

ANALISI DELLA REAZIONE AL FUOCO DI PANNELLI FOTOVOLTAICI

Fontana S. ¹, Notaro F. ², Podestà L. ³, Longobardo G. ⁴, De Rosa A. ⁵, Cancelliere P. ⁶

1 Università La Sapienza (RM), simo.font@libero.it

2 D.C.P.S.T. Area VIII NIA Capannelle (RM), francesco.notaro@vigilfuoco.it

3 Università La Sapienza (RM), luca.podesta@uniroma1.it

4 D.C.P.S.T. Area V, Protezione Passiva, Capannelle (RM), giovanni.longobardo@vigilfuoco.it

5 Area VIII NIA Capannelle (RM), armando.derosa@vigilfuoco.it

6 D.C.P.S.T. Area VI, Protezione Attiva, Capannelle (RM), piergiacomo.cancelliere@vigilfuoco.it

SOMMARIO

I sistemi di produzione dell'energia elettrica tramite impianti fotovoltaici appaiono sempre più spesso sul territorio nazionale ed internazionale, soprattutto dopo l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, a causa di una crescente sensibilità sul problema dell'inquinamento del nostro pianeta. Per questa ragione è nata l'esigenza di verificare come i materiali costituenti i pannelli fotovoltaici possano essere potenziali cause d'incendio. In Italia e nel Mondo purtroppo già si sono verificati molti incendi ad impianti fotovoltaici [1] e sono numerose le ipotesi di quali possano essere le cause d'incendio: sicuramente un impianto installato a regola d'arte elimina le numerose problematiche relative alla cattiva installazione di un qualsiasi impianto elettrico[2]; la formazione dell'arco elettrico oppure il raggiungimento di temperature elevatissime della pellicola retrostante il pannello, detta comunemente Tedlar, potrebbero essere cause d'innescò. In particolare in questo studio ci si è posti l'obiettivo di individuare i punti critici nel pannello fotovoltaico soggetto ad un' elevata fonte di irraggiamento attraverso due prove: una prima prova di reazione al fuoco su una porzione di pannello fotovoltaico, per analizzare il comportamento del provino sottoposto all'azione di una fiamma d'innescò in presenza di calore radiante; e una seconda prova al cono calorimetrico il cui scopo è quello di definire il flusso critico, ossia il più basso carico termico per unità di superficie in grado di avviare una combustione, con accensione pilotata.

1. PROVA DI REAZIONE AL FUOCO

1.1 INTRODUZIONE

La prova effettuata, stabilisce alcune caratteristiche relative alla reazione al fuoco del pannello fotovoltaico per stabilire criteri e procedure di intervento ai fini della prevenzione incendi. La prova fornisce un'indicazione orientativa sulla reazione al fuoco di un materiale in una fase dell'incendio successiva a quella iniziale, in accordo con il D.M. 26 giugno 1984 *"Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi"* [3]. In particolare, la sperimentazione si propone di determinare la velocità di propagazione della fiamma lungo la superficie, la quantità di zona danneggiata ed eventuale gocciolamento del campione sottoposto all'azione di una fiamma d'innescò in presenza di calore radiante, così come specificato nella modalità di prova prevista dalla norma UNI 9174 *"Reazione al Fuoco dei prodotti sottoposti all'azione di una fiamma di innescò in presenza di calore radiante"*. [4].

Per costruzione, i pannelli fotovoltaici presentano un griglia conduttrice che percorre tutta la superficie del silicio, necessaria al collegamento elettrico dei generatori elettrici elementari costituiti dalle celle fotovoltaiche. Tale griglia conduttrice è denominata comunemente "bus bar" e la sua distribuzione sulla superficie del silicio si sviluppa lungo una direzione principale proprio per assicurare ed ottimizzare il collegamento elettrico delle diverse celle costituenti il modulo; pertanto ciascun pannello a favore di sicurezza, viene considerato con comportamento al fuoco di tipo anisotropo

lungo le due direzioni della superficie di silicio. Per tener conto del comportamento anisotropo evidenziato sopra, le prove di reazione al fuoco sono state condotte effettuando una campionatura del modulo originario con un taglio in senso longitudinale, così come rappresentato in **Figura 1** “prova 1”, ed un altro in senso trasversale riportato sempre in **Figura 1**, ma in “prova 2”.

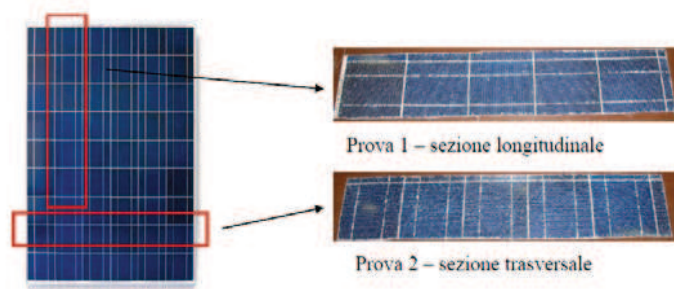


Figura 1: Sezioni del pannello fotovoltaico

La prova di reazione al fuoco effettuata è quella prevista dalla “UNI 9174” [4], la quale fornisce la velocità di propagazione della fiamma attraverso la misura del tempo con cui il fronte di fiamma tocca i traguardi verticali marcati ogni 50 mm sul campione. Dal rapporto tra lo spazio percorso dalla fiamma e il tempo impiegato a percorrerlo, si ricava la velocità con cui si propaga il fronte di fiamma sul campione. Tale velocità di propagazione è funzione del profilo di potenza che giunge sul campione, profilo che è decrescente dal bordo adiacente al pannello radiante verso il bordo più lontano. Nella prova viene simulato uno scenario d’incendio in cui un materiale combustibile è innescato da una fiamma di piccola potenza, 120 W circa, (fiamma pilota di 8 cm, realizzata con un becco Bunsen) in presenza di una fonte radiante (costituita dal pannello la cui intensità media di emissione è pari a circa $6,2 \text{ W/cm}^2$, corrispondente ad una temperatura di circa $750 \text{ }^\circ\text{C}$) che rappresenta un altro oggetto infiammato nelle vicinanze ed il cui contributo in energia radiante costituisce un aggravio per la combustione del campione in esame.

Pertanto, lo scenario d’incendio si sintetizza in una piccola fiamma a contatto che provoca l’accensione del materiale (fiamma fissa, che non insegue il fronte di combustione) ed in una quota di energia di tipo radiante che è emanata dal pannello e raggiunge il campione secondo le leggi fisiche dell’irraggiamento. E’ da sottolineare che la quota di irraggiamento che giunge sul fronte di combustione diminuisce, all’aumentare della distanza dal pannello radiante, in maniera inversa al quadrato della distanza dal pannello stesso.

1.2 CAMPIONI E STRUMENTI UTILIZZATI

La prova di reazione al fuoco è stata effettuata all’interno di una camera di prova formata dai seguenti componenti principali:

- Pannello radiante: setto poroso di materiale refrattario montato su una cornice di acciaio;
- Supporto portaprovetta: di acciaio inossidabile deve permettere il montaggio di provette di lunghezza 800 mm, larghezza 155 mm e spessore proprio;
- Fiamma d’innescò: ottenuta mediante un bruciatore dotato di una microvalvola per la regolazione dell’altezza della fiamma.

La Figura 2 riporta i componenti principali della camera di prova utilizzata per la sperimentazione relativa alla reazione al fuoco dei moduli fotovoltaici.

Il modulo fotovoltaico utilizzato per la prova è composto da una copertura frontale in vetro, da celle policristalline e da una copertura posteriore di EVA, poliestere e Tedlar. Lo strato di EVA è costituito da un copolimero di etilene ed acetato di vinile che assolve alla funzione di protezione delle celle fotovoltaiche isolando la parte attiva ed eliminando gli interstizi fra le celle stesse. Il componente

principale della parte posteriore del modulo, denominata tecnicamente “Backsheet”, è realizzato da uno strato di polivinilfluoruro (PVF), comunemente noto con il nome di Tedlar.

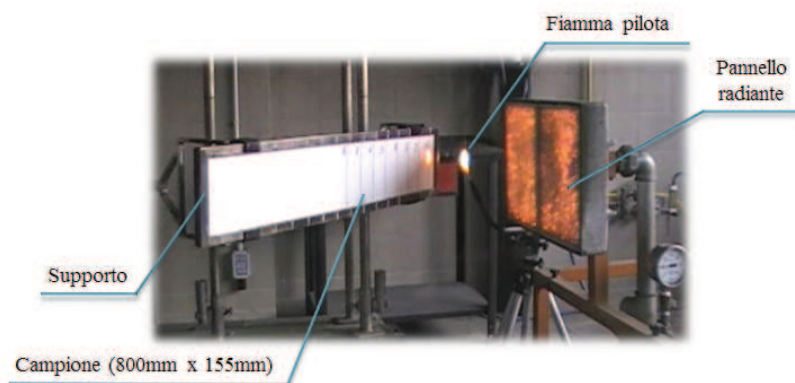


Figura 2: Camera di prova per la reazione al fuoco

I campioni utilizzati, di dimensioni 800 mm x 155 mm, sono inseriti nel supporto incombustibile con la dimensione maggiore posta orizzontalmente e la superficie di prova rivolta verso il pannello radiante in posizione verticale a 45 gradi rispetto allo stesso. L'estremità del provino più vicina al pannello radiante si trova ad una distanza di 100 mm da esso.

1.3 PROCEDURA DI PROVA

Nella procedura di prova descritta nella UNI 9174 [4] ed a favore di sicurezza, si dispone il pannello fotovoltaico con la parte retrostante, costituita dai materiali combustibili (EVA e Tedlar) a diretto contatto con la fiamma d'innescò, perché è di maggiore interesse analizzare il comportamento della pellicola di Tedlar (materiale polimerico), piuttosto che porre la porzione di modulo fotovoltaico con la parte frontale, rivestita di vetro, in direzione del pannello radiante e della fiamma d'innescò. Sulla parte retrostante del pannello inoltre, sono stati contrassegnati intervalli pari a 50 mm, in modo da poter riportare la velocità di propagazione della fiamma espressa in mm/min.

Si è proceduto alla accensione del pannello radiante e si è atteso la radiazione si stabilizzasse al valore prefissato di 62 kW/m^2 . Si è regolata la fiamma pilota e, tramite una slitta, è stata avvicinata al portacampioni contenente la porzione di modulo fotovoltaico. Non appena la fiamma entra in contatto con il materiale in esame, il cronometro viene azionato per la registrazione dei tempi parziali impiegati dalla fiamma per raggiungere, di volta in volta, il fronte successivo.

1.3.1 Campione 1- sezione longitudinale

Nel seguito si riportano le osservazioni registrate durante la prova ed ai diversi fronti per il Campione 1.

- Fronte 1: per percorrere i primi 50 mm la fiamma impiega 27 secondi. Nella fase iniziale la propagazione della fiamma è piuttosto rapida.
- Fronte 2: 120 secondi. Le fiamme raggiungono il 2° fronte con un'altezza di circa il 100% l'altezza stessa del provino e si nota una perdita di adesione con conseguente sfogliamento della pellicola di Tedlar. Nella prima sezione la fiamma è ancora alta e i fumi emessi dalle fiamme sono molto ridotti.
- Fronte 3: 91 secondi. Iniziano a formarsi alcune bolle nell'area circostante la zona 6, che rappresentano uno scollamento della pellicola di Tedlar anche in punti in cui la fiamma ancora non è arrivata. C'è permanenza di fuoco, con fiamme ancora piuttosto alte e pochissima emissione di fumo.

- Fronte 4: 118 secondi. Il fuoco tende ad estinguersi nel fronte di fiamma iniziale e non è più presente a ridosso delle prime due sezioni. Si nota origine di bolle anche nelle zone 9 e 10 e presenza abbondante di fumo.
- Fronte 5: 218 secondi. Benché le zone precedenti alla quinta siano ormai prive di fuoco, il fronte di fiamma continua ad avanzare seppur lentamente. Si notano tracce di materiale condensato sotto forma di gocce e molto fumo maleodorante.

La fiamma, ormai molto bassa, non arriva a raggiungere il fronte 6, e termina spontaneamente dopo 6 minuti e 12 secondi rispetto al passaggio dal fronte 5.

La velocità di propagazione della fiamma è data dalla media dei valori ottenuti nei singoli fronti, i cui valori sono stati raccolti e riportati nella tabella seguente.

Tabella 1: Velocità di propagazione della fiamma “campione 1” ai diversi fronti

Fronte	Rilievo	Velocità di propagazione della fiamma
1	50 mm / 0.45 min	111.11 mm/min
2	50 mm / 2 min	25 mm/min
3	50 mm / 1.52 min	32.92 mm/min
4	50 mm / 1.97 min	25.42 mm/min
5	50 mm / 3.63 min	13.76 mm/min

Dalla media dei valori riportati nella colonna 3 della Tabella 1, si ricava una velocità di propagazione della fiamma per il Campione 1 è pari a 41,65 mm/min.

1.3.2 Campione 2- sezione trasversale

Nel seguito si riportano le osservazioni registrate durante la prova ed ai diversi fronti per il Campione 2.

- Fronte 1: per percorrere i primi 50 mm la fiamma impiega 13 secondi. Nella fase iniziale la propagazione del fuoco è molto rapida, con fiamme alte già il 50% dell'altezza del provino.
- Fronte 2: 81 secondi. Le fiamme avanzano molto velocemente raggiungendo un'altezza che supera il 100% dell'altezza stessa del campione. La parte di Tedlar bruciata reagisce alla fiamma attraverso uno sfogliamento della pellicola, con assenza di gocciolamento, almeno in questa parte iniziale. Inoltre si nota la presenza di fumo derivante dalla combustione del materiale e formazione di bolle a ridosso del traguardo 6.
- Fronte 3: 105 secondi. La fiamma procede fitta mantenendosi ancora alta, ma proseguendo con una velocità minore rispetto a quella dei fronti precedenti. C'è permanenza di fiamma in tutti i fronti percorsi e formazione di bolle anche a ridosso del fronte 7.
- Fronte 4: 104 secondi. Il fuoco tende ad estinguersi nel fronte di fiamma iniziale e non è più presente a ridosso della prima sezione. Si notano tracce di materiale condensato sotto forma di gocce lungo il campione.
- Fronte 5: 173 secondi. Si carbonizzano del tutto le zone dall'1 al 4, mentre la fiamma continua ad avanzare lentamente e molto bassa lungo la quinta sezione.

La fiamma prosegue ancora per metà della quinta sezione senza raggiungere il fronte 6, e termina spontaneamente dopo 5 minuti e 8 secondi rispetto al passaggio dal fronte 5.

La velocità di propagazione della fiamma è data dalla media dei valori ottenuti nei singoli fronti, i cui valori sono stati raccolti e riportati nella tabella seguente.

Tabella 2: Velocità di propagazione della fiamma “campione 2” ai diversi fronti

Fronte	Rilievo	Velocità di propagazione della fiamma
1	50 mm / 0.22 min	227.27 mm/min
2	50 mm / 1.35 min	37.04 mm/min
3	50 mm / 1.75 min	28.57 mm/min
4	50 mm / 1.73 min	28.9 mm/min
5	50 mm / 2.88 min	17.36 mm/min

Dalla media dei valori riportati nella colonna 3 della Tabella 2, si ricava una velocità di propagazione della fiamma per il Campione 2 è pari a 67.83 mm/min

1.4 CONSIDERAZIONI

Sono numerosi gli aspetti da considerare dopo questa prova. Innanzitutto mettendo a paragone la prima e la seconda prova si notano leggere differenze tra il comportamento del materiale nel senso longitudinale e trasversale, a conferma del comportamento anisotropo proprio dei moduli fotovoltaici dovuto alla presenza del bus di collegamento elettrico delle diverse celle elementari costituenti il modulo.

1.4.1 Tempi impiegati dalla fiamma per raggiungere i traguardi.

Nel raggiungimento dei primi due fronti si può notare che la porzione di pannello con sezione trasversale ha assunto velocità di propagazione maggiore di quella del campione con sezione longitudinale. La velocità di propagazione del primo campione esaminato per percorrere i primi 50 mm è pari a 111 mm/min, mentre per percorrere i successivi 50 mm scende a 25 mm/min; invece la velocità del secondo campione per il raggiungimento del primo traguardo è di 227.27 mm/min, e del secondo traguardo è pari a 37.04 mm/min. Si nota che la velocità di propagazione del secondo campione è quasi doppia di quella del primo; questo può essere dipeso dal bus bar posto sulle celle, la cui presenza incide sullo sviluppo ed il successivo andamento della fiamma.

Inoltre, si può evidenziare anche la differenza della velocità complessiva di propagazione della fiamma assunta nelle due prove; infatti, nel primo caso la velocità media totale è di 41.64 mm/min, mentre nel secondo è di 67.83 mm/min.

1.4.2 Lunghezza della zona danneggiata

La zona danneggiata è l'estensione massima in lunghezza, espressa in mm, compresa tra l'inizio del campione e l'ultimo traguardo raggiunto dalla fiamma; questa misura è uguale in entrambe le prove, e corrisponde a 250 mm, cioè all'arrivo della fiamma al quinto traguardo, così come evidenziato nella Figura 3, nella quale sono messi a confronto il campione 1 ed il campione 2 nelle condizioni di fine prova.



Figura 3: Campione 1 (sinistra) e Campione 2 (destra)

1.4.3 Tempo di postincandescenza

Il tempo di postincandescenza è il tempo, espresso in secondi, che trascorre dall'estensione della fiamma sviluppata oltre i 300 mm fino alla completa scomparsa dell'incandescenza [3]. In entrambi i campioni, però, la fiamma non ha raggiunto il sesto traguardo, che corrisponde a 300 mm, quindi in ambedue le prove si considera il tempo di postincandescenza nullo.

1.4.4 Gocciolamento

Il gocciolamento è la tendenza di un materiale a lasciare cadere gocce e parti distaccate durante o dopo l'azione della sorgente di calore. Nel corso di entrambe le prove si è verificata la presenza di gocce sul materiale bruciato (cfr Figura 4), ma considerando che queste non hanno raggiunto il pavimento dell'ambiente di prova ma si sono esaurite sul campione, non sono da considerarsi una fonte di innesco aggiuntiva. Infatti, vengono ritenute pericolose solamente gocce o parti distaccate che raggiungono il pavimento dell'ambiente di prova infiammate e che continuano ad ardere per più di 3 secondi.

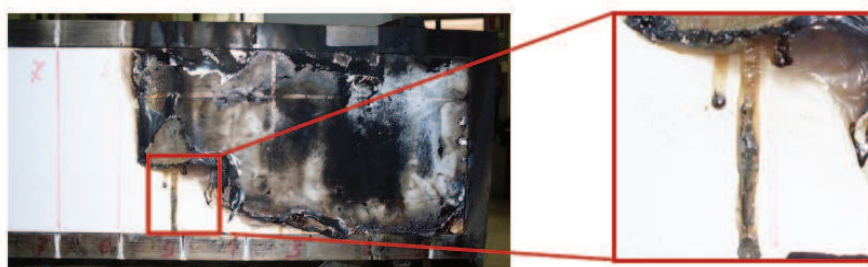


Figura 4: Gocciolamento

1.4.5 Separazione di strati

In entrambe le prove si è verificato un fenomeno di “sfogliamento” della pellicola di Tedlar che ricopre la parte posteriore del pannello, così come evidenziato nella Figura 5. Infatti la reazione a fuoco di questo materiale non è di fusione, bensì di distacco dagli altri strati con conseguente perdita di adesione.



Figura 5: Separazione di strati

1.4.6 Formazione di bolle

Nelle zone non ancora investite dalle fiamme, in entrambi i campioni esaminati, si rileva formazione di bolle tra uno strato e l'altro del pannello fotovoltaico. In particolare, una volta conclusa la prova, quando la fiamma è terminata spontaneamente, si nota (cfr **Figura 6**) un lieve distaccamento della pellicola di Tedlar sotto forma di bolle diffuse a ridosso dei traguardi 6-7 e 9-10, quindi in fronti in cui la fiamma non ha bruciato il materiale in quanto si è auto-estinta anteriormente.



Figura 6: Formazione di bolle

Il fenomeno della formazione delle bolle, nel caso di impianti Fotovoltaici in servizio, è un effetto non desiderato denominato nella letteratura tecnica di settore come “hot spot”, dove il riscaldamento avviene quando il modulo fotovoltaico risulta essere ombreggiato rispetto ad elementi in parallelo e, generando una tensione inferiore, diventa carico per gli altri elementi generatori. La corrente inversa percorsa nel modulo in ombra, riscalda per effetto Joule il modulo stesso ed il calore prodotto comporta la caratteristica formazione di bolle nel “Back Sheet”.

1.4.7 Altezza raggiunta dalle fiamme

L'altezza delle fiamme è un aspetto molto importante da considerare nell'analisi della reazione al fuoco di un materiale; in questo caso le fiamme hanno raggiunto anche un'altezza superiore al 100% dell'altezza stessa del provino; la fiamma mantiene tale caratteristica in entrambi i campioni fino al raggiungimento del terzo fronte, mentre nei traguardi successivi tende a diminuire fino all'auto-spegnimento dopo il quinto traguardo. Un'altezza così elevata della fiamma può essere fonte di propagazione d'incendio da un pannello a un altro o in materiali circostanti l'impianto fotovoltaico. La Figura 7 riporta l'altezza della fiamma raggiunta dal primo campione in prova al raggiungimento del secondo e quarto traguardo, mentre la Figura 8 riporta l'altezza della fiamma per il secondo campione in prova sempre al raggiungimento del secondo e del quarto traguardo.

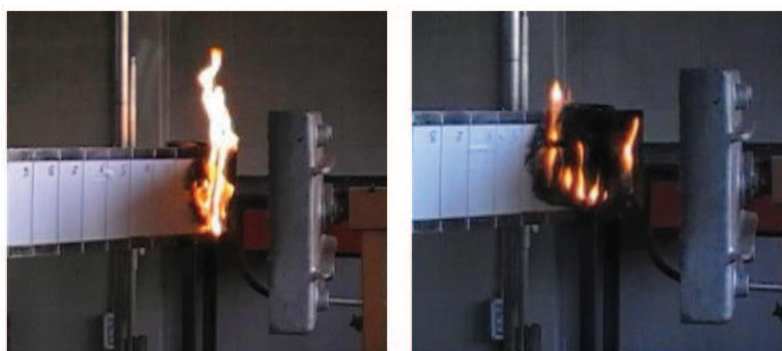


Figura 7: Altezza della fiamma nel primo campione al raggiungimento del 2° e 4° traguardo.

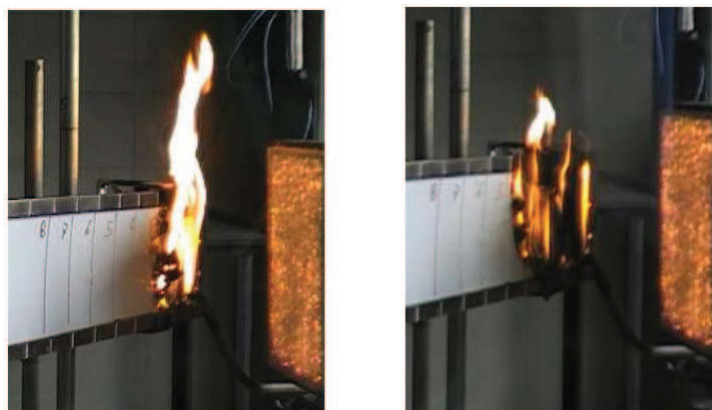


Figura 8: Altezza della fiamma nel secondo campione al raggiungimento del 2° e 4° traguardo.

1.4.8 Comportamento delle fiamme

La prova ha messo in risalto, inoltre, che la fiamma non ha perforato il pannello fotovoltaico: durante le prove la fiamma, sia per il campione 1 che per il campione 2, non ha mai oltrepassato le celle e lo strato di vetro che compongono la parte anteriore del modulo fotovoltaico (cfr Figura 9), ma ha avanzato fino al quinto fronte bruciando solo la parte retrostante del modulo, ovvero il lato esposto alla fiamma d'innesco e al pannello radiante.

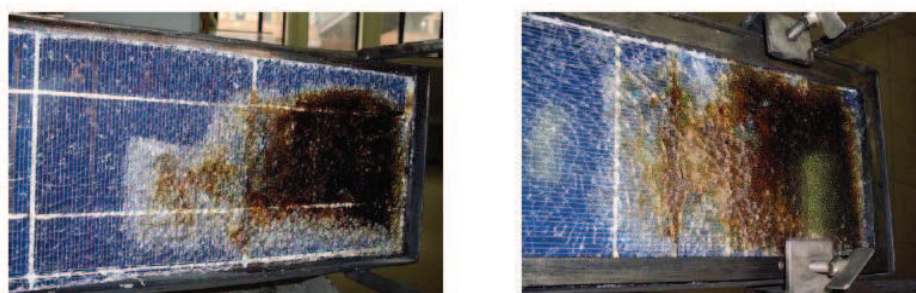


Figura 9: Parte anteriore del modulo nel primo e nel secondo campione.

Inoltre è bene evidenziare anche che la fiamma è terminata spontaneamente, bruciando solo una porzione del campione sottoposto alla prova e determinando quindi una buona predisposizione all'auto estinzione dei materiali componenti il pannello fotovoltaico.

2. PROVA AL CONO CALORIMETRICO

2.1 INTRODUZIONE

La prova al cono calorimetrico è stata effettuata in accordo con la norma ISO 5660 [4], ed è specifica per determinare il contributo che il materiale testato può dare alla produzione di calore quando si sviluppa un incendio, permette di determinare il rilascio di calore caratteristico dei materiali sotto esame, informazioni sulla combustione come la velocità di rilascio calore e l'effettivo calore di combustione.

2.2 CAMPIONI E STRUMENTI UTILIZZATI

Tale prova si effettua mediante un cono calorimetrico "equipment noselab", riportato nella Figura 10, che si basa sulle norme ASTM E 1354 [6] e ISO 5660 [5]. Tale strumento misura il consumo di ossigeno che avviene durante la combustione dei materiali, fornisce informazioni sulla velocità di rilascio calore, l'effettivo calore di combustione, la velocità di perdita di massa, il tempo di accensione, la densità dei fumi, il campionamento di nerofumo, l'uscita di gas tossici, la produzione di CO₂, la produzione di CO, il tempo di innesco. Come esplicitamente riportato nella norma di

riferimento [5] di tale strumento, l'innesco della combustione viene provocato da una sorgente di calore, di forma tronco conica, controllata nel suo irraggiamento fino a un massimo di 100 kW/m^2 . Si tratta di innesco pilotato, in quanto il macchinario è dotato di un sistema di accensione a scintilla.



Figura 10: Cono calorimetrico



Figura 11: Campione utilizzato

Per tale prova si utilizzano due campioni di pannello fotovoltaico delle dimensioni di $9,8 \times 9,8 \text{ cm}$. Onde evitare indesiderabili effetti di bordo, prima di introdurre tali campioni negli appositi porta campioni sono stati ricoperti i rispettivi bordi con una pellicola di alluminio.

2.3 MODALITÀ DI PROVA

Nella prova al cono calorimetrico effettuata il parametro di interesse è il flusso critico, definito come il più basso carico termico per unità di superficie in grado di avviare una combustione per un dato materiale, con accensione pilotata (solitamente nei materiali solidi varia tra gli 8 e i 22 kW/m^2).

L'innesco del provino scaturisce dall'unione di gas combustibile, prodotto dal provino stesso a causa del flusso di calore, e ossigeno. Sopra al provino è situato il sistema di accensione a scintilla, che ha la funzione di pilotare l'innesco di tali gas.

Come da norma [5], durante queste prove si pongono i campioni a $2,5 \text{ cm}$ dall'estremità inferiore del cono calorimetrico. Dato che sarebbe stato di scarso interesse rivolgere la parte frontale del pannello fotovoltaico verso il cono stesso, in quanto il vetro è un materiale incombustibile, si effettua la prova ponendo i provini rivolti con il backsheet verso tale cono.

La norma [5] prevede che la prova termini, in caso di combustione, al completo spegnimento della fiamma, mentre in caso contrario dopo venti minuti dall'inizio della prova stessa.

Prima dell'inizio di ogni prova la macchina necessita di tre minuti di acquisizione, durante i quali effettua un set-up allo scopo di controllare che tutti i parametri si siano stabilizzati.

2.3.1 Prova 1

Il peso iniziale del provino è di $89,5 \text{ g}$. Tale provino è stato sottoposto a un flusso di calore di $15,0 \text{ kW/m}^2$. Durante questa prova il provino non è stato fonte di innesco e quindi, come esplicitamente descritto nella norma a riguardo [5], la prova è terminata dopo circa venti minuti. I segni dell'esposizione del campione al flusso di calore sono evidenti (cfr Figura 12): lo strato superficiale del backsheet, composto da Tedlar, presenta una forte esfoliazione e si annerisce completamente. Per quanto riguarda il secondo strato del backsheet, composto da poliestere, notiamo anche in questo caso un annerimento del materiale oltre che la comparsa di bolle e irregolarità.

La temperatura della superficie del provino rivolta verso il cono è stimata intorno ai 200°C . Si nota anche una perdita di massa assai ridotta e lenta, dovuta al fenomeno della pirolisi.



Figura 12: Campione 1 al termine della prova e rapporto della prima prova

2.3.1 Prova 2

Nella seconda prova si analizza un campione di peso iniziale di 89,7g e si sottopone a un flusso di calore maggiore, pari a 25 kW/m^2 . Dopo circa un minuto dall'inizio della prova, sulla superficie del provino rivolta verso il cono calorimetrico si rileva una temperatura di circa 300°C , e si iniziano a formare le prime bolle, che tendono ad aumentare fino al terzo minuto circa dall'inizio della prova, quando si verifica la presenza di fumo seguita dall'accensione del campione e conseguente consumo di ossigeno. La prova è da considerarsi terminata al completo estinguersi della fiamma, fenomeno che nella seconda prova si è verificato dopo 1170s dall'inizio del test.



Figura 13: Campione 2 al termine della prova e rapporto della seconda prova

In questo caso la combustione ha provocato una perdita di massa molto più significativa rispetto alla prima prova. Per quanto riguarda il backsheet, lo strato di Tedlar si è carbonizzato del tutto, mentre non era più possibile distinguere i due strati di poliestere ed EVA, che assumono una consistenza fibrosa, molto simile a lana di vetro.

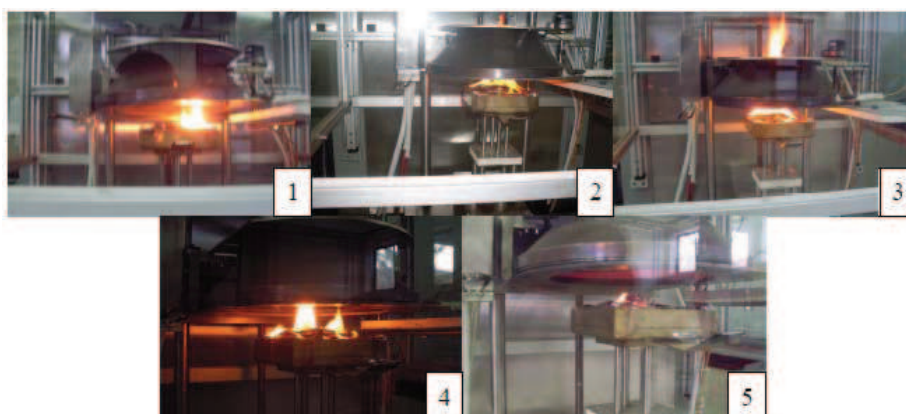


Figura 14: Fasi principali della combustione durante la seconda prova

3. LINEA GUIDA E RISOLUZIONI DI PREVENZIONE INCENDI PER L'INSTALLAZIONE DI IMPIANTI FOTOVOLTAICI

La Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica, ha diramato con nota prot. n. 1324 del 7 febbraio u.s., alle Direzioni Regionali VV.F. ed ai Comandi Provinciali VV.F., le Linee guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici (Ed. 2012). In queste, si è disposto che nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi, l'installazione dell'impianto FV dovrà essere eseguita, fra gli altri obiettivi di sicurezza previsti, in modo da evitare la propagazione di un incendio dal generatore fotovoltaico al fabbricato nel quale è incorporato.

La relativa valutazione del rischio di propagazione dell'incendio, tranne per il caso di installazione dell'impianto su coperture incombustibili, potrà essere effettuata tenendo conto della classe di resistenza agli incendi esterni dai tetti e delle coperture di tetti (UNI EN 13501-5:2009 Classificazione in base ai risultati delle prove di esposizione dei tetti a un fuoco esterno secondo UNI CEN/TS 1187:2012) e della classe di reazione al fuoco del modulo fotovoltaico attestata secondo le procedure di cui all'art.2 del D.M. 10 marzo 2005 recante *"Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione"* da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio.

Successivamente alla diramazione della linea guida di cui sopra, l'area V (Protezione Passiva) della D.C.P.S.T. ha emesso la Risoluzione n.40 del 28 marzo 2012, nella quale si è precisato che per la classificazione della reazione al fuoco dei pannelli fotovoltaici, si applicano le procedure di prova previste dal D.M. 26 giugno 1984, modificato con D.M. 3 settembre 2001 come di seguito riportato:

- UNI 9176 (Gennaio 1998) metodo D (Preparazione dei materiali per l'accertamento delle caratteristiche di reazione al fuoco);
- UNI 8457 (Ottobre 1987) con campionatura di prova in posizione verticale senza supporto incombustibile (Reazione al fuoco mediante l'applicazione di una piccola fiamma);
- UNI 9174 (Ottobre 1987) con campionatura di prova in posizione parete senza supporto incombustibile (Reazione al fuoco dei materiali sottoposti all'azione di una fiamma d'innesco in presenza di calore radiante);
- UNI 9177 (Ottobre 1987) relativamente alla classificazione (Criteri per la determinazione della classe di reazione al fuoco dei materiali combustibili sulla base dei risultati ottenuti dalle prove effettuate).

Quest'ultima risoluzione, richiama in particolare proprio una prova eseguita sul pannello fotovoltaico oggetto d'indagine, ovvero la UNI 9174 "Reazione al fuoco dei materiali sottoposti all'azione di una fiamma d'innesco in presenza di calore radiante", a conferma della validità della procedura adottata nel corso dell'attività di studio svolta, per valutare la propagazione dell'incendio relativamente al materiale costituente i moduli dell'impianto FV. .

4. CONCLUSIONI

Con le prove effettuate è stato possibile rilevare il comportamento della porzione di pannello fotovoltaico, sottoposto all'azione di una fiamma d'innesco in presenza di calore radiante e sottoposto ad elevati valori di irraggiamento. Nella prova di reazione al fuoco di particolare interesse è l'altezza assunta dalle fiamme che investono il campione nelle prime fasi della prova; infatti l'altezza delle fiamme aumenta il rischio di diffusione dell'incendio ad elementi circostanti i moduli fotovoltaici; ma nel contempo, con le prove si è anche riscontrato che la fiamma tende ad auto-estinguersi sul pannello fotovoltaico stesso grazie ai materiali di cui è composto. Con la prova al cono calorimetrico si è inoltre potuto constatare che la porzione di modulo fotovoltaico sopporta elevatissimi valori di irraggiamento prima che avvenga l'accensione.

In via generale, sottoponendo a prove di reazione al fuoco moduli fotovoltaici così come previsto nella Risoluzione n.40 del 28 marzo 2012 della DCPST ed effettuato in parte nella sperimentazione illustrata nel presente articolo, è possibile conoscere il grado di reazione al fuoco del modulo e quindi, utilizzare tale indicazione oggettiva come elemento da mettere in relazione alla tipologia di copertura su cui il generatore fotovoltaico viene installato al fine di valutare il rischio di propagazione incendio in accordo a quanto specificato nella nota della DCPST prot. n. 1324 del 07 febbraio 2012.

RIFERIMENTI

- [1] www.vigilfuoco.it
- [2] Le guide blu – Impianti a norma CEI – Fotovoltaico. Edizioni TNE.
- [3] D.M. 26 giugno 1984. Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi.
- [4] Norma UNI 9174:2010 “Reazione al Fuoco dei prodotti sottoposti all’azione di una fiamma di innesco in presenza di calore radiante”.
- [5] Norma ISO 5660.
- [6] Norma ASTM E 1354.