

INAIL   **CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI**

ORGANIZZANO IN COLLABORAZIONE CON:



 **CNA PPC**  **CNPI**  **90**

**IL CODICE
DI PREVENZIONE
INCENDI**

**La progettazione antincendio
Applicazioni pratiche**

Studio curva HRR(t) e modellazione
termica in un deposito di lavorati in legno

Ing. Vincenzo Cascioli, PhD
email: v.cascioli@ingeniagpa.it


INAIL   **CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI**

S.2 – Livello di prestazione III - soluzioni alternative

S.2.4.8 Soluzioni alternative per il livello di prestazione III

1. Sono ammesse *soluzioni alternative*.
2. Le soluzioni alternative per il livello di prestazione III si ottengono verificando le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni in base agli scenari di incendio di progetto ed ai relativi incendi convenzionali di progetto rappresentati da curve naturali di incendio secondo il paragrafo S.2.6.
3. Per la verifica della *capacità di compartimentazione* all'interno dell'attività non si forniscono soluzioni alternative.
4. Al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato *livello di prestazione* il progettista deve impiegare uno dei metodi di cui al paragrafo G.2.6.

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

INAIL   **CONSIGLIO NAZIONALE DEGLI INGEGNERI**

S.2 – Livello di prestazione III - soluzioni alternative

- S.2.6 Verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco con curve naturali di incendio**
1. L'andamento delle temperature negli elementi è valutato in riferimento a una curva naturale d'incendio, tenendo conto della durata dello scenario di incendio indicata nel capitolo M.2.
 2. Il processo di individuazione degli scenari di incendio di progetto deve essere conforme a quanto indicato nel capitolo M.2.
 3. Le curve naturali di incendio possono essere determinate mediante:
 - a. modelli di incendio sperimentali,
 - b. modelli di incendio numerici semplificati dell'Eurocodice UNI EN 1991-1-2,
 - c. modelli di incendio numerici avanzati.
 4. Le curve di incendio naturale devono essere determinate per lo specifico compartimento antincendio, con riferimento a metodi di riconosciuta affidabilità come quelli di cui al comma 3 e facendo riferimento, quando necessario, al carico di incendio specifico di progetto $q_{p,i}$ di cui al paragrafo S.2.9 ponendo pari ad 1 i coefficienti $k_{p,i}$ relativi alle misure antincendio che si intende modellare secondo i criteri di cui al capitolo M.2.
 5. I valori del carico d'incendio e delle caratteristiche del compartimento antincendio costituiscono un vincolo d'esercizio per le attività da svolgere all'interno della costruzione.
 6. I criteri di progettazione degli elementi strutturali resistenti al fuoco sono riportati nel paragrafo S.2.8.

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

M.2.5 Durata degli scenari d'incendio di progetto

M.2.5 Durata degli scenari d'incendio di progetto

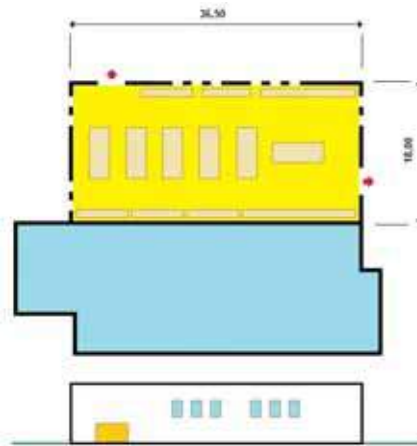
1. Deve essere descritta tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a partire dall'evento iniziatore per un intervallo di tempo che dipende dagli obiettivi di sicurezza da raggiungere come riportato in tabella M.2-1.

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
Salvaguardia della vita	Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, <u>al momento in cui gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti.</u>

Tabella M.2-1: Durata minima degli scenari d'incendio di progetto

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Schema planimetrico e prospetto del deposito



Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Caratteristiche del deposito

Dimensioni geometriche del deposito	l = 36,50 m; L = 18 m; H = 7,50 m ($V_d = 657 \text{ m}^3$)	
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.	
	Densità pareti in CLS	$\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$
	Colore specifico	$c_p = 913 \text{ J/kgK}$
	Conducibilità termica	$\lambda = 1,45 \text{ W/mK}$
Quantità di materiale	$R_{\text{in}} = 1.600.000 \text{ L}$ (potere calorifico H pian a 17,5 MJ/kg)	
Compartimenti antincendio	Unico compartimento; peraltro l'edificio risulta adiacente, e pertanto non separato, ad un'altra attività soggetta ai controlli di prevenzione incendi. Livello III di prestazione (par. 5.3.2.1)	
Numero addetti	5 (non è prevista la presenza di persone disabili)	
Profilo di rischio $R_{\text{in,es}}$	A2 (par. G.3.2.1)	
Profilo di rischio $R_{\text{in,est}}$	1 (par. G.3.3.1)	
Tipologia di esodo	Simultaneo (par. 5.4.1.2.a)	
Livello di prestazione per l'esodo	1 (par. 5.4.2)	
Percorsi di esodo ai piani	$L_{\text{es}} = 60 \text{ m}$ (tab. 5.4.10)	
Vie di esodo orizzontali	Indipendenti (par. 5.4.8.1)	
Uscite dal compartimento	2 uscite $L = 3,50 \text{ m}$; $h = 2,35 \text{ m}$ (par. 5.4.8.3)	
Finestre	12 uscite $L = 1,35 \text{ m}$; $h = 2,10 \text{ m}$ (3,10 m di avanzata)	
Sistemi antincendio installati	Impianto IRDI (IRI 9795) ► Livello III di prestazione (par. 5.7.2.1 e 5.7.4.1) Rete di idranti (UNI 10779) ► Livello III di prestazione (par. 5.6.2.1 e 5.6.6.2)	
Sistema di gestione della sicurezza	Livello II di prestazione (par. 5.5.3.1 e par. 5.5.4.1)	
Operatività antincendio	Livello III di prestazione (par. 5.9.3.1 e par. 5.9.4.2)	
Squadra interna emergenza	Non presente H 24	

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

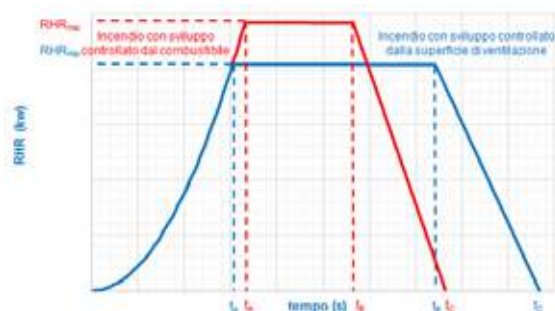
Obiettivi dello studio

- Costruire la probabile **curva RHR(t) relativa all'incendio** che si sviluppa all'interno dell'edificio, seguendo le prescrizioni di cui al par. M.2.6 e al d.m. 31 luglio 2012,
- Valutare la **quantità di legname bruciata** trascorsi 60 minuti.

La definizione quantitativa delle varie fasi dell'incendio si riferisce alla curva qualitativa che segue; tale metodologia può essere utilizzata per:

- **costruire le curve naturali per la valutazione della capacità portante in condizioni d'incendio delle opere da costruzione;**
- valutare la portata di fumo emessa durante l'incendio per la progettazione dei sistemi per l'evacuazione di fumo e calore.

Determinazione dei vari parametri significativi della curva



DIFFERENZE TRA INCENDI CONTROLLATI DAL COMBUSTIBILE E DALLA SUPERFICIE DI VENTILAZIONE

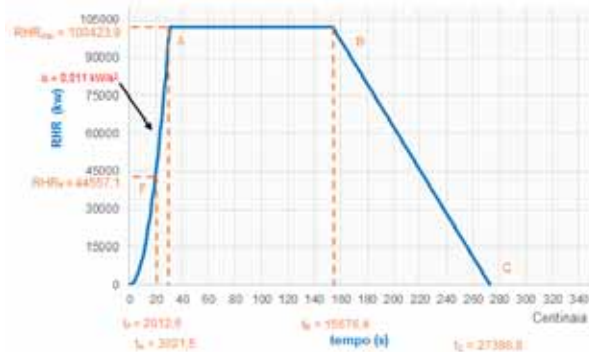
M.2-3: Incendio con sviluppo controllato dal combustibile

$$RHR'_{max} = RHR_f \times A_f$$

M.2-4: Incendio con sviluppo controllato dalla superficie di ventilazione

$$RHR'_{max} = 0,10 \text{ m} H_v A_v \sqrt{h_{eq}}$$

Determinazione dei vari parametri significativi della curva



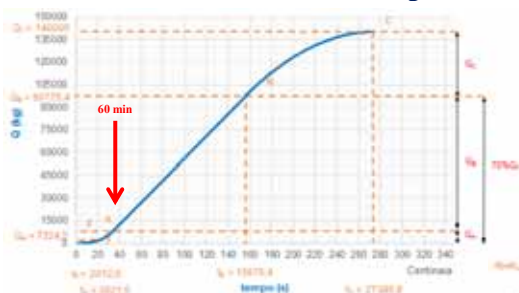
ANDAMENTO DELLA POTENZA TERMICA RILASCIATA NEL TEMPO DURANTE L'INCENDIO NEL DEPOSITO

M.2-4: Incendio con sviluppo controllato dalla superficie di ventilazione

$$RHR_{max} = 0,10 \text{ m}^2 H_v A_v \sqrt{h_{eq}} = 100423,9 \text{ kW}$$

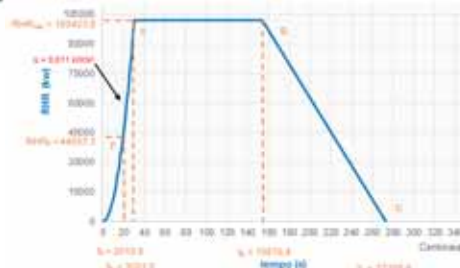
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Determinazione dei vari parametri significativi della curva



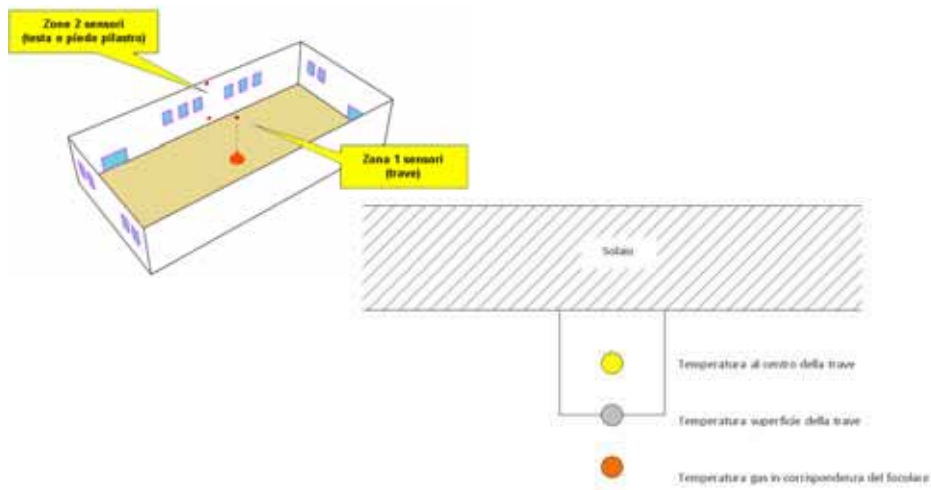
ANDAMENTO DELLE QUANTITÀ DI COMBUSTIBILE BRUCIATO NEL TEMPO DURANTE L'INCENDIO NEL DEPOSITO

ANDAMENTO DELLA POTENZA TERMICA RILASCIATA NEL TEMPO DURANTE L'INCENDIO NEL DEPOSITO



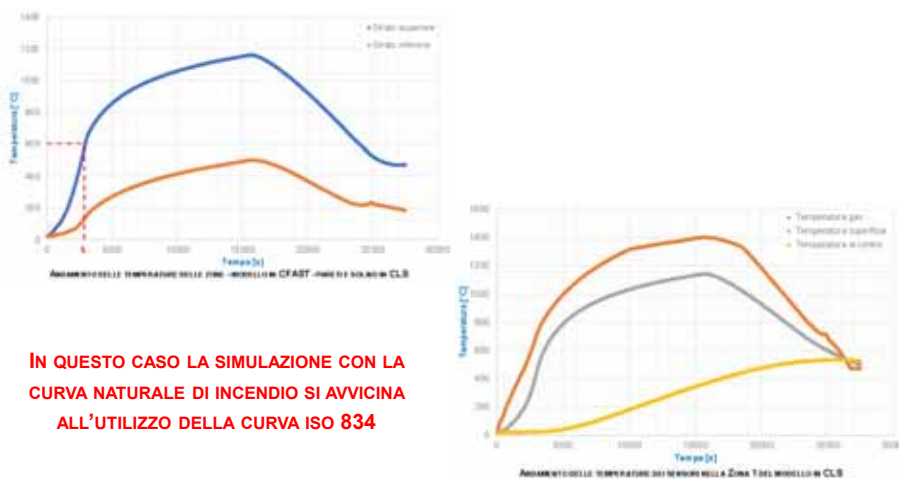
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Modellazione CFAST – posizione focolare e sensori



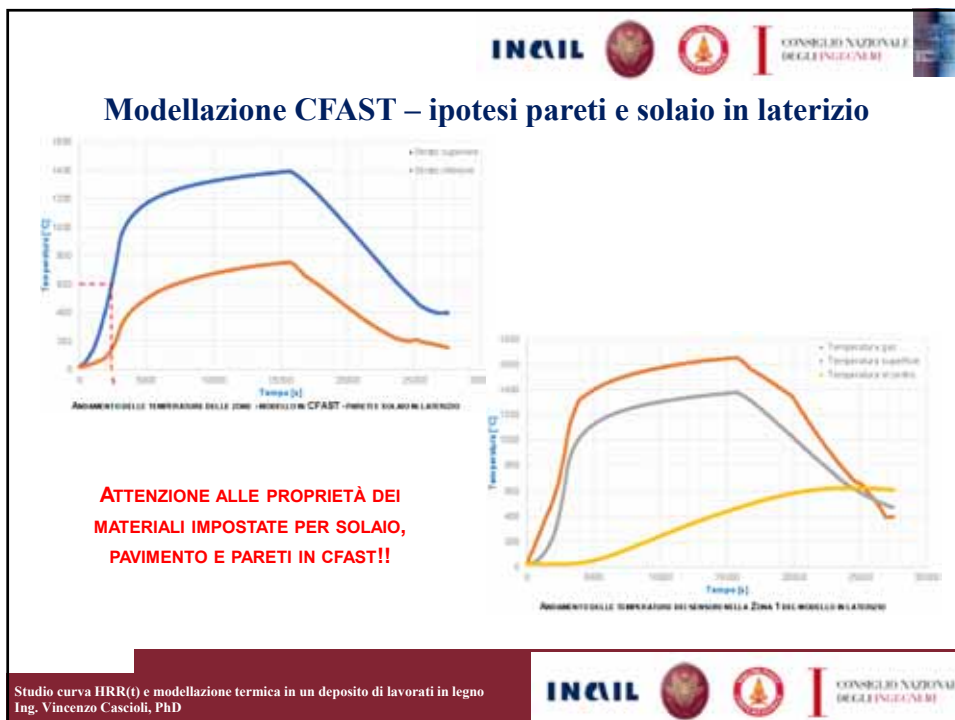
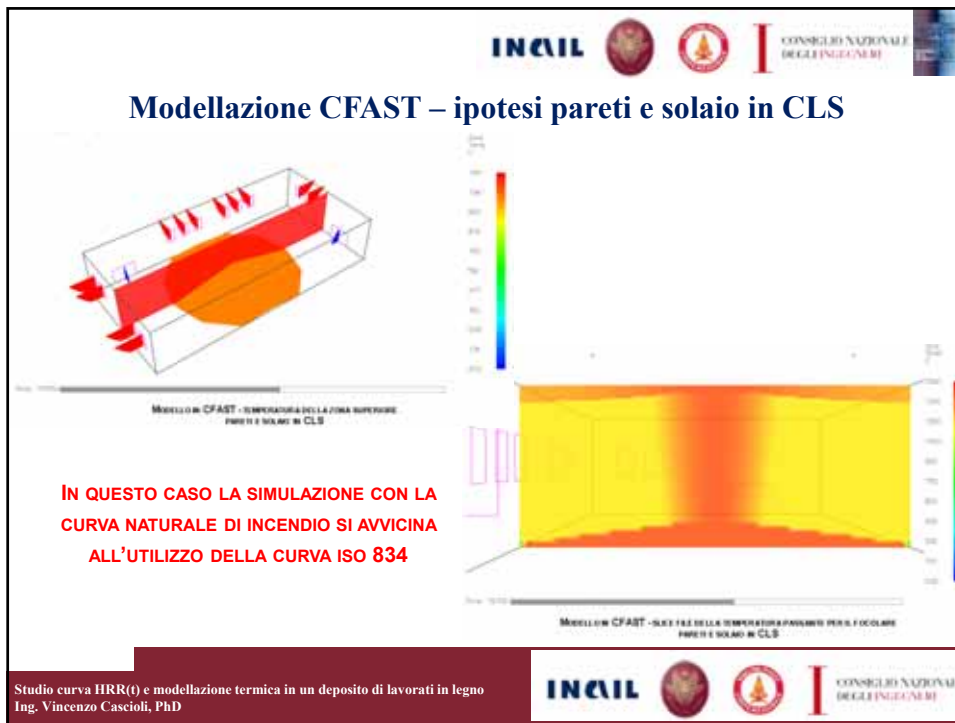
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
 Ing. Vincenzo Cascioli, PhD




Modellazione CFAST – ipotesi pareti e solaio in CLS



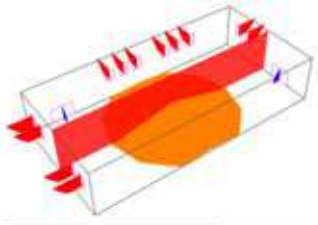
IN QUESTO CASO LA SIMULAZIONE CON LA CURVA NATURALE DI INCENDIO SI AVVICINA ALL'UTILIZZO DELLA CURVA ISO 834

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
 Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

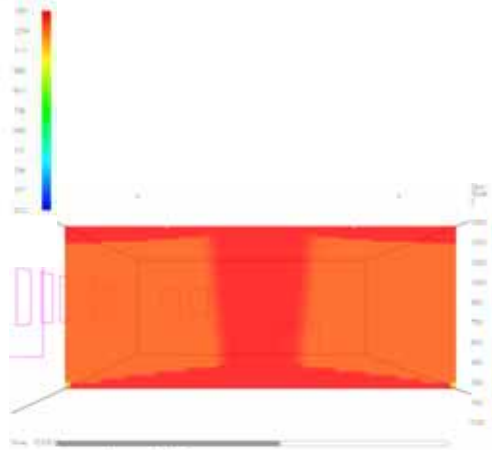





 CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Modellazione CFAST – ipotesi pareti e solaio in laterizio






MODELLO CFAST - TEMPERATURA DELLA ZONA SUPERIORE
PARETI E SOLAIO IN LATERIZIO






MODELLO CFAST - INDICE DEL RISK DELLA TEMPERATURA MASSIMA PER IL FOCOLARE
PARETI E SOLAIO IN LATERIZIO

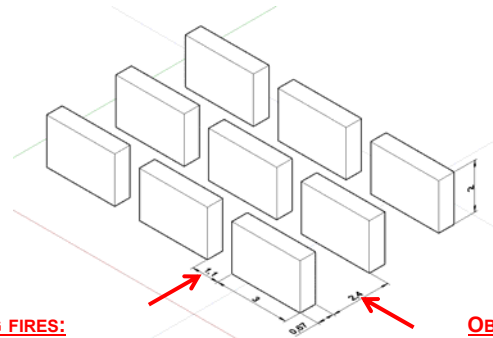
ATTENZIONE ALLE PROPRIETÀ DEI MATERIALI IMPOSTATE PER SOLAIO, PAVIMENTO E PARETI IN CFAST!!

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno
 Ing. Vincenzo Cascioli, PhD




 CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI




 CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Modellazione CFAST – gestione del combustibile - focolare da 5 MW






TRAVELLING FIRES:

STUDIO APPROFONDITO DELLA PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO TRA I BLOCCHI DI STOCCAGGIO (ES. CON FDS)

OBIETTIVO:

IMPEDIRE LA PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO TRA I BLOCCHI DI STOCCAGGIO TRAMITE DISTANZA DI SICUREZZA INTERNA

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno
 Ing. Vincenzo Cascioli, PhD




 CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI

Modellazione CFAST – gestione del combustibile - focolare da 5 MW

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_a	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
RHRmax totale	5 MW	50 MW
RHRmax per m ² di superficie del focolare	250-500 kW/m ² [1]	500 -1000 kW /m ² [1]
Resa in particolato Ysoot	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio YCO	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔHC	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio YCO2	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua YH2O	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR_{max} totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.
 [2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 "Soot Yield Values for Modeling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008
 [3] "CIVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code
 [4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008, Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da poluretthane flexible foams.
 [5] Stac A A, Hull T R, "Fire Toxicity", woodhead Pub., 2010, § 2.4 con $ct = 1,25$ (underventilated fire)
 [6] In alternativa alle rese Y_{CO2} e Y_{H2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico C₁₇O_{2,5}.

TAB. M.2-2: FOCOLARI PREDEFINITI

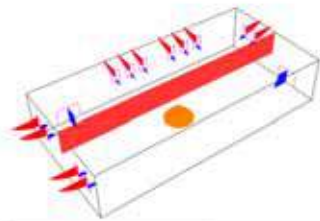
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
 Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Modellazione CFAST – gestione del combustibile - focolare da 5 MW



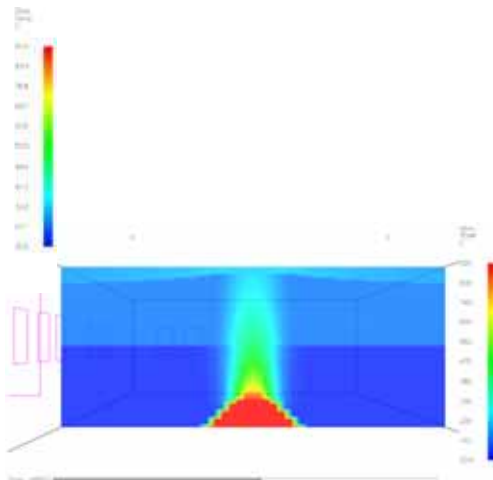
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
 Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Modellazione CFAST – gestione del combustibile - focolare da 5 MW



Modello CFAST - temperatura della zona superiore

ATTENZIONE ALLA DISPOSIZIONE DEI MATERIALI NEL COMPARTIMENTO E ALLA DISTANZA TRA I BLOCCHI DI STOCCAGGIO!!



Modello CFAST - serie file della temperatura fornite per il focolare

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

M.2.6.2 Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

M.2.6.2

Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

1. Se nell'attività sono previsti sistemi di controllo dell'incendio di tipo automatico (es. impianto sprinkler), l'andamento della potenza termica rilasciata $RHR(t)$ non raggiunge il valore massimo RHR_{max} , calcolato secondo quanto previsto al paragrafo M.2.6.3, che avrebbe potuto raggiungere in relazione alle condizioni del combustibile ed a quelle ambientali, ma può essere assunta costante e pari al valore di $RHR(t)$ raggiunto all'istante t_1 di entrata in funzione dell'impianto automatico. Tale valore permane per un intervallo di tempo pari alla durata di alimentazione prevista per l'impianto, entro cui si presume che l'incendio controllato venga definitivamente estinto mediante l'intervento manuale.
2. In ogni caso il progettista è tenuto a valutare l'affidabilità di funzionamento dei sistemi automatici di controllo dell'incendio considerati in fase progettuale ai fini della modifica dell'andamento della curva $RHR(t)$.
3. Se nell'attività sono invece previsti sistemi automatici di estinzione completa dell'incendio (es. ESFR, water mist, ...), il loro effetto deve essere valutato caso per caso in relazione alla loro efficacia ed all'affidabilità di funzionamento.
3. A differenza dell'attivazione dei sistemi automatici, l'intervento manuale effettuato dalle squadre antincendio non può essere considerato in fase progettuale ai fini della modifica dell'andamento della curva $RHR(t)$.

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavori in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

M.2.6.2 Effetto dei sistemi automatici di controllo dell'incendio

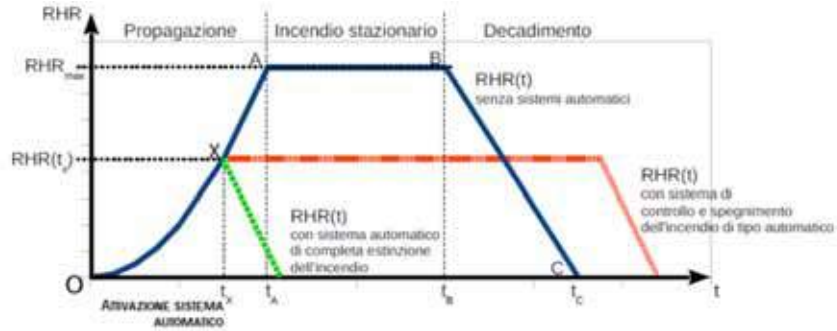
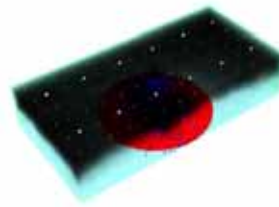
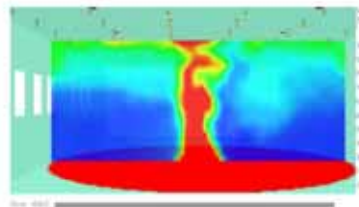
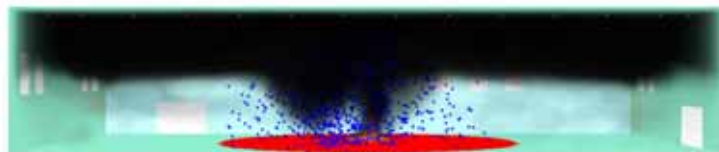


Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Modellazione CFAST – con impianto spegnimento (Q3)

STUDIO DEL TEMPO DI ATTIVAZIONE DELL'IMPIANTO SPRINKLER (FDS)

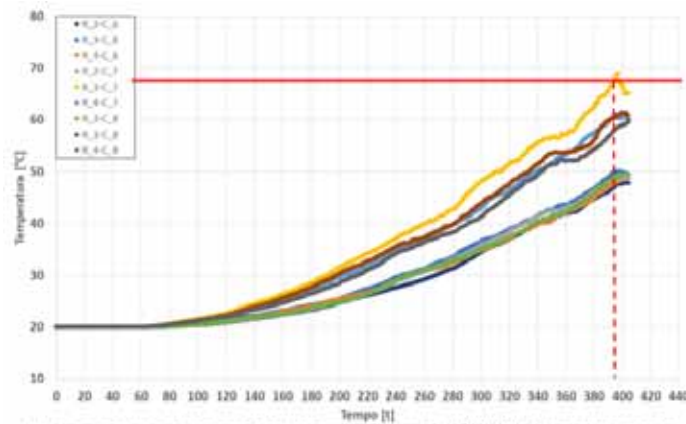


SLICE FILE DELLA TEMPERATURA DEL FOCOLARO (A SINISTRA) E VISTA ISOMETRICA DEL FUMO (A DESTRA) AL TEMPO $t = 404,5$ s

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

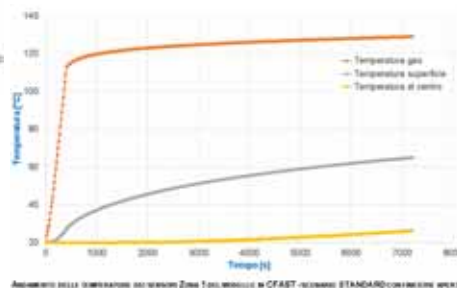
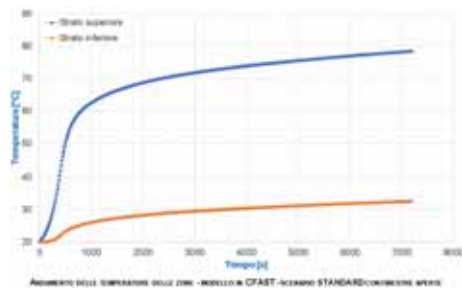
Modellazione CFAST – con impianto spegnimento (Q3)

STUDIO DEL TEMPO DI ATTIVAZIONE DELL'IMPIANTO SPRINKLER (FDS)



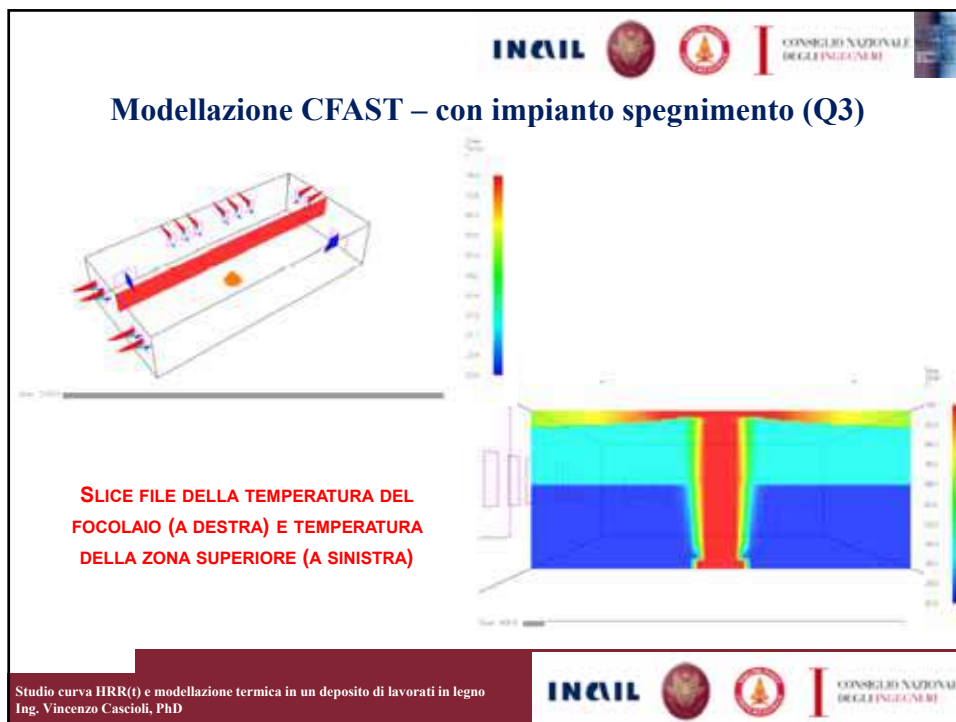
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

Modellazione CFAST – con impianto spegnimento (Q3)



LA CURVA HRR OTTENUTA TRAMITE FDS
(TEMPO DI APERTURA DELLO SPRINKLER) SI
IMPORTA COME INPUT DI CFAST PER
OTTENERE LA CURVA NATURALE DI INCENDIO

Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD



Grazie per l'attenzione!

Riferimenti:

Ing. Vincenzo Cascioli:

e-mail: v.cascioli@ingeniagpa.it

telefono: 328 9720176

[Profilo LinkedIn](#)