



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

USO SOSTENIBILE DELLE RISORSE NATURALI UNO SGUARDO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO DEI SISTEMI DI ISOLAMENTO TERMICO ESTERNO (ETICS)

I sistemi a capotto, o meglio i sistemi compositi di isolamento termico esterno (ETICS) sono la soluzione tecnica più adottata per migliorare l'efficienza energetica degli edifici esistenti.

Una mozione molto importante per i prodotti da costruzione è il concetto di **KIT** definito come *“un prodotto da costruzione immesso sul mercato da un singolo fabbricante come insieme di almeno due componenti distinti che devono essere assemblati per essere installati nelle opere da costruzione”*.

Per quanto riguarda i **cappotti in EPS**, il KIT è rappresentato da tutti i componenti e i materiali del ciclo di posa, dalla lastra alla finitura, testato per garantire le specifiche prestazioni tanto sul piano energetico quanto su quello della sicurezza al fuoco.

La rivista Sustainability edita da MDPI, società editrice con sede a Basilea, in Svizzera, che ha l'obiettivo di promuovere lo scambio scientifico in tutte le possibili accezioni e discipline, propone lo studio effettuato da alcuni istituti polacchi su mandato dalla associazione polacca di ETICS, Polish Association for ETICS (SSO) relativo alle prove su larga scala su sistemi cappotto in EPS.

Tutti i sistemi ETICS tipicamente utilizzati e introdotti sul mercato sono classificati come **non combustibili**; tuttavia, viene spesso raccomandato di introdurre barriere di compartimentazione in materiale **incombustibile** (come, ad esempio, la lana minerale) intorno alle aperture e, orizzontalmente, lungo tutto il perimetro tra i diversi piani per prevenire la rapida diffusione delle fiamme.

Viene proposto un quesito importante:

le compartimentazioni in lana minerale (MW) apportano significative migliorie per la sicurezza antincendio dell'edificio e bilanciano contemporaneamente altri aspetti come la sostenibilità e la durata di tali materiali isolanti con proprietà diverse essendo utilizzati insieme?

Le prove effettuate hanno valutato l'impatto delle barriere in lana minerale (MW) nei sistemi ETICS a base di EPS sulla propagazione dell'incendio secondo i requisiti della norma BS 8414-1: 2020.

Sono state analizzate quattro diverse varianti, evidenziando lievi differenze nelle temperature medie e nelle dimensioni dell'area di fusione del polistirene utilizzando barriere in MW, dando prova che l'introduzione di queste ultime in lana minerale non offrono benefici significativi o miglioramenti della sicurezza antincendio degli ETICS analizzati.



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

1. Introduzione

I prodotti da costruzione immessi nel mercato unico europeo, la più grande conquista dell'Unione Europea (UE), devono soddisfare i **requisiti di base specificati nel regolamento sui prodotti da costruzione (CPR)** [1].

Uno dei requisiti fondamentali descritti nel regolamento è il (n. 2) **garantire la sicurezza antincendio delle strutture**.

Gli altri requisiti fondamentali del CPR sono:

- (n. 1) resistenza meccanica e stabilità;
- (n. 3) igiene, salute e ambiente;
- (n. 4) sicurezza e accessibilità nell'uso;
- (n. 5) protezione dal rumore;
- (n. 6) economia energetica e ritenzione di calore;
- (n. 7) uso sostenibile delle risorse naturali.

I primi cinque requisiti sopra citati e quello della sicurezza in caso di incendio, esistevano già nella Direttiva del Consiglio 89/106/CEE (CPD), precedentemente in vigore dal 1989[2].

In relazione al crescente inquinamento ambientale legato all'aumento del consumo di energia elettrica, alla produzione di una grande quantità di rifiuti, alla riduzione delle risorse di materie prime e alla crescente consapevolezza ecologica, nel CPR è stato introdotto un nuovo requisito di base: l'uso sostenibile delle risorse naturali. L'idea alla base dell'introduzione di questo requisito è quella di incoraggiare tutti i produttori di materiali da costruzione a sviluppare tecnologie a risparmio energetico e a basse emissioni, limitando l'uso di risorse fossili.

Il settimo requisito di base relativo all'uso sostenibile delle risorse naturali è definito utilizzando differenti argomenti, ovvero:

- 1.1. Il riutilizzo o la riciclabilità delle opere di costruzione, dei loro materiali e delle loro parti dopo la demolizione;
- 1.2. La durabilità delle opere di costruzione;
- 1.3. L'uso di materie prime e secondarie compatibili con l'ambiente nelle opere di costruzione.

Tutti i prodotti da costruzione devono essere considerati attraverso il prisma della comprensione dell'uso sostenibile delle risorse naturali di cui sopra. Inoltre, è essenziale considerare in modo globale e olistico i prodotti da costruzione in termini di tutti i requisiti di base e trovare il giusto equilibrio tra di essi.

I materiali isolanti attualmente utilizzati per l'isolamento delle facciate sono principalmente il polistirene espanso (EPS) e la lana minerale (MW).

Essi differiscono in termini di comportamento al fuoco, proprietà fisiche, struttura, durata e costi di produzione.

Inoltre, nella progettazione degli edifici e nella scelta della tecnologia di isolamento è necessario considerare gli aspetti relativi al loro **ciclo di vita**.



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

L'impatto ambientale dei materiali di isolamento termico è ben definito [3] da norme e protocolli. Il carico ambientale dei materiali termoisolanti rappresenta il fattore più significativo sui valori di impatto ambientale dei Sistemi di Isolamento Termico Esterno (ETICS), la soluzione più comunemente utilizzata nei Paesi dell'UE che consente di soddisfare i requisiti di efficienza energetica delle costruzioni [4]. Anche **l'influenza del tipo di intonaco** utilizzato come strato di finitura dell'ETICS è ben nota [5]. Oggi è fondamentale conoscere gli aspetti legati alla **sicurezza d'uso** dei vari materiali per poter scegliere consapevolmente le soluzioni ottimali, tenendo conto di un'ampia gamma di fattori, tra cui l'impatto ambientale, che non è soggetta a valutazione obbligatoria prima dell'immissione di un prodotto da costruzione sul mercato.

L'articolo analizza i risultati dei test condotti per valutare l'impatto delle parti in lana minerale MW sulla propagazione del fuoco attraverso una facciata con isolamento ETICS con EPS.

In termini di sicurezza antincendio, il CPR [1] specifica che le opere di costruzione devono essere progettate e realizzate in modo tale che, in caso di incendio:

- La capacità portante della costruzione deve poter essere ipotizzata per un determinato periodo di tempo;
- La generazione e la diffusione di fuoco e fumo all'interno delle opere di costruzione devono essere limitate;
- La propagazione dell'incendio alle opere vicine sia limitata;
- Gli occupanti possano lasciare le opere o essere salvati con altri mezzi;
- Sia considerata la sicurezza delle squadre di soccorso.

Nel caso di un sistema di facciata, si devono considerare **tre scenari comuni per l'insorgenza e la propagazione di un incendio**: il primo è un **incendio all'interno** dell'edificio che si verifica in un locale adiacente alla parete esterna; gli altri due scenari includono il caso di un **incendio esterno** che si diffonde a causa dell'irraggiamento di un edificio adiacente o quando la **fonte di incendio si trova direttamente vicino alla facciata** (balcone, bidone della spazzatura, auto, ecc.) [6].

I rivestimenti per pareti esterne e i loro componenti sono valutati per la loro reazione al fuoco come prodotti e sistemi a sé stanti, secondo la norma EN 13501-1 [7], solo nello scenario di incendio interno.

I requisiti di resistenza al fuoco secondo la norma EN 13501-2 [8] possono includere i rivestimenti delle pareti come elementi della struttura, ma il metodo non valuta la propagazione del fuoco sulla superficie esterna. Pertanto, gli Stati membri europei utilizzano i loro metodi di prova nazionali. La Commissione europea ha stipulato un contratto con un consorzio guidato dagli istituti di ricerca svedesi RISE per sviluppare un approccio europeo armonizzato alla valutazione dell'incendio di facciate con requisiti diversi, basato non solo sulla propagazione del fuoco, ma anche sulla caduta di frammenti, rifiuti incendiati, fiamme libere, fumo e tenendo conto di dettagli come le finestre [9].

Sono stati proposti due metodi, uno che mantiene semplicemente i due test esistenti (BS 8414-1 [10] e DIN 4102-20 [11]) e un metodo alternativo. Attualmente si sta lavorando per sviluppare un concetto condiviso per la valutazione della resistenza al fuoco delle facciate.

Le **prove su larga scala** sono considerate il modo più rappresentativo per dimostrare la resistenza al fuoco di un rivestimento di facciata [6,12,13]. Inoltre, sono disponibili alcuni metodi di modellazione numerica per valutare e convalidare le differenze tra i vari metodi sperimentali utilizzati per le prove di resistenza



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

al fuoco dei sistemi di rivestimento esistenti, ad esempio BS 8414-1 :2020 [10], SP Fire 105 [14] e ISO 13785-2 [15].

Il confronto tra le misure sperimentali e i risultati delle simulazioni incontra sempre alcune incertezze derivanti dalle variazioni naturali dei parametri e dall'effetto delle condizioni ambientali [16 - 18]. Nel caso del metodo BS 8414-1 [10], tali differenze sono state caratterizzate dall'esposizione al calore (peso della catasta di legno), dal vento e dalle condizioni climatiche, poiché **le prove effettuate vengono eseguite all'aperto**.

Con l'uso di metodi numerici, si osserva un buon accordo tra i dati sperimentali e il modello numerico quando vengono misurati nell'esperimento. Il tasso di rilascio di calore (HRR) viene utilizzato come input nelle simulazioni, escludendo l'area vicina alla camera di combustione, dove sono state osservate temperature più elevate nel modello numerico [18]. Inoltre, gli stessi parametri sono importanti per la ripetibilità e la riproducibilità dei risultati sperimentali nei test su larga scala in conformità con la norma BS 8414-1 :2020 [10].

Il comportamento del campione durante i test su larga scala può sempre differire dallo scenario e dall'andamento reali dell'incendio. Tuttavia, consente di effettuare i test in condizioni il più possibile simili a quelle reali e di confrontare i risultati attraverso una metodologia di ricerca rigorosamente definita. Pertanto, **i risultati ottenuti possono servire anche come base per confronti e analisi nell'uso di barriere in materiali non infiammabili, che è l'obiettivo di questo studio.** I risultati sono fondamentali per l'utilizzo in ulteriori raccomandazioni e normative sulla progettazione e la costruzione di sistemi di facciata per la sicurezza antincendio.

A seconda dell'altezza dell'edificio, in vari Paesi dell'UE si utilizzano divisori tra i piani, protezioni sopra le aperture di porte e finestre o intere strisce di lana di roccia lungo le vie di comunicazione.

Queste soluzioni presentano criticità che si manifestano nella vita utile del sistema.

L'uso di tali soluzioni può provocare:

- Fessure negli strati di armatura e di intonaco dovute alla diversa dilatazione termica dei materiali sotto l'influenza di fattori esterni, ad esempio la temperatura;
- Decolorazione della facciata legata alle diverse capacità di assorbimento dei materiali isolanti.

Vale la pena notare che le **Valutazioni Tecniche Europee**, che sono la base per l'introduzione dell'uso degli ETICS, consentono la **valutazione di un solo tipo di materiale isolante all'interno di un determinato sistema**.

Al contrario, **la combinazione di diversi materiali isolanti** all'interno di un sistema di isolamento termico **non è mai stata oggetto di una valutazione** delle proprietà o della durabilità del sistema da parte degli Organismi di Valutazione Tecnica [19].

Non è possibile testare tutte le combinazioni di prodotti o le varianti di sistema. Tuttavia, è essenziale sapere che altre caratteristiche di prestazione o di resistenza al fuoco possono influenzare in modo significativo il risultato del test.

Il potenziale di sicurezza di una facciata dipende fortemente dal rischio che si vuole valutare.

I test di laboratorio vengono eseguiti in condizioni definite e controllate, in cui viene applicato un carico d'incendio standardizzato. La valutazione della sicurezza antincendio delle facciate è stata oggetto di ricerca [6,12,13,19 24], anche per quanto riguarda l'uso di barriere in lana minerale non infiammabile.



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

2. Materiali e metodi

2.1. Obiettivo e ambito di applicazione

La ricerca mira a valutare l'impatto dell'introduzione e della disposizione di divisori orizzontali in lana minerale (MW) nel sistema di isolamento termico in polistirene espanso (EPS) sulla propagazione delle fiamme utilizzando prove su larga scala secondo i requisiti della norma BS 8414- 1 :2020 [10]

2.2 Componenti del sistema ETICS

Il sistema ETICS utilizzato per le prove (variante I) e i suoi componenti (variante II - IV) sono stati immessi sul mercato in base alla Valutazione Tecnica Europea ETA 15/0582, rilasciata dall'Istituto della Ceramica e dei Materiali da Costruzione sulla base dell'ETAG 004 [25].

I sistemi studiati consistono in due diversi materiali isolanti:

- **Lana minerale (MW)**, con proprietà descritte dai codici di designazione del prodotto T5-DS (80,90)-S(10)20- TR10-PL(5)200-WS-WL(P)-MU1 secondo la norma EN 13162: 2012 + A1: 2015 [26]);
- **Polistirene espanso (EPS)**, con proprietà descritte dai codici di designazione del prodotto T1-L2-W2-Sb5-P5- BS115- CS(10)70-DS(N)2-DS(70,-)2-TR100 secondo la norma EN 13163: 2012 + A1: 2015 [27].

I componenti del sistema sono presentati nella Tabella 1.

Il sistema è stato parzialmente incollato con un fissaggio meccanico aggiuntivo. La striscia di colla applicata lungo il perimetro è larga almeno 3 cm. Inoltre, 6-8 tamponi di colla, di circa 8 ÷ 12 cm di diametro, sono stati distribuiti uniformemente sulla superficie rimanente. La superficie incollata era almeno del 40% (60% dopo l'applicazione e la pressatura).



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

Tabella 1. Componenti del sistema ETICS per il test di comportamento al fuoco BS 8414-1: 2020 [10]

Categoria	Descrizione Componente	Quantità per m ²
Adesivi per EPS	Adesivo cementizio di uso generale (GP) per l'incollaggio di EPS, modificato con polimeri ridispersibili e cariche minerali, caratterizzati dalla classe di resistenza compressiva CS IV e dalla classe di assorbimento d'acqua W2 secondo la norma EN 998-1: 2016 [28].	ca. 7,50 kg
Adesivo di base	Adesivo di base cementizio di uso generale (GP) per l'incorporazione della rete di rinforzo in fibra di vetro, modificata con polimeri ridispersibili e cariche minerali, caratterizzato da resistenza alla compressione di classe CS IV e assorbimento d'acqua di classe W2 secondo la norma EN 998-1: 2016	ca. 5,95 kg
Rete in fibra di vetro	Rete in vetro resistente agli alcali con peso nominale di 150 g/m ²	ca. 0.15 kg
Intonaco base	Mano di fondo in miscela di copolimeri acrilici e dispersioni silioniche con cariche minerali e additivi da utilizzare come primer di adesione per mano di finitura silionica	ca. 0.45 kg
Strato finitura	Intonaco silionico a strato sottile con riempimento minerale di 1,5 mm conforme alla norma EN15824: 2017 [28]	ca. 2.90 kg
Materiali complementari	Binari di partenza in alluminio con fissaggio, paraspigoli con rete, ancoraggi universali per facciate conformi a EAD 330196-01-0604 [30]	--

2.3. BS 8414-1 Metodo di prova delle prestazioni al fuoco

Sono state eseguite prove di propagazione del fuoco su larga scala secondo i requisiti della norma BS 8414-1: 2020[10] intitolata "Fire performance of external cladding system". Metodo di prova per sistemi di rivestimento esterno non portanti fissati e supportati da un substrato in muratura.

La ricerca è stata condotta nel Lukasiewicz Research Network Istituto di Ceramica e Materiali da Costruzione a Cracovia dal 7 settembre al 28 ottobre 2020. La norma utilizzata BS 8414-1: 2020 [10] definisce il metodo di valutazione del comportamento del rivestimento isolante esterno non portante attaccato alla parete in mattoni dell'edificio quando viene esposto al fuoco in condizioni controllate [10]. Tale prova simula una sorgente di fuoco esterna e un incendio interno completamente sviluppato che si propaga, ad esempio, attraverso le aperture delle finestre, portando all'esposizione del sistema di isolamento termico alle fiamme esterne.

Nel test, l'incendio viene simulato bruciando legna in una camera di combustione, che produce circa 4500 MJ di energia durante i 30 minuti della durata della prova.

La fonte di fuoco riguarda un incendio completamente sviluppato con un carico di fuoco di 3,0 (±0,5) MW. Il sistema di isolamento termico è stato applicato a una parete di prova con una struttura angolare alta 9700 (±200) mm, realizzata con blocchi di calcio silicato Silka E24S (Xella) con una classe di resistenza a compressione fino a 25 MPa.

COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

I sensori di temperatura conformi ai requisiti della norma BS 8414-1: 2020 [10] sono stati posizionati a specifiche altezze: **2,5 m** (linea di misurazione della temperatura L1), **5 m** (linea di misurazione della temperatura L2) e **7,5 m** (linea di misurazione della temperatura L3) **sopra** i bordi superiori della **camera di combustione**. Il diagramma della disposizione delle termocoppie di misura sulla parete di prova è presentato nella Figura 1.

La temperatura è stata registrata durante la prova a tre livelli di misurazione (L1 – L2 - L3), sia all'esterno che all'interno del sistema. Per le linee di misura L2 e L3, la temperatura è stata misurata all'interno del rivestimento della facciata e al centro di ogni strato isolante. Questa disposizione degli elementi di misura consente di valutare la propagazione dell'incendio all'interno del sistema. Secondo i criteri di valutazione e le linee guida per la classificazione dei sistemi di isolamento termico BR135 [31], si ha una valutazione negativa del sistema testato se la temperatura di uno dei sensori esterni o interni situati al livello 2 (L2) supera la temperatura di 600 °C entro 15 minuti dall'inizio della prova e persiste per 30 s. Il tempo di inizio della prova (t_s) è identificato dal momento in cui la temperatura iniziale è stata rilevata pari a: (T_s) si raggiunge a 1 (L1) pari a 200 °C.

La durata dei test per tutti i campioni è stata di 60 minuti, di cui 30 minuti di esposizione al fuoco e 30 minuti di osservazione del comportamento del sistema dopo lo spegnimento della sorgente di fuoco. La base per l'interruzione anticipata del test è (1) la propagazione della fiamma sull'apparecchiatura di prova, (2) una minaccia per la sicurezza del personale e (3) il danneggiamento dell'apparecchiatura di misura.

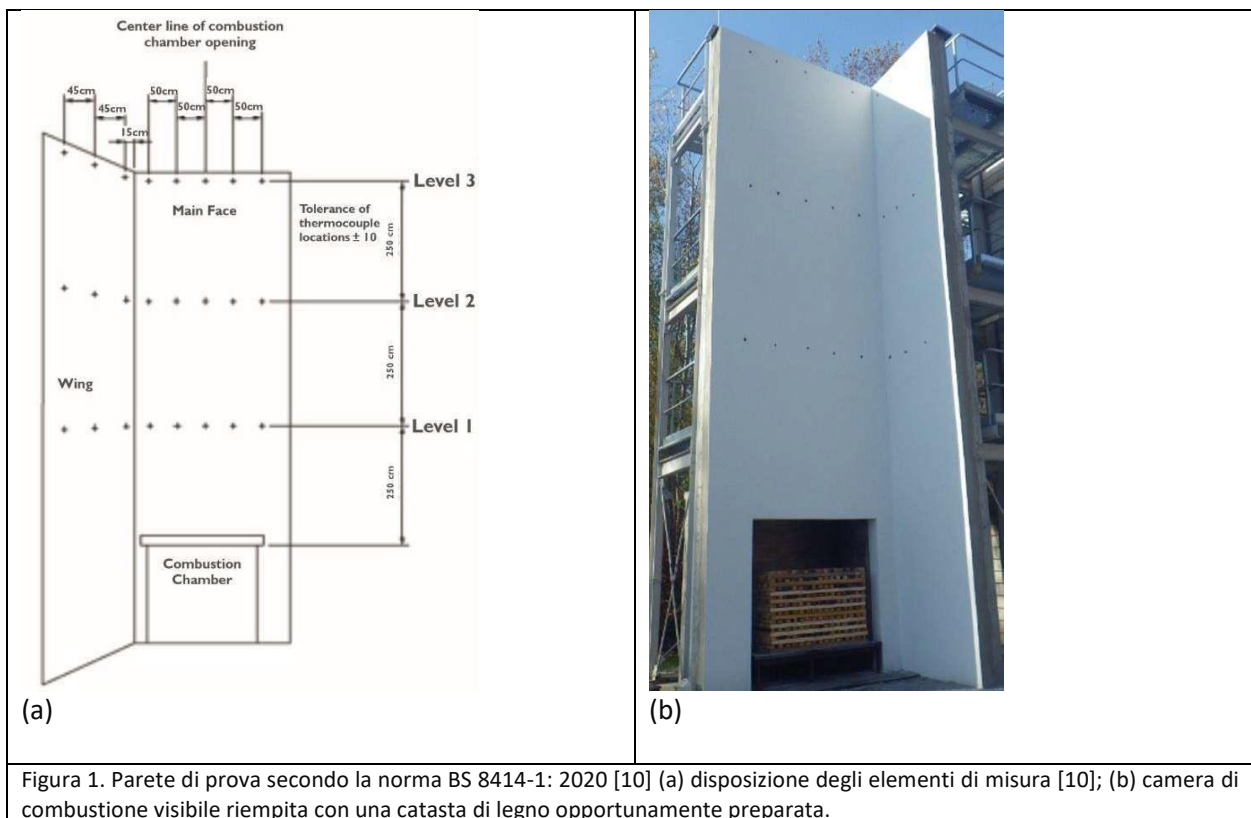


Figura 1. Parete di prova secondo la norma BS 8414-1: 2020 [10] (a) disposizione degli elementi di misura [10]; (b) camera di combustione visibile riempita con una catasta di legno opportunamente preparata.



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

Durante il test vengono registrati tutti i guasti del sistema, come il crollo completo, la scheggiatura, la delaminazione, la fiammata, ecc. La valutazione delle condizioni del sistema di isolamento viene quindi inclusa nella valutazione complessiva del campione di prova.

Le prove condotte sul grado di propagazione dell'incendio hanno incluso diverse soluzioni di materiali per la distribuzione delle partizioni orizzontali nel sistema di isolamento termico e sono descritte ulteriormente nella Sezione 2.4. Ogni sistema di isolamento è stato testato una sola volta a causa della scala del test, delle dimensioni del campione e del costo totale del test stesso.

2.4. Varianti della prova di resistenza al fuoco

Quattro varianti di parete isolata sono state testate secondo la norma BS 8414-1: 2020 [10] e secondo i seguenti casi:

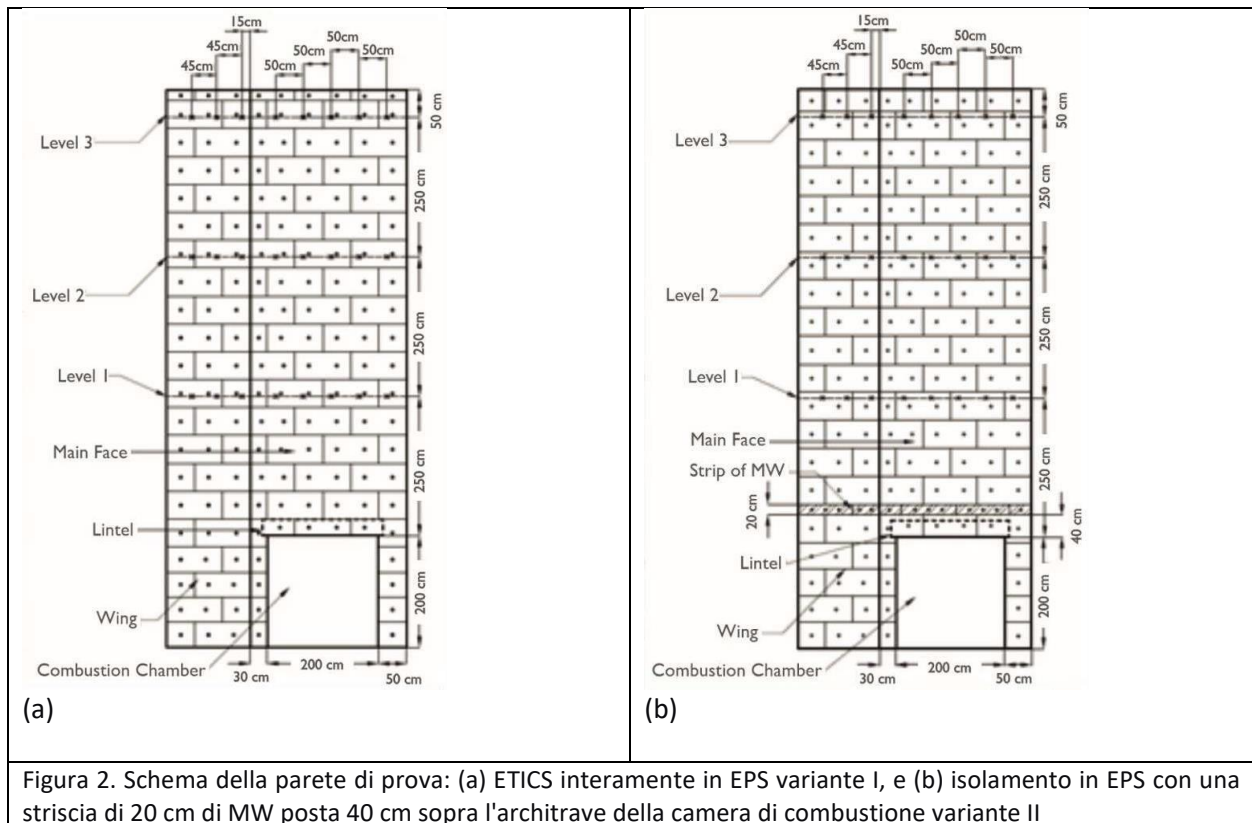
- I. Isolamento termico in EPS di 150 mm di spessore, senza barriere in MW, un sistema ETICS (Figura 2a);
- II. Isolamento in EPS di 150 mm di spessore con una barriera in MW larga 20 cm situata a 40 cm sopra il bordo superiore della camera di combustione (Figura 2b);
- III. Isolamento in EPS di 150 mm di spessore con barriera in MW di 20 cm di larghezza posizionato direttamente nell'architrave della camera di combustione (Figura 3a);
- IV. Isolamento in EPS di 150 mm di spessore con una barriera in MW larga 20 cm posizionata direttamente nell'architrave della camera di combustione e una barriera in MW interpiano larga 20 cm (Figura 3b).

La variante I dello studio riguarda un ETICS. Secondo la legislazione europea, negli ETICS è consentito l'uso di un solo materiale isolante termico. La variante II dello studio riguarda un sistema di isolamento termico con una striscia di separazione MW (partizione orizzontale) classificata come A1 in reazione al fuoco secondo PN-EN 13501- 1 [7]. Una striscia di MW è stata applicata su tutta la larghezza della parete di prova, 40 cm sopra il bordo superiore della camera di combustione (striscia larga 20 cm) (Figura 2b).

COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

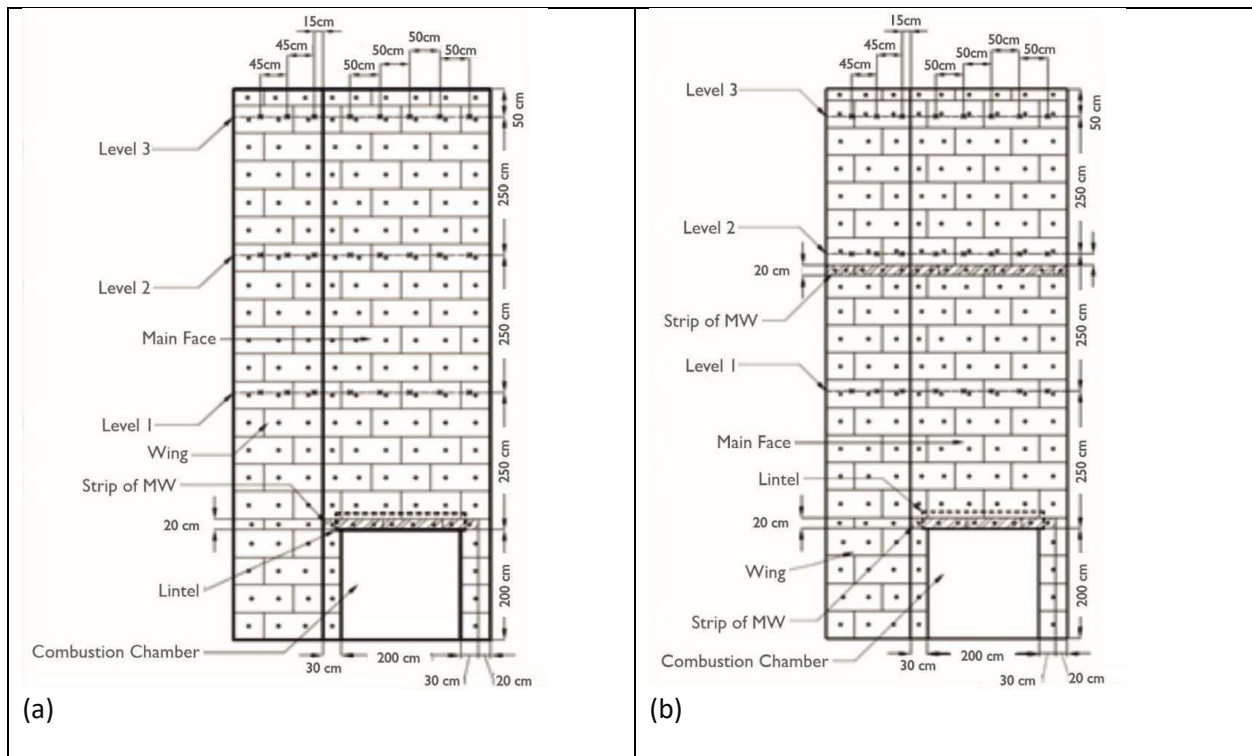


Figura 3. Schema della parete di prova: (a) isolamento in EPS con una striscia di 20 cm di MW posizionata nella parte superiore della camera di combustione variante III; (b) isolamento in EPS con una striscia di 20 cm di MW posizionata nell'architrave della camera di combustione e una striscia interpiano di 20 cm di MW situata 5 metri sopra la camera di combustione variante IV.

Nella variante III, nell'architrave della camera di combustione è stata realizzata una partizione orizzontale di MW con classe di reazione al fuoco A1. La striscia di MW era larga 20 cm e si estendeva per 30 cm oltre il bordo dell'architrave (Figura 3a). Nella variante IV è stata utilizzata una striscia di MW nell'architrave della camera di combustione come nella variante III. Inoltre, in questa variante, è stata utilizzata una striscia interpiano in MW lungo l'intera larghezza della parete di prova a un'altezza di 4,8 m sopra il bordo superiore della camera di combustione (una striscia larga 20 cm) (Figura 3b).

COMUNICAZIONE INTERNA

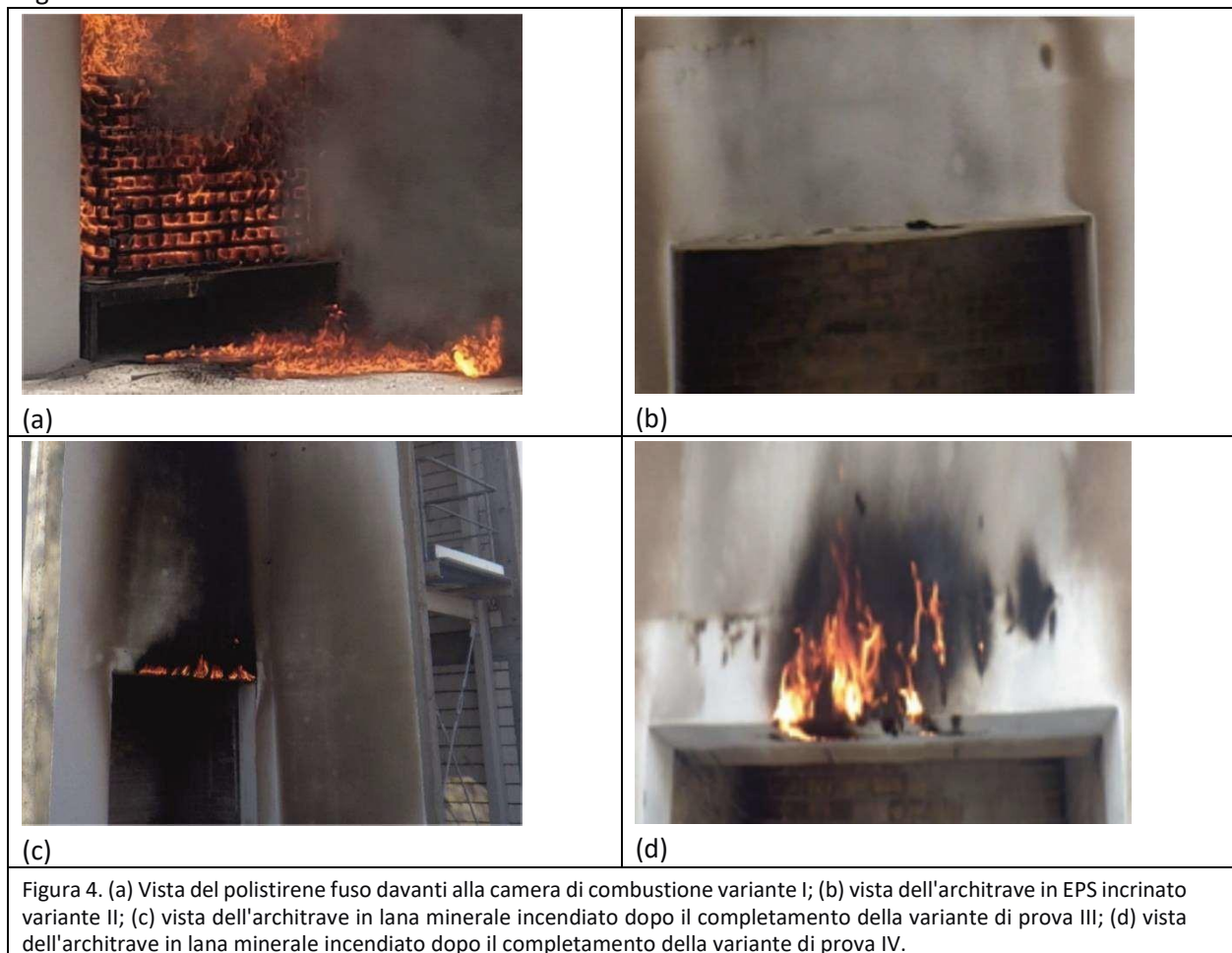
Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

3. Risultati e discussione

Nei primi minuti della prova, le termocoppie esterne hanno misurato un aumento della temperatura al livello 1 (linea di misurazione della temperatura L1) in tutti i casi considerati. Al livello 2 (linea di misurazione della temperatura L2), l'aumento di temperatura è stato osservato simultaneamente per tutti i casi testati, cioè quando la catasta di legno stava bruciando in tutto il suo volume. Durante questo periodo, non si è verificato alcun aumento di temperatura nello strato rinforzato e nel materiale isolante.

Nel caso della variante I, la fuoriuscita di polistirene fuso si è verificata 5 minuti dopo l'inizio della prova a causa della crepa nell'architrave. Il polistirene fuso è bruciato ulteriormente sulla superficie del substrato davanti alla camera di combustione (Figura 4a). Nel caso della variante II della parete di prova isolata con EPS con una striscia di MW posta 40 cm sopra la camera di combustione, si è formata una crepa 4 minuti dopo l'inizio della prova (Figura 4b). La combustione si è verificata nell'area dell'architrave. Inoltre, sono state osservate singole gocce infuocate in caduta. Nel caso delle altre varianti, non si è verificata la caduta di gocce.



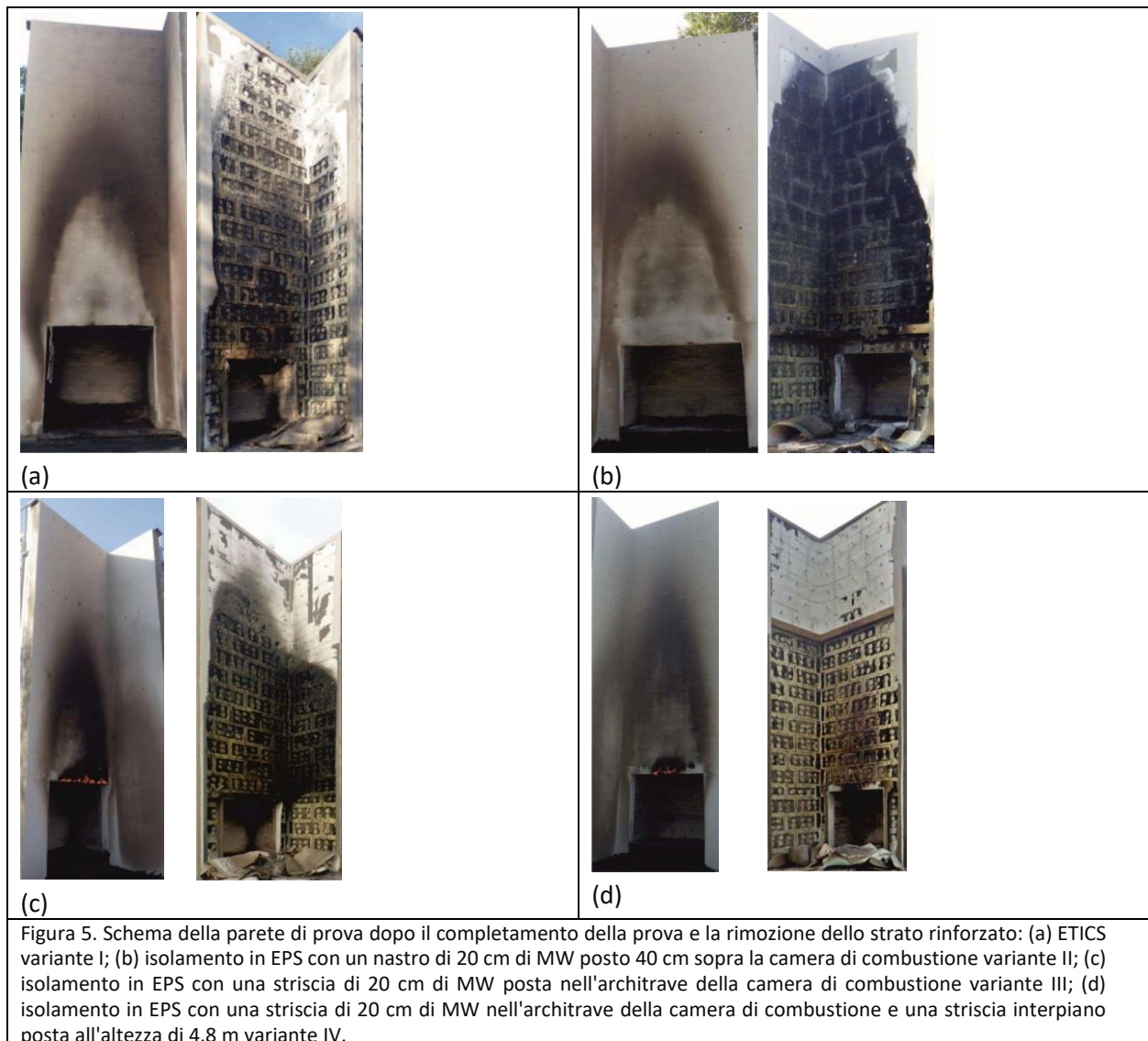
COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

Le soluzioni progettate, rappresentate dalle varianti III e IV, hanno mostrato un accumulo di EPS fuso sulla striscia di MW utilizzata nella camera di testa. L'EPS fuso ha favorito l'ulteriore combustione della fiamma, come mostrato nella Figura 4c, d. Nel caso della variante IV, lo strato rinforzato si è staccato dall'isolamento 21 minuti dopo l'inizio della prova. Ciò è dovuto all'accumulo di gas di scarico caldi e all'aumento della pressione sotto la cintura di lana minerale situata a 5 m sopra la camera di combustione. Il passaggio dei fumi caldi al di sopra la fascia MW hanno causato il distacco locale dello strato di rinforzo dal materiale termoisolante, osservato come un rigonfiamento temporaneo dello strato superiore.

La parte successiva del lavoro presenta le pareti testate (varianti I e IV) dopo la fine della prova e dopo la rimozione dello strato rinforzato (Figura 5 a-d).



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

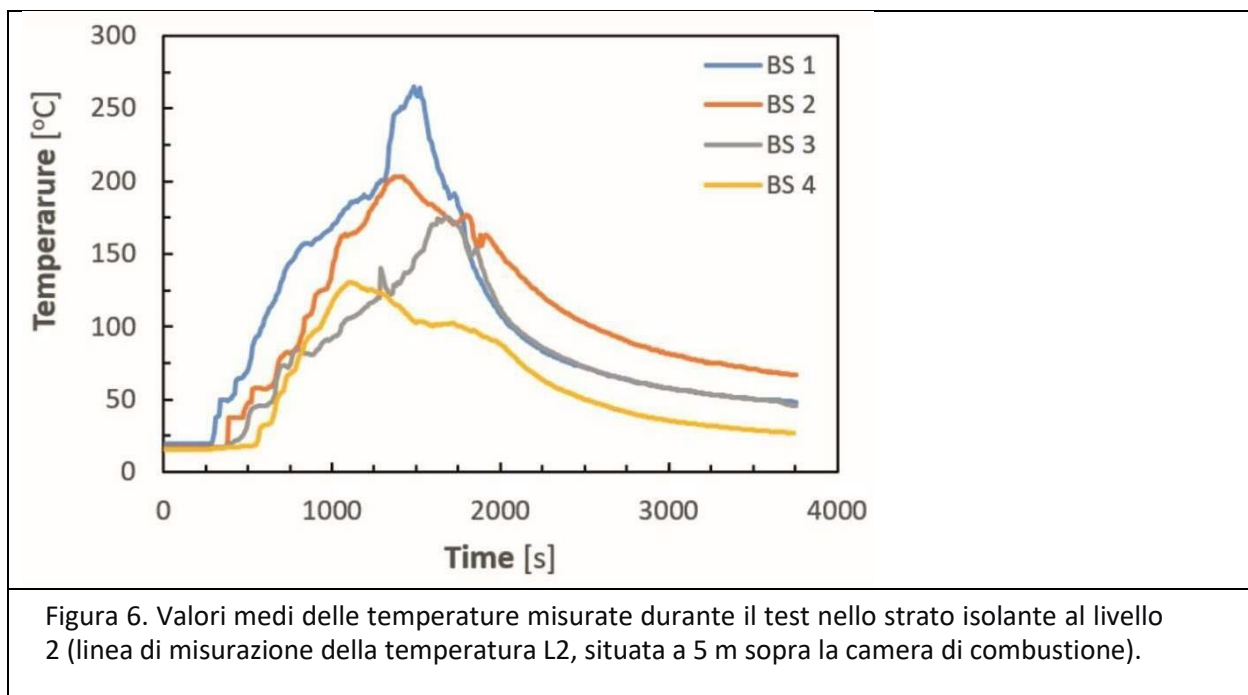
9/05/2023

In tutte le varianti analizzate, lo strato isolante rinforzato non è caduto durante la prova o al termine della stessa. Nonostante la fusione dell'EPS sotto lo strato superiore, è stato necessario rimuovere meccanicamente lo strato superiore al termine della prova. Dopo la rimozione dello strato superiore, è stata osservata la completa fusione del polistirene sulla parete di prova per le varianti da I a III (Figura 5 a-c). La fusione completa del polistirene per la variante IV (Figura 5d) si è verificata al di sotto della partizione di interpiano a causa dell'accumulo di calore.

La fusione dell'EPS al di sotto della stessa partizione in lana minerale MW si è verificata a causa della formazione di fumi caldi dovuti alla decomposizione termica del polistirene di scarico.

Confrontando le foto della variante II (figura 5b) e IV (figura 5d), si nota una leggera differenza nel grado di fusione del polistirene al di sopra dei 5 m dalla camera di combustione. Tuttavia, in entrambi i casi, non si è verificata alcuna combustione in quest'area. Ciò significa che non è stata osservata alcuna propagazione dell'incendio attraverso lo strato isolante a prescindere dall'uso di MW.

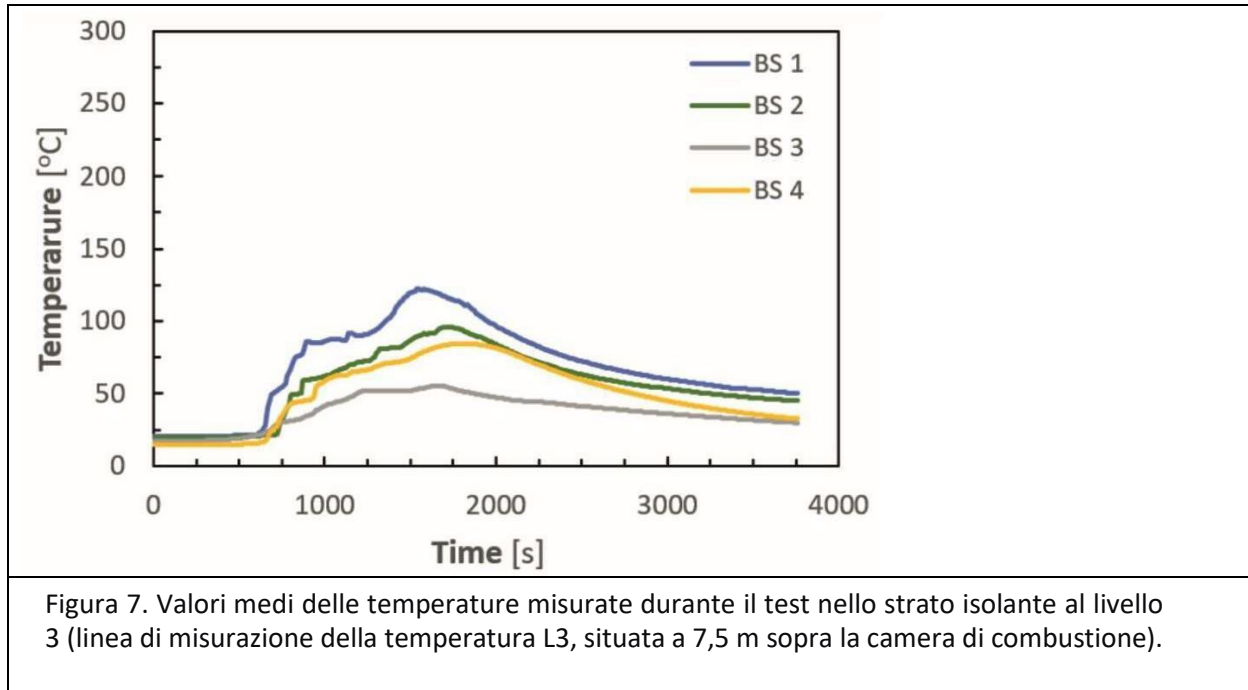
Durante la prova, la temperatura è stata misurata con termocoppie posizionate nelle linee di misura L1- L2- L3. I risultati sono presentati come valori medi di temperatura misurati da singole termocoppie posizionate nel materiale isolante nella linea di misura L2 (Figura 6) e nella linea di misura L3 (Figura 7).



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023



Le misurazioni della temperatura media all'interno del sistema di isolamento termico al livello di 5 m e 7,5 m sopra il bordo superiore della camera di combustione hanno mostrato un aumento più rapido della temperatura misurata per la variante I. Allo stesso tempo, si sono verificate temperature massime più elevate, di 135°C e 67°C, nel caso di una parete isolata con ETICS rispetto alle varianti IV e III, rispettivamente. La differenza di temperatura corrisponde a un intervallo di fusione del polistirene leggermente inferiore nella variante III, in cui è stato utilizzato l'MW nell'architrave. Per la parete con ETICS (variante I), la fusione del polistirene ha riguardato un'area di circa 34,8 m², e nel caso della variante III, dove questo processo era il più piccolo, circa 31,4 m².

L'analisi dei valori medi di temperatura ottenuti da tutti gli otto punti di misurazione sulla seconda linea di termocoppie (L2) all'interno del materiale isolante mostra che il valore massimo di temperatura è stato ottenuto dopo 25 minuti di prova per la variante I di una parete isolata con ETICS. Per le pareti isolate secondo le varianti II e IV, la temperatura massima è stata registrata prima, rispettivamente dopo 24 e 19 minuti di prova.

La leggera diminuzione della temperatura misurata che ha seguito questo tempo è stata causata dalla combustione del polistirene durante l'esposizione al calore della fonte di incendio. Il valore massimo della temperatura media ottenuto per una parete isolata con la variante III, allo stesso livello di misurazione L2, mostra uno spostamento nel tempo rispetto alla parete isolata con ETICS di 3 minuti. Le differenze nei valori delle temperature massime ai singoli livelli sono relativamente piccole. I valori medi di temperatura raggiunti per entrambe le pareti (isolate solo con EPS e isolate con EPS con l'uso dell'architrave MW) ai livelli 2 e 3 confermano che l'incendio non si è propagato attraverso lo strato isolante. L'aumento di

COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

temperatura in entrambi i casi è dovuto alla fonte di incendio e alla fusione del polistirene sotto lo strato rinforzato. Le differenze tra le temperature medie misurate all'interno dello strato rinforzato al livello di 5 m sopra il bordo superiore della camera di combustione (linea di misurazione L2) hanno mostrato un tasso di aumento della temperatura comparabile; allo stesso tempo, il valore massimo è stato più alto di 52°C nel caso della variante II, ottenuto al 21° minuto della prova. Per il livello di 7,5 m, la misurazione analoga ha mostrato un tasso di aumento della temperatura convergente per le varianti II e IV. Tuttavia, a causa dell'accumulo di calore al di sotto della seconda zona di protezione antincendio, la temperatura massima si è spostata verso la variante IV e la differenza tra le temperature massime è stata di 19°C. La superficie di fusione del polistirene copre un intervallo simile (una differenza di circa 3 m²), ma vale la pena notare che ha un carattere diverso nel caso della quarta variante.

I risultati hanno mostrato che i valori massimi delle temperature ottenuti nei singoli punti, sulla linea di misurazione L2 situata a 5 m e sulla linea di misurazione L3 all'altezza di 7,5 m sopra il bordo superiore della camera di combustione, sono più alti di diverse decine di gradi rispetto ai valori medi.

Il verificarsi di queste temperature temporanee nel tempo non è riflesso dai picchi di temperatura nel caso dell'analisi dei valori medi di temperatura. Sebbene illustri chiaramente il comportamento del sistema durante lo sviluppo dell'incendio, l'andamento della temperatura media non può essere utilizzato come criterio per la sua valutazione secondo la norma BS 8414-1:2020 [10]. L'elenco delle temperature massime e l'altezza di 5 e 7,5m sopra la camera di combustione sono presentati nella Tabella 2.

Tabella 2. Elenco delle temperature massime, insieme all'ora in cui si sono verificate, registrate nei singoli punti di misurazione situati nel materiale isolante termico all'altezza di 5 e 7,5 m sopra la camera di combustione.		
Parametro misurato	2° livello (Materiale isolante)	3° livello (Materiale isolante)
Parete interna [°C]	364.5	177.2
Tmax [s]	1130.0	1540.0
II° parete [°C]	260.2	156.2
Tmax [s]	960.0	1660.0
III° parete [°C]	322.8	69.2
Tmax [s]	1170.0	1640.0
IV parete [°C]	202.0	118.7
Tmax [s]	780.0	1590.0

Le osservazioni visive hanno evidenziato la necessità di effettuare un'analisi termografica delle pareti isolate dopo lo spegnimento della fonte di incendio.

Nella variante II - IV è stata registrata la combustione di polistirene fuso sulle fasce in lana minerale MW (Figura 8 a-d).

Nel caso della variante IV, è stato osservato un fenomeno pericoloso, ovvero la combustione interna della MW in uno stato di smoldering.

COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

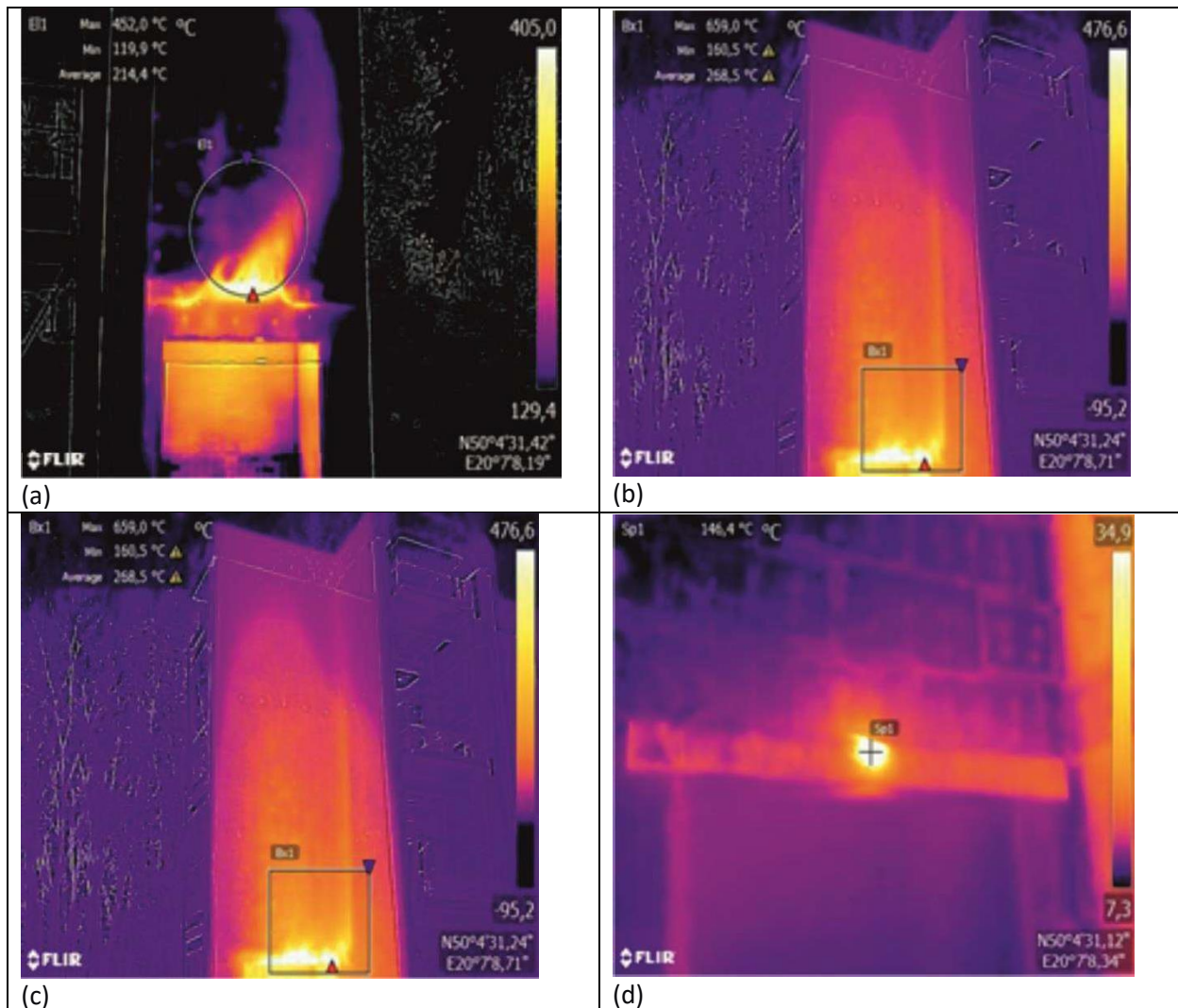


Figura 8. Foto termografiche dei sistemi di isolamento termico testati dopo la fine del test, ovvero, spegnimento della sorgente di fuoco: (a) combustione di polistirene fuso su una striscia di MW situata 40 cm sopra il bordo della camera della sorgente di fuoco variante II; (b) combustione di polistirene fuso sull'architrave MW variante III; (c) combustione di polistirene fuso sull'architrave MW variante IV; (d) architrave nella variante IV dell'isolamento termico 24 ore dopo lo spegnimento della sorgente di fuoco una transizione del materiale in uno stato di continua combustione.



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

4. Conclusioni

4.1. Prestazioni al fuoco delle varianti di facciata analizzate

Per tutte le varianti testate, sono stati soddisfatti i criteri specificati nei requisiti di valutazione e classificazione della BR 135 [31], relativi alla propagazione del fuoco attraverso le pareti esterne [8]. In base alla norma BS 8414-1: 2020 [10], l'ETICS (variante I) è stato classificato come ritardante di incendio, indipendentemente dalle partizioni MW utilizzate.

Lo studio ha evidenziato lievi differenze nelle temperature medie e nelle dimensioni dell'area di fusione del polistirene per le diverse varianti di isolamento con le barriere in MW orizzontali introdotte.

La ricerca non ha confermato pienamente i benefici significativi e il miglioramento della sicurezza antincendio derivanti dall'applicazione delle compartimentazioni in lana minerale MW (relativamente alle varianti descritte nello studio).

4.2. Sicurezza antincendio e uso sostenibile delle risorse naturali

Gli aspetti discussi nell'introduzione dell'articolo, ovvero il miglioramento dell'efficienza energetica, le basse emissioni e l'uso limitato di risorse naturali [4,5], favoriscono e sostengono fortemente l'uso del solo EPS per l'isolamento termico degli edifici.

Da un punto di vista olistico, considerando l'impatto ambientale significativamente diverso dell'ETICS con EPS e con l'utilizzo delle barriere in MW, gli studi dovrebbero considerare i risultati ottenuti in questa ricerca [32].

I risultati, non mostrano il vantaggio nell'uso di barriere protettive in lana minerale MW sulla facciata degli ETICS, e a causa di altri requisiti di base, non fanno che complicare il sistema, compresa la dimensione dell'impatto ambientale.

Il riutilizzo o la riciclabilità dei materiali da costruzione della facciata con EPS e MW è impossibile o molto difficile [33]. Inoltre, considerando la durabilità della facciata con EPS e MW, tutti i collegamenti tra i materiali isolanti rendono **il sistema meno durevole** [34].

4.3. Prospettive future dei risultati sperimentali

È necessario continuare la ricerca su questo argomento per verificare e confrontare i risultati e ottenere valori medi. Va notato che **gli studi non sono stati ripetuti**, il che può portare a risultati incerti. Inoltre, questi test sono validi solo per le geomorfologie selezionate e per la posizione selezionata della barriera antincendio.

Per replicare i risultati sperimentali, studiare geometrie e posizioni selezionate delle barriere tagliafuoco e, soprattutto, per confrontare i risultati sperimentali ottenuti con metodi diversi, ad esempio SP Fire 105 [14] e ISO 13785-2 [15], si dovrebbero utilizzare modelli numerici basati su dati di input provenienti da esperimenti, arricchiti da misurazioni del tasso di rilascio di calore (HRR).



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

La ricerca futura consentirebbe di valutare:

- L'impatto delle barriere antincendio poste intorno alle aperture (come le finestre) e la differenza tra il comportamento delle facciate ventilate per diverse varianti di barriere antincendio (sia verticali che orizzontali);
- La possibilità di rischi legati all'unione di due materiali isolanti in un unico sistema, sia per la durata del collegamento, cioè la possibilità di discontinuità dello strato superficiale a seguito dello sfruttamento, sia per l'impatto a lungo termine delle condizioni atmosferiche;
- Il verificarsi di una combustione con fiamma dell'EPS nel luogo di applicazione delle barriere di MW, e la possibilità che la lana minerale MW si trasformi in uno stato di combustione interna continua.



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

Riferimenti

Link riferimento articolo originale: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/3/1224>

Nota dell'editore: MDPI rimane neutrale per quanto riguarda le rivendicazioni giurisdizionali nelle mappe pubblicate e nelle affiliazioni istituzionali.

1. Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio. Disponibile online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32011R0305> (consultato il 20 agosto 2021).
2. Il Consiglio delle Comunità europee. Direttiva del Consiglio del 21 dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione. Off. J. Eur. 1989, 40, 12 26. Disponibile online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A31989L0106> (consultato il 20 gennaio 2022).
3. Kunič, R. Carbon footprint of thermal insulation materials in building envelopes. *Energy Effic.* 2017, 10, 1511–1528.
4. Michalak, J.; Czernik, S.; Marcinek, M.; Michałowski, B. Environmental burdens of external thermal insulation systems. expanded polystyrene vs. mineral wool: Case study from Poland. *Sustainability* 2020, 12, 4532.
5. Michałowski, B.; Marcinek, M.; Tomaszewska, J.; Czernik, S.; Piasecki, M.; Geryto, R.; Michalak, J. Influence of rendering type on the environmental characteristics of expanded polystyrene-based external thermal insulation composite system. *Buildings* 2020, 10, 47.
6. Kotthof, I.; Riemesch-Speer, J. Il meccanismo di propagazione del fuoco sulle facciate e il nuovo rapporto tecnico dell'EOTA. Prove di resistenza al fuoco su larga scala di sistemi di rivestimento di pareti esterne. In *Proceedings of the MATEC Web of Conferences, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades, Paris, France, 14 15 November 2013; Volume 9, p. 02010.*
7. Comitato europeo di normalizzazione (CEN). EN 13501-1:2019-02 Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione Parte 1: Classificazione mediante i dati delle prove di reazione al fuoco; Comitato Europeo di Normazione (CEN): Bruxelles, Belgio, 2019.
8. Comitato Europeo di Normazione (CEN). EN 13501-2:2016 Classificazione al fuoco dei prodotti da costruzione e degli elementi edilizi Parte 2: Classificazione mediante dati provenienti da prove di resistenza al fuoco, esclusi i servizi di ventilazione; Comitato Europeo di Standardizzazione (CEN): Bruxelles, Belgio, 2016.
9. Boström, L.; Hofmann-Böllinghaus, A.; Colwell, S.; Chiva, R.; Tóth, P.; Moder, I.; Sjöström, J.; Anderson, J.; Lange, D. Development of a European Approach to Assess the Fire Performance of Facades; European Union: Lussemburgo, 2018.
10. British Standards Institution (BSI). BS 8414-1:2020-04 Prestazione al fuoco dei sistemi di rivestimento esterno Parte 1: Metodo di prova per sistemi di rivestimento esterno non portanti fissati e supportati da un substrato in muratura; British Standards Institution: Londra, Regno Unito, 2020.



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

11. Istituto tedesco per la standardizzazione (DIN). DIN 4102-20 Comportamento al fuoco dei materiali da costruzione e dei componenti edilizi Parte 20: Verifica complementare per la valutazione del comportamento al fuoco dei rivestimenti di pareti esterne; Deutsches Institut für Normung (DIN): Berlino, Germania, 2017.
12. Čolić, A.; Pečur, I. Influence of Horizontal and Vertical Barriers on Fire Development for Ventilated Façades. *Fire Technol.* 2020, 56, 1725–1754.
13. Rapporto numero CC275194; Confronto tra BS 8414-1 e -2, bozza DIN 4102-20, ISO 13785-1 e -2, EN 13823 e EN ISO 11925-2; edizione 2; BRE Global Ltd.: Watford, Regno Unito, 2012.
14. Assemblaggi di pareti esterne e rivestimenti di facciata, reazione al fuoco; SP FIRE 105; Istituto nazionale svedese per le prove e la ricerca sulla tecnologia del fuoco: Borås, Svezia, 1994.
15. Organizzazione internazionale per le norme (ISO). ISO 13785-2:2002 Test di reazione al fuoco per facciate Parte 2: Test su larga scala; Organizzazione internazionale per le norme (ISO): Ginevra, Svizzera, 2002.
16. Karlsson, B.; Carlsson, J. Numerical Simulation of Fire Exposed Facades an Initial Investigation, Report 3123; Department of Fire Safety Engineering Lund University, Lund, Sweden, 2001
17. Andersson, J.; Boström, L.; Jansson, R.; Milanović, B. Fire Dynamics in Façade Fire Tests: Measurement Modelling, and Repeatability, Application of Structural Fire Engineering. In *Proceedings of the International Conference, Dubrovnik, Croatia, 15–16 October 2015*.
18. Andersson, J.; Boström, L.; McNamee, R.J. Fire Safety of Facades, SP Rapport 2017:37; RISE Research Institutes of Sweden: Borås, Svezia, 2017.
19. Organizzazione europea per la valutazione tecnica (EOTA). Documento di valutazione europea EAD 040083-00-04040 Sistemi compositi di isolamento termico esterno (ETICS) con disegni; Organizzazione europea per la valutazione tecnica (EOTA): Bruxelles, Belgio, 2013.
20. Lalu, O.; Lennon, T.; Darmon, R.; Anghel, I. Prestazioni dei tagliafuoco installati all'interno di sistemi di facciata isolati in EPS. *Fire Mater.* 2021, 45, 638-647.
21. Bjegovic, D.; Pecur, I.; Messerschmidt, B.; Milovanovic, B.; Alagusic, M. Influenza delle barriere antincendio sulla prestazione antincendio di facciate con isolamento combustibile. In *Proceedings of the MATEC Web of Conferences, 2nd International Seminar for Fire Safety of Facades, Lund, Sweden, 11-13 May 2016; Volume 46, p. 05006*.
22. Xin, H.; Zhaopeng, N.; Lei, P.; Ping, Z. Studio sperimentale delle barriere antincendio che prevengono la propagazione verticale del fuoco nelle ETIS. In *Proceedings of the MATEC Web of Conferences, 1st International Seminar for Fire Safety of Facades, Paris, France, 14-15 November 2013; Volume 9, p. 04003*.
23. Kyungsuk, C.; Seungun, C.; Jihun, C.; Bumyeon, C.; A. Study on the Efficiency of Vertical Non-Combustible Blocking for External Fire Spread of EIFS with Combustible Insulation in Pilot Building. *J Korean Soc. Hazard Mitig.* 2020, 20, 159-166.
24. Bjegovic, D.; Baniad Pecur, I.; Jelcic Rukavina, M.; Milovanovic, B.; Bagaric, M. Prestazioni antincendio delle facciate nei grattacieli. In *Atti del 1° Simposio internazionale K-FORCE 2017, Novi Sad, Serbia, 14-15 settembre 2017*.
25. Istituto della ceramica e dei materiali da costruzione. Valutazione tecnica europea (ETA) ETA n. 15/0582 Sistemi compositi di isolamento termico esterno (ETICS) con rendering; Istituto della ceramica e dei materiali da costruzione: Cracovia, Polonia, 2015.
26. Comitato Europeo di Normazione (CEN). EN 13162:2012+A1:2015 Specifiche dei prodotti per l'isolamento termico degli edifici in lana minerale (MW) fabbricati in fabbrica; Comitato europeo di normalizzazione (CEN): Bruxelles, Belgio, 2015.
27. Comitato Europeo di Normazione (CEN). EN 13163:2012+A1:2015 Prodotti per l'isolamento termico degli edifici Prodotti in polistirene espanso (EPS) fabbricati in fabbrica. Specificazione;



COMUNICAZIONE INTERNA

Nr. I-18 Documento dedicato alle aziende associate

9/05/2023

- Comitato Europeo di Normazione (CEN): Bruxelles, Belgio, 2015.
28. Comitato Europeo di Normazione (CEN). EN 998-1:2016 Specifiche per le malte per muratura Parte 1: Malta da rinzafo e da plastificazione; Comitato Europeo di Normazione (CEN): Bruxelles, Belgio, 2016.
 29. Comitato Europeo di Normazione (CEN). EN 15824:2017 Specifiche per intonaci esterni e interni a base di leganti organici; Comitato Europeo di Normazione (CEN): Bruxelles, Belgio, 2017.
 30. Organizzazione Europea per la Valutazione Tecnica (EOTA). Documento di valutazione europea EAD 330196-01-0604 Ancoraggi in plastica in materiale vergine o non vergine per il fissaggio di sistemi compositi di isolamento termico esterno con rendering; Organizzazione europea per la valutazione tecnica (EOTA): Bruxelles, Belgio, 2017.
 31. British Research Establishment (BRE). BR135: Allegato B. Criteri di prestazione e metodo di classificazione per la BS 8414-2:2005; BRE: Watford, Regno Unito, 2007.
 32. Michalak, J. Sistemi compositi di isolamento termico esterno (ETICS) dal punto di vista dell'industria e dell'università. Sostenibilità 2021, 13, 13705.
 33. Superti, V.; Forman, T.V.; Houmani, C. Riciclaggio dei materiali per l'isolamento termico: A Case Study on More Circular Management of Expanded Polystyrene and Stonewool in Switzerland and Research Agenda. Risorse 2021, 10, 104.
 34. De Freitas, S.S.; de Freitas, V.P. Fessurazioni su ETICS lungo i giunti di isolamento termico: Caso di studio e catalogo delle patologie. Struct. Survey 2016, 34, 57-72.

Materiali supplementari:

Le seguenti informazioni di supporto possono essere scaricate da:

http://systemyocieplen.pl/doc/sprawozdanie_z_badan_sciana_nr_1.pdf
http://systemyocieplen.pl/doc/sprawozdanie_z_badan_sciana_nr_2.pdf
http://systemyocieplen.pl/doc/sprawozdanie_z_badan_sciana_nr_3.pdf
http://systemyocieplen.pl/doc/sprawozdanie_z_badan_sciana_nr_4.pdf

Contributi degli autori: Concettualizzazione, M.N., M.W., e K.B.; metodologia, M.N., M.W., e K.B.; software, M.N., M.W., e K.B.; validazione, M.N., M.W., e K.B.; analisi formale, M.N., M.W., e K.B.; indagine, M.N., M.W., e K.B.; risorse, M.N., M.W., e K.B.; cura dei dati, M.N., M.W., e K.B.; preparazione della bozza originale, M.N., M.W., e K.B.; revisione e editing della scrittura, M.N., M.W., e K.B.; visualizzazione, M.N., M.W. e K.B.; supervisione, M.N., M.W. e K.B.; amministrazione del progetto, M.N., M.W. e K.B.; acquisizione dei fondi, M.N., M.W. e K.B. Tutti gli autori hanno letto e approvato la versione pubblicata del manoscritto.

Finanziamento: Questa ricerca è stata finanziata dall'Associazione polacca per l'ETICS (SSO).

Dichiarazione del comitato di revisione istituzionale: Non applicabile.

Dichiarazione di consenso informato: Non applicabile.

Conflitti di interesse: Gli autori non dichiarano alcun conflitto di interessi. I finanziatori non hanno avuto alcun ruolo nella raccolta, analisi o interpretazione dei dati e nella stesura del manoscritto