

THCP_AreaB

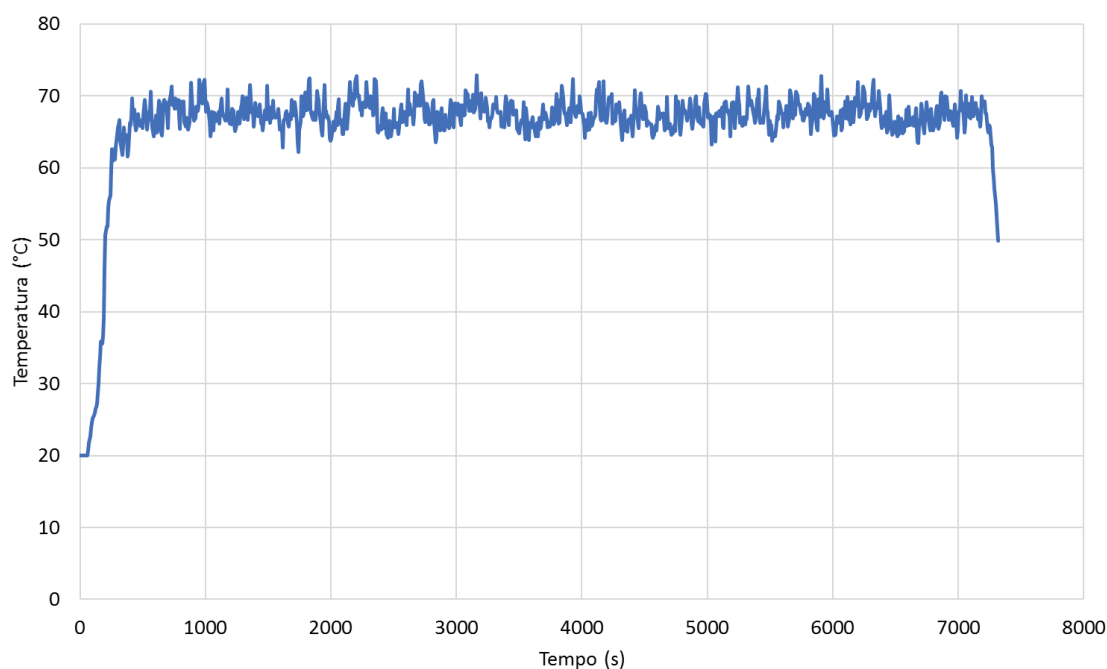
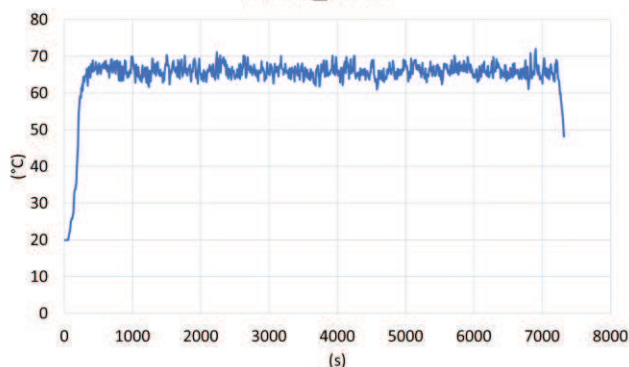


Fig. 44 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia più gravosa posizionata nell'area di stoccaggio B.

THCP1_AreaB



THCP2_AreaB

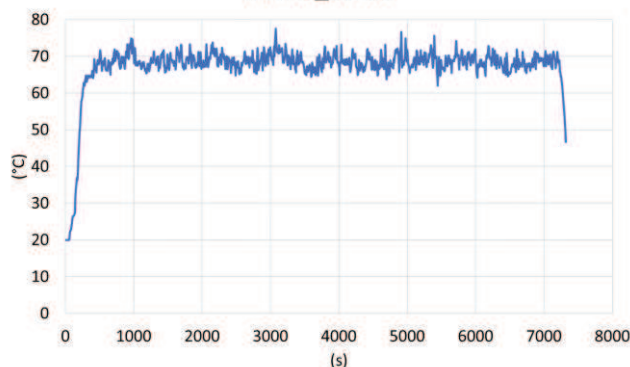


Fig. 45 – Andamento dei grafici temperatura/tempo delle termocoppie in corrispondenza dell'Area B.

Le termocoppie in prossimità dei pilastri del magazzino (P_1; P_2; P_3; P_4; P_5; P_6; P_7; P_8), collocate a una quota intermedia rispetto all'altezza complessiva del deposito, a 3m da terra, sono riportate nei grafici seguenti. Come si evince dalla **Figura 46**, la P_2 risente maggiormente dell'azione termica esercitata dalla fonte d'innesco, pertanto i valori medi raggiunti sono pari a 50°C, mentre, per le restanti termocoppie i valori oscillano tra 25 e 35 °C.

P_2

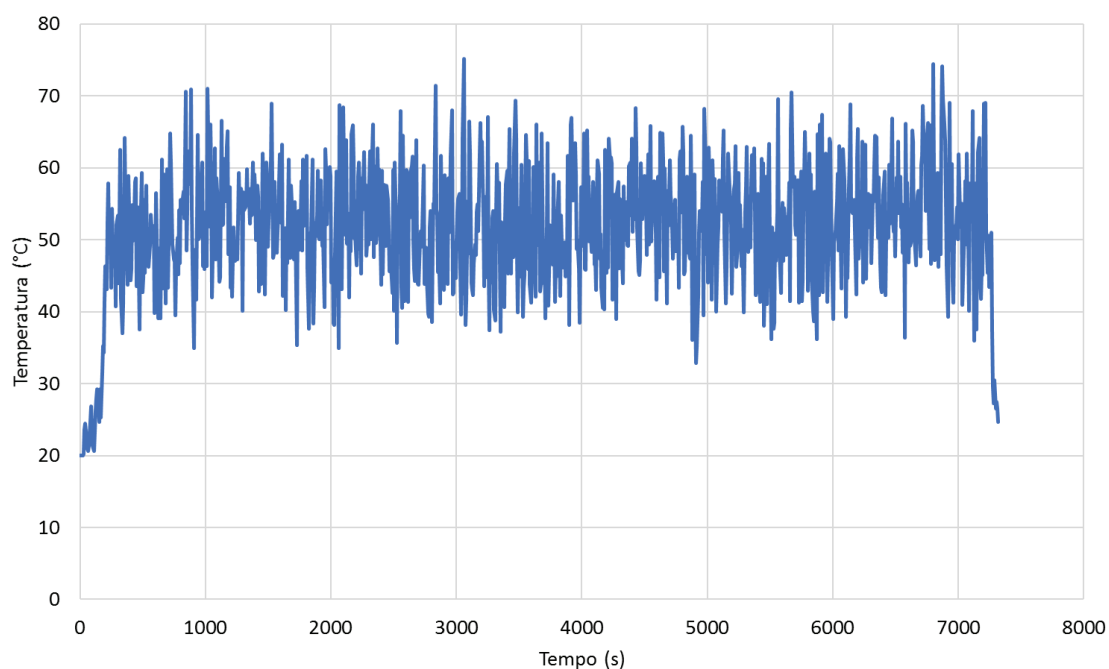
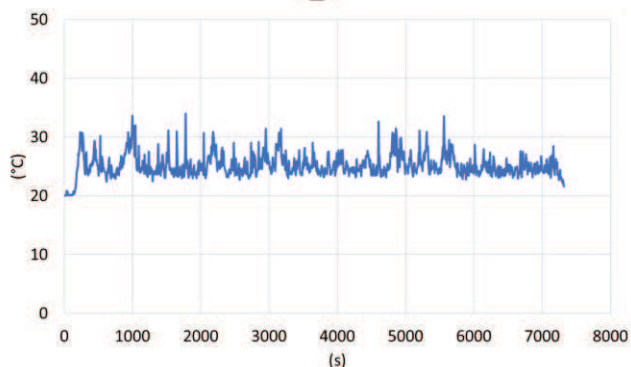
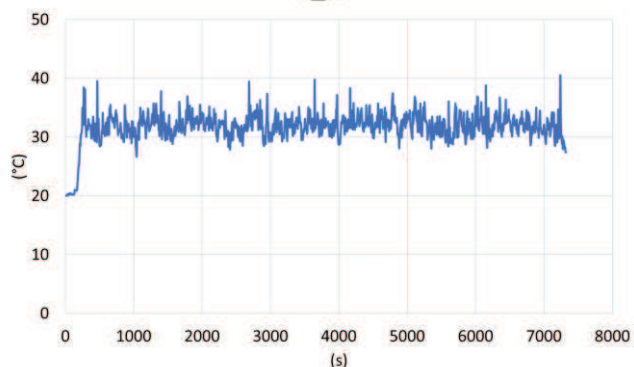


Fig. 46 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia più gravosa posizionata in corrispondenza dei pilastri.

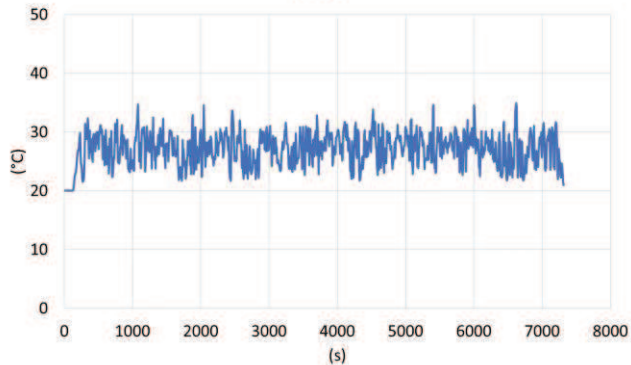
P_1



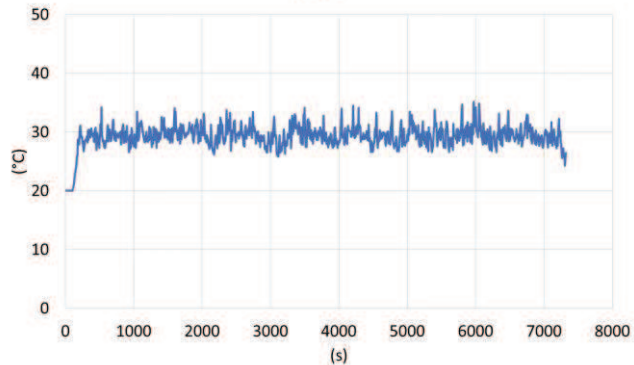
P_3



P_4

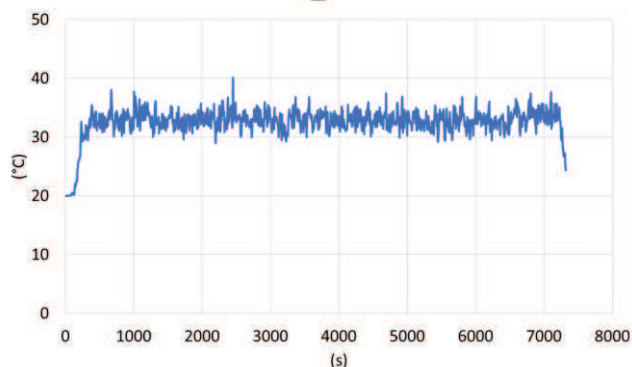
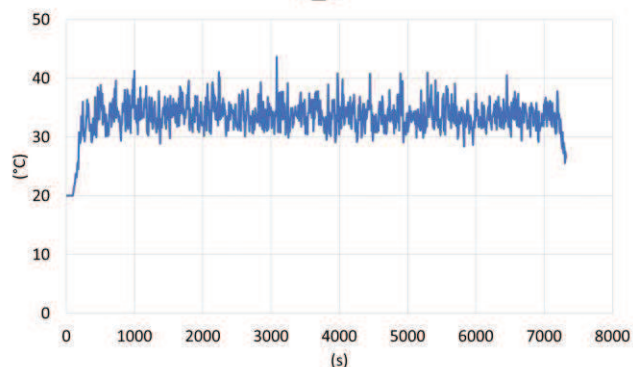


P_5



P_6

P_7



P_8

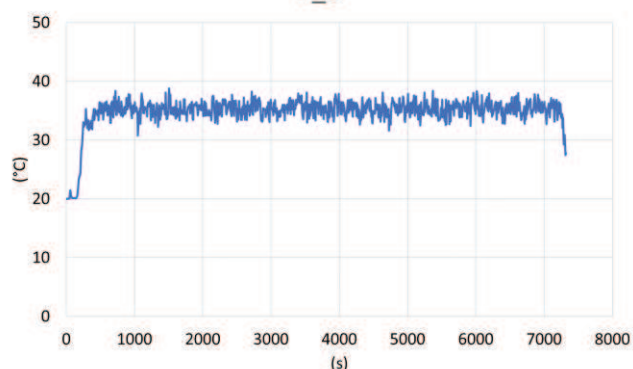


Fig. 47 – Andamento nel tempo delle termocoppie posizionate in corrispondenza dei pilastri.

L'azione termica associata alle termocoppie individuate (in particolare THCP_sopra; THCP_AreaB; P_2) non è in grado di compromettere, per lo scenario in oggetto, la capacità portante degli elementi strutturali più vulnerabili.

SCENARIO S2 – innesco B

Lo Scenario S2b risulta rappresentativo di un incendio che ha origine alla base del materiale stoccato all'interno dell'Area B.

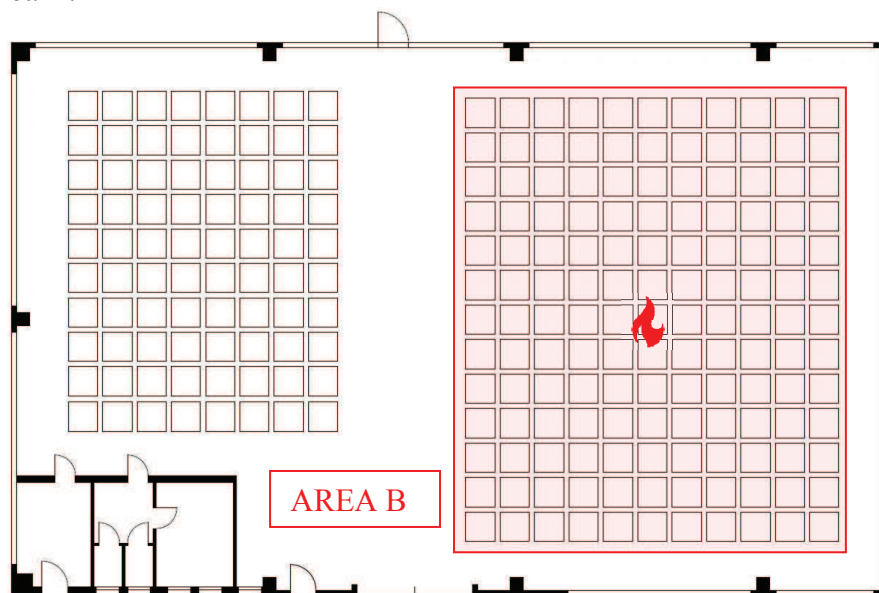


Fig. 48 – Posizione dell'innesco nello scenario d'incendio S2b all'interno dell'Area B.

La dinamica dell'incendio, rappresentativa di uno sviluppo dello stesso, ha mostrato, in termini di RHR - *potenza rilasciata nel tempo*, un rapido coinvolgimento del materiale combustibile cui corrisponde un significativo sviluppo del fuoco e rilascio di fumi, infatti il materiale plastico genera una rapida crescita della fiamma, così come un consistente quantitativo di prodotti della combustione (a tal proposito si prenda come riferimento il valore di Soot Yield Y_s pari a 0,06).

Parte del contributo dell'azione termica è legato alla produzione dei gas e dei fumi di combustione che riscaldano l'ambiente e gli elementi strutturali, tuttavia, l'intervento del sistema sprinkler contiene il rilascio sia in termini di RHR che di temperatura.

I valori di potenza RHR medi registrati sono pari a $RHR_{(t=200 \text{ sec})} = 2500 \text{ kW}$.

Andamento della potenza termica in assenza dell'impianto sprinkler



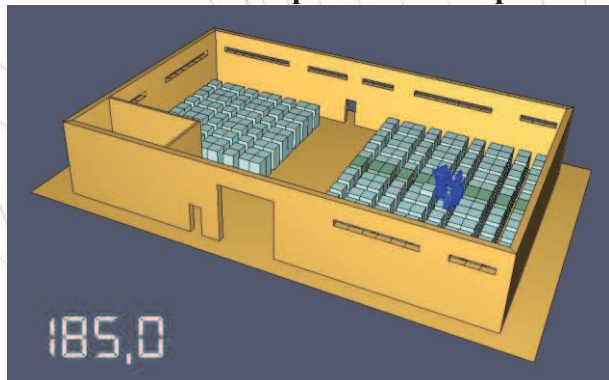
Fig. 49 – Curva RHR – andamento della potenza termica nel tempo in assenza dell'impianto sprinkler.

La dinamica evolutiva dell'incendio, sviluppata mediante simulazioni fluidodinamiche preliminari, ha evidenziato una fase di crescita iniziale piuttosto veloce, con il raggiungimento di un valore di RHR pari a circa 2500 kW già nei primi 200 secondi. Al tempo $t_2 = 195s$ si assiste all'attivazione della seconda testina sprinkler.

L'andamento precedentemente descritto è confermato dalle immagini fornite dallo strumento *Smokeview*, descrittive della fase di crescita dell'incendio, fino all'entrata in funzione del sistema automatico sprinkler, per raggiungimento della relativa temperatura di attivazione ($68^\circ C$).

ATTIVAZIONE SPRINKLER

t_1 = attivazione della prima testina sprinkler



t_2 = attivazione della seconda testina sprinkler

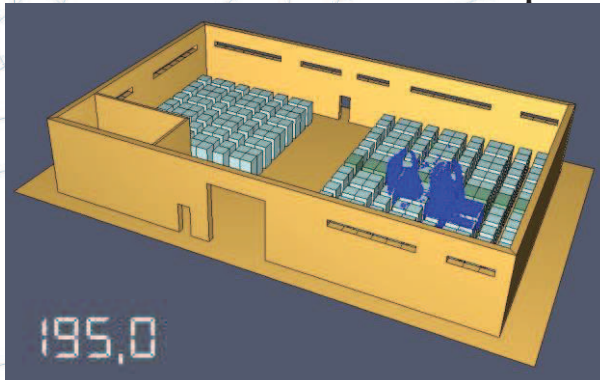


Fig. 50 – Attivazione della prima testina sprinkler al tempo $t_1 = 185s$ e della seconda testina sprinkler al tempo $t_2 = 195s$.

In relazione a tali considerazioni e al fine di utilizzare il software perfettamente nel suo campo di impiego e applicazione, nonché condurre un'analisi conservativa, la curva RHR - tempo verrà valutata come di seguito: il tempo di attivazione del **secondo erogatore** si rileva ad un tempo di 195s – temperatura di attivazione $68^\circ C$; tuttavia si assume cautelativamente che la potenza termica continui

ancora limitatamente a crescere, fino al raggiungimento, ad un tempo di 200s, di un valore pari ad almeno 2500 kW, valore a cui si associa cautelativamente la piena entrata in funzione dell'impianto automatico. Successivamente, dopo l'attivazione delle prime due testine sprinkler ed applicando anche un ulteriore ritardo fino al raggiungimento del suddetto valore di RHR, la potenza termica non continua più a crescere ma subisce una fase di costanza per tutta la durata di alimentazione dell'impianto.

Dall'andamento del rilascio di energia termica deriva conseguentemente l'azione termica cui sono sottoposte le strutture e rispetto alla quale valutare il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza (mantenimento della capacità portante delle strutture per tutta la durata dell'incendio) all'interno del magazzino indagato. Inoltre, la scelta di considerare come tempo di piena entrata in funzione dell'impianto sprinkler non quello associato all'attivazione del secondo erogatore, pari a 195s, ma al raggiungimento di una potenza termica pari a **2,5MW** (a un tempo $t = 200s$) permette di poter considerare, cautelativamente, più elevati valori di RHR e conseguentemente più elevati valori di temperatura ai quali poter sottoporre la struttura in fase di crescita dell'incendio.

Andamento della potenza termica in presenza dell'impianto sprinkler

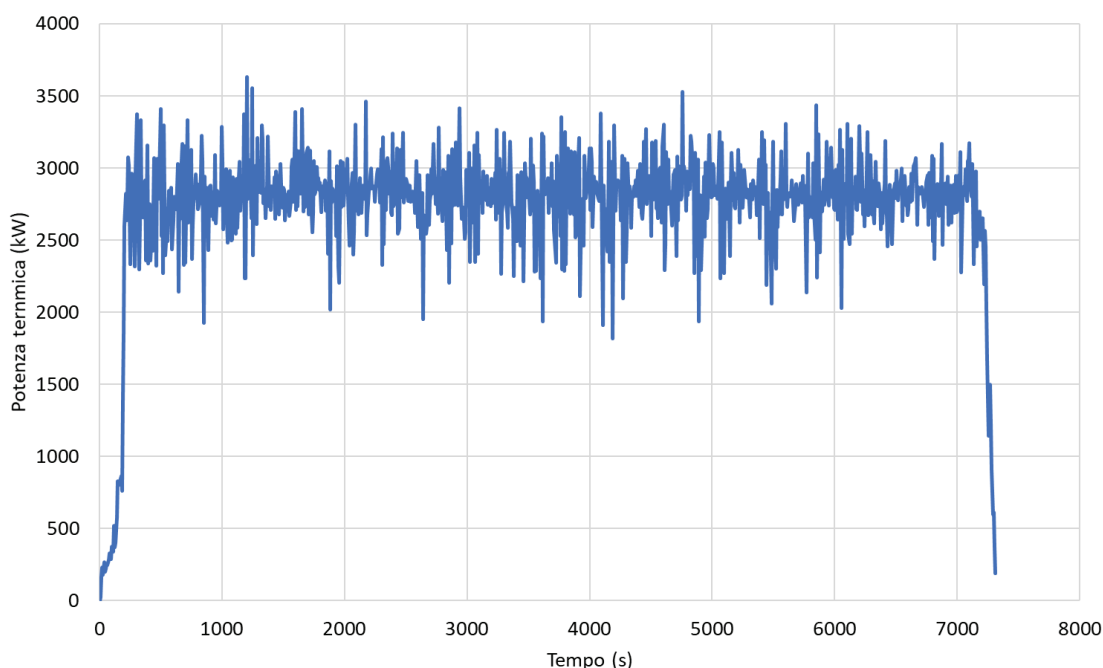


Fig. 51 – Curva RHR – andamento della potenza termica nel tempo in presenza dell'impianto sprinkler la cui piena entrata in funzione avviene al tempo $t = 200 s$ al raggiungimento di 2,5MW.

Lo sviluppo progressivo dell'incendio viene avvalorato dalle immagini di output ottenute tramite lo strumento *smokeview* del software utilizzato, le quali sono state estrapolate a vari intervalli di tempo. In particolare, viene registrato il graduale estendersi e addensarsi dei prodotti della combustione nella zona alta del fabbricato. Al tempo di 180s l'apertura automatizzata degli infissi adibiti allo smaltimento fumo e calore asservita al sistema di rivelazione ed allarme, contribuisce, unitamente al contenimento operato dallo sprinkler, ad allontanare verso l'esterno i prodotti della combustione.

T= 60 - l'innescò è già avviato e inizia a prendere corpo la prima colonna di fumo;

T= 120 - il fumo inizia a propagarsi all'interno del magazzino;

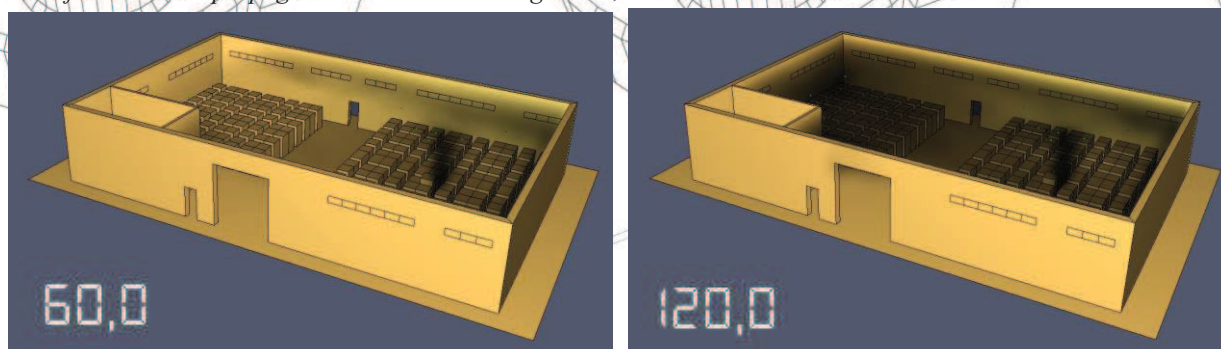


Fig. 52 – Immagini fornite dallo strumento **smokeview** rappresentative della progressiva produzione e smaltimento dei fumi associata alla propagazione dell'incendio, nell'intervallo di tempo considerato.

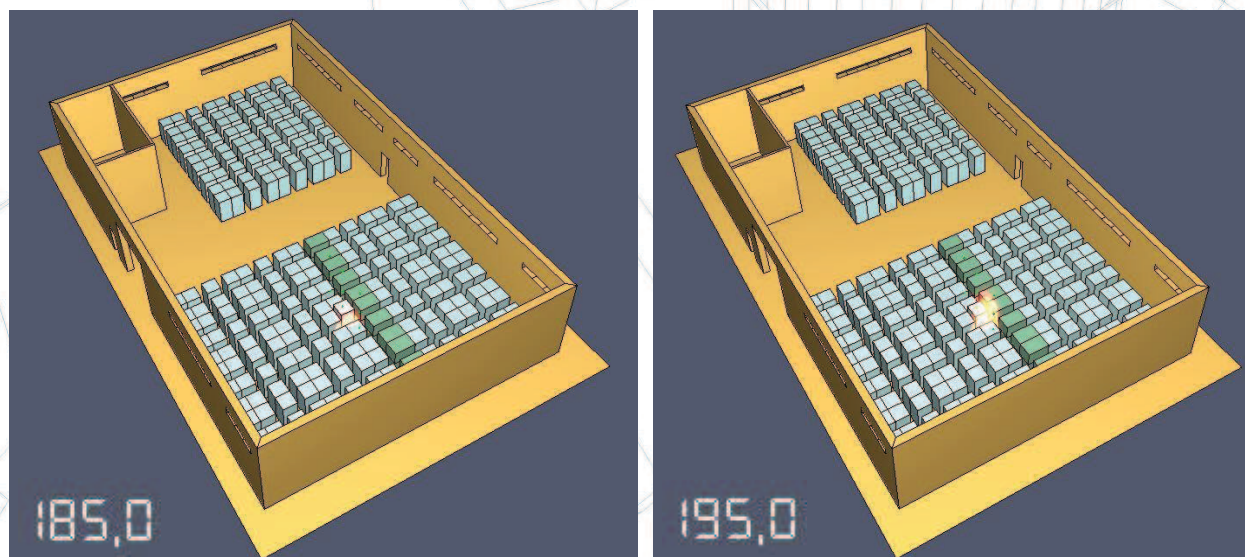


Fig. 53 – Propagazione dell'innescò all'attivazione della prima testina sprinkler al tempo $t_1 = 185s$ e della seconda testina sprinkler al tempo $t_2 = 195s$.

Le diverse termocoppie introdotte hanno consentito di monitorare l'andamento delle temperature e i relativi effetti sugli elementi strutturali (quota intradosso della trave pari a 6,3m).

La termocoppia **THCP_dx** registra l'azione termica più gravosa per gli elementi di copertura nell'interno dell'innescò e per lo scenario in oggetto: tale andamento nel tempo risulta contenuto per effetto dell'intervento del sistema automatico sprinkler a valori medi di **200°C**, attestato al di sotto di quelli per i quali si verificano le tensioni e deformazioni di rottura per le strutture in calcestruzzo, come attestato dall'Allegato I Analisi delle strutture portanti.

THCP_dx

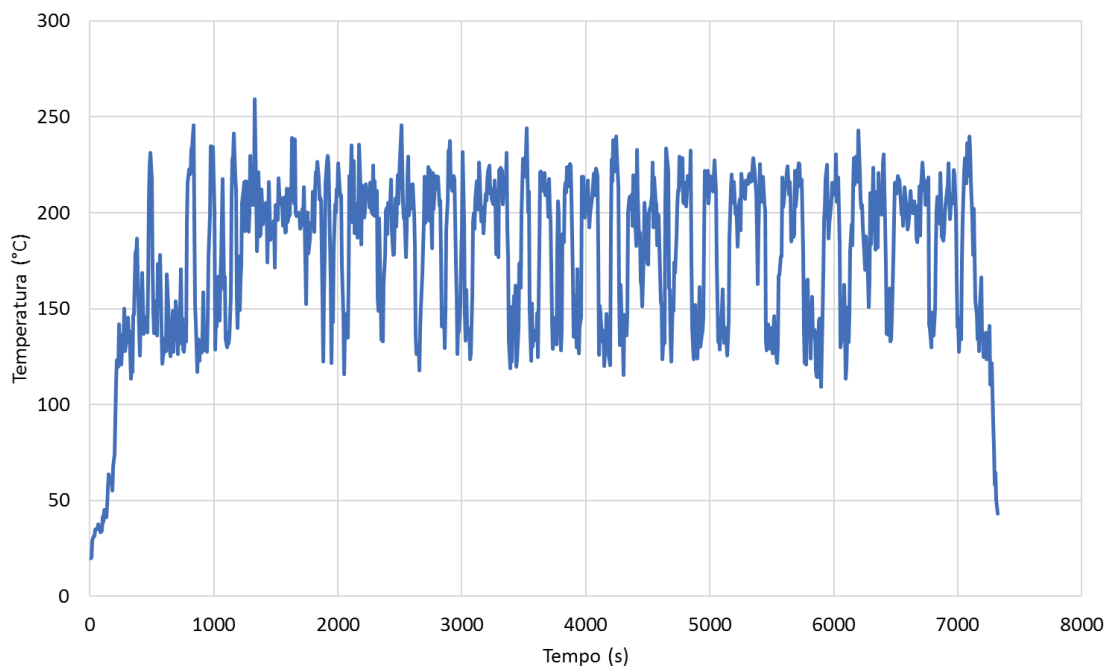


Fig. 54 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia posizionata a quota intradosso trave a destra rispetto la fonte d'innesco.

Nello specifico, è possibile notare come la temperatura registrata dalla termocoppia **THCP_dx**, posta in pianta a 1,5m a destra rispetto al modulo di stoccaggio oggetto d'innesco, mostri una rapida crescita fino al tempo di attivazione dell'impianto sprinkler pari a 200s (tempo in cui si verifica il raggiungimento di 2,5MW di potenza termica). In seguito, per effetto dell'azione di contenimento esercitata dall'impianto di spegnimento, l'andamento della temperatura risulta pressoché stabile senza che i valori si discostino molto da quello medio di 180/220°C.

La temperatura rimane contenuta anche per effetto degli infissi adibiti allo smaltimento fumi e calore che, in seguito alla loro parziale apertura, asservita alla rivelazione dei fumi, permettono l'uscita in massa di una grande quantità di gas caldi di combustione, permettendo il ricircolo dell'aria più fresca dal basso.

Le termocoppie nell'interno dell'innesco e quella posta esattamente sopra lo stesso (**THCP_6.3**; **THCP_sx**; **THCP_sopra**; **THCP_sotto**) collocate alla quota dell'intradosso della trave, pari a 6.3m da terra, mostrano invece valori medi compresi tra i 100 e i 160°C, mantenuti costanti per effetto dell'entrata in funzione del sistema automatico sprinkler (200 s), a meno di picchi localizzati. Gli effetti termici registrati da tali termocoppie risultano moderatamente più contenuti o in linea con la termocoppia **THCP_dx**.

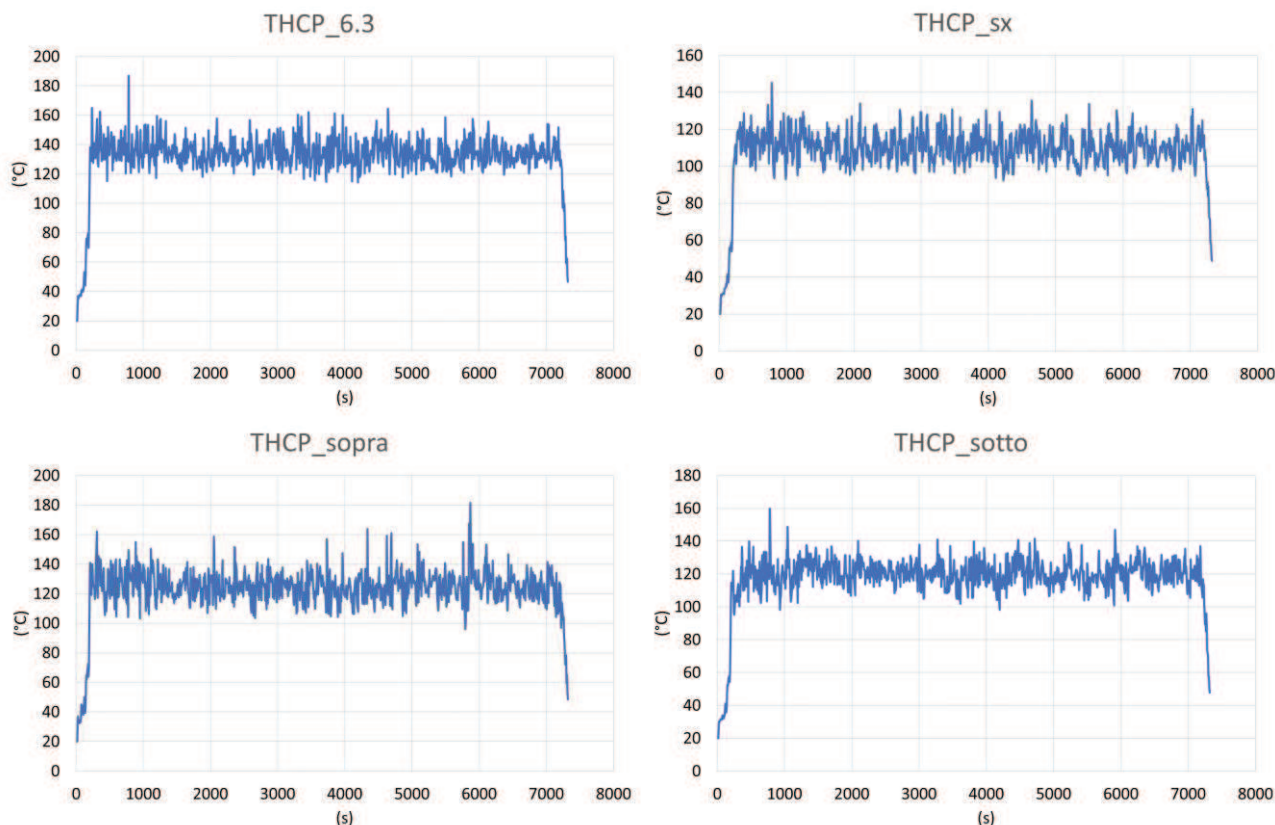


Fig. 55 – Andamento dei grafici temperatura/tempo delle termocoppie poste nell'interno dell'innesco.

Si riportano di seguito le temperature delle termocoppie in corrispondenza dell'Area A (THCP_Area A; THCP1_Area A; THCP2_Area A) collocate alla quota dell'intradosso della trave, pari a 6.3m da terra, al fine di indagare gli effetti della propagazione da un'area di stoccaggio all'altra. Tra le suddette termocoppie quella che registra i valori più elevati in termini di temperatura è la THCP_AreaA, la quale, per effetto dell'attivazione dell'impianto sprinkler e, di conseguenza, a causa di una limitata propagazione delle fiamme che rimane localizzata nell'interno dell'innesco, raggiunge mediamente valori intorno ai 70/75°C. Analogamente la THCP1_AreaA e la THCP2_AreaA mostrano valori del tutto in linea con la THCP_AreaA, mantenuti costanti per effetto dell'entrata in funzione del sistema automatico sprinkler (200 s).

THCP_AreaA

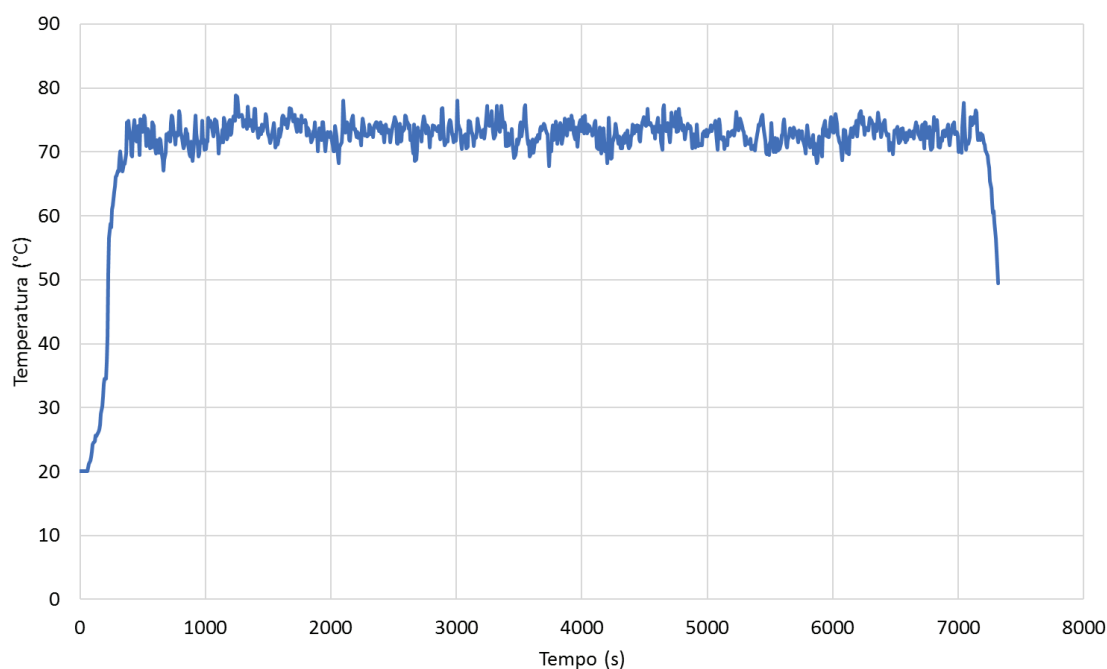
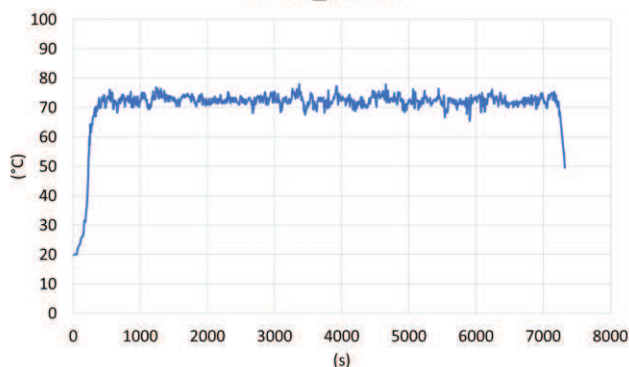


Fig. 56 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia più gravosa posizionata nell'area di stoccaggio A.

THCP1_AreaA



THCP2_AreaA

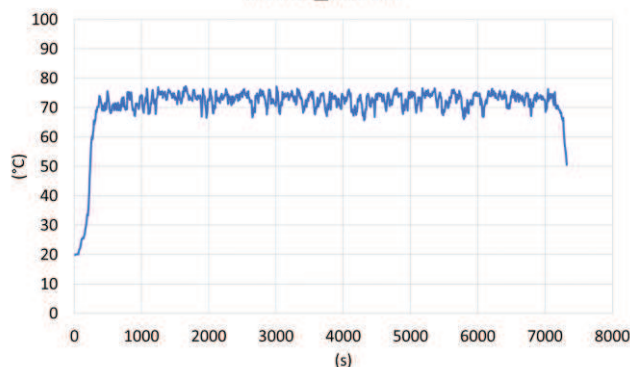


Fig. 57 – Andamento dei grafici temperatura/tempo delle termocoppie in corrispondenza dell'Area A.

Le termocoppie in prossimità dei pilastri del magazzino (P_1; P_2; P_3; P_4; P_5; P_6; P_7; P_8), collocate a una quota intermedia rispetto all'altezza complessiva del deposito, a 3m da terra, sono riportate nei grafici seguenti. Come si evince dalla **Figura 58**, la P_2 risente maggiormente dell'azione termica esercitata dalla fonte d'innesco, pertanto i valori medi raggiunti sono pari a 30/45°C, mentre, per le restanti termocoppie i valori oscillano tra 25 e 40 °C.

P_2

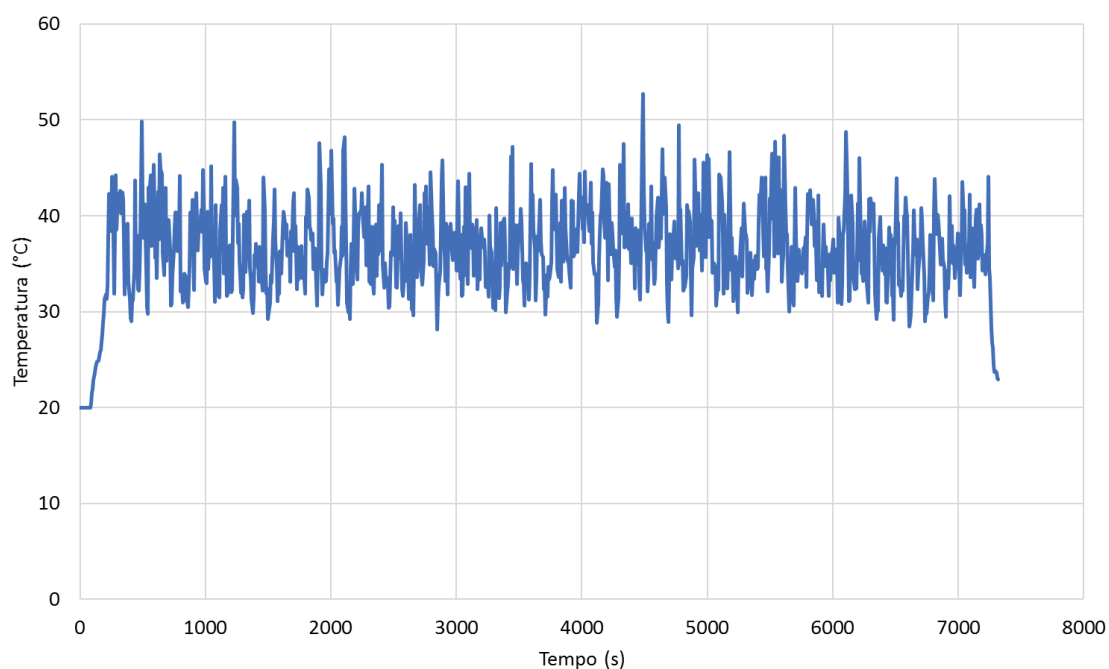
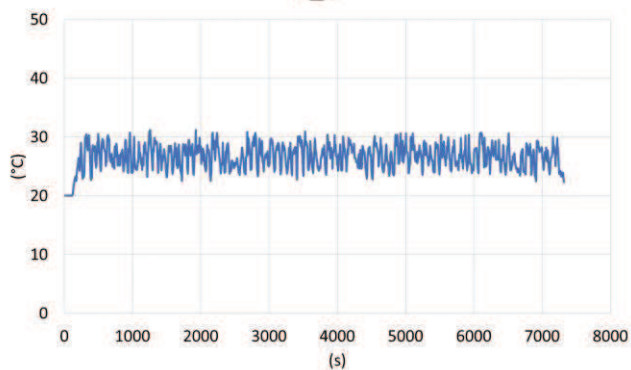
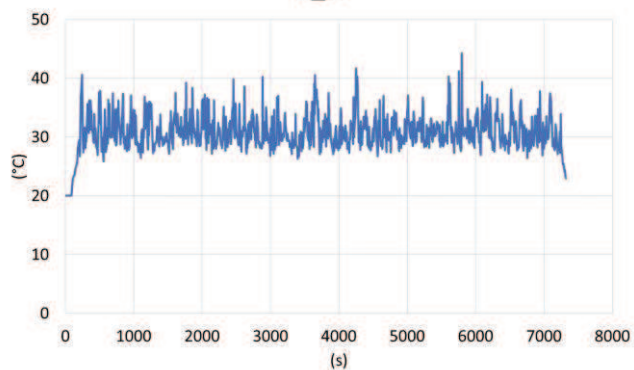


Fig. 58 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia più gravosa posizionata in corrispondenza dei pilastri.

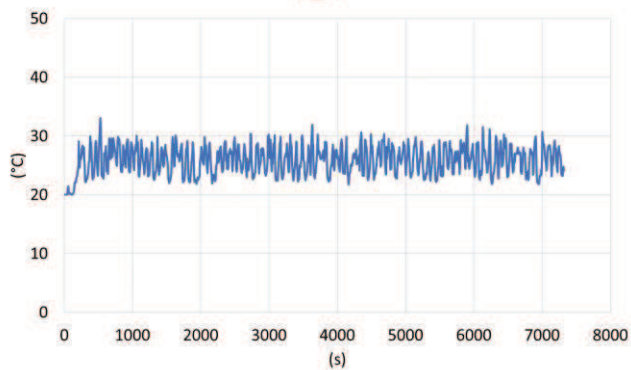
P_1



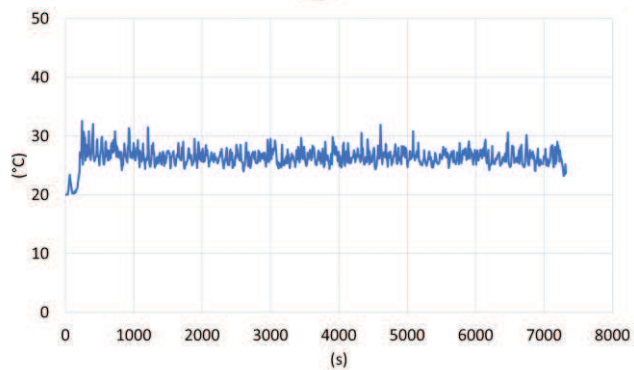
P_3



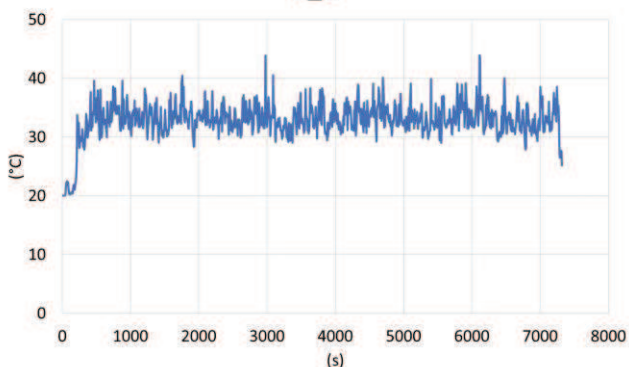
P_4



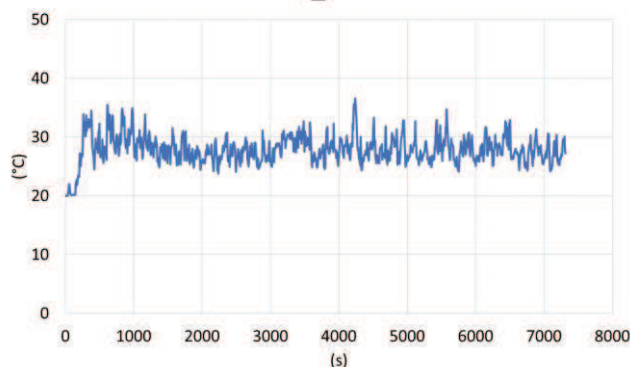
P_5



P_6



P_7



P_8

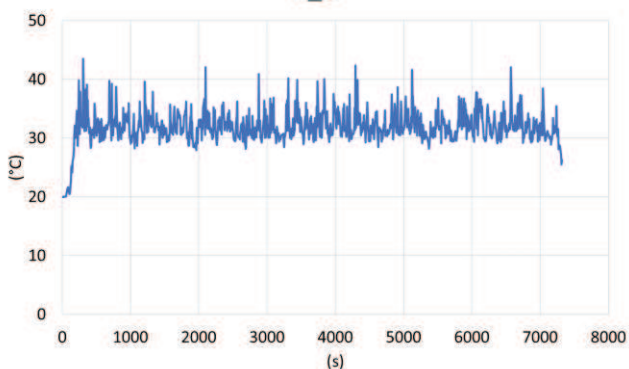


Fig. 59 – Andamento nel tempo delle termocoppie posizionate in corrispondenza dei pilastri.

L'azione termica associata alle termocoppie individuate (in particolare THCP_dx; THCP_AreaA; P_2) non è in grado di compromettere, per lo scenario in oggetto, la capacità portante degli elementi strutturali più vulnerabili.

SCENARIO S2 – innesco C

Lo Scenario S2c risulta rappresentativo di un incendio che interessa uno dei mezzi di movimentazione nel passaggio tra le aree di stoccaggio.

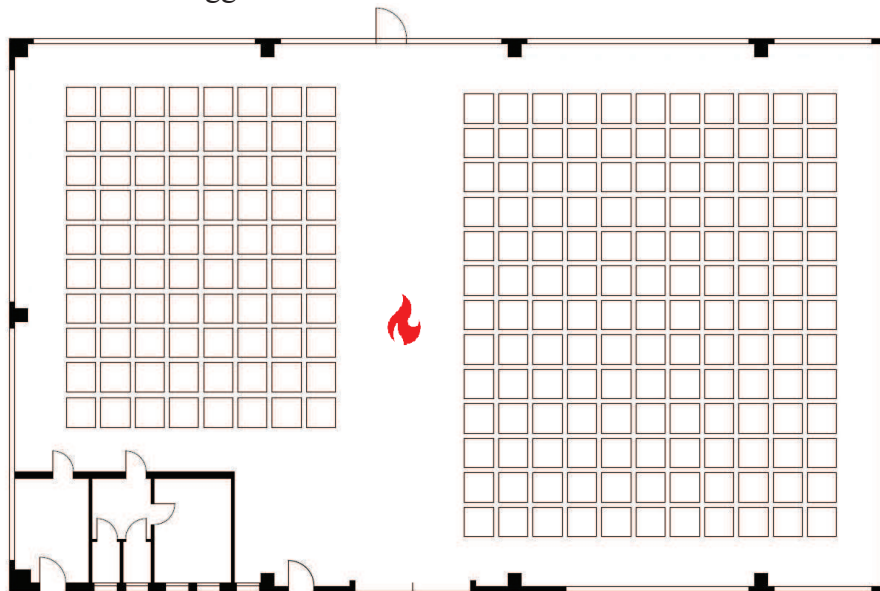


Fig. 60 – Posizione dell'innesco nello scenario d'incendio S2c lungo il corridoio adibito alla movimentazione dei carrelli elevatori.



Fig. 61 – Curva RHR – andamento della potenza termica nel tempo in assenza dell'impianto sprinkler.

La dinamica evolutiva dell'incendio, sviluppata mediante simulazioni fluidodinamiche preliminari, ha evidenziato una fase di crescita media, con il raggiungimento di un valore di RHR pari a circa 1100 kW nei primi 200 secondi. Al tempo $t_2 = 253s$ si assiste all'attivazione della seconda testina sprinkler.

L'andamento precedentemente descritto è confermato dalle immagini fornite dallo strumento *Smokeview*, descrittive della fase di crescita dell'incendio, fino all'entrata in funzione del sistema automatico sprinkler, per raggiungimento della relativa temperatura di attivazione (68°C).

ATTIVAZIONE SPRINKLER

t_1 = attivazione della prima testina sprinkler

t_2 = attivazione della seconda testina sprinkler

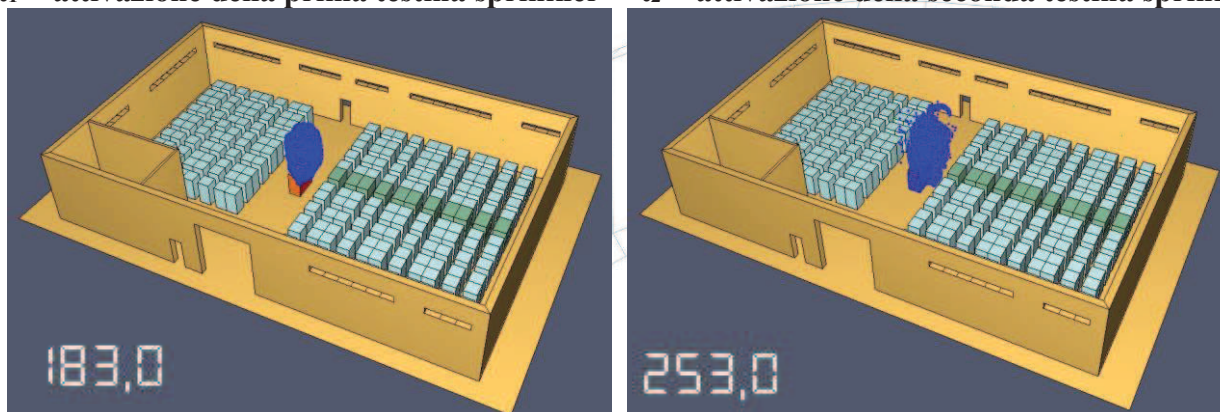


Fig. 62 – Attivazione della prima testina sprinkler al tempo $t_1 = 183\text{s}$ e della seconda testina sprinkler al tempo $t_2 = 253\text{s}$.

In relazione a tali considerazioni e al fine di utilizzare il software perfettamente nel suo campo di impiego e applicazione, nonché condurre un'analisi conservativa, la curva RHR - *tempo* verrà valutata come di seguito: il tempo di attivazione del **secondo erogatore** si rileva ad un tempo di 253s – *temperatura di attivazione 68°C* ; tuttavia si assume cautelativamente che la potenza termica continui ancora limitatamente a crescere, fino al raggiungimento, ad un tempo di 1052s , di un valore pari ad almeno 2500 kW , valore a cui si associa cautelativamente la piena entrata in funzione dell'impianto automatico. Successivamente, dopo l'attivazione delle prime due testine sprinkler ed applicando anche un ulteriore ritardo fino al raggiungimento del suddetto valore di RHR, la potenza termica non continua più a crescere ma subisce una fase di costanza per tutta la durata di alimentazione dell'impianto.

Dall'andamento del rilascio di energia termica deriva conseguentemente l'azione termica cui sono sottoposte le strutture e rispetto alla quale valutare il raggiungimento dell'obiettivo di sicurezza (mantenimento della capacità portante delle strutture per tutta la durata dell'incendio) all'interno del magazzino indagato. Inoltre, la scelta di considerare come tempo di piena entrata in funzione dell'impianto sprinkler non quello associato all'attivazione del secondo erogatore, pari a 253s , ma al raggiungimento di una potenza termica pari a $2,5\text{MW}$ (a un tempo $t = 1052\text{s}$) permette di poter considerare, cautelativamente, più elevati valori di RHR e conseguentemente più elevati valori di temperatura ai quali poter sottoporre la struttura in fase di crescita dell'incendio.

Andamento della potenza termica in presenza dell'impianto sprinkler

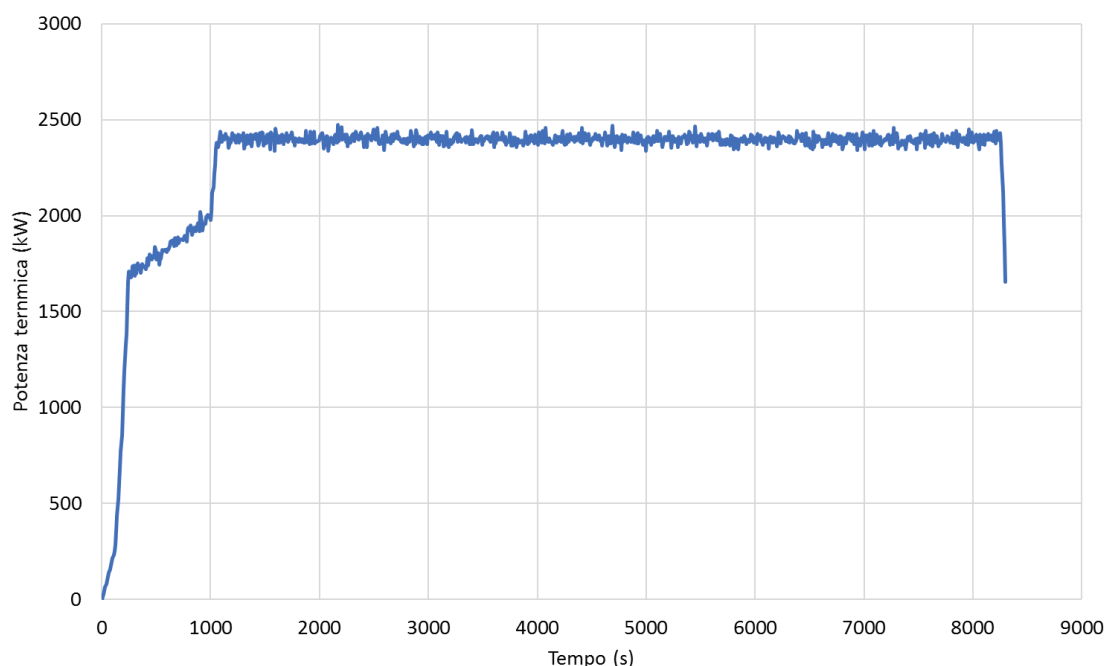


Fig. 63 – Curva RHR – andamento della potenza termica nel tempo in presenza dell'impianto sprinkler la cui piena entrata in funzione avviene al tempo $t = 1052$ s al raggiungimento di 2,5MW.

Lo sviluppo progressivo dell'incendio viene avvalorato dalle immagini di output ottenute tramite lo strumento *smokeview* del software utilizzato, le quali sono state estrapolate a vari intervalli di tempo. In particolare, viene registrato il graduale estendersi e addensarsi dei prodotti della combustione nella zona alta del fabbricato. Al tempo di 180s l'apertura automatizzata degli infissi adibiti allo smaltimento fumo e calore asservita al sistema di rivelazione ed allarme, contribuisce, unitamente al contenimento operato dallo sprinkler, ad allontanare verso l'esterno i prodotti della combustione.

T= 60 - l'innesco è già avviato e inizia a prendere corpo la prima colonna di fumo;

T= 120 - il fumo inizia a propagarsi all'interno del magazzino;

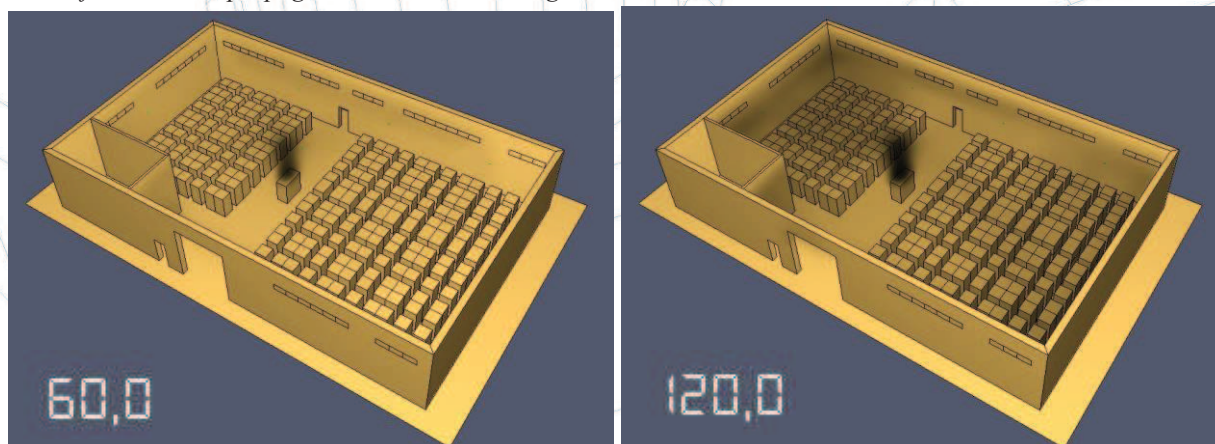


Fig. 64 – Immagini fornite dallo strumento *smokeview* rappresentative della progressiva produzione e smaltimento dei fumi associata alla propagazione dell'incendio, nell'intervallo di tempo considerato.

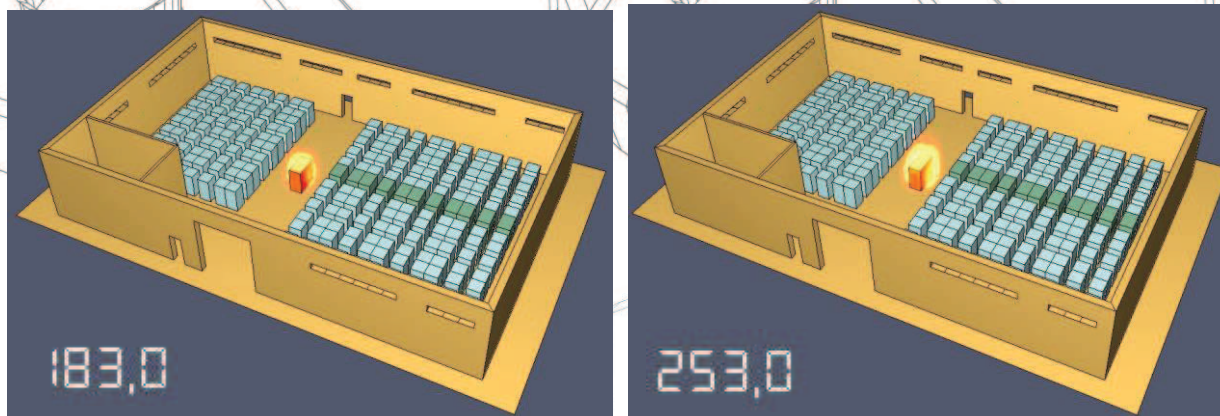


Fig. 65 – Propagazione dell'innesco all'attivazione della prima testina sprinkler al tempo $t_1 = 183s$ e della seconda testina sprinkler al tempo $t_2 = 253s$.

Le diverse termocoppie introdotte hanno consentito di monitorare l'andamento delle temperature e i relativi effetti sugli elementi strutturali (quota intradosso della trave pari a 6,3m).

La termocoppia **THCP_sopra** registra l'azione termica più gravosa per gli elementi di copertura nell'intorno dell'innesco e per lo scenario in oggetto: tale andamento nel tempo risulta contenuto per effetto dell'intervento del sistema automatico sprinkler a valori medi di 200°C, attestato al di sotto di quelli per i quali si verificano le tensioni e deformazioni di rottura per le strutture in calcestruzzo, come attestato dall'Allegato I Analisi delle strutture portanti.

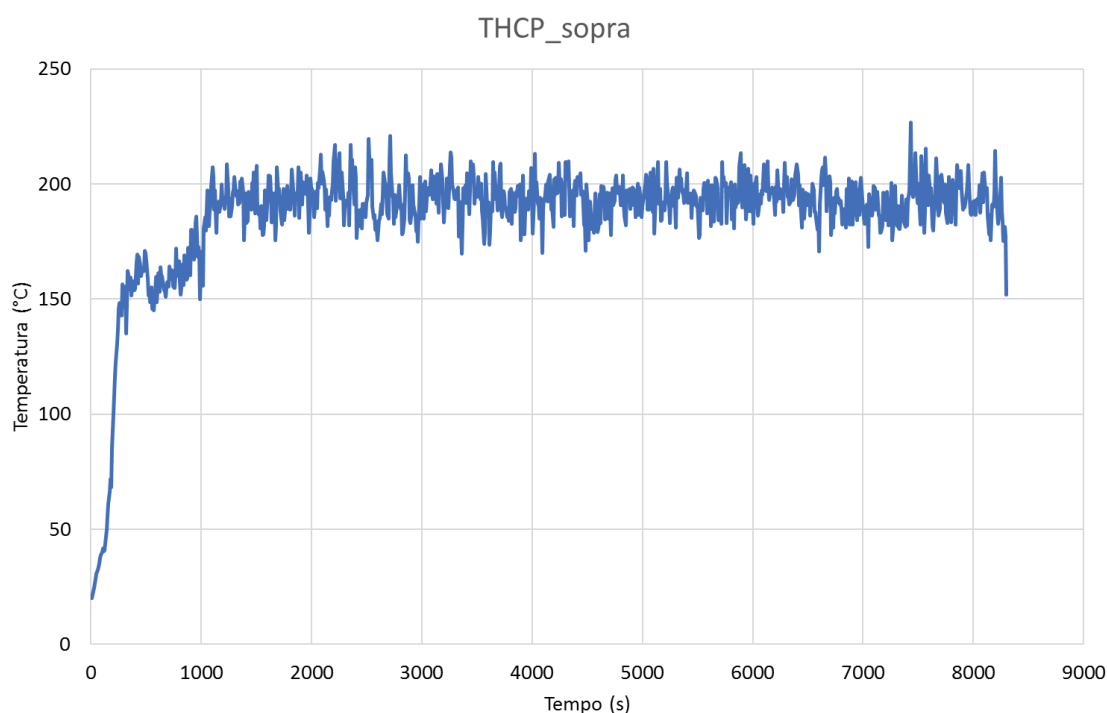


Fig. 66 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia posizionata a quota intradosso, sopra la fonte d'innesco in pianta.

Nello specifico, è possibile notare come la temperatura registrata dalla termocoppia **TCHP_sopra**, posta in pianta a una distanza di 1,5m sopra al carrello elevatore innescato, mostri una rapida crescita fino a un valore prossimo ai 190°C a circa 1052 secondi, che corrisponde al tempo di attivazione dell'impianto

sprinkler (tempo in cui si verifica il raggiungimento di 2,5MW di potenza termica). In seguito, per effetto dell'azione di contenimento esercitata dall'impianto di spegnimento, l'andamento della temperatura risulta pressoché stabile senza che i valori si discostino molto da quello medio di 175/220°C.

La temperatura rimane contenuta anche per effetto degli infissi adibiti allo smaltimento fumi e calore che, in seguito alla loro parziale apertura, asservita alla rivelazione dei fumi, permettono l'uscita in massa di una grande quantità di gas caldi di combustione, permettendo il ricircolo dell'aria più fresca dal basso.

Le termocoppie nell'intorno dell'innesco e quella posta esattamente sopra lo stesso (**THCP_6.3; THCP_dx; THCP_sx; THCP_sotto**) collocate alla quota dell'intradosso della trave, pari a 6.3m da terra, mostrano invece valori medi compresi tra i 110 e i 160°C, mantenuti costanti per effetto dell'entrata in funzione del sistema automatico sprinkler (200 s), a meno di picchi localizzati. Gli effetti termici registrati da tali termocoppie risultano moderatamente più contenuti o in linea con la termocoppia THCP_sopra.

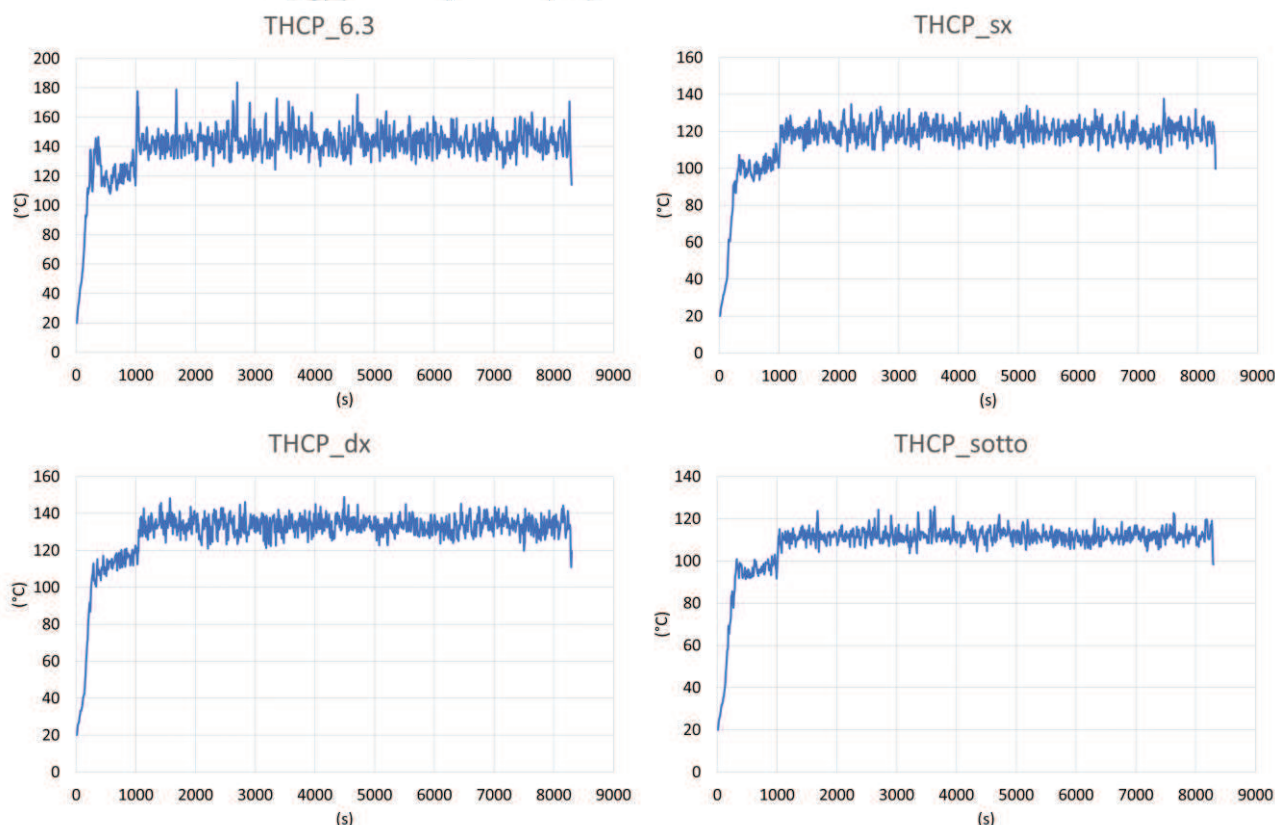


Fig. 67 – Andamento dei grafici temperatura/tempo delle termocoppie poste nell'intorno dell'innesco.

Le termocoppie in prossimità dei pilastri del magazzino (**P_1; P_2; P_3; P_4; P_5; P_6; P_7; P_8**), collocate a una quota intermedia rispetto all'altezza complessiva del deposito, a 3m da terra, sono riportate nei grafici seguenti. Come si evince dalla **Figura 68**, la P_7 risente maggiormente dell'azione termica esercitata dalla fonte d'innesco, pertanto i valori medi raggiunti sono pari a 30/35°C, mentre, per le restanti termocoppie i valori oscillano tra 25 e 35°C.

P_7

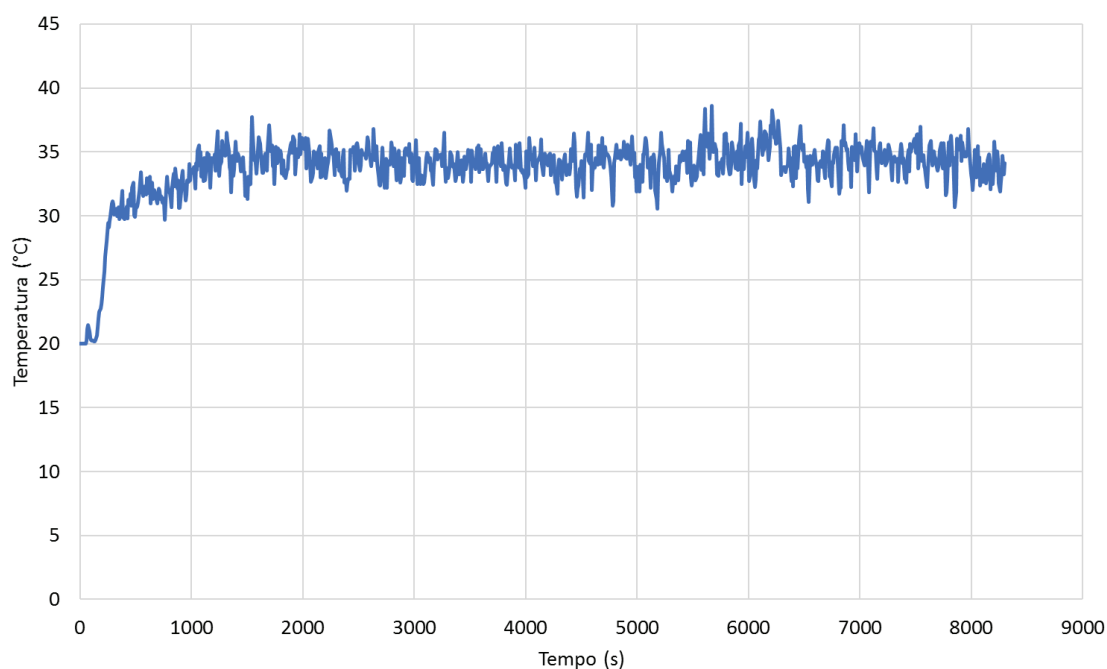
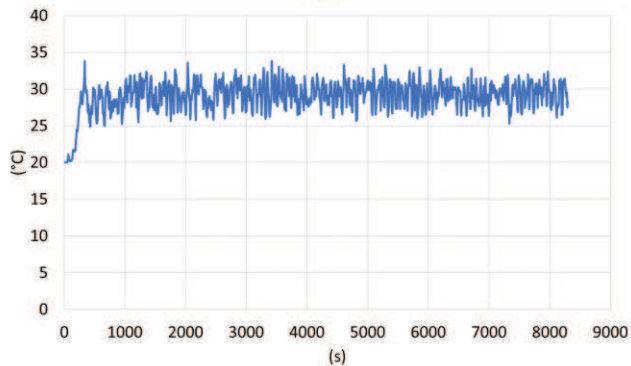
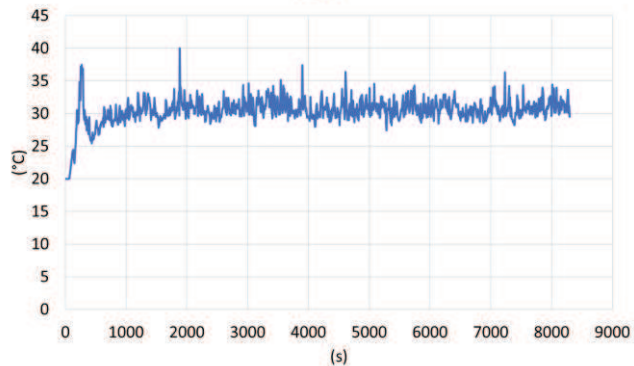


Fig. 68 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia più gravosa posizionata in corrispondenza dei pilastri.

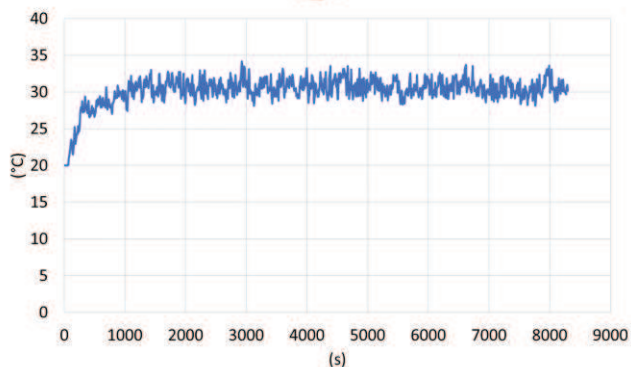
P_1



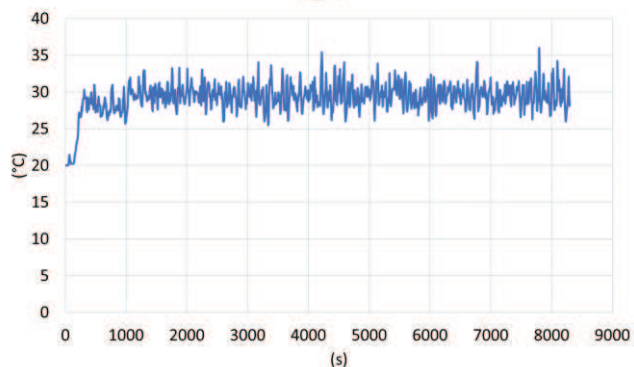
P_2



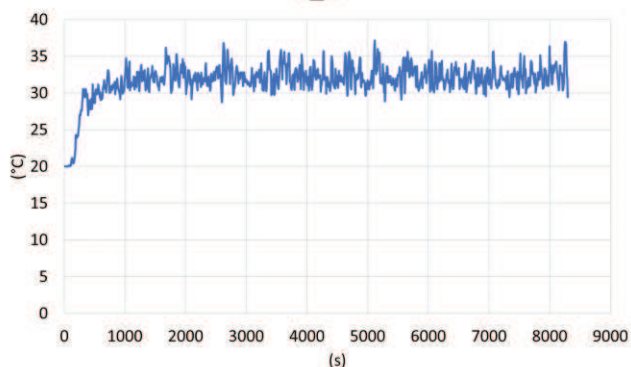
P_3



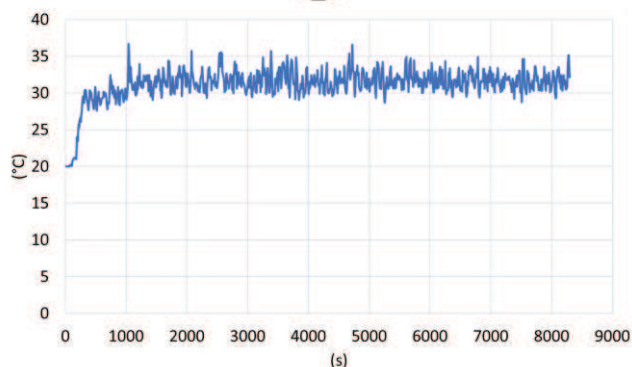
P_4



P_5



P_6



P_8

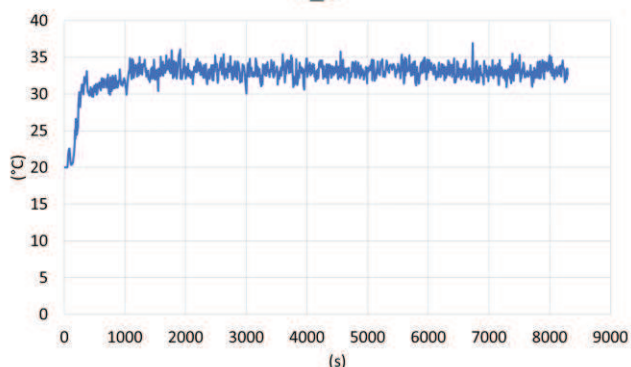


Fig. 69 – Andamento nel tempo delle termocoppie posizionate in corrispondenza dei pilastri.

L'azione termica associata alle termocoppie individuate (in particolare THCP_sopra; P_7) non è in grado di compromettere, per lo scenario in oggetto, la capacità portante degli elementi strutturali più vulnerabili.

4. SOLUZIONI PROGETTUALI E GESTIONALI

La tipologia costruttiva del magazzino oggetto d'indagine, caratterizzata da struttura in calcestruzzo, pone in generale un problema importante in termini di protezione e prevenzione contro gli incendi ai fini del mantenimento della capacità portante sotto la reale azione del fuoco.

L'obiettivo perseguito nella presente analisi risulta il conseguimento della **Soluzione progettuale alternativa** prevista per il **Livello III** relativamente alla **Misura S2-Resistenza al fuoco**.

Sulla base dei risultati ottenuti mediante l'applicazione di modelli fluidodinamici e di metodi analitici di riconosciuta validità, oltre ai dati forniti da test sperimentali che hanno definito il campo di validazione dei parametri in input del modello ("*RHR, Smoke Production and CO Generation from Single Items and Room Fire Tests*"), di seguito si analizzano puntualmente, in conformità al Codice Prevenzione Incendi di cui al D.M. 03.08.15, le soglie definite, nella fase di *definizione del progetto*, per il conseguimento della suddetta **Soluzione progettuale alternativa** prescelta:

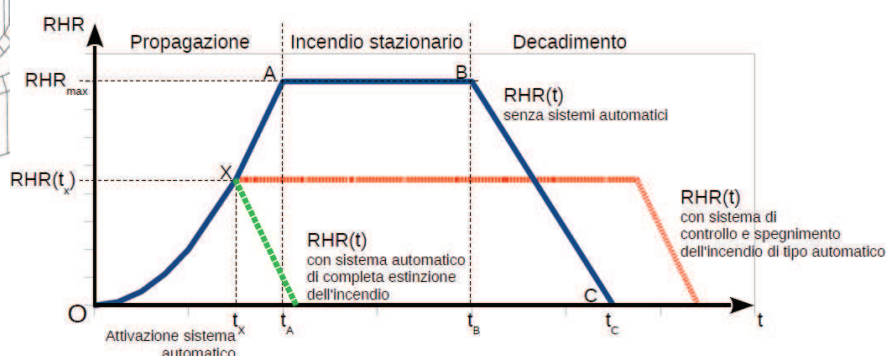
- **Il mantenimento della capacità portante della struttura per tutta la durata dell'incendio** è stato assicurato mediante la verifica del mantenimento della temperatura, con l'azione di contenimento esercitata dall'impianto di spegnimento sprinkler, ad un valore inferiore a quello in grado di generare, per gli elementi strutturali portanti più vulnerabili, valutato secondo la *curva naturale* d'incendio, tensioni e spostamenti di rottura, determinati mediante analisi strutturale (Allegato I), fino al momento in cui, in fase di raffreddamento, gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti.

Il perseguimento di tale obiettivo è stato condotto analizzando l'effetto dell'incendio sulle strutture sottoposte alla reale azione del fuoco ed all'intervento dell'impianto di spegnimento sprinkler. L'approccio prestazionale adottato per il deposito in oggetto si è basato sul contenimento e abbattimento dell'incendio nonché sulla corretta progettazione dei sistemi di protezione sia attiva che passiva, ed in particolar modo sull'intervento dell'impianto automatico ad acqua progettato secondo NFPA 13.

L'impianto presenterà requisiti di elevata affidabilità ed efficacia di intervento.

Come si evince dai risultati di calcolo, per gli scenari analizzati, l'intervento del sistema automatico sprinkler permette un notevole contenimento e rapido raffreddamento delle temperature generate dal cimento termico. La tempestiva attivazione dell'impianto evita, sin dai primi istanti, la rapida propagazione ai materiali adiacenti e contiene il principio di incendio in un'area piuttosto delimitata, permettendo l'estinzione da parte delle squadre di intervento.

La curva RHR - *andamento potenza termica rilasciata nel tempo*, sulla base dei risultati ottenuti con il Codice D.M. 03.08.2015, per tutti gli scenari d'incendio, ha mostrato un andamento caratterizzato da un progressivo sviluppo dello stesso fino al raggiungimento di una potenza termica pari a **2,5MW** a cui corrisponde la piena entrata in funzione dell'impianto automatico, cui segue una fase stabile di contenimento dell'incendio riconducibile alla curva qualitativa **arancione** di seguito riportata, rappresentativa delle varie fasi di sviluppo del fuoco.



In particolare, per effetto dell'attivazione dell'impianto di spegnimento sprinkler, l'andamento della potenza termica, in linea con i principi dello studio dello sviluppo dell'incendio, come riportato al punto M.2.6 – *Stima della curva RHR* del Codice di prevenzione Incendi (di cui al D.M. 03.08.2015), non raggiunge il suo valore massimo ma si arresta al valore raggiunto al momento di entrata in funzione del sistema automatico sprinkler (a 2,5MW), decrescendo solo successivamente, dopo la fase stabile associata al funzionamento dell'impianto.

Per gli scenari analizzati ai fini della verifica della capacità portante, la curva RHR - *andamento potenza termica rilasciata nel tempo*, sulla base dei risultati dedotti dalla modellazione ha mostrato un andamento caratterizzato da un sviluppo veloce dell'incendio, con la possibilità di propagazione anche ai materiali adiacenti: la tipologia di materiale, prevalentemente di natura plastica e a consistenza granulare, imballata ed avvolta in materiale plastico, origina un fuoco in grado di generare rapidamente importanti effetti termici, che vengono tuttavia contenuti dall'azione di contenimento dell'impianto sprinkler.

Si sottolinea che l'andamento della potenza termica dedotta dalla simulazione risulta più cautelativa rispetto all'andamento qualitativo appena descritto, in quanto, dopo l'attivazione della seconda testina, la potenza termica continua ancora ad aumentare fino alla completa attivazione dello stesso, associata conservativamente ad un valore di potenza termica pari a 2,5MW.

Inoltre, al fine di registrare le temperature in prossimità degli elementi strutturali portanti, sono state posizionate delle termocoppie nell'intorno del focolaio. Come si può vedere dalla registrazione della *termocoppia* e dai *profili di temperatura*, per effetto dell'azione di controllo dell'impianto sprinkler, la temperatura in corrispondenza della quale si verificano le tensioni e deformazioni di rottura non viene mai raggiunta, per cui si ritiene che la struttura certamente resista per tutta la durata dell'incendio (in Allegato I).

In particolare, per lo Scenario S2b, rappresentativo dell'azione termica agente sulle strutture in **calcestruzzo** del *magazzino*, si evidenzia il raggiungimento di un valore massimo di temperatura pari a **230 °C** al tempo di 834 secondi, per la termocoppia collocata a una distanza di 1,5m in pianta rispetto alla fonte d'innesco, a quota intradosso della trave (6,3m da terra). Il valore massimo ottenuto non risulta tale da generare sulle strutture di copertura prossime all'innesco fenomeni di deformazione o rottura.

THCP_dx

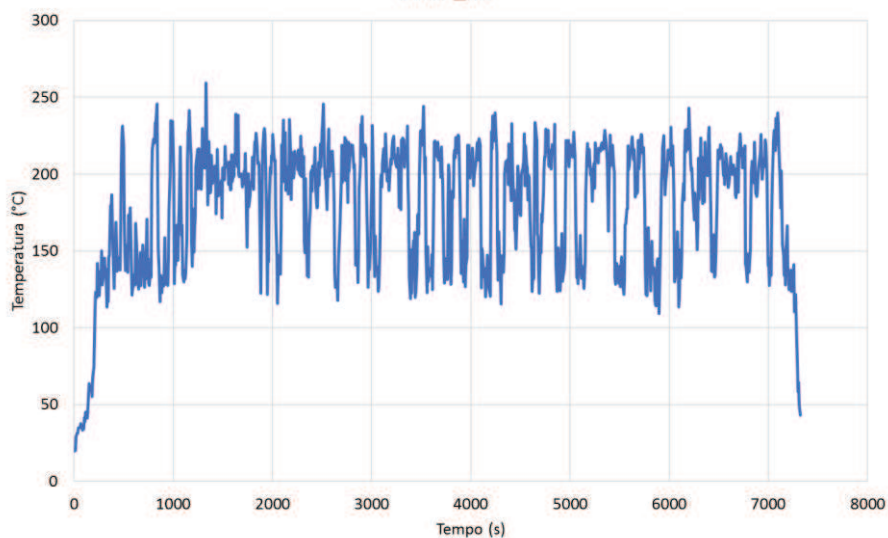


Fig. 70 – Andamento nel tempo della temperatura della termocoppia più gravosa nell'interno dell'innesco.

5. SINTESI

Nella valutazione dell'incendio di progetto per la verifica della resistenza al fuoco delle strutture, è bene considerare che la definizione dell'azione termica è avvenuta in maniera conservativa in quanto è stato considerato prevalentemente il contributo dato da tutte le materia di natura plastica.

L'analisi condotta ha indagato tre possibili localizzazioni del fuoco, considerando sia l'ipotesi di coinvolgimento dei materiali combustibili stoccati, sia dei mezzi di movimentazione (carrelli elevatori).

Per tale ragione, gli scenari prospettati sono sicuramente conservativi per la sicurezza strutturale e peggiorativo rispetto alla reale dinamica d'incendio. La tipologia dei materiali combustibili e le condizioni di stoccaggio permettono di applicare, in relazione alla misura della resistenza al fuoco, la *soluzione alternativa* prescelta per il livello di prestazione stabilito e quindi, nell'intervallo di tempo indagato, di garantire che l'incendio rimanga localizzato e che le temperature non raggiungano valori tali da compromettere le strutture portanti dell'edificio per tutta la durata dell'incendio.

Inoltre, al fine di fornire un carattere conservativo alle simulazioni, gli scenari di progetto sono stati indagati prendendo in esame le condizioni di prevalente apertura dei portoni esterni, modellando i suddetti infissi in maniera da riprodurre le condizioni gestionali del magazzino, tale da garantire i massimi effetti della propagazione dell'incendio. In aggiunta il modello ha considerato anche il contributo offerto all'allontanamento dei prodotti della combustione dall'apertura meccanizzata degli infissi adibiti a smaltimento fumo e calore, collegata all'impianto di rivelazione automatica.

La cautelatività della simulazione è anche avvalorata dal contenimento della potenza termica solo in seguito alla piena entrata in funzione dell'impianto di spegnimento sprinkler al raggiungimento di un valore di RHR pari a 2,5MW, successivamente all'attivazione della seconda testina sprinkler.

Come mostrano i risultati illustrati, le suddette condizioni, associate ad una corretta gestione logistica dei prodotti in deposito, consente di raggiungere l'obiettivo e la soluzione progettuale stabiliti nella fase progettuale di analisi qualitativa.

Bologna 20/09/19

IL TECNICO
Ing. Cinzia Imperatore