



ORGANIZZANO IN COLLABORAZIONE CON:





**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](mailto:v.cascioli@ingeniagpa.it)


## 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



## 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  $q_{f,d}$  di cui al paragrafo S.2.9 ponendo pari ad 1 i coefficienti  $\delta_{s,i}$  relativi alle misurazioni 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

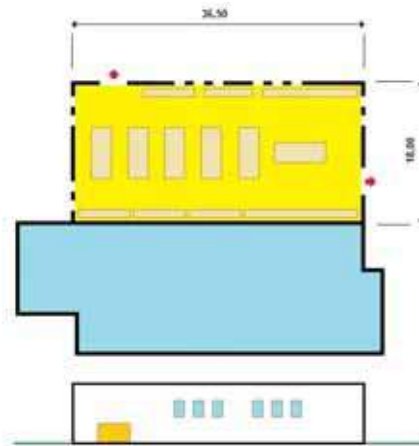
1. Deve essere descritta tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a partire dall'evento iniziatore per un intervallo di tempo che dipende dagli obiettivi di sicurezza da raggiungere come riportato in tabella M.2-1.

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 ( $A_v = 657 \text{ m}^2$ )	
Apparecchiatura costruttiva	Strutture portanti in C.A.	
	Densità pareti in CLS	$\rho = 2300 \text{ kg/m}^3$
	Colore specifico	$c_p = 913 \text{ J/kgK}$
	Conduttività termica	$\lambda = 1,45 \text{ W/mK}$
Quantità di materiale	$Q_{tot} = 1.600.000 \text{ L}$ (potere calorifico H pari a $17,5 \text{ MJ/kg}$ )	
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 $R_{d,ss}$	A2 (par. G.3.2.1)	
Profilo di rischio $R_{d,ss}$	1 (par. G.3.3.1)	
Tipologia di esodo	Simultaneo (par. 5.4.1.2.a)	
Livello di prestazione per l'esodo	I (par. 5.4.2)	
Percorsi di esodo ai piani	$L_{es} = 60 \text{ m}$ (tab. 5.4.10)	
Vie di esodo orizzontali	Indipendenti (par. 5.4.8.1)	
Uscite dal compartimento	2 avendo $L = 3,50 \text{ m}$ ; $h = 2,35 \text{ m}$ (par. 5.4.8.3)	
Finestre	12 avendo $L = 1,35 \text{ m}$ ; $h = 2,10 \text{ m}$ (3,10 m h avanzate)	
Sistemi antincendio installati	Impianto IRDI (J88 9795) ► Livello III di prestazione (par. 5.7.2.1 e 5.7.4.1) Rete di idranti (JN4 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

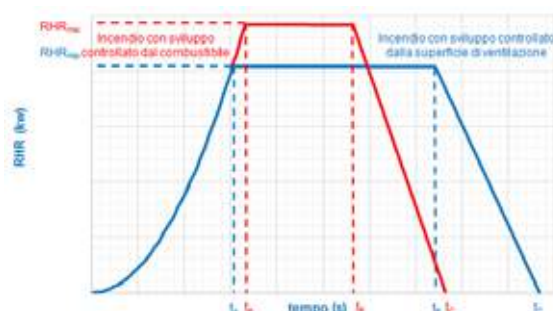
- Costruire la probabile **curva RHR(t) relativa all'incendio** che si sviluppa all'interno dell'edificio, seguendo le prescrizioni di cui al par. M.2.6 e al d.m. 31 luglio 2012,
- Valutare la **quantità di legname bruciata** trascorsi 60 minuti.

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.

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

## Determinazione dei vari parametri significativi della curva



DIFFERENZE TRA INCENDI CONTROLLATI DAL COMBUSTIBILE E DALLA SUPERFICIE DI VENTILAZIONE

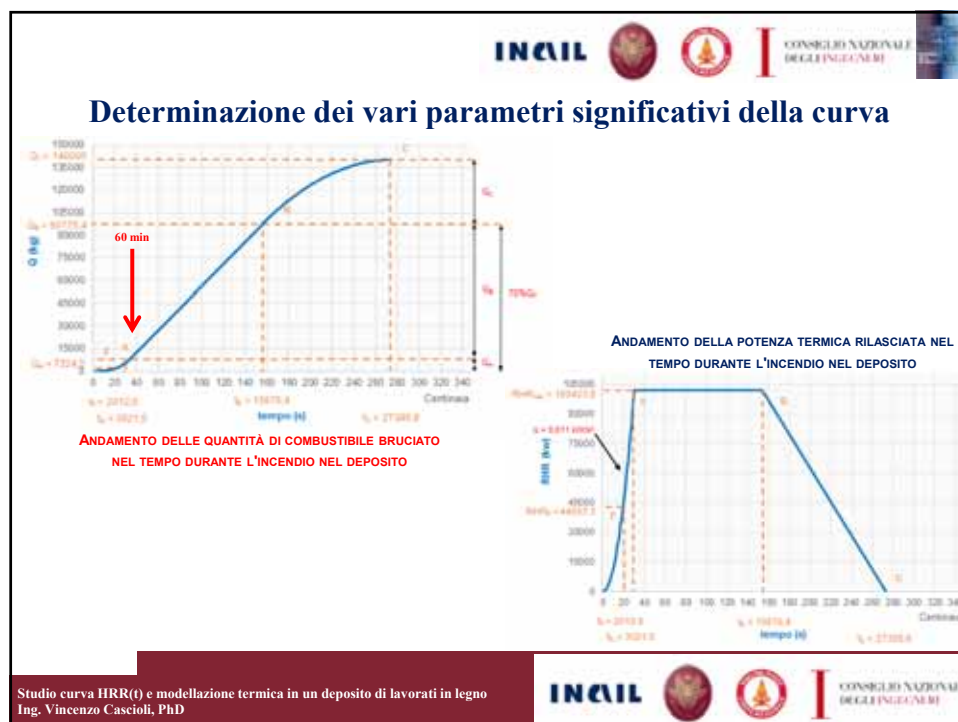
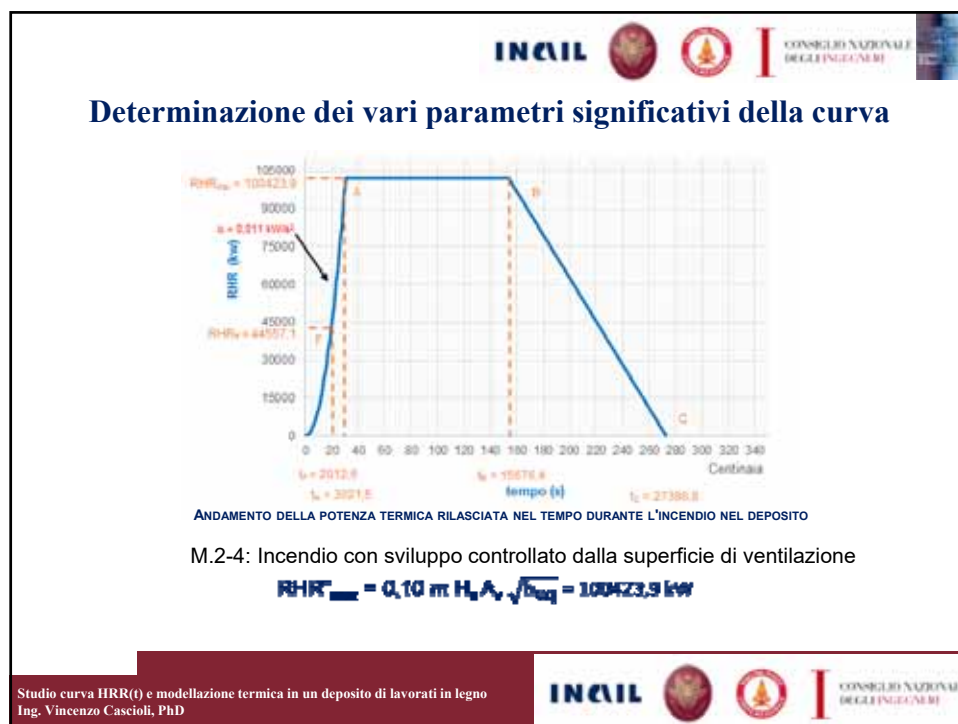
M.2-3: Incendio con sviluppo controllato dal combustibile

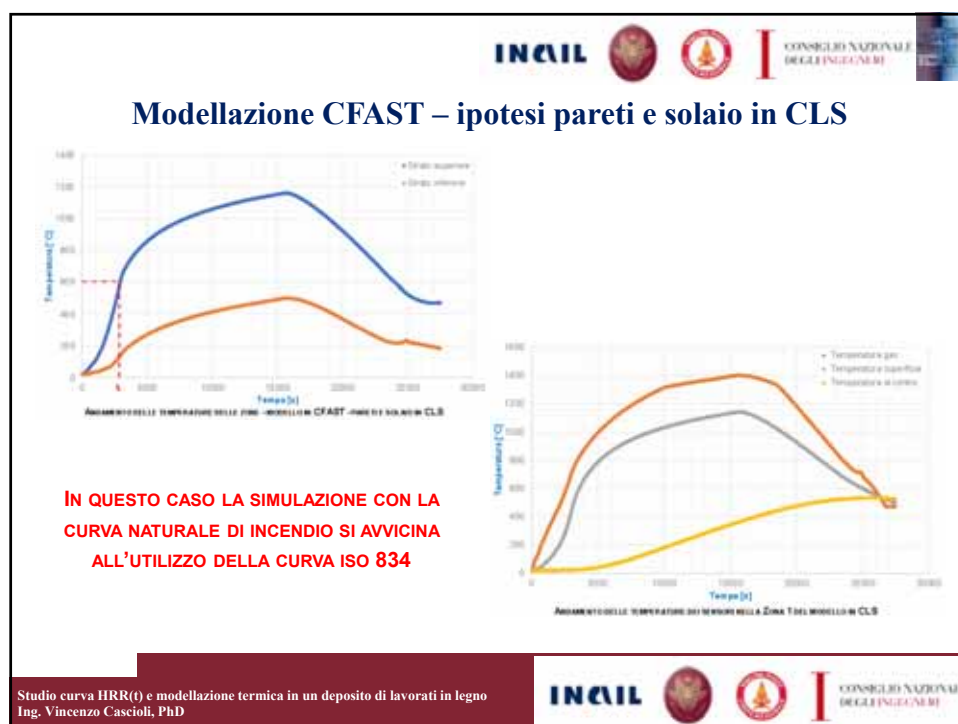
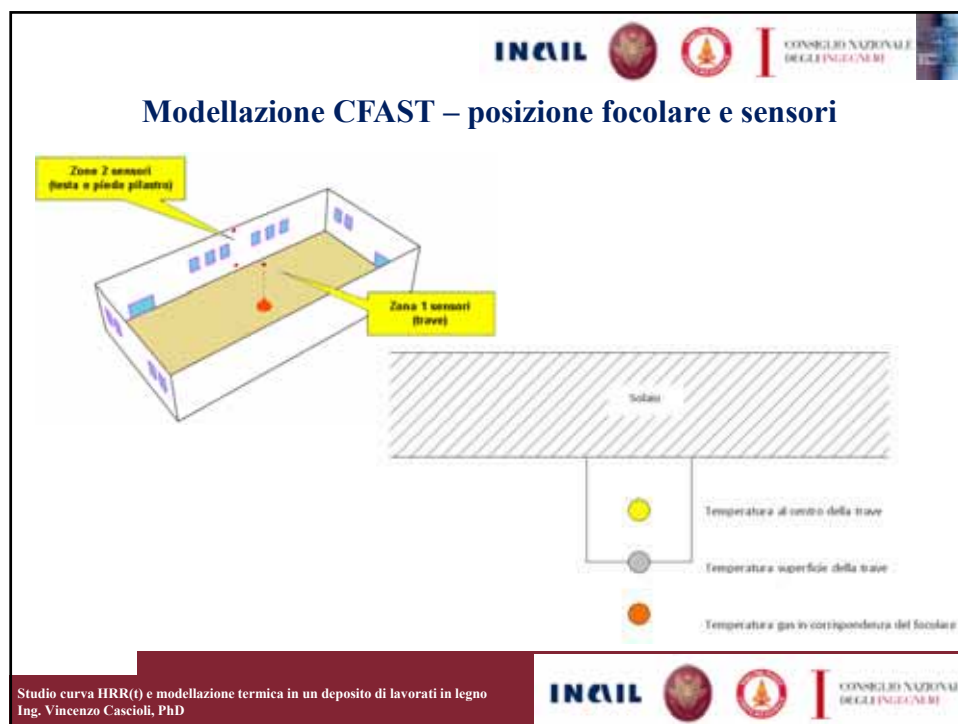
$$RHR'_{\max} = RHR_f \times A_f$$

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

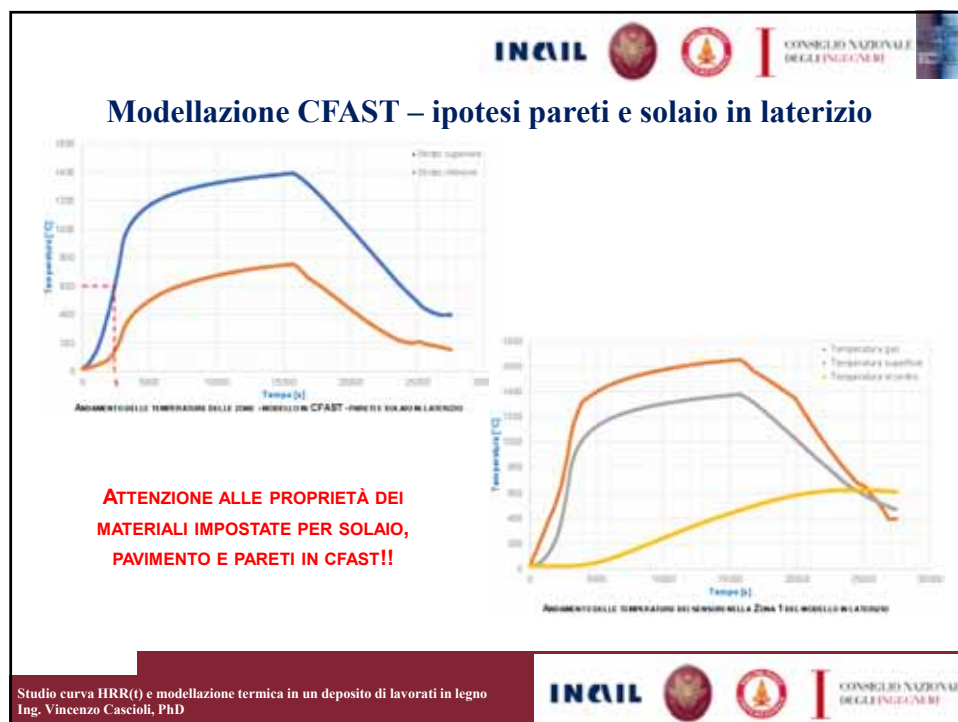
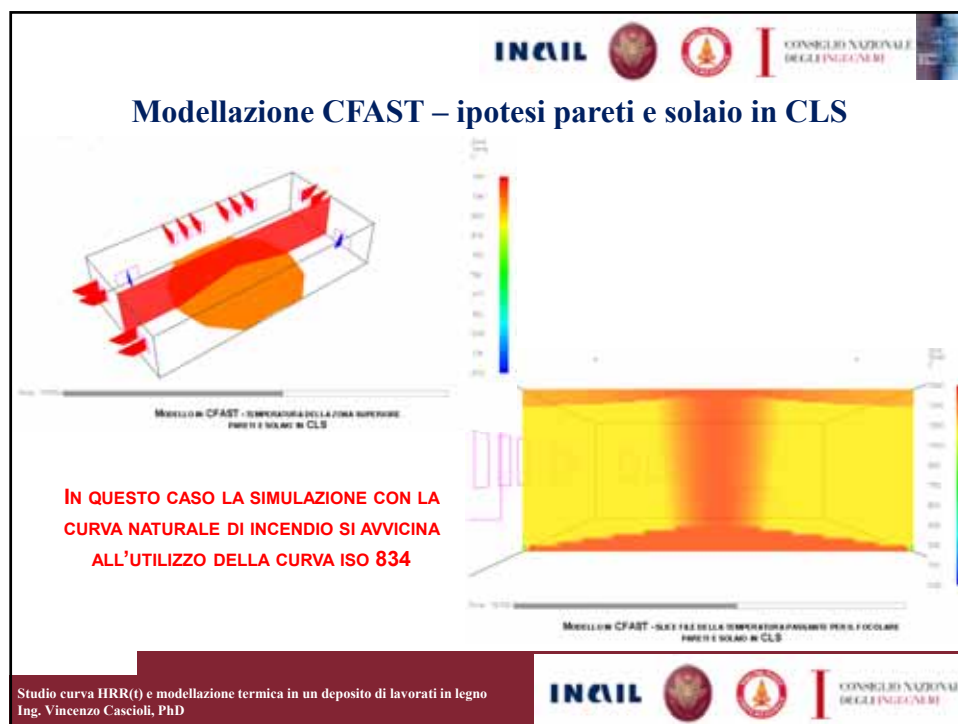
$$RHR'_{\max} = 0,10 \, m \, H_v A_v \sqrt{h_{eq}}$$

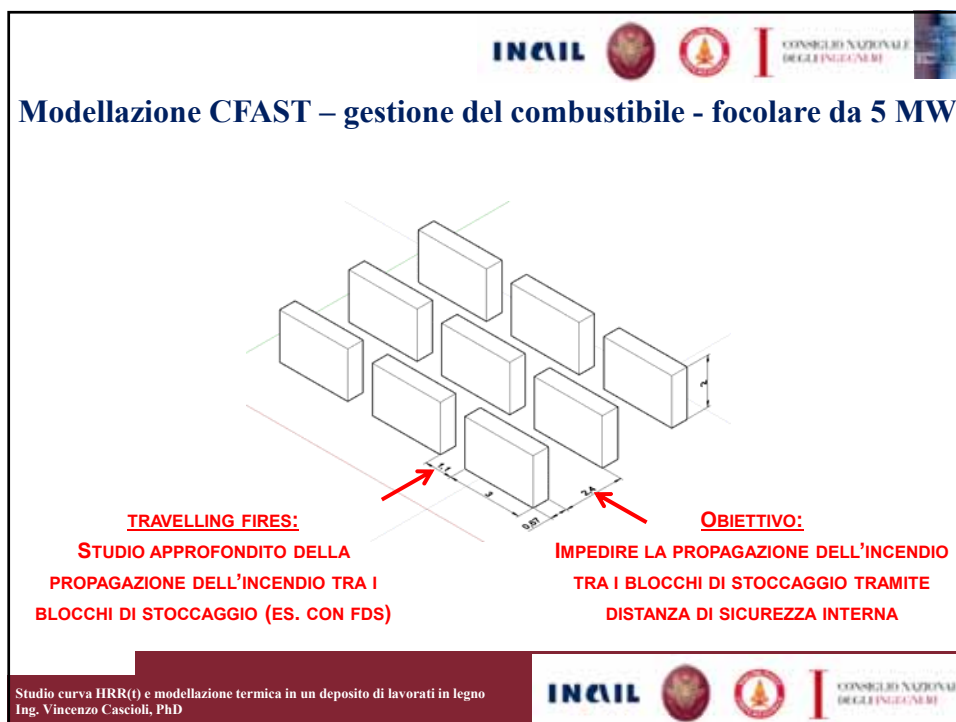
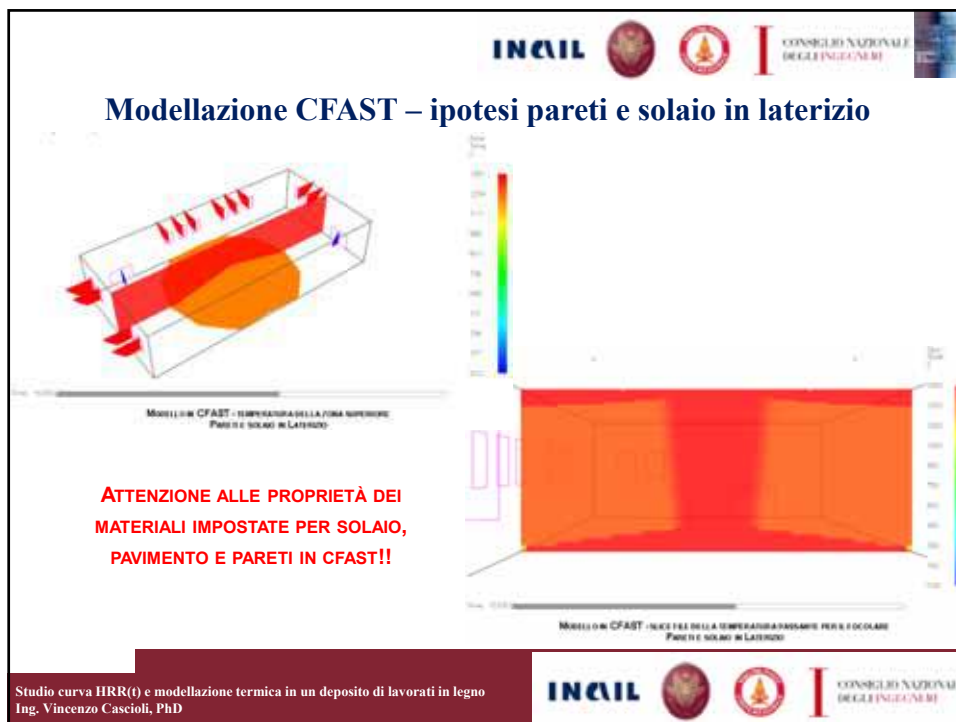
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno  
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD













## Modellazione CFAST – gestione del combustibile - focolare da 5 MW

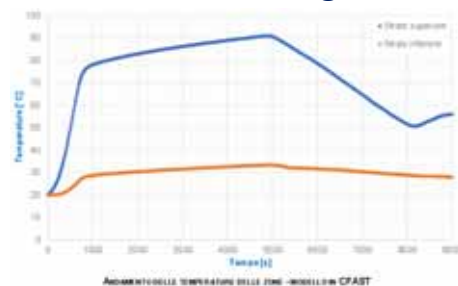
Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio $t_a$	150 s (fast)	75 s (ultra-fast)
RHRmax totale	5 MW	50 MW
RHRmax per $m^2$ di superficie del focolare	250-500 $kW/m^2$ [1]	500 -1000 $kW/m^2$ [1]
Resa in particolato $Y_{soot}$	Pre flashover: 0.07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0.14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0.15 kg/kg [4] Post flashover: 0.36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio $Y_{CO}$	Pre flashover: 0.10 kg/kg [5] Post flashover: 0.40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo $\Delta H_C$	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio $Y_{CO2}$	1.5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua $Y_{H2O}$	0.82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (Radiative fraction)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR<sub>max</sub> 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] "CIVIM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code.  
 [4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4<sup>th</sup> ed., 2008, Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da polyurethane flexible foams.  
 [5] Sten A.A., Hull T.R., "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010, § 2.4 con  $ct \approx 1.25$  (underventilated fire).  
 [6] In alternativa alle rese  $Y_{CO2}$  e  $Y_{H2O}$ , si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico  $C_{17}O_{0.5}$ .

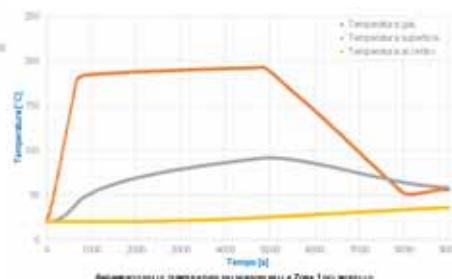
TAB. M.2-2: FOCOLARI PREDEFINITI

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

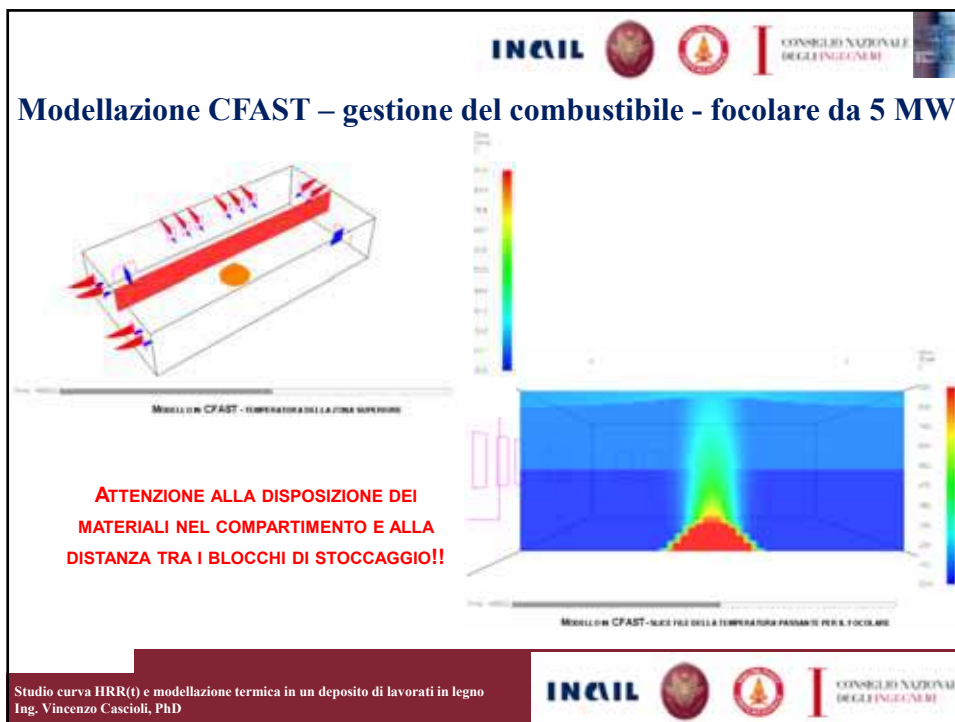
## Modellazione CFAST – gestione del combustibile - focolare da 5 MW







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



Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati 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  $RHR(t_1)$  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 lavorati in legno  
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

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

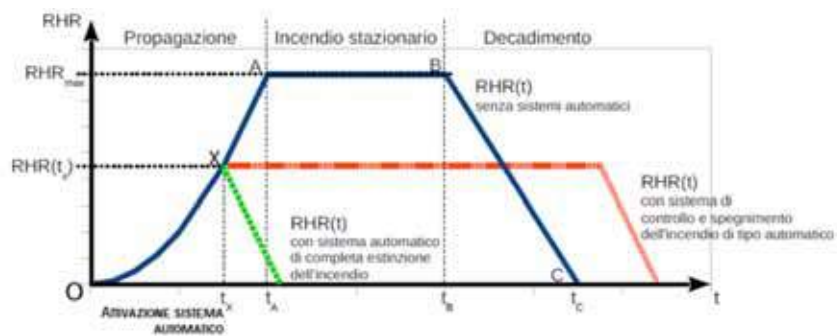
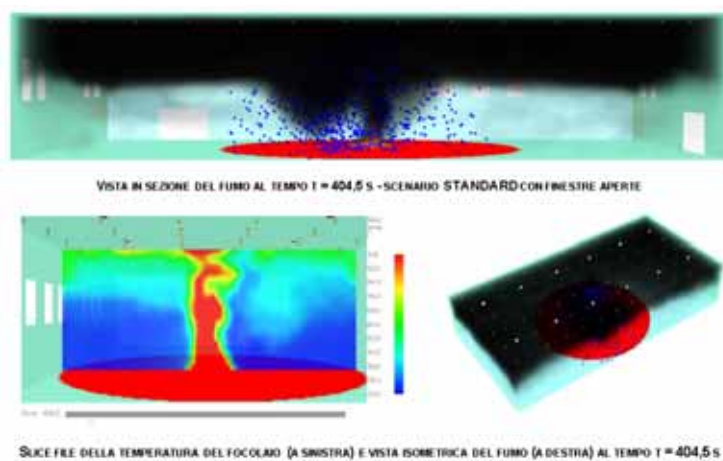


Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

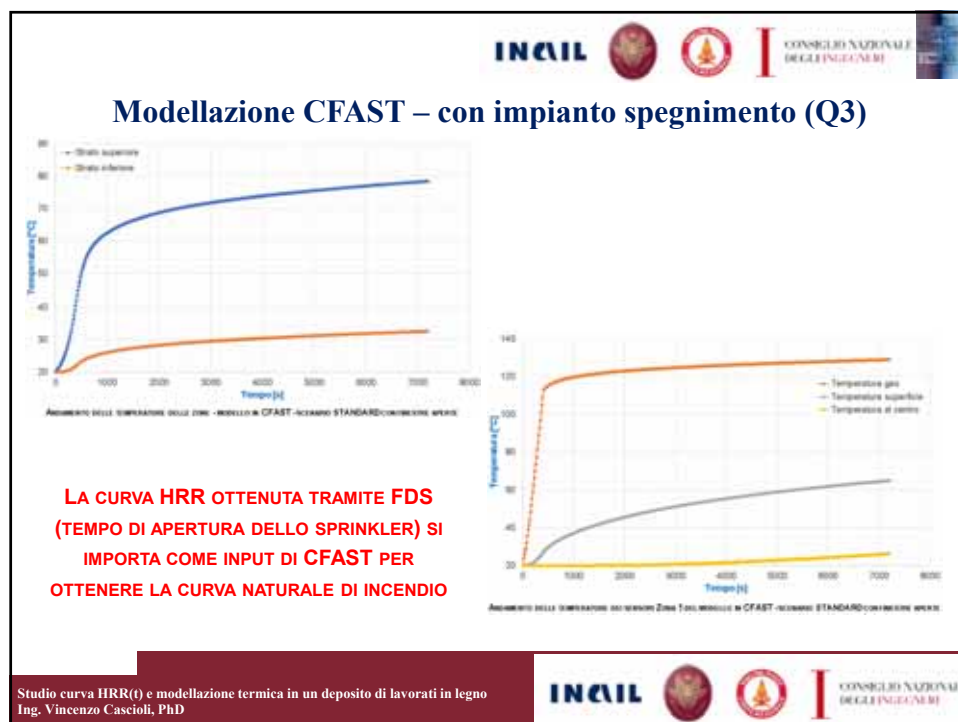
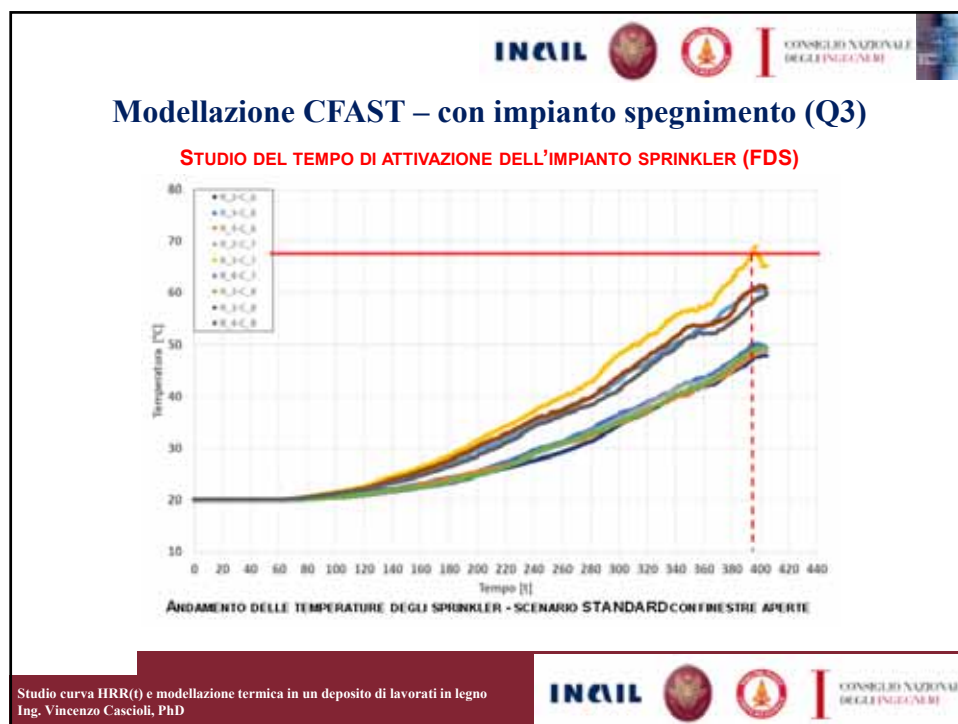
Studio curva HRR(t) e modellazione termica in un deposito di lavorati in legno  
Ing. Vincenzo Cascioli, PhD

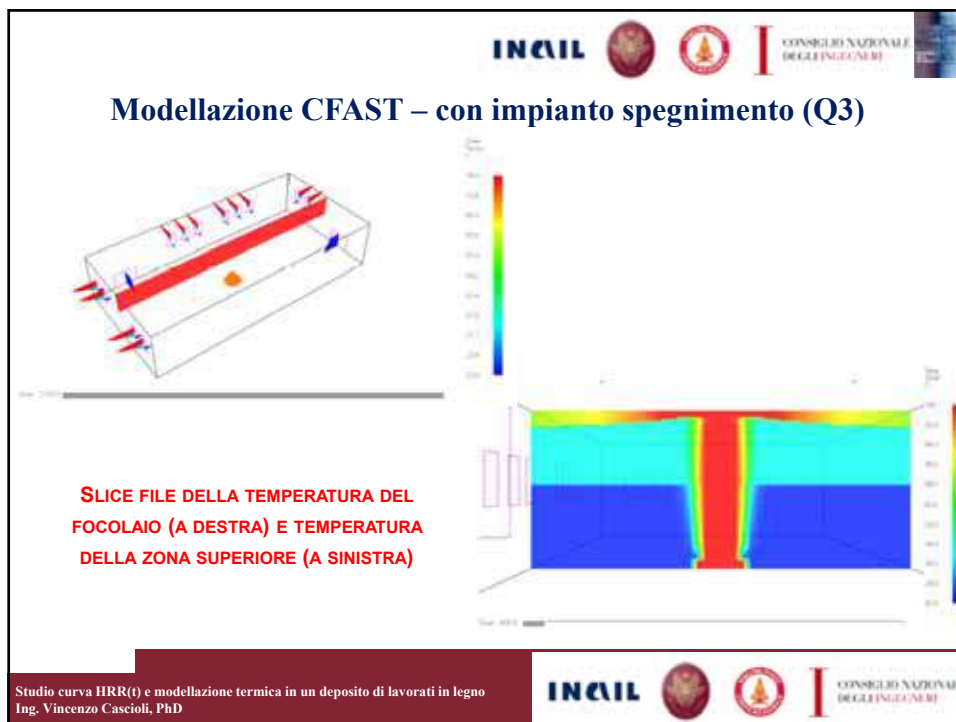
## Modellazione CFAST – con impianto spegnimento (Q3)

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



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





**Risultati dello studio**

Nel definire la curva naturale dell'incendio per il caso studio in oggetto, si è osservato che:

- nei casi ad alto carico di incendio specifico, uniformemente distribuito, la curva di incendio naturale si avvicina alla curva convenzionale ISO 834;
- osservando le differenze tra il caso con involucro in CLS e quello in laterizio, si osserva un incremento notevole di temperature: è necessario selezionare accuratamente i parametri termofisici alla base della modellazione;
- la diminuzione del carico di incendio e l'ottimizzazione delle distanze di sicurezza tra i blocchi di materiale permettono di ottenere curve naturali termicamente meno severe;
- l'utilizzo di impianti di controllo automatico dell'incendio (unito ad una elevata affidabilità di funzionamento dell'impianto stesso) permette di ottenere curve di incendio naturale con temperature più contenute.

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](mailto:v.cascioli@ingeniagpa.it)**

**telefono: 328 9720176**

**[Profilo LinkedIn](#)**