5] si colloca tipicamente nel range di valori  $0.030\text{-}0.050 \text{ W/m}^2/\text{K}$ .

Esistono sul mercato poi una serie di materiali isolanti termici che è possibile definire non convenzionali. Tra questi è possibile citare i materiali che utilizzano Aerogel, in grado di offrire conducibilità termiche inferiori ( $0.015 \text{ W/m}^2/\text{K}$  [6]) a quelle dei materiali di tipo EPS, ma connotati da costi e proprietà meccaniche che ne rendono molto più complesso e infine non interessante l'utilizzo nell'edilizia privata e pubblica, sia per le nuove costruzioni che per gli interventi di riqualificazione energetica.

Tra i materiali isolanti non convenzionali occorre citare una ulteriore categoria di materiali, definibili come Malte Rasanti Termiche. Tali materiali sono proposti sul mercato in quanto capaci, a dichiarazione di chi li commercializza o li produce, di valori della conducibilità termica di molto inferiori (fino a un ordine di grandezza) rispetto a quelli dei materiali come EPS e anche di gran lunga inferiori ai valori di conducibilità termica dei materiali a base di Aerogel.

L'interesse per queste malte rasanti termiche risiede nel fatto che, accettando per veritieri i valori di conducibilità termica apparente (o equivalente) dichiarati da chi commercializza o produce tali malte, sia possibile ottenere resistenze termiche delle pareti perimetrali degli edifici idonee all'accesso agli incentivi nazionali (e.g. 110%, Decreto Rilancio 34/2020 [7]) con la semplice applicazione di sottili (pochi millimetri) strati di malta, tipicamente sulla facciata esterna degli edifici. È utile sottolineare che le dichiarazioni riguardanti le proprietà termiche di queste malte mai sono riferite a specifiche norme tecniche nazionali oppure europee riguardanti la misura della conducibilità termica dei materiali.

La presente relazione fa riferimento a specifiche misure di laboratorio in regime termodinamico stazionario su 3 sezioni di prova, di geometria analoga, rispetto alle quali è stato misurato il flusso termico disperso attraverso l'involucro per assegnate differenze di temperatura tra volume interno e ambiente climatizzato esterno. Tale procedura ricalca in scala quanto accade negli edifici, dove per assegnate temperature interne invernali (per esempio 20°C) e per assegnate temperature esterne climatiche (per esempio 0°C durante in inverno) si genera un flusso termico disperso dall'edificio verso l'ambiente esterno. Tale flusso disperso deve essere bilanciato dall'apporto termico corrispondente fornito dal sistema di climatizzazione dell'edificio. Tale apporto, per la specifica quota, costituisce pertanto il fabbisogno dell'edificio relativamente ai disperdimenti associati alla conduzione termica, all'irraggiamento e alla convezione attraverso le pareti opache.

Le misure di flusso termico disperso hanno consentito di quantificare le prestazioni dell'involucro delle sezioni di prova per le diverse caratteristiche dell'involucro perimetrale delle stesse. Le sezioni di prova, aventi la stessa geometria e la medesima struttura portante di base, fanno riferimento ad altrettante condizioni di prova per le medesime differenze di temperatura: le condizioni di riferimento ("REF") per la sola struttura portante della sezione di prova, le condizioni denominate "PE" dove alla struttura portante è stato applicato uno strato di materiale isolante costituito da polistirene espanso-estruso, una terza condizione operativa caratterizzata dalla presenza di rasante termico ("RAS") applicato sull'involucro di riferimento portante. L'applicazione del rasante è avvenuta a cura di Ordine degli Ingegneri Genova, che ha

provveduto al ritiro della sezione di prova in condizioni “REF” e alla sua riconsegna al Dime in condizioni “RAS”.

## **2. Sperimentazione: sezioni di prova, sensori e calibrazione, procedure di misura**

Per la presente campagna sperimentale sono state realizzate 3 sezioni di prova identiche, di forma cubica, con lato esterno 0.7 m, realizzate con pannelli di legno truciolare di spessore 10mm. Le sezioni di prova cubiche sono stata dotate di un pannello superiore amovibile per consentire l’accesso all’interno del volume di prova (Figure 1a e 1b).

La sezione di prova costituita dal solo pannello portante è stata denominata “REF”, mentre con la denominazione “EP” e “RAS” vengono indicate le sezioni di prova rivestite all’esterno (5 superfici su 6) di pannelli isolanti in polistirene espanso/estruso e di malta rasante termica, rispettivamente. Lo spessore dei pannelli isolanti è pari a 40mm, la conducibilità termica dichiarata in scheda tecnica dal produttore  $k_{ep}$  pari a 0.034 W/m/K. Lo spessore della malta rasante termica è quello applicato da Ordine Ingegneri (2 millimetri circa) secondo le schede di lavorazione del prodotto in esame, di cui non è nota la conducibilità termica e le sue altre proprietà termofisiche.

Da quanto sopra si evince che la superficie disperdente verso l’esterno delle sezioni di prova REF e RAS è praticamente coincidente (2.94 e 2.95 m<sup>2</sup> rispettivamente), anche se lo spessore delle pareti della sezione di prova aumenta, passando da 10 mm (REF) a circa 12 mm (RAS).

È evidente che anche nel caso in cui il materiale RAS possedesse la sola conducibilità termica del materiale della struttura REF (legno truciolare compatto), ne risulterebbe un aumento della resistenza termica conduttiva della parete RAS in relazione all’aumento dello spessore della parete medesima. Ciò comporterebbe una diminuzione della trasmittanza RAS rispetto a quella REF.

Per quando riguarda la sezione di prova EP, la superficie disperdente (a causa del maggior ingombro esterno del polistirene) è pari a circa 3.52 m<sup>2</sup>, con un aumento di superficie disperdente di circa il 20%.

All’interno di ogni sezione di prova cubica sono stati alloggiati un riscaldatore elettrico della potenza di 480 W, un termostato proporzionale retroazionato in temperatura di set

point, una ventola per uniformare le temperature all'interno della sezione di prova, una serie di termocoppie tipo K preventivamente calibrate rispetto a un termometro campione costituito da una termoresistenza PT100 di classe A.



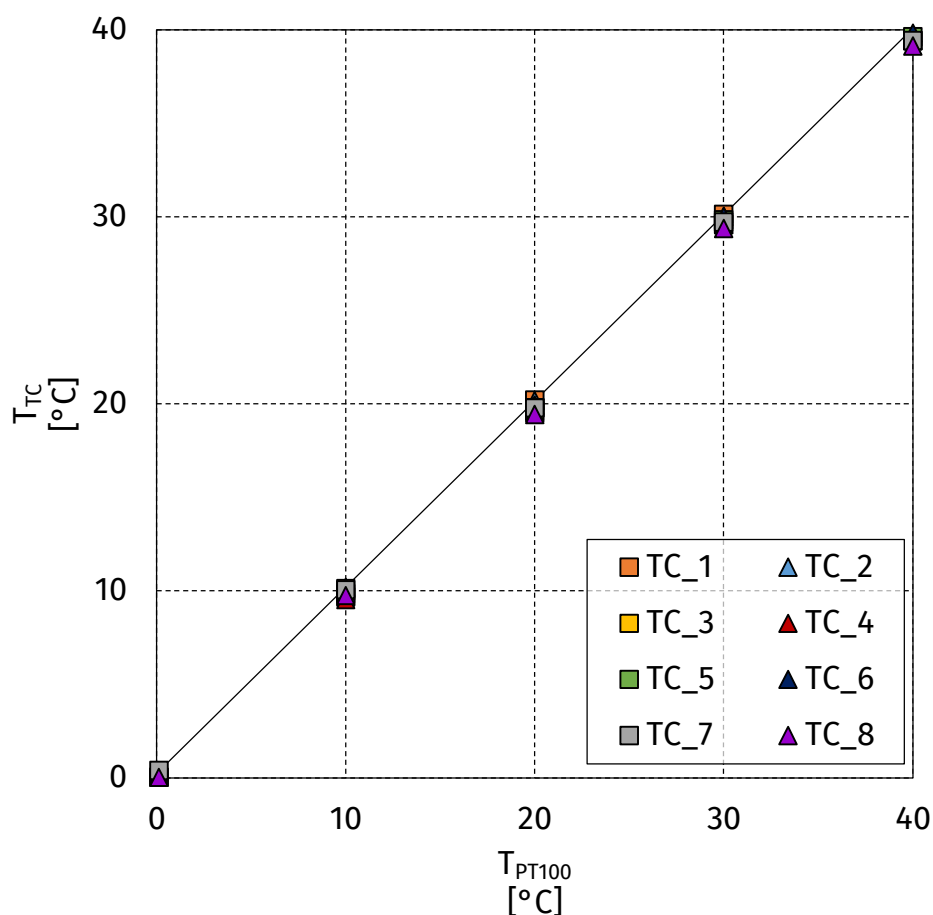
*Figura 1a, Sezione di prova nelle condizioni REF*



*Figura 1b, Sezione di prova nelle condizioni EP (a sinistra) e RAS (a destra)*

Il Diagramma di Figura 2 riporta i punti sperimentali relativi alla calibrazione delle termocoppie, ottenuto tramite utilizzo di Bagno Termostatico Haake e termoresistenza di riferimento Michell Electronics (Figura 3a).

L'incertezza della misura di temperatura per ciascuna termocoppia, dopo il calcolo delle costanti di calibrazione, è stata quantificata in  $0.20^{\circ}\text{C}$  [8].



*Figura 2, Andamento delle temperature misurate dalle termocoppie utilizzate durante la sperimentazione rispetto alla temperatura del riferimento per la calibrazione*

Il riscaldatore elettrico è controllato dal termostato che provvede ad avviarlo e arrestarlo in funzione delle condizioni di temperatura dell'aria del volume interno alla sezione di prova. Il riscaldatore elettrico, il termostato, l'alimentatore DC della ventola e la ventola medesima (Figura 4a) si trovano all'interno della sezione di prova e sono collegati ad uno stesso misuratore di energia elettrica (multimetro integratore, accuratezza 2%, Figura 4b) che provvede pertanto alla misura della complessiva energia elettrica conferita al volume

interno della sezione di prova e qui convertita in calore, mentre la sezione di prova è mantenuta alla temperatura di setpoint assegnata all'aria interna, nominalmente 40°C. Mentre la ventola e la scheda di controllo operano in maniera continua durante la durata di una prova (durata tipica 24 ore), il riscaldatore elettrico esegue una serie di cicli di accensione e spegnimento, in base alle temperature misurate dalla scheda di controllo e alla temperatura di consegna (setpoint). La potenza assorbita dalla ventola e dalla scheda di controllo è di circa 20W, più di un ordine di grandezza inferiore a quella del riscaldatore; in ogni caso si sottolinea che tale potenza viene misurata nell'ammontare complessivo dell'energia e del flusso termico istantaneo fornito alla sezione di prova.



(a)



(b)

*Figura 3, Bagno termostatico utilizzato durante il processo di calibrazione con termoresistenza di riferimento PT100 (a) e il fieldlogger Novus utilizzato per l'acquisizione (b)*

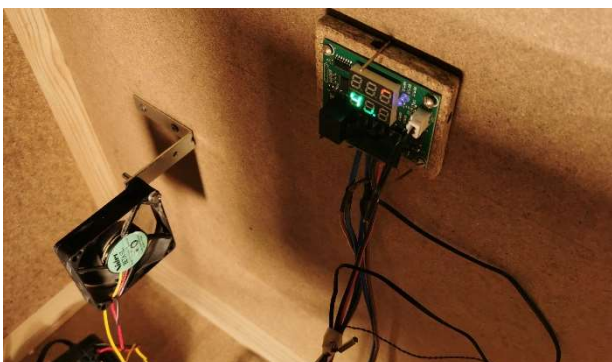
Le misure di temperatura con termocoppie sono effettuate per misurare la temperatura dell'aria interna alla sezione di prova ( $T_{air, in}$ ), della superficie interna di due pareti della sezione di prova ( $T_{wall, in, 1}$ ,  $T_{wall, in, 2}$ ), della superficie esterna di due pareti della sezione di prova ( $T_{wall, out, 1}$ ,  $T_{wall, out, 2}$ ), dell'aria esterna al volume di prova (temperatura della camera climatizzata). Le misure delle temperature di parete sono state effettuate per verifiche di



buon funzionamento del sistema, ma non verranno utilizzate per le elaborazioni di cui alla successiva Sezione Risultati.

La camera climatizzata è il Laboratorio AlfaLaval presso il Dipartimento DIME di Università di Genova, che è dotata di un sistema di climatizzazione controllato in temperatura per mantenere assegnate temperature nel laboratorio medesimo. Il laboratorio è inoltre dotato di un ventilatore di diametro 40 cm al fine di uniformare la temperatura di tutta la stanza. Durante le prove la temperatura nominale del laboratorio è stata fissata a 20°C, imponendo così una differenza di temperatura tra interno volume di controllo ed esterno volume di controllo pari nominalmente a 20°C.

L'acquisizione delle misure di temperatura con termocoppie è effettuata con una strumentazione Novus fieldlogger (Figura 3b) caratterizzata da un convertitore analogico digitale a 24bit e dalla capacità di acquisire segnali analogici e digitali con una frequenza di campionamento fino a 1000Hz. La misura della potenza elettrica (e quindi termica) fornita alla sezione di prova avviene, come già detto, grazie al multimetro integratore Ketotek (Figura 4b) con risoluzione 0.01 kWh ed accuratezza 2%. Per migliorare ulteriormente l'accuratezza della misura integrale di energia elettrica fornita durante la prova, il cavo elettrico di alimentazione per riscaldatore, ventola e controllo interno è stato fatto passare due volte (doppia spira) all'interno del trasformatore amperometrico di cui il multimetro è dotato, dividendo per due successivamente tutti i valori di energia elettrica che venivano letti e registrati.



(a)



(b)

*Figura 4, Termostato di controllo e ventola interna (a) e multimetri integratori (b)*

La procedura di misura si articola pertanto nei seguenti passi:

- 1) Predisposizione della sezione di prova, con termocoppie, riscaldatore interno, controllo e ventola interna e chiusura del coperchio superiore.
- 2) Avvio della climatizzazione del laboratorio fino al raggiungimento di condizioni stazionarie di temperatura nella stanza (durata 2 giorni tipico) e contemporaneo avvio dell'acquisizione di tutte le temperature misurate da termocoppie.
- 3) Avvio del riscaldatore interno controllato fino al raggiungimento della temperatura di consegna (condizioni stazionarie controllate) per l'aria all'interno della sezione di prova. Durata tipica di questa fase alcune ore.
- 4) Raggiunte le condizioni di regime termodinamico stazionario (sia per la sezione di prova aria interna che per l'aria esterna del laboratorio) viene azzerato il multimetro contaenergia e viene avviata la misura del tempo a partire da questo istante di azzeramento.
- 5) Trascorso un tempo tipico pari a 24 ore, viene annotato il tempo trascorso  $\Delta\tau$  e registrato il valore integrale della energia elettrica  $E_{tot}$  defluita attraverso il multimetro e conferita alla parte interna della sezione di prova (riscaldatore, ventola interna, alimentatore DC della ventola, controllo del setpoint interno)
- 6) Viene calcolato il flusso termico medio  $\dot{Q}_{ave}$  [W] durante la prova trasferito attraverso le pareti della sezione e il flusso termico medio per unità di differenza di temperatura interno/esterno  $K_{ave}$  [W/K] che rappresenta una trasmittanza della sezione di prova considerata. Le equazioni di riferimento sono le seguenti:

$$\dot{Q}_{ave} = E_{tot} / \Delta\tau \quad (1)$$

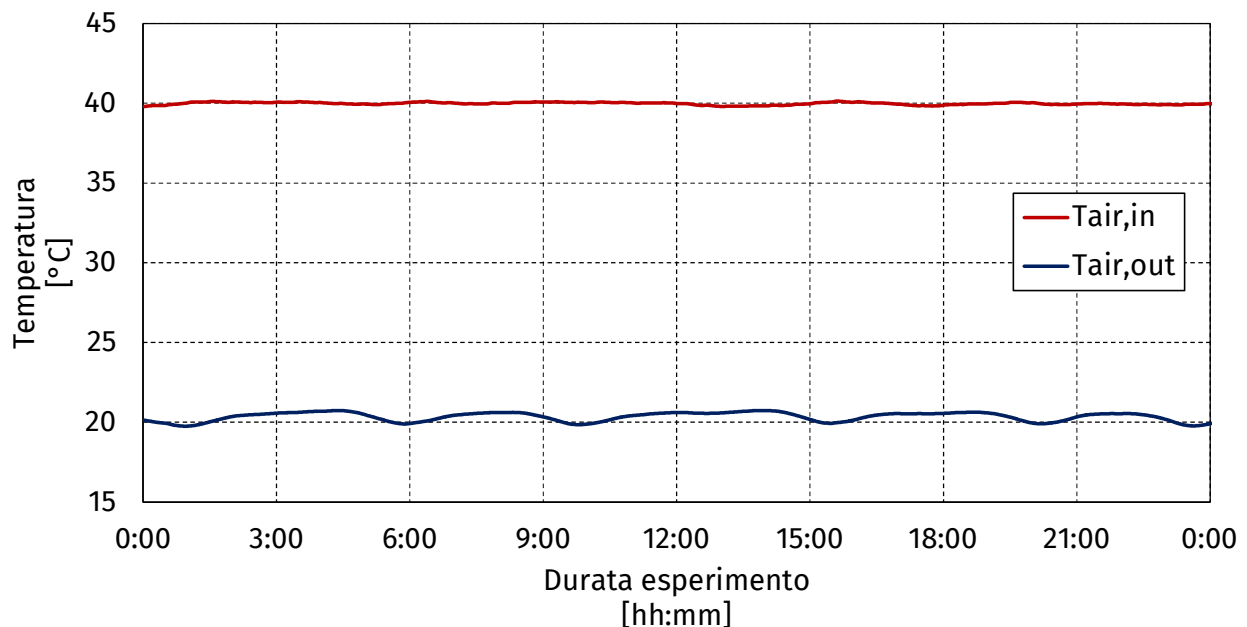
$$K_{ave} = \dot{Q}_{ave} / (T_{air,in,ave} - T_{air,out,ave}) \quad (2)$$

Le medie (pedice "ave") sono riferite alla durata della prova sperimentale e fanno riferimento tipicamente ad un numero di campionamenti per ciascuna termocoppia utilizzata pari circa 17000 valori (periodo di campionamento 5 secondi). Le temperature a denominatore dell'Equazione 2 rappresentano il valore medio delle temperature dell'aria interna al volume della sezione di prova e all'interno della stanza climatizzata.

L'incertezza complessiva nella stima della trasmittanza equivalente è stata stimata intorno al 4%.



La Figura 5 riporta ad esempio l'andamento di tali temperature medie dell'aria all'interno e all'esterno del volume durante una delle sessioni di misura effettuate, da cui si può desumere la sostanziale stabilità nel tempo delle stesse e il raggiungimento di condizioni di regime termodinamico stazionarie.



*Figura 5, Andamento nel tempo delle temperature medie dell'aria all'interno e all'esterno della sezione di prova quando le condizioni di regime termodinamico sono state raggiunte*

Le prove sperimentali effettuate sono state almeno due per ogni sezione di prova: la ripetibilità dei risultati è stata ottima e tipicamente inferiore al 4%.

### **3. Analisi dei risultati**

I risultati della campagna di misura sono riportati in Tabella 1, dove vengono riportati la durata della prova, l'energia conferita al volume di controllo, le temperature medie dell'aria interna ed esterna, l'indicatore sintetico di prestazione termica (trasmittanza equivalente)  $K_{ave}$ , secondo quanto espresso dalle Equazioni 1 e 2.

La tabella mostra chiaramente come le prestazioni del volume di controllo nelle condizioni REF e RAS risultino sostanzialmente equivalenti, in quanto i valori delle

trasmissioni  $K_{ave,REF}$  e  $K_{ave,RAS}$  risultano rispettivamente pari a 12.53 e 11.01 [W/K] rispettivamente, con uno scarto pari al 12.1 % che può essere correlato al maggior spessore della parete RAS (circa 12 mm) rispetto alla parete REF (10 mm), come già evidenziato nel paragrafo precedente.

Al contrario, e come atteso per via dell'applicazione dei pannelli isolanti in polistirene, la trasmissione del volume di controllo in condizioni EP è risultata pari a 3.78 [W/K], con una riduzione rispetto al caso RAS pari al 65.7%. Si fa osservare che la sezione EP risultava penalizzata rispetto alle sezioni di prova REF e RAS per via di una maggiore superficie esposta verso l'esterno (+20%).

*Tabella 1, Risultati della campagna di misure*

SEZIONE DI PROVA	Durata della prova [Ore]	Temperatura media dell'aria interna [°C], $T_{air, in, ave}$	Temperatura media dell'aria esterna [°C], $T_{air, out, ave}$	Energia termica conferita al volume di controllo $E_{tot}$ , [KWh]	Indice di prestazione termica (trasmissione globale) $K_{ave}$ [W/K]
REF	24:00	38.1	19.4	5.610	12.53
EP	24:00	39.9	20.5	1.765	3.78
RAS	24:00	39.1	19.4	5.205	11.01

#### 4. Conclusioni

La campagna di prove sperimentali di tipo termico ed energetico effettuata presso il Dipartimento Dime dell'Università di Genova su tre sezioni di prova costituite da volumi cubici in condizioni di Riferimento (REF, nessun rivestimento esterno applicato alla struttura portante), condizioni EP (rivestimento esterno realizzato con 40mm di isolante termico polistirene), condizioni RAS (rivestimento esterno pari a due millimetri circa di Malta Rasante Termica) ha consentito di definire altrettanti indici prestazionali (trasmissioni equivalenti) per le tre sezioni di prova REF, EP e RAS. Le trasmissioni delle sezioni di prova REF e RAS sono risultate rispettivamente pari a 12.53 e 11.01 [W/K] e, pertanto molto simili tra loro, anche

tenuto conto che la parete RAS ha uno spessore maggiore del 20% rispetto alla parete REF per l'aggiunta del rasante e questo necessariamente comporta una riduzione della trasmittanza anche nel solo caso il materiale RAS avesse la conducibilità termica del materiale della struttura portante REF (legno truciolare compatto).

Tutto quanto qui sopra sta ad indicare che nessun effetto di significativo aumento delle prestazioni termiche in isolamento e della riduzione dei disperdimenti energetici dell'involucro può essere attribuito alla Malta Rasante utilizzata in questo studio.

Per quanto riguarda invece l'utilizzo di isolante termico in polistirene (sezione di prova EP), regolarmente disponibile con le schede tecniche di norma UNI per quanto riguarda la conducibilità termica del prodotto, le prestazioni termiche sono risultate come atteso di gran lunga migliori rispetto alle sezioni di prova REF e RAS (diminuzione della trasmittanza, rispettivamente, pari al 69.8% e 65.7%), nonostante siano stati applicati soli 40mm di isolante alla sezione di prova.

È possibile concludere senza ombra di dubbio scientifico che il rasante utilizzato nella configurazione RAS non possiede alcuna caratteristica che possa connotarlo come isolante termico atto al soddisfacimento dei requisiti termici delle pareti di involucro degli edifici in tutte quelle applicazioni reali dove si persegua la riduzione dei consumi energetici, il risparmio economico negli edifici, la riduzione delle emissioni serra nel comparto della climatizzazione degli edifici, si richiedano gli incentivi economici previsti dallo Stato e dalle Regioni per l'efficientamento energetico degli edifici.

## **Ringraziamenti**

Il Professor Marco Fossa ringrazia i dott. Mattia Parenti e Samuele Memme, dottorandi per l'anno 2022 al Dipartimento DIME, per il fondamentale aiuto alla realizzazione delle sezioni di prova, alla calibrazione dei sensori, alla conduzione delle prove sperimentali, all'elaborazione delle misure e al calcolo degli indici prestazionali di cui alla presente Relazione.

## Riferimenti Bibliografici

- [1] Piano Energetico Ambientale Regionale 2014 – 2020, Bollettino Ufficiale della Regione Liguria, Anno 48, N. 50, Parte II, 13-12-2017, pag. 5
- [2] UNI EN 13163:2017, Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polistirene espanso (EPS) ottenuti in fabbrica - Specificazione
- [3] UNI EN 13164:2013, Isolanti termici per edilizia - Prodotti di polistirene espanso estruso (XPS) ottenuti in fabbrica – Specificazione
- [4] UNI EN 13171:2013, Isolanti termici per edilizia - Prodotti di fibre di legno (WF) ottenuti in fabbrica – Specificazione
- [5] UNI EN 13162:2015, Isolanti termici per edilizia - Prodotti di lana minerale (MW) ottenuti in fabbrica – Specificazione
- [6] <https://www.aeropan.it/it/home/>
- [7] DL 19/05/2020, n. 34, Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19, GU Serie Generale n.128 del 19-05-2020 - Suppl. Ordinario n. 21
- [8] Robert J. Moffat, Describing the uncertainties in experimental results, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 1, Issue 1, 1988, Pages 3-17, ISSN 0894-1777, [https://doi.org/10.1016/0894-1777\(88\)90043-X](https://doi.org/10.1016/0894-1777(88)90043-X).