

Sintesi	1
Introduzione	2
Setup sperimentale	3
Scenario d'incendio e	
configurazione del test.....	3
Condizioni ambientali dei test.....	3
Copertura e impianti fotovoltaici.....	3
Dati registrati e osservazioni	4
Propagazione delle fiamme.....	4
Temperature al centro e al di	
sotto degli strati isolanti.....	5
Danni e propagazione dell'incendio	
attraverso il pacchetto di	
copertura.....	6
Sommario e conclusioni	6
Referenze e note	7
Avvertenze	7

Glossario

- BAPV (Building Attached Photovoltaics): Fotovoltaico applicato all'edificio - I moduli fotovoltaici sono collegati all'edificio mediante strutture aggiuntive
- BIPV (Building Integrated Photovoltaics): Fotovoltaico integrato - Prodotti fotovoltaici utilizzati per sostituire il convenzionale materiale da costruzione in parti dell'involucro edilizio come gli elementi di copertura, i vetri, o gli elementi di facciate
- FM: Factory Mutual Compagnia assicurativa
- MW: lana minerale secondo EN13162
- PIR: Schiuma di poliuretano (PU) secondo EN13165
- PV Array: un insieme collegato di pannelli fotovoltaici
- PV panel: singolo pannello fotovoltaico che può essere costituito da diversi moduli fotovoltaici
- TC: Termocoppia

Comportamento al fuoco di isolanti termici in condizioni finali di impiego

Test comparativi per valutare il comportamento al fuoco di isolanti in PIR e in MW installati su coperture piane e sotto impianti fotovoltaici

Sintesi

La sicurezza antincendio è un requisito importante per la progettazione e la costruzione degli edifici.

Sempre più spesso i sistemi fotovoltaici (PV) sono installati negli edifici per contribuire a raggiungere gli obiettivi di risparmio energetico e di riduzione delle emissioni di gas serra (GHG), e per ridurre i costi delle bollette energetiche dei cittadini. In diversi paesi l'installazione di impianti fotovoltaici è diventata obbligatoria per i nuovi edifici e per i grandi stabilimenti industriali. È quindi importante che le autorità di regolamentazione e le compagnie assicurative dispongano di solidi risultati di ricerca che consentano di assumere decisioni informate in base all'analisi del rischio.

Gli isolanti poliuretanici (PIR) costituiscono una scelta di elezione soprattutto per i tetti piani. Oltre alle loro eccellenti prestazioni termiche, la stabilità meccanica dei pannelli isolanti PIR consente l'installazione e la manutenzione sia dei sistemi di impermeabilizzazione sia dei sistemi di impianti fotovoltaici.

Architetti, proprietari di edifici, autorità di regolamentazione e compagnie assicurative devono sapere che, in caso di incen-

dio che coinvolga impianti fotovoltaici, gli obiettivi di sicurezza per i sistemi a tetto piano vengono raggiunti.

Sicurezza antincendio dei sistemi fotovoltaici e degli impianti collegati

Sebbene le normative e gli standard siano stati sviluppati per evitare che le installazioni fotovoltaiche, i relativi cavi elettrici e le apparecchiature diventino una fonte di accensione, i danni causati dalle condizioni meteorologiche e/o la possibile installazione errata rendono ancora possibile il rischio che possa scoppiare un incendio. I sistemi fotovoltaici non sono considerati prodotti da costruzione, pertanto non sono attualmente disponibili requisiti di reazione al fuoco o di marcatura CE per i sistemi fotovoltaici applicati agli edifici ai sensi del Regolamento Prodotti da Costruzione (CPR). Sebbene le prestazioni al fuoco degli stessi sistemi fotovoltaici siano un parametro importante da considerare ulteriormente, questo aspetto non è trattato in questo documento.

Considerazioni aggiuntive per i tetti con sistemi fotovoltaici

In Europa, la propagazione del fuoco al di sopra e all'interno dei sistemi di isolamento e impermeabilizzazione del tetto esposto a una fonte di fuoco esterna può essere

In questa configurazione è stato dimostrato che la scelta di un isolamento non combustibile non è significativa in termini di propagazione del fuoco e danni interni.

valutata e regolata utilizzando uno dei 4 metodi di prova indicati nella CEN TS 1187 [1] e la relativa norma di classificazione EN13501-5 [2]. Per i tetti con impianti fotovoltaici montati al di sopra del pacchetto di copertura, le compagnie assicurative ed alcune autorità di regolamentazione si chiedono se il livello di sicurezza storicamente accettato sia ancora sufficiente per la combinazione di tali sistemi, considerando che il sistema fotovoltaico può rappresentare una possibile fonte di innesco e può aumentare il carico di incendio presente sulla copertura. Inoltre, si teme che gli incendi possano risultare più violenti a causa del maggiore irraggiamento.

Come misura semplicistica di mitigazione del rischio, alcune compagnie assicurative hanno proposto di richiedere, per le coperture dotate di impianti fotovoltaici, l'utilizzo di soli materiali isolanti non combustibili. Per valutare la fondatezza di questa proposta, PU Europe ha commissionato due test comparativi. Sono stati scelti due sistemi di copertura approvati da Factory Mutual (FM) [3], uno coibentato con schiuma poliuretana (PIR) ed uno con lana minerale (MW). I pannelli fotovoltaici sono stati montati sopra il tetto in una configurazione comunemente utilizzata nell'Europa settentrionale e occidentale ed è stato utilizzato un bruciatore a gas come fonte di accensione esterna.

Per entrambi i test, la velocità con cui le fiamme si sono propagate sia sotto i moduli

fotovoltaici e sia sul sistema di copertura, al di fuori dal perimetro dei moduli, è stata simile. Non si è quindi riscontrata alcuna influenza diretta dei diversi strati di isolamento termico.

L'isolamento PIR è risultato carbonizzato solo per poco più del 25% del suo spessore e il tetto si è raffreddato con continuità allo spegnimento dei pannelli fotovoltaici.

Risultato dei test:

- Le coperture al di sotto di impianti fotovoltaici in fiamme possono essere esposte a un elevato livello di calore e irraggiamento;
- Nonostante l'elevata esposizione al fuoco derivante dal bruciatore a gas combinato con la combustione dei moduli fotovoltaici, le prestazioni della copertura con isolamento PIR si confrontano bene con quelle del tetto coibentato MW. La propagazione del fuoco sul tetto che si estendeva oltre e attorno ai sistemi fotovoltaici in fiamme era simile per entrambi i tetti testati;
- In questa configurazione è stato dimostrato che la scelta di un isolamento non combustibile non è significativa in termini di propagazione del fuoco e danni interni.

I risultati qui riportati sono specifici per i sistemi di copertura e per le configurazioni di impianti fotovoltaici che sono state testate.

Introduzione

PU Europe ha incaricato "KIWA BDA Testing" di eseguire test comparativi di due sistemi di copertura approvati FM in combinazione con BAPV.

I prodotti da costruzione commercializzati e applicati nell'Area Economica Europea (EEA) devono essere testati e classificati per quanto riguarda la loro reazione al fuoco e/o resistenza al fuoco per essere immessi sul mercato con marcatura CE. Per i sistemi di copertura sono previsti requisiti specifici per classificare il loro comportamento al fuoco in caso di fuoco proveniente dall'esterno. L'installazione di impianti fotovoltaici sulle coperture potrebbe rendere necessaria l'introduzione di requisiti aggiuntivi.

Gli impianti fotovoltaici che fanno parte integrante dell'involucro dell'edificio, come i BIPV (Building Integrated Photovoltaics) possono essere testati e classificati come prodotti da costruzione secondo CPR (UE) n. 305/2011 (Regolamento Prodotti da Costruzione). Per gli impianti fotovoltaici integrati nelle coperture – chiamati in-roof system – questo significa che essi sono soggetti, come per tutte le coperture, alle

normative nazionali relative ai requisiti di reazione al fuoco (in base alla norma EN13501-1) e, se previsti, a quelli relativi al comportamento della copertura per fuoco proveniente dall'esterno (EN13501-5).

Impianti fotovoltaici montati sopra a coperture finite, come BAPV, non sono considerati prodotti da costruzione in Europa secondo il CPR e sono invece soggetti alla Direttiva Bassa Tensione (2014/35/UE). Tuttavia le autorità edilizie in alcuni paesi hanno introdotto requisiti in merito alla reazione al fuoco dei moduli fotovoltaici montati in copertura: ad esempio la Germania prevede la classe minima E (secondo EN13501-1) l'Olanda sta definendo degli schemi di certificazione relativi all'installazione e alla manutenzione. Alcuni paesi europei stanno valutando l'opportunità di prevedere requisiti e certificazioni aggiuntive.

Recentemente, il comitato di standardizza-

zione europea CEN/TC 127 "Sicurezza antincendio negli edifici" ha avviato i lavori per valutare la necessità di sviluppare uno standard o norma tecnica, che copra gli effetti combinati per la sicurezza antincendio delle coperture e dei moduli fotovoltaici. Inoltre alcune società di assicurazioni, hanno iniziato a valutare possibili requisiti aggiuntivi, per coperture con sistemi BAPV, quali la presenza di soli isolanti incombustibili al di sotto di sistemi fotovoltaici.

PU Europe ha incaricato "KIWA BDA Testing" di eseguire test comparativi di due sistemi di copertura approvati FM in combinazione con BAPV presso il Troned Twente Safety Campus nei Paesi Bassi.

I test sono stati eseguiti nel 2021 per valutare l'impatto dei materiali isolanti testati sulle prestazioni al fuoco dell'intero sistema di copertura, in risposta a un incendio che ha coinvolto un sistema BAPV, sia in termini di propagazione che di penetrazione del fuoco.

I test non avevano lo scopo di valutare prodotti isolanti specifici ma sono stati eseguiti esclusivamente per:

- valutare se sia giustificabile la richiesta generale di utilizzare prodotti isolanti non combustibili nei sistemi di copertura al di sotto degli impianti fotovoltaici, al fine di limitare la propagazione e la penetrazione del fuoco in caso di incendio;
- fornire informazioni generali su come le prestazioni al fuoco di due diversi prodotti isolanti influenzino le prestazioni al fuoco di una copertura piana al di sotto del BAPV

In questo test non sono stati presi in considerazione altri fattori che hanno un impatto sulle prestazioni di una copertura con BAPV quando esposto a un fuoco esterno, come il comportamento della struttura portante dei pannelli fotovoltaici, i dettagli di installazione e la prestazione al fuoco dei pannelli fotovoltaici stessi.

Setup sperimentale



Figura 1: Impianto fotovoltaico su tetto piano dopo l'accensione del bruciatore a gas

Sono stati testati due campioni di coperture di 6 m x 6 m, identici tranne che per lo strato isolante.

Scenario di incendio e configurazione del test

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 CE-NELEC CLC/TR 50670:2016 [4] che è stato applicato per 10 minuti. Questo bruciatore ha dimostrato di fornire un'esposizione al fuoco paragonabile a quella del crib di legna utilizzata in CEN/TS 1187 t1, che rappresenta un tizzone ardente [5].

Le termocoppie sono state installate direttamente sull'impalcato del tetto in acciaio e al centro degli strati del prodotto isolante. Sono state effettuate riprese video per entrambi i test.

Condizioni ambientali dei test

I due test sono stati eseguiti all'aperto lo stesso giorno. La direzione del vento è cam-

biata tra le prove uno e due e si può chiaramente osservare che la direzione del vento ha una forte influenza sulla direzione della propagazione della fiamma sul tetto.

Un'ulteriore differenza tra i due test erano le condizioni ambientali. Il primo test con isolamento MW è stato eseguito al mattino quando l'umidità dell'aria era elevata e la temperatura ancora fresca. Le temperature massime riscontrate prima dell'inizio dei test al centro dello strato isolante erano 13°C per MW e 33,9°C per PIR.



Figura 2: Posizionamento dell'impianto fotovoltaico

Copertura e impianti fotovoltaici

Sono stati testati due campioni di coperture di 6 m x 6 m, identici tranne che per lo strato isolante.

Per i test sono stati scelti sistemi approvati FM che includevano rispettivamente PIR e MW, due tipi di prodotti comunemente usati per l'isolamento dei tetti piani.

I sistemi comprendevano una membrana impermeabilizzante (PVC), uno strato isolante, una barriera al vapore (foglio di PE) installati su un supporto in acciaio. Gli spessori dei due isolanti erano tali da garantire che i due sistemi fossero termicamente equivalenti:

- isolamento PIR: uno strato, 142 mm;
- isolamento MW: 2 strati di 130 mm – spessore totale 260 mm

Il sistema fotovoltaico era composto da

pannelli fotovoltaici con fogli posteriori in alluminio classificati in classe antincendio C secondo IEC 61730-2 [6]. Quattro di questi pannelli (dimensioni totali 3,2 m x 1,84 m, angolo al tetto 13°) sono stati montati in una configurazione back-to-back, che imita la configurazione est-ovest che è sempre più utilizzata nell'Europa settentrionale e occidentale. Per avere uno scenario più critico per una possibile propagazione del fuoco, non c'erano schermature verticali alle estremità aperte dell'impianto fotovoltaico.

Dati registrati e osservazioni

Il danno allo strato impermeabilizzante e alla superficie superiore dello strato isolante è stato simile per entrambi i test.

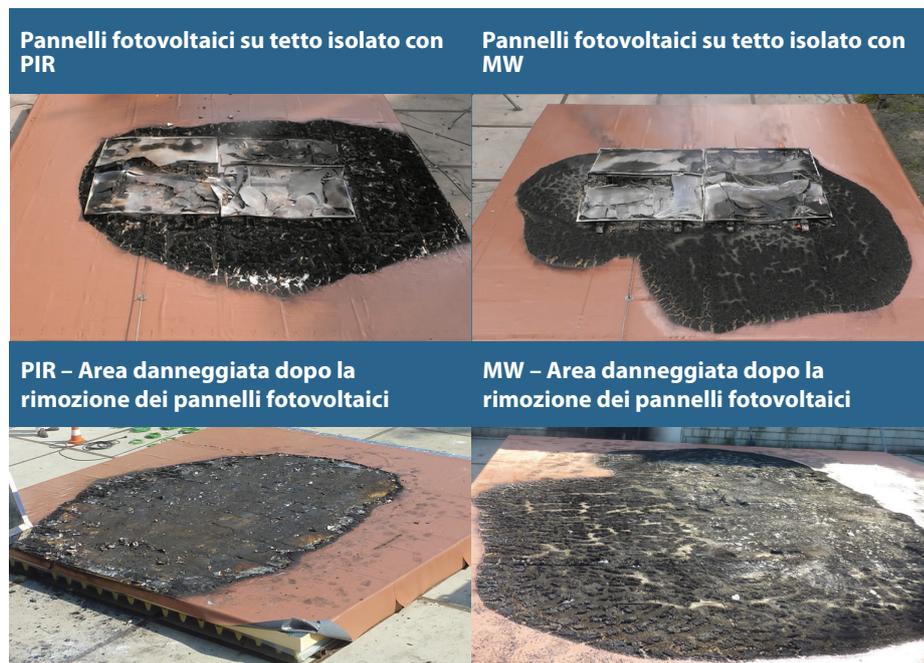


Figura 3: Campioni il giorno dopo il test

Propagazione delle fiamme

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.

Con la configurazione del pannello fotovoltaico scelta, l'esposizione al calore della copertura è stata aumentata dall'intrappolamento parziale delle fiamme sotto il colmo dell'impianto fotovoltaico, dall'irraggiamento dall'impianto fotovoltaico, nonché dal carico di incendio dei pannelli fotovoltaici in fiamme.

La direzione principale del fuoco che si è propagato oltre l'impianto fotovoltaico era diversa nei due test, a seconda della direzione del vento.

L'impianto fotovoltaico e il pacchetto di copertura hanno smesso di bruciare dopo circa 32 min per il campione isolato con PIR e dopo 28 min per quello con MW. Le fiamme si sono autoestinte, senza necessità di intervento esterno, e in entrambe le prove non si sono estese all'intera superficie del tetto.

La **figura 3** mostra come l'area danneggiata delle coperture in entrambi i test sia limitata e molto simile [7].

Temperature al centro e al di sotto degli strati isolanti (v. anche la sezione "Ambiente di prova" per le temperature iniziali e nota [8])

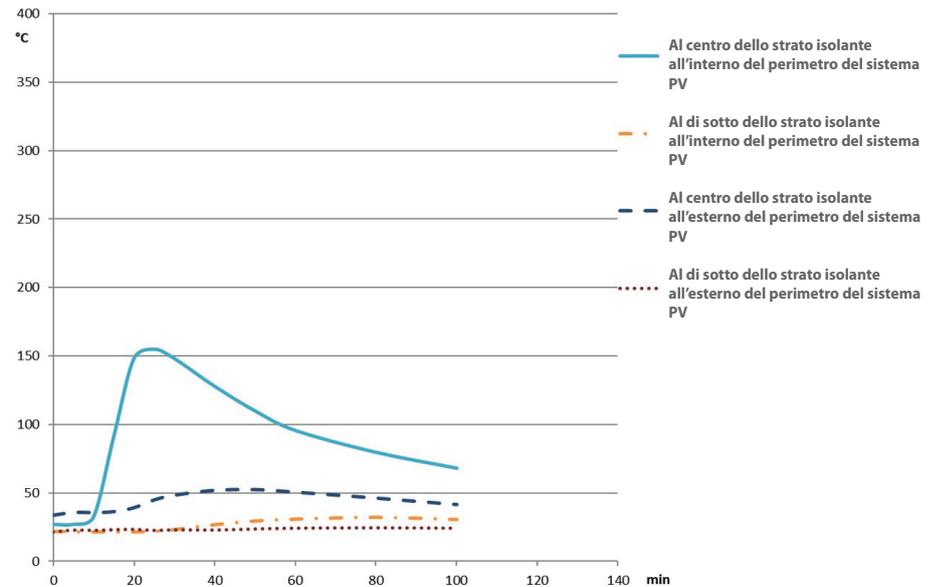
Per il pacchetto di copertura isolato con PIR, all'interno del perimetro dell'impianto fotovoltaico, le temperature al centro dello strato isolante hanno raggiunto i 155°C dopo 23 minuti e dopo questo tempo hanno ini-

ziato a diminuire. Sul supporto in acciaio, al di sotto dello strato isolante, all'interno del perimetro dell'impianto fotovoltaico, è stato osservato solo un leggero aumento (di 10°C) fino a 80 minuti dopo l'inizio del test. L'intero campione di copertura, compresa la struttura in acciaio, ha iniziato a raffreddarsi circa 80 minuti dopo l'inizio del test.

Per la copertura coibentata con MW, all'interno del perimetro dell'impianto fotovoltaico,

la temperatura al centro dello strato isolante ha raggiunto 35°C 30 minuti dopo l'inizio della prova. Sebbene la fiamma visibile fosse cessata circa 30 minuti dopo l'inizio del test, la temperatura ha raggiunto 290°C dopo 80 minuti e stava aumentando ulteriormente. La temperatura massima registrata è stata di 440°C dopo 4 ore all'interno del perimetro dell'impianto fotovoltaico. Le misurazioni notturne sulla struttura in acciaio hanno registrato un picco di temperatura di 190°C.

Copertura isolata con PIR



Copertura isolata con MW

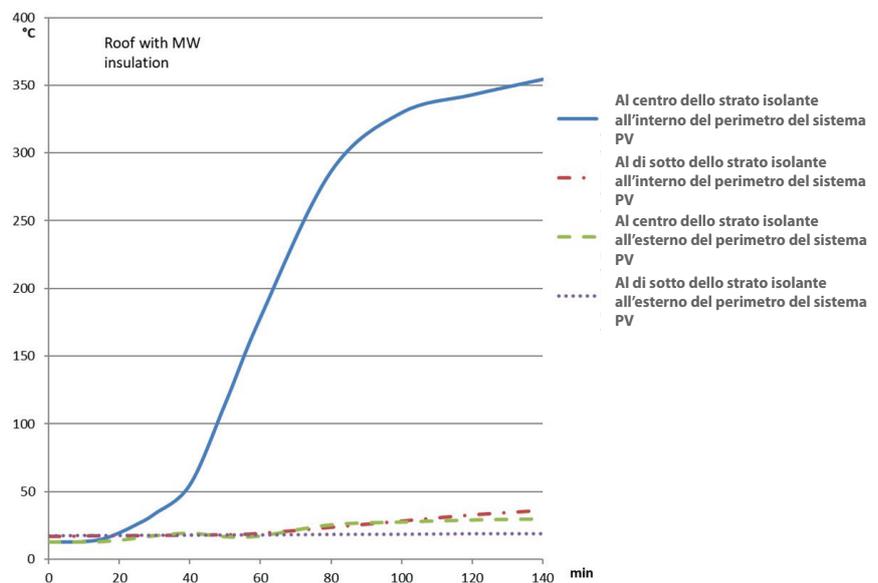


Figure 4: Temperature massime (in °C) registrate dopo l'inizio del test

Danni e propagazione dell'incendio attraverso il pacchetto di copertura

Il danno allo strato impermeabilizzante e alla superficie superiore dello strato isolante è stato simile per entrambi i test.

Il danno attraverso lo strato isolante più in basso nell'isolamento era abbastanza diverso.

Per la copertura isolata con PIR, lo strato di schiuma è risultato carbonizzato solo verso il basso dalla superficie fino a circa il 25% dello spessore totale. La parte inferiore dello strato isolante e la barriera al vapore sottostante sono rimaste intatte. Per la copertura isolata con MW, il danno ha invece raggiunto la struttura in acciaio del tetto causando lo scioglimento della barriera al vapore.

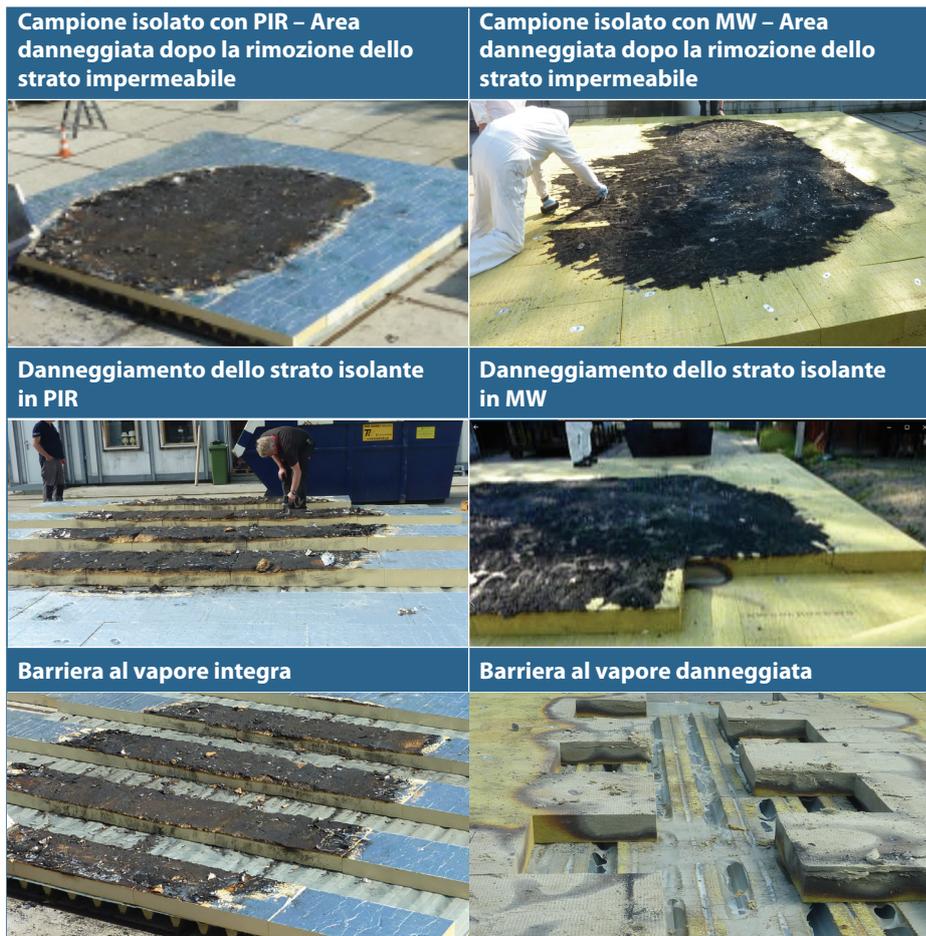


Figura 5: Immagini degli strati isolanti e delle barriere al vapore dopo il test

Sommario e conclusioni

L'area di propagazione dell'incendio ha evidenziato modeste differenze tra i due campioni.

Due sistemi di copertura piana su struttura in acciaio con applicati impianti fotovoltaici montati su tetto (BAPV) sono stati sottoposti ad una prova di comportamento al fuoco proveniente dall'esterno. Si presume che la configurazione del metodo di prova (4 moduli PV in due file di due su una struttura a tetto piano di 6 m x 6 m, acceso con un bruciatore secondo CLC/TR 50670: 2016) sia una rappresentazione ragionevole dello scenario di incendio preso in esame.

La prova ha evidenziato che le prestazioni della copertura con sistema di coibenta-

zione e impermeabilizzazione approvato FM testato con isolamento PIR e una membrana impermeabilizzante combustibile si confrontano bene con quelle di un sistema di copertura simile con isolamento in MW. Al termine della prova per entrambi i campioni non è stato necessario spegnere le fiamme: l'incendio si è estinto senza alcun intervento. L'incendio non si è diffuso su tutta la superficie del tetto, ma gli impianti fotovoltaici sono completamente bruciati. L'area di propagazione dell'incendio ha evidenziato modeste differenze tra i due campioni. Il giorno successivo al test i pac-

chetti di copertura sono stati smontati e 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.

Allo scopo di assicurare una piena conoscenza dei rischi per i sistemi di copertura al di sotto di impianti fotovoltaici potrebbero essere necessari ulteriori prove per verificare che gli incendi non si propaghino attraverso la copertura o oltre il perimetro degli impianti fotovoltaici. L'utilizzo di un metodo di prova significativo per colmare questa lacuna di conoscenza rappresenta un approccio più efficace rispetto alla semplice sostituzione del PIR con un isolamento non combustibile.

Avvertenze

Sebbene tutte le informazioni e le raccomandazioni contenute in questa pubblicazione siano state redatte con la massima cura e rappresentino le conoscenze e le informazioni più accurate a nostra disposizione al momento della pubblicazione, nessuno dei contenuti deve essere interpretato come garanzia di qualità, esplicita o implicita. Questo documento è stato tradotto in italiano da ANPE (Associazione Nazionale Poliuretani Espansi Rigidi) dalla versione inglese pubblicata da PU Europe. In caso di controversia, la versione originale serve da riferimento.

Referenze e note

- [1] CEN TS 1187:2012 Test methods for external fire exposure to roofs
- [2] EN 13501-5:2016 Classification using data from external fire exposure to roofs tests
- [3] FM 4470 Single-ply, polymer-modified bitumen sheet, built-up roof (BUR) and liquid applied roof assemblies for use in Class 1 and non-combustible roof deck construction
- [4] CLC/TR 50670:2016 External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays – Test method(s)
- [5] Bachelor Thesis, Constantin Niederwieser, Entwicklung einer Prüfmethode zur Beurteilung des Brandverhaltens von dachadditiven und dachintegrierten Photovoltaikanlagen, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2013
- [6] IEC 61730-2:2016 Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing
- [7] L'area esatta non è stata calcolata a causa delle differenti direzioni del vento tra le due prove, l'incendio iniziato sotto l'impianto fotovoltaico ha raggiunto il bordo più vicino del sistema di copertura isolata con PIR
- [8] Per la copertura con PIR, l'acquisizione dei dati è stata interrotta quando è diventato chiaro che tutti le termocoppie si stavano raffreddando. Per il sistema con MW, tutte le termocoppie sono state monitorate per un periodo di tempo più lungo, poiché vi è stato un continuo aumento delle temperature