

*Progetto*

**C. 1320**

*Data Scadenza Inchiesta*

**17-05-2023**

*Data Pubblicazione*

**2023-03**

*Classificazione*

**82-89**

*Titolo*

**Rischio d'incendio nei sistemi fotovoltaici - Comportamento all'incendio dei moduli fotovoltaici installati su coperture di edifici: protocolli di prova e criteri di classificazione**

*Title*

**Fire Risk of Photovoltaic Systems - Fire behavior of Photovoltaic Modules applied on building roofs: test protocols and rating criteria**



## INDICE

1		
2	INTRODUZIONE .....	2
3	1 Scopo.....	5
4	2 Riferimenti normativi.....	5
5	3 Termini e definizioni .....	8
6	3.1 Generalità .....	8
7	3.2 EN 13823 .....	9
8	3.3 Classi di Reazione al fuoco italiane .....	10
9	4 Definizione del problema .....	11
10	5 Soluzioni possibili.....	11
11	5.1 Generalità .....	11
12	5.2 Condizionamento dei campioni e dei substrati .....	13
13	5.3 Metodologia preparazione campioni .....	13
14	5.4 Metodologia preparazione camera SBI prove .....	13
15	5.5 Protocolli di prova utilizzati.....	18
16	5.6 Classificazione del modulo FV in combinazione con lo strato di copertura .....	19
17	5.7 Campo di applicazione della classificazione .....	22
18	5.8 Rapporto di prova.....	23
19	5.9 Test svolti .....	24
20	5.10 Risultati principali.....	30
21	6 Conclusioni .....	36
22	Allegato A I Test svolti .....	38
23	Allegato B Variabili caratteristiche .....	126
24	Bibliografia .....	132
25		

26

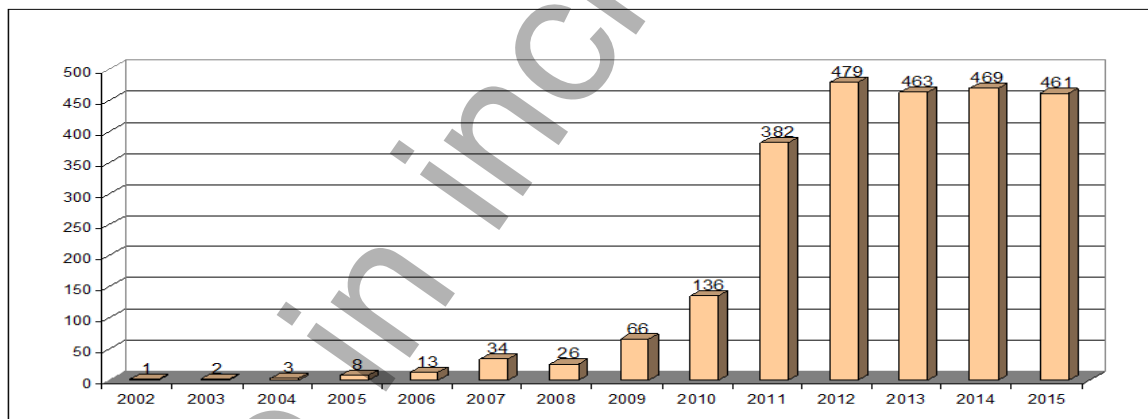
## INTRODUZIONE

27 Questo documento contiene la descrizione di alcuni protocolli di prova e dei relativi criteri per  
28 la classificazione del comportamento all'incendio di moduli fotovoltaici applicati su diverse  
29 tipologie di tetto, definiti di seguito per abbreviare anche: tetti FV.

30 In particolare, i contenuti sono relativi a moduli fotovoltaici applicati su coperture di edifici,  
31 comunemente definiti in inglese "BAPV": Building Applied PhotoVoltaics e fa seguito al CEI TR  
32 82-89:2021 "Rischio d'incendio nei sistemi fotovoltaici - Comportamento all'incendio dei moduli  
33 fotovoltaici installati su coperture di edifici: protocolli di prova e criteri di classificazione" che  
34 riprende e integra con risultati e considerazioni frutto di attività recentemente svolta.

35 I protocolli messi a punto sono stati elaborati avendo, come base di partenza, quanto contenuto  
36 nel CENELEC TR 50670:2016 "External fire exposure to roofs in combination with fotovoltaic  
37 (PV) arrays - Test method(s)" e nella EN 13823:2022 "Reaction to fire tests for building products  
38 - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item",  
39 detta SBI (Single Burning Item). In particolare, i protocolli qui descritti utilizzano apparecchi di  
40 prova, misurazioni e variabili, nonché criteri di classificazione, già adottati nel contesto della  
41 regolamentazione europea dei prodotti da costruzione (rif. CPR<sup>(1)</sup>) nei confronti del  
42 comportamento al fuoco. Sono stati utilizzati campioni di sistemi costituiti da un frammento di  
43 copertura di edificio tipologicamente rappresentativa sulla quale è stato sovrapposto un  
44 campione fotovoltaico ricavato dal modulo di interesse.

45 Le ragioni che hanno evidenziato l'utilità di sviluppare tali strumenti per la classificazione del  
46 comportamento all'incendio dei tetti fotovoltaici risiedono principalmente nel numero non  
47 trascurabile di incendi che hanno coinvolto impianti fotovoltaici installati su edifici. Ad esempio,  
48 in Italia, vi sono stati complessivamente 2.500 incendi in attività con la presenza di impianti  
49 fotovoltaici che hanno richiesto l'intervento dei Vigili del Fuoco (dati ricavati dal CNVVF – Corpo  
50 Nazionale dei Vigili del Fuoco, riferiti alla fine del 2015, Figura 1). Anche altri Paesi si trovano  
51 in una situazione simile (e.g. Germania: 390 incendi in attività con impianti fotovoltaici nel 2012,  
52 [1], [2]).



53 **Figura 1 – Numeri di incendi che si sono verificati annualmente dal 2002 al 2015, su**  
54 **suolo italiano, in attività con presenza di impianti fotovoltaici e che hanno richiesto**  
55 **l'intervento dei VVF (rif. Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco CNVVF – Direzione**  
56 **Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica DCPST, 2016)**

(1) Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2011 "che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio".

57 In diverse occasioni l'impianto fotovoltaico è stata la causa scatenante l'incendio, altre volte è  
58 stato coinvolto da incendio sviluppatosi per altre cause, in alcuni casi non si è potuto accertare  
59 in modo univoco e condiviso la causa. In molti casi, tuttavia, la presenza dell'impianto  
60 fotovoltaico è stata causa rilevante del contributo peggiorativo alla propagazione dell'incendio,  
61 sia verso l'esterno dell'attività, sia verso l'interno.

62 L'importanza di quanto esposto si amplifica in una situazione nella quale il fotovoltaico ha  
63 vissuto e sta vivendo un'intensa fase di crescita. Infatti, alla fine del 2021, gli impianti  
64 fotovoltaici in esercizio in Italia hanno raggiunto quota 1.016.083, con una potenza installata  
65 complessiva pari a circa 22,594 GW (+944 MW rispetto al 2020) e, nel corso dell'anno, hanno  
66 generato più di 25 TWh [3]

67 Tali fenomeni hanno contribuito alla creazione di un processo teso principalmente a sviluppare  
68 una regolamentazione di prodotto e di metodologia di installazione finalizzata a minimizzare il  
69 rischio d'incendio relativo agli impianti fotovoltaici in copertura o sulle facciate degli edifici.  
70 Questo processo, in un futuro nel quale la presenza della fonte fotovoltaica sarà ancor più  
71 diffusa e rilevante, considerando la crescente domanda energetica, ha coinvolto diversi attori  
72 quali Autorità di controllo, Enti di normazione, produttori di moduli fotovoltaici, ecc.

73 Quanto riassunto in questo documento consiste, essenzialmente, nei risultati del programma di  
74 ricerca svolto nel corso del 2022 e negli anni precedenti<sup>(2)</sup> [4]. L'attività durante tale periodo è  
75 stata costituita sostanzialmente da:

- 76 – studi relativi al rischio d'incendio presentato dai sistemi fotovoltaici (eventi accaduti,  
77 possibili cause, ecc.);
- 78 – analisi dei provvedimenti di legge e della normativa tecnica del settore tesa ad individuare  
79 le criticità e carenze presenti negli attuali standard;
- 80 – sviluppo di varianti di alcuni fra gli attuali protocolli di prova, per una migliore valutazione  
81 delle caratteristiche di comportamento all'incendio dei tetti FV rispetto a quanto ad oggi  
82 possibile. Infatti, le caratteristiche costruttive e di installazione dei sistemi fotovoltaici, in  
83 particolar modo quando montati su edifici, non rendono agevole la valutazione del  
84 comportamento all'incendio della copertura e dell'impianto fotovoltaico nel loro insieme. Per  
85 valutare il comportamento del tetto fotovoltaico nel suo insieme, tra le molteplici tipologie  
86 di copertura e di moduli fotovoltaici, sono stati eseguiti test su campioni di modulo FV in  
87 due tipologie differenti di scenario. Nella prima tipologia di scenario sotto il modulo  
88 fotovoltaico è stato inserito un materiale incombustibile, (scenario inerte), mentre nella  
89 seconda è stata inserita una porzione di materiale combustibile (campione di copertura /  
90 tetto).

91 In particolare, i protocolli considerati, sono stati sviluppati a partire da quanto già esistente  
92 nelle norme EN 13823:2020 + A1:2022 "Reaction to fire tests for building products - Building  
93 products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item", nonché  
94 nel CENELEC TR 50670:2016 "External fire exposure to roofs in combination with fotovoltaic  
95 (PV) arrays - Test method(s)" (a cura del TC 82 "Solar fotovoltaic energy systems", WG01  
96 "Wafers, cells and modules", nel quale non sono contenuti criteri di classificazione).

97 Per quanto concerne le caratteristiche di comportamento all'incendio, l'attenzione è stata posta  
98 su quelle attinenti alla reazione al fuoco, in quanto relative a caratteristiche quali la facilità/  
99 rapidità di ignizione, la propagazione dell'incendio, la produzione di calore e di fumo e perciò  
100 ritenute di maggiore interesse per le applicazioni in oggetto (impianti installati su edifici).

101 Nel programma considerato, non sono stati presi in considerazione i cosiddetti moduli BIPV  
102 (Building Integrated PhotoVoltaics) a causa sia della loro natura "ibrida" secondo la quale  
103 risultano essere, oltre che moduli FV, anche prodotti da costruzione sia della loro ancora non  
104 amplissima diffusione. Tale peculiarità li rende soggetti a differenti regolamentazioni (i.e. CPR).

---

(2) Questo lavoro è stato finanziato dal Fondo di Ricerca per il Sistema nell'ambito dell'Accordo di Programma tra RSE S.p.A. ed il Ministero dello Sviluppo Economico - Direzione generale per il mercato elettrico, le rinnovabili e l'efficienza energetica, il nucleare - in ottemperanza del DM, 16 aprile 2018.

105 Dalla totalità delle attività svolte in questi anni, è stato notato come assumano particolare rilievo  
106 particolarità quali:

- 107 • collante (incapsulante) utilizzato per fissare i diversi strati componenti il modulo FV;
- 108 • lo strato posto a chiusura del modulo (backsheet, lato copertura edificio);
- 109 • l'inclinazione dei moduli;
- 110 • gli inneschi particolarmente aggressivi (e.g. fiamma iniziale di potenza, dimensioni e durata  
111 rilevante);
- 112 • la presenza di ventilazione;
- 113 • il tipo di copertura sottostante al modulo (e.g. avente membrane impermeabilizzanti e/o  
114 strati di isolamento termico);
- 115 • la distanza tra modulo e copertura e l'inclinazione relativa.

116 In particolare, durante i test condotti, in virtù della loro rilevanza al comportamento al fuoco,  
117 sono stati valutati i polimeri combustibili che fungono sia da incapsulante delle celle solari, sia  
118 da materiale coesivo tra i diversi strati del modulo FV, oltre ad altri materiali combustibili, quali  
119 impermeabilizzanti e isolanti termici, utilizzati nelle coperture. Dai test condotti su moduli con  
120 backsheet in vetro è apparso evidente che la natura polimerica del materiale di coesione dei  
121 vetri renda il materiale facilmente combustibile.

122 Inoltre, le caratteristiche del backsheet stesso risultano essere di rilevante importanza per la  
123 propagazione dell'incendio verso gli strati interni del modulo (e.g. plastica/vetro, vetro  
124 temprato/indurito, presenza di lamine metalliche interne al modulo, ...). Riguardo gli  
125 impermeabilizzanti e gli isolanti nella copertura, nell'ambito dei test svolti, si è vista la loro  
126 ampia partecipazione alla combustione, tale da incrementare nettamente il valore del calore  
127 complessivamente sviluppato.

128 Si sottolinea, inoltre, che, i protocolli approntati e i relativi criteri per la classificazione del  
129 comportamento all'incendio del campione di tetto FV, essendo il prodotto di un'attività di ricerca  
130 ancora in corso, debbano essere considerati come indicativi di tali caratteristiche, ma  
131 solamente riguardo alle configurazioni ed alle tipologie di materiali testate.

132 Nell'allegato al presente documento vengono infine riassunti i risultati principali ottenuti dalla  
133 campagna sperimentale focalizzata sulla messa a punto e validazione dei protocolli suddetti.

134 Il programma sperimentale è stato svolto con la collaborazione di: a) Istituto Giordano S.p.A.  
135 (Laboratorio di Reazione al Fuoco, Gatteo - FC) che ha collaborato alla messa a punto dei test,  
136 ha fornito diversi tra i materiali utilizzati e presso il quale sono stati effettuati tali test; b)  
137 Politecnico di Milano (Dip. di Energia, FireLab, Milano), presso il quale è stata effettuata  
138 l'attività relativa alle diagnosi non distruttiva con tecniche termografiche e, durante alcuni degli  
139 anni precedenti, anche alcuni test relativi al comportamento all'incendio dei moduli FV; c)  
140 DCPST (Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica, CNVVF - Corpo  
141 Nazionale dei Vigili del Fuoco) che ha collaborato alla messa a punto e alla supervisione del  
142 programma sperimentale; d) SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana)  
143 che ha fornito diversi moduli FV integri e degradati con trattamenti eseguiti secondo gli standard  
144 dedicati a tale scopo.

145 **1 Scopo**

146 Scopo di questo documento è proporre soluzioni utili per la classificazione del comportamento  
147 all'incendio di un impianto fotovoltaico installato sulla copertura di un edificio, comunemente  
148 definito BAPV.

149 In particolare, la potenziale utilità di tali soluzioni risiede nella possibilità di rendere disponibili  
150 parametri di pericolosità da utilizzare durante la fase di progettazione della sicurezza  
151 antincendio di tetti FV. Ciò in un contesto che vede il numero di incendi coinvolgenti sistemi  
152 fotovoltaici associati ad edifici essersi assestato su valori non trascurabili.

153 Si ricorda, inoltre, che i nuovi protocolli sviluppati prevedono l'impiego dei campioni montati su  
154 attrezzature di prova esistenti; sotto la cappa e all'interno di una camera prove già utilizzata  
155 nell'ambito dell'attuale normativa europea prodotti da costruzione (UNI EN 13823:2022) e  
156 consentono la classificazione del comportamento all'incendio del campione costituito dal  
157 "pacchetto" modulo + ultimo strato di copertura di tetti, sulla base della misura del calore  
158 rilasciato durante la combustione.

159 Perciò i contenuti del presente TS sono da intendersi, principalmente, quale sintesi descrittiva  
160 del lavoro svolto, concernente anche indicazioni su di una possibile metodologia di "fire rating"  
161 e, secondariamente, quale vademecum per chiunque voglia replicare i test ivi descritti presso  
162 un'installazione sperimentale diversa da quella utilizzata dagli autori.

163 **2 Riferimenti normativi**

164 Nel seguente elenco sono riportati, seppur in modo non esaustivo, i principali documenti  
165 contenenti i riferimenti alla sicurezza antincendio dei sistemi fotovoltaici (ad alcuni di essi è  
166 stato fatto esplicito riferimento nel testo, in quanto di utilità per l'applicazione qui considerata).  
167 Qualora il riferimento normativo riporti la data di emanazione, si dovrà considerare  
168 esclusivamente l'edizione riportata. Nel caso in cui vi sia solo il riferimento sprovvisto della data  
169 di emanazione, si dovrà considerare l'ultima edizione disponibile del documento citato,  
170 comprese eventuali modifiche e varianti. In particolare, per il criterio di trascrizione, sono stati  
171 riportati nell'elenco per prima i documenti internazionali e in seguito quelli europei. Per ultimo  
172 sono stati inseriti i riferimenti nazionali.

173 Elenco dei principali documenti normativi contenenti riferimenti alla sicurezza antincendio dei  
174 sistemi fotovoltaici:

<u>Publicazione</u>	<u>Anno</u>	<u>Titolo</u>	<u>Norma CEI</u>
IEC 61730-2	2016	Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing	
IEC 61215-1	2021	Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements	
IEC 61215-2	2021	Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures	
UL 1703	2019	Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels	
UL 790	2022	Standard for Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings	

175

<u>Pubblicazione</u>	<u>Anno</u>	<u>Titolo</u>	<u>Norma CEI</u>
ISO 5660-1	2019	<i>Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)</i>	–
CEN EN 13501-1	2018	<i>Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests</i>	–
CEN EN 13501-2	2016	<i>Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services</i>	–
CEN EN 13501-5	2016	<i>Fire classification of construction products and building elements - Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests</i>	–
CEN EN 13823 A1	2020 2022	<i>Reaction to fire tests for building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item</i>	–
CEN TS 1187	2012	<i>Test methods for external fire exposure to roofs</i>	–
CEN TS 16459	2019	<i>External fire exposure of roofs and roof coverings - Extended application of test results from CEN/TS 1187</i>	–
CENELEC EN IEC 61730-2	2018	Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) - Parte 2: Prescrizioni per le prove	CEI 82-28:2018
CENELEC EN 50583-1	2016	Il fotovoltaico negli edifici - Parte 1: Moduli fotovoltaici per l'integrazione architettonica (BIPV)	CEI 82-54:2016
CENELEC EN 50583-2	2016	Il fotovoltaico negli edifici – Parte 2: Impianti fotovoltaici con integrazione architettonica (BIPV)	CEI 82-53:2016
CENELEC TR 50670	2016	<i>External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays - Test method(s)</i>	–
–		Guida alla realizzazione di sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di Media e Bassa Tensione	CEI 82-25:2022
CEI EN IEC 61730-2 EC1	2018 2018	Qualificazione per la sicurezza dei moduli fotovoltaici (FV) – Parte 2: Prescrizioni per le prove	CEI TR 82-89:2021

<u>Pubblicazione</u>	<u>Anno</u>	<u>Titolo</u>	<u>Norma CEI</u>
–	2021	Rischio d'incendio nei sistemi fotovoltaici - Comportamento all'incendio dei moduli fotovoltaici installati su coperture di edifici: protocolli di prova e criteri di classificazione	CEI TR 82-89
UNI 9176	1998	<i>Preparazione dei materiali per l'accertamento delle caratteristiche di reazione al fuoco</i>	–
UNI 8457	1987	<i>Prodotti combustibili suscettibili di essere investiti dalla fiamma su una sola faccia - Reazione al fuoco mediante applicazione di una piccola fiamma</i>	–
UNI 9174	1987	<i>Reazione al fuoco dei prodotti sottoposti all'azione di una fiamma d'innescio in presenza di calore radiante</i>	–
UNI 9177	1987	<i>Classificazione di reazione al fuoco dei prodotti combustibili</i>	–

177 I risultati riassunti nel presente documento si inseriscono nel contesto della normazione tecnica  
178 in relazione alla sicurezza antincendio della combinazione di impianti fotovoltaici applicati sulle  
179 coperture degli edifici (tetti FV, con particolare attenzione alle configurazioni frequenti in UE).

180 A tal proposito, si sottolinea come il settore della normativa (nazionale ed internazionale) sia  
181 ancora in fase di evoluzione relativamente alle tematiche qui considerate a causa dei diversi  
182 approcci alla progettazione della sicurezza antincendio delle installazioni FV.

183 Si ricorda inoltre che, a livello nazionale, il settore legislativo è intervenuto già da anni con  
184 alcuni provvedimenti allo scopo di:

- 185 – regolamentare l'installazione di sistemi FV su edifici sedi di attività soggette ai controlli di  
186 prevenzione incendi (rif. D.P.R. num. 151 dello 01.08.2011 "Regolamento recante  
187 semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi, a norma  
188 dell'articolo 49 comma 4-quater, decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito con  
189 modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122");
- 190 – fornire una classificazione per mezzo della normativa vigente;
- 191 – consentirne l'installazione a regola d'arte.

192 In particolare, sono attualmente in vigore in Italia i seguenti atti:

- 193 • Ministero dell'Interno – Dipartimento dei Vigili del fuoco, del Soccorso pubblico e della  
194 Difesa civile – DCPST Area Prevenzione incendi, Nota prot. n. 1324 del 07 febbraio 2012 -  
195 Oggetto: "Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici - Edizione Anno 2012";
- 196 • Ministero dell'Interno – Dipartimento dei Vigili del fuoco, del Soccorso pubblico e della  
197 Difesa civile – DCPST, Nota prot. n. 6334 del 4 maggio 2012 - Oggetto: "Chiarimenti alla  
198 nota prot. DCPREV 1324 del 7/2/2012 'Guida per l'installazione degli impianti fotovoltaici -  
199 Edizione 2012'".

200 Il primo dei due documenti (Nota 1324) richiama la normativa armonizzata europea per i prodotti  
201 da costruzione, il secondo (Nota 6334) richiama invece norme tecniche nazionali, utilizzate  
202 prima del recepimento della direttiva prodotti da costruzione (89/106/CEE, poi sostituita dal  
203 Regolamento n. 305/2011) e della pubblicazione delle relative norme armonizzate.



204 Risulta, perciò, evidente come tale tematica non sia al momento stata risolta permanendo a  
205 livello legislativo una situazione di carattere transitorio.

206 (Per quanto riguarda la normativa nazionale – UNI 9176, 8457, 9174, 9177 – si sottolinea che  
207 gli attuali riferimenti normativi, sono versioni più recenti di quelle richiamate nella  
208 Nota 6334:2012 di cui sopra. Tuttavia, ai fini della Certificazione secondo Articolo 10 del DM  
209 26/06/84 si applicano ancora le versioni delle norme UNI del 1987).

210 Per quanto concerne la normativa tecnica internazionale e i corrispondenti recepimenti, si  
211 sottolinea che nell'attuale versione della IEC 61730-2 (IEC 61730-2:2016 "Photovoltaic (PV)  
212 module safety qualification - Part 2: Requirements for testing") e nel corrispondente  
213 recepimento EN IEC 61730-2:2018 la tabella "Table 4 - Fire hazard tests" riporta che i "Fire  
214 test" di riferimento risultano essere secondo "National/Local code". Riguardo al "Ignitability test"  
215 il riferimento normativo risulta essere la ISO 11925-2 (vedere lista di cui alla pag. precedente).  
216 Inoltre, in tale standard è anche riportato come i "PV modules" siano considerati alla stregua di  
217 "building product", mentre all'interno dell'UE tali apparecchiature non vengano (in genere)  
218 considerate, tranne nel caso nel quale siano BIPV, dei prodotti da costruzione integrati e facenti  
219 funzione di componente edilizio.

### 220 **3 Termini e definizioni**

#### 221 **3.1 Generalità**

222 Ai fini del presente documento, si applicano i termini e le definizioni delle seguenti norme:

- 223 • EN 13823:2022 "Reaction to fire tests for building products - Building products excluding  
224 floorings exposed to the thermal attack by a single burning item";
- 225 • EN 13501-1:2018 "Fire classification of construction products and building elements –  
226 Part 1: Classification using data from reaction to fire tests".
- 227 • EN 13501-5:2018 "Fire classification of construction products and building elements - Part  
228 1: Classification using data from reaction to fire tests".
- 229 • UNI 9177 "Fire classification of construction products and building elements –  
230 Part 1: Classification using data from reaction to fire tests".

231 Nel presente capitolo viene riportata una breve sintesi delle principali variabili che vengono  
232 spesso considerate per valutare le caratteristiche di reazione al fuoco (tali variabili risultano  
233 essere diverse in funzione della normativa tecnica di riferimento). In particolare, per quanto  
234 concerne la normativa armonizzata per i prodotti da costruzione diversi da tetti o pavimenti, la  
235 reazione al fuoco è basata principalmente sulle seguenti variabili [5]:

- 236 – EN 13823:2022 (SBI: Single Burning Item):  
237 HRR (Heat Release Rate) [kW], THR (Total Heat Release) [MJ], FIGRA (Fire Growth Rate,  
238 velocità di crescita dell'incendio) [W/s], SPR (Smoke Production Rate, rateo produzione  
239 fumo) [m<sup>2</sup>/s], TSP (Total Smoke Production, produzione di fumo totale) [m<sup>2</sup>], SMOGRA  
240 (SMOke Growth Rate, velocità di crescita della produzione dei fumi) [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>], LSF (Lateral  
241 Spread of Flame, propagazione dell'incendio verso il lato "lontano" dal bruciatore del  
242 campione) [mm];

243 Ai fini della classificazione della reazione al fuoco dei tetti esistono 4 metodi diversi riportati  
244 nella CEN/TS 1187, che in modo diverso determinano la zona danneggiata del tetto a seguito  
245 di vari attacchi termici. I criteri di classificazione dei tetti sono descritti nella EN 13501-5 <sup>(3)</sup>.

246 Le prove per la classificazione italiana UNI 9177 sono svolte a fronte di test UNI 8457,  
247 UNI 9174, UNI 9176.

---

(3) Tale norma si basa sui risultati dei test contenuti nella CEN TS 1187:2012, i quali si sono ritenuti scarsamente significativi per i sistemi in oggetto (campioni di tetti FV), anche a seguito dello svolgimento di alcuni dei suddetti test su diversi campioni.

248 (Una descrizione più completa e comprensiva delle formulazioni matematiche delle suddette  
249 variabili è fornita nell'Allegato B).

### 250 3.2 EN 13823

#### 251 3.2.1 Heat Release Rate

252 – HRR(t)

253  $HRR_{av\_burner}$ : valore medio dell'HRR (Heat Release Rate) del bruciatore [kW],

254  $HRR_{total}(t)$ : valore complessivo (totale) dell'HRR rilasciato dalla combustione del bruciatore  
255 e del campione [kW]

256  $HRR_{30s}(t)$ : valore medio dell'HRR (Heat Release Rate) rilasciato dal campione in un  
257 intervallo di 30 s (da  $t - 15$  s a  $t + 15$  s, anche identificato come  $HRR_{av}(t)$ ) [kW].

258  $HRR(t)$ : valore dell'HRR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [kW].

#### 259 3.2.2 Total Heat Release

260 – THR( $t_a$ )

261  $THR(t_a)$ : valore dell'energia termica rilasciata (Total Heat Release) dal campione  
262 nell'intervallo  $300$  s  $\div t_a$  [MJ],

263  $HRR(t)$ : valore dell'HRR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [kW],

264  $THR_{600s}$ : valore dell'energia termica rilasciata dal campione nell'intervallo  $300$  s  $\div 900$  s  
265 [MJ],

#### 266 3.2.3 Fire Growth Rate

267 –  $FIGRA_{0,2MJ}$ ,  $FIGRA_{0,4MJ}$

268 Solitamente si identificano due valori caratteristici denominati, rispettivamente,  $FIGRA_{0,2MJ}$   
269 e  $FIGRA_{0,4MJ}$  che considerano solamente  $HRR_{av}(t)$  per  $t > t_a$  dove  $t_a$  risulta essere l'istante  
270 nel quale si verifica che  $THR(t_a) = 0,2$  MJ oppure  $0,4$  MJ (valore dell'energia termica  
271 rilasciata dal campione nell'intervallo  $300$  s  $\div t_a$ ) [W/s].

272 A tal proposito, è possibile introdurre un'ulteriore definizione di FIGRA "istantaneo" ( $FIGRA^i$ )  
273 il quale rappresenta semplicemente la pendenza della retta che congiunge il punto  
274 considerato nel diagramma  $HRR_{av}(t)$  con l'origine ( $t = 300$  s).

#### 275 3.2.4 Smoke Production Rate (come da versione EN 13823:2010, non si fa la correzione 276 del fumo)

277 – SPR(t)

278  $V(t)$ : portata volumica fluido nel condotto estrazione fumi [ $m^3/s$ ],

279  $T_{ms}$ : temperatura nella sezione di misura del condotto estrazione fumi [K],

280  $L$ : lunghezza del percorso della luce emessa dal sensore fumi nel condotto estrazione fumi  
281 [m],

282  $I(t)$ : segnale del ricevitore del sensore fumi nel condotto estrazione all'istante  $t$  (%),

283  $\bar{I}(30...90s)$ : valore medio del segnale del ricevitore del sensore fumi nel condotto  
284 estrazione dall'istante 30 a 90 s (%),

285  $SPR_{total}(t)$ : valore complessivo (totale) dell'SPR (Smoke Production Rate) del bruciatore e  
286 del campione [ $m^2/s$ ]

287  $SPR_{av\_burner}$ : valore medio dell'SPR del bruciatore [ $m^2/s$ ],

288  $SPR(t)$ : valore dell'SPR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [ $m^2/s$ ].

289 –  $SPR_{60s}(t)$

290  $SPR_{60s}(t)$ : valore medio dell'SPR rilasciato dal campione in un intervallo di 60 s (da  $t - 30$   
291 s a  $t + 30$  s, anche identificato come  $SPR_{av}(t)$ ) [ $m^2/s$ ].

292  $SPR(t)$ : valore dell'SPR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [ $m^2/s$ ].

293 **3.2.5 Total Smoke Production (come da versione EN 13823:2010, non si fa la**  
294 **correzione del fumo)**

295 – TSP(t)

296  $TSP(t_a)$ : valore del quantitativo di fumo (Total Smoke Production) rilasciato dal campione  
297 nell'intervallo  $300\text{ s} \div t_a$  [ $\text{m}^2$ ],

298  $SPR(t)$ : valore dell'SPR rilasciato dal campione ( $t > 300\text{ s}$ ) [ $\text{m}^2/\text{s}$ ],

299  $TSP_{600\text{s}}$ : valore del quantitativo di fumo (Total Smoke Production) rilasciato dal campione  
300 nell'intervallo  $300\text{ s} \div 900\text{ s}$  [ $\text{m}^2$ ],

301 **3.2.6 SMOke Growth RAte(come da versione EN 13823:2010, non si fa la correzione del**  
302 **fumo)**

303 – SMOGRA

304  $SMOGRA$ : SMOke Growth RAte ( $t > 300\text{ s}$ ) del campione [ $\text{m}^2/\text{s}^2$ ],

305  $SPR_{av}(t)$ : valore medio dell'SPR rilasciato dal campione in un intervallo di 60 s (da  $t - 30\text{ s}$   
306 a  $t + 30\text{ s}$ , anche identificato come  $SPR_{60\text{s}}(t)$ ) [ $\text{m}^2/\text{s}$ ].

307 A tal proposito, è possibile introdurre un'ulteriore definizione di SMOGRA "istantaneo" il  
308 quale rappresenta semplicemente la pendenza della retta che congiunge il punto  
309 considerato nel diagramma  $SPR_{av}(t)$  con l'origine ( $t = 300\text{ s}$ ).

310 **3.2.7 Definizioni utili da CEN TS 1187 - T2**

311 – lunghezza della zona danneggiata: lunghezza del materiale danneggiato della copertura del  
312 tetto e del substrato rispettivamente, espressa in millimetri e misurata dal centro della  
313 posizione della catastina di legno (per la prova T2)

314 – substrato: prodotto utilizzato immediatamente sotto la copertura del tetto, sul quale sono  
315 richieste informazioni (per la prova T2)

316 **3.3 Classi di Reazione al fuoco italiane**

317 Per quanto concerne la normativa nazionale, attualmente in vigore in Italia per la  
318 determinazione delle caratteristiche di reazione al fuoco dei moduli FV, è basata sulle seguenti  
319 variabili [6], [7]:

320 – UNI 8457 (Piccola fiamma)

321 Tempo di post-incandescenza [s], Tempo di post- combustione [s], Zona danneggiata [mm],  
322 Gocciolamento.

323 – UNI 9174 (Bruciatore con Pannello radiante)

324 Velocità di propagazione della fiamma [mm/min], Tempo di post- incandescenza [s], Zona  
325 danneggiata [mm], Gocciolamento.

326 Ai fini della classificazione, effettuata in questo caso per mezzo della UNI 9177, combinando i  
327 risultati delle prove di piccola fiamma (UNI 8457) e del pannello radiante (UNI 9174) - entrambi  
328 espressi in "categorie" - vengono identificate le classi di reazione al fuoco 0, 1, 2, 3, 4, 5, dove  
329 0 rappresenta la non combustibilità, mentre le altre classi sono relative a caratteristiche via via  
330 peggiori di resistenza alla partecipazione alla combustione.

#### 331 4 Definizione del problema

332 Il ruolo rivestito dal sistema copertura + modulo fotovoltaico, nella definizione del rischio  
333 d'incendio associato alla presenza di sistemi FV sulle coperture degli edifici, risulta essere  
334 fondamentale. Per tale ragione si è ritenuto essenziale, al fine di poter valutare il  
335 comportamento all'incendio dei tetti FV, approntare protocolli di prova che utilizzassero  
336 campioni formati da porzioni di modulo FV in unione a porzioni di materiali utilizzati per le  
337 coperture e assiemati secondo le configurazioni usualmente impiegate a tale scopo. In tal  
338 modo, pur nella limitatezza dello scenario testato (porzione ridotta di copertura,  
339 sovrapposizione di porzione di modulo fotovoltaico con determinata inclinazione, spazi di  
340 separazione tra i componenti più altre configurazioni esemplificative del reale ma non  
341 comprensive di tutte le soluzioni possibili), l'influenza reciproca tra le diverse parti è stata  
342 valutata grazie alla contemporanea presenza dei suddetti componenti.

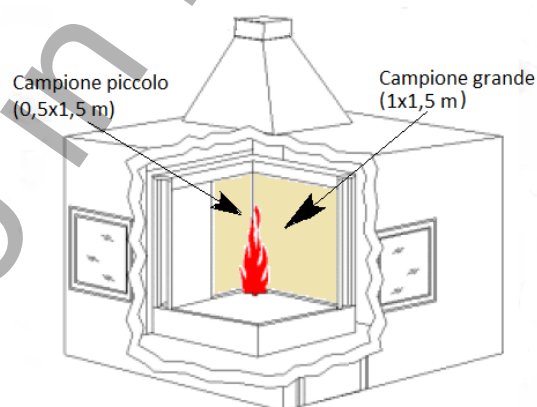
343 La metodologia utilizzata è in accordo con l'impostazione attualmente in vigore nel nostro  
344 Paese che prevede, ai fini della sicurezza antincendio, la valutazione del comportamento  
345 all'incendio dell'insieme del modulo fotovoltaico e della copertura in funzione sia delle  
346 caratteristiche del modulo, sia di quelle della copertura (Ministero dell'Interno - VVF,  
347 Nota 1324:2012, Nota 6334:2012), mutate, però, da procedure che prevedono i test eseguiti  
348 esclusivamente su campioni di copertura oppure di modulo FV, rispettivamente.

#### 349 5 Soluzioni possibili

##### 350 5.1 Generalità

351 Le varianti ai protocolli di prova che sono state sviluppate durante gli anni scorsi (annualità  
352 RdS – Ricerca di Sistema 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022, [4], [6], [8], [9], [10], [11], [12])  
353 sono motivate, come già evidenziato, dall'esigenza di valutare in modo più rigoroso e completo,  
354 rispetto a quanto attualmente possibile per mezzo della normativa esistente, il comportamento  
355 all'incendio, ed in particolare la reazione al fuoco, dei tetti FV.

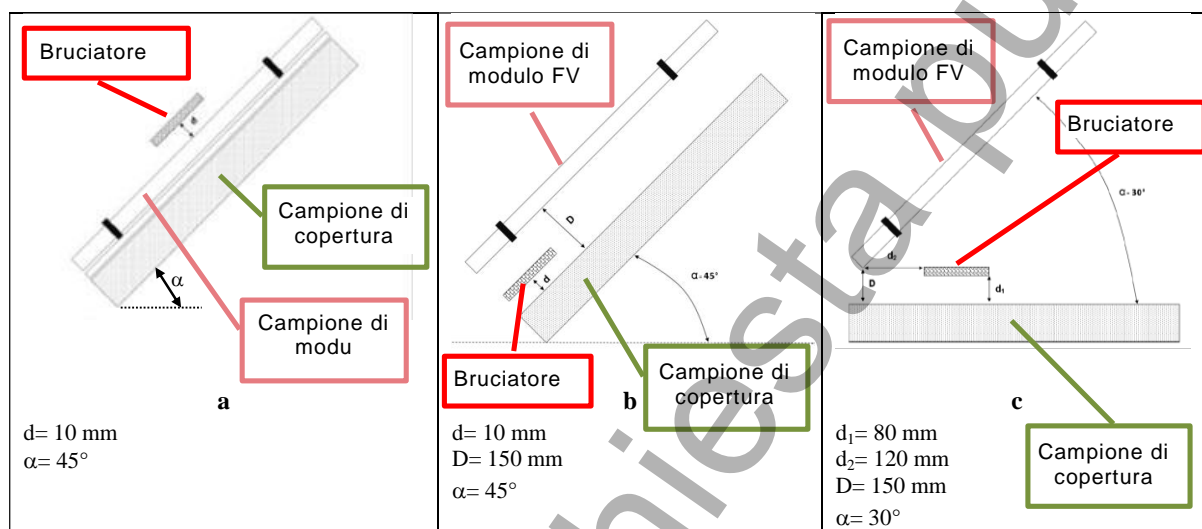
356 L'esigenza deriva dalla particolarità/tipicità costruttiva e di installazione che differenzia in modo  
357 rilevante tali "assiemi" rispetto alle tradizionali coperture. Inoltre, si ricorda ancora, in quanto la  
358 si ritiene caratteristica rimarchevole, che tali protocolli utilizzano le stesse apparecchiature di  
359 prova già presenti nell'attuale versione della norma CEN EN 13823 (Reaction to fire tests for  
360 building products - Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a  
361 single burning item, detta SBI, Figura 2) e non necessitano di mezzi ulteriori per essere  
362 impiegati al fine di testare i campioni di tetto FV. Perciò le procedure di prova risultano avere  
363 un approccio sostanzialmente simile a quanto già presente riguardo i prodotti da costruzione.



364 **Figura 2 – Schema delle apparecchiature di prova e dei relativi campioni della**  
365 **CEN EN 13823:2010 (SBI)**

366 A tal proposito, si ricorda che non si è utilizzato quanto già esistente in ambito CPR e  
367 riguardante le coperture degli edifici (Nota 3, pag. 8).

368 Come già ricordato, i nuovi protocolli di prova sono stati approntati prendendo spunto da quanto  
369 contenuto nell'ultimo documento tecnico pubblicato sul tema dall'ente di normalizzazione  
370 europeo CENELEC (TR 50670:2016 "External fire exposure to roofs in combination with  
371 fotovoltaic (PV) arrays - Test method(s)" a cura del TC 82 "Solar fotovoltaic energy  
372 systems", WG01 "Wafers, cells and modules"). Nel TR i test contenuti non sono associati a  
373 nessun criterio di classificazione, ma vengono dettate solo alcune osservazioni da riportare  
374 in relazione a quanto indicato. Inoltre, i test sono relativi ad un campione di modulo FV montato  
375 in modo da riprodurre sostanzialmente quanto esistente su di una copertura di edificio senza  
376 prevedere un campione di tale copertura o meglio con la sola presenza di un pannello inerte al  
377 di sotto del modulo (Figura 3).



378  
379 **Figura 3 – Schemi dei tre (3) protocolli di prova contenuti nel CLC TR 50670 (a: burner**  
380 **on top of a PV array; b: burner between a PV array and a tilted roof; c: burner between a**  
381 **PV array and a flat-roof). Il “Campione di copertura” nel TR risulta essere sempre un**  
382 **pannello inerte**

383 Il bruciatore utilizzato è di forma quadrata ed è costituito da una tubazione con sezione circolare  
384 e forata (num. 32 fori eseguiti secondo precisi valori delle dimensioni e delle inclinazioni  
385 dell'asse dei medesimi) avente diametro ( $D_b$ ) pari a 15 mm e lato ( $L_b$ ) pari a 265 mm. La  
386 potenza termica sviluppata deve essere di 30 kW ( $\pm 1$  kW) e il combustibile da impiegare deve  
387 essere propano in fase gassosa. La posizione del bruciatore deve essere secondo quanto  
388 schematizzato nella figura precedente (Figura 3, dove, lungo la direzione trasversale, il  
389 bruciatore è posizionato centralmente al campione del modulo FV).

390 Tale potenza termica è in linea con quella prevista dal metodo T1 CEN/TS 1187, anche se nella  
391 prova di incendio da tetti si utilizza una catasta di lana di legno. Il bruciatore a propano risulta  
392 essere più ripetibile e costante.

393 In particolare, con riferimento ai tre (3) protocolli contenuti nel TR considerato, si sono messi a  
394 punto tre (3) protocolli basati sui test suddetti (a, b e c, Figura 3), i quali prevedono,  
395 rispettivamente la presenza del bruciatore sopra o sotto il modulo in uno scenario “tipo  
396 copertura inclinata” (a, b) oppure “tipo copertura orizzontale” (c).

397 A seguire vengono descritti tali protocolli nella loro completezza, in modo da assicurarne anche  
398 la replicabilità, ciò nel duplice intento di cui al Capitolo 1 (Scopo).

399 **5.2 Condizionamento dei campioni e dei substrati**

400 Le provette prelevate dal Modulo FV e i relativi substrati rappresentati l'ultimo strato di  
401 copertura di tetto andranno condizionati per un tempo minimo di 48 h, in un ambiente con  
402 temperatura di  $(23 \pm 2)$  °C e umidità relativa del  $(50 \pm 5)$  %

403 **5.3 Metodologia preparazione campioni**

404 Il campione di prova da 800 mm X 600 mm può essere fornito dal produttore o ricavato da un  
405 modulo FV mediante l'operazione di taglio.

406 In ogni caso, è importante posizionare e tagliare il campione in modo da avere le stringhe di  
407 celle, collegate tramite bus bar, posizionate parallelamente al lato di lunghezza pari a 600 mm,  
408 come mostrato nella seguente immagine di Figura 4. Questo permette di evitare che durante il  
409 test, a seguito di rottura del campione, parte di questo si allontani dalla fiamma.



410

411 **Figura 4 – Allestimento del campione di prova**

412 **5.4 Metodologia preparazione camera SBI prove**

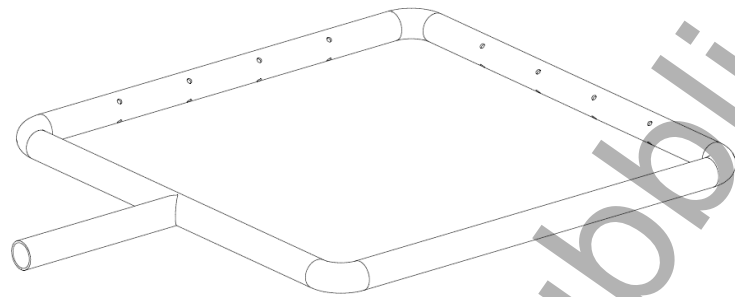
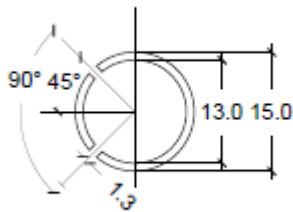
413 La prova viene svolta utilizzando la medesima attrezzatura e il medesimo Software della  
414 EN 13823:2022, definita per semplicità SBI (Single Burning Item), opportunamente modificata.

415 La modifica principale riguarda i bruciatori e il posizionamento dei provini, mentre tutta la parte  
416 di misure "calorimetriche" non subisce alcun tipo di modifica rispetto allo SBI.

417 Per questa ragione, per quanto si utilizzi la strumentazione vigente al 2022, non viene apportata  
418 alcuna correzione al dato dei fumi dovuto alla differenza tra il bruciatore ausiliario e primario  
419 della strumentazione SBI originaria. Il test viene eseguito, dunque, con le stesse modalità di  
420 prova della EN 13823, lo stesso software e medesima elaborazione dati.

421 **5.4.1 Bruciatori**

422 I bruciatori previsti dalla EN 13823 vengono dunque esclusi e bypassati per alimentare due  
423 nuovi bruciatori, con le caratteristiche di cui al TR 50670. La Figura 5 mostra un dettaglio del  
424 bruciatore scelto.



425

426

**Figura 5 – Dettaglio del bruciatore di cui al TR 50670**

427 Il bruciatore ausiliario usato per la taratura è posizionato all'altezza del bruciatore attuale  
428 previsto dalla EN 13823, dentro la zona della cappa di aspirazione e parallelamente al piano  
429 del trolley in alto, al di sopra dei campioni di prova.

430 Il bruciatore principale è invece posizionato al di sotto dei campioni di prova, come descritto in  
431 Figura 3 b) e c).

432 Nella foto seguente (Figura 6) si mostra un allestimento con il dettaglio dei due bruciatori usati.



433

434

435

**Figura 6 – Dettaglio del montaggio dei due bruciatori per la prova con inclinazione 45° (b)**

## 436 5.4.2 Metodologia delle prove

### 437 5.4.2.1 Costituzione generale del campione di tetto FV e numero di prove

438 Ogni campione può essere provato nelle tre posizioni principali (i.e. protocolli di prova *a*, *b*, *c*),  
439 o nella condizione specifica richiesta dal committente.

440 Il protocollo prevede due test per ciascuna configurazione standard (i.e. *a*, *b*, *c*), con la media  
441 dei due campioni usato come esito finale del test.

442 Il test sul modulo FV può esser eseguito usando i seguenti substrati a simulare l'ultimo strato  
443 di copertura del tetto.

444 I substrati standard scelti sono:

- 445 • Calcio Silicato (CaSi) come da EN 13238 densità  $870 \pm 50 \text{ kg/m}^3$  e spessore  $11 \pm 2 \text{ mm}$ ;
- 446 • Pannello sandwich (pannello isolante autoportante a doppio rivestimento con paramenti  
447 metallici, rif. EN 14509) con lamiera in alluminio da 0,3 mm e isolante in PIR da 50 mm e  
448 classe di reazione al fuoco pari almeno a B s2 d0;
- 449 • Membrana impermeabilizzante applicata o meno ad uno strato di isolamento termico, di  
450 spessore massimo 50 mm del quale sono note le caratteristiche di rilascio termico (i.e.  
451 THR), misurate secondo la norma ISO 5660-1 con attacco termico da  $50 \text{ kW/m}^2$ .

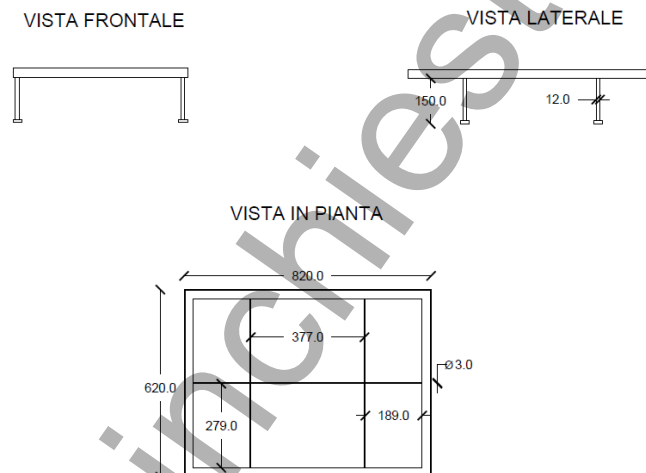
452 Oppure ogni altro tipo di substrato specifico, con spessore massimo 50 mm.

453 I substrati vengono applicati in appoggio a loro volta su una lastra di Calcio Silicato (CaSi)  
454 come da EN 13238 densità  $870 \pm 50 \text{ kg/m}^3$  e spessore  $11 \pm 2 \text{ mm}$ .

#### 455 5.4.2.2 Test per pannelli paralleli al tetto Inclinato di 45° (b)

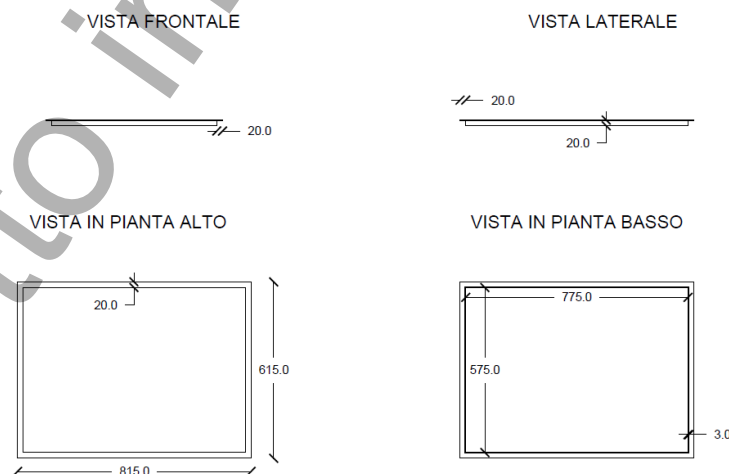
456 Sul trolley (supporto) SBI non vengono posizionati i soliti campioni in verticale a coprire l'ala  
457 lunga e corta come da norma EN 13823.

458 Il pannello FV viene inserito sul porta-campioni (Figura 7) e poi bloccato lungo i bordi mediante  
459 una cornice in acciaio (Figura 8).



460

461 **Figura 7 – porta campioni per Test per pannelli paralleli al tetto Inclinato di 45° (b)**



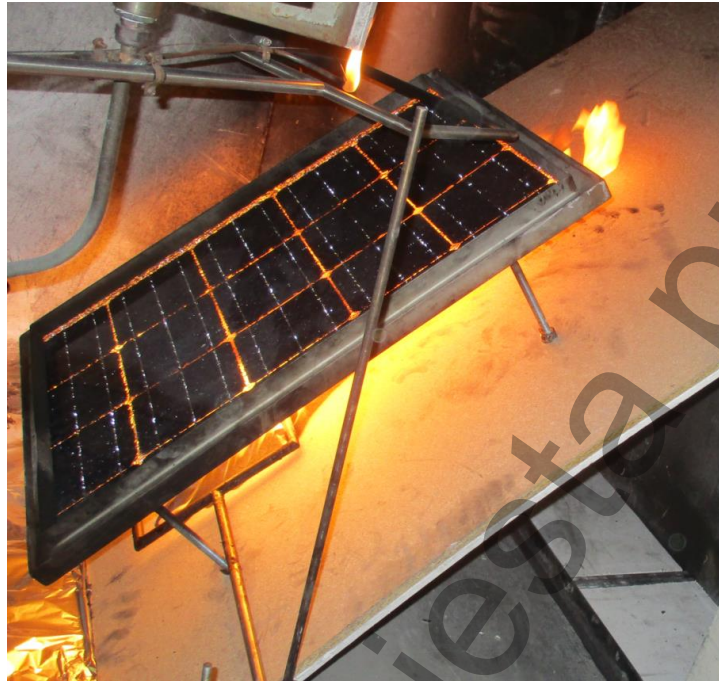
462

463 **Figura 8 – cornice in acciaio per bloccare i campioni di prova sul porta-campioni**



464 Il porta-campioni, viene dunque fissato al substrato mediante barre filettate per raggiungere la  
465 distanza di 150 mm dal piano del substrato.

466 Il pannello di CaSi da 1500 mm x 1000 mm e il substrato relativo (da 1500mm x 1000 mm)  
467 vengono posizionati appoggiando la lastra inclinata di 45° alla parete del trolley (dal lato dell'ala  
468 lunga, rif. foto Figura 9).



469

470 **Figura 9 – Foto del campione in prova con lastra inclinata di 45° (b)**

471 Nel caso della membrana impermeabilizzante, con o senza isolante, basta applicare al di sotto  
472 del pannello Fotovoltaico la membrana da 800 X 600 mm al CaSi, mediante nastro adesivo in  
473 alluminio lungo i bordi inferiore e superiore.

474 **5.5 Test per pannelli inclinati di 30° su tetto piano (c)**

475 Sul trolley - (supporto) SBI non vengono posizionati i soliti campioni in verticale a coprire l'ala  
476 lunga e corta come da norma EN 13823.

477 Il pannello FV viene inserito sul porta-campioni mostrato in Figura 10 e poi bloccato lungo i  
478 bordi mediante una cornice in acciaio (Figura 8).



479

480 **Figura 10 – Porta campioni per Test per pannelli inclinati di 30° su tetto piano (c)**

481 Il porta-campioni, viene dunque appoggiato al substrato.

482 Il pannello di CaSi nelle dimensioni utili a coprire l'intera base del trolley e il substrato relativo  
483 (nelle stesse dimensioni del pannello FV, 800 X 600 mm) vengono posizionati in appoggio alla  
484 base del trolley (Figura 11); in alternativa, è possibile applicare il pannello di CaSi (Calcio-  
485 silicato) sopra l'attuale bruciatore SBI, appoggiando tale pannello su degli appositi distanziali  
486 per permetterne il posizionamento in piano.

487 Nel caso della membrana impermeabilizzante, con o senza isolante, basta applicare in  
488 appoggio una porzione da 800 x 600 mm al di sotto del pannello Fotovoltaico sul pannello di  
489 CaSi.

490 Il porta-campioni, viene appoggiato contro il profilo ad U, come mostrato nella foto seguente  
491 (Figura 11)



492

493 **Figura 11 – Porta campioni per Test per pannelli inclinati di 30° su tetto piano (c),**  
494 **immagine da camera prove**

#### 495 **5.6 Protocolli di prova utilizzati**

496 I protocolli di prova sviluppati, tramite l'approccio già descritto, prevedono i campioni da testare  
497 composti, rispettivamente, da una parte di modulo fotovoltaico assemblato con una parte di  
498 copertura tetto. Tali campioni sono installati all'interno della camera prove SBI secondo  
499 geometrie dettate dal "tipo copertura di edificio", per cui la classificazione del comportamento  
500 all'incendio del modulo risulta possibile solamente in tale contesto con riferimento alla  
501 configurazione e ai materiali testati. Vengono, perciò sottoposti a test e classificati i "pacchetti"  
502 formati da campione modulo FV + campione di copertura secondo la geometria di interesse  
503 (angolo tra modulo e copertura, distanze tra i medesimi), in modo da classificare il "campione  
504 di FV + tetto".

505 In particolare, come ricordato in 5.1 si sono messi a punto tre (3) protocolli basati sui test *a*, *b*  
506 e *c* (Figura 3), i quali prevedono, rispettivamente la presenza del bruciatore sopra o sotto il  
507 modulo in uno scenario "tipo copertura inclinata" (*a*, *b*)<sup>(4)</sup> oppure "tipo copertura orizzontale" (*c*).

508 Nella seguente tabella vi è una breve descrizione dei nuovi protocolli di prova (Tabella 10):

---

(4) Si sottolinea che i test di tipo *a* hanno avuto risultati di scarso valore. Ciò in quanto tale protocollo si è rivelato molto poco "sfidante" per il campione di tetto FV.

509

Tabella 1 – Descrizione dei nuovi protocolli di prova individuati

Varianti	Campione: Dimensioni e Inclinazione (angolo del campione rispetto all'orizzontale)	Attacco di fiamma (bruciatore)	Periodi di prova	Variabili e osservazioni caratteristiche	Schema
a	(50 x 75) cm 45°	HRR= (30,7 ± 2,0) kW Posizione: secondo TR  Forma e dimensioni: secondo TR (bruciatore di forma quadrata e costituito da una tubazione con sezione circolare e forata - num. 32 fori eseguiti secondo precisi valori delle dimensioni e delle inclinazioni dell'asse dei medesimi - avente diametro $D_b$ pari a 15 mm e lato $L_b$ pari a 265 mm).  Combustibile: propano (fase gassosa).	$\Delta t_t = \Delta t_f + \Delta t_b +$ $\Delta t_p = 1\ 320\ s$  $\Delta t_t = 1\ 200\ s$  (durata accensione bruciatore/ attacco di fiamma durante la quale eseguire le misurazioni, posta da 300 – istante iniziale accensione bruciatore - a 1 500 s dall'inizio prova)  $\Delta t_b = 60\ s$  (intervallo finale dell'accensione bruciatore/ attacco di fiamma durante la quale non eseguire né misurazioni né osservazioni, posta da 1 500 s a 1 560 s dall'inizio prova)  $\Delta t_p = 60\ s$  (durata prova dopo l'estinzione del bruciatore /termine attacco di fiamma, per l'eventuale valutazione della presenza di post- combustione, posta da 1560 s a 1620 s dall'inizio prova)	Sviluppo calore  FIGRA [W/s]  THR [MJ]  Danno materiale  (LFS* - dimensione massima dell'apertura nel campione modulo FV)  Produzione di fumo  SMOGRA [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]  TSP [m <sup>2</sup> ]  Presenza di gocce/ particelle ardenti  Presenza di post- combustione	 a $d = 10\ mm$ (distanza del bruciatore dalla parte superiore del modulo FV) $\alpha = 45^\circ$

510

Varianti	Campione: Dimensioni e Inclinazione (angolo del campione rispetto all'orizzontale)	Attacco di fiamma (bruciatore)	Periodi di prova	Variabili e osservazioni caratteristiche	Schema
b	(50 x 75) cm 45°	$HRR = (30,7 \pm 2,0) \text{ kW}$  Posizione: secondo TR  Forma e dimensioni: secondo TR (bruciatore di forma quadrata e costituito da una tubazione con sezione circolare e forata - num. 32 fori eseguiti secondo precisi valori delle dimensioni e delle inclinazioni dell'asse dei medesimi - avente diametro $D_b$ pari a 15 mm e lato $L_b$ pari a 265 mm).  Combustibile: propano (fase gassosa).	$\Delta t_t = \Delta t_r + \Delta t_b + \Delta t_p = 1\ 320 \text{ s}$  $\Delta t_r = 1\ 200 \text{ s}$  (durata accensione bruciatore/ attacco di fiamma durante la quale eseguire le misurazioni, posta da 300 – istante iniziale accensione bruciatore - a 1 500 s dall'inizio prova)  $\Delta t_b = 60 \text{ s}$  (intervallo finale dell'accensione bruciatore/ attacco di fiamma durante la quale non eseguire né misurazioni né osservazioni, posta da 1 500 s a 1 560 s dall'inizio prova)  $\Delta t_p = 60 \text{ s}$  (durata prova dopo l'estinzione del bruciatore/ termine attacco di fiamma, per l'eventuale valutazione della presenza di post- combustione, posta da 1 560 s a 1 620 s dall'inizio prova)	Sviluppo calore  FIGRA [W/s]  THR [MJ]  Danno materiale  (LFS* - dimensione massima dell'apertura nel campione modulo FV)  Produzione di fumo  SMOGRA [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]  TSP [m <sup>2</sup> ]  Presenza di gocce/ particelle ardenti  Presenza di post- combustione	<p>Modulo FV (campione)</p> <p>Bruciatore</p> <p>Copertura</p> <p><math>\alpha = 45^\circ</math></p> <p>b d = 10 mm D = 150 mm</p>

Varianti	Campione: Dimensioni e Inclinazione (angolo del campione rispetto all'orizzontale)	Attacco di fiamma (bruciatore)	Periodi di prova	Variabili e osservazioni caratteristiche	Schema
c	(50 x 75) cm 30°	$HRR = (30,7 \pm 2,0) \text{ kW}$  Posizione: secondo TR  Forma e dimensioni: secondo TR (bruciatore di forma quadrata e costituito da una tubazione con sezione circolare e forata - num. 32 fori eseguiti secondo precisi valori delle dimensioni e delle inclinazioni dell'asse dei medesimi - avente diametro $D_b$ pari a 15 mm e lato $L_b$ pari a 265 mm).  Combustibil e: propano (fase gassosa). (id. al caso b)	$\Delta t_t = \Delta t_f + \Delta t_b + \Delta t_p = 1\ 320 \text{ s}$  $\Delta t_f = 1\ 200 \text{ s}$  (durata accensione bruciatore/ attacco di fiamma durante la quale eseguire le misurazioni, posta da 300 - istante iniziale accensione bruciatore - a 1 500 s dall'inizio prova)  $\Delta t_b = 60 \text{ s}$  (intervallo finale dell'accensione bruciatore/ attacco di fiamma durante la quale non eseguire né misurazioni né osservazioni, posta da 1 500 s a 1 560 s dall'inizio prova)  $\Delta t_p = 60 \text{ s}$  (durata prova dopo l'estinzione del bruciatore/ termine attacco di fiamma, per l'eventuale valutazione della presenza di post- combustione, posta da 1 560 s a 1 620 s dall'inizio prova)  (id. al caso b)	Sviluppo calore  FIGRA [W/s]  THR [MJ]  Danno materiale  (LFS* - dimensione massima dell'apertura a nel campione modulo FV)  Produzione di fumo  SMOGRA [m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]  TSP [m <sup>2</sup> ]  Presenza di gocce/ particelle ardenti  Presenza di post- combustione	 c $d_1 = 80 \text{ mm}$ $d_2 = 120 \text{ mm}$ $D = 150 \text{ mm}$

NOTE:

- *post-combustione: combustione visibile del campione, per almeno 5 s in  $\Delta t_p$ , oltre  $\Delta t_i + \Delta t_b$  - durata accensione bruciatore / attacco di fiamma - non oltre  $\square t_t$  - durata totale prova, da 1 560 s a 1620 s dall'inizio prova (tale fenomeno è stato valutato nel programma qui descritto ed è stato sempre presente);*
- *danno materiale (LFS\* - dimensione massima dell'apertura nel campione modulo FV): tale fenomeno è stato valutato nel programma qui descritto ed è stato sempre di grande ampiezza (i.e. protocolli b e c: apertura creata nel modulo prossima ai bordi del campione; protocollo a: nessuna apertura nel modulo), per cui non ci sono state differenze apprezzabili tra le varie prove condotte;*
- *si ritiene che il numero di prove da realizzare ai fini della classificazione possa essere pari a tre (3) per ciascuna variante (a, b, c);*
- *le descrizioni relative a "Attacco di fiamma (bruciatore)", "Periodi di prova", "Variabili e osservazioni caratteristiche" sono identiche per i 3 protocolli di prova (a, b, c).*

513 **5.7 Classificazione del modulo FV in combinazione con lo strato di copertura**

514 Al fine di agevolare la lettura delle caratteristiche rilevate dal metodo di prova, si ritiene utile la  
515 classificazione per gruppi di prodotti che rispettino un determinato range di valori misurati.

516 Ogni Modulo FV potrebbe ottenere più classi in funzione della modalità di applicazione (test a,  
517 b oppure c) e in funzione del substrato usato (tipologia di copertura del tetto).

518 La classe è dunque sempre da intendersi come rappresentativa di una condizione di utilizzo  
519 specifica, definita "end use condition".

520 Come descritto in precedenza, i parametri normalmente utilizzati per la classificazione dei  
521 prodotti da costruzione sono relativi al rilascio di calore e alla produzione di fumo.

522 Considerato che il contesto relativo al FV e il tetto (all'aperto) non è lo stesso di un prodotto  
523 installato all'interno di un edificio, per semplificare il metodo di rating, la classificazione non  
524 terrà conto dei parametri che indicano la produzione di fumo (SMOGRA, TSP), che dovranno  
525 comunque essere misurati e riportati nel rapporto di prova.

526 Il prodotto potrà essere dunque classificato in base al calore rilasciato nei primi 10 minuti  
527  $THR_{600s}$  e all'indice di velocità di crescita dell'incendio  $FIGRA_{0,4MJ}$ , arrotondando il valore alle  
528 stesse cifre significative indicate in tabella (e.g. se si avesse un  $THR_{600s}$  pari a 10,4 MJ, tale  
529 valore andrebbe arrotondato a 10 MJ, nel caso in cui fosse pari a 10,5 MJ, il valore risultante  
530 dovrebbe essere pari a 11 MJ).

531 La classificazione è descritta nella seguente Tabella 2.

532 **Tabella 2 – Descrizione delle classi di comportamento all'incendio individuate**

	Classe $B_{FV(a,b,c)}$	Classe $C_{FV(a,b,c)}$	Classe $D_{FV(a,b,c)}$	Classe $E_{FV(a,b,c)}$
$FIGRA_{0,4MJ}$ [W/s]	$\leq 180$	$\leq 450$	$\leq 550$	$> 550$
$THR_{600s}$ [MJ]	$\leq 10$	$\leq 25$	$\leq 35$	$> 35$

533 **5.8 Campo di applicazione della classificazione**

534 La classe ottenuta è valida per:

- 535 • configurazione a o b o c, se campione testato con b (45°), rappresentativa di qualsiasi  
536 configurazione avente modulo fotovoltaico applicato parallelamente al tetto, a prescindere  
537 dall'inclinazione di quest'ultimo (e.g. tale configurazione risulta valida anche in caso di tetto  
538 orizzontale);
- 539 • configurazione a o c, se campione testato con c (30°), rappresentativa di qualsiasi  
540 configurazione avente tetto orizzontale e modulo fotovoltaico con inclinazione maggiore di  
541 10° rispetto al tetto (in caso di modulo applicato con inclinazione minore di 10° rispetto al  
542 tetto, riferirsi al p.to precedente);
- 543 • configurazione a, se testato con a;

- 544 • configurazione specifica, se non si utilizza un substrato standard (rif. 5.4.2.1 per la  
545 definizione di tali substrati): nel caso in cui venga utilizzato nel test un substrato di diversa  
546 tipologia, i risultati ottenuti valgono esclusivamente per tale configurazione e tali materiali;
- 547 • configurazione su tetto incombustibile, se testato su Calcio-silicato, pannello sandwich o  
548 membrana combustibile: nel caso in cui nel test venga utilizzato un substrato standard,  
549 quale il Calcio-silicato, un pannello sandwich o membrana combustibile/impermeabilizzante  
550 applicata o meno ad uno strato di isolamento termico (rif. 5.4.2.1), il risultato risulta valido  
551 per qualsiasi campione di copertura di natura incombustibile<sup>(5)</sup>;
- 552 • configurazione di copertura costituita da pannello sandwich di classe migliore o uguale a  
553 Bs2d0: nel caso in cui nel test venga utilizzato un substrato standard quale un pannello  
554 sandwich o membrana combustibile/impermeabilizzante applicata o meno ad uno strato di  
555 isolamento termico (rif. 5.4.2.1), il risultato risulta valido per qualsiasi pannello sandwich  
556 marcato CE (UNI EN 14509) in classe pari o migliore a Bs2d0<sup>(6)</sup>;
- 557 • configurazione di tetto, con classe peggiore o uguale a Bs1d0, il cui ultimo strato di  
558 copertura (ultimi 50 mm) abbia un THR<sub>600s</sub> da ISO 5660-1 (50 kW/m<sup>2</sup>) minore o uguale a  
559 quello del campione della configurazione testata. In questo caso si dovrà aggiungere al  
560 pedice la desinenza TXX dove XX è il valore di THR<sub>600s</sub> degli ultimi 50 mm di copertura,  
561 misurato al cono calorimetrico ISO 5660-1 a 50 kW/m<sup>2</sup>. Ad esempio, nel caso in cui il test  
562 abbia visto il modulo fotovoltaico applicato su campione con membrana e isolante avente  
563 THR<sub>600s</sub> pari a 40 MJ e la classe ottenuta sia stata B<sub>FVb-T40</sub>, tale classe risulterà valida  
564 per applicazione del modulo FV su qualsiasi copertura avente gli ultimi 50 mm con  
565 THR<sub>600s</sub> < 40 MJ. Nel rapporto di prova, quando viene indicato il tipo di substrato usato, si  
566 dovrà riportare il THR<sub>600s</sub> da ISO 5660-1 (50 kW/m<sup>2</sup>) e il numero del rapporto di prova che  
567 attesti il valore insieme alla descrizione di tale substrato.
- 568 • configurazione con inclinazione copertura minore o uguale a 10°<sup>(7)</sup>, se campione testato con  
569 copertura orizzontale (c);
- 570 • configurazione con copertura avente inclinazione maggiore di 10°, se campione testato con  
571 copertura inclinata (b).

## 572 5.9 Rapporto di prova

573 Il rapporto di prova deve includere le seguenti informazioni e deve essere operata una chiara  
574 distinzione tra le informazioni fornite dal richiedente e i dati determinati dal laboratorio:

- 575 • un riferimento che il test è stato eseguito in conformità con questo documento;
- 576 • ogni deviazione dal metodo di prova;
- 577 • il nome e l'indirizzo del laboratorio di prova;
- 578 • la data e il numero identificativo del rapporto;
- 579 • il nome e l'indirizzo del richiedente/produttore/fornitore;
- 580 • la data di arrivo della campionatura;
- 581 • identificazione del prodotto;
- 582 • la descrizione generale del prodotto sottoposto a prova, la cui descrizione puntuale con  
583 stratigrafia andrà riportata con allegato al rapporto di prova;
- 584 • i dettagli del condizionamento;
- 585 • la posizione del modulo FV e il tipo di prova a, b, c,

---

(5) Per copertura incombustibile si intendono, ad esempio, tegole in ceramica, altro materiale non combustibile oppure strato di copertura con classe di resistenza al fuoco EI30 o superiore.

(6) Testando il Modulo Fotovoltaico applicato al substrato standard Pannello Sandwich, il risultato sarà valido su qualsiasi Pannello Sandwich marcato CE secondo EN 14509, a prescindere dalla natura e caratteristiche dei materiali usati, basta che tale prodotto abbia raggiunto almeno la classe Bs2d0

(7) Per la scelta di tale valore di inclinazione si è fatto riferimento alla EN 13501-5.



- 586 • natura e caratteristiche del substrato, e numero del relativo rapporto di prova di cui a  
587 ISO 5660-1, quando necessario.
- 588 • la data della prova;
- 589 • eventuali osservazioni
- 590 • i risultati delle prove espressi in conformità al metodo di prova e Paragrafo 3.2
- 591 • La classe raggiunta, ottenuta come media di due prove ripetute, senza tenere conto di  
592 incertezza di misura o deviazione standard
- 593 • Il campo di applicazione della classe raggiunta, da riportare sempre vicino o comunque  
594 nella stessa pagina dove viene riportata la classe
- 595 • fotografie del provino prima e dopo il test
- 596 • la seguente dichiarazione: "I risultati del test si riferiscono al comportamento dei provini  
597 nelle particolari condizioni di prova; non sono destinati ad essere l'unico criterio di  
598 valutazione del potenziale pericolo di incendio del prodotto in uso".

599 Nel seguito vengono sinteticamente descritti i test svolti e i principali risultati ottenuti.

#### 600 **5.10 Test svolti**

601 I protocolli di prova descritti precedentemente sono stati sviluppati e, a seguire, testati su  
602 diversi campioni. Tali campioni, secondo quanto prima descritto, erano formati da un campione  
603 ricavato, tramite operazioni di taglio, da moduli FV effettivamente presenti sul mercato e da un  
604 campione di copertura.

605 La sperimentazione qui sinteticamente descritta è relativa ai test conformi ai protocolli di prova  
606 descritti di tipo *b* e *c* (Tabella 1) e ha visto l'esecuzione di quarantanove (49) test,  
607 sinteticamente descritti in: Tabella 3 (moduli FV solamente con backsheet in materiale plastico),  
608 Tabella 3, Tabella 4, Tabella 5, Tabella 10 (moduli FV con backsheet in materiale plastico  
609 oppure in vetro e copertura con o senza membrana impermeabilizzante/superiore), Tabella 7,  
610 Tabella 8 (moduli FV con backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana  
611 impermeabilizzante/superiore e strato isolante).

612 Come precedentemente ricordato sono stati eseguiti anche test svolti secondo il primo scenario  
613 (a), i quali, però, hanno fornito risultati scarsamente significativi (integrità del modulo e della  
614 copertura non intaccate) e non hanno avuto, finora, alcuna rilevanza ai fini della valutazione  
615 del comportamento dei campioni testati. Comunque si ritiene che anche tale scenario possa  
616 apportare alcune informazioni utili alla valutazione del comportamento del campione, in quanto  
617 esemplificativo di una realtà nella quale il "firebrand" cade dall'alto sul modulo FV, ed in  
618 particolare sulla faccia esposta verso l'alto (vetro, celle, ...), depositandosi sul medesimo e  
619 rischiando di propagare in tal modo l'incendio.

620 I test svolti sono stati effettuati su campioni di moduli FV già, in precedenza, classificati secondo  
621 la normativa italiana del settore assieme con campioni di copertura a loro volta classificati  
622 secondo la EN 13501-5, con test T2 - CEN TS 1187:2012 (Figura 12). A tal proposito si  
623 sottolinea come i moduli FV risultino, nel mercato attuale, spesso classificati come di classe  
624 "1" (buone caratteristiche di reazione al fuoco) o "2" (caratteristiche peggiori ma non  
625 particolarmente degradate). Inoltre, l'attribuzione di tali classi avviene, spesso, attraverso  
626 differenze estremamente modeste nei risultati dei test svolti. Si ritiene che quanto descritto sia  
627 un'ulteriore criticità, in quanto moduli FV estremamente simili vengono, a volte, classificati  
628 diversamente solamente in funzione degli specifici campioni testati o dei laboratori dove si  
629 svolgono i test.

630 Per quanto riguarda i campioni di copertura essi sono stati, nei gruppi di test 1, 2 e 3,  
631 rispettivamente dei seguenti tipi: inerte (CaSi board), Legno truciolare non FR - Broof (i.e.  
632 difficilmente combustibile), membrana bituminosa o sintetica posta in adesione alla faccia  
633 superiore del campione - Froof (i.e. facilmente combustibile). Mentre, nei gruppi di test 4 e 5,  
634 inerte (CaSi board), Legno truciolare non FR - Broof (i.e. difficilmente combustibile), membrana  
635 polimerica o bituminosa posta in adesione alla faccia superiore del campione - Froof o Broof e  
636 strato isolante termico di diversa tipologia.

637 Per quanto concerne la voce "sostegno posteriore", essa si riferisce alla presenza o meno di  
638 un filo metallico (vedi Tabella 7 e 10) installato sul telaio porta campione, posteriormente al  
639 campione di modulo FV per impedire il distacco di parte del modulo durante il test a causa  
640 dell'attacco di fiamma. Tale sostegno è utile in quanto il distacco rimuoverebbe gran parte del  
641 materiale a contatto con la fiamma del bruciatore. Si è ritenuto l'accadimento del distacco  
642 durante il test affetto da profonda aleatorietà e di conseguenza si è optato, a favore di  
643 sicurezza, per la predisposizione di tale misura atta a impedirlo.



644 **Figura 12 – Immagini e schemi dei test eseguiti, rispettivamente, secondo i protocolli b,**  
 645 **c: immagini a, c, e (protocollo b); immagini b, d, f (protocollo c)**

646  
647

**Tabella 3 – Test eseguiti in conformità ai protocolli b, c (1° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana superiore)**

Test n°	0a	0b	1a	1b	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Modulo FV - Classe IT	//	//	//	//	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)	No (Backsheet et plastico)
Sostegno posteriore modulo	//	//	//	//	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Copertura – Classe EN 13501-5	Froof	Froof	Broof	Broof	Inert	Inert	Broof	Broof	Froof	Froof	Inert	Inert	Broof	Broof	Froof	Froof
Protocollo di prova	b	c	b	c	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c
Potenza bruciatore [kW]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

648

NOTE:

649  
650

– Modulo FV - Classe IT: classe di reazione al fuoco attribuita al modulo dal quale è ricavato il campione secondo la normativa attualmente in vigore in Italia (rif. 1: classe 1, 2: classe 2; //: nessun modulo);

651  
652

– Sostegno posteriore: presenza o meno di sostegno meccanico installato posteriormente al campione di modulo FV (a contatto con il backsheet), (//: nessun sostegno; ++: sostegno a forma di doppia croce);

653  
654  
655

– Copertura – Classe EN: classe del campione di copertura secondo la CEN TS 1187 (i campioni di copertura essi sono stati, rispettivamente dei seguenti tipi: Inert: pannello di CaSi, Broof: difficilmente combustibile/ pannello di legno truciolato, Froof: facilmente combustibile/ pannello di legno truciolato ricoperto da film impermeabilizzante bituminoso).

656

657  
658  
659

**Tabella 4 – Test eseguiti in conformità ai protocolli b, c (2° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico o in vetro e copertura con o senza membrana superiore)**

Test n°	14	15	16	17
Modulo FV - Classe IT	2	1	1	1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	Si	Si
Sostegno posteriore modulo	++	++	++	++
Copertura – Classe EN(*)	Broof	Broof	Broof	Broof
Protocollo di prova	b	b	b	b
Potenza bruciatore [kW]	30	30	30	30

(\*) I campioni di copertura adottati in questo gruppo di test risultano conformi a quelli del 1° gruppo (Tabella 3)

660  
661

**Tabella 5 – Test eseguiti in conformità ai protocolli b, c (3° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico o in vetro e copertura con o senza membrana superiore)**

Test n°	18	19	20	21	22	23(*)	24	25(**)
Modulo FV - Classe IT	1	1	1	?	1	?	1	?
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)	Si	Si	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	Si	No (campione di cartongesso)
Sostegno posteriore modulo	++	++	++	++	++	++	++	++
Copertura – Classe EN(***)	Broof	Broof	Froof	Broof	Inert	Broof	Broof	Froof
Protocollo di prova	b	c	c	c	c	c	c	c
Potenza bruciatore [kW]	30	30	30	30	30	30	30	30

(\*) Il test 23 è stato eseguito utilizzando, invece dell'usuale campione di modulo FV, un modulo intero (vedere Allegato A). Perciò non risulta essere direttamente confrontabile con gli altri test effettuati.

(\*\*) Il test 25 è stato eseguito utilizzando, invece dell'usuale campione di modulo FV, un campione inerte in cartongesso (vedere Allegato A). Ciò è stato realizzato con la finalità di saggiare il comportamento del campione (nello scenario c) avente solamente il contributo termico della copertura.

(\*\*\*) I campioni di copertura adottati in questo gruppo di test risultano conformi a quelli del 1° gruppo (Tabella 3).

662

663  
664

**Tabella 6 – Test eseguiti in conformità al protocollo c (4° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana superiore)**

Test n°	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37(*)
Modulo FV - Classe IT	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico)	No (Backsheet in plastico con lastra Al)
Sostegno posteriore modulo	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Copertura – Classe EN(**)	Broof	Broof	Broof	Froof	Froof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	EI30 su Broof	Broof
Protocollo di prova	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Potenza bruciatore [kW]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
(*) Non esistono risultanze numeriche della prova, la quale ha visto un deterioramento del campione di modulo FV (con dimensioni diverse rispetto a quelle degli altri campioni testati) decisamente meno pronunciato rispetto agli altri casi testati. (**) I campioni di copertura utilizzati nel 4° e 5° gruppo risultano sensibilmente diversi da quelli dei gruppi precedenti (1°, 2°, 3°). Riguardo alla loro descrizione, vedere le successive Tabella 7 e Tabella 9.												

665  
666

**Tabella 7 – Test eseguiti in conformità al protocollo c (4° gruppo: caratteristiche della copertura)**

Test n°	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Copertura (identificativo)	A	B	I	D	P	4	5	3	1	2	EI30 su I	Inert (CaSi)
Tipo di superficie(*)	Minerale	Minerale	Minerale	Minerale	Minerale	Liscia	Liscia	Liscia	Liscia	Liscia	//	//
Materiale membrana(**)	SBS	APP	SBS	APP	SBS	TPO	TPO	PVC	TPO	TPO	//	//
Spessore [mm]	4,5	5,0	4,5	3,6	3,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,6	//	//
Densità superficiale [kg/m²]	5,9	6,0	6,0	4,5	3,5	1,9	2,2	2,4	2,5	2,0	//	//
PCS [MJ/kg]	21,7	26,5	18,7	21,2	22,9	33,6	25,0	24,1	21,3	23,6	//	//
PCS [MJ/m²]	127,9	158,9	112,2	95,6	80,2	63,8	54,9	57,9	53,2	47,1	//	//
Copertura – Classe EN	Broof	Broof	Broof	Froof	Froof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	EI30 su Broof	Broof
(*) Minerale: superficie esposta all'esterno ricoperta di strato minerale. Liscia: superficie esposta all'esterno in assenza di materiale aggiuntivo. (**) SBS: bitume-polimero; APP: bitume-polimero; TPO: sintetiche in poliolefine; PVC: cloruro di polivinile.												

667

668  
669  
670

**Tabella 8 –Test eseguiti in conformità al protocollo c (5° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana superiore e isolante)**

Test n°	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Modulo FV - Classe IT	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)	No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Copertura – Classe EN(*)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Broof	ND	ND
Protocollo di prova	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Potenza bruciatore [kW]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

(\*) In molti casi non determinata (ND), in quest'ultimo gruppo di test.

671  
672

**Tabella 9 –Test eseguiti in conformità al protocollo c (5° gruppo: caratteristiche della copertura)**

Test n°	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Copertura (identificativo)	NTPO_EPS	NTPO_LV	NTPO_PIR	BIT_PIR	BIT_LV	NTPO_LV	NTPO_PIR	TPO_LV	TPO_LV	CaSi	BIT_PIR	TPO_PIR
Tipo di superficie(*)	Liscia	Liscia	Liscia	Minerale	Minerale	Liscia	Liscia	Liscia	Liscia		Minerale	Liscia
Materiale membrana(**)	TPO	TPO	TPO	bitume-polimero	bitume-polimero	TPO	TPO	TPO	TPO		bitume-polimero	TPO
Materiale isolante(***)	EPS	Lana di vetro	PIR	PIR	Lana di vetro	Lana di vetro	PIR	Lana di vetro	Lana di vetro		PIR	PIR
THR copertura(****) [MJ/m <sup>2</sup> ]	64	45	48	67	63	45	48	66	66	0	67	69
Copertura – Classe EN	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Broof	ND	ND

(\*) Minerale: superficie esposta all'esterno ricoperta di strato minerale. Liscia: superficie esposta all'esterno in assenza di materiale aggiuntivo.  
 (\*\*) Bitume-polimero: non meglio identificabile; TPO: sintetiche in poliolefine.  
 (\*\*\*) EPS: polistirene espanso sinterizzato; PIR: poliuretano espanso rigido.  
 (\*\*\*\*) THR600s del solo campione di copertura secondo ISO 5660-1 (50 kW/m2).

673  
674  
675

Nel seguito vengono riportati, in sintesi, i principali risultati della campagna sperimentale e riassunte le relative conclusioni. Una descrizione più completa dei test effettuati viene invece riportata in appendice (Allegato A).

676

### 5.11 Risultati principali

677  
678  
679  
680  
681

Per quanto riguarda le due diverse varianti realizzate (b: bruciatore e “porzione di copertura” posizionati inclinati e paralleli; c: bruciatore e “porzione di copertura” posizionati orizzontalmente), entrambe hanno comportato una compromissione rilevante del materiale testato, senza tuttavia determinare la sua distruzione completa o quasi, risultando, perciò rilevanti al fine della sua caratterizzazione<sup>(8)</sup>.

(8) Riguardo ai test di tipo a, vedere 5.10.

682 In particolare, le principali osservazioni (esclusivamente dedotte rispetto a quanto rilevato  
683 durante la sperimentazione svolta) risultano essere state le seguenti:

- 684 a) la configurazione “b” è risultata peggiore (i.e. più “sfidante”) della “c”, cioè molto  
685 probabilmente a causa della vicinanza della copertura e del bruciatore al backsheet del  
686 modulo e della conseguente canalizzazione creatasi tra i due componenti, fattori i quali  
687 hanno acuito la sinergia tra gli stessi, determinando un riscaldamento decisamente più  
688 elevato e più rapido dei materiali (sia per convezione, i.e. canalizzazione fumi, sia per  
689 irraggiamento);
- 690 b) la presenza di copertura Froof ha prodotto risultati peggiori rispetto a casi analoghi con  
691 campione di copertura Broof in legno, senz'altro a causa del contributo all'incendio del  
692 materiale combustibile della copertura (tale risultato è dipeso, principalmente, dal  
693 comportamento della membrana impermeabilizzante / superiore e decisamente meno da  
694 quello degli strati sottostanti, quali quelli a scopo di isolamento termico);
- 695 c) i campioni aventi moduli del tipo “vetro/vetro” (i.e. backsheet in vetro) hanno avuto un  
696 comportamento decisamente propagante l'incendio. Ciò, probabilmente, a causa del  
697 notevole contributo all'incendio del materiale polimerico combustibile contenuto nel modulo,  
698 da ricercare principalmente nei collanti (incapsulanti) utilizzati per mantenere i vari strati di  
699 vetro che compongono il modulo fotovoltaico adesi ltra loro;
- 700 d) risulta evidente la preponderanza delle variabili di carattere “termico” (FIGRA, THR) rispetto  
701 a quelle relative alla fumosità (SMOGRA, TSP), in quanto il modulo FV contiene anche  
702 materiali abbastanza facilmente combustibili (incapsulante e backsheet plastico), ma senza  
703 grande o rapido rilascio di fumi visibili; Inoltre, le variabili “fumosità” risultano concepite  
704 principalmente per fornire elementi utili alle valutazioni inerenti la sicurezza dell'esodo degli  
705 occupanti e dell'ingresso dei soccorritori, nel caso di incendio all'interno di un edificio (e.g.  
706 scarsa visibilità, tossicità dei fumi, ecc.) e, perciò, assumono minore rilievo nel caso di  
707 incendi in spazi aperti, quali quelli oggetto del presente studio;
- 708 e) l'influenza della classe del modulo FV attribuita secondo i criteri italiani (i.e. cl. 1 e 2) non  
709 risulta essere determinante per la classificazione del pacchetto completo (i.e. campione di  
710 modulo FV + campione di copertura) il quale risulta avere un comportamento all'incendio  
711 non riconducibile rigidamente ai risultati della classificazione nazionale. Infatti, i criteri di  
712 classificazione nazionali (UNI 9177) non considerano il calore rilasciato durante la prova e  
713 non è dunque possibile correlare i due metodi. Ulteriore difficoltà nell'utilizzo dei risultati  
714 nazionali risiede nella piccola differenza che, spesso, vi è nel comportamento di moduli FV,  
715 rispettivamente, di classe 1 o 2;
- 716 f) la presenza di strati isolanti termici sotto le membrane impermeabilizzanti ha comportato  
717 un peggioramento dei risultati nel caso di strati in EPS, mentre, nel caso di strati in lana  
718 minerale o PIR, non sono state riscontrate differenze rilevanti rispetto ai casi analoghi  
719 mancanti di isolante termico.

720 Per quanto concerne i primi test svolti su campioni di tetto FV aventi modulo FV dotato di  
721 backsheet plastico e copertura con o senza membrana impermeabilizzante/superiore  
722 (1° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico - Tabella 3, per le definizioni di tali  
723 variabili rif. Capitolo 3), una sintesi dei loro valori e la classificazione secondo la metodologia  
724 adottata (rif. Capitolo 5.6) è riportata nella successiva Tabella 10, nella quale si riporta anche  
725 il dato teorico di classificazione di cui alla EN 13501-1, puramente a titolo comparativo.

726 I corrispondenti risultati relativi a ulteriori test svolti su campioni aventi modulo con backsheet  
727 plastico oppure in vetro e copertura con o senza membrana impermeabilizzante/superiore  
728 (2° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico o in vetro - Tabella 4, 3° gruppo:  
729 moduli FV con backsheet in materiale plastico o in vetro - Tabella 5) sono riportati a seguire  
730 (sintesi dei valori delle principali variabili, classificazione secondo la metodologia adottata -  
731 Capito 5.6, classificazione di cui alla EN 13501-1, Tabella 11 e Tabella 12).



732 I risultati relativi a campioni di tetto FV aventi moduli con backsheet plastico, copertura con o  
 733 senza membrana impermeabilizzante/superiore e strato isolante termico (4° gruppo: moduli FV  
 734 con backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana superiore – Tabella 6,  
 735 5° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana  
 736 superiore e isolante – Tabella 8) sono riportati a seguire (sintesi dei valori delle principali  
 737 variabili, classificazione secondo la metodologia adottata - Capito 5.6, classificazione di cui alla  
 738 EN 13501-1, Tabella 13 e Tabella 14).

739 Successivamente, a completamento dell'esposizione, vengono riportati anche gli andamenti  
 740 delle principali variabili caratterizzanti i test svolti (Allegato A).

741 **Tabella 10 – Test eseguiti in conformità ai protocolli b, c (1° gruppo: moduli FV con**  
 742 **backsheet in materiale plastico, risultati dei test comprensivi di classificazione**  
 743 **risultante del campione di tetto FV e classe del modulo FV secondo normativa**  
 744 **nazionale)**

Test n°	0a	0b	1a	1b	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<b>Classe EN 13501-1</b>	D-s2	C-s2	B-s1	B-s1	C-s1	C-s1	D-s1	D-s1	E-s3	E-s3	B-s1	B-s1	C-s1	C-s1	E-s3	D-s3	
<b>CLASSE TS 82-89</b>	C <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	D <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	D <sub>FV</sub>	
FIGRA0, 2 MJ	[W/s]	422	142	48,0	21,2	174	139	366	461	1399	954	111	82	221	145	762	522
FIGRA0, 4 MJ	[W/s]	422	142	40,7	18,1	174	139	366	461	1399	954	111	81,6	221	145	761	522
THR600s	[MJ]	5,77	5,29	2,26	1,27	4,79	6,12	12,1	15,3	19,8	16,0	3,80	3,59	7,99	6,21	19,3	19,0
SMOGRA	[m²/s²]	105	29,0	0	0	4,88	0	7,96	12,5	225	179	0	0	7,23	4,26	106	74,0
TSP600s	[m²]	129	93,0	19,6	3,49	17,7	17,7	27,3	40,6	279	254	15,0	18,6	24,3	28,5	287	311
Distacco materiale		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Copertura		Froof	Froof	Broof	Broof	Inert	Inert	Broof	Broof	Froof	Froof	Inert	Inert	Broof	Broof	Froof	Froof
Sostegno posteriore		//	//	//	//	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Potenza bruciatore	[kW]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Protocollo di prova		b	c	b	c	b	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	c
Classe Italiana		//	//	//	//	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

745

746  
747  
748  
749

**Tabella 11 – Test eseguiti in conformità al protocollo *b* (2° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico o in vetro, risultati dei test comprensivi di classificazione risultante del campione di tetto FV e classe del modulo FV secondo normativa nazionale)**

Test n°		14	15	16	17
<b>Classe EN 13501-1</b>		C-s1	D-s2	D-s2	D-s2
<b>CLASSE TS 82-89</b>		D <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>
FIGRA0,2 MJ	[W/s]	570	622	774	894
FIGRA0,4 MJ	[W/s]	570	622	774	894
THR600s	[MJ]	15	16,9	38,0	40,2
SMOGRA	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	21,9	26,3	17,3	15,9
TSP600s	[m <sup>2</sup> ]	35,4	55,3	79,0	76,8
Distacco materiale		SI	SI	SI	SI
Copertura		Broof	Broof	Froof	Broof
Sostegno posteriore		++	++	++	++
Potenza bruciatore	[kW]	30	30	30	30
Protocollo di prova		b	b	b	b
Classe Italiana		2	1	1	1

750  
751  
752  
753

**Tabella 12 – Test eseguiti in conformità ai protocolli *b*, *c* (3° gruppo: moduli FV con backsheet in materiale plastico o in vetro, risultati dei test comprensivi di classificazione risultante del campione di tetto FV e classe del modulo FV secondo normativa nazionale)**

Test n°		18	19	20	21	22	23	24
<b>Classe EN 13501-1</b>		D-s1	B-s1	C-s1	C-s2	B-s1	C-s2	D-s2
<b>CLASSE TS 82-89</b>		C <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>
FIGRA0,2 MJ	[W/s]	212	35	181	105	105	121	166
FIGRA0,4 MJ	[W/s]	212	35	181	105	105	121	166
THR600s	[MJ]	22,3	4,2	7,6	9,6	4,90	10,2	15,2
SMOGRA	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	6	0	7	38	5,00	8	18
TSP600s	[m <sup>2</sup> ]	43	15	29	75	22,0	57	127
Distacco materiale		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Copertura		Broof	Broof	Broof	Broof	Inert	Broof	Froof
Sostegno posteriore		++	++	++	++	++	++	++
Potenza bruciatore	[kW]	30	30	30	30	30	30	30
Protocollo di prova		b	c	c	c	c	c	c
Classe Italiana		1	1	1	?	1	?	1

754

755  
756  
757

**Tabella 13 –Test eseguiti in conformità al protocollo c (4° gruppo: risultati dei test comprensivi di classificazione risultante del campione di tetto FV e classe del modulo FV secondo normativa nazionale)**

Test n°	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37(*)
<b>Classe EN 13501-1</b>	D s3	D s3	D s3	D s3	D s3	C s1	C s1	D s2	C s1	C s2	A2/B s1	A2/B s1
<b>CLASSE TS 82-89</b>	D <sub>FV</sub>	D <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	D <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>
FIGRA0,2 MJ	[W/s]	372	269	320	436	288	187	175	320	131	169	108
FIGRA0,4 MJ	[W/s]	372	269	320	436	288	187	175	320	131	169	108
THR600s	[MJ]	30,2	25,1	23,3	19,7	14,4	11,0	8,28	7,34	6,55	5,06	3,28
SMOGRA	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	56	32	53	76	48	4,13	13,7	87,6	11,7	35,2	6,19
TSP600s	[m <sup>2</sup> ]	504	287	417	350	205	32,6	399	161	30,7	77	19
Distacco materiale		si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	no
Copertura		Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof	Broof
Sostegno posteriore		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Potenza bruciatore	[kW]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Protocollo di prova		c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
<b>Classe Italiana</b>		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1

(\*) Non esistono risultanze numeriche della prova, la quale ha visto un deterioramento del campione di modulo FV (con dimensioni diverse rispetto a quelle degli altri campioni testati) decisamente meno pronunciato rispetto agli altri casi testati.

758

759  
760  
761

**Tabella 14 – Test eseguiti in conformità ai protocolli c (5° gruppo: risultati dei test comprensivi di classificazione risultante del campione di tetto FV e classe del modulo FV secondo normativa nazionale)**

Test n°		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
<b>Classe EN 13501-1</b>		D s3	D s2	D s2	D s3	D s3	D s2	D s2	D s3	D s3	A2/B s1	D s3	D s3
<b>CLASSE TS 82-89</b>		E <sub>FV</sub>	D <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	C <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	B <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>	E <sub>FV</sub>
FIGRA0,2 MJ	[W/s]	816	536	431	590	500	340	397	523	964	119	570	1264
FIGRA0,4 MJ	[W/s]	816	536	431	590	500	340	397	523	964	119	570	1264
THR600s	[MJ]	34	28	25	42	37	20	22	39	42	5,4	42	47
SMOGRA	[m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ]	86	30	26	107	79	24	28	39	75	0	93	100
TSP600s	[m <sup>2</sup> ]	382	152	144	768	632	113	133	294	320	13	794	400
Distacco materiale		si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si
Classe Copertura*		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Broof	ND	ND
Sostegno posteriore		++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Potenza bruciatore	[kW]	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Protocollo di prova		c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
Classe Italiana		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

(\*) ND: non determinata.

762

## 763 6 Conclusioni

764 La ricerca oggetto del presente rapporto ha previsto attività finalizzate alla realizzazione di  
765 alcuni protocolli di prova, approntati prendendo spunto da quanto contenuto nell'ultimo  
766 documento pubblicato dall'ente di normalizzazione europeo (CENELEC) sul tema della  
767 sicurezza antincendio delle coperture con fotovoltaico (CENELEC TR 50670:2016 "External fire  
768 exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays - Test method(s)" a cura del  
769 Cenelec TC 82 "Solar photovoltaic energy systems", WG01 "Wafers, cells and modules) ed  
770 elaborati anche grazie, in qualche misura, al contributo del programma di ricerca qui  
771 considerato.

772 Tale documento, come già ricordato, descrive diverse tipologie di prova, ma non contiene alcun  
773 criterio di classificazione, riportando solamente alcune osservazioni da riportare in relazione  
774 a quanto indicato.

775 I protocolli sviluppati prevedono l'impiego di campioni composti sia da parti di porzioni di modulo  
776 FV ricavati dal modulo intero, sia da porzioni di copertura di tetto assiemati secondo geometrie  
777 "tipo copertura di edificio" testati all'interno di una camera prove già utilizzata nell'ambito della  
778 normativa europea prodotti da costruzione (UNI EN 13823:2022 "Prove di reazione al fuoco dei  
779 prodotti da costruzione - Prodotti da costruzione esclusi i pavimenti esposti ad un attacco  
780 termico prodotto da un singolo oggetto in combustione", detta SBI - Single Burning Item). La  
781 classificazione del comportamento all'incendio del campione di tetto FV risulta perciò possibile,  
782 secondo criteri simili a quelli contenuti nella UNI EN 13501-1:2019 (i.e.in funzione delle  
783 variabili FIGRA e THR).

784 Per quanto concerne le caratteristiche di comportamento all'incendio, la focalizzazione è stata  
785 su quelle attinenti alla reazione al fuoco, in quanto relative a caratteristiche quali la facilità/  
786 rapidità di ignizione, la propagazione dell'incendio sui moduli, la produzione di calore e di fumo  
787 (già utilizzate nell'ambito europeo per i prodotti da costruzione) e perciò ritenute di maggiore  
788 interesse per le applicazioni in oggetto (impianti installati su edifici).

789 Nel programma considerato non sono inseriti i cosiddetti moduli BIPV (Building Integrated  
790 PhotoVoltaics) a causa della loro natura "ibrida" secondo la quale risultano essere, oltre che  
791 moduli FV, anche prodotti da costruzione (oggetto della relativa regolamentazione) e della loro  
792 ancora non ampia diffusione.

793 Tali protocolli consentono una valutazione maggiormente indicativa rispetto alla situazione  
794 reale delle caratteristiche di reazione al fuoco dei moduli fotovoltaici (BAPV), ma ovviamente,  
795 hanno valore esclusivamente tecnico e non costituiscono un riferimento a livello normativo.

796 A tal riguardo, dal complesso delle attività svolte in quest'ultimo e nei precedenti anni, è stato  
797 notato come assumano particolare rilievo peculiarità quali: inclinazione dei moduli, inneschi  
798 particolarmente aggressivi (e.g. fiamma iniziale di potenza, dimensioni e durata rilevante),  
799 presenza di ventilazione, configurazione realizzata (geometria), combustibilità, o meglio  
800 reazione al fuoco, della copertura considerata in tutti i suoi componenti/strati costitutivi. In  
801 particolare, durante i test condotti, è stata valutata come preponderante l'influenza sul  
802 comportamento all'incendio dell'inclinazione del campione/configurazione (geometria), delle  
803 caratteristiche dell'innesco (potenza e dimensioni della fiamma iniziale), del tipo di copertura  
804 (presenza di strato impermeabilizzante e/o di isolante termico).

805 A tal proposito, una particolare menzione merita la scarsissima corrispondenza tra le indicazioni  
806 teoriche fornite dalla normativa attualmente in vigore in Italia (norme messe a punto all'origine  
807 per altri prodotti e relativa al solo modulo FV) e il comportamento reale del pacchetto FV -  
808 copertura del tetto. Tale differenza, come già ricordato nel testo principale (Paragrafo 5.11  
809 "Risultati principali"), risulta originata dalla distruzione di parte del backsheet (plastica o vetro)  
810 che è avvenuta in diversi test, la quale permette alle parti interne di essere esposte alla fiamma  
811 e all'aria comburente determinando l'incendio dell'incapsulante, sostanza rapidamente  
812 combustibile. Tale fenomeno risulta determinato sia dall'inclinazione del modulo, che permette  
813 alla fiamma del bruciatore di impattare direttamente sul backsheet determinando un maggiore  
814 e più rapido riscaldamento, sia dalla maggiore potenza termica di tale fiamma ed anche dal  
815 contributo della combustione della copertura, la quale risulta in grado di fornire tale contributo  
816 a causa anche di strati sottostanti quello/i superficiali (e.g. isolamento termico).

817 Un'altra differenza sostanziale è stata il tipo di attacco termico (forma e potenza del bruciatore)  
818 e la modalità di verifica, basata sul rilascio termico invece che sulla velocità di propagazione  
819 della fiamma, tipica della normativa Italiana.

820 Questo fenomeno è apparso ancor più rilevante su moduli FV molto resistenti, tipo Vetro-Vetro,  
821 che con il nuovo protocollo hanno mostrato evidenti lacune, quando il vetro distrutto rendeva  
822 disponibile il materiale interno altamente combustibile.

823 In particolare, i test svolti hanno permesso, seppure in numero limitato di casi, di verificare  
824 come le varianti messe a punto consentano una classificazione del campione di tetto FV  
825 derivante dal complesso dei fenomeni termici e di fumosità caratterizzanti un incendio in scenari  
826 contraddistinti da una geometria, materiali e da condizioni al contorno (ventosità) indicative di  
827 diverse condizioni reali. Ciò all'interno di un'apparecchiatura già ampiamente utilizzata  
828 nell'ambito della normativa prodotti da costruzione, quale la camera prove dello standard SBI,  
829 utilizzando molte delle variabili già impiegate in quest'ultima per la valutazione della classe di  
830 reazione al fuoco del campione.

831 Tali protocolli, utilizzati nei diversi casi qui descritti, hanno permesso di caratterizzare il  
832 "pacchetto completo" formato dal campione di modulo FV e dal campione di copertura  
833 sottostante. Ciò si ritiene essenziale in quanto fenomeni quali la trasmissione del calore per  
834 convezione ed irraggiamento nello spazio tra modulo (backsheet) e copertura e la propagazione  
835 dell'incendio dal modulo (backsheet) alla copertura (e.g. gocce e frammenti incendiati) non  
836 sono abbastanza conosciuti da poter essere valutati adeguatamente in altro modo.

837 L'utilizzo di un pacchetto completo non è attualmente possibile attraverso la normativa  
838 tecnica CEN/CENELEC, la quale prevede test per campioni di copertura (CEN TS 1187,  
839 CENEN 13501-5), per prodotti da costruzione di altra destinazione d'uso (CEN EN ISO 11925-2,  
840 CEN EN 13823, CEN EN 13501-1), per moduli FV in scenario inerte (CENELEC TR 50670),  
841 oppure per BIPV (CENELEC EN 50583-1, -2). Nella normativa tecnica in vigore, infatti, non  
842 esistono ancora test specifici per il campione di tetto FV che comprenda i vari componenti  
843 esistenti e con le geometrie adeguate. Inoltre, come già ricordato, anche i test esistenti per i soli  
844 moduli FV hanno valore solamente indicativo e senza finalità di "fire rating".

845 Per finire si osserva che in un ambito, qual è l'attuale, con crescente presenza dell'approccio  
846 ingegneristico (o prestazionale) alla sicurezza antincendio, alcune parti di quanto qui rapportato  
847 potrebbero essere utili anche al completamento di modelli d'incendio utilizzati nella FSE (Fire  
848 Safety Engineering). Ad esempio, gli andamenti dei rilasci termici e di fumo (HRR, ecc.) o le  
849 quantità integrali (THR, TSP).

850

## Allegato A

### I Test svolti

851  
852  
853

854 Nel seguito vengono riportati i dati, in sintesi, ed alcune immagini dai test svolti.

#### 855 **A.1 Test eseguiti in conformità ai protocolli b, c (1° gruppo: moduli FV con** 856 **backsheet in materiale plastico).**

##### 857 **A.1.1 0a**

Test n°		0a
Modulo FV - Classe IT		//
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		//
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

858 Non sono state scattate foto.

##### 859 **A.1.2 0b**

Test n°		0b
Modulo FV - Classe IT		//
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		//
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

860 Non sono state scattate foto.

861 **A.1.3 1a**

Test n°	1a
Modulo FV - Classe IT	//
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)	No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo	//
Copertura – Classe EN	Broof
Protocollo di prova	<i>b</i>
Potenza bruciatore [kW]	30

862 Non sono state scattate foto.

863 **A.1.4 1b**

Test n°	1b
Modulo FV - Classe IT	//
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)	No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo	//
Copertura – Classe EN	Broof
Protocollo di prova	<i>c</i>
Potenza bruciatore [kW]	30

864 Non sono state scattate foto.



865 **A.1.5 2**

Test n°		2
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Inert
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

866



867 **Figura 13 – Immagini da test n. 2: a (camera prove con campione installato, prima**  
868 **dell'inizio del test), b, c, d (immagini dall'esecuzione del test)**

869 **A.1.6 3**

Test n°		3
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Inert
Protocollo di prova		<i>b</i>
Potenza bruciatore	[kW]	30

870



a



b



c



d

871

872

873

**Figura 14 – Immagini da test n. 3: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b, c (immagini dall'esecuzione del test), d (camera prove con campione dopo il termine del test)**

874 **A.1.7 4**

Test n°		4
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

875



a



b



c



d

876 **Figura 15 – Immagini da test n. 4: a (camera prove con campione installato, prima**  
877 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (camera prove con**  
878 **campione dopo il termine del test), d (campione di copertura dopo il termine del test,**  
879 **estratto dalla camera prove)**

880 **A.1.8 5**

Test n°		5
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		<i>b</i>
Potenza bruciatore	[kW]	30

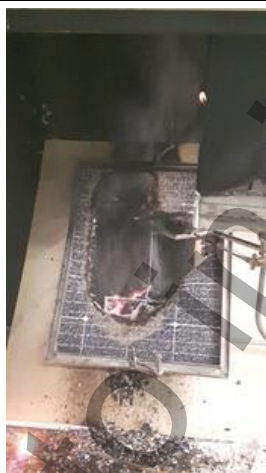
881



a



b



c



d

882

883

884

885

**Figura 16 – Immagini da test n. 5: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (camera prove con campione dopo il termine del test), d (campione di copertura dopo il termine del test, estratto dalla camera prove)**

886 **A.1.9 6**

Test n°		6
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

887



a



b



c



d

888 **Figura 17 – Immagini da test n. 6: a (camera prove con campione installato, prima**  
889 **del'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (camera prove con**  
890 **campione dopo il termine del test), d (campione di copertura dopo il termine del test,**  
891 **estratto dalla camera prove)**

892 **A.1.10 7**

Test n°		7
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

893



a



b



c



d

894

895

896

**Figura 18 – Immagini da test n. 7: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b, c (immagini dall'esecuzione del test), d (camera prove con campione dopo il termine del test)**

897 **A.1.11 08**

Test n°		8
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Inert
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

898



a



b



c



d

899  
900  
901

**Figura 19 – Immagini da test n. 8: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b, c (immagini dall'esecuzione del test), d (camera prove con campione dopo il termine del test)**

902 **A.1.12 9**

Test n°		9
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Inert
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

903



a



b



c



d

904

905

906

**Figura 20 – Immagini da test n. 9: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b, c (immagini dall'esecuzione del test), d (camera prove con campione dopo il termine del test)**



907 **A.1.13 10**

Test n°		10
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

908



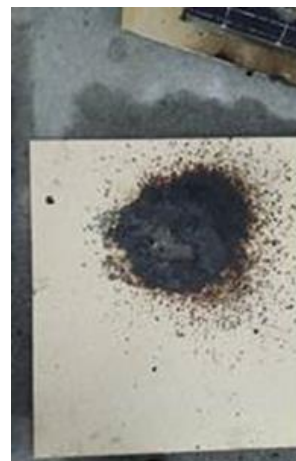
a



b



c



d

909  
910  
911  
912

**Figura 21 – Immagini da test n. 10: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (camera prove con campione dopo il termine del test), d (campione di copertura dopo il termine del test, estratto dalla camera prove)**

913 **A.1.14 11**

Test n°		11
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

914



a



b



c



d

915 **Figura 22 – Immagini da test n. 11: a (camera prove con campione installato, prima**  
916 **del'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (camera prove con**  
917 **campione dopo il termine del test), d (campione di copertura dopo il termine del test,**  
918 **estratto dalla camera prove)**

919 **A.1.15 12**

Test n°		12
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

920



a



b



c



d

921 **Figura 23 – Immagini da test n. 12: a (camera prove con campione installato, prima**  
922 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (camera prove con**  
923 **campione dopo il termine del test), d (campione di copertura dopo il termine del test,**  
924 **estratto dalla camera prove)**

925 **A.1.16 13**

Test n°		13
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

926



a



b



c

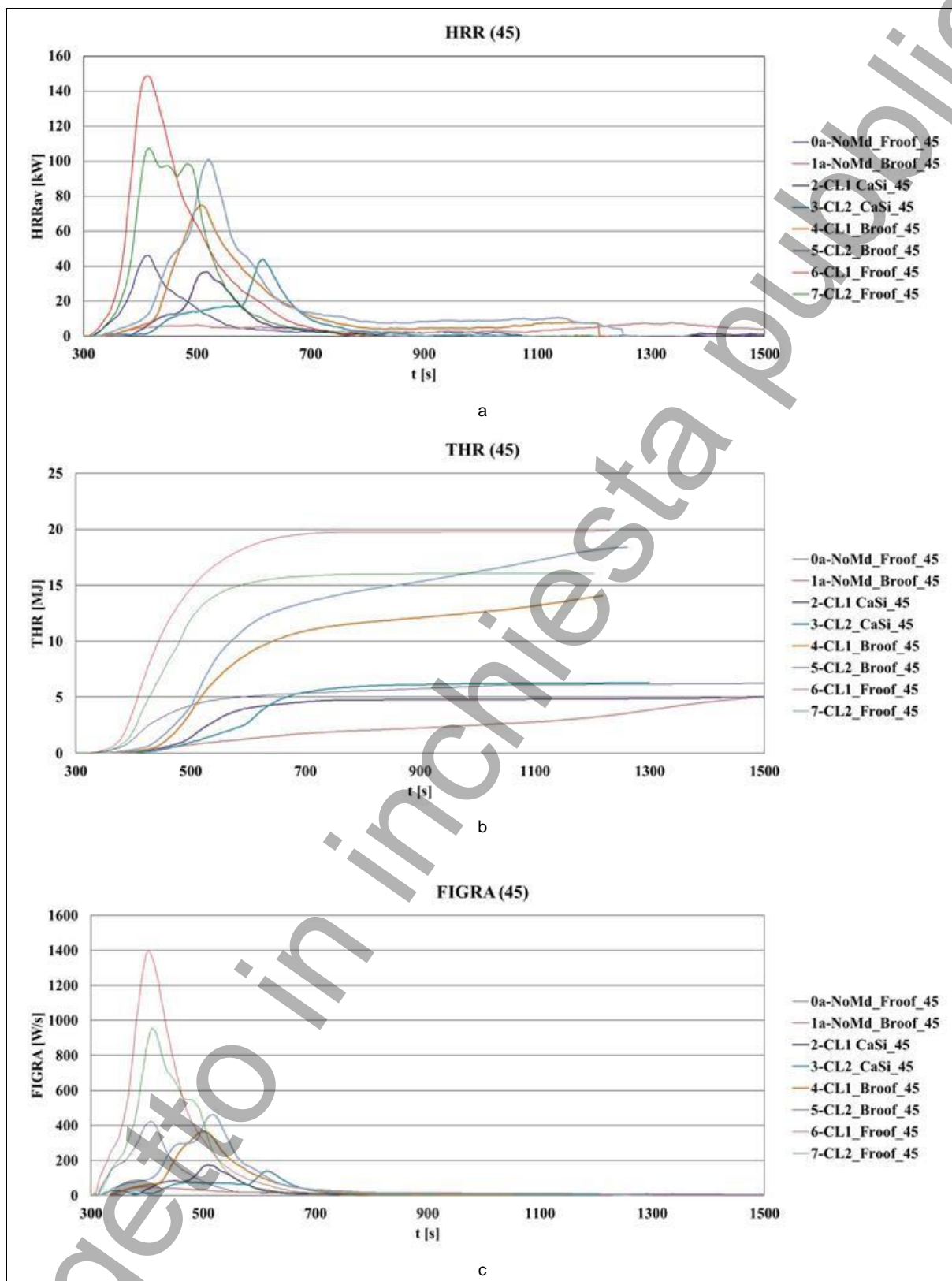


d

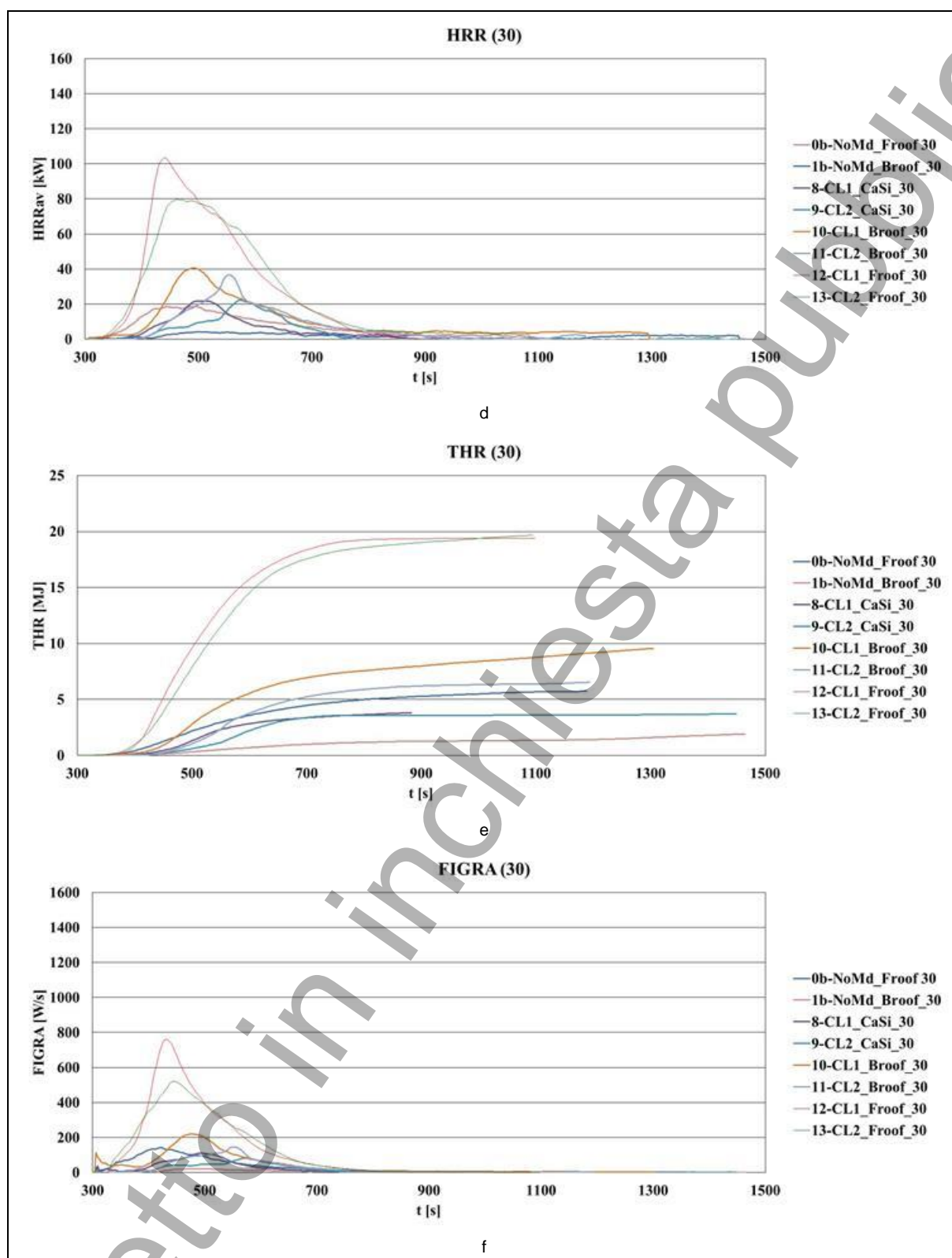
927  
928  
929

**Figura 24 – Immagini da test n. 13: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b, c (immagini dall'esecuzione del test), d (camera prove con campione dopo il termine del test)**

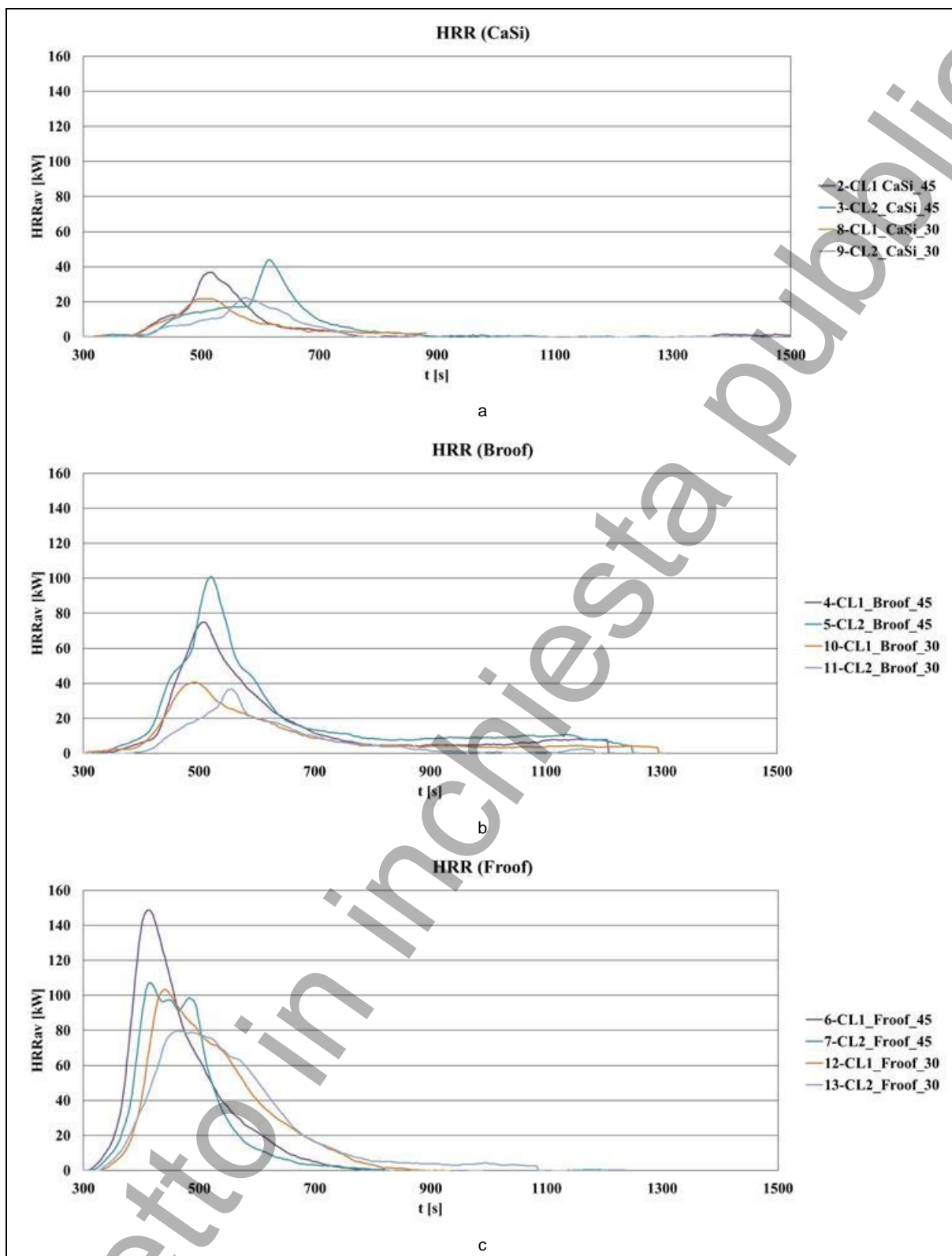
930 A.1.17 Andamenti delle principali variabili



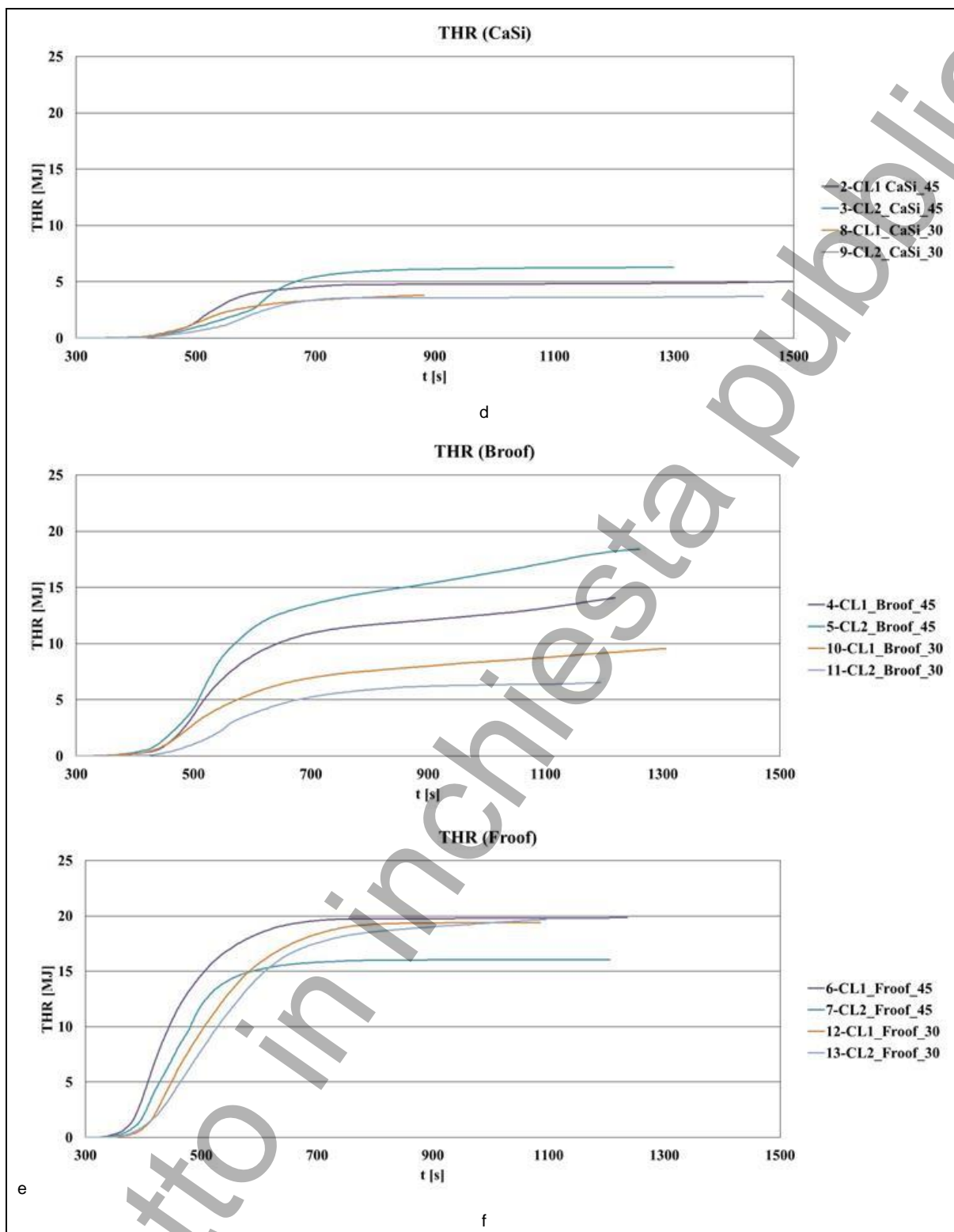
931



932 **Figura 25 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili: HRRav (Heat**  
933 **Release Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figure a, d; THR (Total Heat Release):**  
934 **Figure b, e; FIGRA<sup>1</sup> (Fire Growth RATE “istantaneo”): Figura c, f; risultanti dai test di**  
935 **tipo b (45) e c (30)**

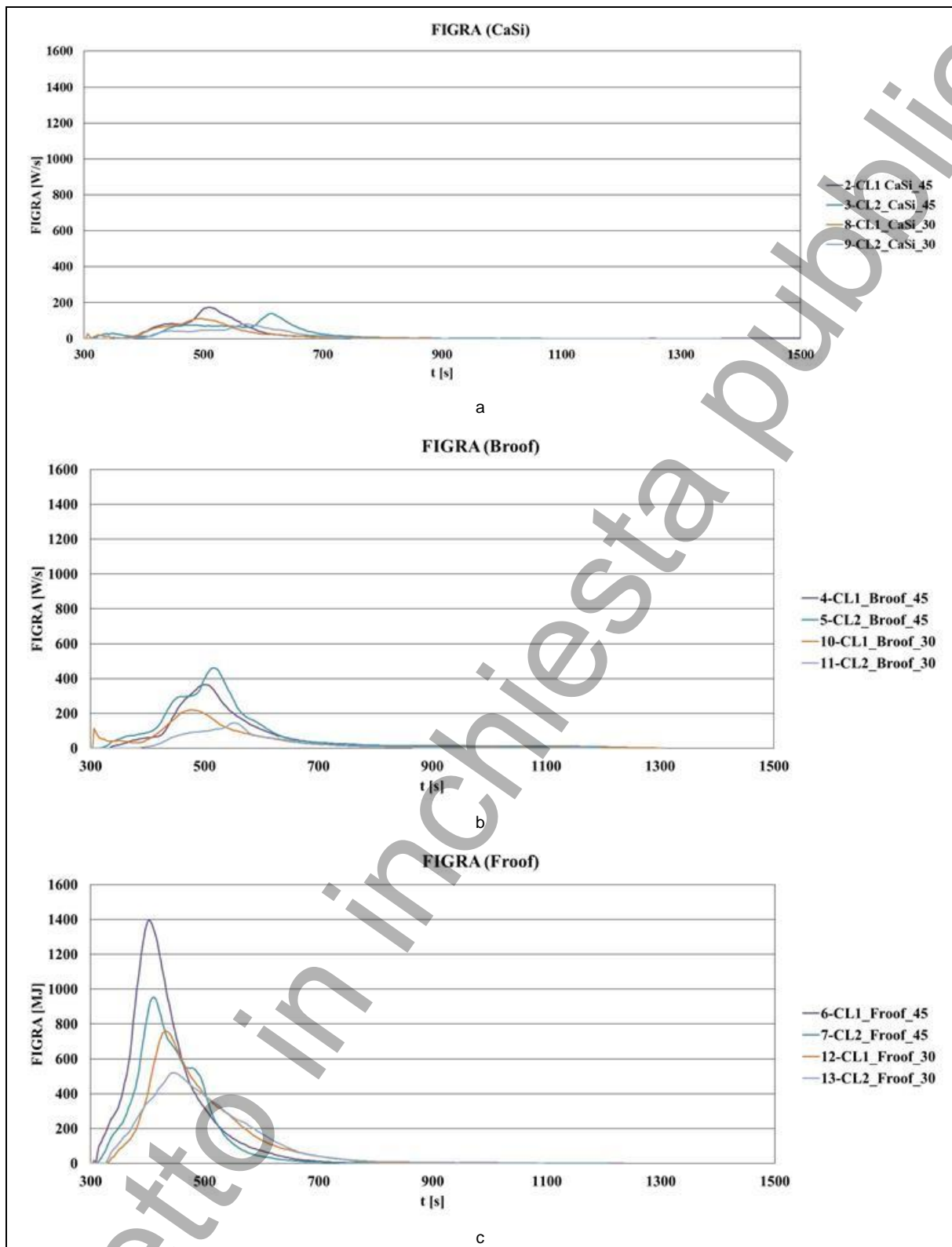


936



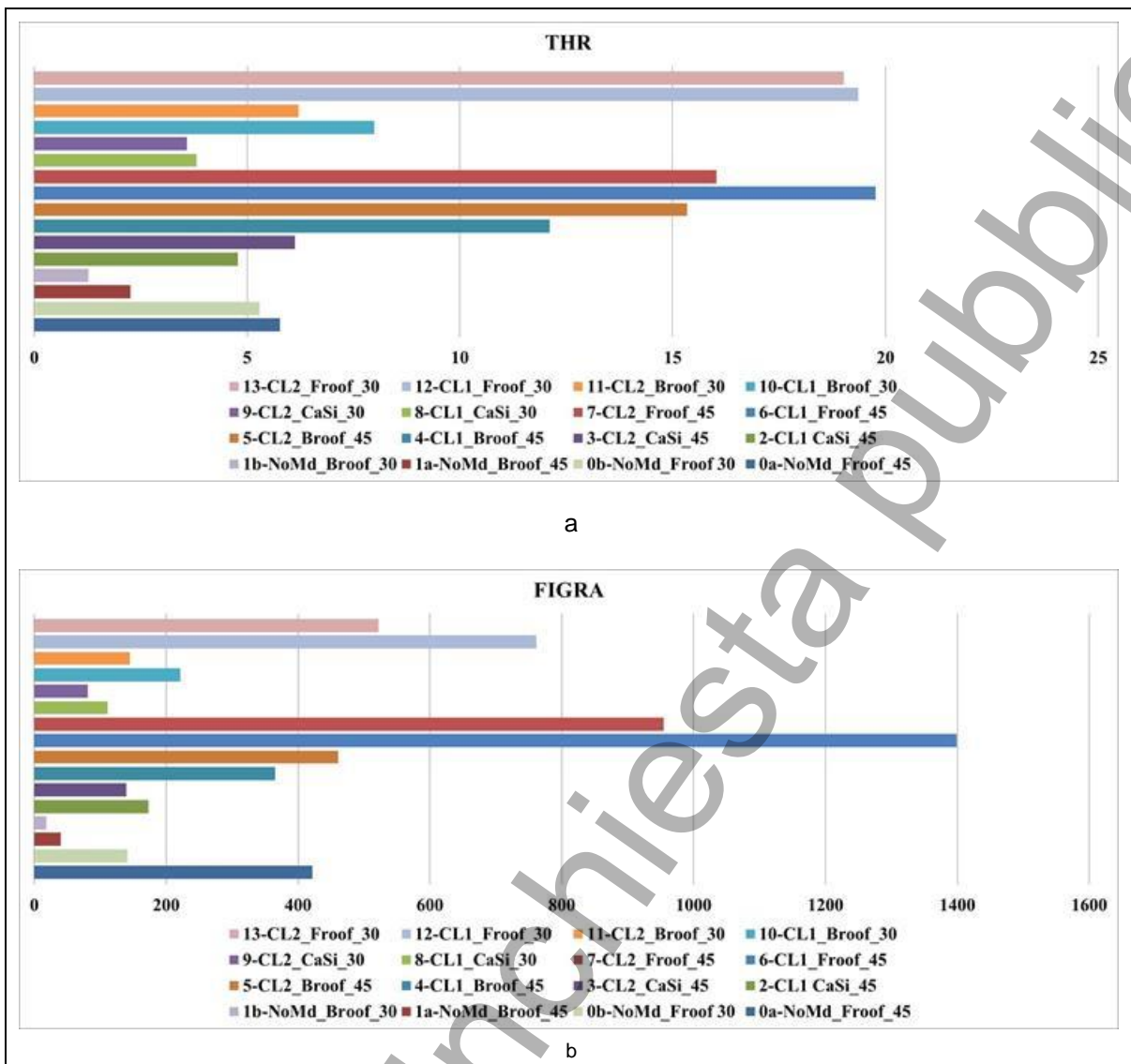
937 **Figura 26 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili: HRRav (Heat**  
938 **Release Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figure a, b, c; THR (Total Heat**  
939 **Release):Figure d, e, f; risultanti dai test di tipo b (45) e c (30) su copertura inerte**  
940 **(CaSi), scarsamente combustibile (Broof) e facilmente combustibile (Froof)**



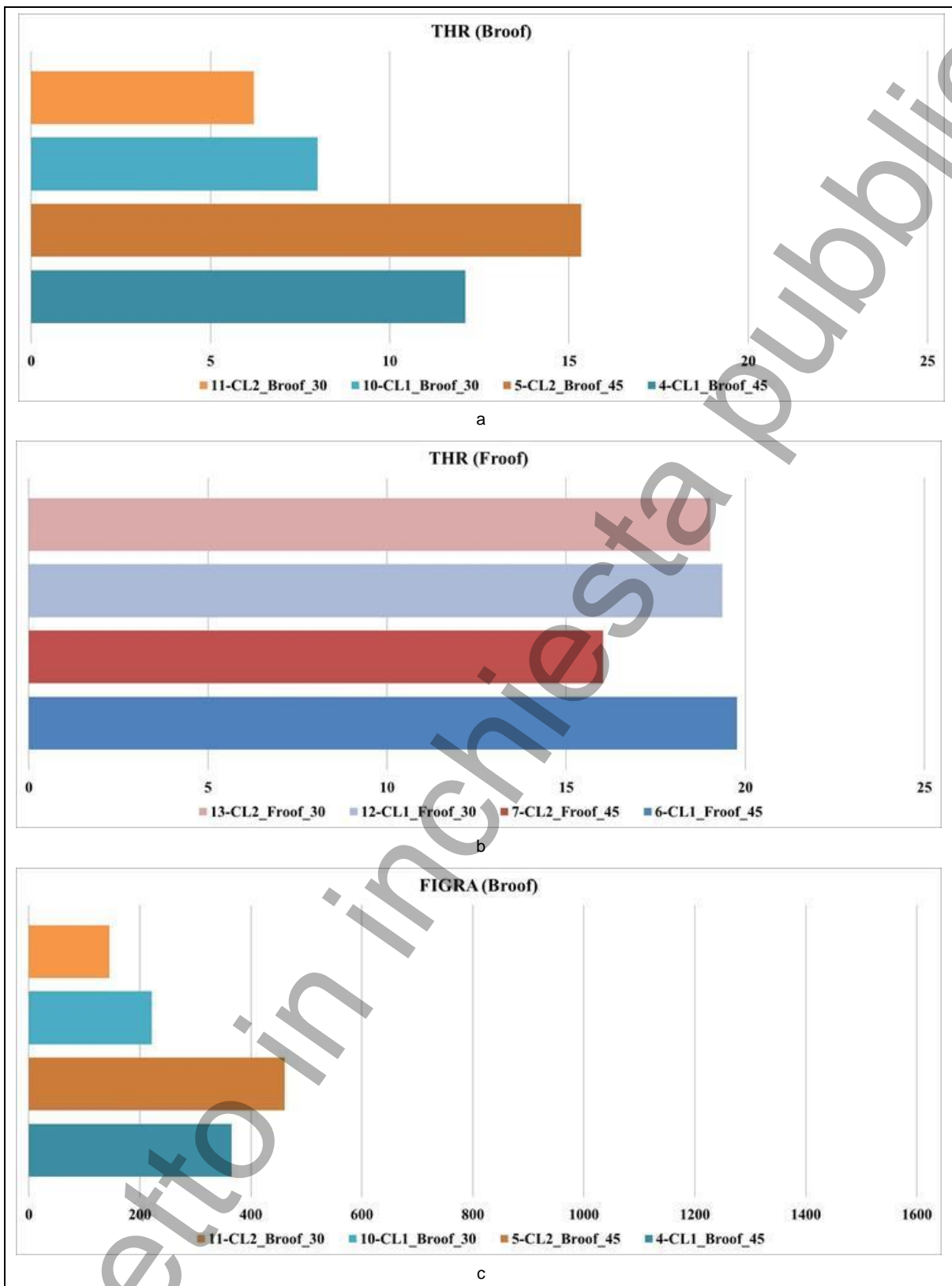


941  
942  
943

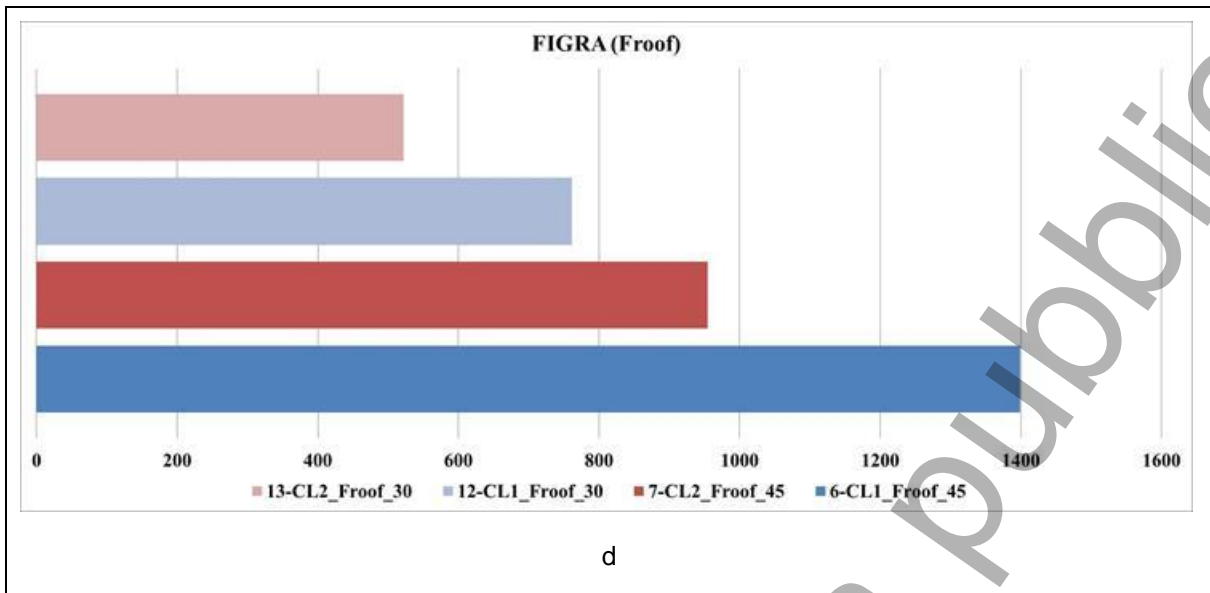
Figura 27 – Curve degli andamenti della variabile FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth RATE “istantaneo”), Figure a, b, c; risultanti dai test di tipo b (45) e c (30) su copertura inerte (CaSi), scarsamente combustibile (Broof) e facilmente combustibile (Froof)



944 Figura 28 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali dai test eseguiti in  
 945 conformità ai protocolli b, c: THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a; FIGRA<sub>0,2MJ</sub> [W/s]: Figura b.



946



947 **Figura 29 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali dai test eseguiti in**  
948 **conformità ai protocolli b, c su copertura scarsamente combustibile (Broof) e**  
949 **facilmente combustibile (Froof): THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a (Broof), b (Froof); FIGRA<sub>0,2MJ</sub>**  
950 **[W/s]: Figura c (Broof), d (Froof).**

951 **A.2 Test eseguiti in conformità ai protocolli b, c (2° gruppo: moduli FV con**  
952 **backsheet in materiale plastico o in vetro).**

953 **A.2.1 14**

Test n°		14
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		<i>b</i>
Potenza bruciatore	[kW]	30

954



955

**Figura 30 – Immagini da test n. 14: campione dopo l'esecuzione del test.**

956 **A.2.2 15**

Test n°		15
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

957



a



b



c

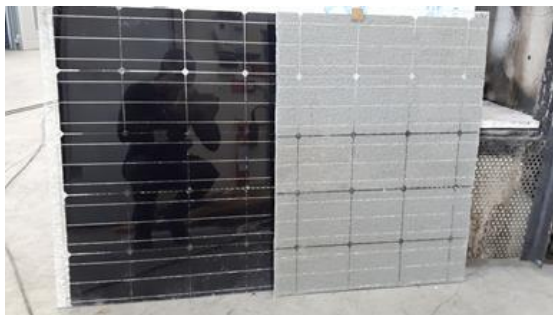
958  
959

**Figura 31 – Immagini da test n. 15: a, b (immagini dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

960 **A.2.3 16**

Test n°		16
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		Si
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

961



a



b



c



d

962  
963  
964

**Figura 32 – Immagini da test n. 16: a (Fronte e retro del modulo FV), b (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), c (immagine dall'esecuzione del test), d (campione dopo l'esecuzione del test)**

965 **A.2.4 17**

Test n°	17	
Modulo FV - Classe IT	1	
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)	Si	
Sostegno posteriore modulo	++	
Copertura – Classe EN	Broof	
Protocollo di prova	b	
Potenza bruciatore	[kW]	30

966



a



b



c



d

967

968

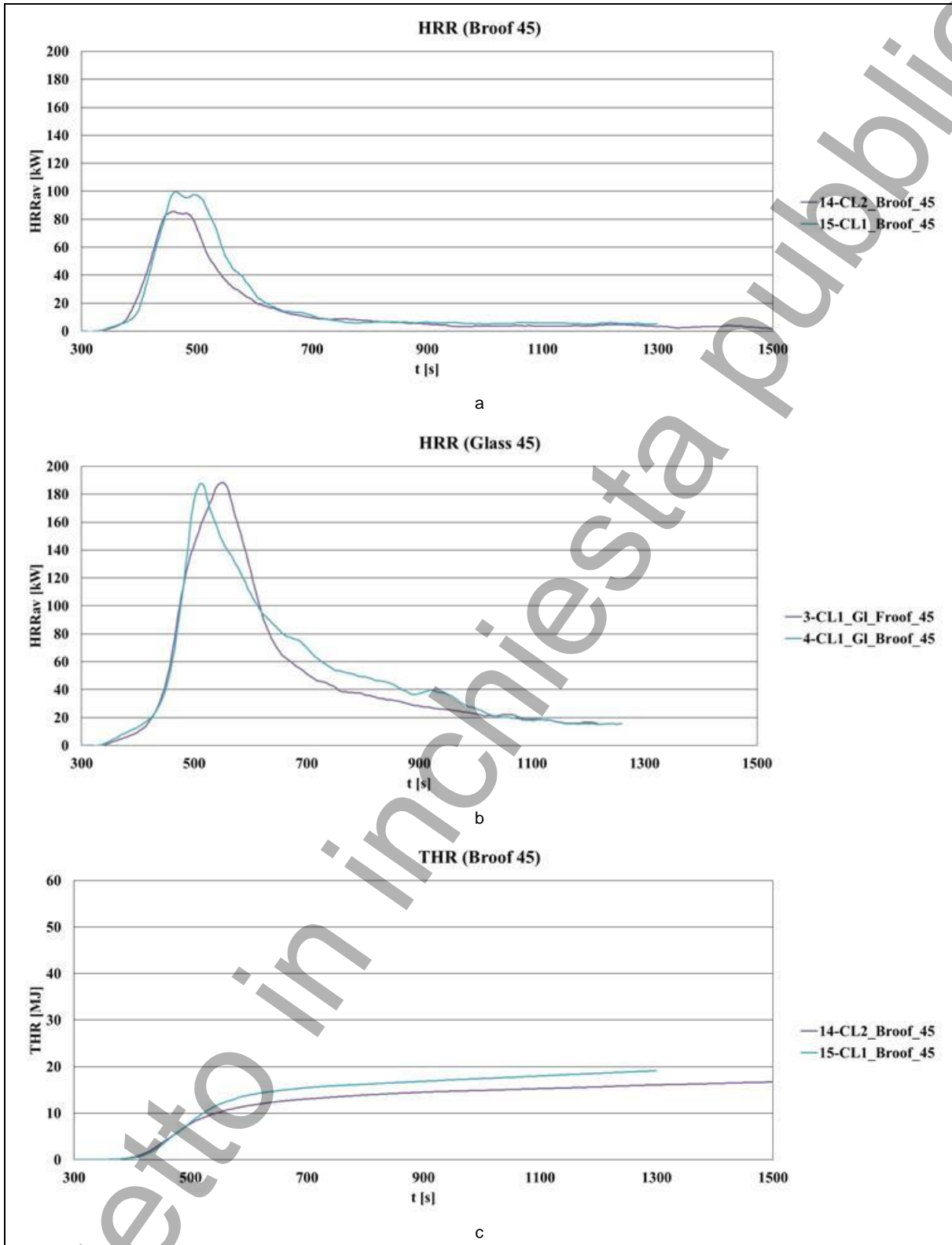
969

**Figura 33 – Immagini da test n. 17: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b, c (immagini dall'esecuzione del test), d (campione dopo l'esecuzione del test)**

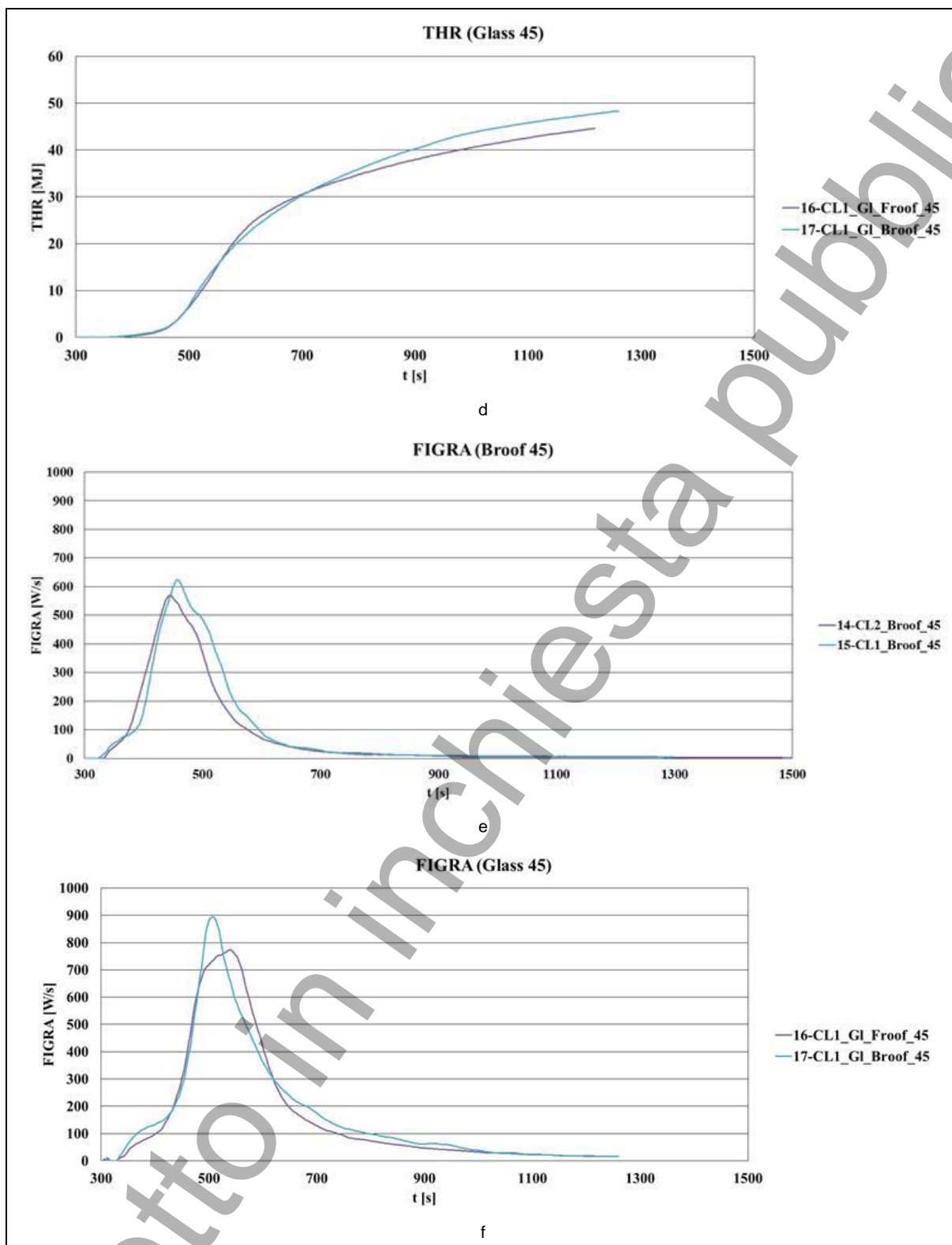


970

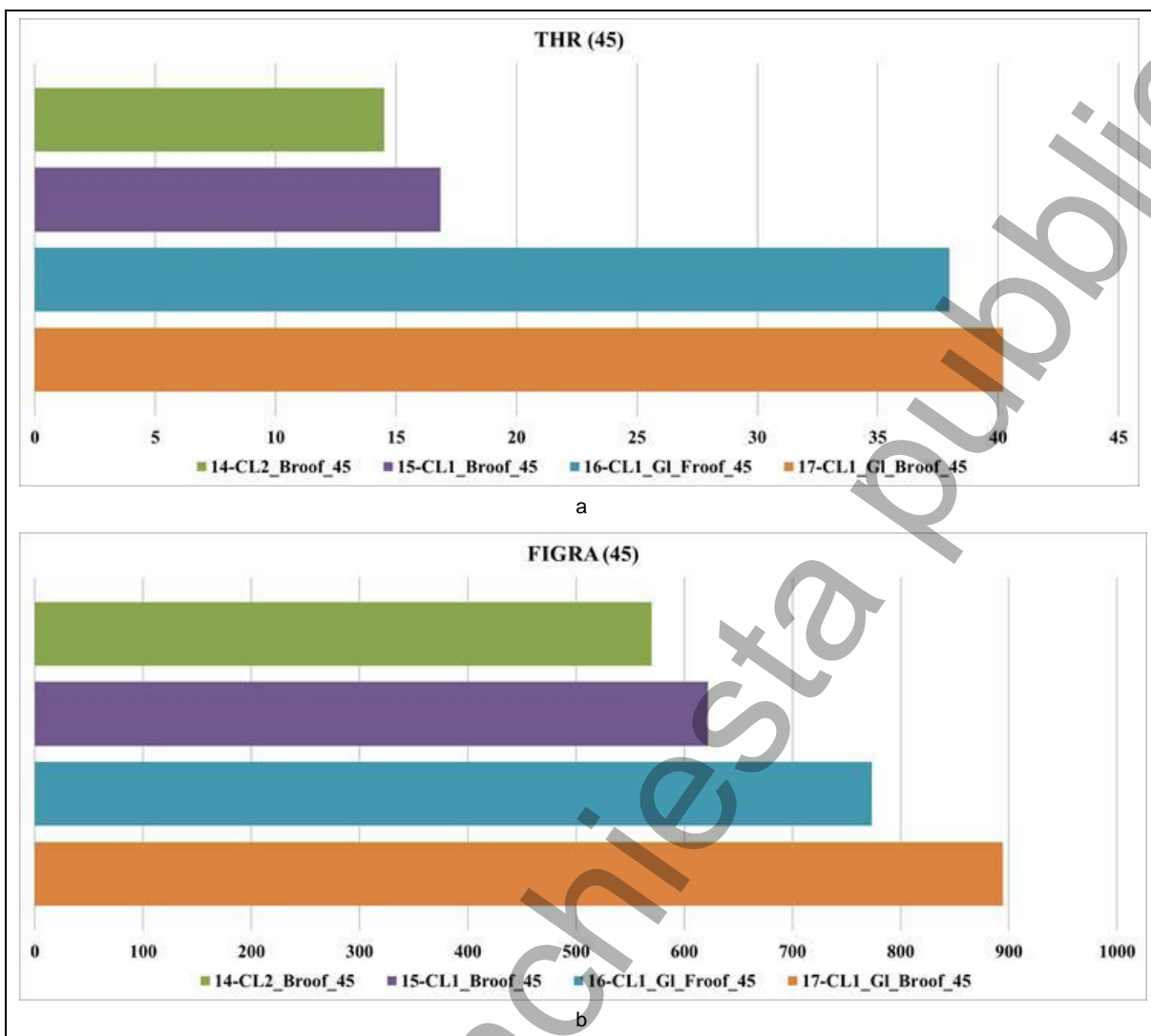
### A.2.5 Andamenti delle principali variabili



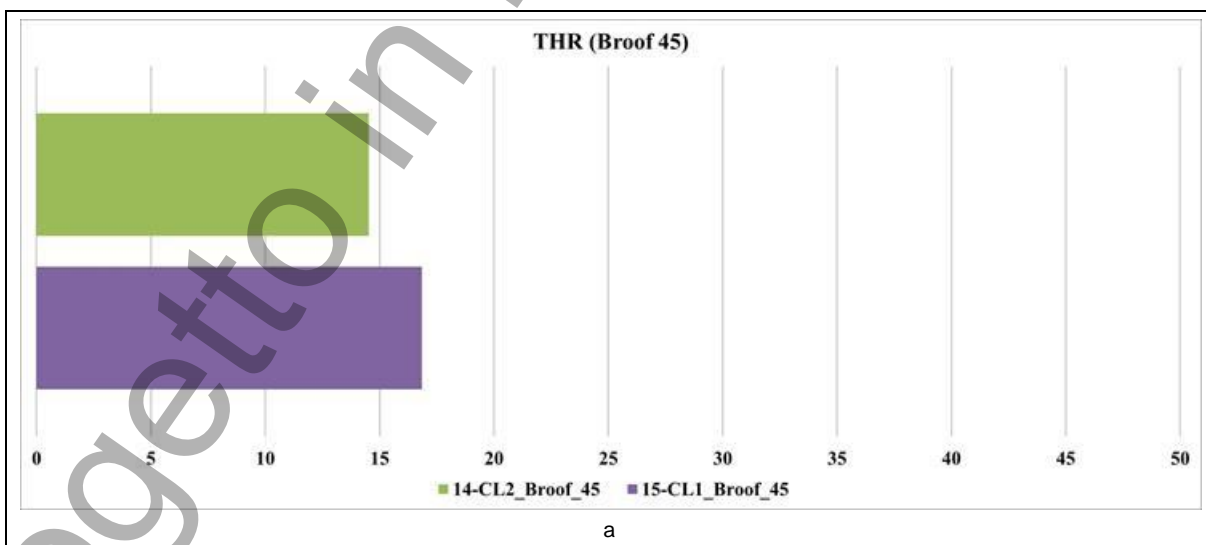
971



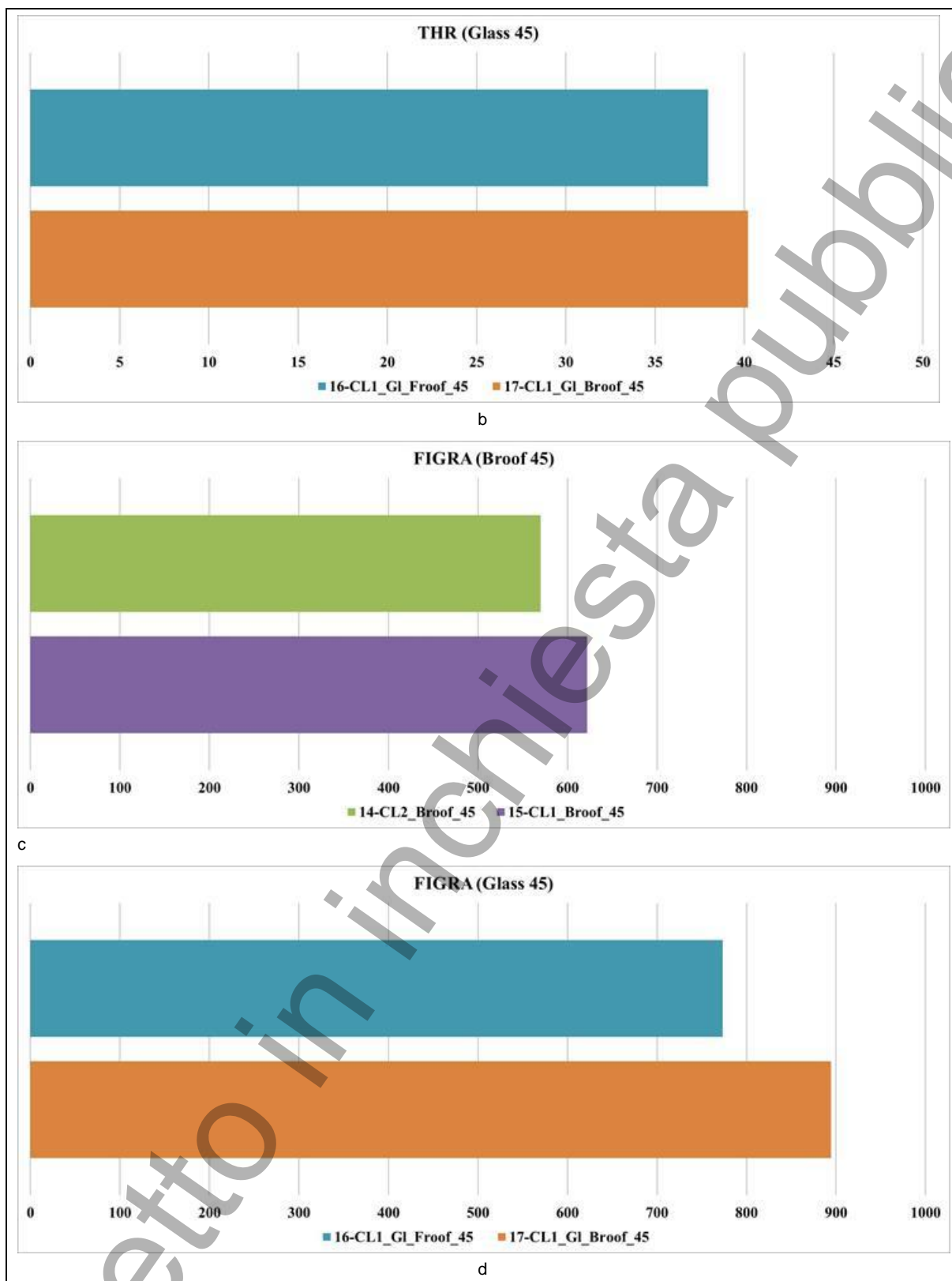
972 **Figura 34 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili (grafici moduli**  
973 **tradizionali e moduli vetro/vetro distinti): HRRav (Heat Release Rate, valori medi in**  
974 **intervalli di 30 s): Figura a (test n. 1, 2 – moduli FV tradizionali/backsheet plastico), b**  
975 **(test n. 3, 4 – moduli FV vetro/vetro); THR (Total Heat Release): Figura c (test n. 1, 2 –**  
976 **moduli FV tradizionali/backsheet plastico), d (test n. 3, 4 – moduli FV vetro/vetro);**  
977 **FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth Rate “istantaneo”): Figura e (test n. 1, 2 – moduli FV tradizionali /**  
978 **backsheet plastico), Figura f (test n. 3, 4 – moduli FV vetro / vetro); risultanti dai test di**  
979 **tipo eseguiti (tipo b)**



980 **Figura 35 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali: THR<sub>600s</sub> [MJ]:**  
 981 **Figura a; FIGRA<sub>0,2MJ</sub> [W/s]: Figura b); risultanti dai test di tipo eseguiti (tipo b)**



982



983 **Figura 36 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali (grafici moduli**  
984 **tradizionali e moduli vetro/vetro distinti): THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a (test n. 14, 15 – moduli**  
985 **FV tradizionali/backsheet plastico), Figura b (test n. 16, 17 – moduli FV vetro vetro);**  
986 **FIGRA<sub>0,2MJ</sub> [W/s]: Figura c (test n. 14, 15 – moduli FV tradizionali / backsheet plastico),**  
987 **Figura d (test n. 16, 17 – moduli FV vetro / vetro); risultanti dai test di tipo eseguiti**  
988 **(tipo b)**

989 **A.3 Test eseguiti in conformità ai protocolli b, c (3° gruppo: moduli FV con**  
990 **backsheet in materiale plastico o in vetro)**

991 **A.3.1 18**

Test n°		18
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		Si
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		b
Potenza bruciatore	[kW]	30

992



993 **Figura 37 – Immagini da test n. 18: a (camera prove con campione installato, prima**  
994 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo**  
995 **l'esecuzione del test)**

996 **A.3.2 19**

Test n°		19
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		Si
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

997



998 **Figura 38 – Immagini da test n. 19: a (camera prove con campione installato, prima**  
999 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo**  
1000 **l'esecuzione del test)**

1001 **A.3.3 20**

Test n°		20
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Froof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1002



1003  
1004  
1005

**Figura 39 – Immagini da test n. 20: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

1006 **A.3.4 21**

Test n°		21
Modulo FV - Classe IT		?
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1007



1008  
1009  
1010

**Figura 40 – Immagini da test n. 21: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**



1011 **A.3.5 22**

Test n°		22
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Inert
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1012



1013  
1014  
1015

**Figura 41 – Immagini da test n. 22: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

1016 **A.3.6 23**

Test n°		23 <sup>(*)</sup>
Modulo FV - Classe IT		?
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe	EN	Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30
(*) Il test 23 è stato eseguito utilizzando, invece dell'usuale campione di modulo FV, un modulo intero (vedere Allegato A). Perciò non risulta essere direttamente confrontabile con gli altri test effettuati.		

1017

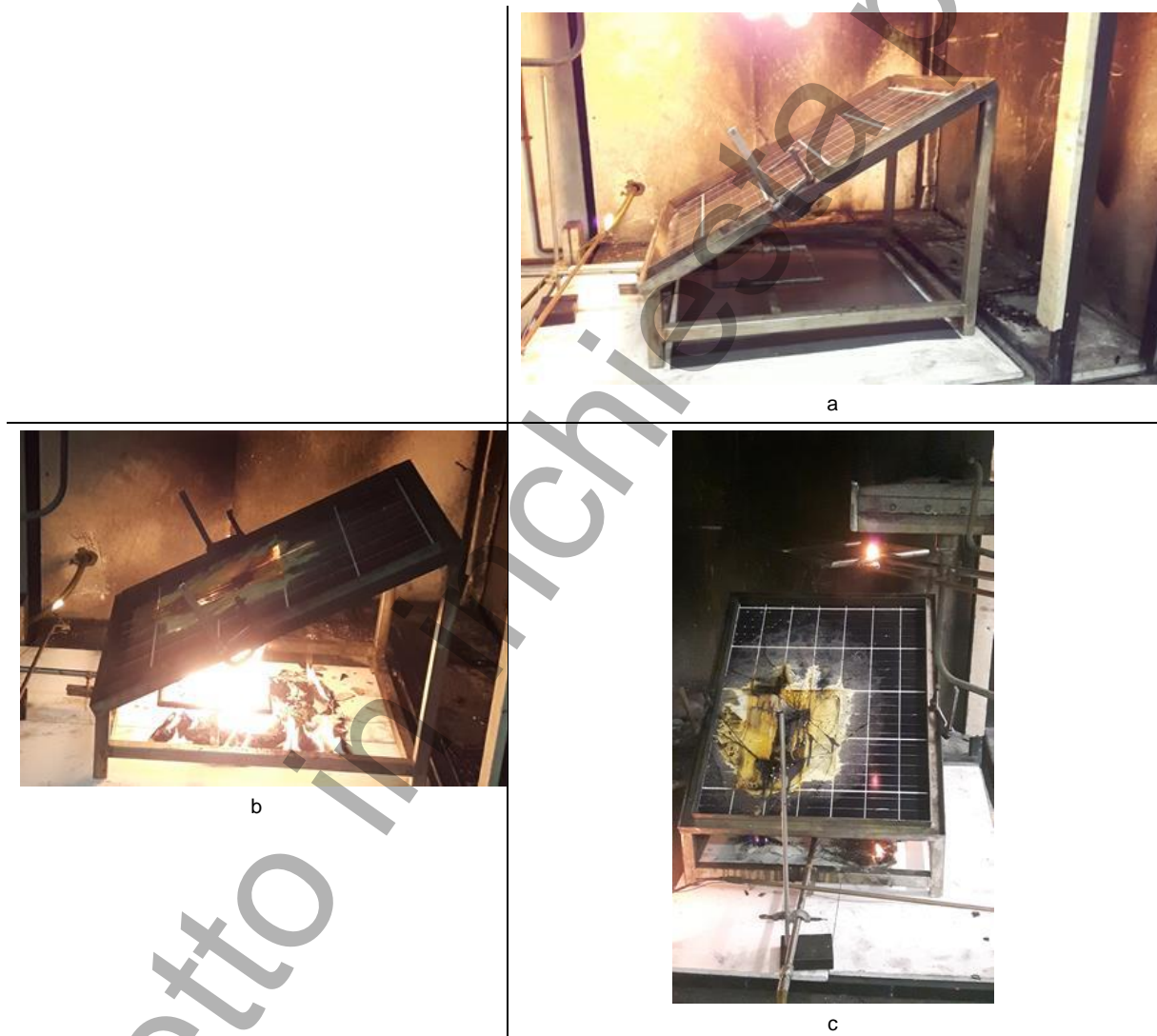


1018 **Figura 42 – Immagini da test n. 23: a (camera prove con campione installato, prima**  
 1019 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo**  
 1020 **l'esecuzione del test)**

1021 **A.3.7 24**

Test n°		24
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		Si
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1022



1023  
1024  
1025

**Figura 43 – Immagini da test n. 24: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

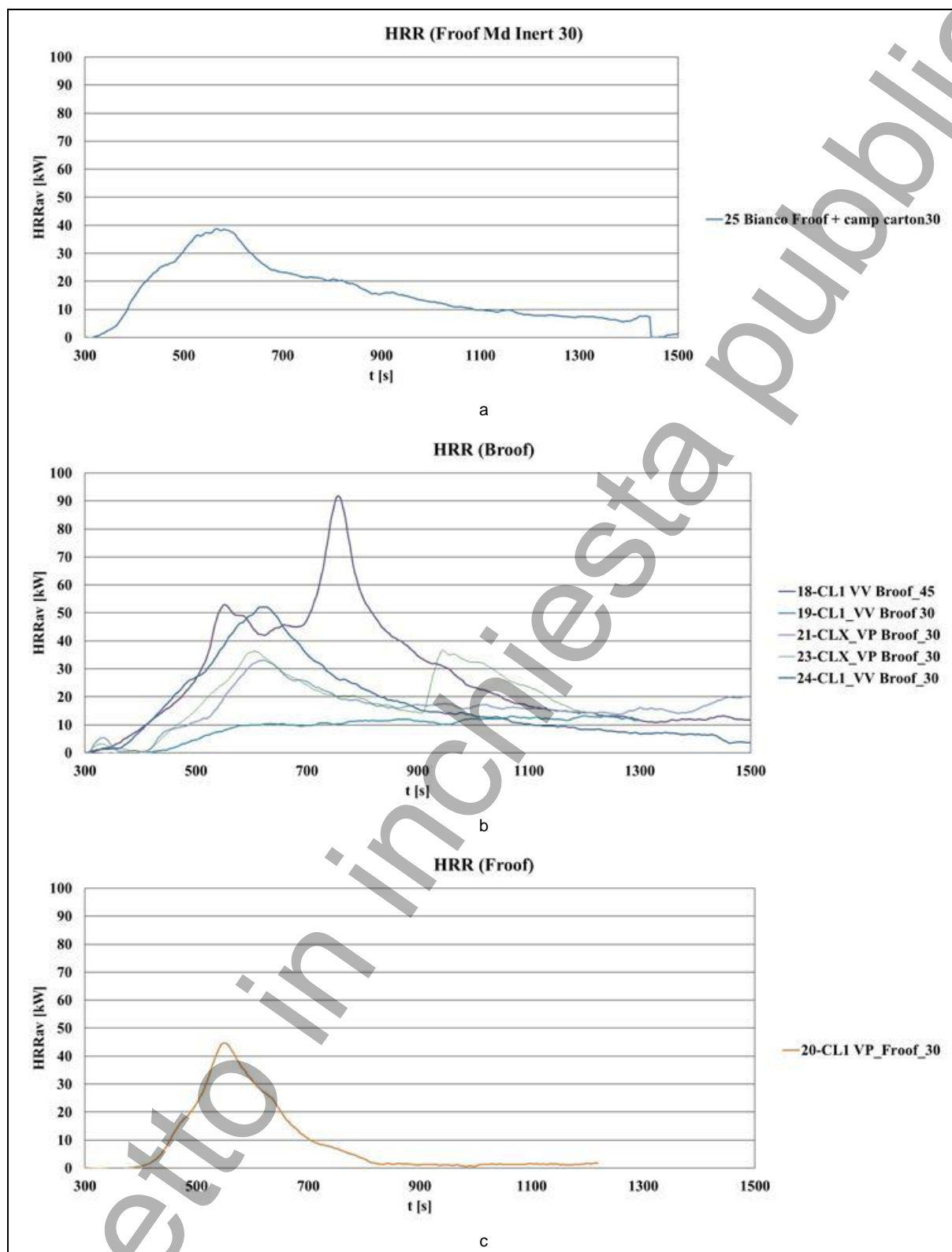
1026 **A.3.8 25**

Test n°		23 <sup>(*)</sup>
Modulo FV - Classe IT		?
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe	EN	Froof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30
(*) Il test 25 è stato eseguito utilizzando, invece dell'usuale campione di modulo FV, un campione inerte in cartongesso (vedere Allegato A). Ciò è stato realizzato con la finalità di saggiare il comportamento del campione (nello scenario c) avente solamente il contributo termico della copertura		

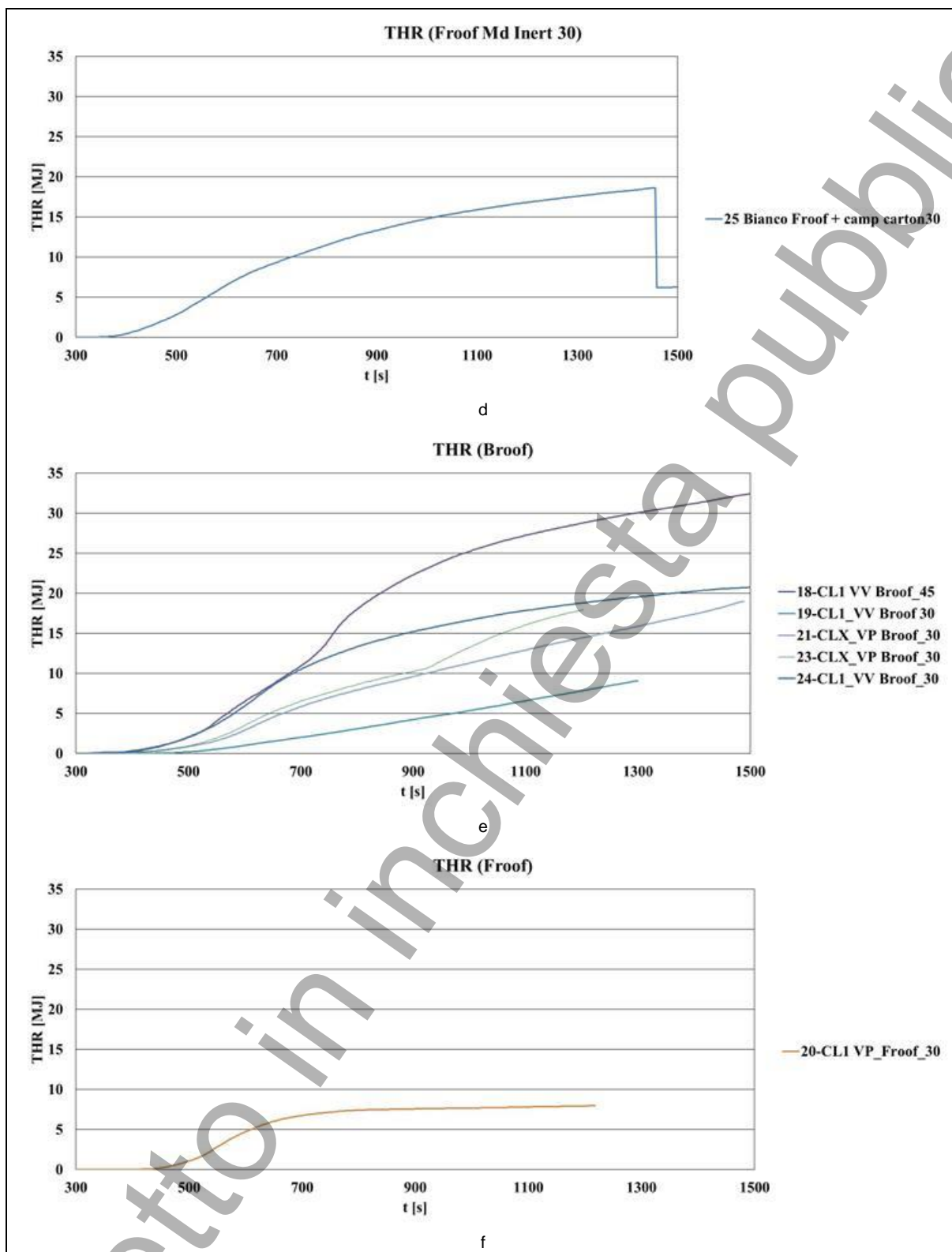
1027 Non sono state scattate foto.

1028

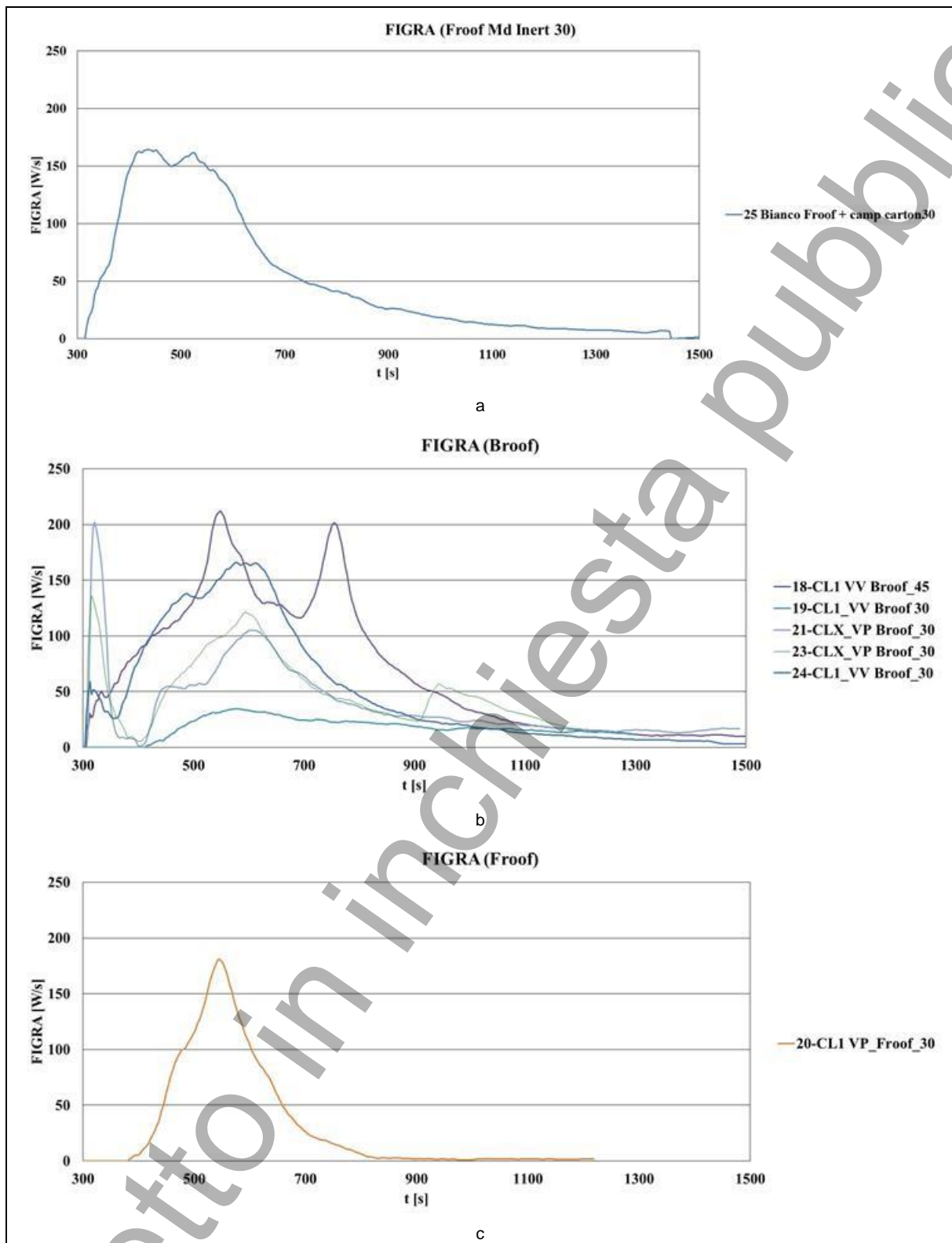
### A.3.9 Andamenti delle principali variabili



1029

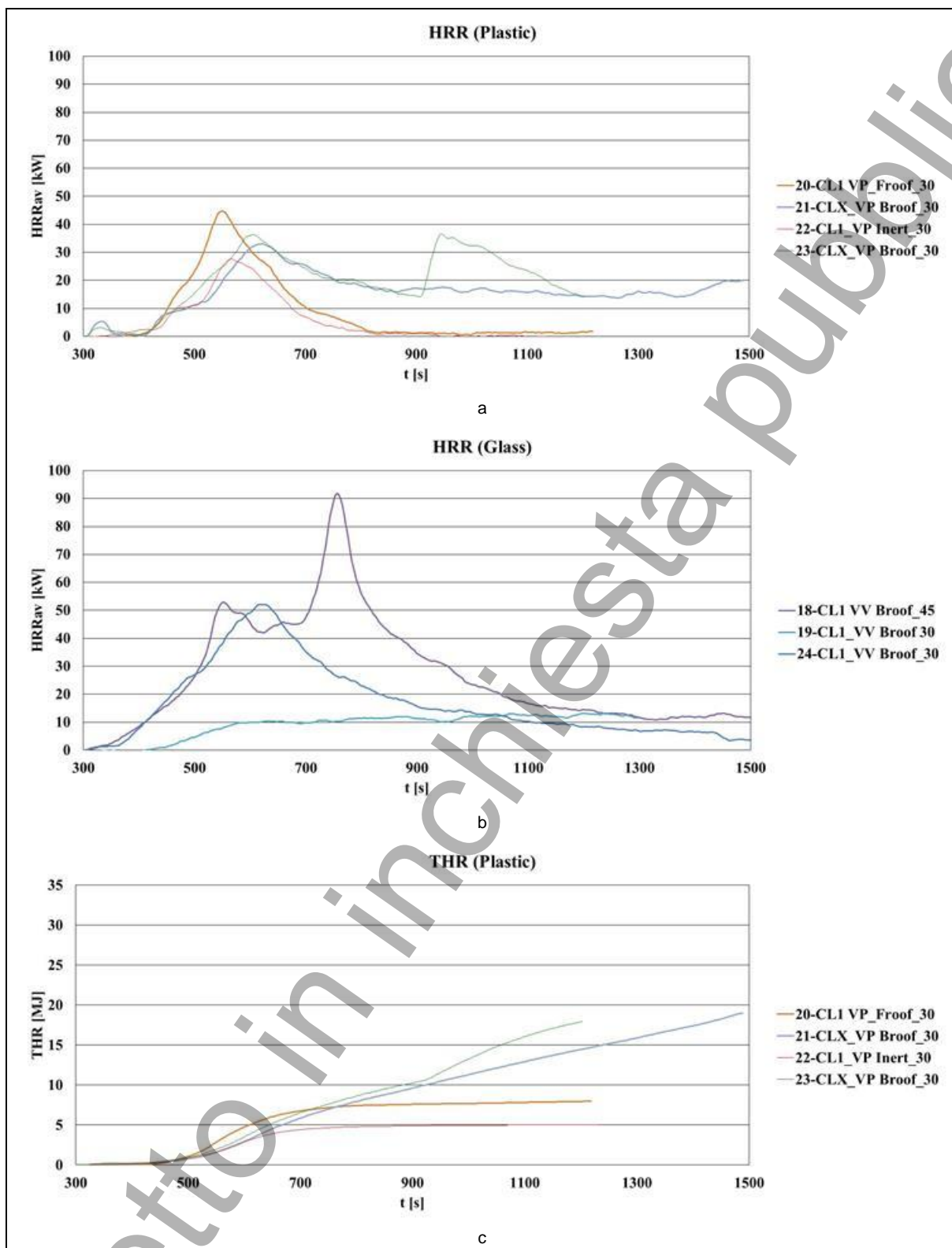


1030 **Figura 44 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili: HRRav (Heat**  
1031 **Release Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figure a, b, c; THR (Total Heat Release):**  
1032 **Figure d, e, f; risultanti dai test di tipo b (45) e c (30) su copertura Froof con campione**  
1033 **modulo in cartongesso (Inert) e su copertura scarsamente combustibile (Broof) e**  
1034 **facilmente combustibile (Froof) con campione modulo FV**



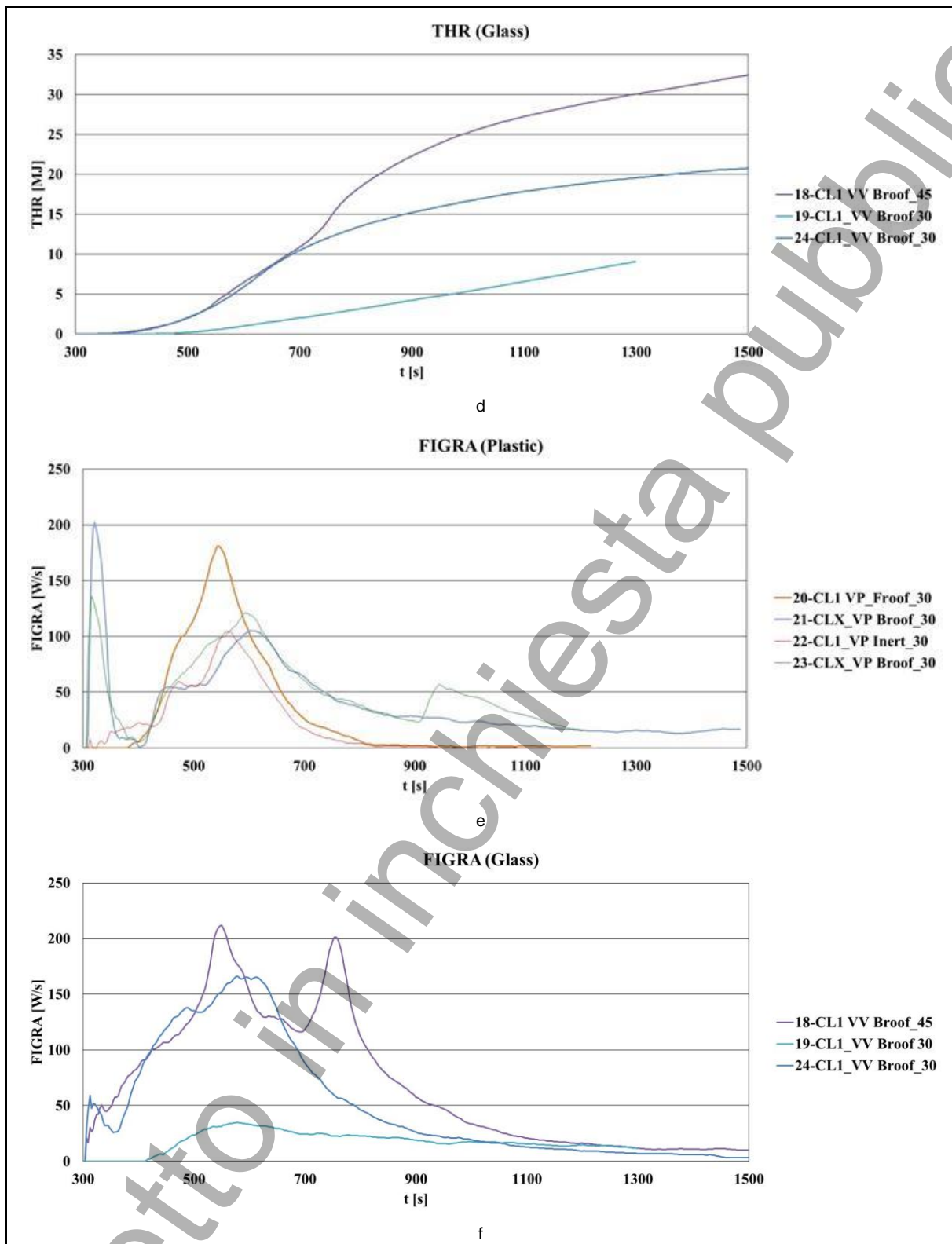
1035  
1036  
1037  
1038

Figura 45 – Curve degli andamenti della variabile FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth Rate “istantaneo”), Figure a, b, c; risultanti dai test di tipo b (45) e c (30) su copertura Froof con campione modulo in cartongesso (Inert) e su copertura scarsamente combustibile (Broof) e facilmente combustibile (Froof) con campione modulo FV

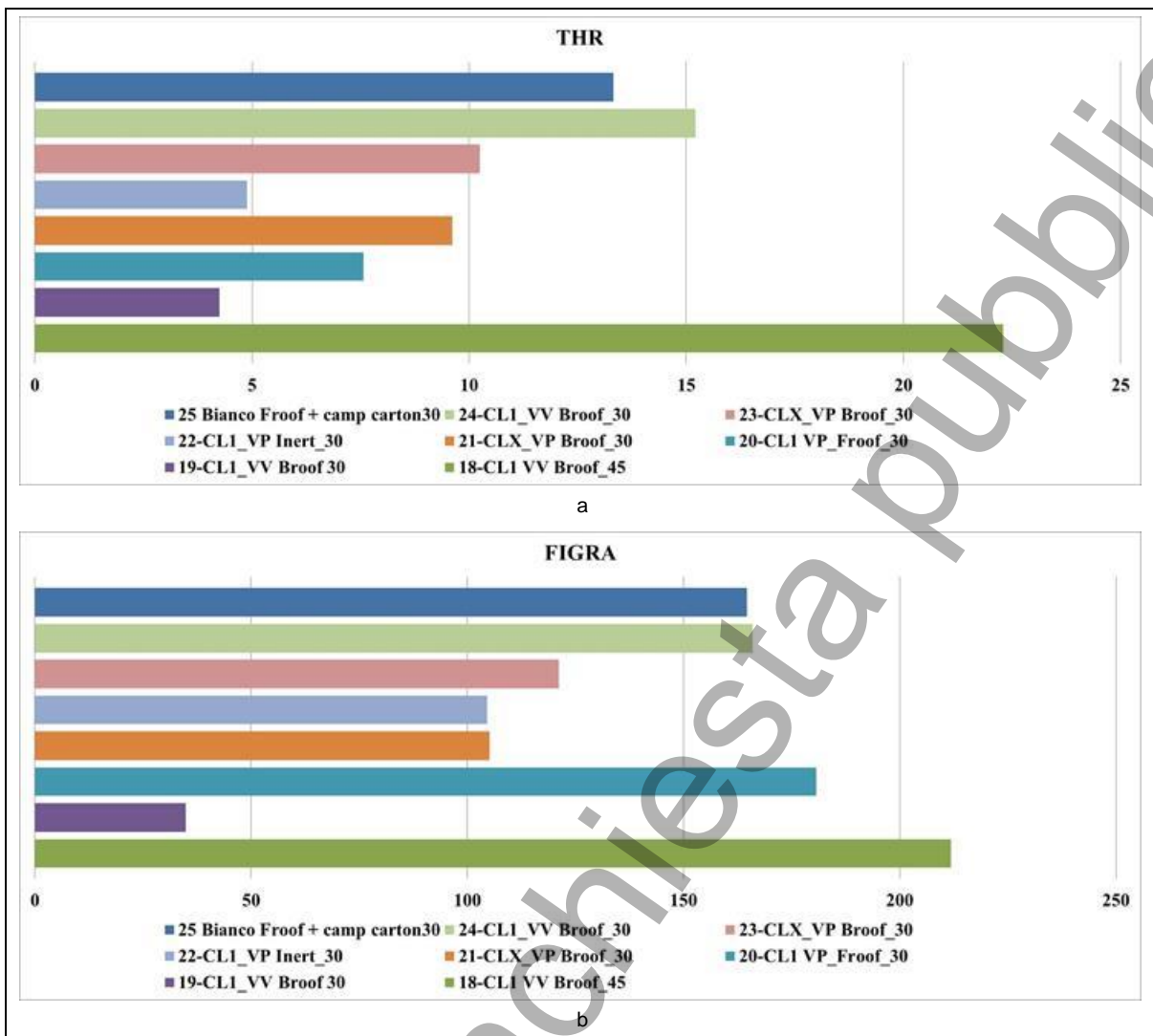


1039

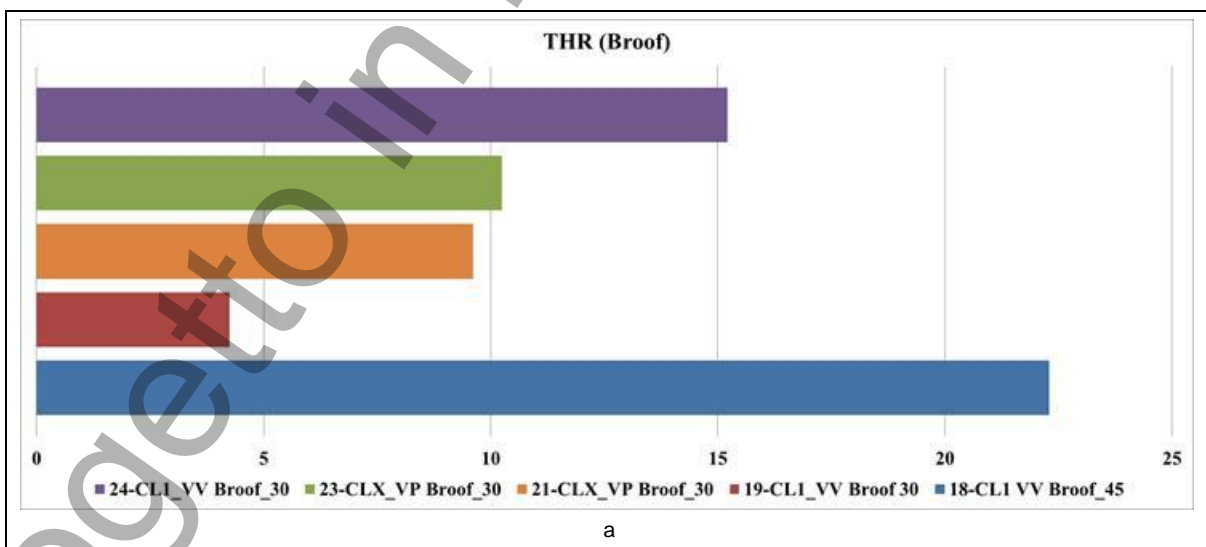




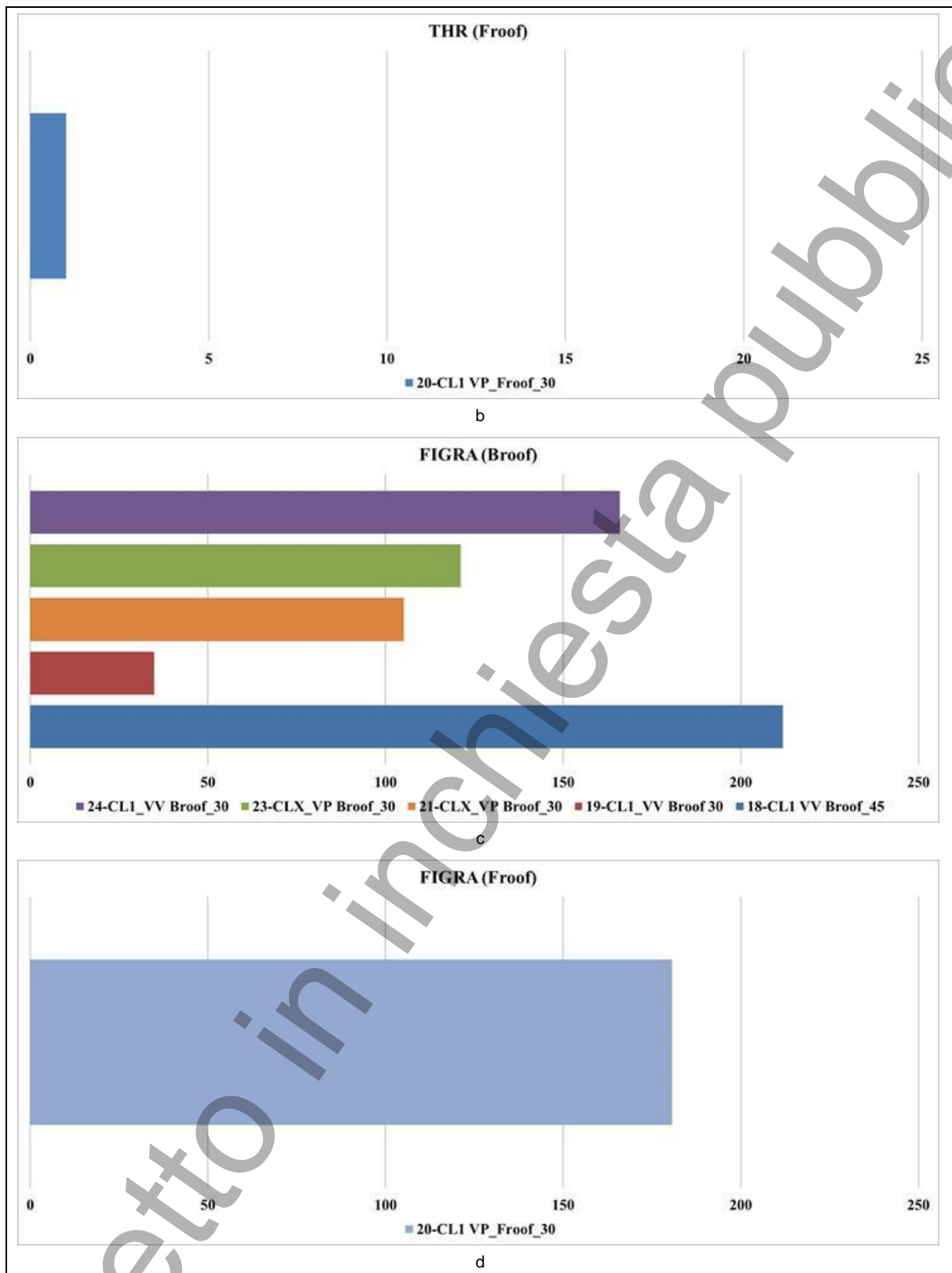
1040 **Figura 46 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili (grafici moduli**  
1041 **tradizionali e moduli vetro/vetro distinti): HRRav (Heat Release Rate, valori medi in**  
1042 **intervalli di 30 s): Figura a (test n. 20, 21, 22, 23 – moduli FV tradizionali/backsheet**  
1043 **plastico), b (test n. 18, 19, 24 – moduli FV vetro/vetro); THR (Total Heat Release):**  
1044 **Figura c (test n. 20, 21, 22, 23 – moduli FV tradizionali/backsheet plastico), d (test n. 18,**  
1045 **19, 24 – moduli FV vetro/vetro); FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth RATE “istantaneo”): Figura e (test**  
1046 **n. 18, 19, 24 – moduli FV tradizionali/backsheet plastico), Figura f (test n. 18, 19, 24 –**  
1047 **moduli FV vetro/vetro); risultanti dai test di tipo eseguiti (tipo b (45) e c (30))**



1048 **Figura 47 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali dai test eseguiti in**  
 1049 **conformità ai protocolli b, c: THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a; FIGRA<sub>0,2MJ</sub> [W/s]: Figura b**



1050



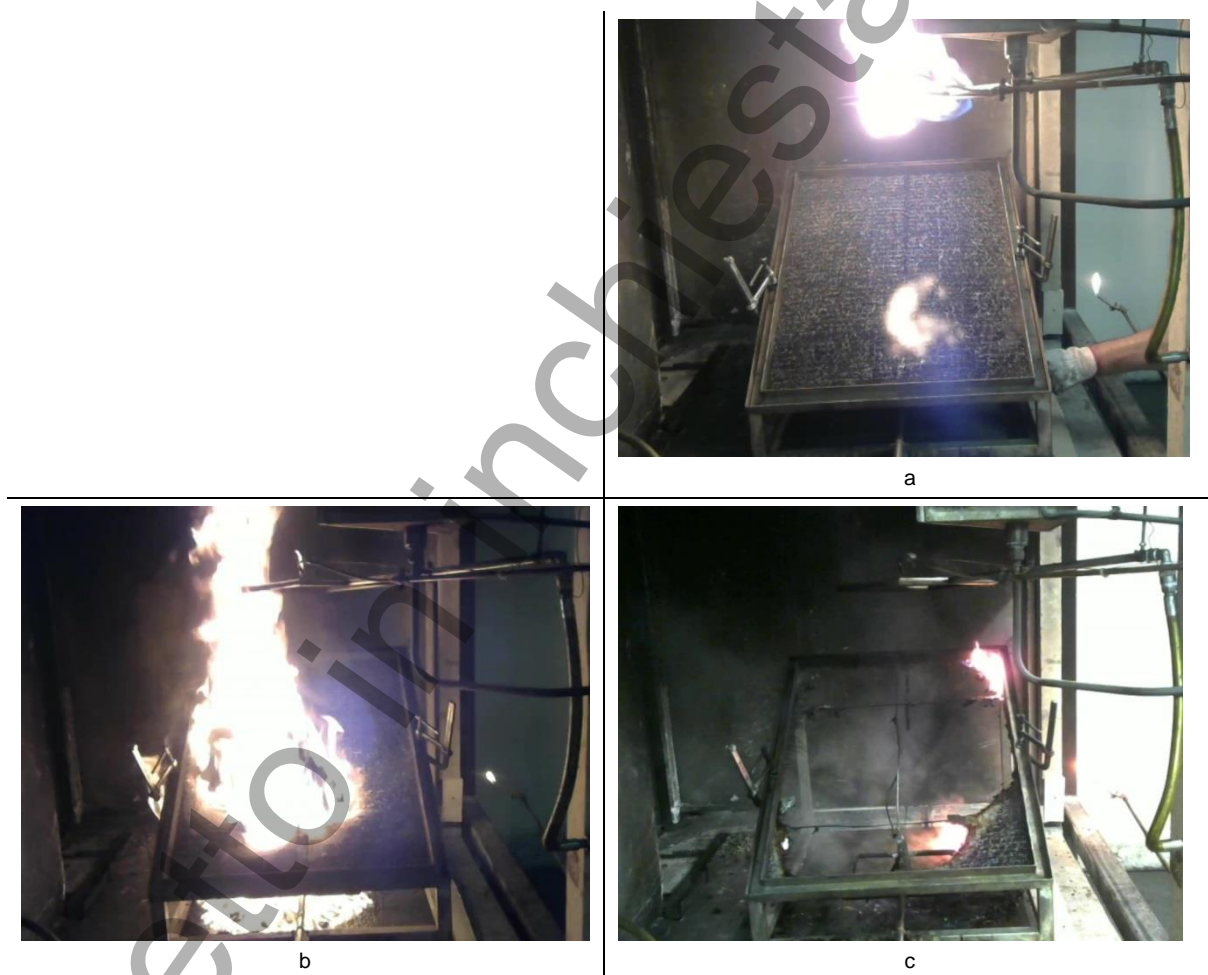
1051 **Figura 48 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali (grafici copertura**  
 1052 **Broof ed Froof distinti):  $THR_{600s}$  [MJ]: Figura a (test n. 18, 19, 21, 23, 24 – Broof),**  
 1053 **Figura b (test n. 20 – Froof);  $FIGRA_{0,2MJ}$  [W/s]: Figura c (test n. 18, 19, 21, 23, 24 –**  
 1054 **Broof), Figura d (test n. 20 – Froof); risultanti dai test di tipo eseguiti (tipo b (45)**  
 1055 **e c (30)**

1056 **A.4 Test eseguiti in conformità al protocollo c (4° gruppo: moduli FV con**  
1057 **backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana**  
1058 **superiore)**

1059 **A.4.1 26**

Test n°		26
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1060



1061 **Figura 49 – Immagini da test n. 26: a (camera prove con campione installato, prima**  
1062 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo**  
1063 **l'esecuzione del test)**

1064 **A.4.2 27**

	<b>Test n°</b>	<b>27</b>
<i>Modulo FV - Classe IT</i>		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1065



1066  
1067  
1068

**Figura 50 – Immagini da test n. 27: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

1069 **A.4.3 28**

Test n°		28
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1070



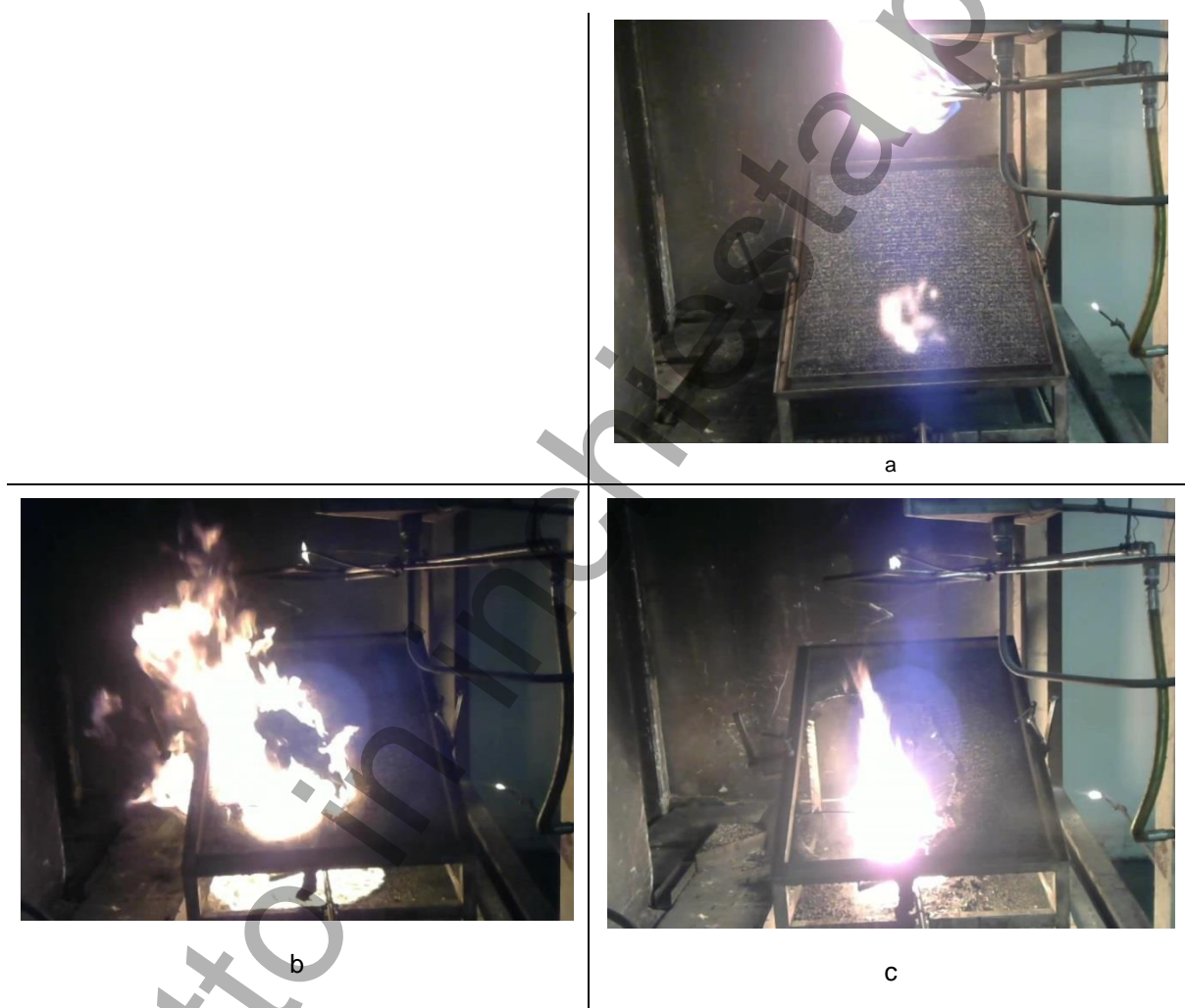
1071  
1072  
1073

**Figura 51 – Immagini da test n. 28: a (camera prove con campione installato, prima dell’inizio del test), b (immagine dall’esecuzione del test), c (campione dopo l’esecuzione del test)**

1074 **A.4.4 29**

Test n°		29
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Frroof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1075



1076  
1077  
1078

**Figura 52 – Immagini da test n. 29: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

1079 **A.4.5 30**

Test n°		30
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		Froof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1080



1081  
1082  
1083

**Figura 53 – Immagini da test n. 30: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**



1084 **A.4.6 31**

Test n°		31
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1085



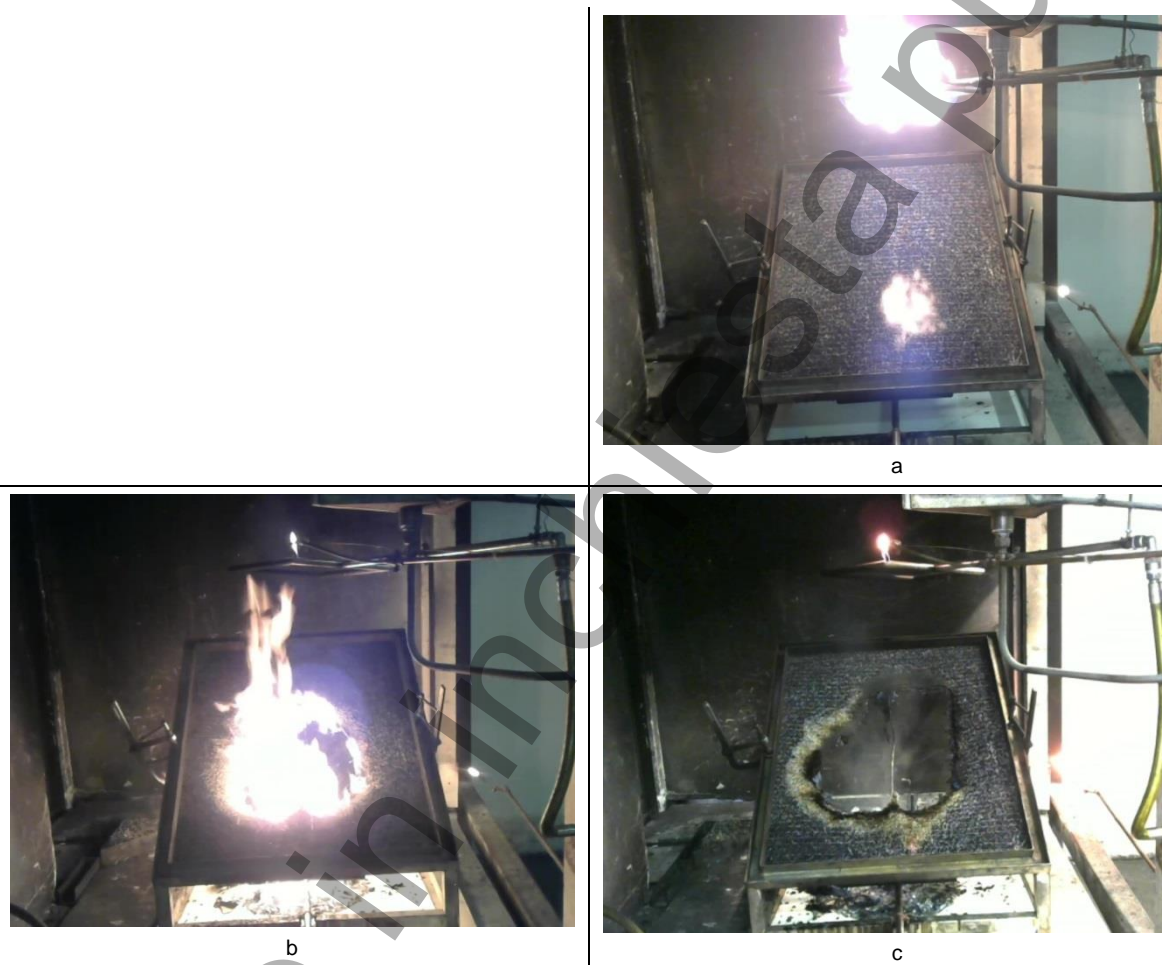
1086  
1087  
1088

**Figura 54 – Immagini da test n. 31: a (camera prove con campione installato, prima dell’inizio del test), b (immagine dall’esecuzione del test), c (campione dopo l’esecuzione del test)**

1089 **A.4.7 32**

Test n°		32
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1090



1091

1092

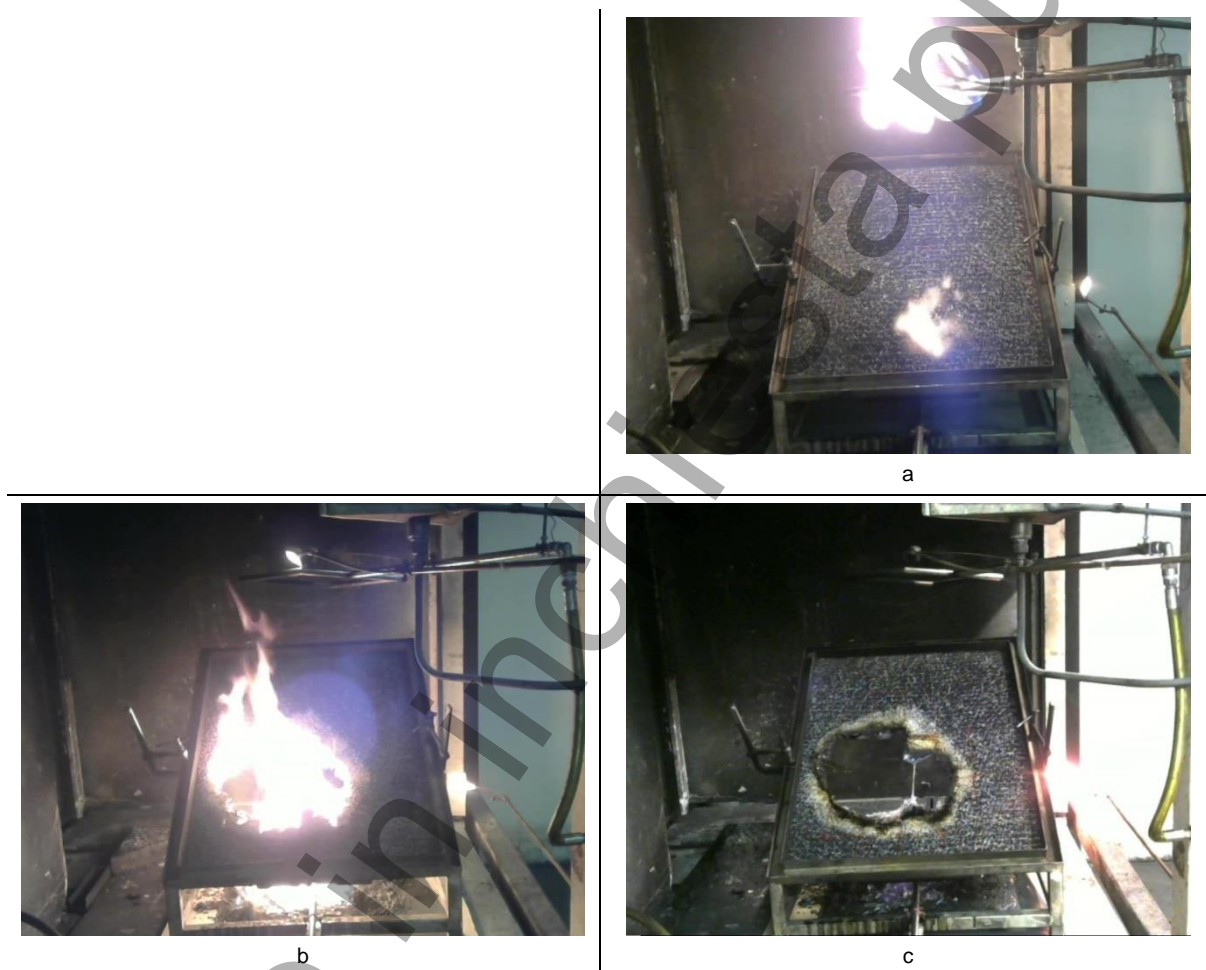
1093

**Figura 55 – Immagini da test n. 32: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

1094 **A.4.8 33**

Test n°		33
Modulo FV - Classe IT		1
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1095



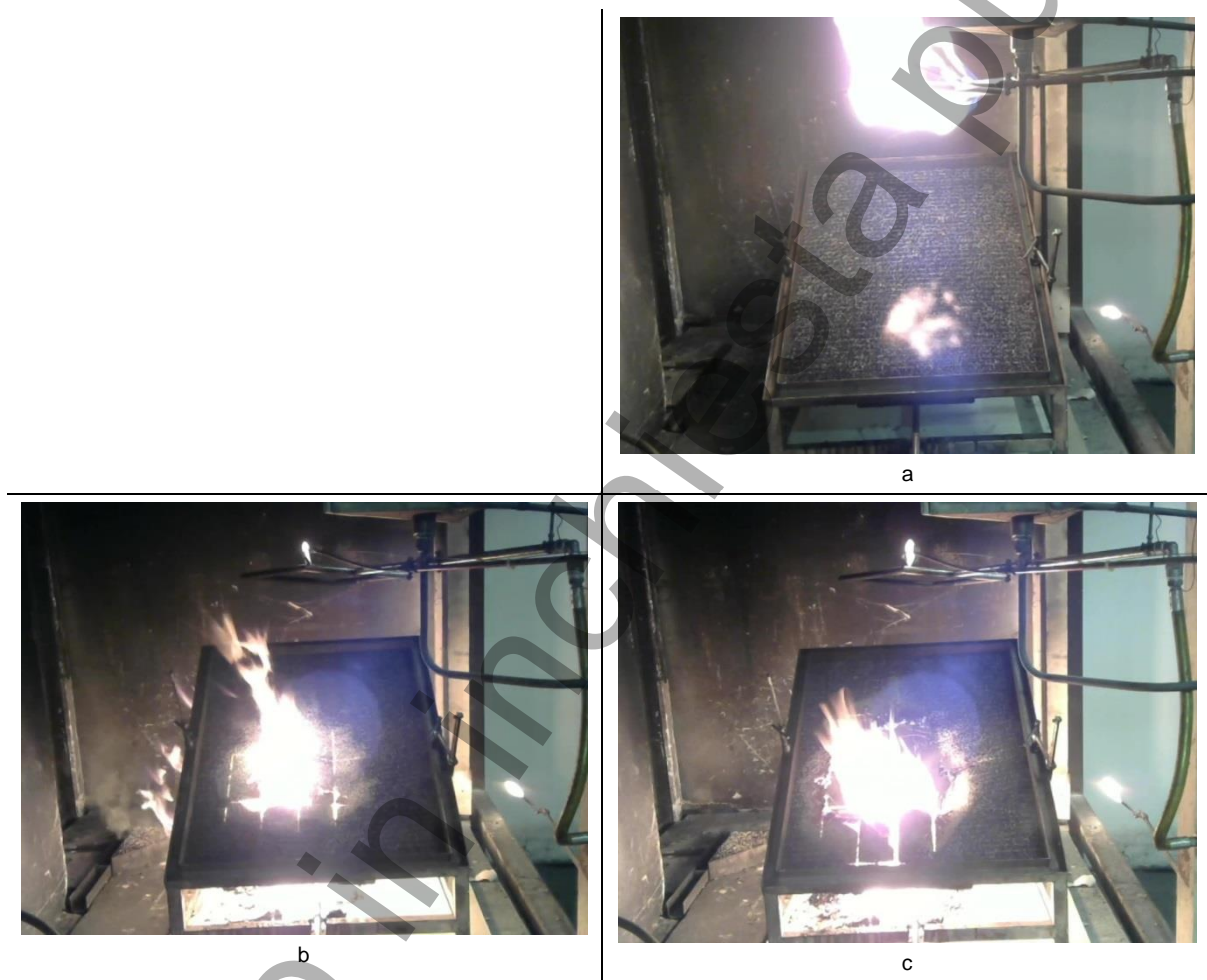
1096  
1097  
1098

**Figura 56 – Immagini da test n. 33: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

1099 **A.4.9 34**

Test n°		34
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1100



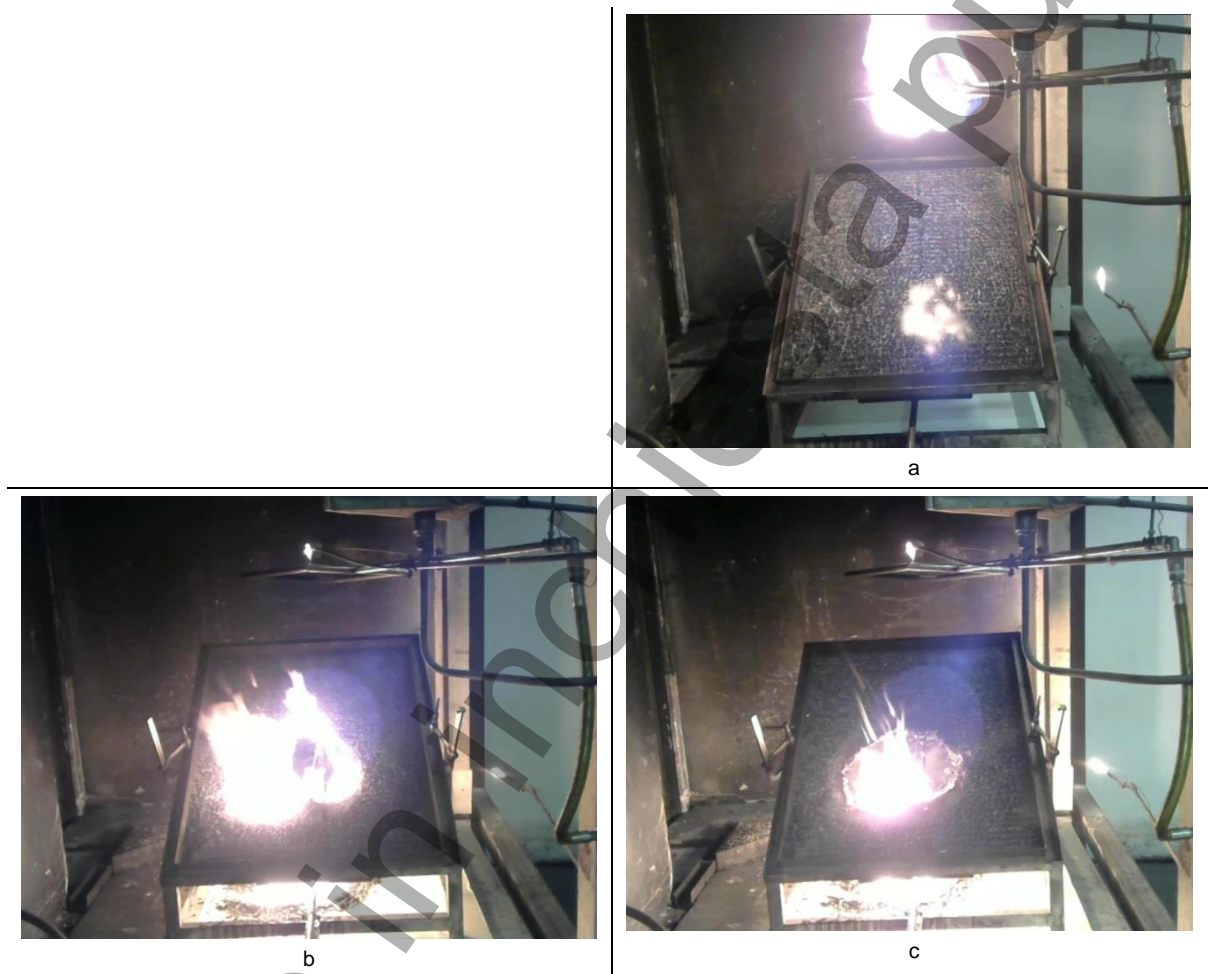
1101  
1102  
1103

**Figura 57 – Immagini da test n. 34: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione dopo l'esecuzione del test)**

1104 **A.4.10 35**

Test n°		35
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1105



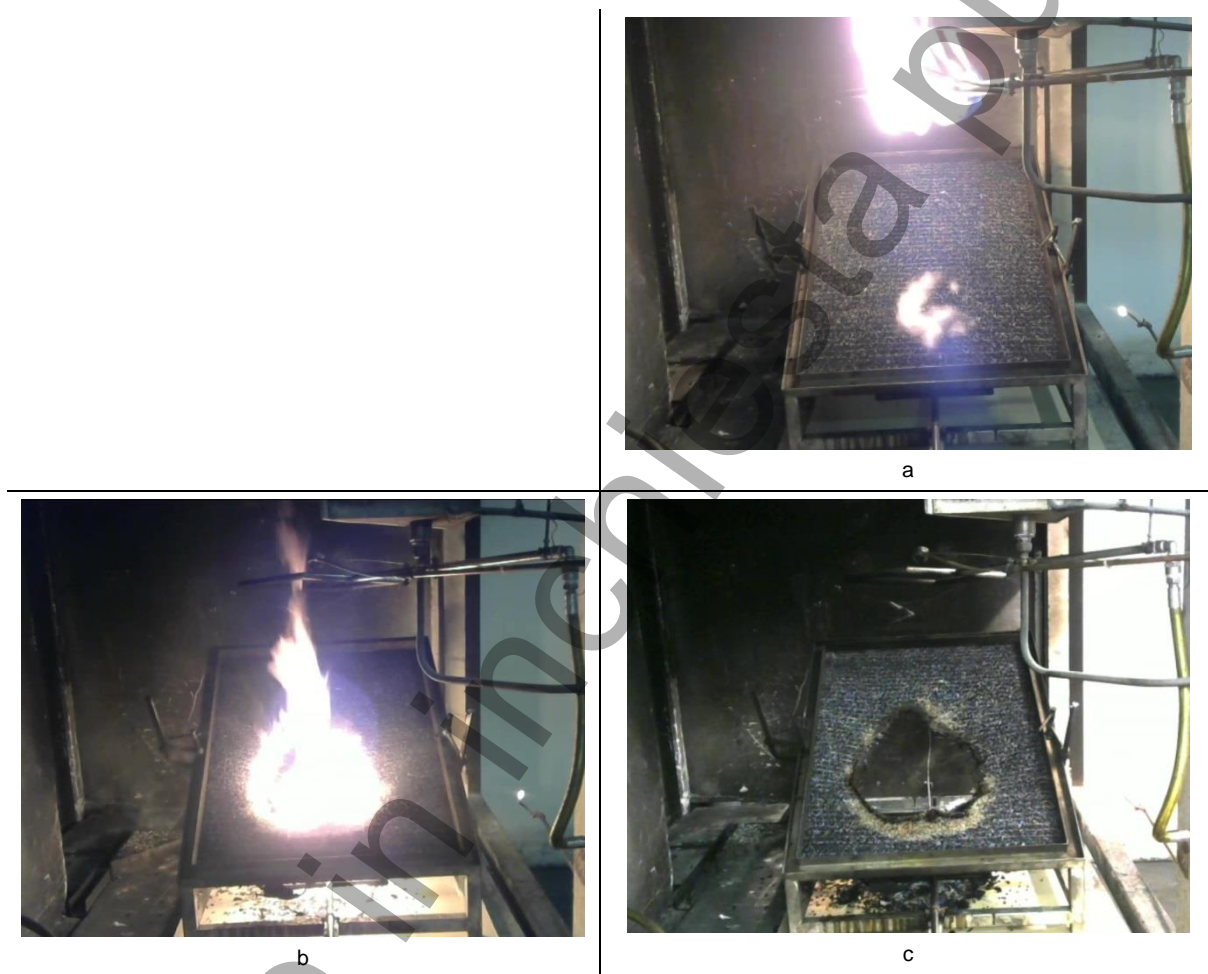
1106  
1107  
1108

**Figura 58 – Immagini da test n. 35: a (camera prove con campione installato, prima dell’inizio del test), b (immagine dall’esecuzione del test), c (campione dopo l’esecuzione del test)**

1109 **A.4.11 36**

Test n°		36
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		EI30 su Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1110



1111 **Figura 59 – Immagini da test n. 36: a (camera prove con campione installato, prima**  
1112 **dell’inizio del test), b (immagine dall’esecuzione del test), c (campione dopo**  
1113 **l’esecuzione del test)**

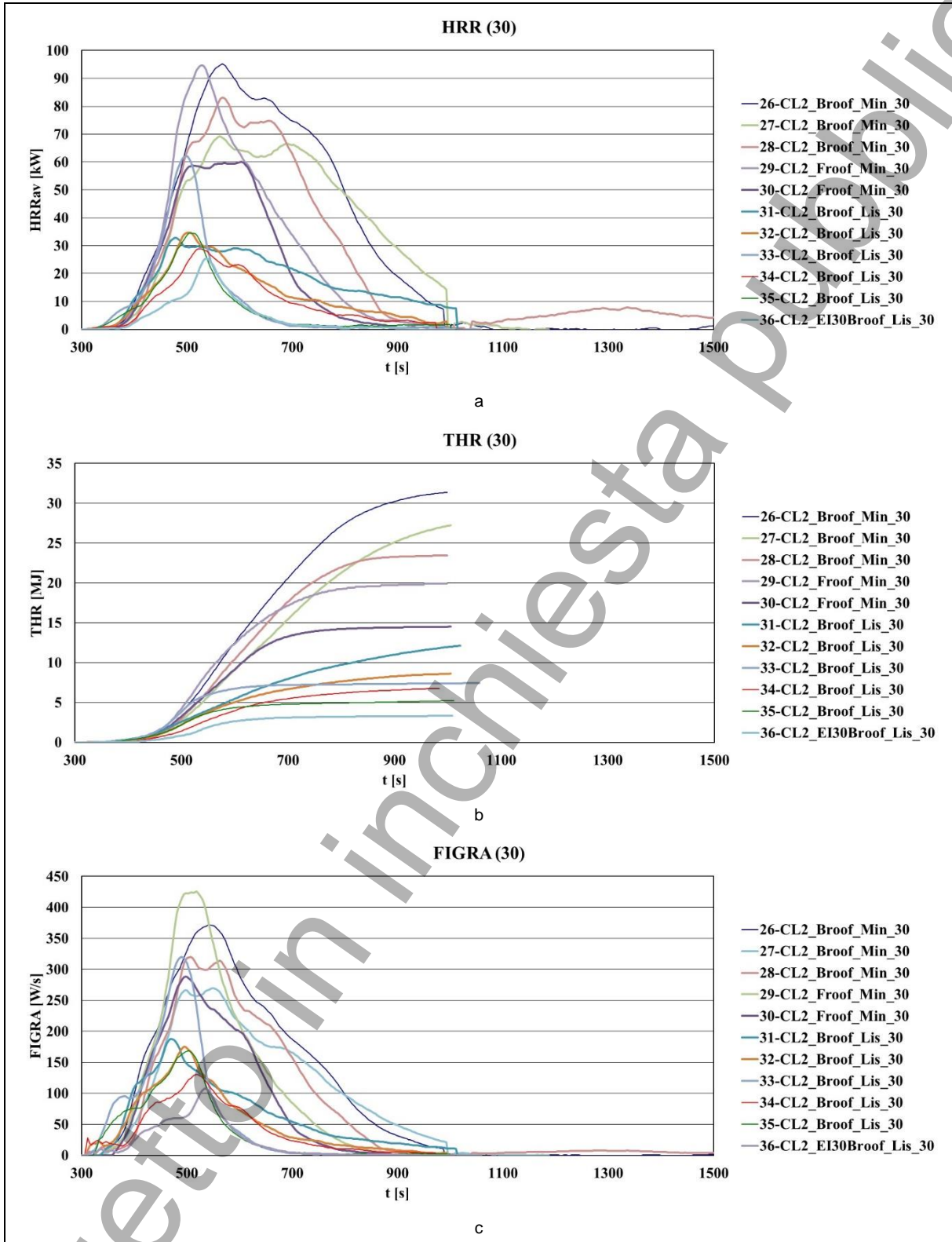
1114 **A.4.12 37**

Test n°	37*
Modulo FV - Classe IT	1
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)	No (Backsheet plastico con lastra Al)
Sostegno posteriore modulo	++
Copertura – Classe EN	Broof
Protocollo di prova	c
Potenza bruciatore [kW]	30
(*) Non esistono risultanze numeriche della prova, la quale ha visto un deterioramento del campione di modulo FV (con dimensioni diverse rispetto a quelle degli altri campioni testati) decisamente meno pronunciato rispetto agli altri casi testati.	

1115 Non sono state scattate foto.

1116

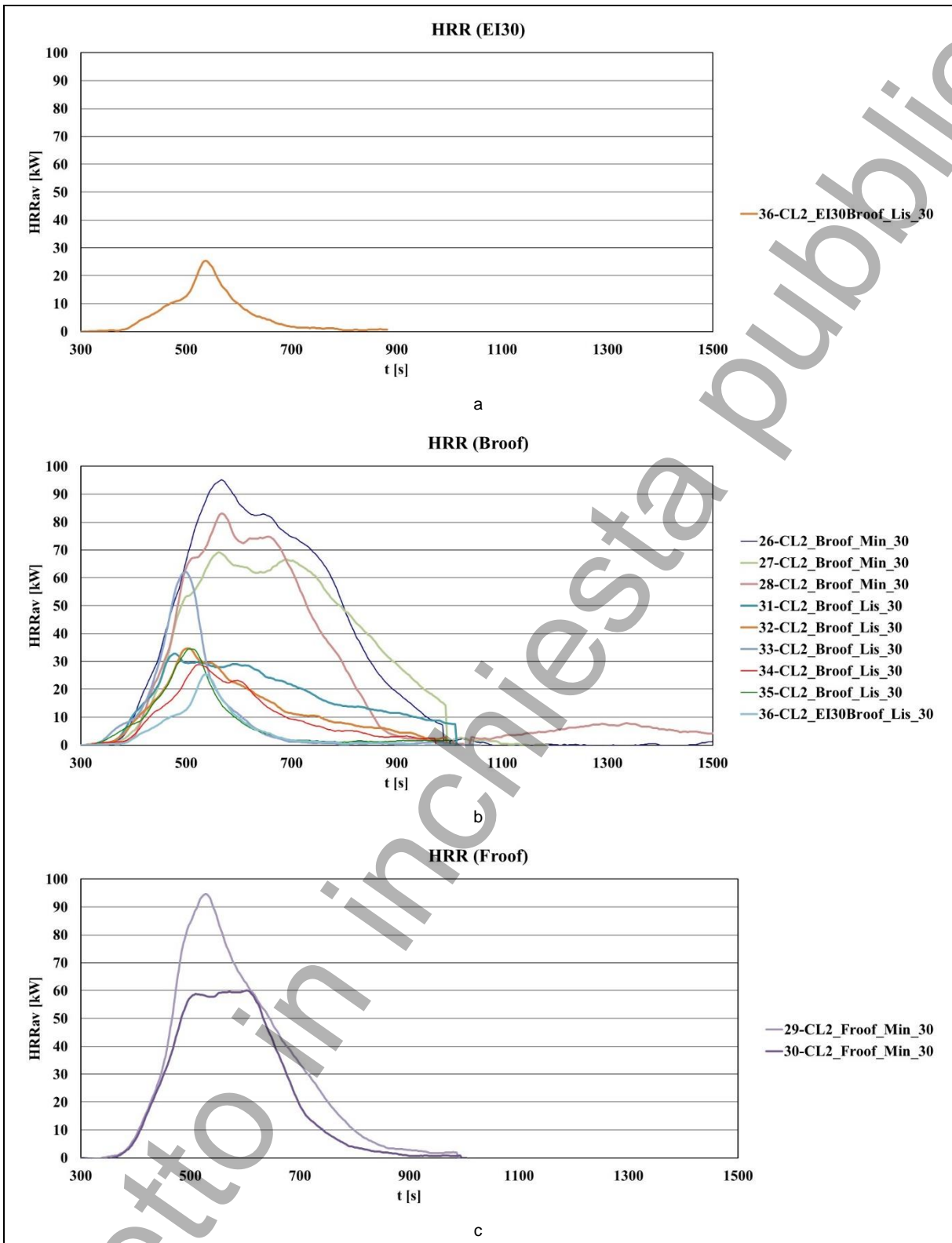
#### A.4.13 Andamenti delle principali variabili



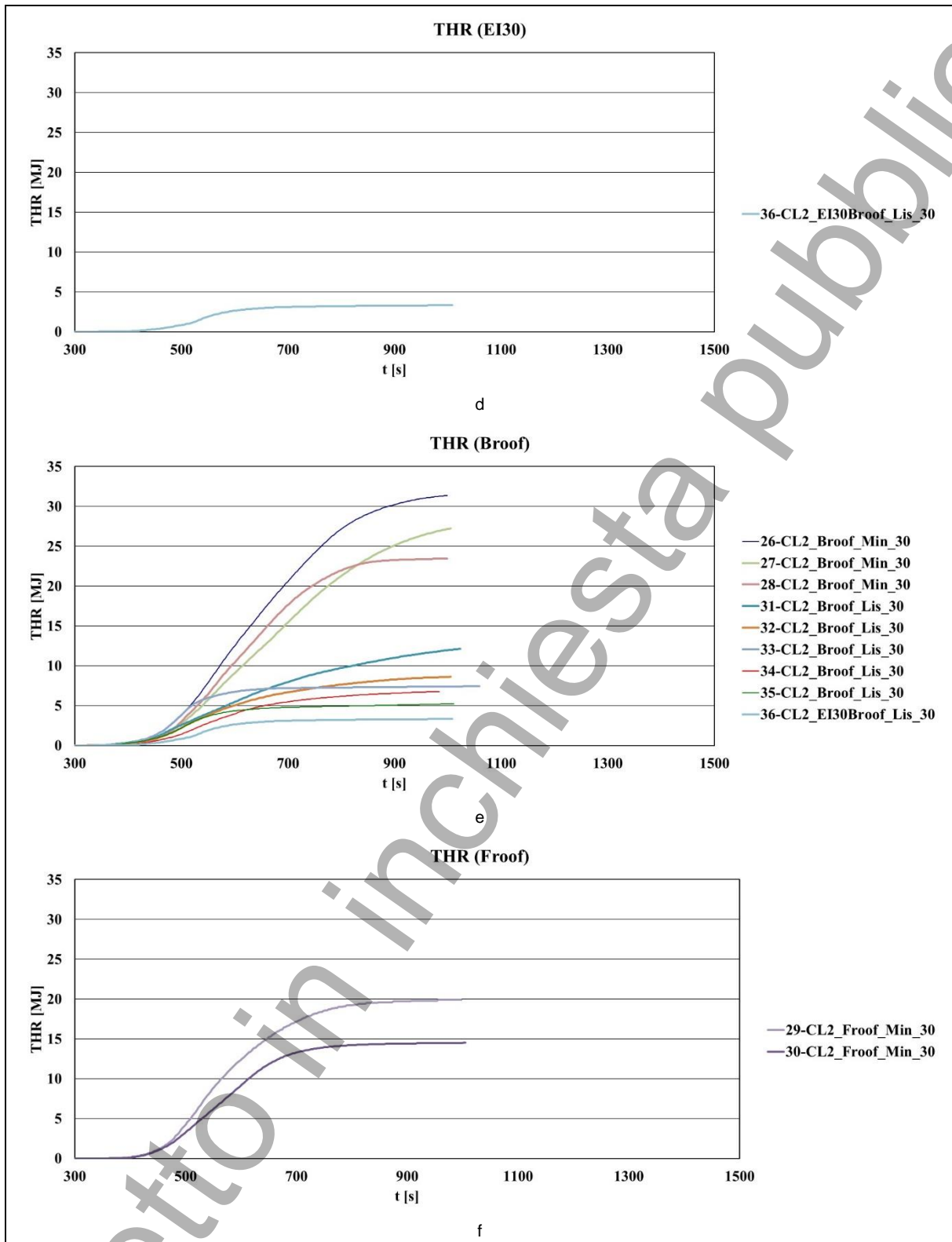
1117  
1118  
1119  
1120

Figura 60 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili: HRRav (Heat Release Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figura a; THR (Total Heat Release): Figura b; FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth Rate “istantaneo”): Figura c; risultanti dai test di tipo c (30)

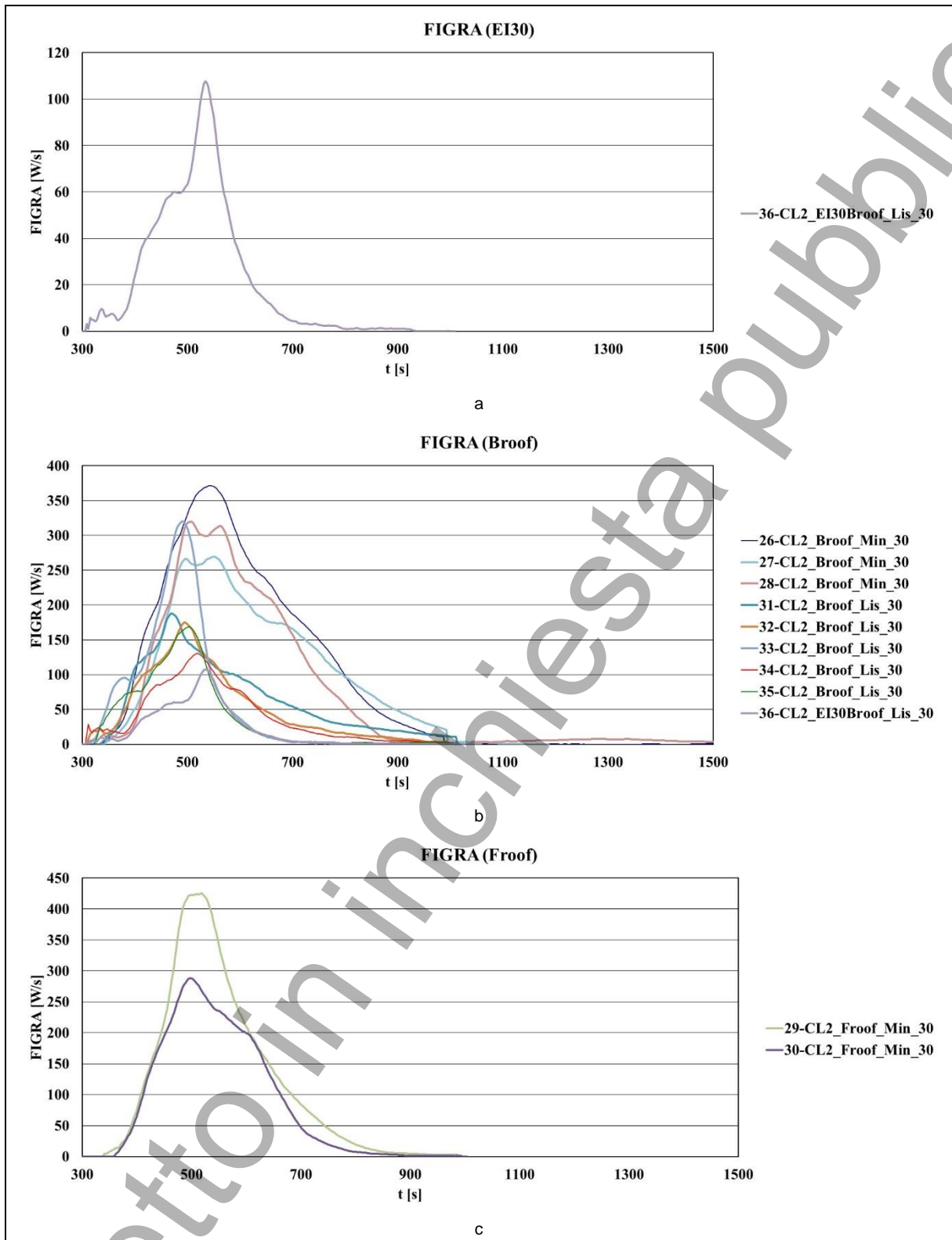




1121

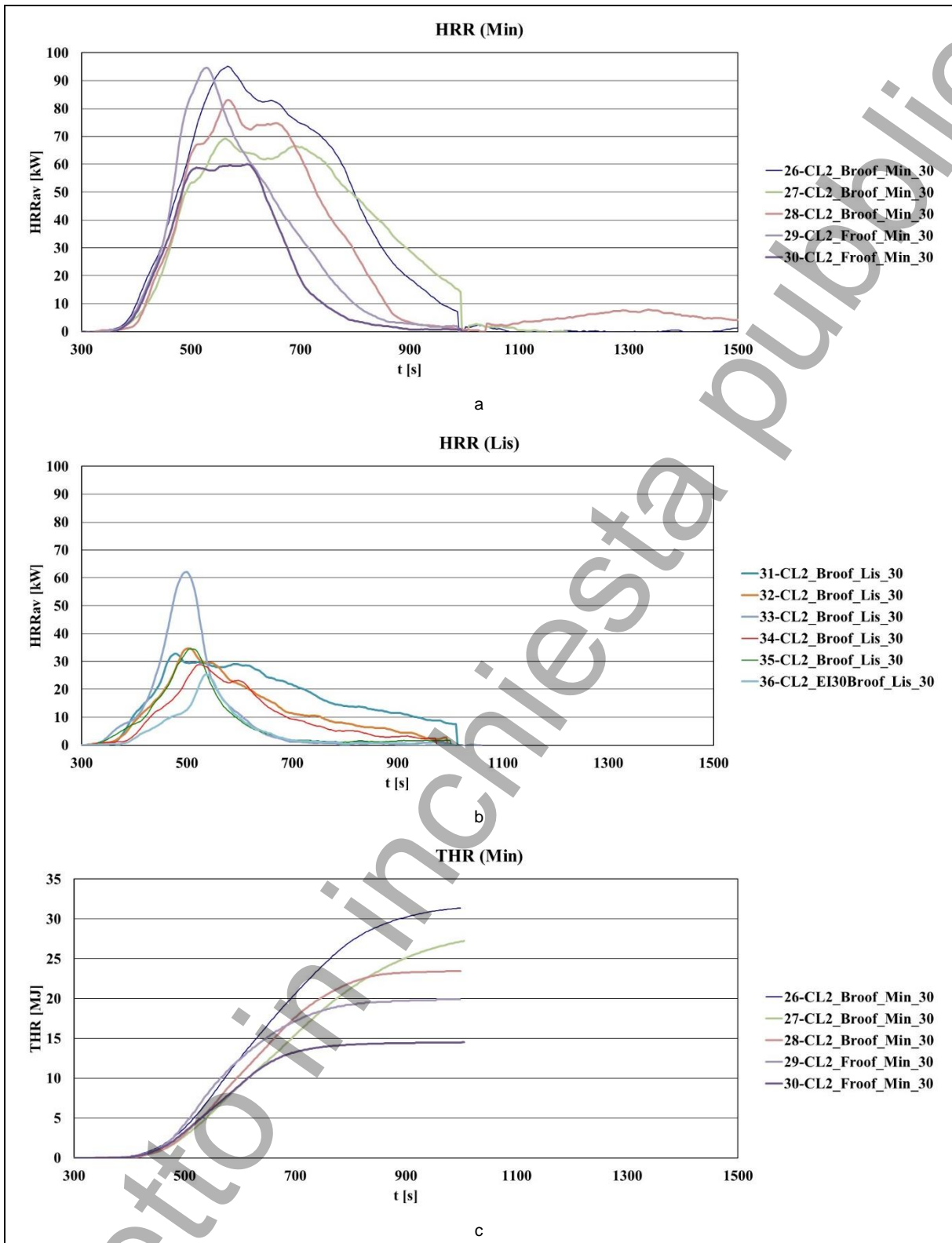


1122 **Figura 61 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili: HRRav (Heat**  
1123 **Release Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figure a, b, c; THR (Total Heat Release):**  
1124 **Figure d, e, f; risultanti dai test di tipo c (30) su: copertura Broof con campione in**  
1125 **cartongesso (EI30), copertura scarsamente combustibile (Broof) e facilmente**  
1126 **combustibile (Froof) con campione modulo FV**

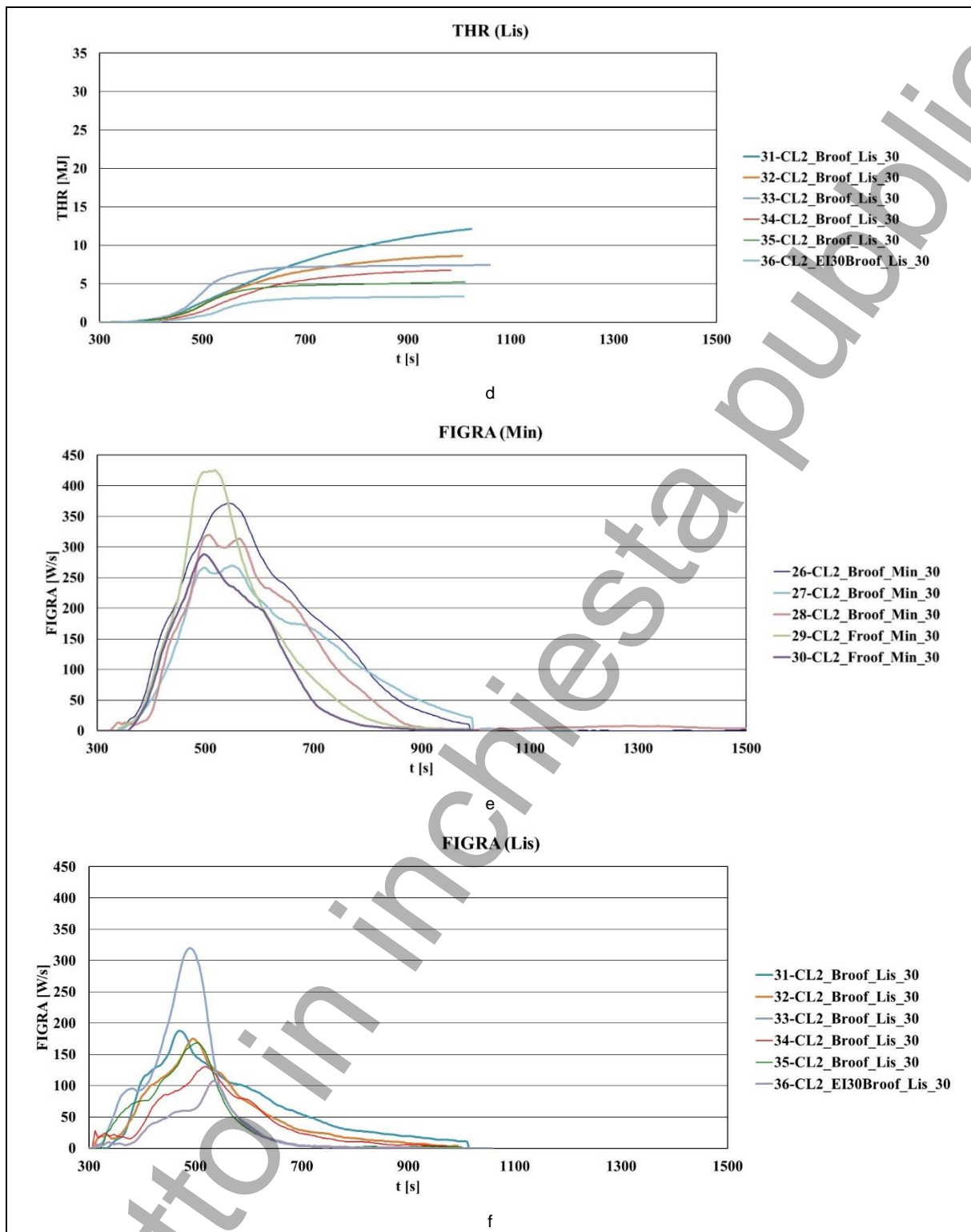


1127  
1128  
1129  
1130

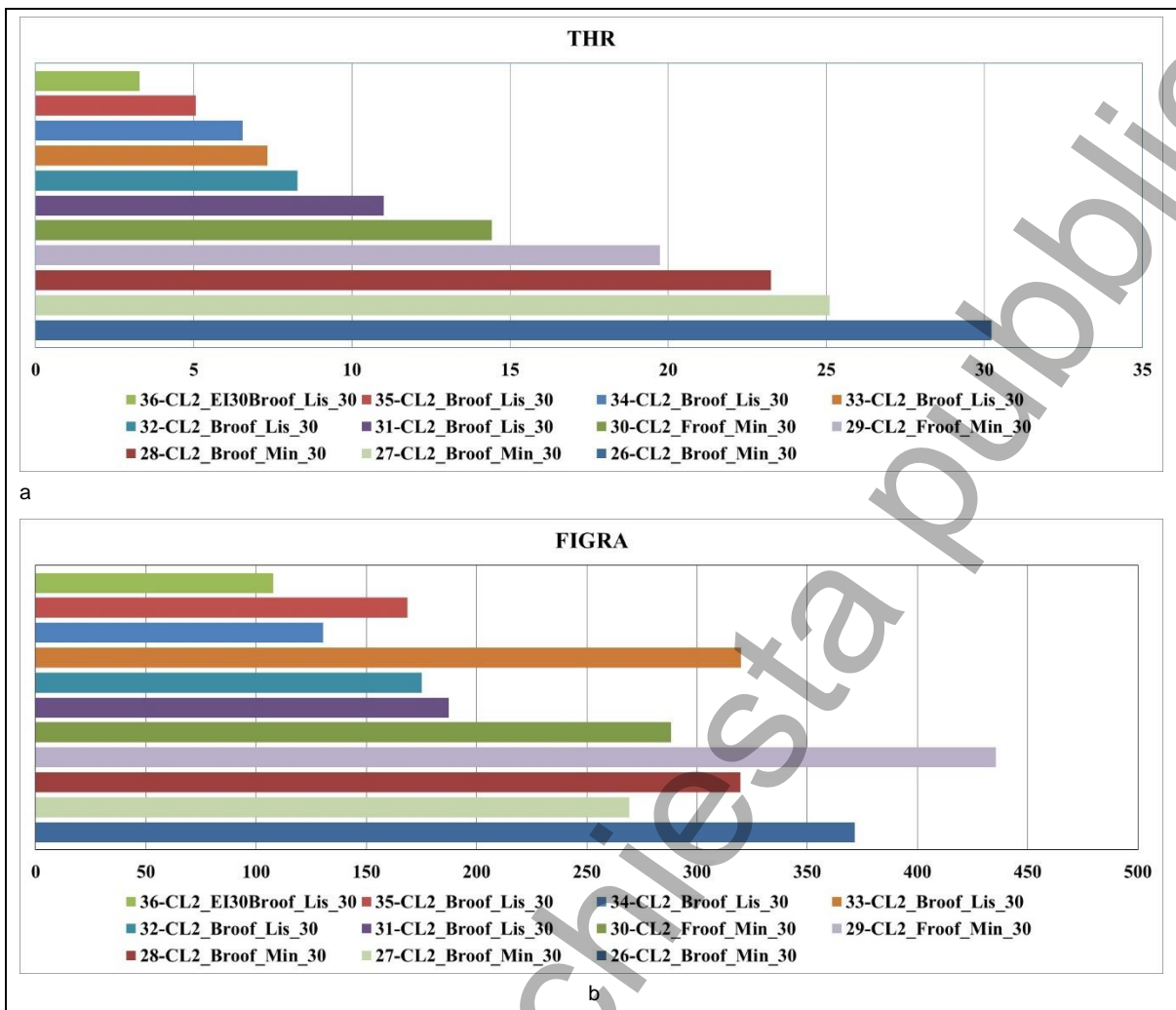
**Figura 62 – Curve degli andamenti della variabile FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth Rate “istantaneo”), Figura a, b, c; risultanti dai test di tipo c (30) su: copertura Broof con campione in cartongesso (EI30), su copertura scarsamente combustibile (Broof) e facilmente combustibile (Froof) con campione modulo FV**



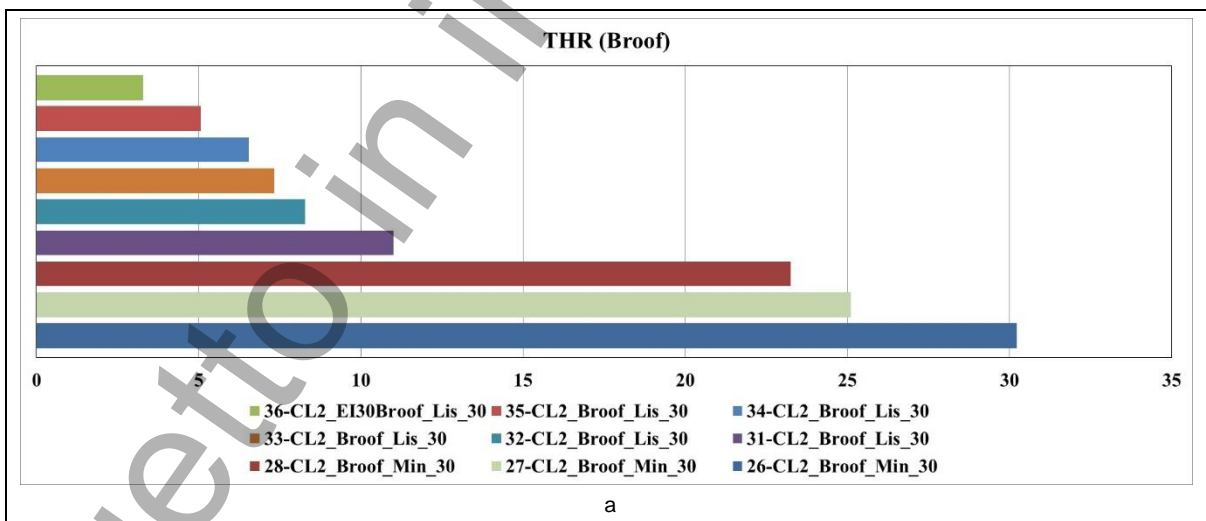
1131



1132 **Figura 63 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili (grafici coperture con**  
1133 **rivestimento minerale/Min e senza alcun rivestimento/Lis distinti): HRRav (Heat Release**  
1134 **Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figura a (test n. 26, 27, 28, 29, 30 – coperture con**  
1135 **rivestimento minerale), b (test n. 31, 32, 33, 34, 35, 36 – coperture senza alcun**  
1136 **rivestimento); THR (Total Heat Release): Figura c (test n. 26, 27, 28, 29, 30 – coperture**  
1137 **con rivestimento minerale), d (test n. 31, 32, 33, 34, 35, 36 – coperture senza alcun**  
1138 **rivestimento); FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth Rate “istantaneo”): Figura e (test n. 26, 27, 28, 29,**  
1139 **30 – coperture con rivestimento minerale), Figura f (test n. 31, 32, 33, 34, 35, 36 –**  
1140 **coperture senza alcun rivestimento); risultanti dai test di tipo c (30) eseguiti**



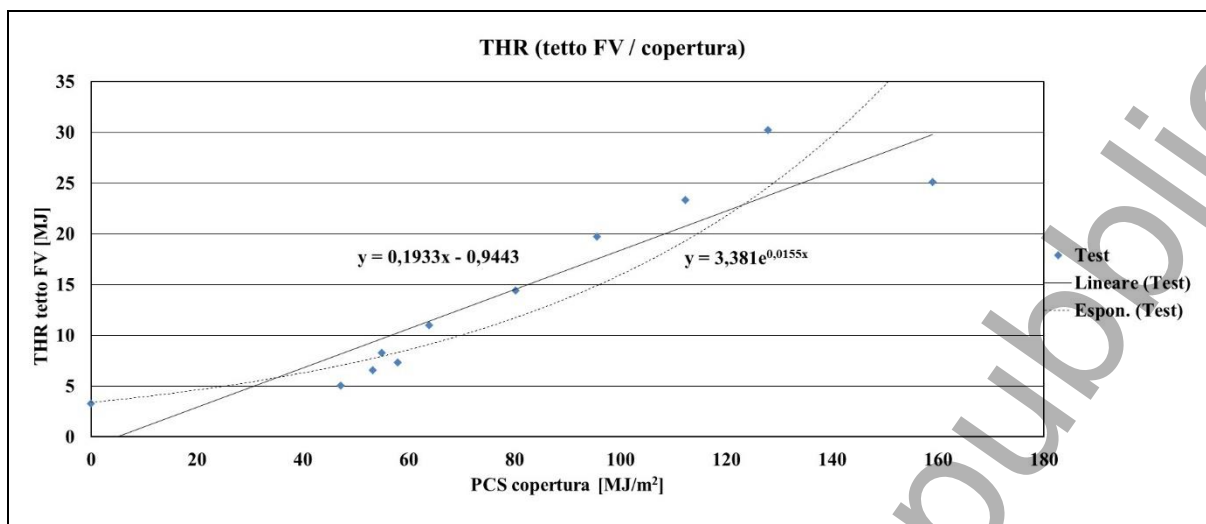
1141 **Figura 64 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali dai test eseguiti in**  
 1142 **conformità al protocollo c: THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a; FIGRA<sub>0,2MJ</sub> [W/s]: Figura b**



1143



1144 **Figura 65 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali (grafici copertura**  
 1145 **Broof ed Froof distinti): THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a (test n. 26, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36 –**  
 1146 **Broof), Figura b (test n. 29, 30 – Froof); FIGRA<sub>0,2MJ</sub> [W/s]: Figura c (test n. 26, 27, 28, 31,**  
 1147 **32, 33, 34, 35, 36 – Broof), Figura d (test n. 29, 30 – Froof); risultanti dai test di tipo c**  
 1148 **(30) eseguiti**



1149 **Figura 66 – Rappresentazione dei punti aventi quali coordinate il PCS (Potere Calorifico**  
1150 **Superiore) del solo campione di copertura (ascisse) e il THR (Total Heat Release) del**  
1151 **campione completo di tetto FV (ordinate) – Test (4° gruppo). Sono riportate anche le**  
1152 **curve interpolanti di tipo lineare ed esponenziale**



1153 **A.5 Test eseguiti in conformità al protocollo c (5° gruppo: moduli FV con**  
1154 **backsheet in materiale plastico e copertura con o senza membrana**  
1155 **superiore e isolante)**

1156 **A.5.1 38**

Test n°		38
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1157 Non sono state scattate foto.

1158 **A.5.2 39**

Test n°		39
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1159



a



b



c

1160 **Figura 67 – Immagini da test n. 39: a (camera prove con campione installato, prima**  
 1161 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione negli ultimi**  
 1162 **istanti dell'esecuzione del test)**

1163 **A.5.3 40**

Test n°		40
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1164 Non sono state scattate foto.

1165 **A.5.4 41**

Test n°		41
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1166 Non sono state scattate foto.

1167 **A.5.5 42**

Test n°		42
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1168



a



b



c

1169

1170

1171

**Figura 68 – Immagini da test n. 42: a (camera prove con campione installato, prima dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione di copertura dopo l'esecuzione del test)**

1172 **A.5.6 43**

Test n°		43
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1173



a



b



c

1174 **Figura 69 – Immagini da test n. 43: a (camera prove con campione installato, prima**  
1175 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione negli ultimi**  
1176 **istanti dell'esecuzione del test)**

1177 **A.5.7 44**

Test n°		44
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1178



a



b

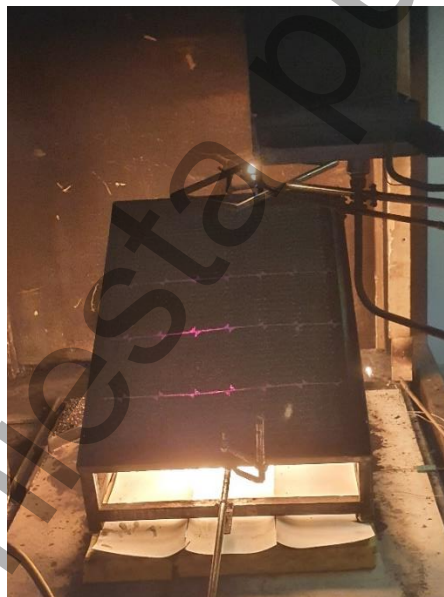
1179  
1180

**Figura 70 – Immagini da test n. 44: a (campione dopo l'esecuzione del test), b (campione di copertura dopo l'esecuzione del test)**

1181 **A.5.8 45**

Test n°		45
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1182



a



b



c

1183 **Figura 71 – Immagini da test n. 45: a (camera prove con campione installato, nei primi**  
1184 **istanti del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione di copertura dopo**  
1185 **l'esecuzione del test)**



1186 **A.5.9 46**

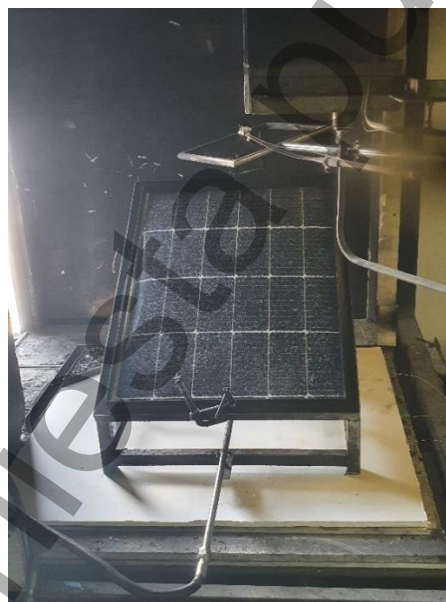
Test n°		46
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1187 Non sono state scattate foto.

1188 **A.5.10 47**

Test n°		47
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro / Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura - Classe EN		Broof
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1189



a



b



c

1190 **Figura 72 – Immagini da test n. 47: a (camera prove con campione installato, prima**  
1191 **dell’inizio del test), b (immagine dall’esecuzione del test), c (campione dopo**  
1192 **l’esecuzione del test)**

1193 **A.5.11 48**

Test n°		48
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1194



a



b



c

1195 **Figura 73 – Immagini da test n. 48: a (camera prove con campione installato, prima**  
1196 **dell'inizio del test), b (immagine dall'esecuzione del test), c (campione di copertura**  
1197 **dopo l'esecuzione del test)**

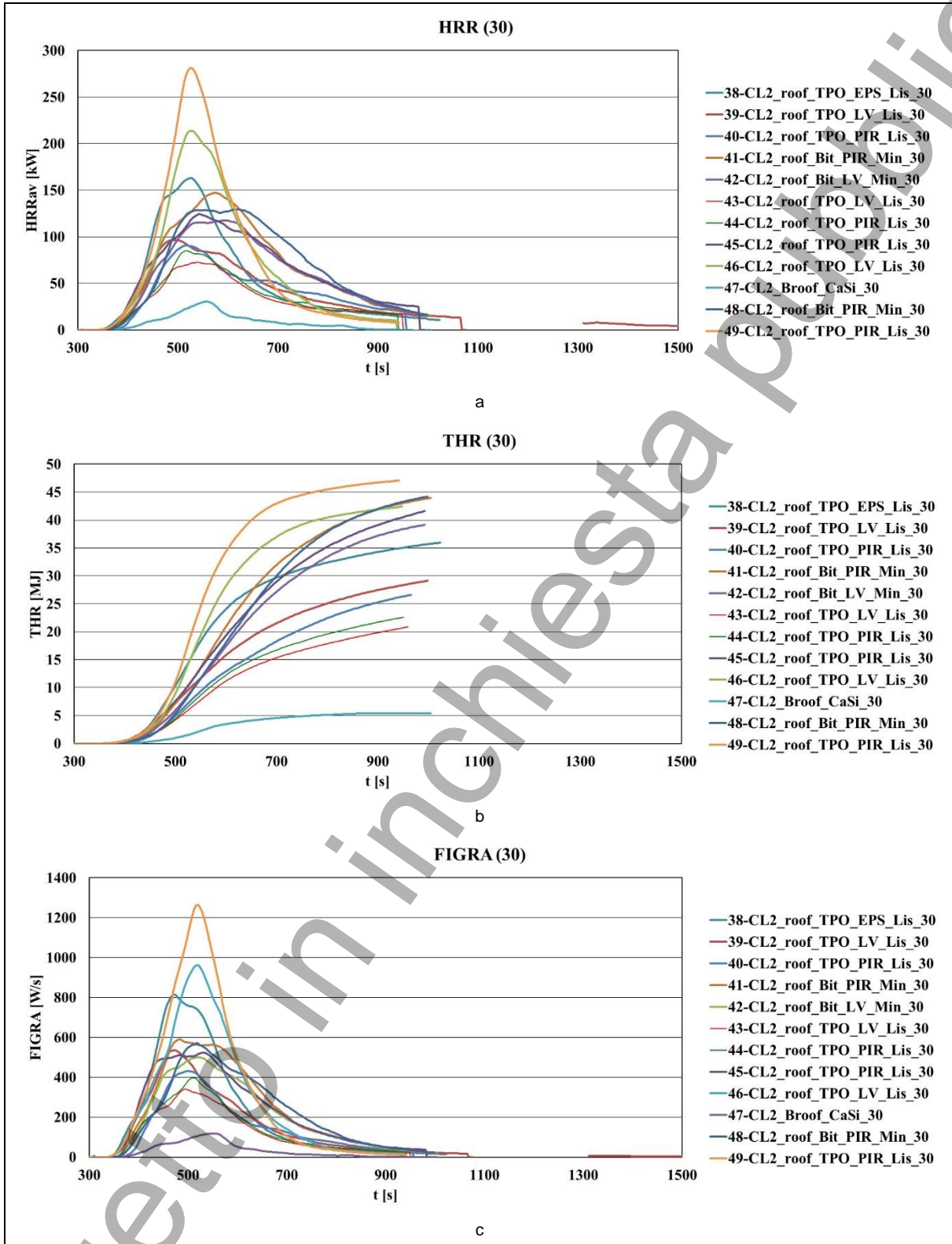
1198 **A.5.12 49**

Test n°		49
Modulo FV - Classe IT		2
Modulo FV Vetro/Vetro (Backsheet in vetro)		No (Backsheet plastico)
Sostegno posteriore modulo		++
Copertura – Classe EN		ND
Protocollo di prova		c
Potenza bruciatore	[kW]	30

1199 Non sono state scattate foto.

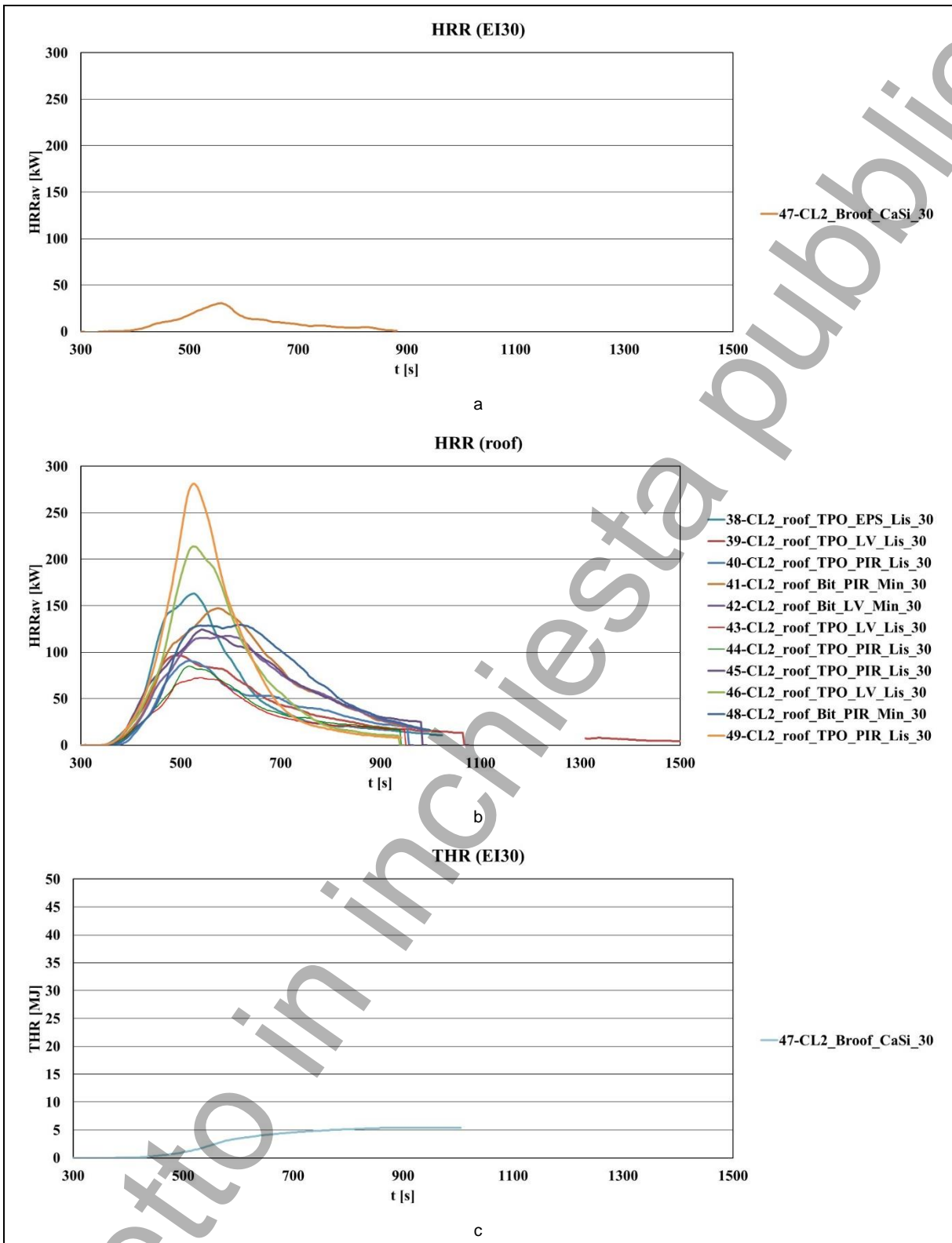
1200

1201 **A.5.13 Andamenti delle principali variabili**

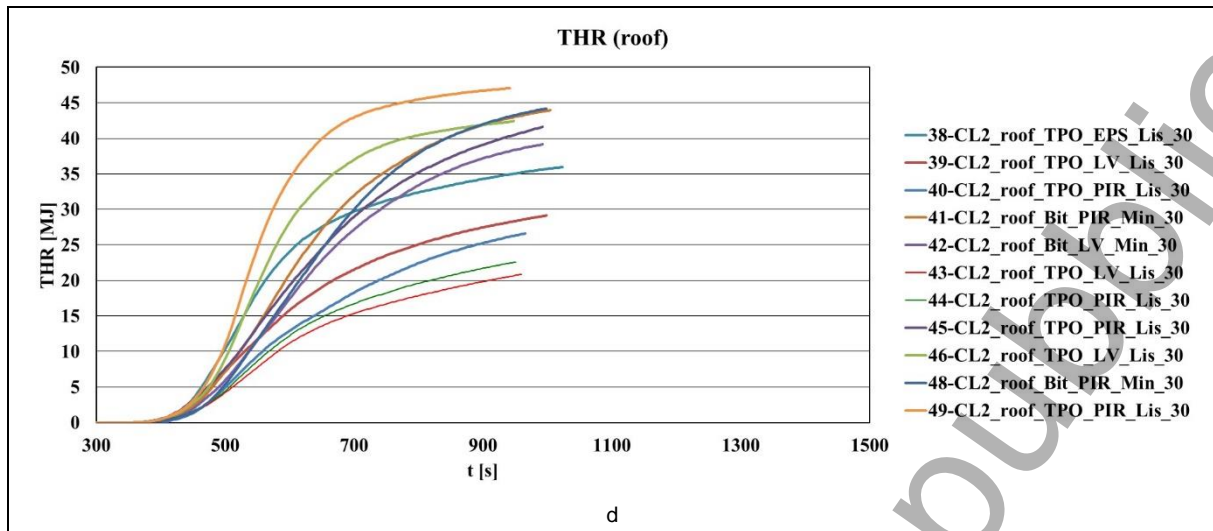


1202  
1203  
1204  
1205

**Figura 74 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili: HRRav (Heat Release Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figura a; THR (Total Heat Release): Figura b; FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth RATE “istantaneo”): Figura c; risultanti dai test di tipo c (30)**

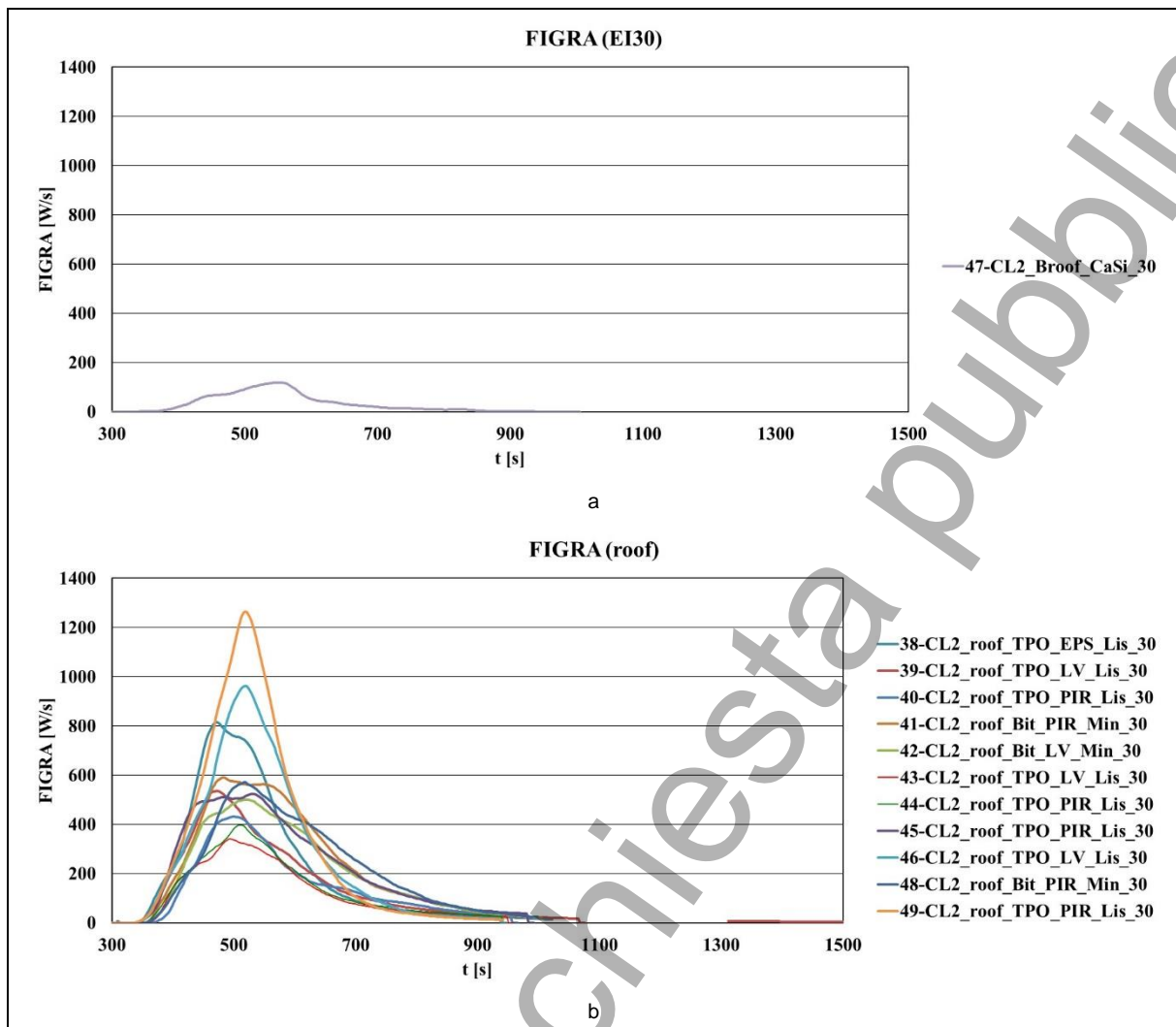


1206



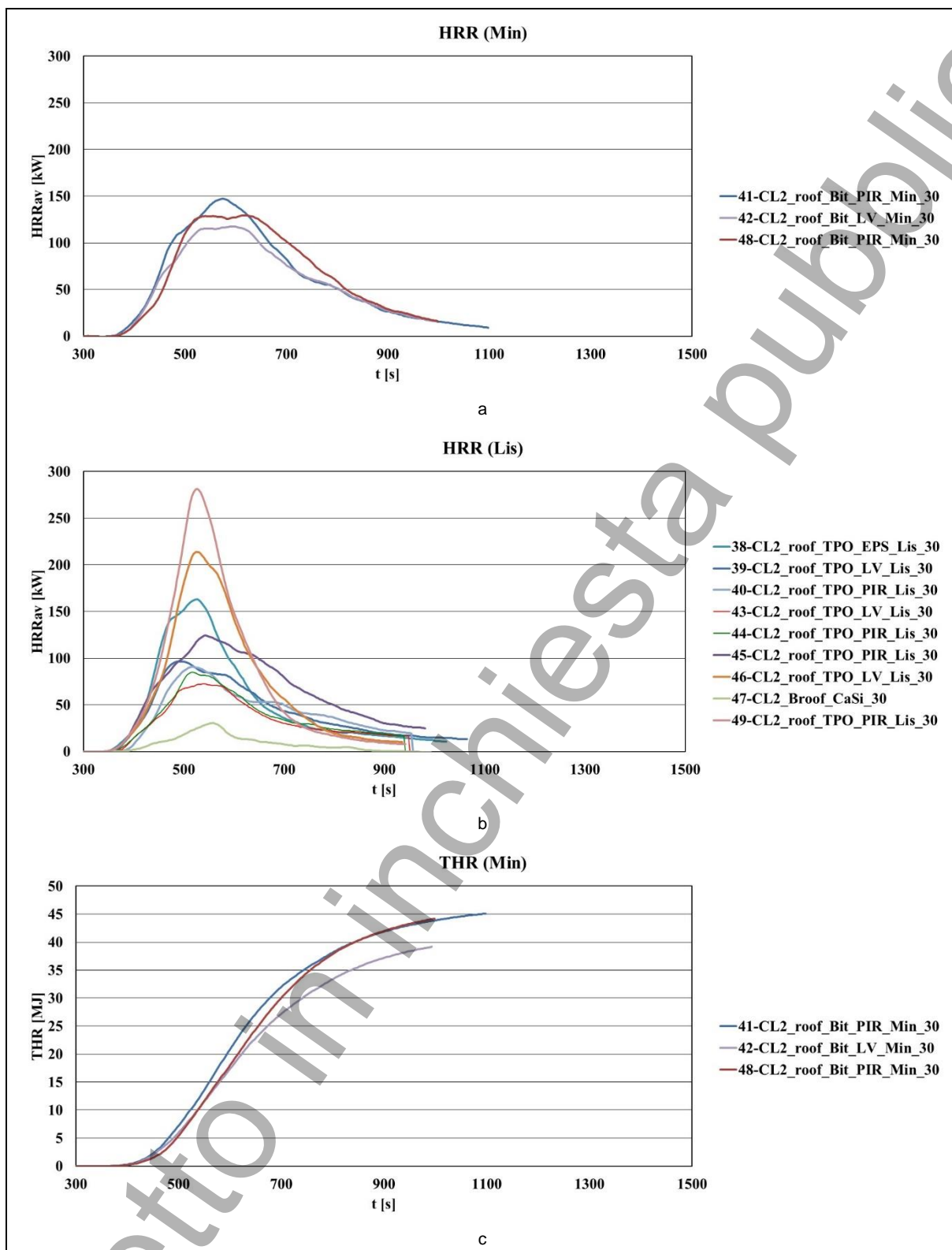
1207  
1208  
1209  
1210  
1211

Figura 75 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili: HRRav (Heat Release Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figura a, b; THR (Total Heat Release): Figura c, d; risultanti dai test di tipo c (30) su: copertura Broof con campione in cartongesso (EI30), copertura “generica” (con membrana e isolante, roof) con campione modulo FV

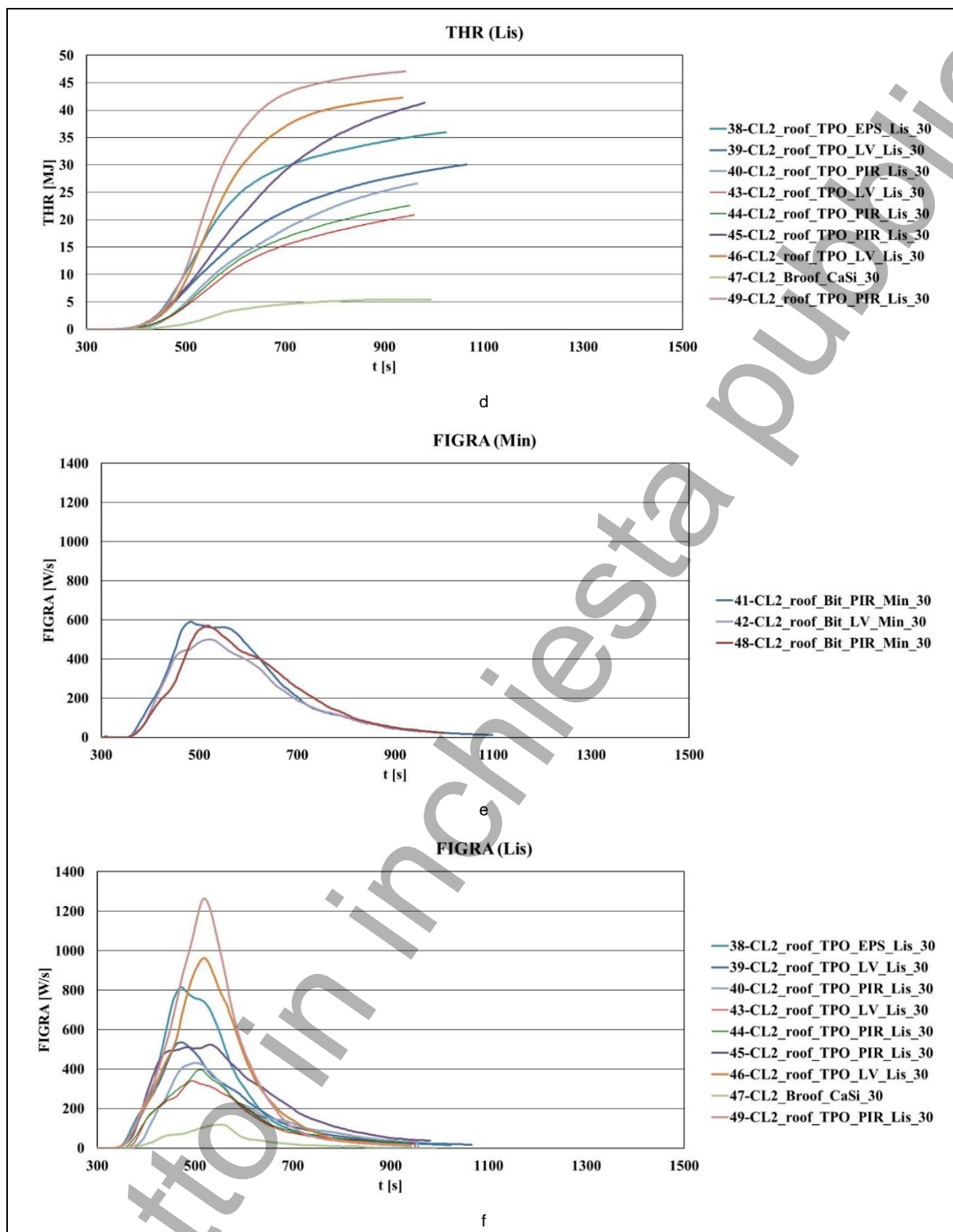


1212 **Figura 76 – Curve degli andamenti della variabile FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth Rate**  
1213 **“istantaneo”), Figura a, b; risultanti dai test di tipo c (30) su: copertura Broof con**  
1214 **campione in cartongesso (EI30), su copertura “generica” (con membrana e isolante,**  
1215 **roof) con campione modulo FV**

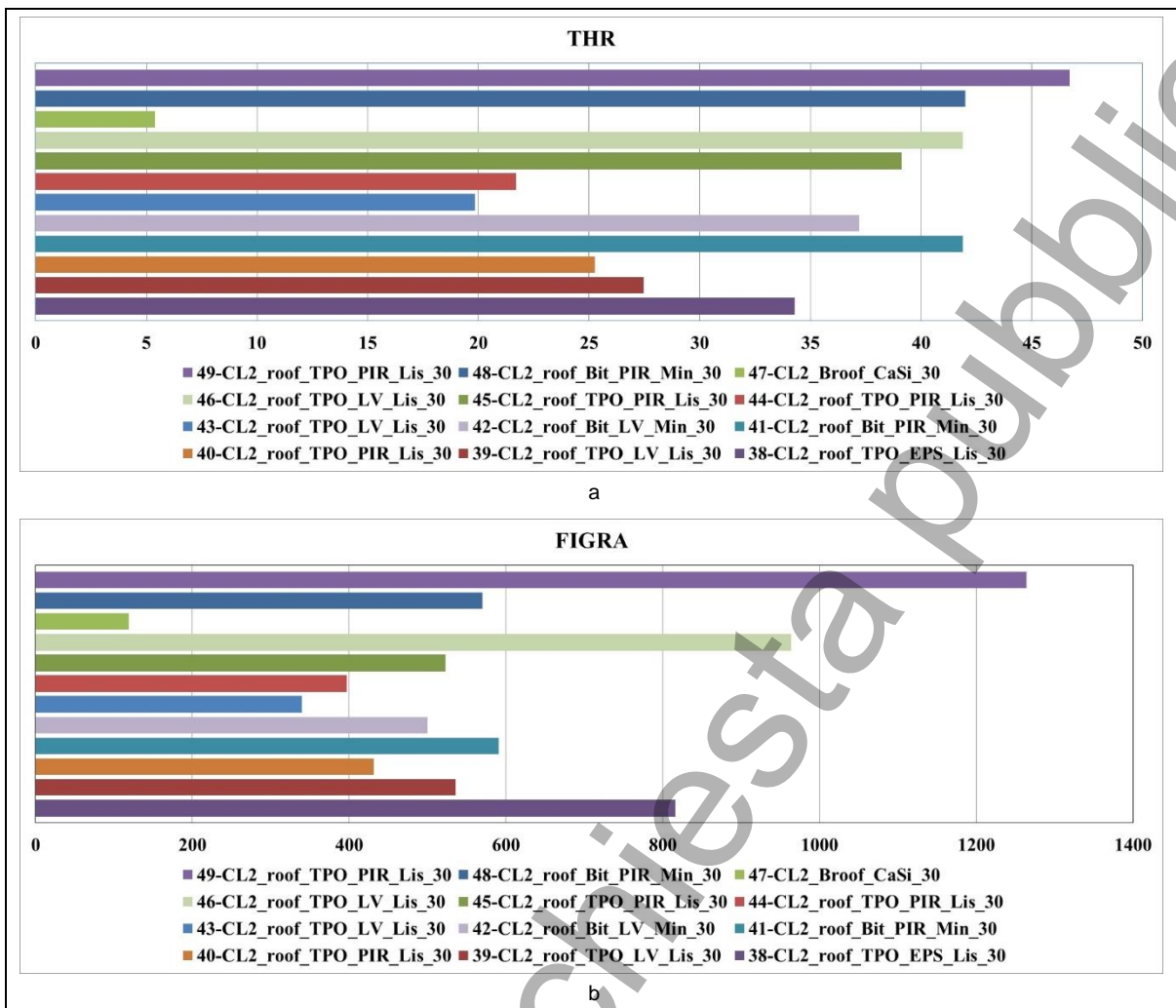




1216

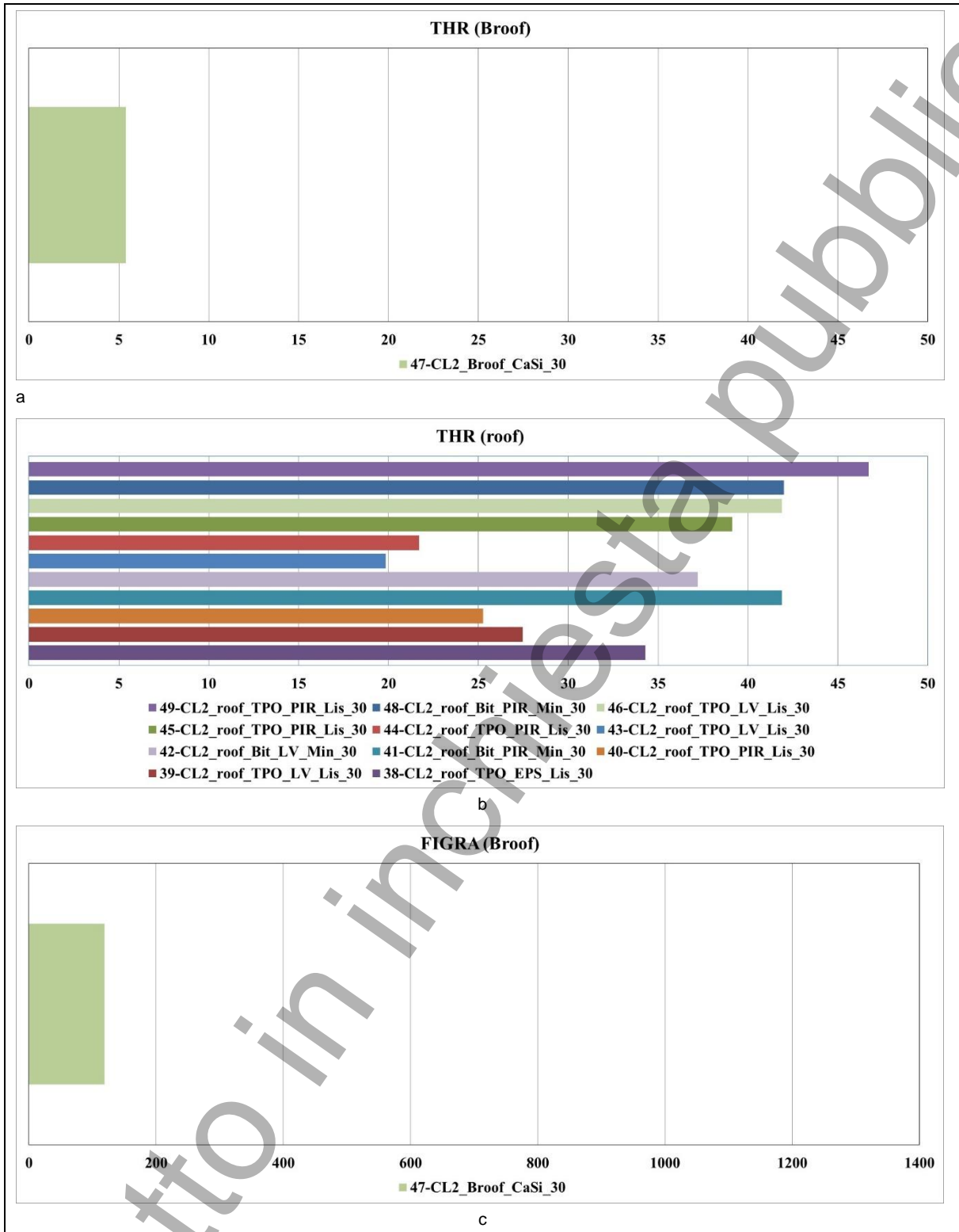


1217 **Figura 77 – Curve degli andamenti, rispettivamente, delle variabili (grafici coperture con**  
 1218 **rivestimento minerale/Min e senza alcun rivestimento/Lis distinti): HRRav (Heat Release**  
 1219 **Rate, valori medi in intervalli di 30 s): Figura a (test n. 41, 42, 48 – coperture con**  
 1220 **rivestimento minerale), b (test n. 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 49 – coperture senza**  
 1221 **alcun rivestimento); THR (Total Heat Release): Figura c (test n. 41, 42, 48 – coperture**  
 1222 **con rivestimento minerale), d (test n. 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 49 – coperture senza**  
 1223 **alcun rivestimento); FIGRA<sup>i</sup> (Fire Growth RATE “istantaneo”): Figura e (test n. 41, 42, 48**  
 1224 **– coperture con rivestimento minerale), Figura f (test n. 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 49**  
 1225 **– coperture senza alcun rivestimento); risultanti dai test di tipo c (30) eseguiti**

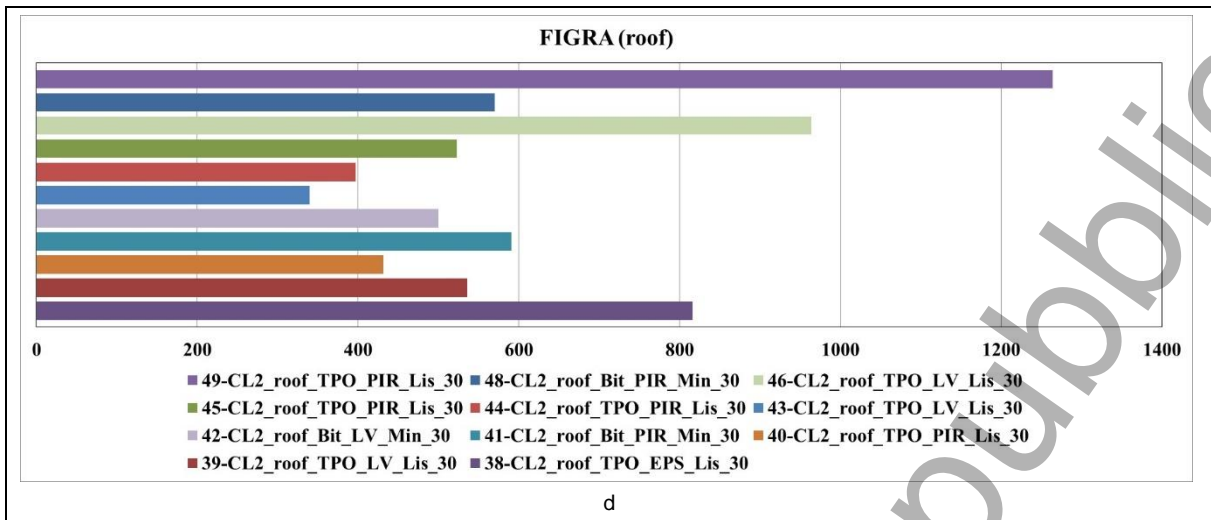


1226  
1227

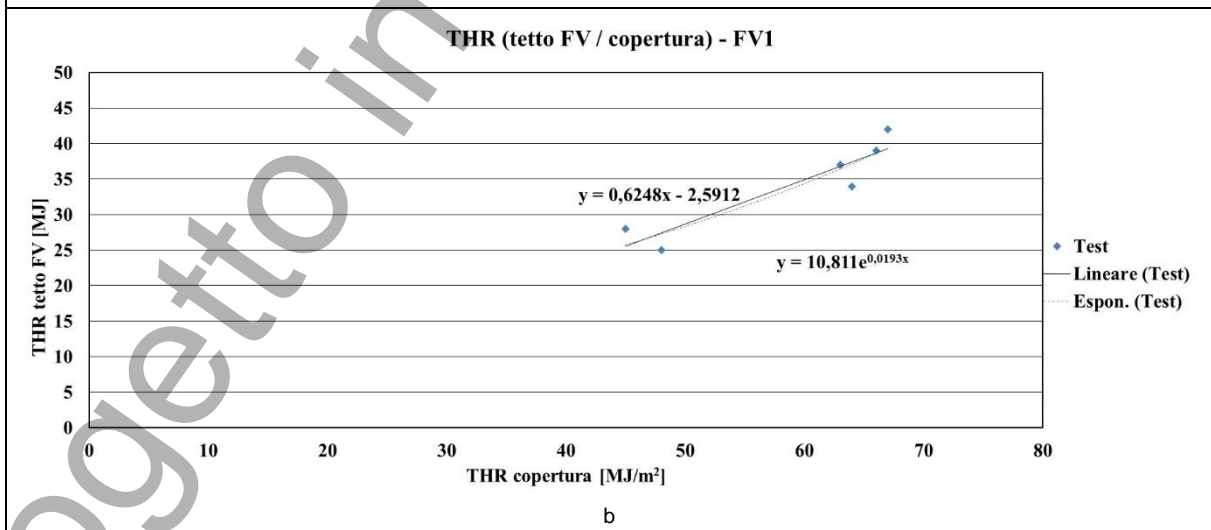
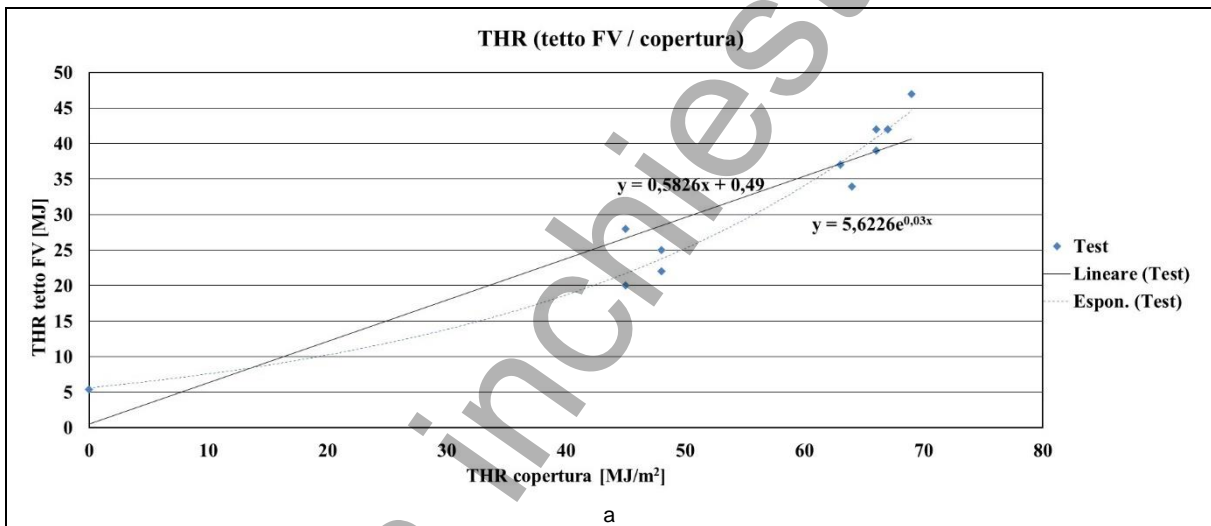
Figura 78 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali dai test eseguiti in conformità al protocollo c: THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a; FIGRA<sub>0,2MJ</sub> [W/s]: Figura b



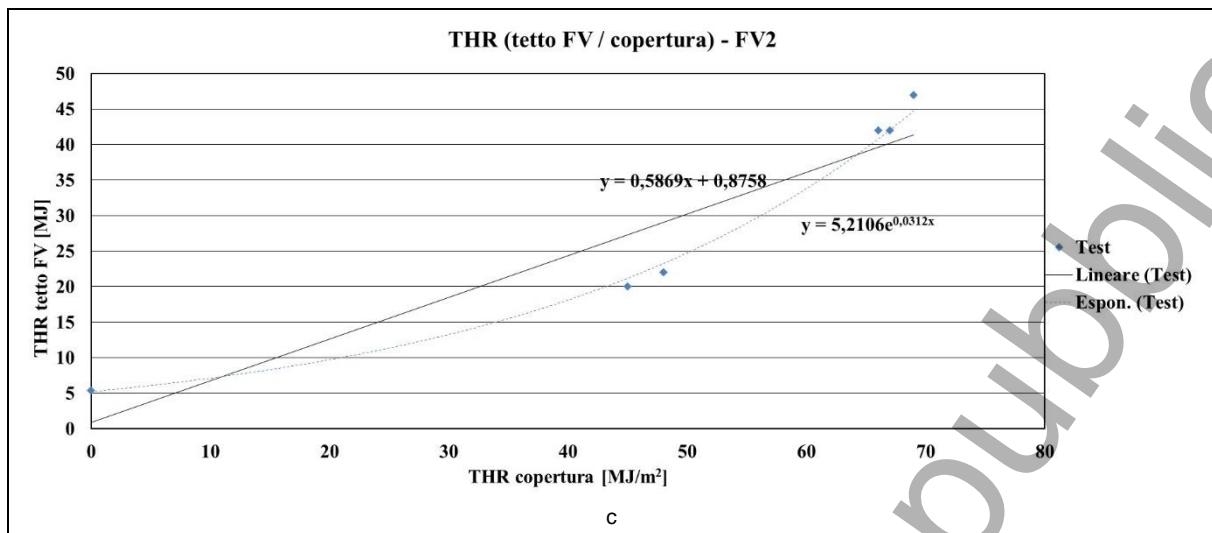
1228



1229 **Figura 79 – Sintesi dei valori delle variabili caratteristiche principali (grafici copertura**  
 1230 **CaSi - Broof e con membrana e isolante - “roof” distinti): THR<sub>600s</sub> [MJ]: Figura a (test**  
 1231 **n. 47 – Broof), Figura b (test n. 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 48, 49 – roof); FIGRA<sub>0,2MJ</sub>**  
 1232 **[W/s]: Figura c (test n. 47 – Broof), Figura d (test n. 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46,**  
 1233 **48, 49 – Broof); risultanti dai test di tipo c (30) eseguiti**



1234



1235  
1236  
1237  
1238  
1239

Figura 80 – Rappresentazione dei punti aventi quali coordinate il THR (Total Heat Release) del solo campione di copertura (ascisse) e il THR del campione completo di tetto FV (ordinate) – Test (5° gruppo). Immagini relative a: ogni test (Figura a), test con modulo FV di tipo 1 (Figura b), test con modulo FV di tipo 2 (Figura c). Sono riportate anche le curve interpolanti di tipo lineare ed esponenziale

## Allegato B

1240  
1241  
1242

### Variabili caratteristiche

1243 Vengono qui riassunte le descrizioni delle variabili utilizzate per la caratterizzazione del  
1244 comportamento all'incendio dei materiali e qui utilizzate (già definite in sintesi nel Capito 3)  
1245 complete della formulazione matematica. Ciò nelle accezioni contenute nelle norme di  
1246 riferimento, rispettivamente:

1247 EN 13823

- 1248 – HRR(t);
- 1249 – time-averaged HRR(t):  $HRR_{30s}(t)$ ;
- 1250 – THR( $t_a$ ) e THR<sub>600s</sub>;
- 1251 – FIGRA<sub>0,2MJ</sub>, FIGRA<sub>0,4MJ</sub>;
- 1252 – SPR(t);
- 1253 – time-averaged SPR(t):  $SPR_{60s}(t)$ ;
- 1254 – TSP(t) e TSP<sub>600s</sub>;
- 1255 – SMOGRA;
- 1256 – LFS.

1257 EN ISO 11925-2

- 1258 – Fs: Flame spread over ignition point

#### 1259 **B.1 EN 13823**

##### 1260 **B.1.1 Heat Release Rate**

- 1261 – HRR(t)

$$HRR_{av\_burner} = \overline{HRR}_{total}(210...270s) \quad 6.1$$

1262  $HRR_{av\_burner}$ : valore medio dell'HRR (Heat Release Rate) del bruciatore [kW],

1263  $HRR_{total}(t)$ : valore complessivo (totale) dell'HRR rilasciato dalla combustione del bruciatore  
1264 e del campione [kW]

$$HRR_{av\_burner} \cong (30,7 \pm 2,0) \text{ kW} \quad 6.2$$

$$HRR(t) = HRR_{total}(t) - HRR_{av\_burner}$$

1266  $HRR(t)$ : valore dell'HRR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [kW].

- 1267 –  $HRR_{30s}(t)$

1268 (=HRR<sub>av</sub>(t))

$$HRR_{30s}(t) = \frac{(0,5 \cdot HRR(t-15) + HRR(t-12) + \dots + HRR(t+12) + 0,5 \cdot HRR(t+15))}{10} \quad 6.3$$

1269  $HRR_{30s}(t)$ : valore medio dell'HRR (Heat Release Rate) rilasciato dal campione in un  
1270 intervallo di 30 s (da  $t - 15$  s a  $t + 15$  s, anche identificato come  $HRR_{av}(t)$ ) [kW].

1271  $HRR(t)$ : valore dell'HRR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [kW].

1272 **B.1.2 Total Heat Release**

1273 – THR( $t_a$ )

1274 and THR<sub>600s</sub>

$$THR(t_a) = \frac{3}{1000} \cdot \sum_{300s}^{t_a} (Max[HRR(t), 0]) \quad 6.4$$

$$THR_{600s} = \frac{3}{1000} \cdot \sum_{300s}^{900s} (Max[HRR(t), 0]) \quad 6.5$$

1275 THR( $t_a$ ): valore dell'energia termica rilasciata (Total Heat Release) dal campione  
1276 nell'intervallo 300 s ÷  $t_a$  [MJ],

1277 HRR( $t$ ): valore dell'HRR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [kW],

1278 THR<sub>600s</sub>: valore dell'energia termica rilasciata dal campione nell'intervallo 300 s ÷ 900 s  
1279 [MJ],

1280 (3/1000: fattore moltiplicativo per effettuare la conversione da potenza ad energia in un  
1281 intervallo di 3 s - num. 1 data point ogni 3 s - e ottenere il risultato espresso in MJ).

1282 **B.1.3 Fire Growth Rate**

1283 – FIGRA<sub>0,2MJ</sub> , FIGRA<sub>0,4MJ</sub>

$$FIGRA = 1000 \cdot Max\left(\frac{HRR_{av}(t)}{t - 300}\right) \quad 6.6$$

1284 FIGRA: Fire Growth Rate del campione ( $t > 300$  s) [W/s],

1285 HRR<sub>av</sub>( $t$ ): valore medio dell'HRR rilasciato dal campione in un intervallo di 30 s (da  $t - 15$   
1286 s a  $t + 15$  s, anche identificato come HRR<sub>30s</sub>( $t$ )) [kW],

1287 Solitamente si identificano due valori caratteristici denominati, rispettivamente, FIGRA<sub>0,2MJ</sub>  
1288 e FIGRA<sub>0,4MJ</sub> che considerano solamente HRR<sub>av</sub>( $t$ ) per  $t > t_a$  dove  $t_a$  risulta essere l'istante  
1289 nel quale si verifica che THR( $t_a$ ) = 0,2 MJ oppure 0,4 MJ (valore dell'energia termica  
1290 rilasciata dal campione nell'intervallo 300 s ÷  $t_a$ ) [W/s].

1291 A tal proposito, è possibile introdurre un'ulteriore definizione di FIGRA "istantaneo" che può  
1292 essere calcolato per mezzo della seguente espressione:

$$FIGRA^i = 1000 \cdot \left(\frac{HRR_{av}(t)}{t - 300}\right) \quad 6.7$$

1293



1294 **B.1.4 Smoke Production Rate**

1295 – SPR(t)

$$V(t) = V_{298}(t) \cdot \frac{T_{ms}(t)}{298} \quad 6.8$$

$$SPR_{total} = \frac{V(t)}{L} \cdot \left[ \frac{\bar{I}(30...90s)}{I(t)} \right] \quad 6.9$$

$$SPR_{av\_burner} = \overline{SPR}_{total}(210...270s) \quad 6.10$$

$$SPR(t) = SPR_{total}(t) - SPR_{av\_burner} \quad 6.11$$

1296  $V(t)$ : portata volumica fluido nel condotto estrazione fumi [ $m^3/s$ ],

1297  $T_{ms}$ : temperatura nella sezione di misura del condotto estrazione fumi [K],

1298  $L$ : lunghezza del percorso della luce emessa dal sensore fumi nel condotto estrazione fumi [m],

1299  $I(t)$ : segnale del ricevitore del sensore fumi nel condotto estrazione all'istante  $t$  (%),

1300  $\bar{I}(30...90s)$ : valore medio del segnale del ricevitore del sensore fumi nel condotto  
1301 estrazione dall'istante 30 a 90 s (%),

1302  $SPR_{total}(t)$ : valore complessivo (totale) dell'SPR (Smoke Production Rate) del bruciatore e  
1303 del campione [ $m^2/s$ ]

1304  $SPR_{av\_burner}$ : valore medio dell'SPR del bruciatore [ $m^2/s$ ],

1305  $SPR(t)$ : valore dell'SPR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [ $m^2/s$ ].

1306 –  $SPR_{60s}(t)$

$$SPR_{60s}(t) = \frac{(0,5 \cdot SPR(t-30) + SPR(t-27) + \dots + SPR(t+27) + 0,5 \cdot SPR(t+30))}{20} \quad 6.12$$

1307  $SPR_{60s}(t)$ : valore medio dell'SPR rilasciato dal campione in un intervallo di 60 s (da  $t - 30$  s  
1308 a  $t + 30$  s, anche identificato come  $SPR_{av}(t)$ ) [ $m^2/s$ ].

1309  $SPR(t)$ : valore dell'SPR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [ $m^2/s$ ].

1310 **B.1.5 Total Smoke Production**

1311 – TSP(t)

1312 e  $TSP_{600s}$

$$TSP(t_a) = 3 \cdot \sum_{300s}^{t_a} (Max[SPR(t), 0]) \quad 6.13$$

$$TSP_{600s} = 3 \cdot \sum_{300s}^{900s} (Max[SPR(t), 0]) \quad 6.14$$

1313  $TSP(t_a)$ : valore del quantitativo di fumo (Total Smoke Production) rilasciato dal campione  
1314 nell'intervallo  $300 \text{ s} \div t_a$  [ $m^2$ ],

1315  $SPR(t)$ : valore dell'SPR rilasciato dal campione ( $t > 300$  s) [ $m^2/s$ ],

1316  $TSP_{600s}$ : valore del quantitativo di fumo (Total Smoke Production) rilasciato dal campione  
1317 nell'intervallo  $300 \text{ s} \div 900 \text{ s}$  [ $m^2$ ],

1318 (3: fattore moltiplicativo per effettuare la conversione da SPR a TSP in un intervallo di 3 s  
1319 - num. 1 data point ogni 3 s).

1320 **B.1.6 SMOke Growth RAte**

1321 – SMOGRA

$$SMOGRA = 10000 \cdot \text{Max} \left( \frac{SPR_{av}(t)}{t - 300} \right) \quad 6.15$$

1322 SMOGRA: SMOke Growth RAte ( $t > 300$  s) del campione [ $\text{m}^2/\text{s}^2$ ],

1323  $SPR_{av}(t)$ : valore medio dell'SPR rilasciato dal campione in un intervallo di 60 s (da  $t - 30$  s  
1324 a  $t + 30$  s, anche identificato come  $SPR_{60s}(t)$ ) [ $\text{m}^2/\text{s}$ ].

1325 (Il fattore moltiplicativo 10000 è introdotto dalla normativa solo con lo scopo di originare  
1326 numeri più facilmente trattabili e non ha un significato fisico).

1327 A tal proposito, è possibile introdurre un'ulteriore definizione di SMOGRA "istantaneo" che  
1328 può essere calcolato per mezzo della seguente espressione:

$$SMOGRA^i = 10000 \cdot \left( \frac{SPR_{av}(t)}{t - 300} \right) \quad 6.16$$

1329 **B.1.7 Lateral flame spread**

1330 – LFS

1331 Lateral flame spread on the long wing

1332 Si tratta della propagazione dell'incendio verso il lato "lontano" dal bruciatore del campione  
1333 di grandi dimensioni ad un'altezza tra 0,5 e 1 m, in qualsiasi intervallo del test.

1334 **B.2 EN 13501-1**

1335 Infine, vengono qui riportate le definizioni delle classi di reazione al fuoco per i prodotti da  
1336 costruzione, attualmente in vigore per i medesimi:

1337 F Fallimento del test per ottenere la classe E

1338 E resistenza per un breve periodo ad un attacco di piccola fiamma senza sostanziale  
1339 propagazione di fiamma

1340 D come classe E più resistenza per un tempo più lungo all'attacco di una piccola fiamma  
1341 senza sostanziale propagazione della fiamma stessa e attacco termico da SBI (Single  
1342 Burning Item) con rilascio di calore sufficientemente limitato e ritardato, senza requisiti sul  
1343 calore di rilascio totale.

1344 C classe D, ma con rilascio di calore più lento e ritardato e con calore di rilascio totale limitato

1345 B come classe C ma con requisiti più severi,

1346 A2 in condizioni di pieno sviluppo d'incendio non contribuiscono significativamente alla crescita  
1347 dell'incendio,

1348 A1 non contribuiscono a nessuno stadio dell'incendio.

1349 Come già ricordato, l'attività qui riassunta si è focalizzata sulle caratteristiche di reazione al  
1350 fuoco e, perciò, la classificazione risultante dai protocolli e dai criteri elaborati risulta essere,  
1351 essenzialmente, composta da classi di reazione al fuoco. Pertanto, a seguire vengono riportate  
1352 le tabelle relative a tale classificazione secondo la normativa prodotti da costruzione (rif. CPR).

1353  
1354  
1355  
1356

**Tabella 15 – Classificazione (attribuzione delle classi di reazione al fuoco) secondo la EN 13501-1:2007 "Fire classification of construction products and building elements - Part 1: Classification using data from reaction to fire tests" (classificazione richiamata anche nel D.M. 25.10.2007, G.U.R.I. n. 257 dello 05.11.2007)**

Classe	Metodi di prova <sup>(*)</sup>	Criteri di classificazione	Classificazione aggiuntiva <sup>(**)</sup>
A1	EN ISO 1182 e	$\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\Delta m \leq 50 \%$ e $t_f = 0$ (incendio non persistente)	-
	EN ISO 1716	$PCS \leq 2,0 \text{ MJ/kg}$ e $PCS \leq 1,4 \text{ MJ/m}^2$ (funzione della costituzione/composizione del prodotto)	-
A2	EN ISO 1182 o	$\Delta T \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\Delta m \leq 50 \%$ e $t_f = 20 \text{ s}$	-
	EN ISO 1716 e	$PCS \leq 3,0 \text{ MJ/kg}$ e $PCS \leq 4,0 \text{ MJ/m}^2$ (funzione della costituzione/composizione del prodotto)	-
	EN 13823	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ e $LFS < \text{ margine del campione}$ e $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Produzione di fumo e Gocce/particelle ardenti
B	EN 13823 e	$FIGRA \leq 120 \text{ W/s}$ e $LFS < \text{ margine del campione}$ e $THR_{600s} \leq 7,5 \text{ MJ}$	Produzione di fumo e Gocce/particelle ardenti
	EN ISO 11925-2 Esposizione fiamma 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ entro 60 s	
C	EN 13823 e	$FIGRA \leq 250 \text{ W/s}$ e $LFS < \text{ margine del campione}$ e $THR_{600s} \leq 15 \text{ MJ}$	Produzione di fumo e Gocce/particelle ardenti
	EN ISO 11925-2 Esposizione fiamma 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ entro 60 s	
D	EN 13823 e	$FIGRA \leq 750 \text{ W/s}$	Produzione di fumo e Gocce/particelle ardenti
	EN ISO 11925-2 Esposizione fiamma 30 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ entro 60 s	
E	EN ISO 11925-2 Esposizione fiamma 15 s	$F_s \leq 150 \text{ mm}$ entro 20 s	Gocce/particelle ardenti
F	EN ISO 11925-2 Esposizione fiamma 15 s	$F_s \geq 150 \text{ mm}$ entro 20 s	

1357

(\*) *Il numero di test da realizzare ai fini della classificazione è pari a 3 nel caso della EN 13823 e a 6 nel caso della EN ISO 11925-2. L'esposizione alla fiamma ha una durata di 15 o 30 s nei test secondo la EN ISO 11925-2 e di 1260 s nei test secondo la EN 13823 – dove il comportamento del campione è, però, valutato solamente nei primi 1200 s di esposizione.*

(\*\*) *Classificazione aggiuntiva:*

– *gocce/particelle ardenti*

*d<sub>0</sub>: assenza di gocce/particelle ardenti in EN 13823 entro 600 s (a partire dall'accensione del bruciatore/attacco di fiamma);*

*d<sub>1</sub>: assenza di gocce/particelle ardenti di durata superiore a 10 s in EN 13823 entro 600 s (a partire dall'accensione del bruciatore/attacco di fiamma);*

*d<sub>2</sub>: non d<sub>0</sub> o d<sub>1</sub> (nel caso vi sia combustione della carta sottostante il campione nel test secondo la EN ISO 11925-2, la classificazione è comunque d<sub>2</sub>);*

*(classe E: superamento prova= assenza combustione carta (non classificato); mancato superamento prova= combustione carta (classificato in d<sub>2</sub>) – secondo EN ISO 11925-2);*

– *fumo*

*s<sub>1</sub>: SMOGRA ≤ 30 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> e TSP<sub>600s</sub> ≤ 50 m<sup>2</sup> (EN 13823);*

*s<sub>2</sub>: SMOGRA ≤ 180 m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> e TSP<sub>600s</sub> ≤ 200 m<sup>2</sup> (EN 13823);*

*s<sub>3</sub>: non s<sub>1</sub> o s<sub>2</sub>.*

1358

1359

## Bibliografia

- 1360 [1] G. MANZINI, «The fire risk in photovoltaic installations - Checking the PV modules safety  
1361 in case of fire» Energy Procedia, n. 81, 2015
- 1362 [2] KREUTZMANN, «Uno su diecimila. Passi avanti dei produttori nella prevenzione degli  
1363 incendi – primi tra tutti gli Stati Uniti» Photon, n. giugno, 2013
- 1364 [3] AA.VV., «Rapporto Statistico - Solare Fotovoltaico - 2021» GSE S.p.A., Roma, 2022
- 1365 [4] . MANZINI, «Rischio d'incendio negli impianti fotovoltaici – Fire rating dei tetti FV»,  
1366 Rapporto RdS 18007992, RSE S.p.A., 2019
- 1367 [5] G. GIOMI e S. SCHIAROLI, «Studio delle correlazioni tra i sistemi di classifica di reazione  
1368 al fuoco italiano ed europeo sulla base dei dati sperimentali provenienti da ricerche  
1369 interlaboratorio» Progetto di ricerca gruppo n. 7 cse - Laboratorio di Chimica, Ministero  
1370 dell'Interno – Dipartimento dei vigili del fuoco, del Soccorso pubblico e della Difesa civile,  
1371 2001
- 1372 [6] G. MANZINI, «Comportamento all'incendio dei moduli FV – Protocolli di prova e  
1373 compatibilità con le coperture edifici, RdS 17001307» RSE S.p.A., Milano, 2017.
- 1374 [7] S. FONTANA, F. Notaro, L. Podestà, G. Longobardo, A. De Rosa e P. Cancelliere, «Analisi  
1375 della reazione al fuoco di pannelli fotovoltaici» in VGR Valutazione e Gestione del Rischio  
1376 negli Insediamenti Civili ed Industriali, Pisa (IT), 2012
- 1377 [8] G. MANZINI, «Rischio d'incendio negli impianti fotovoltaici – Fire rating dei moduli FV in  
1378 accoppiamento con le coperture degli edifici, RdS 18000134» RSE S.p.A., Milano, 2018.
- 1379 [9] G. MANZINI, «Supporto all'attività di normativa tecnica nazionale ed internazionale sul  
1380 tema della sicurezza antincendio dei sistemi fotovoltaici, RdS 19012877» RSE S.p.A.,  
1381 Milano, 2019
- 1382 [10] G. MANZINI, «Supporto all'attività di normativa tecnica nazionale ed internazionale:  
1383 protocolli di prova e i risultati dei test per tetti e facciate FV quali sistemi elettrici attivi,  
1384 RdS 20010143» RSE S.p.A., Milano, 2020
- 1385 [11] G. MANZINI, «Supporto all'attività di normativa tecnica nazionale ed internazionale:  
1386 risultati della validazione dei protocolli di prova per tetti e facciate FV per la sicurezza  
1387 antincendio, RdS 21009196» RSE S.p.A., Milano, 2021
- 1388 [12] P. CANCELLIERE, G. MANZINI, G. TRAINA e M. G. CAVRIANI, «PV modules on buildings  
1389 - Outlines of PV roof samples fire rating assessment» Fire Safety Journal, 120, 2021

1390

La presente Norma è stata compilata dal Comitato Elettrotecnico Italiano e beneficia del riconoscimento di cui alla legge 1° Marzo 1968, n. 186.  
Editore CEI, Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano  
Stampa in proprio  
Autorizzazione del Tribunale di Milano N. 4093 del 24 Luglio 1956  
*Direttore Responsabile:* Ing. G. Molina

Comitato Tecnico Elaboratore  
**CT 82-Sistemi di conversione fotovoltaica dell'energia solare**

Altre norme di possibile interesse sull'argomento

