



Guida alla sicurezza antincendio per gli impianti fotovoltaici installati sugli edifici con tetti piani





Guida alla sicurezza antincendio per gli impianti fotovoltaici installati sugli edifici con tetti piani

Grunde Jomaas, Aleš Jug, Nik Rus
Febbraio 2025



Titolo: Guida alla sicurezza antincendio per gli impianti fotovoltaici installati sugli edifici con tetti piani

Autori: Grunde Jomaas, Aleš Jug, Nik Rus

Informazioni sull'edizione:

Informazioni sull'edizione: Edizione digitale.

Disponibile anche in edizione digitale.

Accesso disponibile (URL): <https://www.zag.si/dl/lineaguidaFV.pdf>

Luogo ed editore: Lubiana, Slovenian National Building and Civil Engineering Institute

Anno di pubblicazione: 2025

Titolo della pubblicazione originale: Fire Safety Guideline for Building Applied Photovoltaic Systems on Flat Roofs

© Slovenian National Building and Civil Engineering Institute, 2025

Il progetto FRISSE è stato finanziato dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione Europea con il Grant Agreement n. 952395.

Identificatore internazionale (ISBN): 978-961-7125-13-9 (PDF)

Prezzo: gratuito

Katalogni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 223564035

ISBN 978-961-7125-13-9 (PDF)



Indice

Sommario	1
Ambito di applicazione	2
1. Introduzione	3
2. Rischio di incendio degli impianti FV sui tetti piani	8
3. Tetti piani con impianti FV	13
4. Operatività antincendio.....	19
5. Problematiche generali	22
6. Bibliografia.....	26
7. Note.....	28

Foto di copertina: Incendio del magazzino ASKO a Vestby, Norvegia, nel 2017. Copyright Tor Aage Hansen/ROCKWOOL Group

Il contenuto riflette esclusivamente il punto di vista degli autori. La Commissione europea non si assume alcuna responsabilità per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute nel presente documento. Il presente documento contiene informazioni proprietarie. Né la presente guida né le informazioni ivi contenute possono essere utilizzate, duplicate o comunicate con qualsiasi mezzo a terzi, in tutto o in parte, senza il previo consenso scritto di ZAG. La presente indicazione delle limitazioni non deve essere modificata né rimossa da questo documento. Né la Commissione europea né ZAG sono responsabili per qualsiasi utilizzo delle informazioni ivi contenute





Sommario

L'installazione di un impianto fotovoltaico (FV) sul tetto di un edificio introduce nuovi rischi di incendio o di danni all'impianto. È stato dimostrato che gli impianti FV aumentano le possibilità di innesco incendi in seguito ad un possibile guasto di uno dei componenti elettrici che li compongono. Inoltre, l'installazione di un impianto FV può peggiorare le conseguenze di un incendio in quanto consente alle fiamme di propagarsi più rapidamente e su un'area del tetto più ampia, pertanto aumenta sia la probabilità di un incendio sul tetto, sia le sue conseguenze. Infine, la presenza di un impianto FV sul tetto comporta un cambiamento nelle strategie antincendio, perché crea un ostacolo fisico sostanziale e richiede in fase di intervento, di adottare determinate precauzioni trovandosi in prossimità di un impianto che trasporta corrente continua (CC).



Per riuscire a mitigare le conseguenze degli incendi legati al fotovoltaico e ridurre le probabilità di innesco, è necessario mettere in atto strategie antincendio efficaci. Affinché le misure di sicurezza proposte servano adeguatamente allo scopo, la loro efficacia deve essere verificata facendo riferimento a dati significativi derivanti da sperimentazioni scientifiche o statistiche affidabili. Fino a quando non disporremo di conoscenze sufficienti sulla meccanica dei rischi di incendio e su come mitigarli, sarà necessario adottare un approccio precauzionale nella progettazione.

Per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici sui tetti piani, il rischio incendi può essere mitigato riducendone le probabilità di innesco e le relative conseguenze. Per ridurre il rischio di incendi, sono, quindi, necessarie buone pratiche di installazione e manutenzione. Anche la qualità dei materiali impiegati e la stratigrafia del tetto possono contribuire alla riduzione delle conseguenze di un incendio e garantire la sicurezza dei soccorritori. In merito alla limitazione delle conseguenze di un incendio, le sperimentazioni hanno dimostrato che la guaina del tetto e il tipo di pannello FV installato, contribuiscono in maniera minoritaria alla prevenzione incendi, rispetto alla tipologia di materiale isolante applicato. Pertanto, sia per le ristrutturazioni che per le nuove costruzioni, la raccomandazione principale è quella di utilizzare materiali isolanti non combustibili per impedire che le fiamme si propaghino su un'ampia area ed evitare che il materiale isolante contribuisca all'incendio. Se si prendono in considerazione altre soluzioni, queste dovrebbero dimostrare un'attendibilità simile in sperimentazioni in cui viene testato l'intero sistema (sistema copertura e moduli FV) così come sarà realizzato e su una larga scala che coinvolga diversi moduli.



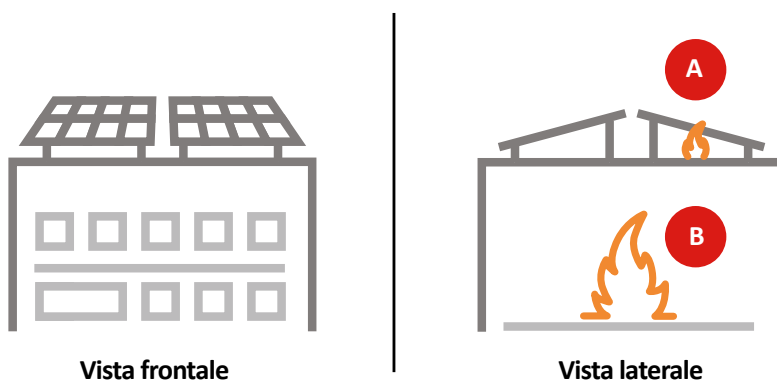
Ambito di applicazione

Nella presente guida l'attenzione si concentra sugli impianti fotovoltaici installati su edifici con tetti piani (BAPV). Gli impianti fotovoltaici integrati negli edifici (BIPV), invece, non saranno trattati in questa guida, sebbene diversi aspetti si applichino anche a tali impianti, in particolare se installati sul tetto. Nei sistemi BIPV installati verticalmente occorre, inoltre, prendere in considerazione anche gli aspetti di sicurezza antincendio relativi alle facciate.

Gli incendi legati agli impianti fotovoltaici sui tetti possono essere classificati in due categorie principali (illustrate nella figura seguente):

A: Incendi con origine sul tetto dell'edificio

B: Incendi con origine all'interno dell'edificio



Poiché gli incendi che hanno origine all'interno dell'edificio dovrebbero essere trattati nei regolamenti edilizi e/o nelle norme antincendio nazionali, in questa sede non verrà approfondito questo aspetto, che tuttavia sarà menzionato in riferimento a una discussione successiva sulla configurazione degli array. Qualora, ai fini della riduzione del rischio incendi, si dovesse prendere in considerazione il caso di un incendio con origine dall'interno dell'edificio, saranno le compagnie assicurative a definirne i requisiti. Nel Regno Unito, ad esempio, potrebbe essere prevista la necessità di effettuare test secondo la norma LPS-1181-1 per l'approvazione da parte del Loss Prevention Certification Board (LPCB). Il superamento di questo tipo di test richiede solitamente una struttura non combustibile della copertura.

Le specifiche di innesco degli incendi sono descritte nel dettaglio in diverse altre linee guida e relazioni, perciò, in questa sede ci si concentrerà maggiormente sugli altri tre aspetti, ovvero la dinamica dell'incendio, la struttura del tetto e l'estinzione delle fiamme.



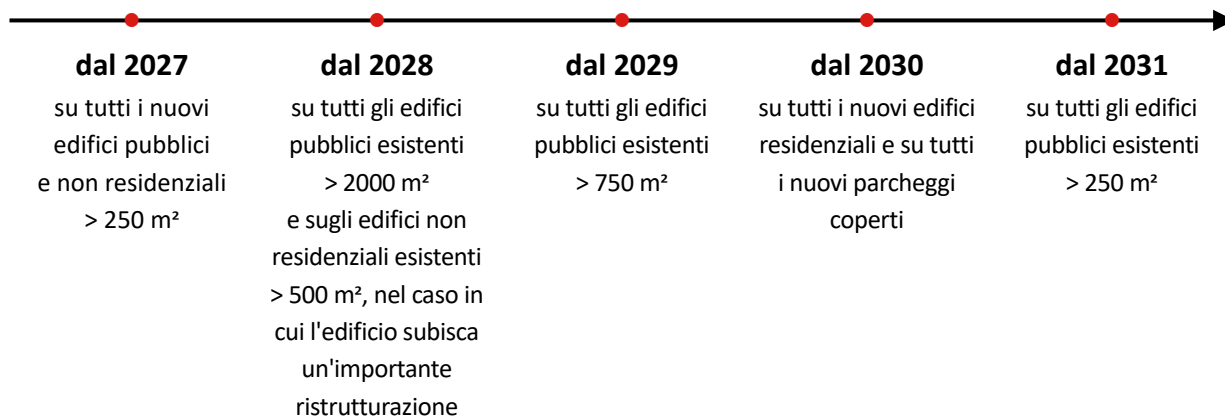
1. Introduzione

Nell'ambito del piano REPowerEU, la Commissione europea ha definito una strategia ambiziosa per rendere obbligatoria l'installazione di impianti per la produzione di energia solare sui tetti di tutti gli edifici. Questa strategia viene ora attuata con la Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD), che in futuro richiederà l'installazione di impianti per la produzione di energia solare sulla maggior parte degli edifici.



Crediti fotografici: www.cambsnews.co.uk e Terry Harris

Gli Stati membri UE assicurano l'implementazione di adeguati impianti di energia solare come segue:



Tutto questo comporterà una trasformazione senza precedenti del patrimonio edilizio europeo e una significativa diffusione della tecnologia dei pannelli fotovoltaici sui tetti. Questa trasformazione ha il potenziale per conseguire benefici significativi dal punto di vista climatico ed energetico, ma porterà anche nuove sfide per la sicurezza che dovrebbero essere previste e affrontate fin dall'inizio. I primi risultati indicano che il rischio legato all'installazione di pannelli FV non è associato solo all'aumento del carico di incendio e alla possibilità di innesco, ma anche al modo in cui un incendio si sviluppa sul tetto. Questo cambiamento nel comportamento degli incendi, se non adeguatamente valutato, potrà aumentare l'entità e la velocità di propagazione delle fiamme e quindi anche l'intensità e le conseguenze degli incendi. Allo stesso tempo, la presenza di corrente continua nei moduli FV e di ostacoli fisici rappresentano un'ulteriore sfida per i vigili del fuoco chiamati a intervenire per domare gli incendi sui tetti.



Le grandi compagnie assicurative internazionali che valutano il rischio incendi negli edifici hanno già riconosciuto i rischi di incendio aggiuntivi derivanti dalla presenza di impianti fotovoltaici installati sui tetti e hanno pubblicato raccomandazioni su come mitigare questi rischi per gli immobili, gli investimenti, la continuità produttiva e le vite umane:

- **Allianz Risk Consulting:** [Fire Hazards of PV systems \(in inglese\)](#)
- **AXA Property Risk Consulting Guidelines:** [PV systems \(in inglese\)](#)
- **RSA Risk Control Guide:** [Photovoltaic Panels \(in inglese\)](#)
- **HIROC Risk Note:** [Rooftop Solar Panel System \(in inglese\)](#)
- **Zurich Article:** [The challenges and risks of solar panels \(in inglese\)](#)
- **IF Article:** [Put your roof to work in a safe manner \(in inglese\)](#)
- **Generali:** [Panneaux photovoltaïques en toitures et risques incendie \(in francese\)](#)
- **FM Global:**
 - [FM 4478 \(update\), Roof-Mounted Rigid Photovoltaic Module Systems \(in inglese\)](#)
 - [Property Loss Prevention Data Sheets, FM Global 1-15 \(in inglese\)](#)

Molte compagnie assicurative riconoscono inoltre che i test esistenti non sono adeguati e che il comportamento degli incendi sui tetti con impianti fotovoltaici non è ancora adeguatamente compreso. Una raccomandazione tipica per i tetti esistenti è quella di limitare la propagazione dell'incendio utilizzando uno strato non combustibile sotto i moduli FV.

L'obiettivo principale è quello di disporre delle giuste condizioni per garantire un'implementazione sicura su larga scala degli impianti fotovoltaici. Le raccomandazioni del settore assicurativo sono generalmente applicate a grandi progetti industriali e commerciali, come i centri commerciali. Tuttavia, queste misure di sicurezza antincendio dovrebbero essere applicate anche agli edifici pubblici multipiano e ad alto rischio, come scuole, musei e ospedali. Le raccomandazioni delle compagnie assicurative non sono ancora state prese in considerazione dalle normative nazionali e dalla legislazione europea.



Statistiche sugli incendi legati al fotovoltaico

Un'analisi ad albero dei guasti (FTA - Fault Tree analysis) condotta da Mohd et al. (2022) sugli incendi sui tetti con impianti fotovoltaici ha stimato 29 incendi per GW di fotovoltaico installato all'anno in UE. Ciò significa che si prevedono decine di migliaia di incendi legati agli impianti fotovoltaici all'anno nella sola UE. Poiché il numero di incendi previsto è così elevato, l'obiettivo di questa guida è fornire indicazioni su come evitare che le conseguenze di un incendio di un impianto fotovoltaico su un tetto diventino significative. Inoltre, Clean Energy Associates (CEA) ha condotto oltre 600 audit di sicurezza sugli impianti FV su tetto. Dagli audit è emerso che il 97% dei sistemi presenta problemi di sicurezza relativi ai rischi di innesco incendi. Maggiori dettagli sui risultati sono riportati nel grafico a barre sottostante. Sulla base di queste indagini, è possibile ipotizzare che almeno un evento di innesco di incendio sia inevitabile nel ciclo di vita di qualsiasi impianto FV. Questi risultati sono in linea con quelli di FM Global, che ha riferito di continuare a riscontrare inneschi e incendi negli edifici che seguono le sue raccomandazioni.

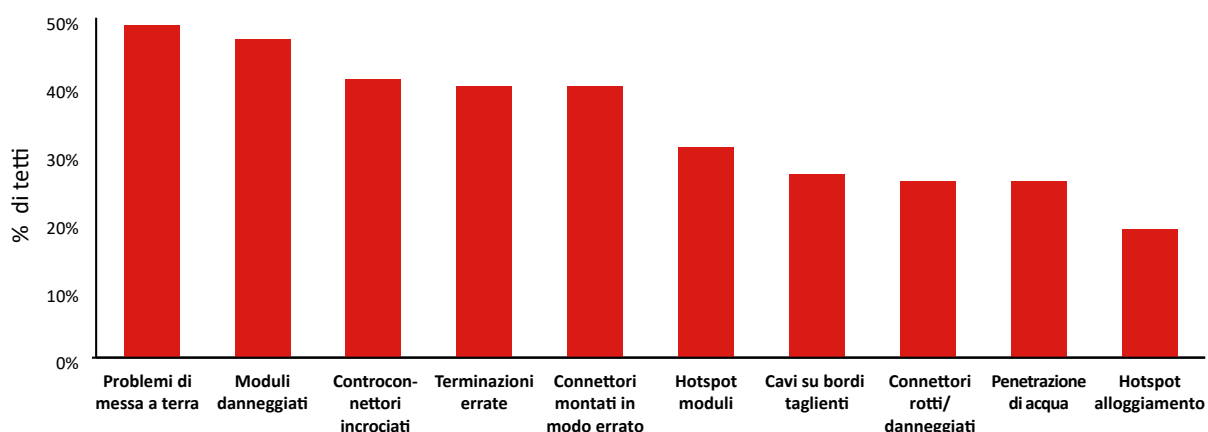
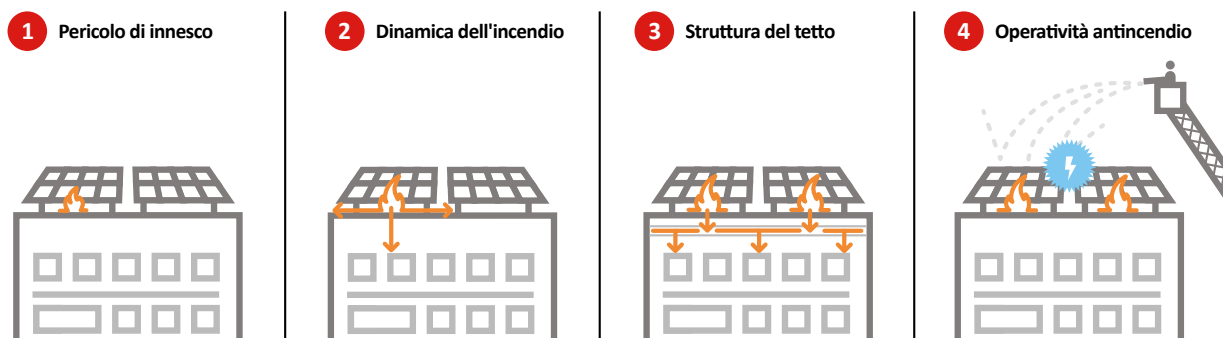


Figura 1: Panoramica dei guasti segnalati da Clean Energy Associates (CEA) (<https://www.cea3.com/CEAblog/top-10-pv-rooftop-safety-risks>) nel 2023.

Tuttavia, quando si tratta di impianti fotovoltaici su tetto, non bisogna solo affrontare il pericolo di innesco. L'installazione diffusa di impianti FV sui tetti ha infatti sollevato preoccupazioni su nuovi rischi di incendio, che generalmente rientrano in quattro ampie categorie, illustrate di seguito.





1 Pericolo di innesco:

Gli impianti FV possono essere oggetto di guasti che comportano rischi di innesco incendi. In numerosi casi, l'innesco è stato associato a guasti elettrici nel cablaggio degli array FV o ad altre cause legate agli impianti FV (ad esempio il deterioramento dei contatti o la sollecitazione dei cavi e dei collegamenti dovuta al movimento dei pannelli FV per condizioni atmosferiche). Il degrado dei sistemi FV è uno dei fattori chiave da affrontare per ridurre il costo dell'elettricità prodotta aumentando la durata operativa degli impianti FV. Anche l'usura dei componenti dell'impianto può avere un impatto significativo sulla sicurezza antincendio (Mohd Nizam Ong et al., 2021).

2 Dinamica dell'incendio:

L'installazione di un impianto FV su un tetto con prestazione antincendio, modifica la dinamica degli incendi. Se si sviluppa un incendio su un tetto con un sistema FV, la presenza dei moduli può trattenere l'energia rilasciata, più vicina al tetto e aumentare le temperature e i flussi di calore verso lo stesso. In questo modo gli incendi, che altrimenti potrebbero rimanere circoscritti, possono progredire più rapidamente e quindi aumentare il rischio di propagazione delle fiamme. L'installazione di un impianto fotovoltaico su un tetto con prestazione antincendio aggiunge ulteriore combustibile alla sua struttura. I moduli FV sono generalmente realizzati con telai in vetro e alluminio e materiali di supporto polimerici e incapsulanti, che aggiungono un ulteriore carico di combustibile al tetto. L'installazione di un impianto FV su un tetto comporta anche la possibilità che l'incendio si propaghi attraverso i lucernari e le pareti antincendio, soprattutto se queste non si estendono sufficientemente al di sopra del livello del tetto.

3 Struttura del tetto:

Gli impianti fotovoltaici possono essere installati su diverse tipologie di tetti. In caso di incendio, il tipo di tetto e i materiali utilizzati interagiscono con i moduli FV installati. Questa interazione può favorire la propagazione dell'incendio sul tetto e il suo sviluppo. Questo scenario è diverso da quello valutato per i tetti privi di impianti FV. Oltre alle parti di copertura del tetto, esistono anche molti tipi di materiali isolanti, ognuno dei quali ha il proprio grado di combustibilità. Le membrane e gli isolanti combustibili possono contribuire allo sviluppo di un incendio e alla propagazione delle fiamme sul tetto; ciò può avvenire anche in un'area nascosta tra l'impianto fotovoltaico e il tetto stesso. A causa dell'interazione tra l'impianto FV e la struttura del tetto, le combinazioni sbagliate di questi elementi possono comportare un elevato rischio di incendio e devono essere oggetto di grande attenzione.

4 Operatività antincendio:

Gli impianti FV rappresentano un ostacolo per i vigili del fuoco alle prese con un incendio. Quando si combattono incendi strutturali infatti, la strategia antincendio prevede la ventilazione dell'edificio. Le tecniche di ventilazione verticale, che spesso comportano l'apertura del tetto in prossimità del colmo nei punti caldi, richiedono un facile accesso al tetto. Rischi elettrici: i sistemi FV e i sezionatori potrebbero non essere correttamente segnalati e i vigili del fuoco potrebbero non riconoscerli (se non vengono spenti, potrebbero alimentare i circuiti anche dopo che l'interruttore generale è stato staccato). Rischi chimici e di esplosione: un incendio può coinvolgere grandi gruppi di batterie di accumulo (BESS) che possono rappresentare un ulteriore pericolo a causa delle sostanze chimiche presenti (ad esempio acido solforico e fluoruro di idrogeno) e di esplosione (idrogeno gassoso).



La probabilità di incendio degli impianti FV sui tetti è legata alla qualità e alla gestione degli impianti stessi, mentre le conseguenze degli incendi sono correlate alla geometria dei pannelli e alla combustibilità del tetto, in particolare allo strato isolante immediatamente sotto la guaina (che solitamente è combustibile). Si noti che l'opzione "nessuno strato di mitigazione" tra un tetto con isolamento in EPS e un impianto FV non è stata inclusa in quanto non dovrebbe essere un'opzione, a causa delle sue conseguenze estremamente elevate, anche nel caso di installazione a regola d'arte.

	Consigliato	Test necessario	Non consigliato
Conseguenza/gravità	Isolamento combustibile • Installatore qualificato • Componenti di alta qualità • Regolare manutenzione 	Isolamento combustibile • Installatore non qualificato • Componenti di bassa qualità • Scarsa manutenzione 	
	Isolamento non combustibile • Installatore qualificato • Componenti di alta qualità • Regolare manutenzione 	Isolamento non combustibile • Installatore non qualificato • Componenti di bassa qualità • Scarsa manutenzione 	
	Probabilità		

Adattato da ZRS:

<https://www.renew-able.co.uk/wp-content/uploads/2024/03/Zurich-whitepaper-Photovoltaic-systems-on-buildings-20231102-US42.pdf>



PRINCIPALI CONCLUSIONI:

Gli impianti fotovoltaici integrati negli edifici (BIPV) e quelli installati sugli edifici (BAPV) sono sistemi diversi, anche per quanto riguarda la sicurezza antincendio.

- La presente guida si concentra sulla sicurezza antincendio di BAPV su tetti piani.

Occorre distinguere tra gli incendi che hanno origine all'interno di un edificio e quelli che si verificano sul tetto con BAPV. La presente guida si concentra su quest'ultimo caso.

Si prevedono molti incendi sui tetti con impianti FV.

- Le ricerche hanno stimato che, per ogni GW di fotovoltaico installato, si verificheranno 29
- Un evento di innesco nel corso della vita utile dell'impianto FV sembra inevitabile. Pertanto è fondamentale gestire e limitare le conseguenze di un incendio.
- L'intero sistema (compresi i materiali che compongono la stratigrafia del tetto), deve essere preso in considerazione poiché le membrane di copertura, i componenti (come i supporti) e i materiali isolanti possono contribuire in modo significativo all'incendio.

Gli aspetti chiave da considerare per la sicurezza antincendio degli impianti FV sul tetto sono:

- Pericolo di innesco
- Dinamica dell'incendio
- Struttura del tetto: tipo di guaina e di isolamento
- Operatività antincendio



2. Rischio di incendio degli impianti FV sui tetti piani

Non ci sono dati sufficienti per distinguere i rischi di incendio associati alle diverse tipologie di impianti fotovoltaici (che si tratti di impianti installati orizzontalmente, rivolti a sud o rivolti a est-ovest), pertanto in questo documento non verrà fatta alcuna distinzione.

Gli esempi seguenti evidenziano alcune delle sfide legate agli incendi sui tetti con impianti FV.

- Bristol (Regno Unito), We the Curious (Millen & Morgan, 2022), causato dall'urto di un uccello contro un pannello. Dopo l'incendio, l'edificio è stato restaurato per i danni causati dall'acqua utilizzata per lo spegnimento dell'incendio. L'edificio è stato riaperto nel mese di luglio 2024.
- McKesson, New Jersey (USA) (Goldman, 2023), propagazione dell'incendio su numerosi array FV.
- Traiskirchen (Austria) (Zach, 2019), complesso industriale in cui sono stati coinvolti più di 50 vigili del fuoco per prevenire la propagazione dell'incendio ad altri edifici.



Bristol, Regno Unito (Millen & Morgan, 2022)

Crediti fotografici: Polizia di Avon e Somerset

Nota: Come indicato nel video di questa notizia:

<https://www.itv.com/news/westcountry/2022-05-12/we-the-curious-in-bristol-to-remain-closed-after-birds-cause-fire>



McKesson, NJ, USA (Goldman, 2023)

Crediti fotografici: Vigili del fuoco di Robbinsville Township

<https://www.facebook.com/RTFD40>



Traiskirchen, Austria (Zach, 2019)

Crediti fotografici: <https://www.facebook.com/einsatzdoku/>



Come illustrato nel grafico ad albero per la sicurezza antincendio, un metodo di analisi dei rischi sviluppato dalla National Fire Protection Association (NFPA), le problematiche da affrontare per evitare le gravi conseguenze di un incendio di un impianto FV su un tetto, sono legate all'innesco e alla propagazione del fuoco.

È importante sottolineare che l'innesco si riferisce tipicamente a guasti a livello di componenti e prodotti, mentre per la propagazione dell'incendio si devono considerare gli effetti a livello di impianto. Sebbene i componenti e i prodotti siano monitorati attraverso test specifici (secondo gli standard di prodotto) e i pannelli siano sottoposti a test di combustibilità, le statistiche mostrano che gli eventi di innesco sugli impianti FV sui tetti sono numerosi e l'interazione tra i componenti rimane una sfida. Ciò indica che il problema dell'innesco è principalmente associato a una qualità insufficiente dell'installazione e della manutenzione. In termini di propagazione del fuoco, non esiste uno standard per testare l'intero sistema, guaina e isolamento sottostante inclusi. Pertanto, questo rimane il principale problema irrisolto relativo alla mitigazione del rischio di incendio degli impianti fotovoltaici sui tetti.

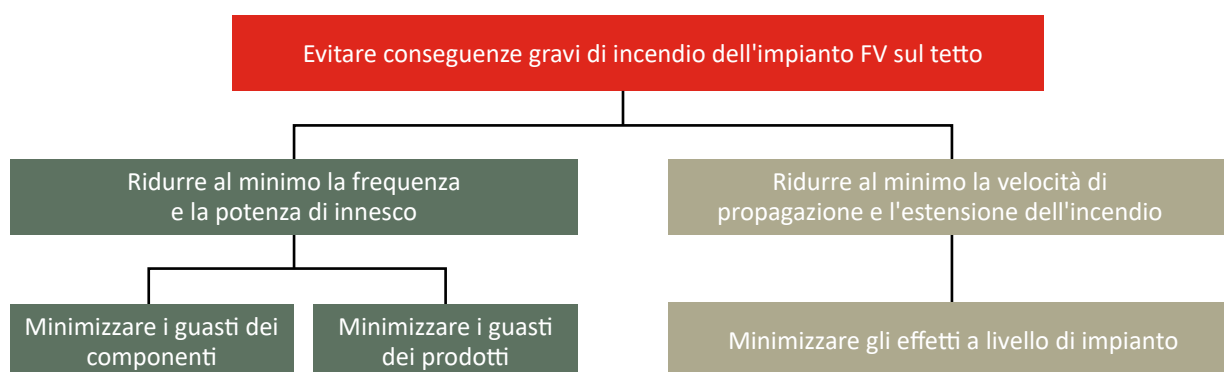


Figura 2: Mappa concettuale della sicurezza antincendio di base (NFPA 550) per gli incendi FV sui tetti.

Innesco dell'incendio

Per garantire che la produzione di energia elettrica avvenga come previsto, ogni impianto FV è costituito da un impianto elettrico completo (reti CA e CC con una serie di componenti/dispositivi elettrici), oltre ai pannelli e al relativo sistema di supporto. Per facilitare la comprensione, la figura 3 mostra lo schema semplificato di un impianto FV. I diversi cavi, le scatole di giunzione, i regolatori di carica, i diodi di bypass e gli inverter compongono l'impianto fotovoltaico. Tutti questi componenti elettrici possono guastarsi per vari motivi, causando una fonte di innesco e il possibile sviluppo di un incendio.

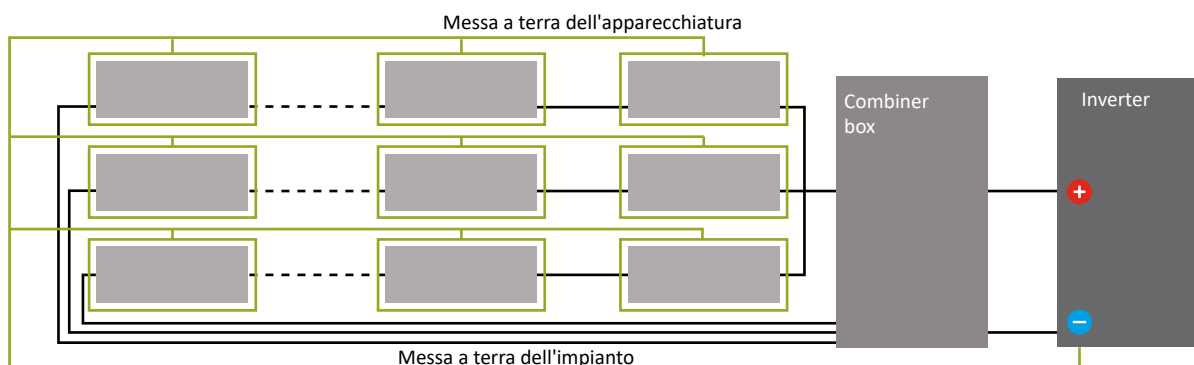


Figura 3: Un impianto FV è un sistema complesso con molti componenti. Ispirato da Alam et al., 2013.



Il guasto che porta all'innesco di un incendio può essere intrinseco ai componenti o esterno a essi. Le cause intrinseche dei guasti di solito derivano da prodotti di bassa qualità (crepe da gelo nel vetro, punti caldi ecc.), da una tecnica di installazione inadeguata o da una manutenzione inadeguata. Le cause esterne di guasto dei componenti variano notevolmente: sporcizia, ombreggiatura, movimento (ad esempio a causa del vento), urti (uccelli, grandine, ...), installazione sotto gronda, particelle di fuoco causate da incendi boschivi, ecc.

È importante sottolineare che la maggior parte di queste fonti di innesco non proviene dal pannello FV stesso, ma da altre aree dell'impianto (figura 4). Dato che la maggior parte degli inneschi identificati si verificano sul quadro elettrico, è questo il punto da proteggere maggiormente. Una soluzione consiste nel monitorare costantemente il calore resistivo eccessivo (ma precedente all'innesco).

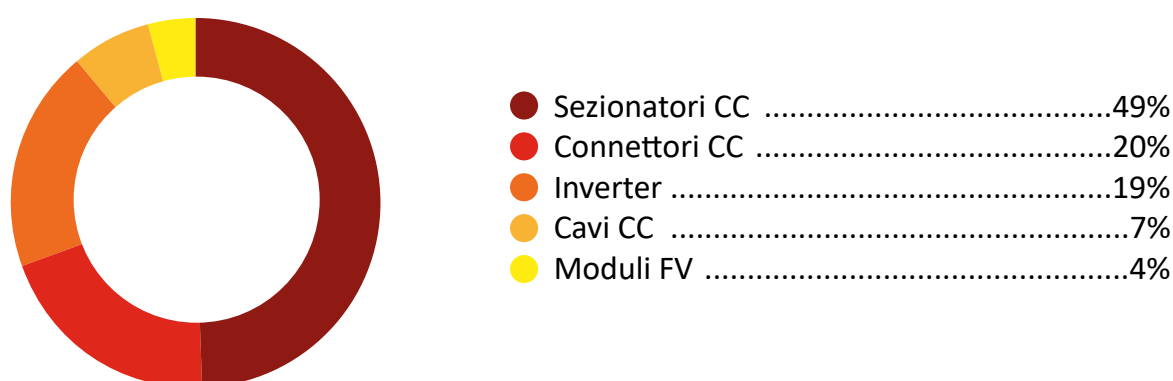


Figura 4: Origine degli incendi correlati al fotovoltaico come riportato da BRE (2017).

Propagazione dell'incendio

La dinamica di un incendio su un tetto con impianto FV è determinata da numerosi fattori. Le ricerche hanno dimostrato che la valutazione del rischio di incendio di un impianto fotovoltaico basata esclusivamente sulla valutazione dei materiali e dei componenti dei singoli prodotti può portare a conclusioni errate. Al contrario, è stato stabilito che per valutare correttamente il rischio di incendio, è necessario trattare l'impianto FV come un sistema composto da diverse parti, ovvero i pannelli, le attrezzature di supporto e la struttura del tetto. A tal fine, il settore assicurativo sta sviluppando delle omologazioni specifiche.

In caso di incendio, la presenza di un impianto fotovoltaico modifica lo scenario perché le fiamme possono essere deviate sotto i pannelli, restituendo una quantità significativa di calore alla superficie del tetto, consentendo così la propagazione delle fiamme laddove altrimenti non ve ne sarebbe quasi nessuna (supponendo che la guaina utilizzata disponga dell'adeguata classificazione antincendio). Le figure 5 e 6 (adattate da Kristensen, 2022) mostrano schematicamente gli scenari senza e con i pannelli installati (questi scenari valgono anche per i pannelli installati con una configurazione piana).



Senza pannello sovrapposto: propagazione della fiamma assente (o trascurabile) oltre l'origine dell'innesco (in questo caso una catasta di legno, utilizzata nelle sperimentazioni, ha confermato questo sviluppo dell'incendio).

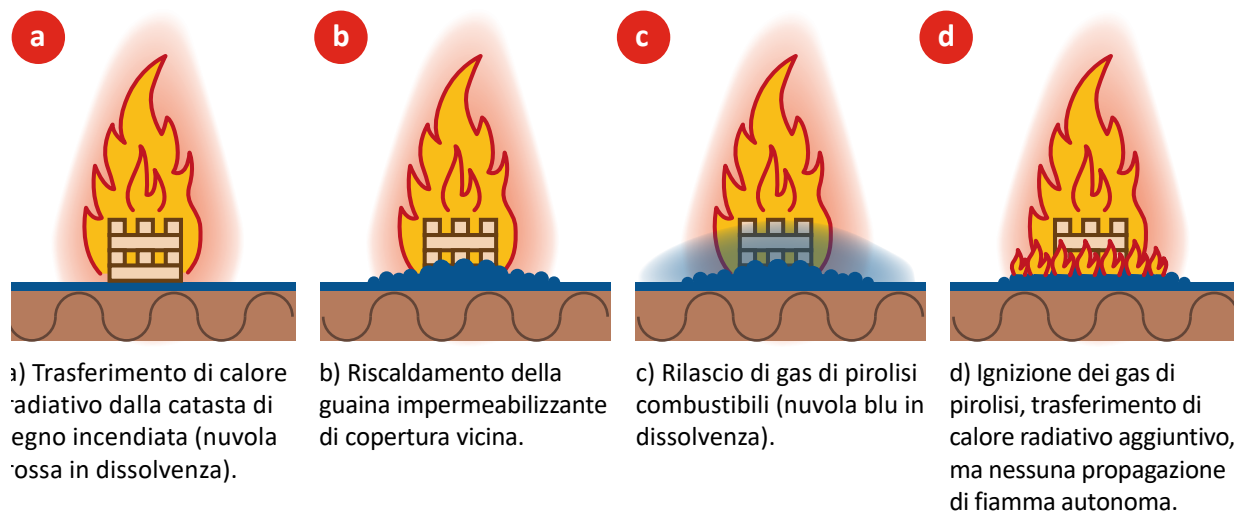


Figura 5: Illustrazione del processo di innesco di un incendio in una catasta di legno sul tetto (guaina blu, isolamento marrone).

Con pannello sovrapposto: significativa propagazione delle fiamme al di sotto del pannello FV. Si noti che la guaina e il materiale isolante sottostante sono gli stessi in entrambi i casi (figure 5 e 6).

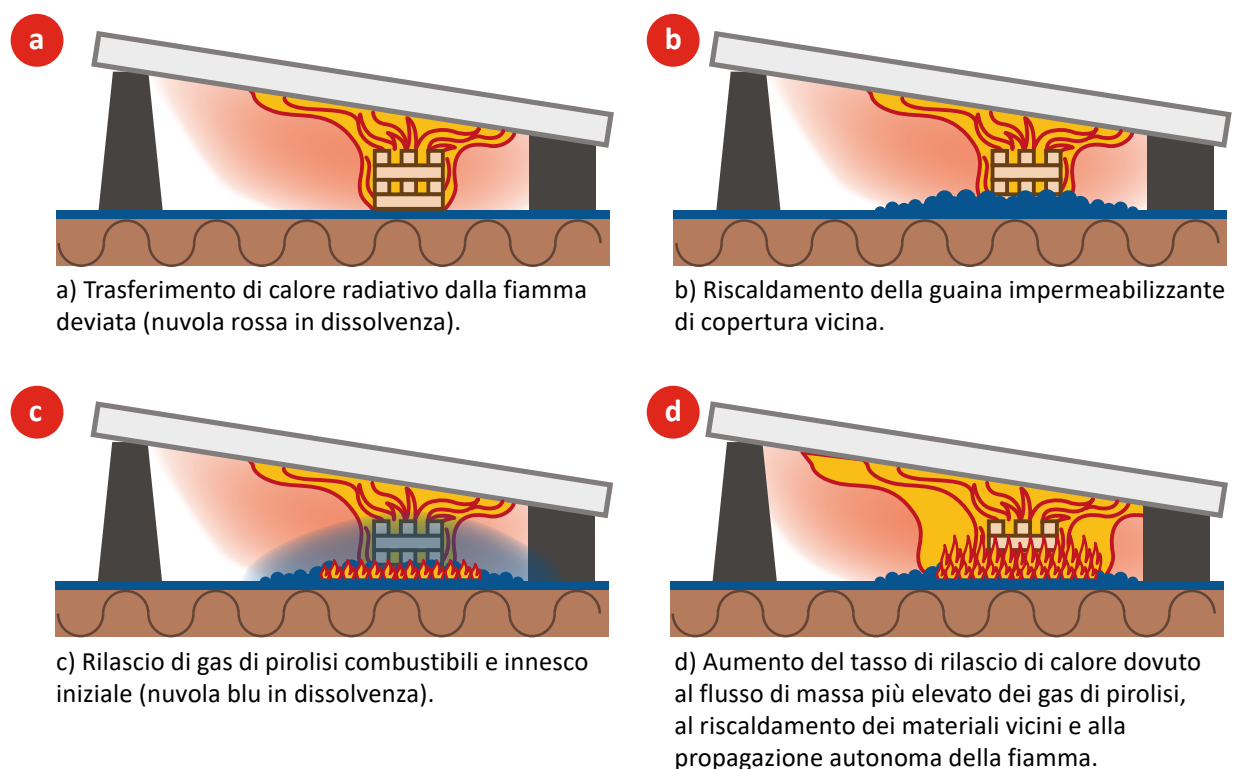


Figura 6: Illustrazione del processo di innesco e propagazione delle fiamme di una catasta di legno al di sotto di un modulo FV (rettangolo grigio inclinato) sul tetto (guaina blu, isolamento marrone).

Le figure 5 e 6 sono state riprodotte sulla base del lavoro di Jens Steemann Kristensen, 2022.



Questi scenari hanno dimostrato l'aumento dell'entità di propagazione dell'incendio oltre a quanto previsto su un tetto altrimenti simile; ciò è stato dimostrato sia in incendi reali che durante le sperimentazioni. Una volta all'esterno dell'area coperta dai pannelli, la propagazione dell'incendio si arresta normalmente a una distanza relativamente breve. La figura seguente (adattata da Kristensen e Jomaas, 2018) mostra le conseguenze delle sperimentazioni eseguite all'aperto con l'impatto del vento reale. L'area grigia nella figura indica l'entità della propagazione dell'incendio.

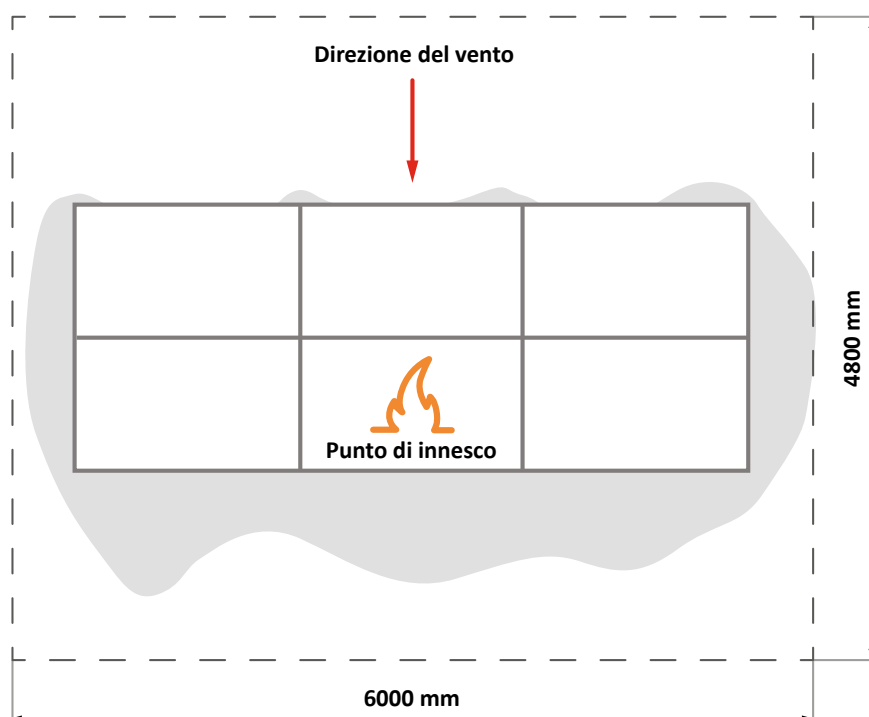


Figura 7: Le sperimentazioni antincendio sui tetti con impianti FV hanno dimostrato che gli incendi in genere non si propagano molto oltre l'area dell'array FV (adattato da Kristensen e Jomaas, 2018). Questi risultati sono generalmente supportati da rilevazioni effettuate sugli incendi reali sui tetti.

3. Tetti piani con impianti FV

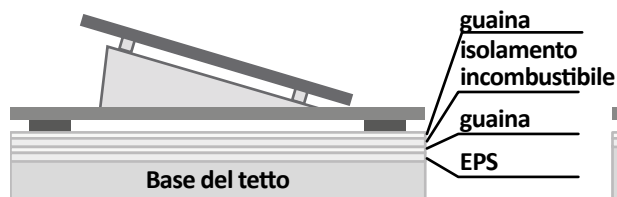
Nel caso degli incendi sul tetto che coinvolgono impianti fotovoltaici, diventa ancora più importante considerare attentamente le caratteristiche della parete tagliafuoco (come dimostrato dall'incendio di ASKO in Norvegia), la posizione degli sfiati sul tetto, la distanza tra gli array FV (c) e le dimensioni degli array FV stessi (a*b).



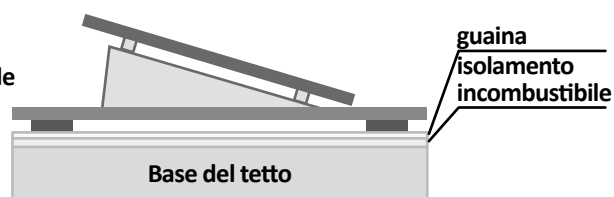
Figura 8: Vista dall'alto di un tetto con (1) parete tagliafuoco, (2) sfiato sul tetto e (3) pannelli FV. Lo sfiato sul tetto deve inoltre rispettare gli standard nazionali per quanto riguarda la distanza dalla parete tagliafuoco.

Per quanto riguarda la struttura dei tetti di edifici con impianti FV, occorre fare una distinzione importante tra riqualificazioni e nuove costruzioni. L'adeguamento di un tetto esistente per ospitare l'impianto fotovoltaico è di gran lunga la pratica più utilizzata, in parte perché è generalmente riconosciuto che è più sostenibile utilizzare tetti/edifici esistenti piuttosto che costruirne di nuovi. Nella figura seguente sono mostrate due tipologie tipiche delle principali strutture dei tetti.

- Nel caso di tetto oggetto di riqualificazione, le ricerche hanno dimostrato che una tipica struttura con EPS e guaina, sulla parte superiore della base del tetto, richiede uno strato di materiale con bassa reazione al fuoco per evitare il coinvolgimento dell'EPS nell'incendio, fattore strettamente necessario per evitare un incendio di grandi dimensioni. Secondo la maggior parte degli standard assicurativi, questo strato di mitigazione è generalmente costituito da un rivestimento isolante non combustibile e una guaina di copertura sulla parte superiore del tetto. Poiché il comportamento del sistema tetto-impianto è fondamentale per la sicurezza antincendio, si raccomanda di verificare le prestazioni di reazione al fuoco dello strato di mitigazione facendo riferimento a dati affidabili provenienti da sperimentazioni o statistiche.
- Nel caso di tetto di nuova costruzione, si raccomanda di evitare l'uso di un isolante altamente combustibile come l'EPS sulla parte superiore della base del tetto. Si suggerisce piuttosto di utilizzare un'alternativa più sicura dal punto di vista antincendio, come un isolante non combustibile e una guaina sopra. Questa raccomandazione si basa sui risultati dei test pubblicamente disponibili, i quali dimostrano che la propagazione del fuoco attraverso la guaina, facilitata dai moduli FV, è indipendente dal tipo di membrana e che gli incendi che ne derivano sono abbastanza significativi da coinvolgere i materiali isolanti combustibili nell'incendio.



Tipica configurazione di un tetto riqualificato



Tipica configurazione di un tetto di nuova costruzione

Guaina impermeabilizzante

Nella tabella seguente sono mostrate le guaine tipicamente utilizzate per i tetti. Prima di essere introdotte sul mercato europeo, esse devono essere testate in conformità alla norma EN 13501-5 (EN 13501-5 Classificazione al fuoco di prodotti ed elementi da costruzione - Parte 5: Classificazione in base ai risultati delle prove di esposizione dei tetti a un fuoco esterno, 2016). Ad esempio, la tabella mostra che il PVC è stato classificato come Broof da tre diversi metodi di prova, poiché nei vari Paesi vengono usati metodi di test diversi. Occorre notare che le classificazioni Broof si ottengono per il sistema tetto, non solo per la guaina.

Le sperimentazioni dimostrano che questa classificazione può essere compromessa quando un pannello FV viene posizionato sopra una guaina, indipendentemente dalla sua tipologia. Ciò è più critico nel caso in cui ci siano piccole altezze tra il piano del tetto e il pannello FV.

Tabella 1: Tipiche guaine per tetti e metodo di prova utilizzato per ottenere la classificazione B_{roof} *

Tipologia di guaina impermeabilizzante	Metodo di prova
TPO (Thermoplastic Poly Olefin)	$B_{roof}(t1)$
TPO/FPA (Flexible Polypropylene Alloy)	$B_{roof}(t1)$
FPO (Flexible Poly Olefin)	$B_{roof}(t2)$
PVC (Poly Vinyl Chloride)	$B_{roof}(t2)$
PVC	$B_{roof}(t3)$
Bitume	$B_{roof}(t3)$
PVC	$B_{roof}(t4)$

Isolamento

Se l'EPS non può essere rimosso da un tetto esistente, è necessario aggiungere uno strato di materiale con bassa reazione al fuoco accuratamente selezionato. La soluzione con questo strato di mitigazione deve essere testata così come verrà realizzata e l'origine dell'innescò deve essere sufficientemente grande da creare un incendio insignificante al di sotto del pannello FV.



L'isolamento svolge un ruolo importante nel trattenere o dissipare il calore prodotto dall'incendio. Se l'isolamento consente una propagazione più rapida del calore nella struttura del tetto, si conserva meno calore a livello della combustione e si riduce la velocità di propagazione dell'incendio. Viceversa, se l'isolamento permette un minor passaggio di calore nel tetto, ne verrà preservata una maggiore quantità nel punto di combustione e il tasso di propagazione dell'incendio aumenterà. Si noti che una velocità di propagazione del fuoco più rapida potrebbe essere auspicabile, in quanto può contribuire a proteggere, ad esempio, uno strato di EPS sottostante. Questo, tuttavia, presuppone che l'incendio si arresti sul perimetro dell'array FV, cosa che potrebbe non verificarsi nel caso di guaine impermeabilizzanti con comportamento di gocciolamento/fusione (ad es. bitume).

Inoltre, se la trasmittanza termica (valore U) delle diverse soluzioni isolanti sottostanti è equivalente, i contributi in termini di trasferimento di calore nella dinamica dell'incendio da parte dei diversi materiali isolanti dovrebbero essere gli stessi. Tuttavia, anche a parità di valore U dei materiali isolanti, si osserva un comportamento diverso se si considera la durata dell'incendio.

Le sperimentazioni di Kristensen e Jomaas hanno dimostrato che gli incendi di lunga durata sono in grado di compromettere i materiali isolanti combustibili, consentendo potenzialmente all'incendio di propagarsi dall'involucro dell'edificio all'interno dello stesso. Per questo motivo, nell'installazione di un impianto fotovoltaico in copertura, non si può prescindere da una valutazione della configurazione dei tetti esistenti e delle nuove soluzioni progettuali. La scelta del materiale può comportare differenze significative in termini di sicurezza antincendio. Quando si apportano modifiche a un edificio esistente, spesso le conseguenze sulla sicurezza antincendio non vengono considerate allo stesso livello di quelle valutate per un nuovo edificio.

In fin dei conti, si tratta di ridurre i rischi e, quando sul tetto sono presenti materiali isolanti combustibili, bisogna essere consapevoli che questo comporta un carico di combustibile più elevato, il quale può contribuire alla propagazione di un incendio.

Tipologie di moduli fotovoltaici

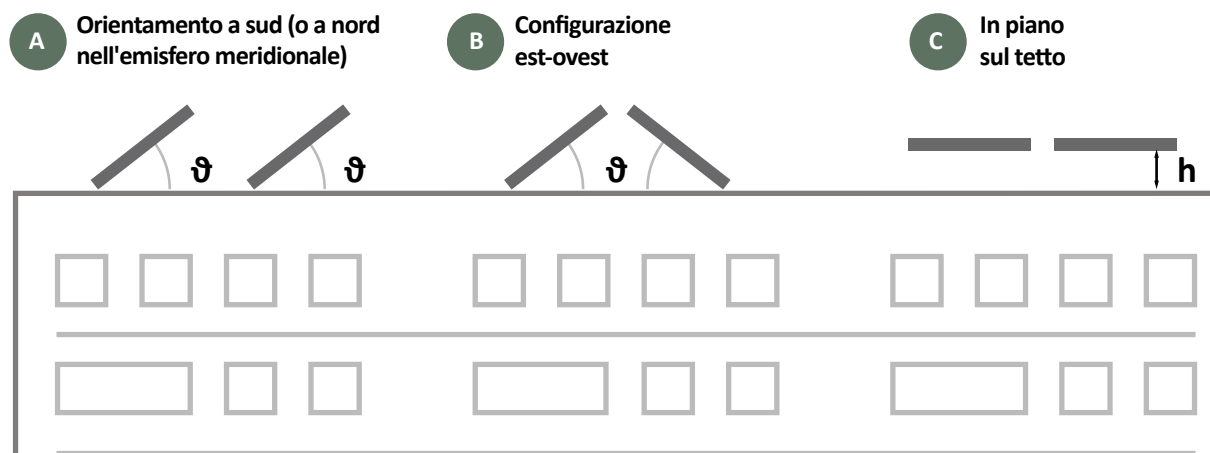
Esistono diverse tipologie di moduli FV, ad esempio vetro-film (UL 790 classe C), vetro-vetro (UL 790 classe C), vetro-vetro (UL 790 classe A). Sebbene vi possano essere alcune differenze nella propagazione dell'incendio in relazione alle diverse tipologie di moduli FV, tutte avranno un impatto sulla propagazione delle fiamme. Le sperimentazioni hanno infatti dimostrato che anche una lastra di acciaio ha prodotto una dispersione simile a quella di un modulo fotovoltaico. Pertanto, la riduzione del rischio non dovrebbe basarsi solo sulla scelta del pannello FV.

I moduli FV svolgono un ruolo essenziale nella propagazione degli incendi sui tetti. Questi pannelli possono essere una delle fonti di innesco o semplicemente essere coinvolti in un incendio originato all'esterno dell'impianto. La presenza dei pannelli FV contribuisce in modo significativo al peggioramento delle conseguenze di un incendio sul tetto, rispetto a quello che può verificarsi su coperture sprovviste di pannelli FV. I seguenti punti spiegano nel dettaglio come la scelta e il posizionamento dei pannelli solari e degli elementi circostanti su un tetto, influiscano sul rischio di incendio dell'edificio.

Gli impianti FV sono generalmente installati con tre diversi orientamenti (come mostrato di seguito in una vista laterale semplificata di un edificio con pannelli FV su tetto piano). Anche i pannelli verticali



stanno ricevendo sempre più attenzione e i test iniziali hanno dimostrato che questo orientamento non comporta lo scenario di propagazione dell'incendio mostrato nella figura 6 (Jomaas, Simakovs e Rus, 2024; Bellini, 2024).



Vista laterale

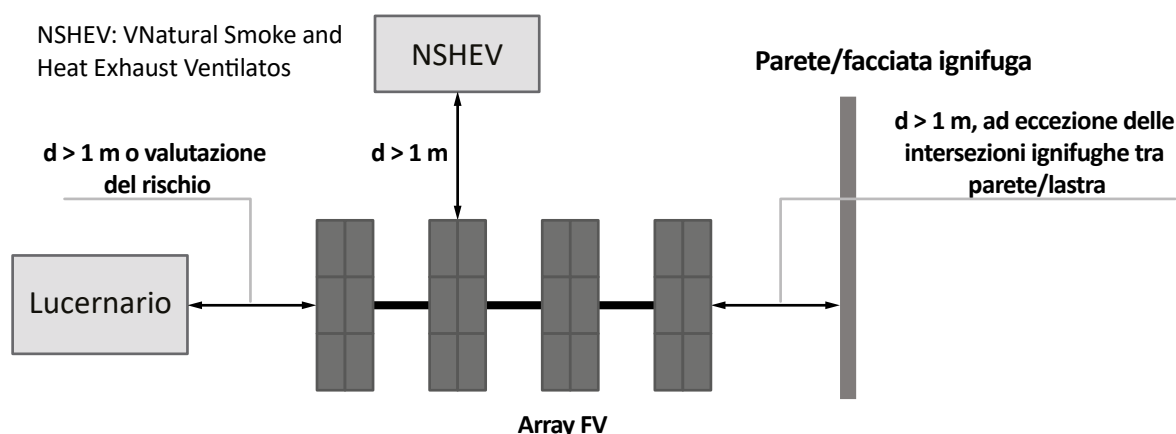
Geometria dei pannelli fotovoltaici

I parametri decisivi sono l'altezza di installazione dei moduli rispetto al manto di copertura e l'inclinazione dei pannelli. Quanto minore è l'altezza del pannello rispetto al manto di copertura, tanto maggiore è la quantità di calore trasferita al materiale di copertura, con un conseguente e più rapido aumento delle dimensioni e della velocità di propagazione dell'incendio. La ricerca condotta da Kristensen et al. (2020) ha dimostrato che esiste un'altezza critica d'installazione, ovvero che a una certa altezza il comportamento dell'incendio è quasi equivalente a quello di un tetto in cui non sono presenti pannelli. Se le guaine impermeabilizzanti di copertura sono scelte correttamente, l'installazione dei pannelli ad un'altezza che supera questo valore (che deve essere stabilito per l'intera struttura) comporterà un rischio di incendio notevolmente ridotto.

L'inclinazione dei pannelli introduce una forma di effetto camino, che, apportando maggiori quantità di ossigeno, aumenta ulteriormente il tasso di propagazione delle fiamme. La propagazione più rapida delle fiamme comporta in genere ad una durata complessiva dell'incendio più breve, esponendo la struttura del tetto al calore per meno tempo, con conseguenze potenzialmente minori (poiché il rischio di propagazione nella struttura del tetto è ridotto).

Configurazione degli array

Diverse linee guida nazionali prevedono requisiti per le distanze tra gli array FV e per le dimensioni massime degli stessi. Pertanto, si riconosce l'importanza del fattore della distanza e si ammette che i pannelli fotovoltaici influenzano la propagazione degli incendi sui tetti. Un esempio dall'Italia (Cancelliere et al., 2016) è mostrato nella figura seguente, dove sono indicate le distanze tra gli array e le pareti tagliafuoco, i lucernari e gli sfiati di fumo e calore. Questi numeri variano leggermente da Paese a Paese. Sarebbe pertanto auspicabile una maggiore uniformità di questi requisiti per gli impianti. Si noti inoltre che tale standardizzazione dovrebbe basarsi sulle ricerche e che le distanze dovrebbero essere diverse per gli impianti FV con variazioni nella struttura del tetto e nella geometria dei pannelli FV.



Nella maggior parte dei documenti delle compagnie assicurative e dei consulenti per la sicurezza sono state rilevate due misure (mostrate nella tabella seguente), ovvero l'area di ogni array e la distanza tra di essi. L'area prevista per gli array va da 40 m x 40 m a 45 m x 45 m, mentre la distanza tra gli array deve essere compresa tra 1 m e 2 m, a seconda di alcuni requisiti aggiuntivi specificati nelle singole linee guida.

Tabella 2: Dimensioni consigliate per gli array e distanza attorno agli stessi, come indicato in varie linee guida.

Fonte	Dimensioni degli array	Distanza tra gli array e altri elementi sul tetto
Allianz	45 m x 45 m	1,2 m
AXA XL	45 m x 45 m	1,2 m o 1,8 m ¹
RSA Insurance	46 m x 46 m	1,2 m
SZPV	40 m x 40 m	1,0 m o 2,0 m ²
BVS ³	fino a 1,800 m ² (circa 42 m x 42 m)	1,0 m o 2,0 m ⁴
VdS 2234	40 m x 40 m	> 5 m

1. Per la distanza dal bordo del tetto all'impianto FV, il requisito è di 1,2 m per tetti di lunghezza o larghezza inferiore a 75 m e 1,8 m per tetti di lunghezza o larghezza superiore a 75 m.

2. Per i tetti piani di dimensioni superiori a 40 m x 40 m, gli array devono essere limitati a un massimo di 40 m x 40 m. Tra il bordo del tetto e tale campo deve essere presente una striscia di accesso larga almeno 1 m. Tra due di questi array deve essere presente un passaggio libero di almeno 2 m di larghezza.

3. Il documento è relativo solo ai tetti con un'area superiore a 1800 m².

4. 1 m per i casi con superficie del tetto non combustibile (ad esempio superficie di ghiaia di 5 cm di spessore) e se il rivestimento del tetto è combustibile (anche classificazione B_{roof}(t1) senza protezione con una superficie di ghiaia di 5 cm di spessore), deve essere mantenuta una distanza orizzontale di 2 m.

L'incendio di ASKO in Norvegia ("Brannen i ASKO-bygget" 2017) ha avuto origine da un carrello elevatore in carica. Questo caso è un ottimo esempio di un incendio iniziato all'interno di un edificio e influenzato dalla presenza dell'impianto FV. L'incendio all'interno di un vano si è diffuso attraverso il tetto, propagandosi lungo di esso, dove erano installati i pannelli FV, per poi estendersi fino a un altro compartimento. L'impianto FV e la mancata estensione della parete tagliafuoco al di sopra del livello del tetto sono stati entrambi aspetti significativi per quanto riguarda il propagarsi dell'incendio.



L'incendio ha causato la perdita di 9.000 m² di superficie su un totale di 100.000 m², pari a un valore di circa 200 milioni di NOK (secondo gli aggiornamenti recenti, il valore è raddoppiato a causa dell'interruzione delle attività e della logistica). Grazie al tempestivo intervento dei vigili del fuoco, l'incendio è stato circoscritto al solo deposito di congelatori del magazzino.

L'incendio di ASKO in Norvegia si è propagato su molti array e anche sulla parete antincendio interna, compromettendo così la compartimentazione prevista.



Crediti fotografici: Incendio del magazzino ASKO a Vestby, Norvegia, nel 2017. Copyright Tor Aage Hansen/ROCKWOOL Group



Anche l'incendio del centro di distribuzione Lidl di Peterborough, nel Regno Unito, nel febbraio 2024, si è propagato attraverso molti corridoi di separazione. Inoltre, la direzione di propagazione dell'incendio indica come, in una configurazione orientata a sud, la diffusione del fuoco attraverso un corridoio di separazione sia più facile sull'estremità superiore del pannello inclinato (verso sinistra nella foto). Anche la direzione del vento al momento della foto ha favorito la stessa direzione. Infine, i basamenti in polipropilene (ovvero combustibili) sembrano aver contribuito alla propagazione dell'incendio, in linea con i risultati di Kristensen e Jomaas (2018).

Crediti fotografici: CambsNews/Terry Harris



PRINCIPALI CONCLUSIONI:

- Il rischio di incendio sui tetti con pannelli FV è maggiore.
- La valutazione della sicurezza antincendio di un impianto FV deve essere effettuata a livello dell'intero impianto tetto-pannelli FV, poiché i singoli elementi non presentano necessariamente un rischio completo. Il rischio reale, infatti, emerge dalla combinazione dei diversi elementi, che pertanto devono essere valutati come sistema.
- I parametri fondamentali che regolano la dinamica di un incendio correlato al fotovoltaico sono:
 - altezza di installazione del modulo FV rispetto al manto di copertura
 - inclinazione dei pannelli
 - struttura del tetto (guaina, materiali isolanti, ecc.)
 - configurazione degli array (dimensioni dei singoli array e distanza tra gli stessi)
- La tipologia di pannello FV non è un fattore significativo quanto i parametri di cui sopra.
- Tutte le guaine impermeabilizzanti vengono coinvolte nell'incendio e ne provocano la propagazione oltre il punto di origine quando sono posizionate sotto i pannelli fotovoltaici (che sono sufficientemente vicini alla superficie del tetto).
- Sulla base di quanto sopra, per ottenere una significativa riduzione del rischio incendio, si consigliano materiali isolanti e supporti non combustibili.



4. Operatività antincendio

Le sfide legate al successo e alla sicurezza delle operazioni di spegnimento degli incendi in caso di presenza di impianti fotovoltaici sul tetto sono in gran parte le stesse sia che l'incendio abbia inizio all'interno dell'edificio che sul tetto. In generale, l'estinzione degli incendi richiede:

1. Accesso sicuro al tetto
2. Operazioni di soccorso in sicurezza sul tetto
3. Applicazione efficace degli agenti estinguenti (acqua, schiuma ecc.)



Immagine dell'incendio su un tetto a Robbinsville, New Jersey, USA, con vigili del fuoco in azione.

Crediti fotografici: Edmund Haemmerle

L'installazione di un impianto FV sul tetto può interferire con tutti questi aspetti. Pertanto, è essenziale garantire quanto segue:

- 1 Nessun pannello FV installato in prossimità del perimetro del tetto su nessun lato e corridoi privi di pannelli FV per consentire un percorso pedonale ininterrotto da qualsiasi punto di accesso sul tetto.
- 2 Estensione delle pareti tagliafuoco per evitare lo sviluppo imprevisto degli incendi, struttura del tetto sufficientemente resistente e spegnimento dell'interruttore elettrico generale per ridurre i rischi di elettrocuzione.
- 3 Per essere efficace, l'applicazione degli agenti estinguenti deve avvenire da vicino in quanto i pannelli FV ostruiscono il flusso degli agenti stessi. Questo aspetto è quindi collegato ai due requisiti precedenti. Se i fattori ambientali sono oggetto di particolare preoccupazione, questo aspetto diventa ancora più cruciale, poiché la quantità di acqua utilizzata deve essere limitata.

I pannelli FV producono quantità potenzialmente letali di elettricità in corrente continua (CC) ogni volta che sono esposti alla luce, ovvero la loro fonte di energia. Tutti i sistemi FV includono interruttori di isolamento, la maggior parte degli inverter è dotata di apparecchiature di rilevamento guasti ad arco e alcuni impianti FV sono dotati di sistemi elettronici aggiuntivi progettati per monitorare e "disattivare" il sistema FV in caso di guasto. Tuttavia, tutte queste apparecchiature elettromeccaniche operano "a valle" dei pannelli solari stessi. I pannelli FV e il



cablaggio verso il primo punto di isolamento elettromeccanico rimangono sotto tensione finché i pannelli FV ricevono luce. Sia nel caso in cui l'impianto FV sia direttamente la fonte di innesco dell'incendio o che sia coinvolto solo indirettamente (fonte di innesco esterna 2.0 Guida alla sicurezza antincendio per gli impianti fotovoltaici installati sugli edifici con tetti piani all'impianto FV), i primi soccorritori sono soggetti ai rischi legati alla presenza di CC. Pertanto, gli incendi che coinvolgono i pannelli fotovoltaici devono essere affrontati da personale qualificato. I pannelli devono essere disalimentati durante le operazioni di primo intervento, perché rappresentano un reale pericolo elettrico. Tutti gli impianti FV, se compromessi, presentano un rischio elettrico dovuto alla corrente continua sotto tensione, che può aggravarsi fino a divenire un incendio se non adeguatamente risolto. Poiché non ci si può aspettare che i soccorritori comprendano nel dettaglio le varie tecnologie degli impianti FV, quando arrivano sul luogo dell'incendio, hanno bisogno di un metodo semplice ed efficace per disalimentare in sicurezza un sistema FV nel punto di origine della produzione di energia.

Un grave incendio verificatosi il 20 maggio 2021 in un magazzino di Noardburgum, nei Paesi Bassi, esemplifica le ulteriori preoccupazioni ambientali che possono derivare da incendi che coinvolgono gli impianti FV (Bellini, 2021). Il Comune ha dichiarato in un comunicato stampa di aver ricevuto circa 73 notifiche dagli abitanti della zona circostante, allarmati dalla presenza di frammenti di moduli FV nelle loro proprietà. Secondo Urs Muntwyler, esperto di incendi in impianti FV e CEO della società di ingegneria svizzera Ingenieurbüro Muntwyler, le particelle trovate dai residenti, che sono visibili nell'immagine pubblicata nel comunicato stampa del Comune, sono simili a quelle che hanno trovato dopo un incendio in un impianto fotovoltaico situato a Lanzenhäusern, in Svizzera.



L'incendio di Noardburgum, nei Paesi Bassi, ha causato preoccupazioni ambientali anche a diversi chilometri di distanza dal luogo dell'incendio.

Crediti fotografici: NoorderNieuws/de Vries Media

Per quanto riguarda gli incendi con origine all'interno dell'edificio, essi si traducono spesso in incendi di grandi dimensioni, per i quali le preoccupazioni ambientali assumono un'importanza maggiore. I fumi possono estendersi su una vasta area circostante e sono in grado di trasportare parti dei pannelli FV molto lontano (come dimostrato dall'incendio nei Paesi Bassi), causando quindi preoccupazioni ambientali su vasto raggio. Inoltre, poiché gli incendi sono di grandi dimensioni, i vigili del fuoco utilizzeranno più acqua, creando così una maggiore probabilità di



contaminazione del suolo e delle acque sotterranee intorno al luogo dell'incendio. Nelle aree in cui l'ambiente circostante è particolarmente sensibile, questi aspetti devono essere considerati con molta attenzione.



PRINCIPALI CONCLUSIONI:

- **Gli incendi con origine nell'edificio richiedono in genere una struttura del tetto non combustibile se si vuole evitare la propagazione all'esterno.**
- **Le pareti tagliafuoco devono essere sufficientemente estese al di sopra del livello del tetto per evitare la propagazione tra i compartimenti.**
- **Gli impianti FV installati influiscono sulla capacità dei vigili del fuoco di estinguere con efficacia un incendio.**
 - **Occorre garantire accesso e operazioni antincendio sicure.**
 - **Occorre garantire la possibilità di applicare gli agenti estinguenti direttamente sulle fiamme e non sui pannelli stessi.**



Un vigile del fuoco tra il fumo dell'incendio di un impianto fotovoltaico su un tetto a Robbinsville, NJ, USA. Ramali et al. (2023) hanno suggerito che i vigili del fuoco dovrebbero attenersi a specifiche misure di sicurezza prima, durante e dopo gli incendi che coinvolgono impianti FV. Una delle raccomandazioni è quella di indossare sempre i DPI appropriati.

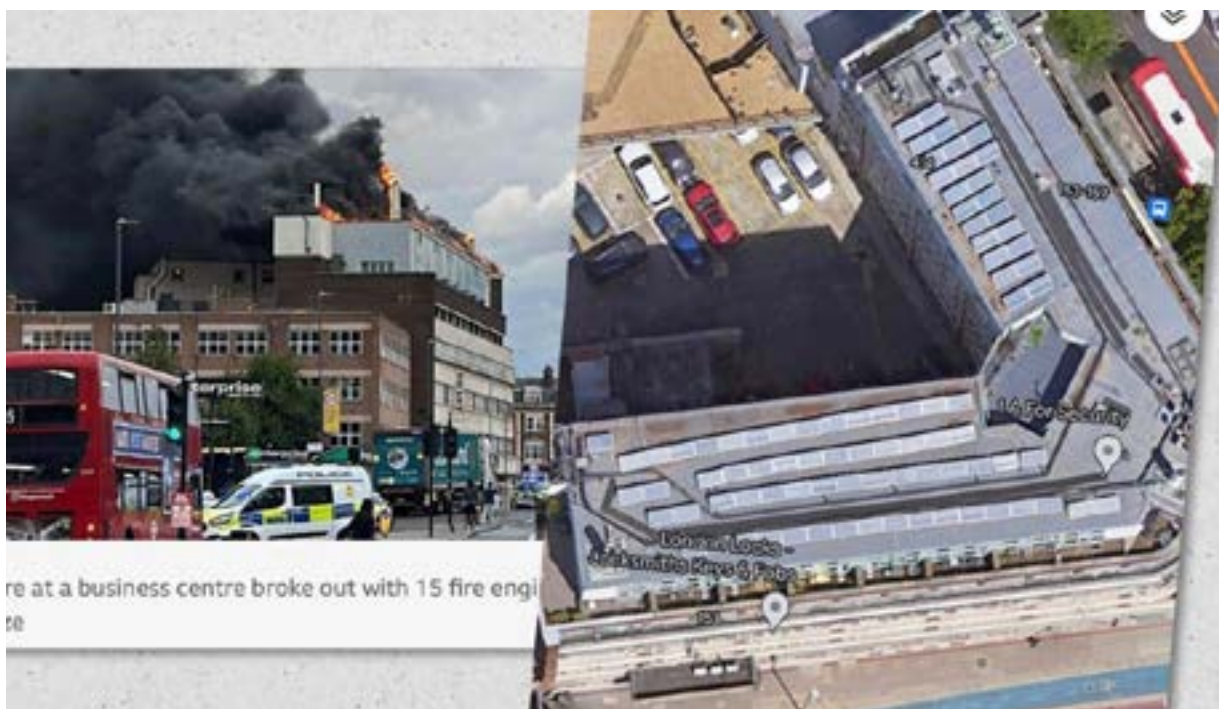
Crediti fotografici: Edmund Haemmerle

5. Problematiche generali

Di seguito verranno discusse alcune problematiche generali di sicurezza antincendio legate all'installazione di impianti fotovoltaici sui tetti. Ad esempio, non è (ancora) una pratica comune installare sistemi di rilevamento antincendio sui tetti, pertanto un incendio sul tetto può raggiungere vaste dimensioni prima che venga rilevato, perché ci si affida all'osservazione visiva delle persone. Altre preoccupazioni di carattere generale sono legate ad un'inadeguata installazione e alla mancanza di manutenzione.

Un esempio significativo di un incendio legato a tali problematiche si è verificato nell'agosto 2023 su un tetto di Londra, Regno Unito. Si presume che l'origine sia da ricercare nell'impianto fotovoltaico installato sul tetto. L'incendio si è propagato attraverso il tetto e ha costretto i residenti ad una rapida evacuazione, poiché quando è scattato l'allarme all'interno dell'edificio, l'incendio era già piuttosto esteso. Come si può vedere dalle foto sotto, l'impianto non sembra avesse seguito le pratiche di installazione convenzionali ed era stato oggetto di scarsa manutenzione. Gli array FV erano stati installati in modo molto irregolare oppure il vento o altre forze li avevano spostati, il che è una causa nota di sollecitazione sui cavi elettrici dell'impianto, che a sua volta può causare archi elettrici e l'innesco di un incendio sul tetto.

Poiché sappiamo che il movimento degli array FV in condizioni di vento forte o di tempesta può causare malfunzionamenti e rischio di incendio, spesso i sistemi di accumulo elettrici vengono zavorrati. Vale la pena notare che tale zavorra può causare altri problemi, sia per i danni che la stessa può provocare sia per l'impatto sul materiale isolante sottostante.



Estratto della notizia sull'incendio di un tetto di Londra, insieme a una schermata Google Maps dell'impianto FV sul tetto.

<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-66622684>



Qualifiche del personale

Un gran numero di incendi correlati al fotovoltaico (oltre il 55%) deriva da cause direttamente o indirettamente collegate al processo di installazione. Sono incluse le cause di innesco relative al pannello, al sezionatore, all'inverter e al connettore. Concentrandosi maggiormente sul processo di installazione, si potrebbe ridurre in modo significativo il numero di incendi dovuti a questi guasti.

Un'analisi sulla certificazione degli installatori eseguita dal BRE (BRE, 2011) ha rilevato che in molti Stati membri europei non esiste un piano di certificazione che consenta agli installatori di impianti fotovoltaici di dimostrare la propria competenza e la qualità del proprio lavoro ai potenziali clienti. Ciò rappresenta un ostacolo all'adozione del fotovoltaico in Europa, poiché la complessità degli impianti FV e il loro costo elevato fanno sì che i clienti siano riluttanti ad assumersi l'impegno finanziario richiesto senza la rassicurazione di potersi affidare ad un installatore certificato. Secondo i risultati della ricerca (BRE, 2011), gli argomenti chiave che dovrebbero essere inclusi nei corsi di formazione sulla certificazione per installatori di FV sono: regolamenti e direttive applicabili; requisiti di installazione e manutenzione; problemi specifici del sito; prestazioni del sistema; competenze tecniche; gestione della qualità e assistenza clienti.

Sulla base dello studio condotto da BRE, la presente pubblicazione ha esaminato altre linee guida per comprendere quante di queste includessero richieste esplicite di certificazione/qualificazione/ formazione adeguata degli installatori. I risultati sono riportati nella tabella 3.

Tabella 3: Analisi delle linee guida che richiedono la certificazione degli installatori

Paese	Organizzazione	Certificazione richiesta
Germania	Allianz (Allianz Risk Consulting, 2019)	Sì
Germania	VdS (VdS, 2023)	Sì
Francia	AxaXL (AXA XL Risk Consulting, 2021)	Sì
Regno Unito	RSA (RSA Insurance Group, 2020)	NO
Slovenia	SZPV (SZPV, 2016)	Sì
Austria	BVS (BVS - Brandverhütungsstelle, 2022)	NO
Canada	Canadian solar (Canadian Solar Inc., 2020)	Sì
Cina	Longi (LONGi Solar Technology Co., Ltd., 2023)	Sì
Cina	JA solar (Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd., 2019)	Sì
Corea del Sud	LG (LG Electronics Deutschland GmbH, 2019)	Sì



Funzionamento e manutenzione

I dati identificano aree specifiche in cui gli standard di manutenzione possono essere migliorati (Pester et.al., 2017):

- Ispezione delle parti interne dei sezionatori a corrente continua (campionamento se sono numerosi), verifica della presenza di segni di surriscaldamento, umidità e morsetti allentati.
- Metodologia per le ispezioni a campione di tutti i connettori CC assemblati in loco (i connettori assemblati in fabbrica hanno meno probabilità di presentare problemi).

È necessario stabilire un meccanismo flessibile di ispezione e pulizia o utilizzare un sistema di raccolta dati per valutare se e quando è necessaria una manutenzione non pianificata al fine di ridurre il rischio di incendio nei diversi ambienti (Wu et al., 2020).

La manutenzione degli impianti FV deve includere i seguenti quattro tipi di procedure (NREL, 2018):

Gestione della manutenzione:

essere consapevoli delle responsabilità per ciascuna delle parti coinvolte nella manutenzione e stabilirle chiaramente.

Manutenzione preventiva:

la manutenzione programmata viene spesso eseguita a intervalli regolari in conformità alle raccomandazioni del produttore, come richiesto dalle garanzie delle apparecchiature.

Manutenzione ordinaria:

necessaria per riparare i danni o sostituire i componenti guasti. È possibile eseguire alcuni interventi di manutenzione correttiva, come il ripristino dell'inverter o il reset delle comunicazioni da remoto. Inoltre, le attività di manutenzione correttiva meno urgenti possono essere combinate con quelle di manutenzione preventiva.

Manutenzione basata sui dati di monitoraggio:

utilizza le informazioni raccolte in tempo reale dai sistemi elettronici per pianificare misure preventive o interventi di manutenzione correttiva anticipando i guasti o rilevandoli tempestivamente.



Sebbene non regolamentati, gli interventi di manutenzione tipici che gli impianti FV possono richiedere includono:

- Ispezione dei collegamenti e delle terminazioni dei cavi per escludere allentamenti e corrosione.
- Ispezione dei cablaggi per assicurarsi che siano ben collegati e protetti.
- Ispezione degli array FV per verificarne la pulizia, l'assenza di danni e l'integrità strutturale.
- Ispezione delle fessure sul tetto e della resistenza agli agenti atmosferici.
- Manutenzione delle batterie, che può includere la pulizia, l'aggiunta di elettroliti, l'equalizzazione della carica e, se necessario, la sua sostituzione.

La manutenzione degli impianti FV è definita nelle norme CEI 62446-1 e 2. La norma CEI 62446-1 è uno standard internazionale per il collaudo, la documentazione e la manutenzione degli impianti fotovoltaici collegati alla rete elettrica. Definisce i requisiti in termini di informazioni e documentazione ai clienti da parte dei progettisti di sistemi e degli installatori di impianti fotovoltaici collegati alla rete.

Mancanza di statistiche

La valutazione del rischio include sempre la probabilità dell'evento esaminato e le sue conseguenze. Per eseguire un'adeguata valutazione del rischio incendi legato al fotovoltaico, è necessario disporre di dati affidabili sul numero di questi incendi e sull'entità dei danni che hanno causato. Gli approcci alla raccolta dei dati variano notevolmente da un Paese all'altro e, finché non verranno messe in atto le misure necessarie per migliorare e unificare i processi di raccolta, le valutazioni dei rischi saranno scarse.

Mancanza di dati aggiornati sull'edificio

Ai vigili del fuoco mancano dati aggiornati da consultare quando si recano sul luogo dell'incendio. Idealmente, dovrebbero disporre di informazioni su:

1. Installazione

- a. Layout dell'impianto FV ☒
- b. Specifiche dell'impianto FV ☒
 - I. Tipo ☒
 - II. Età ☒
 - III. Presenza di dispositivi di sicurezza (ad es. micro-inverter) ☒

2. Struttura del tetto

- a. Tipo di guaina impermeabilizzante ☒
- b. Materiale isolante utilizzato (combustibile o non combustibile) ☒
- c. Tipologia di pavimento utilizzato (combustibile o non combustibile) ☒

Riconoscimenti

Il lavoro si è ispirato a un workshop organizzato da FM Global, NFPA e ROCKWOOL presso l'ambasciata danese a Bruxelles nel marzo 2023. Il lavoro è stato reso possibile grazie al sostegno economico di ROCKWOOL e del progetto FRISSE, che ha ricevuto finanziamenti dal programma di ricerca e innovazione Horizon 2020 dell'Unione europea nell'ambito dell'accordo di sovvenzione n. 952395.



6. Bibliografia

Alam, M.K., Khan, F.H., Johnson, J., & Flicker, J. (2013). PV faults: Overview, modeling, prevention and detection techniques. 2013 IEEE 14th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 1–7. [COLLEGAMENTO](#)

Allianz Risk Consulting. (2019). FIRE HAZARDS OF PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS. Allianz Risk Consulting; [COLLEGAMENTO](#)

AXA XL Risk Consulting. (2021). Property Risk Consulting Guidelines: PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. AXA XL Risk Consulting. [COLLEGAMENTO](#)

Bellini, E. (2021, May 26). Major fire at solar-powered warehouse in the Netherlands raises concerns among nearby residents. PV Magazine International. [COLLEGAMENTO](#)

Bellini, E. (2024, March 15) Tests show rooftop fires propagate slowly with vertical PV systems. PV Magazine International [COLLEGAMENTO](#)

Brannen i ASKO-bygget. (2017, August 19). Brann & Redning. [COLLEGAMENTO](#)

BRE (WP leader) (2011). Review of current PV installer certification schemes in Europe (WP5 –D5.1). [COLLEGAMENTO](#)

BVS - Brandverh tungsstelle. (2022). PV systems—Fire protection requirements for the installation of PV systems on hall roofs with areas larger than 1,800 m². BVS - Brandverh tungsstelle. [COLLEGAMENTO](#)

Canadian Solar Inc. (2020). Installation manual of standard solar modules. Canadian Solar Inc. [COLLEGAMENTO](#)

Cancelliere, P. (2016). PV electrical plants fire risk assessment and mitigation according to the Italian national fire services guidelines. Fire and Materials, 40(3), 355-367. [COLLEGAMENTO](#)

EN 13501-5 Fire classification of construction products and building elements—Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests (p. 38). (2016). [COLLEGAMENTO](#)

Goldman, J. (2023, July 24). Solar Panels Burn in Massive NJ Warehouse Fire - Fire Engineering: Firefighter Training and Fire Service News, Rescue. [COLLEGAMENTO](#)

Jomaas, G., Simakovs, K., Rus, N., (2024). Mitigating PV fire risk. FPA Fire & Risk Management Journal. [COLLEGAMENTO](#)

Kelley, D. (2013, September 6). Rooftop solar panels become new enemy of U.S. firefighters. Reuters. [COLLEGAMENTO](#)

Knarud, J., & Heskestad, A. (2019, January 1). Building fire codes as a part of the national security Emphasizing critical deliveries to industry and consumers. [COLLEGAMENTO](#)

Kristensen, J. S. (2022). Fire risk of photovoltaic installations on flat roof constructions. The University of Edinburgh. [COLLEGAMENTO](#)

Kristensen, J.S; Jacobs, B.; Jomaas, G. (2022) “Experimental Study of the Fire Dynamics in a Semi-enclosure Formed by Photovoltaic (PV) Installations on Flat Roof Constructions,” Fire Technology, Vol. 58, 2017-2054. [COLLEGAMENTO](#)

Kristensen, J.S.; Faudzi, F.B.M.; Jomaas, G. (2020) “Experimental study of flame spread underneath photovoltaic (PV) modules,” Fire Safety Journal, Vol. 120. [COLLEGAMENTO](#)



Kristensen, J.S.; Jomaas, G. (2018) “Experimental Study of the Fire Behaviour on Flat Roof Constructions with Multiple Photovoltaic (PV) Panels,” Fire Technology, Vol. 54, 1807-1828. [COLLEGAMENTO](#)

Kristensen, J.S.; Merci, B.; Jomaas, G. (2018) “Fire-Induced Re-Radiation underneath Photovoltaic Arrays on Flat Roofs,” Fire and Materials, Vol. 42, 316-323. [COLLEGAMENTO](#)

Mohd Nizam Ong, N.A.F.; Sadiq, M.A.; Md Said, M.S.; Jomaas, G.; Mohd Tohir, M. Z.; Kristensen, J.S. (2022) “Fault Tree Analysis of Fires on Rooftops with Photovoltaic Systems.” Journal of Building Engineering, 46, 103752. [COLLEGAMENTO](#)

LG Electronics Deutschland GmbH. (2019). Installation manual: PV Solar MODULE. LG Electronics Deutschland GmbH. [COLLEGAMENTO](#)

LONGi Solar Technology Co., Ltd. (2023). Installation Manual for LONGi Solar PV Modules. LONGi Solar Technology Co., Ltd. [COLLEGAMENTO](#)

Millen, R., & Morgan, W. (2022, April 10). Bristol’s We The Curious fire—Everything we know about the blaze so far. SomersetLive. [COLLEGAMENTO](#)

Mohd Nizam Ong, N.A.F., Mohd Tohir, M.Z., (2021). Investigation of the effects of photovoltaic (pv) system component aging on fire properties for residential rooftop applications, SFPE Europe Magazine, Issue 21. [COLLEGAMENTO](#)

NREL. (2018). Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition (10.2172/1489002). [COLLEGAMENTO](#)

Pester, S., Coonick, C., Crowder, D., Parsons, J., & Shipp, M. (2017). Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Photovoltaic Industry (P100874-1006 Issue 2.5). BRE. [COLLEGAMENTO](#)

Ramali, M.R., Mohd Nizam Ong, N.A.F., Md Said, M.S., Mohamed Yusoff, H., Baharudin, M.R., Tharima, A.F., Akashah, F.W., Mohd Tohir, M.Z., (2023). A Review on Safety Practices for Firefighters During Photovoltaic (PV) Fire. Fire Technol 59, 247–270. [COLLEGAMENTO](#)

RSA Insurance Group. (2020). Risk Control Guide PHOTOVOLTAIC (SOLAR) PANELS. RSA Insurance Group. [COLLEGAMENTO](#)

Rus, N., Jomaas, G., (2024). PV guidelines – are the recommendations sufficiently evidence-based? SFPE Europe Magazine, Issue 33. [COLLEGAMENTO](#)

Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd. (2019). Installation manual for JA Solar photovoltaic modules. Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd. [COLLEGAMENTO](#)

SZPV. (2016). Smernica SZPV 512: Smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn. Slovensko združenje za požarno varstvo. [COLLEGAMENTO](#)

VdS 2234 (2018). Firewalls And Complex Partition Walls. [COLLEGAMENTO](#)

VdS. (2023). Photovoltaik-Anlagen auf Dächern mit brennbaren Baustoffen. [COLLEGAMENTO](#)

Wu, Z., Hu, Y., Wen, J. X., Zhou, F., & Ye, X. (2020). A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications. IEEE Access, 8, 132466–132480. [COLLEGAMENTO](#)

Zach, K. (2019). Meterhoher Rauch: Brand auf Ex-Semperit-Gelände in Traiskirchen. Kurier [COLLEGAMENTO](#)

ZRS (Zurich Resilience Solutions). (2023) Photovoltaic (PV) systems on buildings - Pre-design, design, installation, and operation [COLLEGAMENTO](#)



7. Note



ZAG

 **FRISSBE**

Questo progetto è stato finanziato dal programma di ricerca e innovazione Horizon
2020 dell'Unione europea nell'ambito dell'accordo di sovvenzione n. 952395

