

Progetto di ricerca

Comportamento al fuoco di coperture con impianti fotovoltaici

Gruppo di Lavoro ANPE:

Filippo Altafini, Rita Anni, Massimo Cunegatti, Lisa Favilli, Fabio Raggiotto, Antonio Temporin

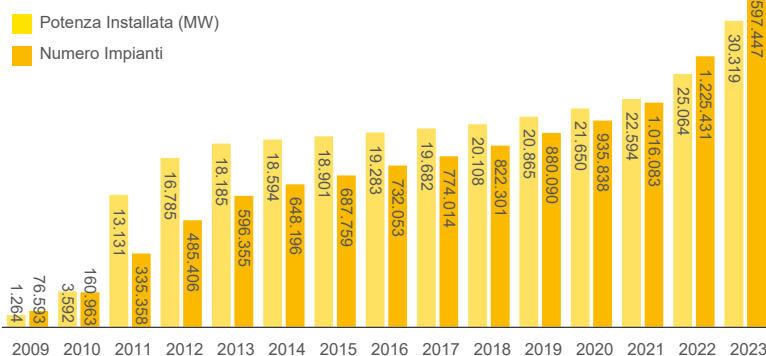
Negli ultimi 15 anni la crescita dei sistemi fotovoltaici ha registrato, e probabilmente continuerà a registrare, un rapido sviluppo in termini sia di numerosità degli impianti e sia di potenza installata (v. grafico). La necessità di combattere i cambiamenti climatici è la principale motivazione della scelta europea di ridurre progressivamente l'utilizzo di combustibili fossili per raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Un obiettivo che potrà essere raggiunto solo grazie alla riduzione dei consumi, determinata da un uso più efficiente delle risorse, e ad un maggiore ricorso alle energie rinnovabili; tra queste quella solare risulta particolarmente efficace in Paesi, come l'Italia, che godono di un elevato irraggiamento.

Il ruolo dell'edilizia nello sviluppo del fotovoltaico

Gli edifici e le loro pertinenze (pensiline, serre, ecc.) hanno un ruolo essenziale per la collocazione degli impianti fotovoltaici: già oggi forniscono circa il 69% della potenza prodotta in Italia contro il 30% di quella da impianti a terra e la quota, ancora irrisoria, di quella fornita da impianti agrivoltaici e galleggianti. Oltre agli obblighi già vigenti in Italia (DLgs n. 28/2011 e DLgs n.199/2021), anche la nuova Direttiva EPBD IV punta ad un maggiore utilizzo

2009-2023

Potenza e numero degli impianti fotovoltaici installati (cfr. GSE - Rapporto statistico 2023 solare fotovoltaico)

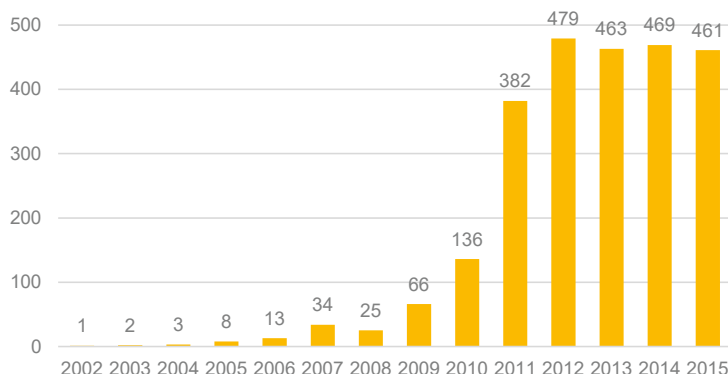


EPBD IV

Edifici: il timing previsto per gli impianti fotovoltaici

- 2026**
[31/12] Su tutti i nuovi edifici pubblici e non residenziali con superficie utile > 250 m²
- 2027**
[31/12] Su tutti gli edifici pubblici esistenti con superficie utile > 2.000 m²
Su edifici esistenti non residenziali con superficie utile > 500 m², qualora l'edificio sia sottoposto ad un intervento che richieda un nulla osta amministrativo per ristrutturazioni edilizie, lavori sulla copertura e installazione di un sistema tecnico edilizio
- 2028**
[31/12] Su tutti gli edifici pubblici esistenti con superficie utile > 750 m²
- 2029**
[31/12] Su tutti i nuovi edifici residenziali, su tutti i nuovi parcheggi coperti adiacenti agli edifici. I piani nazionali degli Stati membri includono politiche e misure relative all'installazione di impianti solari adeguati su tutti gli edifici.
- 2030**
[31/12] Su tutti gli edifici pubblici esistenti con superficie utile > 250 m²

Italia 2002 - 2015 incendi in presenza di impianti fotovoltaici
(in IFireSS 2017 "A review of the photovoltaic module and panel fire tests"
Cancelliere P., Manzini G., Mazzaro M.)



del costruito come spazio destinato alla sfruttamento dell'energia solare fissando obiettivi stringenti e molto ravvicinati soprattutto per gli edifici pubblici e per quelli non residenziali.

Per questi ultimi la collocazione più comune degli impianti fotovoltaici è su coperture ed in particolare su coperture piane caratterizzate da una pendenza compresa tra 1% e 5%, sufficiente a consentire il deflusso delle acque meteoriche, e tale da non pregiudicarne la pedonabilità e l'utilizzo per la collocazione di attrezzature ed impianti a servizio delle attività industriali e commerciali.

Sicurezza delle coperture con impianti fotovoltaici

Come tutte le apparecchiature e gli impianti elettrici anche i pannelli fotovoltaici possono comportare dei rischi di incendio che, nel caso di installazione su coperture e facciate di edifici possono determinare danni rilevanti alle strutture e mettere in pericolo la vita stessa degli occupanti. Purtroppo sono scarsi i dati sulla numerosità degli incendi correlabili agli impianti fotovoltaici e mancano spesso informazioni sulle cause dell'innescò e sulla gravità dell'evento. L'Italia è uno dei pochi Paesi che ha condiviso i dati del periodo 2002-2015 (v.

grafico) e, sulla base di questi, gli autori stimano che i 2500 eventi abbiano avuto un'incidenza di circa lo 0,45%, calcolato su un parco di circa 550.000 impianti installati. Numeri in assoluto abbastanza rilevanti, pur considerando che gli interventi dei Vigili del Fuoco per incendi ed esplosioni hanno superato, nello stesso periodo, la media di 217.000/anno.

Uno studio dell'Università di Edimburgo (cfr. Jens Steemann Kristensen "Fire risk associated with photovoltaic installations on flat roof constructions"), dedicato alle coperture piane, ha esaminato i dati forniti da Germania, Italia, Australia e Stati Uniti (con criticità evidenti causate dai diversi criteri di raccolta dati) ed ha stimato

una frequenza annuale di 28,9 incendi per Gigawatt prodotto. Secondo queste valutazioni, il raggiungimento dell'obiettivo italiano al 2030 di una produzione di almeno 80 GWatt potrebbe, qualora fosse ottenuta per il 50% da impianti collocati su coperture piane, essere correlabile a circa 1200 incendi/anno.

Per limitare il potenziale di rischio insito nella tecnologia, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha emanato circolari e norme cogenti per l'installazione di impianti fotovoltaici che, pur non rientrando nelle attività soggette alla prevenzione incendi, possono rappresentare un aggravio del rischio per gli edifici.

Requisiti specifici sono fissati anche per le coperture (v. tabella) che, nel caso di quelle piane di tipo commerciale o industriale sono spesso caratterizzate da uno strato ultimo di impermeabilizzazione realizzato in materiali organici normalmente in Euro-classe E di reazione al fuoco. Una stratigrafia molto diffusa grazie ai vantaggi offerti in termini di leggerezza (rilevante soprattutto in zone sismiche), durabilità e facilità di manutenzione, rapidità di esecuzione ed economicità.

Impianti fotovoltaici e coperture con manto impemeabile a vista

Chiarimenti alla nota prot DCPREV 1324 del 7/2/2012 "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - Edizione 2012"

Codice Prevenzione Incendi V.13 Chiusure d'ambito degli edifici civili

Caso 2)

- Interposizione tra i moduli fotovoltaici e il piano di appoggio di uno strato di materiale di resistenza al fuoco almeno EI 30 e incombustibile

Caso 3a) Valutazione del rischio tenendo conto della classe di resistenza agli incendi dei tetti e della classe di reazione al fuoco dei pannelli fotovoltaici

- tetti classificati Broof e pannello FV di classe 1 o equivalente di reazione al fuoco;
- tetti classificati Broof (T2, T3, T4) e pannello FV di classe 2 o equivalente di reazione al fuoco
- strati ultimi di copertura (impermeabilizzazioni o/e pacchetti isolanti) classificati Broof o F installati su coperture EI 30 e pannello FV di classe 2* o equivalente di reazione al fuoco.

- fasce di separazione: classe di comportamento al fuoco esterno Broof (t2), (t3), (t4) oppure classe di resistenza al fuoco EI 30

- edifici tipo SC (quote di tutti i piani > 24 m e/o compartimenti con Rvita D1 o D2) intera copertura Broof (t2), (t3), (t4) oppure classe di resistenza al fuoco EI 30

I progetti di ricerca

Gli isolanti termici in poliuretano sono ampiamente utilizzati in pacchetti di copertura sotto manti impermeabili bituminosi e sintetici. Allo scopo di valutarne il comportamento all'incendio in condizioni reali di esercizio, ANPE e l'associazione europea PU Europe hanno svolto attività di ricerca e sperimentazione sia su sistemi di copertura e sia sulle possibili interazioni tra sistemi di copertura e impianti fotovoltaici BAPV (Building Applied PV).

Test Broof (t2)

ANPE PU Europe - Laboratorio LS Fire

Nel 2015, in collaborazione con il laboratorio LS Fire, si sono svolte prove comparative per la valutazione del contributo dei materiali isolanti alle prestazioni di resistenza agli incendi di sistemi di copertura utilizzando la norma armonizzata europea UNI EN 13501-5, con la metodologia $B_{\text{roof}}(t2)$ (UNI EN1187)

La comparazione tra sistemi di copertura isolati con lana minerale incombustibile, Euroclasse A1, e pannelli in poliuretano (PIR) di Euroclasse B_{s1-d0} e protetti da una membrana plastomerica TPO classificata $F_{\text{roof}}(t2)$ ha evidenziato comportamenti inattesi. Il pannello in poliuretano testato, grazie alla carbonizzazione della schiuma ed al contributo del rivestimento utilizzato, ha dimostrato di costituire una efficace barriera contro la propagazione delle fiamme limitando il danneggiamento superficiale della membrana ben al di sotto del limite previsto per la classificazione $B_{\text{roof}}(t2)$.

Nel caso del pacchetto isolato con lana minerale, l'incombustibilità dello strato isolante di natura fibrosa non ha impedito al bitume fuso dell'elemento impermeabilizzante di penetrare tra le fibre estendendo la propagazione fino ad interessare l'intera superficie del campione.

Prova Sperimentale di grande scala

PU Europe - Laboratorio KIWA BDA Testing

Nel 2021, presso il Troned Twente Safety Campus nei Paesi Bassi, sono stati eseguiti test sperimentali per valutare l'impatto dei materiali

Video delle prove disponibili al canale YouTube ANPE



Confronto tra i campioni al termine della prova con ventilazione a 4 m/s. A sinistra il campione isolato in lana minerale che non ha superato il test e a destra quello in poliuretano con una zona danneggiata inferiore ai 55 cm previsti per l'ottenimento della classe $B_{\text{roof}}(t2)$. Il test comparativo si è svolto a parità di prestazioni isolanti.

Per una descrizione completa del test:

Atti del convegno ISA Istituto Superiore Antincendi "L'impiego del poliuretano espanso nelle costruzioni. Opportunità e sicurezza antincendio" 24 maggio 2016

Comportamento al fuoco in condizioni reali di esercizio Poliuretano - Luglio 2016

Poliuretano espanso rigido e prevenzione incendi - Studioemme 2015

isolanti sulle prestazioni al fuoco del sistema di copertura, in risposta a un incendio che ha coinvolto un sistema fotovoltaico BAPV, sia in termini di propagazione che di penetrazione del fuoco. I test hanno simulato un incendio esterno sviluppatosi al di sotto di un sistema fotovoltaico installato sopra ad una copertura piana. La fonte di innesco utilizzata era un bruciatore a gas come proposto dalla norma CENELEC CLC/TR 50670:2016 che è stato applicato per 10 minuti.

I due campioni di coperture di 6 m x 6 m, sono stati realizzati con sistemi approvati Factory Mutual composti da: una membrana impermeabilizzante in PVC, lo strato isolante, una barriera al vapore (foglio di PE) un supporto in lamiera con greche riempite dello stesso materiale utilizzato come isolante. I due materiali isolanti sono stati testati a parità di prestazioni termiche:

- isolamento PIR: 1 strato, 142 mm;
- isolamento MW: 2 strati da 130 mm – totale 260 mm



Il sistema fotovoltaico era composto da pannelli fotovoltaici con fogli posteriori in alluminio classificati in classe C secondo IEC 61730-2. I quattro pannelli (dimensioni totali 3,2 m x 1,84 m, angolo al tetto 13°) sono stati montati in una configurazione back-to-back con orientamento est-ovest largamente utilizzata nell'Europa settentrionale e occidentale.

Entrambi i test hanno mostrato un'intensa fase di accensione dei pannelli fotovoltaici con conseguente propagazione autosostenuta della fiamma su parte della superficie del tetto al di fuori del perimetro dell'impianto fotovoltaico. Le fiamme si sono autoestinte, non si sono estese all'intera superficie e l'area di propagazione dell'incendio ha evidenziato modeste differenze tra i due campioni.

Il giorno successivo al test, in fase di smontaggio, si è riscontrato che la barriera al vapore posta al di sotto dello strato isolante era intatta per il campione in PIR mentre risultava parzialmente fusa per quello in lana minerale a causa del raggiungimento di temperature molto elevate (max. 440 °C) e del loro mantenimento per un lungo periodo (350 °C a 140').

CEI - TS 82-89

ANPE - Istituto Giordano

Nel maggio del 2023 è stata pubblicata la specifica tecnica CEI TS 82-89 "Rischio d'incendio nei sistemi fotovoltaici - Comportamento all'incendio dei moduli fotovoltaici installati su coperture di edifici: protocolli di prova e criteri di classificazione", che sostituisce il Rapporto Tecnico CEI 82-89:2021-04, e descrive protocolli di prova e criteri di classificazione per la valutazione del comportamento all'incendio di insiemi costituiti da campioni di modulo fotovoltaico e di pacchetti di copertura.



Campione PIR



Campione MW

Per una descrizione completa del test:

PU Europe Fire performance of thermal insulation products in end use conditions - Comparative fire tests PIR MW under PV systems - in www.pu-europe.eu/pu-europe-factsheets/

Il contributo degli isolanti termici al comportamento al fuoco di tetti piani sotto sistemi fotovoltaici - Poliuretano - Dicembre 2022

Video delle prove disponibili al canale YouTube ANPE

Come forte motivazione allo sviluppo della specifica tecnica è la necessità di valutare, con metodi di media scala e con apparecchiature largamente disponibili, le possibili interazioni tra il comportamento all'incendio della componente impiantistica e quello della copertura su cui è installato, mediante test eseguiti sull'intero sistema; diversamente quindi dalle indicazioni della Linea Guida che prevede la combinazione delle prestazioni riscontrate con prove eseguiti sui singoli componenti (es. PV classe B su coperture $B_{roof}(t_2), (t_3), (t_4)$).

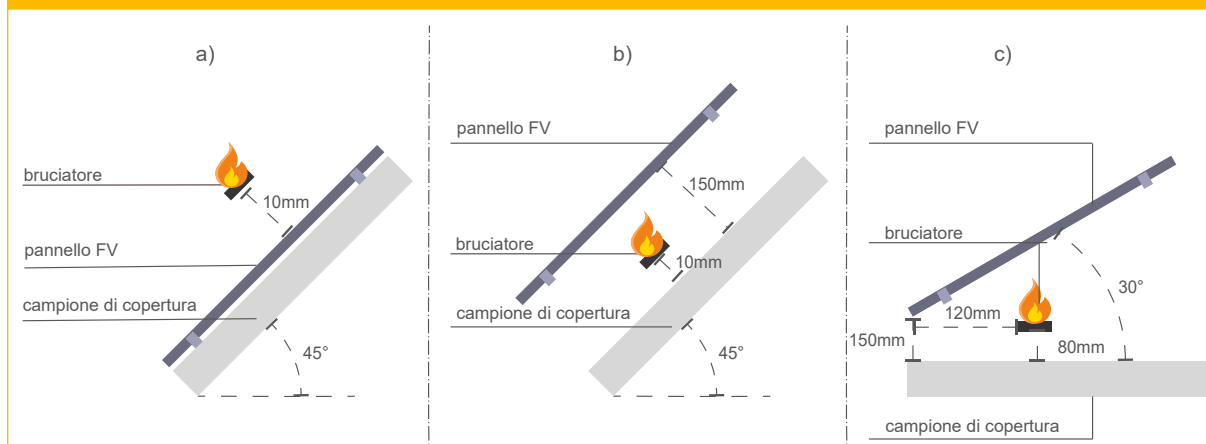
La metodologia sviluppata utilizza l'apparecchiatura di prova della Norma CEN EN 13823 (SBI), prevista dal sistema di classificazione

in Euroclassi di reazione al fuoco, dalla A2 alla E, per i prodotti da costruzione. L'apparecchiatura viene modificata nella componente del bruciatore e dei supporti dei campioni di misura allo scopo di valutare provini con misure 800 x 600 mm composti da pannello fotovoltaico e substrati standard definiti o campioni degli strati ultimi di copertura testata con uno spessore massimo di 50 mm.

Sono previsti tre protocolli di prova, a - b - c che si differenziano per la collocazione del bruciatore, sopra o sotto il modulo PV, e per inclinazione e distanza del modulo dalla copertura (v. figura).

Il sistema di classificazione che ne deriva (v. tabella) considera l'insieme pannello fotovoltaico e

I diversi protocolli di prova previsti dal CEI TS 82-89



copertura ed è riferito sempre ad una condizione di utilizzo specifica. E' quindi possibile che diverse combinazioni dei medesimi componenti del sistema ottengano classi diverse.

Nella primavera di quest'anno ANPE ha sostenuto una sperimentazione secondo il metodo CEI TS 82-89, allo scopo di valutare il possibile contributo di diversi materiali isolanti per il comportamento all'incendio dell'insieme pacchetti di copertura e impianti fotovoltaici.

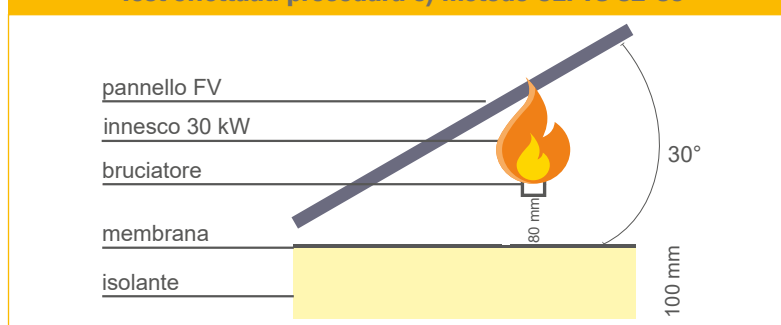
Il test si riferisce a coperture piane ed è stato svolto secondo la procedura c) prevista dal metodo. In tutti i test sono stati utilizzati i medesimi materiali (v. tabella) variando solo la tipologia di materiale isolante.

Come strato ultimo di finitura ed impermeabilizzazione è stata adottata una membrana sintetica TPO, molto utilizzata nel mercato nazionale, dotata di certificazione in sistemi di copertura $B_{\text{roof}}(t2)$. Tutti gli isolanti testati sono idonei per l'applicazione sotto manti impermeabili e si differenziano, oltre che per i valori di conducibilità termica e densità, soprattutto per un range molto ampio di classi di reazione al fuoco: dalla classe E dei pannelli in schiuma PIR rivestiti su entrambe le facce con un

Classi di comportamento all'incendio secondo CEI TS 82-89

	B FV(a,b,c)	C FV(a,b,c)	D FV(a,b,c)	E FV(a,b,c)
FIGRA _{0,4 MJ} [W/s]	≤ 180	≤ 450	≤ 550	>550
THR ₆₀₀ [MJ]	≤ 10	≤ 25	≤ 35	>35

Test effettuati procedura c) metodo CEI TS 82-89



Componenti e stratigrafie testate

Pannello Fotovoltaico

	vetro e back-sheet polimerico - classe reazione al fuoco 2
--	--

Elemento impermeabilizzante di finitura

	Membrana sintetica in poliolefine flessibili (TPO) certificata in sistemi $B_{\text{roof}}(t2)$
--	---

Strato isolante

	Pannello PU (PIR)	Pannello PU (PIR)	Pannello MW (vetro)	Pannello MW (roccia)
Reazione al fuoco Euroclasse	E	B,s1-d0	A2,s1-d0	A1
Spessore	100 mm	100 mm	100 mm	100 mm
Conducibilità Termica dichiarata λ_D	0,022 W/mK	0,025 W/mK	0,037 W/mK	0,037 W/mK
Densità	34 kg/m ³	47 kg/m ³	80 kg/m ³	110 kg/m ³

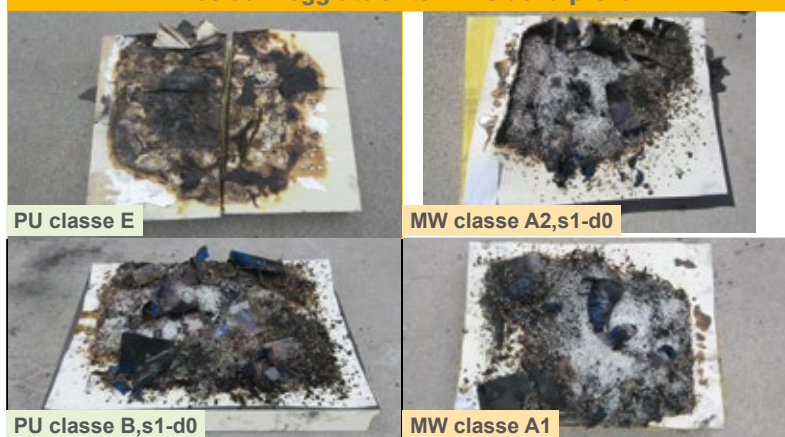
Video delle prove disponibili al canale YouTube ANPE

rivestimento multistrato a base di alluminio, alla classe A1 della lana di roccia incombustibile. Questa scelta è stata motivata dalla necessità di verificare quanto la reazione al fuoco di un singolo componente possa influenzare quella dell'intero pacchetto di copertura in cui è inserito.

Dai test eseguiti si possono desumere le seguenti considerazioni:

- in tutti i sistemi di copertura classificati $B_{\text{roof}}(t_2)$ l'area danneggiata è simile e limitata alla zona interessata dalla caduta di parti incendiate dei pannelli fotovoltaici. In nessun caso il danneggiamento ha raggiunto il perimetro esterno del campione
- il sistema di classificazione previsto dal metodo colloca tutti quattro i provini in classe $C_{FV, c}$ a prescindere dalla reazione al fuoco del materiale utilizzato come strato isolante. Il pannello fotovoltaico testato sul solo supporto incombustibile previsto dal metodo (Calcio Silicato) ottiene la classe B con valori però molto vicini al limite fissato per la classe
- anche le curve relative al rilascio medio di calore registrano un andamento simile con modeste differenze sulla rapidità di crescita e sul tempo di totale estinzione
- il grado di penetrazione dell'incendio sullo spessore dell'isolante è invece sensibilmente diverso. I provini con poliuretano appaiono carbonizzati solo superficialmente mentre per quelli in lana minerale il danneggiamento coinvolge l'intero spessore e per quello in lana di vetro si registra una contrazione dello spessore di circa 20 mm.

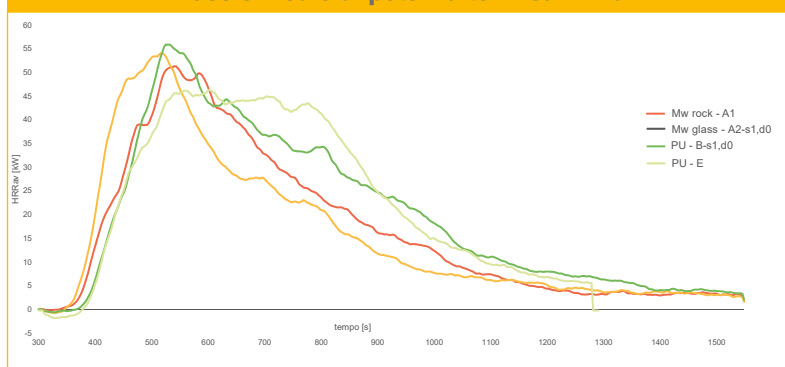
Aree danneggiate al termine della prova



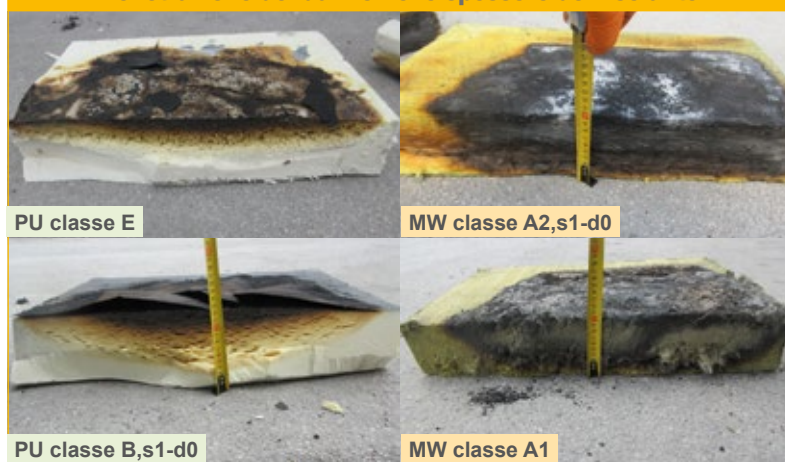
Classificazione dei provini secondo CEI TS 82-89

	PU classe E	PU classe B,s1-d0	MW classe A2,s1-d0	MW classe A1	Solo FV su calcio silicato
FIGRA _{0,4 MJ} [W/s]	195	250	316	225	179
THR ₆₀₀ [MJ]	19	18,3	16,2	16,8	7,7
Classe assegnata	C	C	C	C	B

Rilascio medio di potenza termica HRRav



Penetrazione del danno nello spessore dell'isolante



Video delle prove disponibili al canale YouTube ANPE



Prova Sperimentale di grande scala

ANPE - Istituto Giordano

Nel mese di maggio 2024, presso la sede della cava EMIR Spa di Verrucchio (RM), si è svolta una prova comparativa in scala reale, parzialmente simile, per configurazione e finalità, a quella realizzata da PU Europe e KIWA BDA Testing nel 2021.

Sono state realizzate due porzioni di tetto di dimensioni $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ e la prova è stata condotta in contemporanea allo scopo di evitare che diverse condizioni climatiche e di direzione e intensità del vento potessero rendere poco comparabili gli esiti del test. Il test è stato condotto con le seguenti condizioni meteo: Temperatura $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, Umidità Relativa 68 %, velocità del vento 2 m/s .

Le modalità di installazione dei pannelli fotovoltaici sono rappresentative di quelle più utilizzate in Italia su coperture piane: due file di due moduli ciascuna, distanti tra loro 50 cm e distanziate dal perimetro dei campioni di 1 m lateralmente e di $1,75\text{ m}$ verticalmente (v. schema).

I pannelli FV sono stati applicati con un'inclinazione di 10° rispetto al tetto e con distanza minima tra tetto e pannello di 100 mm e massima di circa 280 mm .

I due campioni sono stati realizzati con gli stessi materiali e le stesse modalità di applicazione con la sola eccezione dello strato isolante costituito da pannelli in poliuretano con classe di reazione al fuoco B,s1-d0 e lana di roccia incombustibile con classe di reazione al fuoco A1.

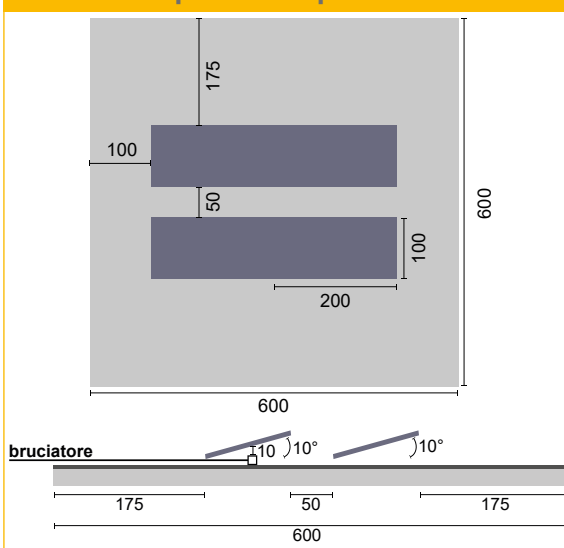
Anche per questa sperimentazione è stata adottata una membrana impermeabilizzante sintetica TPO, sia per fornire dati sperimentali aggiuntivi rispetto a quelli ricavabili dalla ricerca PU Europe (eseguita con membrana in PVC) e sia perché ritenuta particolarmente significativa per il mercato italiano.

I componenti dei campioni sono elencati e descritti nella tabella a lato.

Al di sotto dei pannelli isolanti e sopra la barriera vapore e all'interno dello strato isolante, sono state applicate delle termocoppie per verificare le tempe-

Video delle prove disponibili al canale YouTube ANPE

Schema di posa dell'impianto fotovoltaico



Componenti e stratigrafie testate

Pannello Fotovoltaico		
	vetro e back-sheet polimerico classe reazione al fuoco 2	
Elemento impermeabilizzante di finitura		
	Membrana sintetica in poliolefine flessibili (TPO) certificata in sistemi B _{roof} (t2)	
Strato isolante		
	Pannello PU (PIR)	Pannello MW (roccia)
Reazione al fuoco Euroclasse	B,s1-d0	A1
Spessore	100 mm	100 mm
Conducibilità Termica dichiarata λ _D	0,025 W/mK	0,037 W/mK
Densità	47 kg/m ³	110 kg/m ³
Barriera al vapore		
	in polietilene spessore 0,2 mm	
Doghe per riempimento greche		
	PU B,s1- d0	MW A1
Supporto		
	Lamiera grecata	

rature durante e dopo la prova.

Il bruciatore è stato posizionato centralmente su un solo pannello per tetto e a circa 8 cm di altezza dal tetto.

La prova ha previsto un innesco costante, fornito dal bruciatore, di 15 kW per una durata di 10 minuti. Durante e dopo la prova si sono registrate delle osservazioni qualitative, riportate nella tabella a lato con i riferimenti temporali.

Tra queste si evidenziano:

- La fiamma sul tetto e sul FV si è innescata dopo circa 4 ÷ 5 min.
- L'intensità del vento era di circa 2 m/s e la direzione era tale da far muovere la fiamma dal bruciatore verso il secondo pannello FV adiacente
- La fiamma non si è propagata ai pannelli della seconda fila, rimanendo incanalata tra i due FV e il tetto. La fiamma sul tetto in lana di roccia MW raggiungeva il bordo estremo del tetto danneggiando la membrana anche sullo spigolo, percorrendo dunque 1 m all'esterno dei moduli FV e con altezza di fiamma anche pari ad almeno 1,5 m. Sul tetto in PIR, la fiamma si fermava a circa 5 ÷ 10 cm dal bordo, mostrando molto vigore in uscita dalla canalizzazione creata dai FV e tetto, con importanti altezze di fiamma, come visto per il tetto in MW. È evidente come l'azione del vento sia determinante per la propagazione della fiamma, insieme alla conformazione della cavità/canalizzazione creatasi con l'installazione dei moduli fotovoltaici sul tetto.
- Tra i 20' e i 40', rimanevano delle fiamme flebili sul tetto in PIR al di fuori del corpo del FV mentre sul tetto in MW era presente una fiamma più viva

Tempistica della prova e relative osservazioni

Tempo [h,min,s]	Osservazione Campione PIR	Osservazione Campione MW
0 (h15:05)	Accensione bruciatore	Accensione bruciatore
1 min	Innesco copertura e FV nei pressi del bruciatore	Innesco copertura e FV nei pressi del bruciatore
5 min (circa)		Propagazione evidente su secondo pannello FV
5 min 50 s (circa)	Propagazione evidente su secondo pannello FV	
7 min 30s	La fiamma fuoriesce dall'area del secondo pannello FV, ma senza danneggiamenti della membrana di copertura	La fiamma raggiunge il bordo estremo della membrana di copertura
9 min	La fiamma raggiunge il bordo estremo del tetto; la TPO resta integra però per alcuni centimetri.	Curva incendio in fase calante
10 min	Spegnimento bruciatore	Spegnimento bruciatore
14 min	Fiamme non più sostenute, solo presenza di fiamme flebili fuori dalla zona dei FV	Fiamme non più sostenute, solo presenza nei pressi della zona del bruciatore
47 min	Picco di temperatura sotto l'isolante (95 °C)	
1 h, 35 min		Picco di temperatura sotto l'isolante (192 °C)

nei pressi del bruciatore per una continua interazione tra FV e tetto, con propagazione della fiamma sul FV in senso contrario al vento.

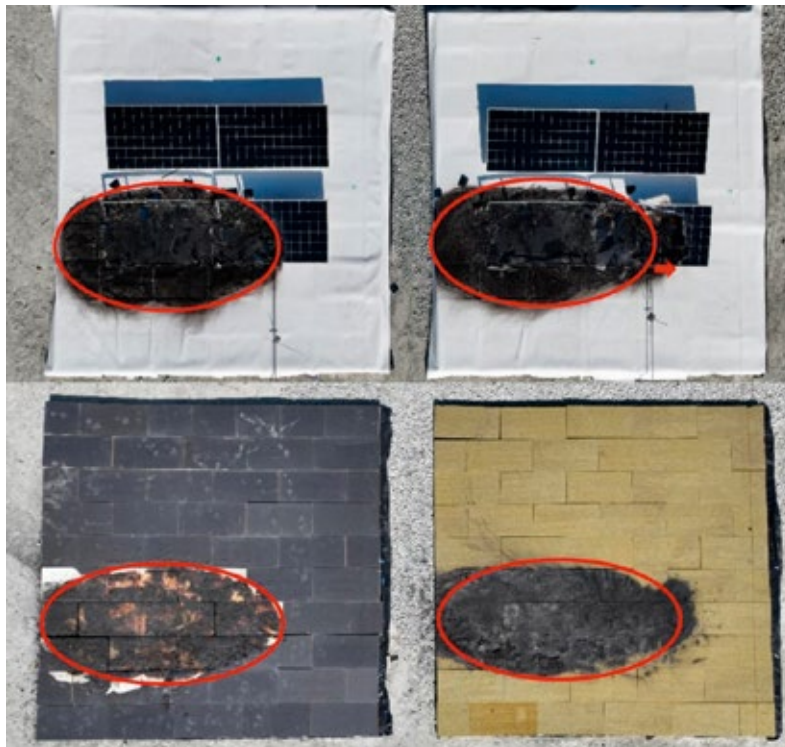
- Rimossi i moduli FV e lo strato di membrana, è stata verificata una propagazione della zona danneggiata simile su entrambi gli isolanti, mentre sullo spessore si è notata una maggiore propagazione verso il basso sulla lana di roccia MW. Dal punto di vista meramente visivo, si notava una zona danneggiata di circa 4-5 cm nel PIR e di 8 ÷ 9 cm sulla lana di roccia MW
- Al di sotto dell'isolante in lana di roccia, la barriera al vapore in polietilene era fusa e anche le doghe in lana utilizzate per il riempimento delle greche mostravano segni di carbonizzazione in più zone. Nel tetto in PIR sia la barriera al vapore e sia le doghe di riempimento apparivano integre ovunque.

Considerazioni conclusive

I diversi progetti di ricerca che hanno previsto la comparazione tra pacchetti costruttivi isolati con poliuretano e altri con lana minerale MW incombustibile hanno consentito le medesime osservazioni:

- In entrambi i casi le coperture B_{ROOF} (t2) hanno limitato la propagazione delle fiamme al di fuori dell'area interessata dall'incendio che si è arrestato autonomamente
- la propagazione delle fiamme è risultata simile e non influenzata dalle caratteristiche di reazione al fuoco dell'isolante
- la natura fibrosa delle lane consente la penetrazione di materiale fuso dello strato impermeabile e determina una maggiore penetrazione delle fiamme e il raggiungimento di temperature più elevate all'intradosso
- la carbonizzazione della schiuma poliuretanica ostacola la propagazione sia laterale e sia verso l'intradosso.

Video delle prove disponibili al canale YouTube ANPE



Le aree danneggiate dei due campioni prima e dopo la rimozione della membrana impermeabile. Sono relativamente simili con una lieve maggiore estensione verso il perimetro esterno dell'area danneggiata del campione in lana minerale MW.



Le curve di temperatura registrate dalle termocoppie. I valori più elevati si registrano per il campione in lana minerale MW motivando il maggiore danneggiamento dello spessore della lana di roccia, la fusione della barriera al vapore e la parziale carbonizzazione delle doghe utilizzate per il riempimento delle greche.

In basso le diverse condizioni della barriera al vapore e delle doghe di riempimento, per il campione in PU, e la perdita, per il campione in lana minerale MW, delle caratteristiche meccaniche.

PU classe B,s1-d0



MW classe A1

