

Progetto di ricerca

Comportamento al fuoco in condizioni reali di esercizio

Commissione Tecnica ANPE

ANPE, autonomamente e/o in collaborazione con l'associazione europea PU Europe, sviluppa progetti di ricerca su temi prestazionali e applicativi che coinvolgono i prodotti isolanti in poliuretano. Il comportamento al fuoco degli isolanti poliuretanicici è uno dei temi di maggiore interesse, sia per le sue implicazioni in termini di sicurezza degli edifici, sia per la necessità di valutare correttamente le prestazioni dei prodotti nelle loro reali condizioni di impiego alla luce anche delle importanti evoluzioni tecniche e prestazionali delle schiume

La reazione al fuoco del singolo prodotto e il comportamento in opera

poliuretaniche.

Nel corso del 2014 è stato avviato, grazie al contributo di associazioni ed aziende sponsor, un progetto di ricerca finalizzato a valutare, mediante test comparativi, la reazione al fuoco di prodotti isolanti in poliuretano e in lana minerale nelle reali condizioni di esercizio tipiche di comuni applicazioni edilizie.

Si è scelto di comparare il comportamento di prodotti in poliuretano a quello di prodotti in lana minerale in funzione della natura inorganica di questi ultimi e del loro elevato livello di classificazio-

ne all'interno del sistema europeo delle Euroclassi (classi attribuite A1 - A2), tale da consentire il loro impiego negli edifici e nelle condizioni applicative soggette al maggiore pericolo di incendi.

Come oggetto della ricerca sono state individuate tre condizioni applicative tipiche dei materiali isolanti:

- **Isolamento in copertura sotto membrane impermeabili bituminose**
- **Isolamento dall'interno con sistemi isolanti preaccoppiati a cartongesso**
- **Isolamento di pareti dall'esterno con sistema a cappotto**

In tutte le prove sono stati testati prodotti specifici per la singola applicazione sulla base delle indicazioni fornite dalla documentazione tecnica del produttore.

Tutti i test comparativi sono stati svolti a parità di prestazioni isolanti, lo spessore dei materiali necessario a raggiungere lo stesso valore di trasmittanza termica è stata calcolato quindi sulla base della conducibilità termica dichiarata (λ_D) riportata nelle schede tecniche dei prodotti.

Modeste differenze di Resistenza Termica dello strato isolante sono state causate dalla necessità di utilizzare spessori di materiali normalmente reperibili sul mercato.

Partner scientifico e laboratori di prova

Per lo sviluppo del progetto ci si è avvalsi della consulenza del dott. Silvio Messa e del Laboratorio di prova L.S. Fire Testing Institute Srl di Oltrona di San Mamette (CO) dove si sono svolti i test per la valutazione del comportamento al fuoco di pareti isolate dall'esterno e dall'interno.

I test su coperture sono stati realizzati presso il laboratorio dell'azienda Novaglass Spa, produttrice di manti impermeabili, alla presenza e con la supervisione dei responsabili del Laboratorio Notificato L.S. Fire Testing Institute Srl che hanno verificato il corretto funzionamento delle apparecchiature e il rispetto delle procedure previste dalla norma.

Hanno contribuito:



Isolamento in copertura sotto membrane impermeabili bituminose

UNI EN 13501-5 Test $B_{\text{roof}}(t2)$

Per valutare il comportamento dei materiali installati in copertura, in caso di incendio proveniente dall'esterno, si utilizza la norma armonizzata europea UNI EN 13501-5

La norma prevede 4 diverse modalità di prova (t1, t2, t3, t4) descritte in UNI CEN/TS 1187 e gli Stati Membri sono liberi di adottare uno o più dei metodi di prova descritti.

I test comparativi si sono svolti con la metodologia prevista dal $B_{\text{roof}}(t2)$ in funzione delle seguenti considerazioni:

- è quella più utilizzata per la valutazione del comportamento delle membrane impermeabili
- consente di estendere il risultato ottenuto a pacchetti di copertura simili (es. diverse inclinazioni della copertura e diversi spessori di materiale isolante)
- è citata nel documento «Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici» che prevede l' idoneità di coperture $B_{\text{roof}}(t2)$ o (t3) o (t4) all'installazione di pannelli fotovoltaici in classe 2 di reazione al fuoco. La "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici" è il primo documento ufficiale italiano che tratta il tema del pericolo di incendi in copertura con fuoco proveniente dall'esterno.

Le caratteristiche dei materiali testati

Membrana Impermeabile:

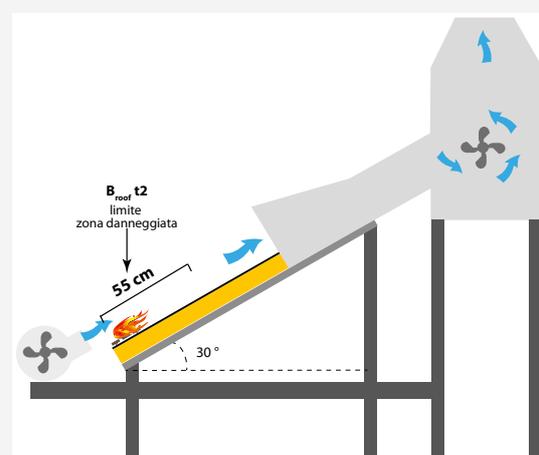
Allo scopo di valutare meglio il contributo alla propagazione dell'incendio del solo materiale isolante, è stata testata una membrana plastomerica (APP) di spessore 2 mm priva di agenti ritardanti di fiamma e classificata $F_{\text{roof}}(t2)$.

Pannello in poliuretano espanso

È stato testato un pannello in schiuma polyiso (PIR), rivestito su una faccia da velo vetro mineralizzato e sull'altra, da posizionare sul lato maggiormente espo-



$B_{\text{roof}}(t2)$: apparecchiatura e modalità di prova



La prova è effettuata su un pacchetto costituito da un supporto, inclinato di 30° , uno strato isolante ed una membrana impermeabile in libero appoggio.

Si posa sulla membrana un tizzone incendiato e si attiva una ventilazione di 2 e di 4 m/s in presenza di una forza aspirante di 6 m/s.

Allo spegnimento spontaneo dell'incendio, o al termine dei 15 min previsti per la durata del test, si misura la propagazione del fuoco verso l'alto.

Per ottenere la classe B_{roof} il tratto danneggiato non deve superare i 55 cm.



sto al rischio incendi, da un velo vetro addizionato da fibre minerali.

Euroclasse di reazione al fuoco:

B s1 d0

Conducibilità termica dichiarata (λ_D):

0,028 W/mK spessori da 20 a 70 mm

0,026 W/mK spessori da 80 a 110 mm

0,025 W/mK spessori da 120 a 200 mm

Spessore utilizzato per il test:

70 mm

Densità:

47 kg/m³

Resistenza termica del pannello:

2,5 m²K/W

Pannello in lana minerale

È stato testato un pannello in lana minerale non rivestita a doppia densità specifico per l'isolamento di coperture inclinate

Euroclasse di reazione al fuoco:

A1

Conducibilità termica dichiarata (λ_D):

0,036 W/mK

Spessore utilizzato per il test:

100 mm

Densità media:

110 kg/m³

Resistenza termica del pannello:

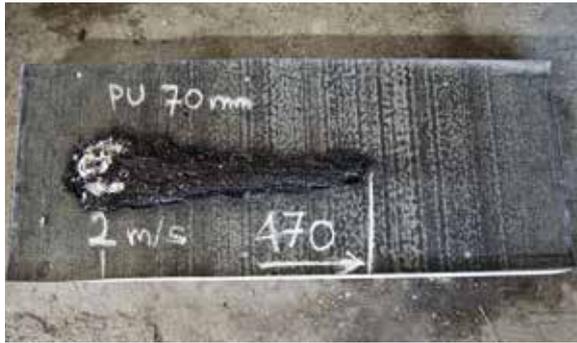
2,75 m²K/W



Nella prova con velocità dell'aria a 2 m/S il pacchetto isolato con poliuretano si è autoestinto a 9' e 37" e la zona danneggiata è risultata pari a 480 mm.

Il pacchetto isolato con lana minerale non ha superato il test: è stato estinto manualmente al termine dei 15' previsti dalla prova e il danneggiamento superficiale è stato superiore al limite previsto di 550 mm.

I risultati delle due fasi del test B _{roof} (t2)					
Materiale	velocità aria	Danneggiamento superficiale membrana	Danneggiamento substrato	Estinzione min/sec	Fine incandescenza min/sec
POLIURETANO euroclasse B s1 d0	2 m/s	480 mm	Nessun intaccamento del substrato. Solo rigonfiamento dello strato intumescente	Autoestinto 9' 37"	9' 37"
	4 m/s	350 mm		Autoestinto 6' 42"	6' 42"
LANA MINERALE euroclasse A1	2 m/s	> 900 mm	Nessun intaccamento del substrato. Imbrattato con residui carboniosi	Spegnimento manuale (o per ragioni di sicurezza) 15'	Coincide con lo spegnimento manuale
	4 m/s	> 900 mm		Spegnimento manuale (o per ragioni di sicurezza) 4' 53"	
Classificazione in base a EN 13501-5					
Con pannello in POLIURETANO				B_{roof} (t2)	
Con pannello in LANA MINERALE				F_{roof} (t2)	



Confronto tra i campioni al termine della prova con velocità dell'aria 2 m/s. A sinistra il campione isolato con poliuretano, a destra quello con lana minerale.



Ancora più marcate le differenze tra i comportamenti dei due campioni nella prova con velocità dell'aria a 4 m/s. Mentre quello isolato con poliuretano si autestingue a 6'42" e presenta una zona danneggiata limitata a soli 35 cm, nel campione isolato con lana minerale si sviluppa, già nelle prime fasi del test, un incendio non controllabile con importante sviluppo di fumi. Gli operatori devono intervenire con lo spegnimento manuale per motivi di sicurezza a 4' 53" e la zona danneggiata occupa quasi l'intera superficie del campione.



Confronto tra i campioni al termine della prova con velocità dell'aria 4 m/s. In alto il campione isolato con poliuretano, in basso quello con lana minerale che non ha superato la prova.



Considerazioni

Il pacchetto di copertura isolato con poliuretano supera il test ed ottiene la classificazione $B_{\text{roof}}(t2)$, mentre quello che utilizza lana minerale fallisce le prove in entrambe le condizioni di ventilazione e gli si attribuisce la classe F_{roof} .

Il pannello in poliuretano testato, grazie alla carbonizzazione della schiuma ed al contributo del particolare rivestimento utilizzato, dimostra di costituire una efficace barriera contro la propagazione delle fiamme e permette di contenere il danneggiamento superficiale della membrana ben al di sotto del limite previsto per la classificazione $B_{\text{roof}}(t2)$.

Assai diverso il comportamento del pannello in lana minerale che, nonostante la sua ottima prestazione di reazione al fuoco (A1), nelle condizioni previste dalla prova (mirate a simulare le reali condizioni applicative) non ostacola nè la propagazione della fiamma nè il perdurare dell'incendio.

Il mancato superamento della prova può trovare le necessarie motivazioni nella natura fibrosa della lana minerale che permette al bitume fuso di penetrare tra le fibre dove, grazie anche alla presenza di ossigeno, le fiamme innescate possono estendersi senza trovare barriere efficaci.

Dal test effettuato emerge la necessità di ampliare l'attività di ricerca e sperimentazione con modalità di prova che simulino al meglio le reali condizioni di esercizio dei materiali che, evidentemente, possono determinare un comportamento di reazione al fuoco migliore o peggiore di quello atteso sulla base dei test effettuati sui singoli materiali.

Un materiale isolante inorganico, che in base all'attuale normativa accede, senza necessità di eseguire alcun test, alla classe A1, se applicato al di sotto di una membrana impermeabile di classe F, può contribuire al rapido sviluppo dell'incendio e al coinvolgimento dell'intero manto impermeabile.



Un particolare della carbonizzazione superficiale dello strato isolante in poliuretano posto al di sotto del manto impermeabile.



Il video di sintesi dei test è disponibile sul canale youtube ANPE

Isolamento dall'interno con sistemi isolanti accoppiati a cartongesso ISO 9705 Room Corner Test

Nelle ristrutturazioni con finalità di miglioramento dell'efficienza energetica è relativamente comune il ricorso a tecniche di isolamento dall'interno mediante sistemi accoppiati -materiale isolante e cartongesso- realizzati in fabbrica.

Questa tipologia applicativa è particolarmente indicata per edifici ove non sia possibile prevedere l'isolamento dall'esterno (es. facciate di particolare pregio architettonico) o qualora sia necessario intervenire su singole unità immobiliari o singole strutture edilizie.

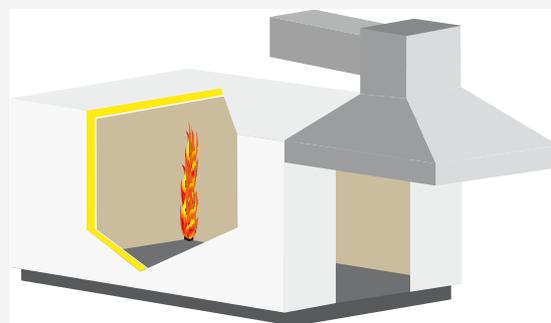
I sistemi preaccoppiati a cartongesso, valutati con il metodo UNI EN 13823 (SBI), ottengono generalmente buone classificazioni di reazione al fuoco grazie al contributo dello strato in cartongesso.

Per valutare in modo più approfondito il comportamento in opera di questi materiali si è scelto di ricorrere a un test di scala reale sottoponendo i campioni alla prova ISO 9705 - Room Corner Test.

La prova, particolarmente severa per durata ed entità dell'attacco termico, valuta il comportamento dei materiali sia nella fase di innesco e sviluppo dell'incendio, rappresentativa del comportamento di reazione al fuoco, sia in quella di incendio sviluppato. Il test è stato eseguito installando sulle pareti e sul soffitto della camera di prova i pannelli preaccoppiati con l'ausilio di materiali e procedure riconosciute dalla buona pratica.



ISO 9705 - Room Corner Test: apparecchiatura e modalità di prova



Lo standard riproduce uno scenario di incendio in un angolo di una stanza di dimensioni 2,4 x 3,6 x 2,4 m di altezza.

Il bruciatore, alimentato a propano, è posizionato in un angolo opposto alla porta di accesso e sviluppa i seguenti attacchi termici:

- 100 kW per i primi 10' di test - simulazione della prima fase innesco e sviluppo dell'incendio
- 300 kW per i successivi 10' - simulazione della fase di incendio in pieno sviluppo.

Il test viene superato qualora non venga raggiunto il flash over.

Il test di grande scala può essere utilizzato come sistema di classificazione alternativa al metodo SBI.



Le caratteristiche dei materiali testati

Pannello in poliuretano espanso

È stato testato un pannello in schiuma polyiso (PIR) rivestito su entrambe le facce con velo vetro saturato, accoppiato ad una lastra di cartongesso da 9.5 mm. Euroclasse di reazione al fuoco:

B s1 d0

Conducibilità termica dichiarata (λ_D):

0,028 W/mK spessori da 20 a 70 mm

0,026 W/mK spessori da 80 a 110 mm

0,025 W/mK spessori da 120 a 200 mm

Spessore utilizzato per il test:

80 mm (70 + 10)

Resistenza termica del pannello:

2,50 m²K/W

Massa materiale isolante, al netto del cartongesso:

35 kg/m³ corrispondente a 2,45 kg/m²

Pannello in lana minerale

È stato testato un pannello in lana minerale non rivestito a doppia densità

Euroclasse di reazione al fuoco:

A2 s1 d0

Conducibilità termica dichiarata (λ_D):

0,035 W/mK

Spessore utilizzato per il test:

110 mm (100 + 10)

Resistenza termica del pannello:

2,95 m²K/W

Massa materiale isolante, al netto del cartongesso:

80 kg/m³ corrispondente a 8 kg/m²

Accessori di fissaggio e finitura:

Fissaggio a parete:

Adesivo distribuito per punti

Stuccatura dei giunti realizzata in due strati con interposizione di un nastro microforato di rinforzo

Fissaggio a soffitto:

Ganci a U e profili metallici a C fissati ad interasse di 50 cm

Fissaggio dei pannelli mediante viti autofilettanti fosfatate

Stuccatura dei giunti e delle teste delle viti:

realizzata in due strati con interposizione di un nastro microforato di rinforzo

Tempi di stagionatura:

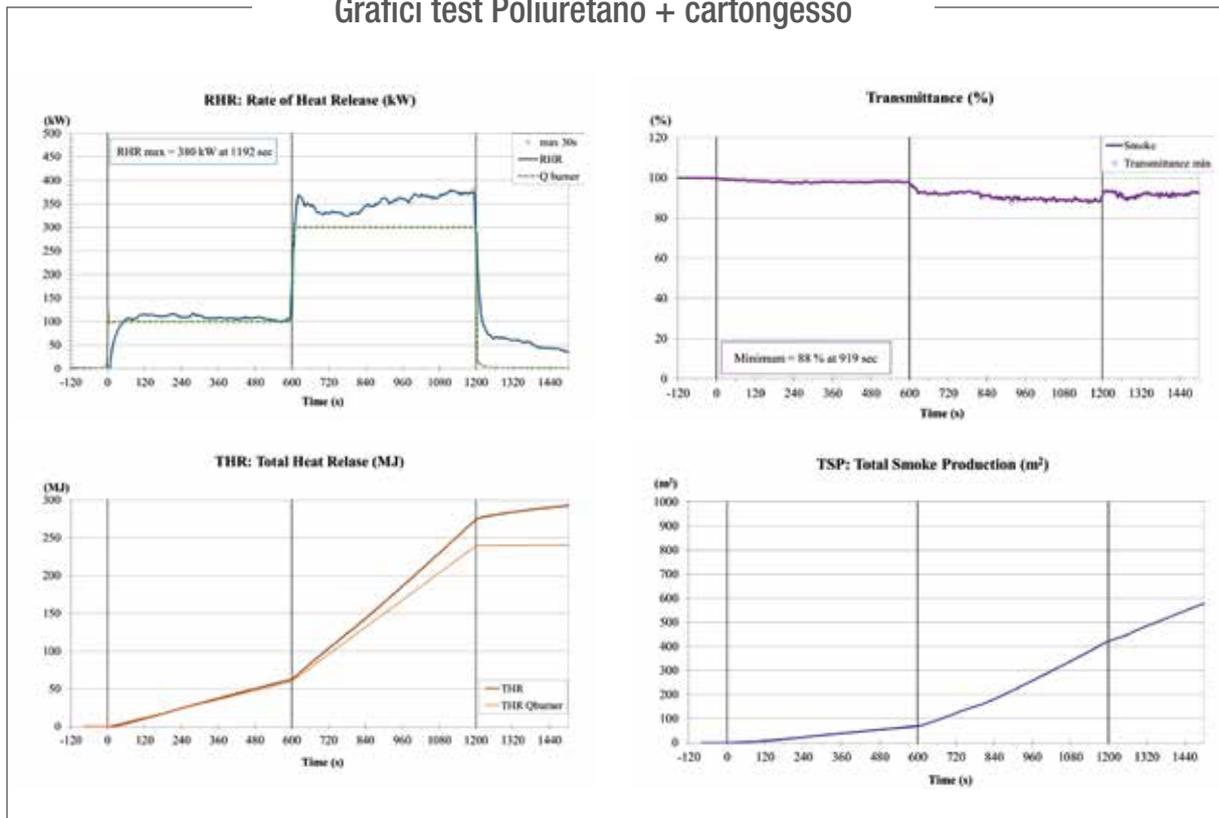
Tra il montaggio dei campioni e l'esecuzione dei test sono intercorsi almeno 10 giorni necessari a garantire l'asciugatura e la presa degli adesivi



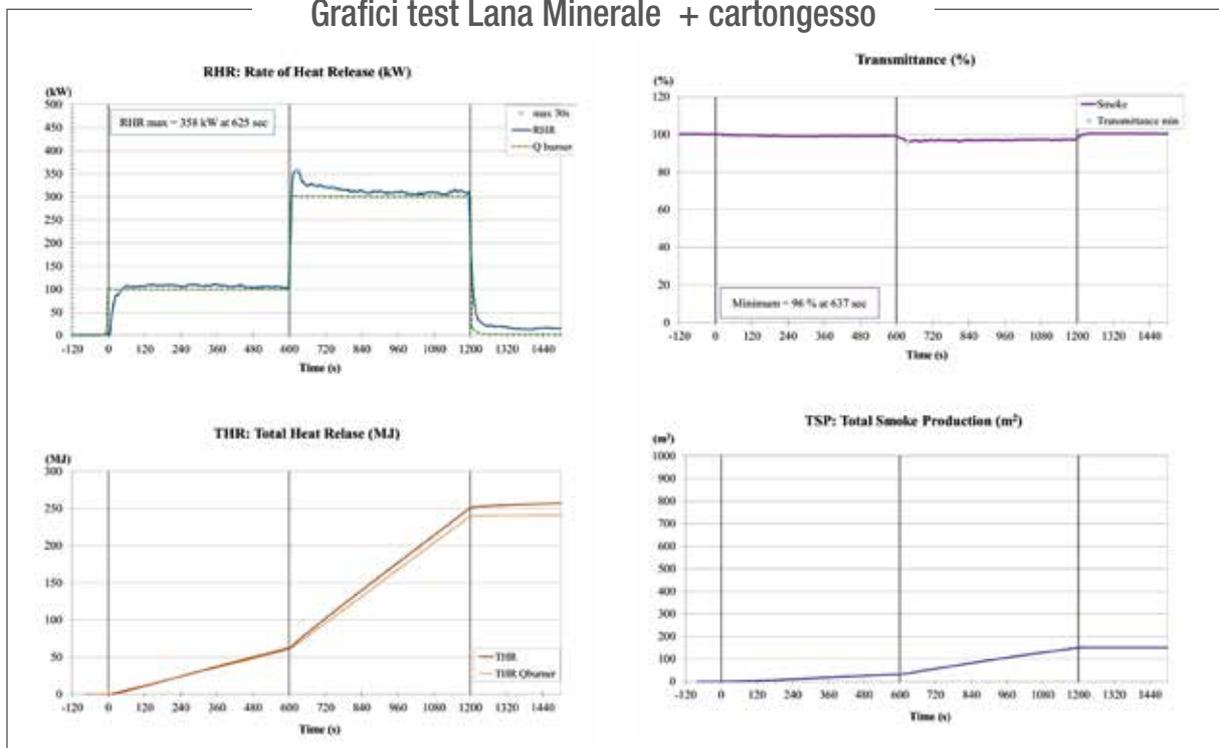
I due campioni (poliuretano e cartongesso a sinistra e lana minerale e cartongesso a destra) nella fase del test con attacco termico a 100 kW che simula la fase iniziale dell'incendio.

I risultati del test ISO 9705 - Room Corner Test					
Materiale	RHR peak [kW]	THR at 1200 s [MJ]	Trasmittance minimum [%]	TSP at 1200 s [m ²]	SPR smooth max [m ² /s]
POLIURETANO + Cartongesso euroclasse B s1 d0	380	274	88	84	0,72
LANA MINERALE + Cartongesso euroclasse A2 s1 d0	358	251	96	39	0,23
Classificazione in base a EN 13501-1 tabella 1					
POLIURETANO + cartongesso	il flash over non viene mai raggiunto				B
LANA MINERALE + cartongesso	il flash over non viene mai raggiunto				B

Grafici test Poliuretano + cartongesso



Grafici test Lana Minerale + cartongesso



Legenda:
 RHR: velocità di rilascio del calore
 THR: rilascio di calore totale
 Trasmittance: il rapporto tra l'intensità della radiazione trasmessa entro il corpo e l'intensità della radiazione incidente
 TSP: produzione totale di fumo

Considerazioni

Nonostante la diversa classificazione sia del solo componente isolante (A1 per la lana minerale e E per il poliuretano) e sia del pannello composito (A2 s1 d0 per quello con lana minerale e B s1 d0 per quello con poliuretano) il comportamento dei due campioni non si differenzia in modo sostanziale.

Soprattutto nella prima fase del test, rappresentativa della fase di innesco e sviluppo dell'incendio, le curve di THR, RHR e TSP risultano pressoché sovrapponibili.

Solo nella seconda fase, con attacco termico a 300 kW, rappresentativo di un incendio sviluppato, si registra un modesto incremento dei valori di THR e RHR per il campione in poliuretano ed un più significativo aumento del valore di produzione di fumi.

I due campioni si sono estinti spontaneamente; le zone danneggiate appaiono comparabili e in entrambi i casi si è registrato un modesto distacco del cartongesso montato a soffitto.

Da segnalare, inoltre, le diverse masse in gioco e il potenziale rischio ad esse associabile: 80 kg/m³ per l'isolante in lana di roccia, corrispondente a 8 kg/m² per lo spessore utilizzato, contro i 35 kg/m³ per l'isolante in poliuretano corrispondente a 2,45 kg/m² per lo spessore impiegato.

I pesi indicati sono al netto del contributo delle lastre in cartongesso impiegate per entrambi i prodotti.



I due campioni (poliuretano e cartongesso a sinistra e lana minerale e cartongesso a destra) nella fase del test con attacco termico a 300 kW rappresentativa di un incendio già sviluppato.



Il video di sintesi dei test è disponibile sul canale youtube ANPE



I due campioni (poliuretano e cartongesso a sinistra e lana minerale e cartongesso a destra) al termine del test.

Isolamento di pareti dall'esterno con sistemi a cappotto ETICS

L'isolamento delle pareti perimetrali dall'esterno mediante materiali isolanti, malte adesive, reti e intonaco (sistema a cappotto - ETICS) ha assunto un peso sempre più rilevante nel sistema edilizio italiano, tanto da rappresentare circa il 40% delle scelte costruttive adottate sia per le nuove costruzioni sia per le ristrutturazioni.

Garantire uno standard di sicurezza agli incendi per questo tipo di applicazioni è quindi un obiettivo urgente che i normatori, nazionali e europei, sono chiamati ad affrontare.

In Italia il tema del comportamento al fuoco delle facciate, inclusi i sistemi a cappotto, è trattato dal documento "Guida per la determinazione dei requisiti di sicurezza antincendi delle facciate negli edifici civili", pubblicato dal Ministero dell'Interno - Dipartimento dei Vigili del Fuoco, che indica parametri di sicurezza utilizzando sia criteri di protezione passiva (Reazione e Resistenza al fuoco, compartimentazione, ecc.) sia di protezione attiva (presenza di impianti di spegnimento automatico).

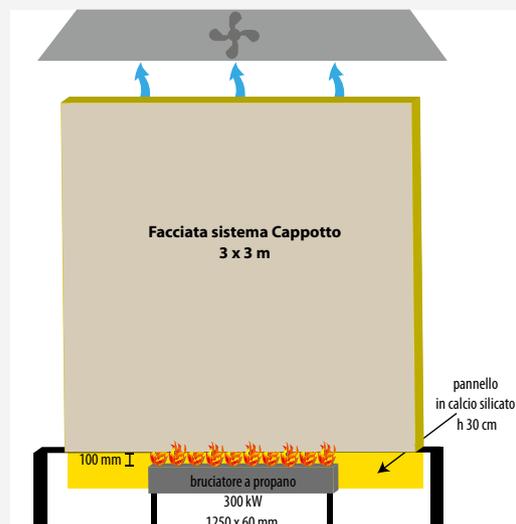
In altri Paesi Europei (Germania, Austria, Inghilterra) sono stati adottati test specifici, di grande scala, che valutano, in condizioni definite, il comportamento al fuoco dell'intero sistema.

Il progetto di ricerca ANPE si è basato, per questa tipologia applicativa, su un metodo sperimentale di grande scala sviluppato per rappresentare uno scenario causato dall'incendio di auto o cassonetti per il deposito dei rifiuti solidi urbani posti in adiacenza alla facciata degli edifici.

Trattandosi di un test in fase di sperimentazione non sono disponibili valori di soglia per il superamento della prova e la valutazione dei risultati non può quindi che essere di tipo qualitativo.



METODO SPERIMENTALE apparecchiatura e modalità di prova



La prova viene effettuata su un sistema a cappotto installato su una parete di 3 x 3 m sottoposta, per 600 s, all'attacco termico di 300 kW.

Il bruciatore lineare (1250 x 600 mm), alimentato a propano, è posizionato al centro dell'asse verticale del campione, ad una distanza di 100 mm dal suo bordo ed è posizionato lungo l'asse orizzontale per il 50% della sua larghezza all'esterno del campione e per il restante 50% al di sotto del suo bordo inferiore.

Un pannello in calcio silicato, alto 300 mm, viene utilizzato come zoccolatura sul retro del campione allo scopo di direzionare correttamente le fiamme verso l'esterno della parete.

Le caratteristiche dei materiali testati

I campioni sottoposti al test sono stati installati utilizzando materiali e procedure di montaggio descritti da Benestari Tecnici Europei (ETA) e dal manuale di posa Cortexa.

Sistema cappotto - ETICS:

Adesivo

polvere cementizia a base di cemento comune che richiede l'aggiunta del 22-24 % di acqua; granulometria: 0.6 mm; consumo 2.5 - 3.5 kg/m².

Isolante

Pannelli in Poliuretano e Pannelli in Lana Minerale specifici per applicazioni a cappotto (v. sotto)

Strato di base

polvere cementizia a base di cemento comune che richiede l'aggiunta del 22-24 % di acqua; granulometria: 0.6 mm; consumo 2.5 - 3.5 kg/m²; spessore 2.5 - 3.5 mm

Armatura

rete in fibra di vetro; misura delle maglie: 4 x 5 mm

Finitura

pasta pronta all'uso a base di resine stiroil-acriliche; consumo 2.5 - 3.5 Kg/m² prodotto preparato; spessore 1.5 ± 0.1 mm

Tasselli in plastica:

tasselli mono-pezzo costituiti da una testa e da un chiodo, differenti lunghezze in relazione allo spessore dell'isolante; consumo 4-6 tasselli/m²; Ø della testa: 4.7 cm Ø del chiodo: 1.0 cm.

Pannello in poliuretano espanso

È stato testato un pannello in schiuma polyiso (PIR) specifico per applicazioni a cappotto, con rivestimenti velo di vetro saturato su entrambe le facce Euroclasse di reazione al fuoco del solo pannello:

E

Euroclasse di reazione al fuoco del sistema ETICS:

B s1 d0

Conducibilità termica dichiarata (λ_D):

0,028 W/mK spessori da 20 a 70 mm

0,026 W/mK spessori da 80 a 110 mm

0,025 W/mK spessori da 120 a 200 mm

Spessore utilizzato per il test:

100 mm

Resistenza termica del pannello:

3,85 m²K/W

Massa materiale isolante:

35 kg/m³

Pannello in lana minerale

È stato testato un pannello in lana minerale non rivestita a doppia densità specifico per applicazioni a cappotto

Euroclasse di reazione al fuoco del solo pannello:

A1

Euroclasse di reazione al fuoco del sistema ETICS:

A1

Conducibilità termica dichiarata (λ_D):

0,036 W/mK

Spessore utilizzato per il test:

140 mm

Resistenza termica del pannello:

3,85 m²K/W

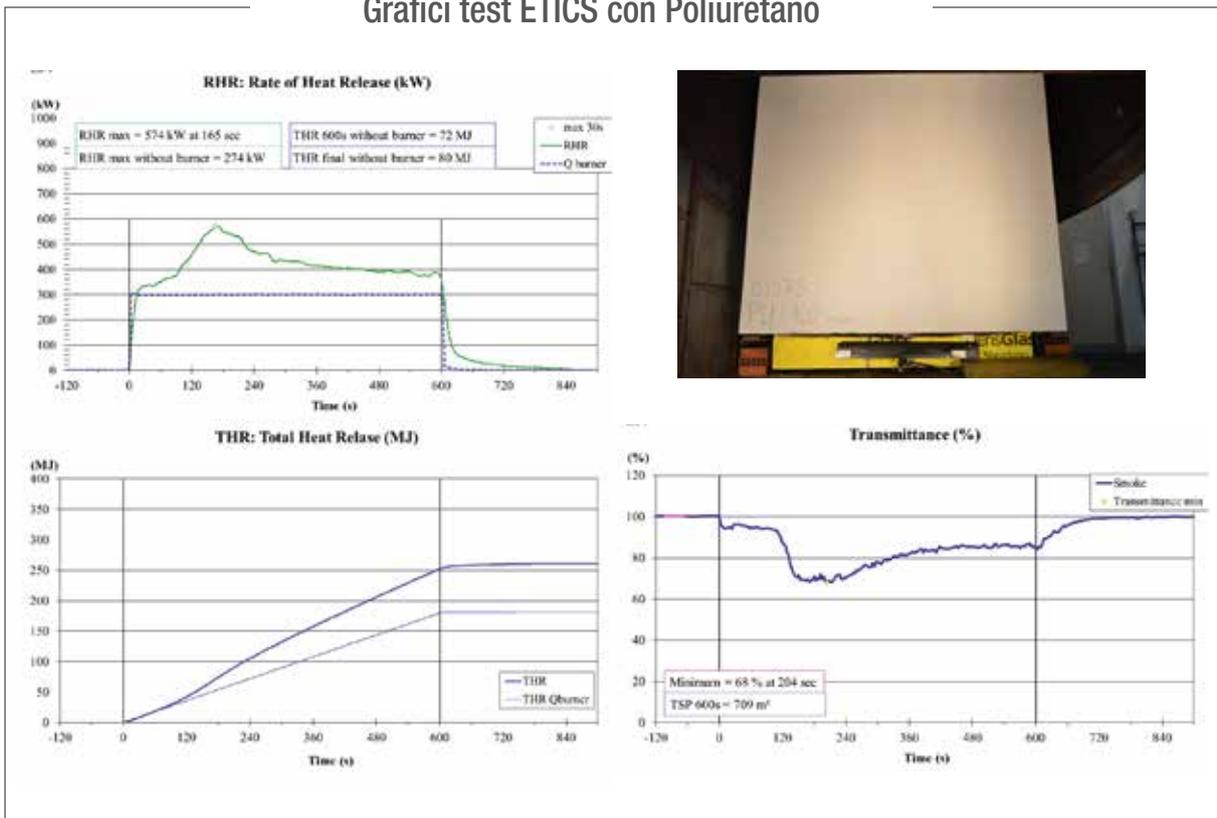
Massa materiale isolante:

90 kg/m³

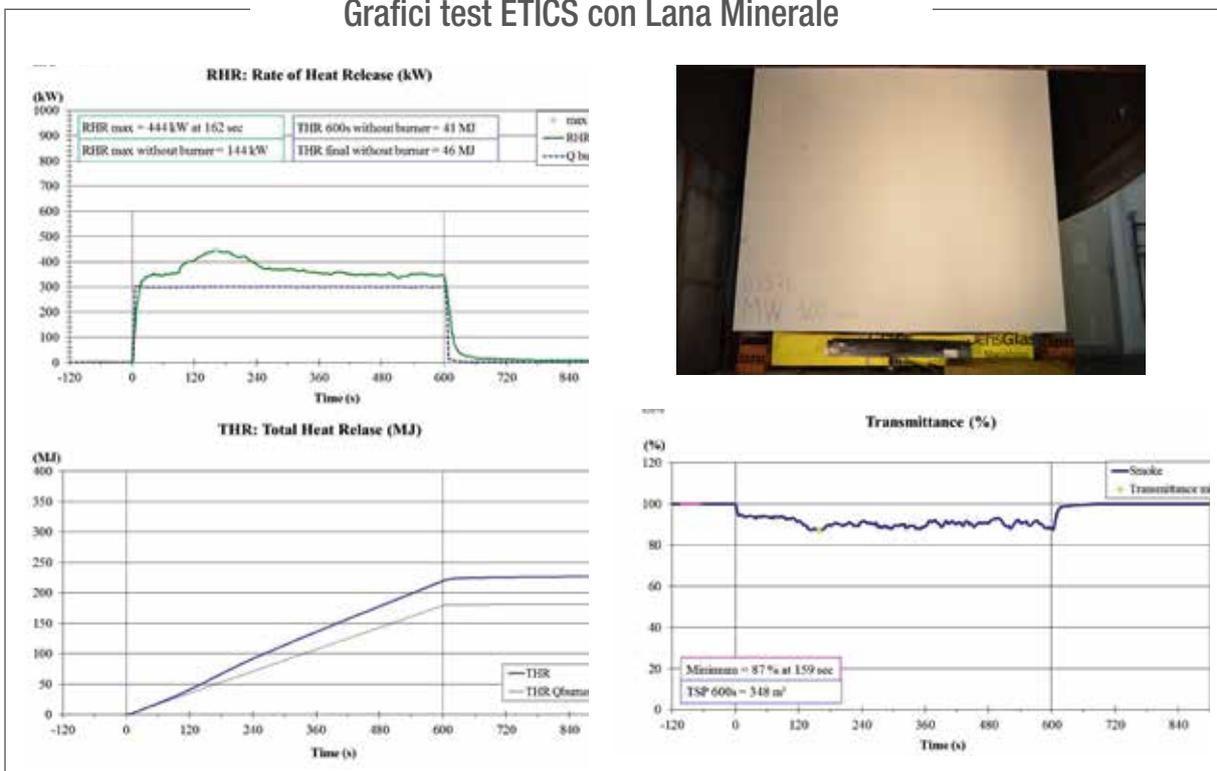
DATI REGISTRATI CON METODO SPERIMENTALE

Sistemi a cappotto	RHR peak with burner at 300 kW [kW]	THR at 600 s without burner [MJ]	Trasmittance minimum [%]	Zona danneggiata
ETICS con POLIURETANO euroclasse B s1 d0	574	72	68	larghezza max: 145 cm
				altezza max: 163 cm
ETICS con LANA MINERALE euroclasse A2 s1 d0	444	41	87	larghezza max: 133 cm
				altezza max: 140 cm
Valutazione qualitativa				
ETICS con POLIURETANO	il sistema mantiene la sua integrità, l'incendio rimane confinato nell'area interessata dal bruciatore e si autoestingue al termine della prova			
ETICS con LANA MINERALE	il sistema mantiene la sua integrità, l'incendio rimane confinato nell'area interessata dal bruciatore e si autoestingue al termine della prova			

Grafici test ETICS con Poliuretano



Grafici test ETICS con Lana Minerale



Legenda:
 RHR: velocità di rilascio del calore
 THR: rilascio di calore totale
 Trasmittance: il rapporto tra l'intensità della radiazione trasmessa entro il corpo e l'intensità della radiazione incidente



I due campioni (cappotto con poliuretano a sinistra e con lana minerale a destra) durante la prova e al termine del test.



Al termine della prova si è provveduto alla rimozione dello strato superficiale carbonizzato allo scopo di valutare lo spessore di schiuma poliuretanicamente ancora integro e non attaccato dalle fiamme.

La combustione della schiuma poliuretanicamente, ed in particolare quella PIR, forma uno strato carbonioso che contribuisce a limitare la propagazione delle fiamme.



Il video di sintesi dei test è disponibile sul canale youtube ANPE

Considerazioni

In entrambi i campioni il sistema a cappotto ha mantenuto la sua integrità, l'incendio è rimasto confinato all'interno dell'area interessata dal bruciatore e si è estinto spontaneamente al termine dei 10' previsti dal test. I principali parametri valutati dal test, dimensione dell'area danneggiata e rilascio totale di calore non si differenziano in modo sostanziale tra i due campioni.

Il risultato appare di grande rilievo se rapportato alle sostanziali differenze di classificazione che caratterizzano i due materiali: la classe A1 per la lana di roccia e la Classe E per il poliuretano.

Anche in questo caso la valutazione del comportamento in opera dei materiali, che in tutti i casi coinvolge strutture complesse e disomogenee, si conferma come uno strumento indispensabile per la definizione dei criteri di sicurezza agli incendi degli edifici.