

## FSE e verifica della resistenza al fuoco come soluzione alternativa secondo i D.M. 03/08/2015 e D.M. 21/02/2017

Le modalità di verifica della resistenza al fuoco degli elementi sono definite o nel decreto 16 febbraio 2007 o nel decreto 3 agosto 2015.

Il comma 3 dell'articolo 2 del D.M. 16/02/2007 riporta "Le prestazioni di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi possono essere determinate in base ai risultati di:

- a) prove;
- b) calcoli;
- c) confronti con tabelle."

Nell'allegato al decreto 16 febbraio 2007 sono riportate le indicazioni per la determinazione delle prestazioni di resistenza al fuoco, in particolare

- Allegato B – Modalità per la classificazione in base ai risultati di prove
- Allegato C – Modalità per la classificazione in base ai risultati di calcoli
- Allegato D – Modalità per la classificazione in base a confronti con tabelle

Relativamente alla modalità di verifica analitica di resistenza al fuoco, indicazioni sono anche contenute nell'allegato al decreto 9 marzo 2007, in particolare nella sezione

### 4. SCENARI E INCENDI CONVENZIONALI DI PROGETTO.

1. Per definire le azioni del fuoco, devono essere determinati i principali scenari d'incendio e i relativi incendi convenzionali di progetto, sulla base di una valutazione del rischio d'incendio.
2. In linea generale, gli incendi convenzionali di progetto devono essere applicati ad un compartimento dell'edificio alla volta, salvo che non sia diversamente indicato nello scenario d'incendio. In particolare in un edificio multipiano sarà possibile considerare separatamente il carico di incendio dei singoli piani qualora gli elementi orizzontali di separazione posseggano una capacità di compartimentazione adeguata nei confronti della propagazione verticale degli incendi.
3. A seconda dell'incendio convenzionale di progetto adottato, l'andamento delle temperature negli elementi sarà valutato in riferimento:
  - a una curva nominale d'incendio di quelle indicate successivamente, per l'intervallo di tempo di esposizione pari alla classe di resistenza al fuoco prevista, senza alcuna fase di raffreddamento;
  - a una curva naturale d'incendio, tenendo conto dell'intera durata dello stesso, compresa la fase di raffreddamento fino al ritorno alla temperatura ambiente.

Il paragrafo 4.1 del decreto riporta le equazioni che rappresentano le curve nominali dell'incendio, la curva normalmente presa come riferimento è indicata come ISO 834 o curva nominale standard.

Il paragrafo 4.2. Curve naturali di incendio al comma 1 indica le modalità di creazione di una curva naturale "Nel caso in cui il progetto sia condotto con un approccio prestazionale, secondo le indicazioni contenute in specifici provvedimenti emanati dal Ministero dell'interno, la capacità portante e/o la capacità di compartimentazione, in alternativa al metodo che fa riferimento alle classi, può essere verificata rispetto all'azione termica della curva naturale di incendio, applicata per l'intervallo di tempo necessario al ritorno alla temperatura ordinaria, da determinarsi attraverso:

- modelli di incendio sperimentali oppure,
- modelli di incendio numerici semplificati oppure,
- modelli di incendio numerici avanzati."

Particolare attenzione si deve prestare alle indicazioni riportate al comma 3 “Qualora si adotti uno di questi metodi, deve essere eseguita anche la verifica della capacità portante e/o della capacità di compartimentazione degli elementi costruttivi rispetto all’azione termica della curva di incendio nominale standard con riferimento alle classi riportate nella tabella 5 in funzione del carico d’incendio specifico di progetto ( $q_{f,d}$ ) definito al punto 2.”.

| Carichi d’incendio specifici di progetto ( $q_{f,d}$ ) | Classe |
|--------------------------------------------------------|--------|
| Non superiore a 300 MJ/m <sup>2</sup>                  | 0      |
| Non superiore a 450 MJ/m <sup>2</sup>                  | 15     |
| Non superiore a 600 MJ/m <sup>2</sup>                  | 20     |
| Non superiore a 900 MJ/m <sup>2</sup>                  | 30     |
| Non superiore a 1200 MJ/m <sup>2</sup>                 | 45     |
| Non superiore a 1800 MJ/m <sup>2</sup>                 | 60     |
| Non superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>                 | 90     |
| Superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>                     | 120    |
| <b>Tabella 5</b>                                       |        |

Nel caso di applicazione della curva naturale dell’incendio, si dovrà quindi effettuare la verifica analitica dell’elemento nel rispetto dei valori della seguente tabella, in funzione del carico d’incendio specifico di progetto ( $q_{f,d}$ )

| Carichi d’incendio specifici di progetto ( $q_{f,d}$ ) | Classe minima (tabella 5) | Classe di riferimento |
|--------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Non superiore a 300 MJ/m <sup>2</sup>                  | 0                         | 20                    |
| Non superiore a 450 MJ/m <sup>2</sup>                  | 15                        | 30                    |
| Non superiore a 600 MJ/m <sup>2</sup>                  | 20                        | 45                    |
| Non superiore a 900 MJ/m <sup>2</sup>                  | 30                        | 60                    |
| Non superiore a 1200 MJ/m <sup>2</sup>                 | 45                        | 90                    |
| Non superiore a 1800 MJ/m <sup>2</sup>                 | 60                        | 120                   |
| Non superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>                 | 90                        | 180                   |
| Superiore a 2400 MJ/m <sup>2</sup>                     | 120                       | 240                   |
| <b>Scenario di incendio</b>                            | <b>Curva nominale</b>     | <b>Curva naturale</b> |

L’introduzione della curva naturale dell’incendio offre al professionista una nuova frontiera per la verifica analitica della resistenza al fuoco delle strutture.

La possibilità di simulare un incendio è infatti un aspetto molto interessante durante la fase di progettazione o verifica, permettendo con un’analisi di fluido dinamica, di simulare in un ambiente virtuale il comportamento dell’incendio e di poter stimare lo stress termico a cui saranno assoggettate le strutture da analizzare.

L’introduzione del decreto 3 agosto 2015 ha ampliato le possibilità di utilizzo della Fire Safety Engineering, che viene definita una soluzione alternativa (**alternative solution**) alle soluzioni conformi, ovvero una soluzione progettuale prestazionale che richiede ulteriori valutazioni tecniche, che offre al professionista la possibilità di utilizzare software e simulazioni CFD all’interno dell’analisi quantitativa prevista nella progettazione prestazionale.

Relativamente alla strategia **S.2 Resistenza al fuoco**, la Fire Safety Engineering rappresenta la soluzione ideale per verificare le soluzioni alternative per i differenti livelli di prestazione.

Relativamente al livello I, la verifica della soluzione alternativa prevista dal punto S.2.4.6.1.b “assenza di danneggiamento ad altre costruzioni per effetto di collasso strutturale.” è specificata al comma 3 del paragrafo che riporta “Ai fini della verifica dell’assenza di danneggiamento ad altre costruzioni, devono essere adottate soluzioni atte a dimostrare che il meccanismo di **collasso strutturale** in condizioni di

incendio non arrechi danni ad altre costruzioni. Dette **verifiche** devono essere **condotte** 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.”

Relativamente al livello II, la verifica della soluzione alternativa prevista al punto S.2.4.7.1.c “mantenimento della capacità portante in condizioni di incendio per un periodo sufficiente all’evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all’esterno della costruzione. La capacità portante deve essere comunque tale da garantire un margine di sicurezza  $t_{\text{marg}}$  (paragrafo M.3.2.2) non inferiore a 100% RSET e comunque non inferiore a 30 minuti.” è specificata al comma 3 del paragrafo che riporta “Per la verifica del mantenimento della capacità portante in condizioni di incendio, le soluzioni alternative 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.”

Relativamente al livello III, la soluzione alternativa è indicata al paragrafo S.2.4.8.2 che riporta “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.”.

Il paragrafo **S.2.6 Verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco con curve naturali di incendio** fa riferimento alla sezione M.2 del decreto 3 agosto 2015 per la determinazione della curva naturale dell’incendio mediante l’utilizzo di modelli di incendio numerici avanzati.

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.

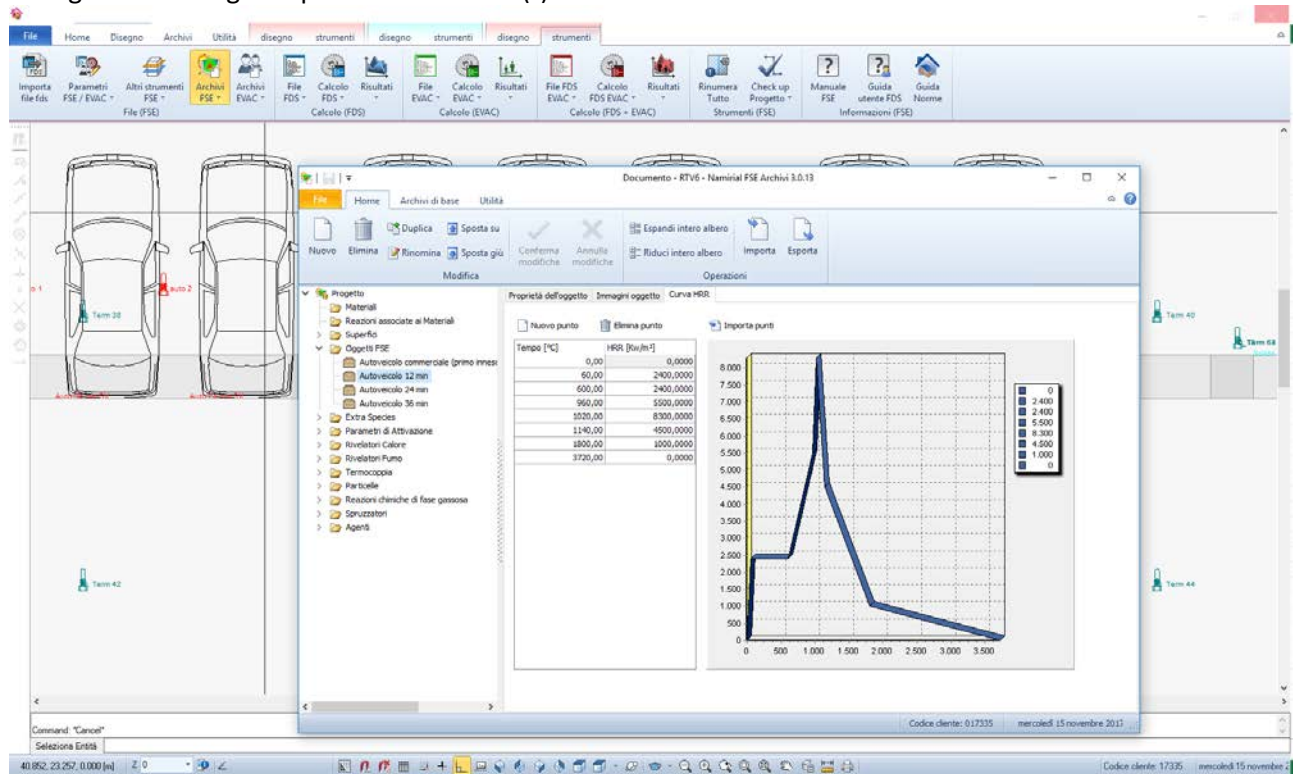
Il capitolo **V.6.7 Metodi** del decreto del ministero dell’interno 21 febbraio 2017 “Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi per le attività di autorimessa.” rappresenta un utile riferimento per il professionista che vuole utilizzare la soluzione alternativa.

Nel capitolo sono contenute le indicazioni utili per l’utilizzo di questa metodologia.

#### **V.6.7.1 Scenari per la verifica della capacità portante in caso di incendio**

1. Ai fini dell’applicazione dei metodi dell’ingegneria della sicurezza antincendio, possono essere adottate le indicazioni di seguito riportate.
2. Possono essere impiegati gli scenari d’incendio di progetto (cap.M2) descritti nel presente paragrafo per le autorimesse aventi entrambe le seguenti caratteristiche:
  - a. autorimessa aperta le cui aperture di smaltimento costituiscano almeno il 50% della superficie complessiva della facciata su cui sono attestate;
  - b. autorimessa fuori terra ed a spazio aperto.
3. Per la definizione degli incendi naturali di progetto, si considerano le curve RHR(t) di cui alle tabelle V.6-5, V.6-6, V.7-7 in cui il tempo è riferito all’istante d’innesco del veicolo.
4. Con riferimento alla disposizione tipica di parcheggio all’interno di un’autorimessa, il tempo di propagazione dell’incendio da un veicolo al veicolo adiacente può essere assunto pari a 12 minuti.
5. Gli scenari di incendio di progetto S1, S2 e S3 da impiegare sono indicati nell’Illustrazione A.1-1
6. Gli scenari descritti sono adattati caso per caso in relazione ad eventuali conformazioni particolari del piano di parcheggio.

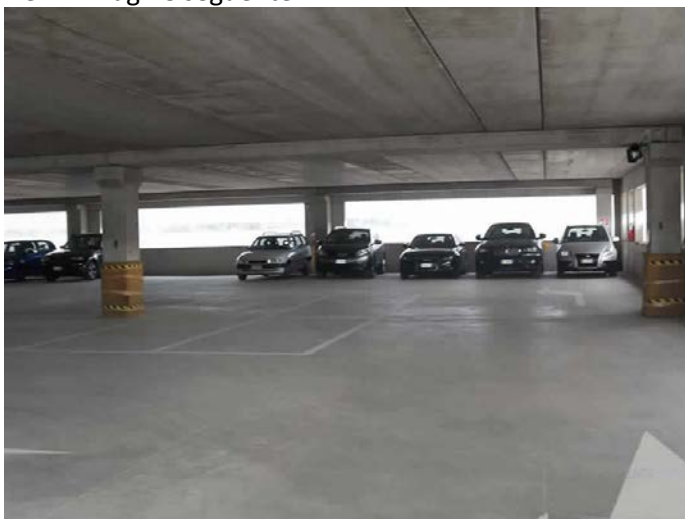
La seguente immagine riporta la curva RHR(t) di un veicolo secondo la tabella V.6-5.



Analizziamo come costruire la curva naturale dell'incendio simulando lo scenario S.2. per la verifica del piano terra, di un'autorimessa multipiano, aventi le seguenti caratteristiche

| Descrizione   | Superficie [mq] | Sup. aerazione [mq] | %              |
|---------------|-----------------|---------------------|----------------|
| Autorimessa   | 2.924           | 450                 | 15,39 (> 15%)  |
| Parete top    | 204             | 136                 | 66,66 (> 50 %) |
| Parete dx     | 129             | 86                  | 66,66 (> 50 %) |
| Parete bottom | 204             | 136                 | 66,66 (> 50 %) |
| Parete sx     | 129             | 92                  | 71,31 (> 50 %) |

Nell'immagine seguente



è riportato un piano tipo dell'autorimessa che rispetta le caratteristiche di applicazione della sezione V.6.7.1 del decreto 21 febbraio 2017 permettendo la definizione della curva naturale dell'incendio

utilizzando le indicazioni contenute nel paragrafo, per la verifica della classe R30 secondo le prestazioni di resistenza al fuoco riportate nel capitolo

#### V. 6.5.2 Resistenza al fuoco

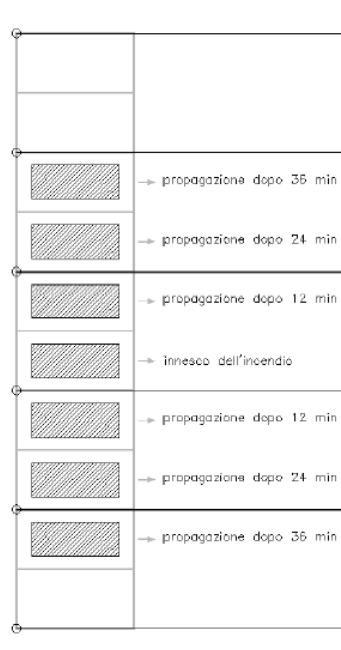
1. Con esclusione delle autorimesse isolate, la classe di resistenza al fuoco dei compartimenti (Capitolo S.2) non può essere comunque inferiore a quanto previsto in tabella V.6-1

| Compartimenti | Classificazione dell'Attività |                    |    |                                          |
|---------------|-------------------------------|--------------------|----|------------------------------------------|
|               | SA SB                         |                    | SC |                                          |
|               | Autorimesse aperte            | Autorimesse chiuse |    |                                          |
|               |                               | HA HB              |    | HC HD                                    |
| Fuori terra   | 30                            | 60                 | 90 | Resistenza al fuoco secondo capitolo S.2 |
| Interrati     | 60                            | 60                 | 90 |                                          |

Tabella V.6-1: Classe minima di resistenza al fuoco

2. L'opera da costruzione contenente l'autosilo deve avere indipendenza strutturale rispetto alle altre opere da costruzione e separata con elementi di resistenza al fuoco almeno di classe 120.

Lo scenario S2 è definito come



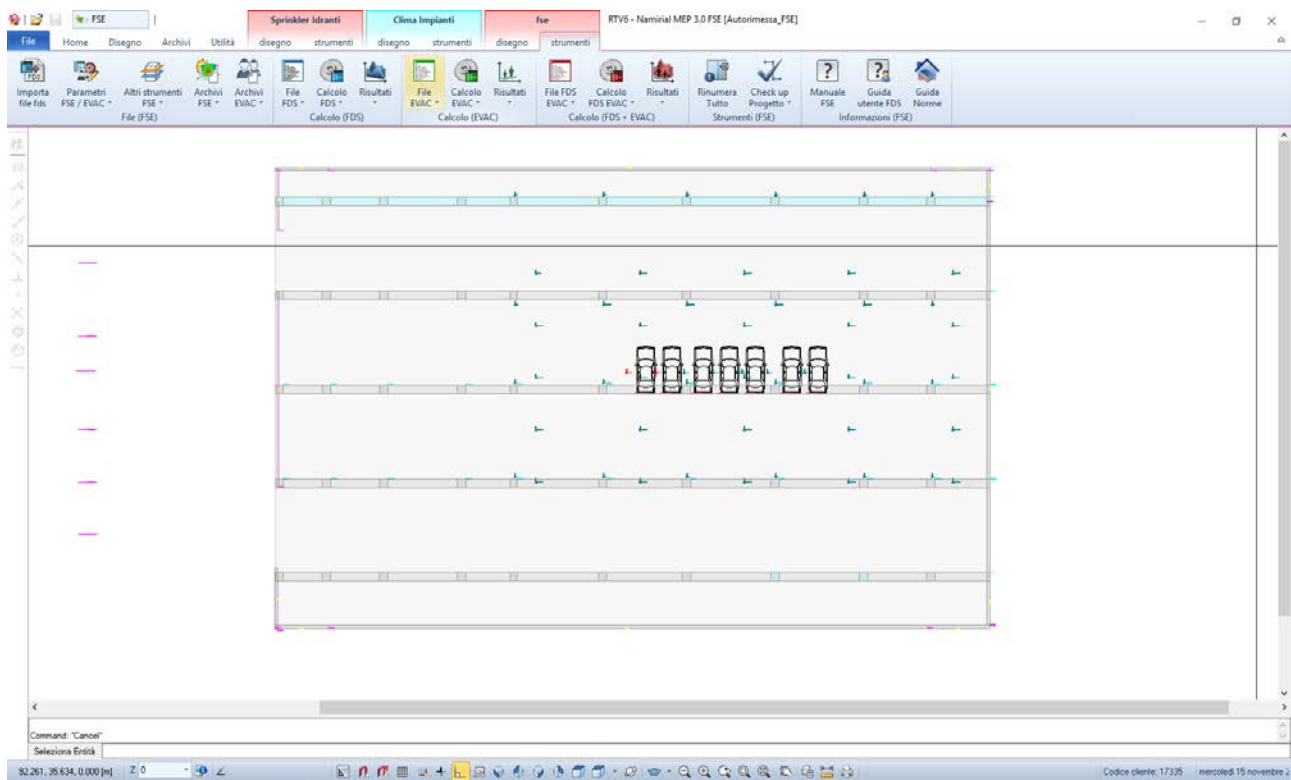
- b) *scenario S2: caratterizzato dalla propagazione simmetrica dell'incendio a partire dall'autoveicolo centrale con un tempo di ritardo dell'innesco pari a 12 minuti, coinvolgendo complessivamente 7 veicoli. Tra questi deve essere prevista la presenza di un autoveicolo commerciale posto al centro, quindi incendiato per primo, o di fianco al primo autoveicolo innescato;*

Attraverso l'utilizzo del motore di calcolo FDS del NIST e del programma CPI WIN FSE per la realizzazione del layout effettueremo una simulazione virtuale dell'andamento dell'incendio.

L'inserimento di termocoppie virtuali all'interno del dominio di calcolo ci permetterà di ottenere le curve naturali di incendio, realizzate con metodi numerici avanzate, da poter utilizzare per la verifica analitica di resistenza al fuoco utilizzando la soluzione alternativa rispettando le indicazioni del paragrafo **S.2.6**.

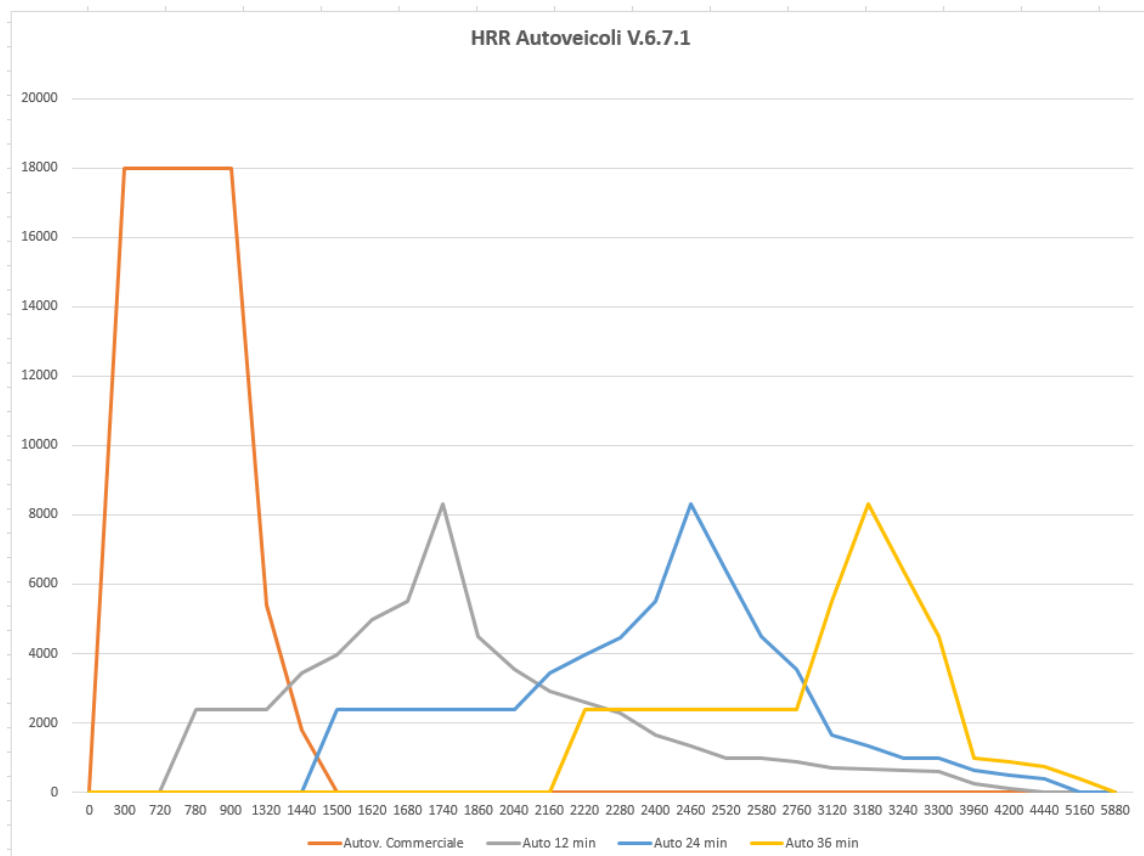
La verifica analitica della resistenza al fuoco delle strutture verrà effettuata con l'utilizzo del software CPI WIN REI.

Dopo aver costruito le pareti esterne del piano dell'autorimessa, si predispone il layout dello scenario S2



Supponendo che il veicolo centrale sia il primo ad incendiarsi e sia rappresentato da un autoveicolo commerciale, mentre le altre 3 macchine (simmetricamente a destra e sinistra) si incendino rispettivamente dopo 12, 24 e 36 minuti.

La seguente immagine riporta le curve RHR(t) nel caso dello scenario di progetto S2



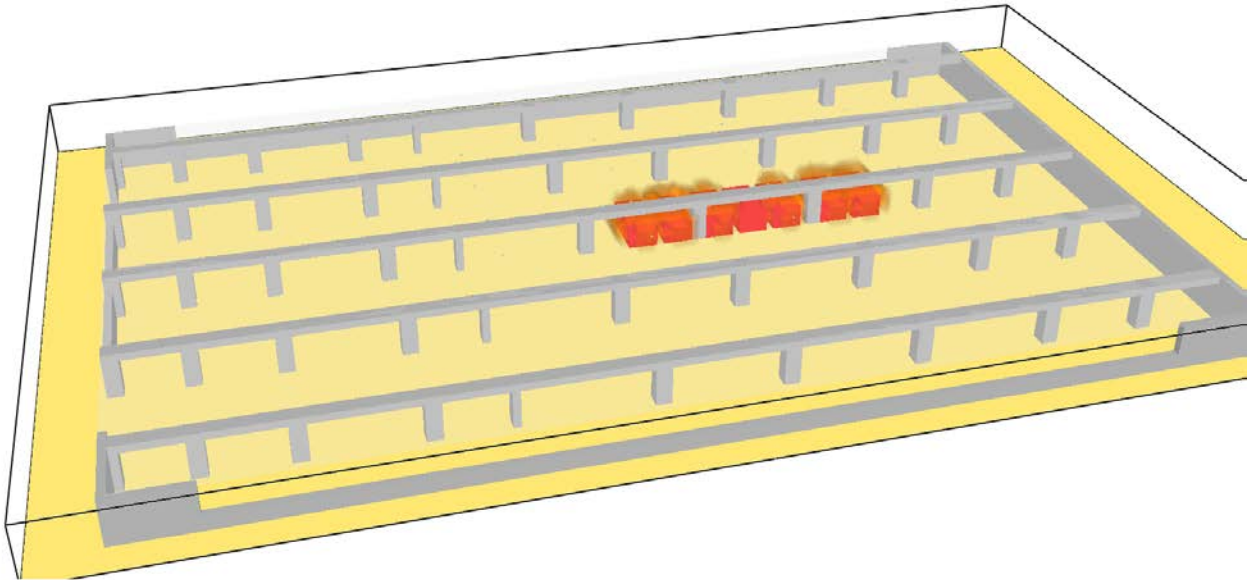
Visualizzazione dello scenario S2 all'interno del motore di calcolo FDS relativamente al tempo di calcolo pari a 7200 s

RTV5

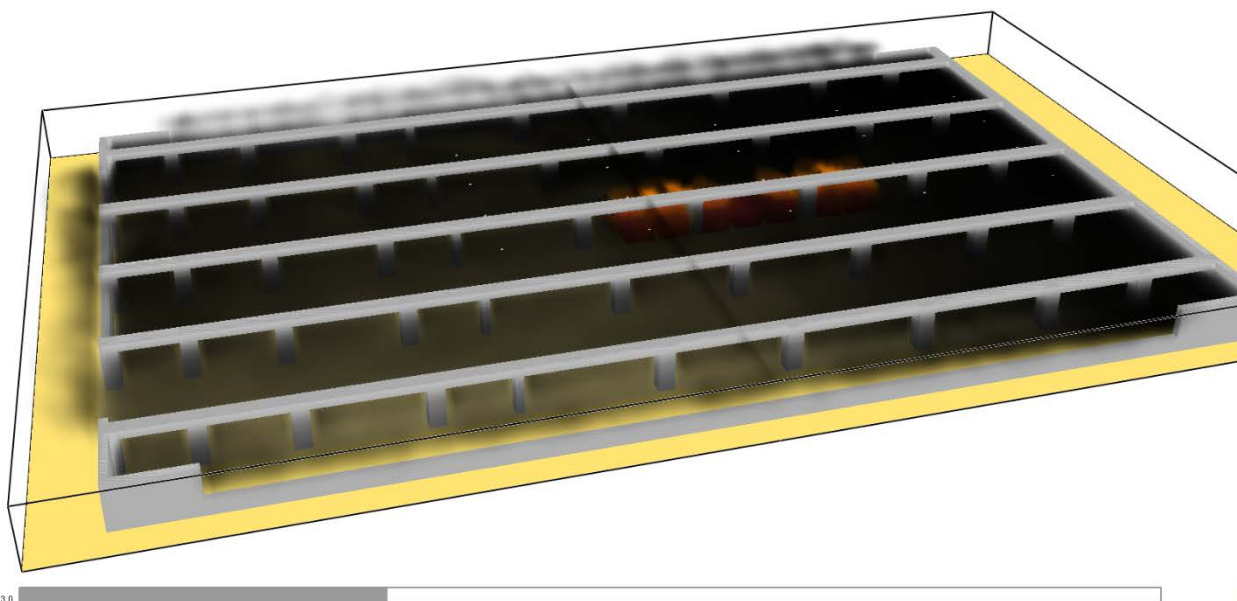


RTV5

RTV5

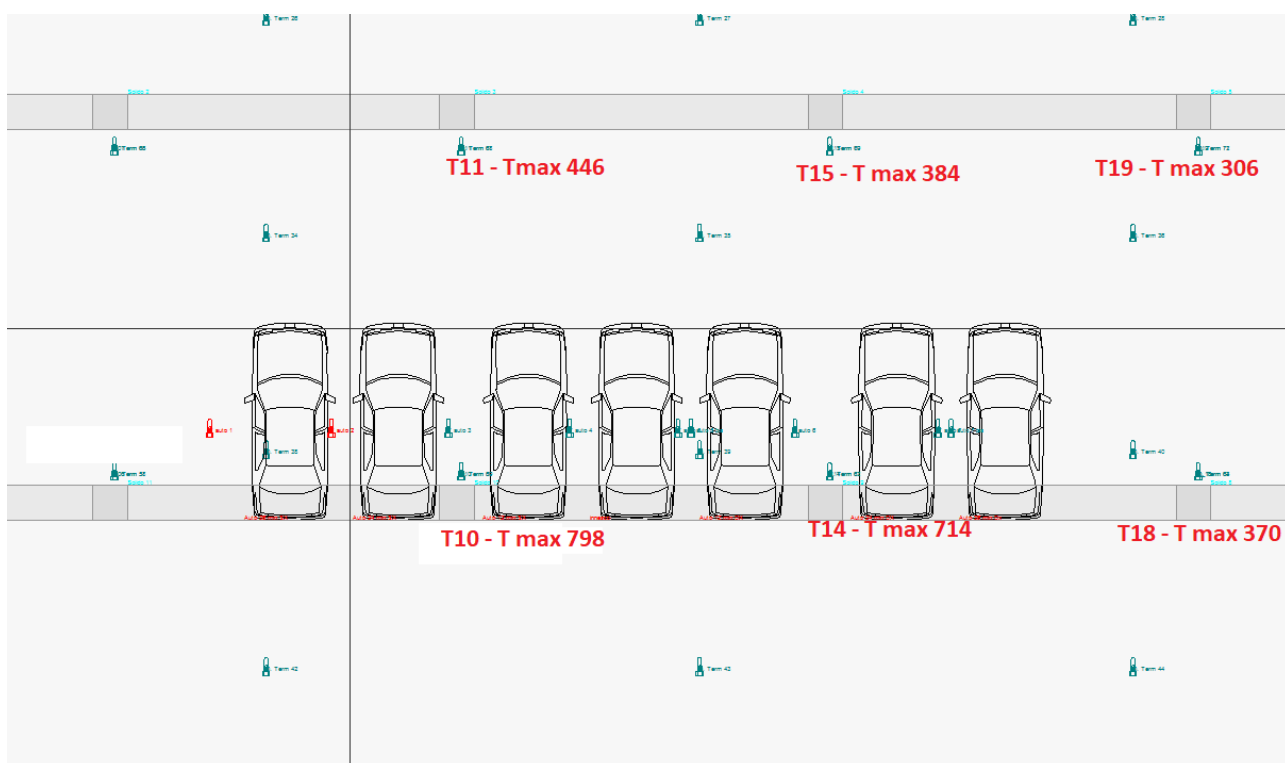


Time: 2255.6

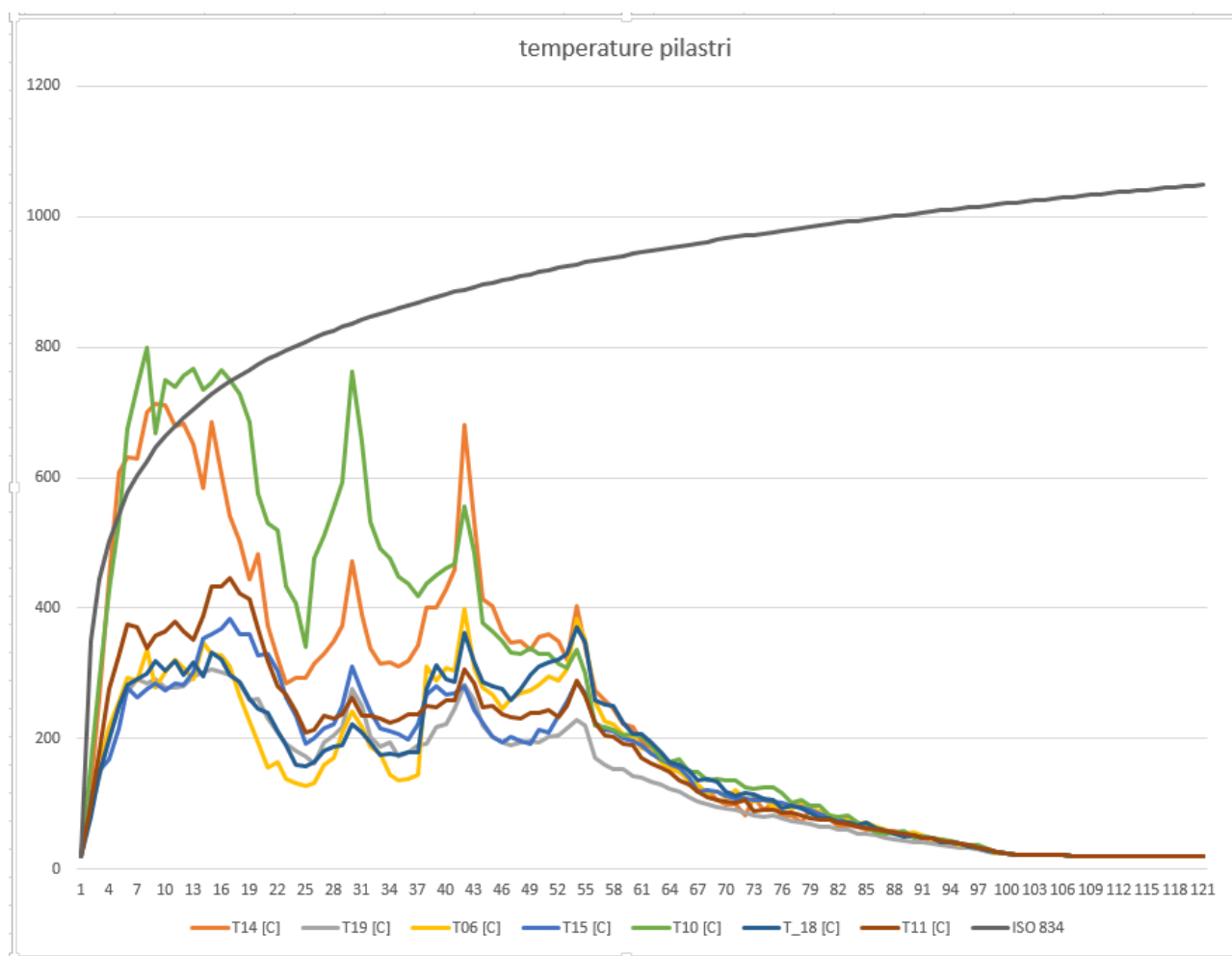


Time: 2323.0

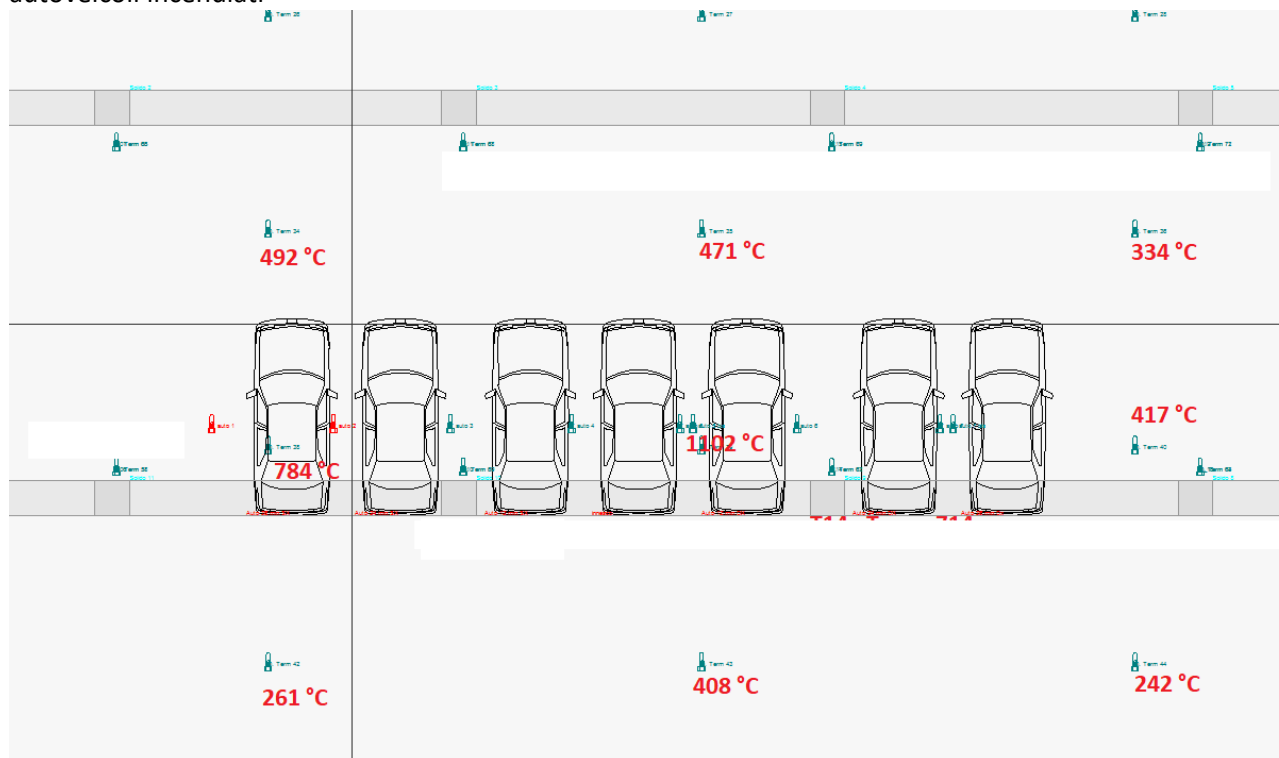
La seguente immagine riporta le temperature massime in corrispondenza dei pilastri posti nelle vicinanze degli autoveicoli incendiati



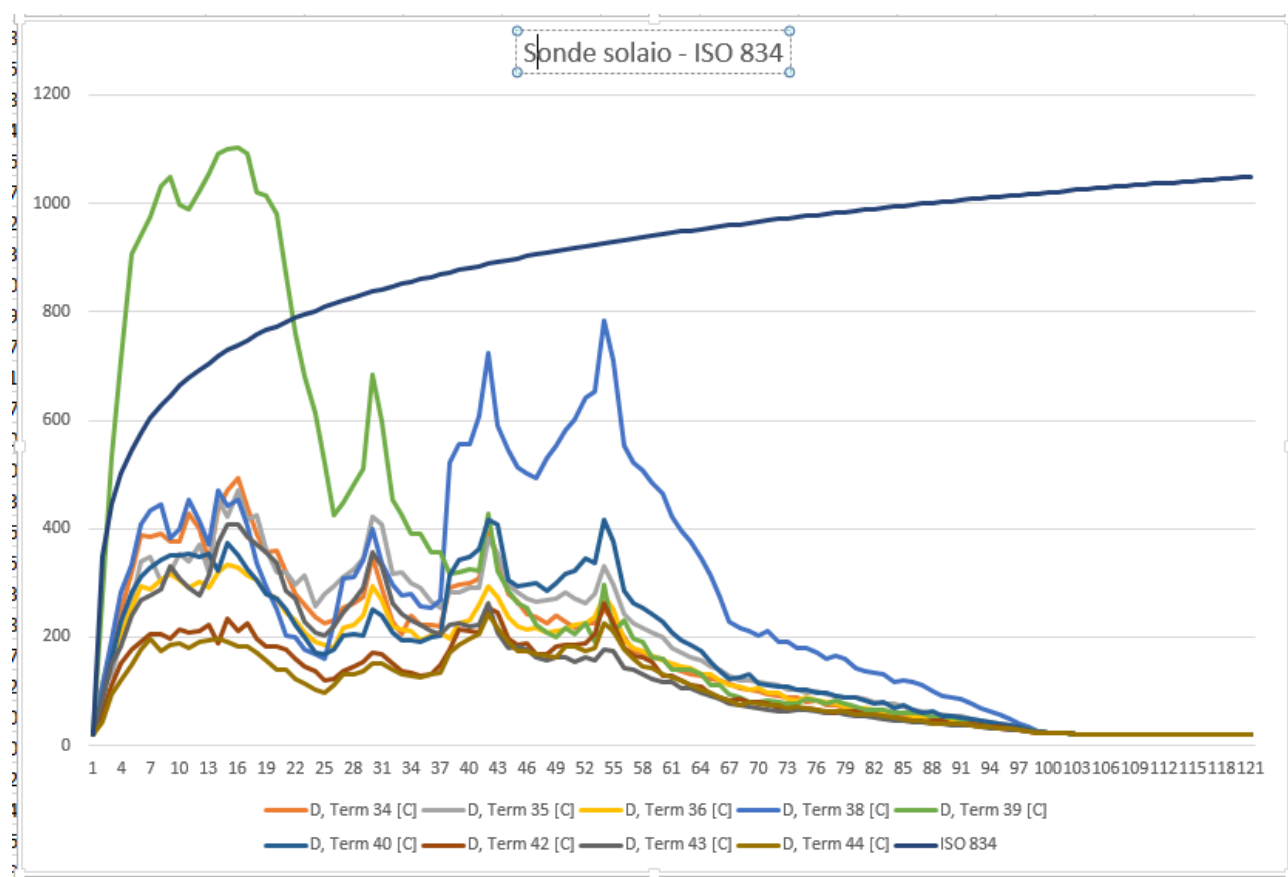
Confronto delle curve naturali dell'incendio relative ai pilastri e la curva nominale ISO 834



La seguente immagine riporta le temperature massime in corrispondenza del solaio nelle vicinanze degli autoveicoli incendiati



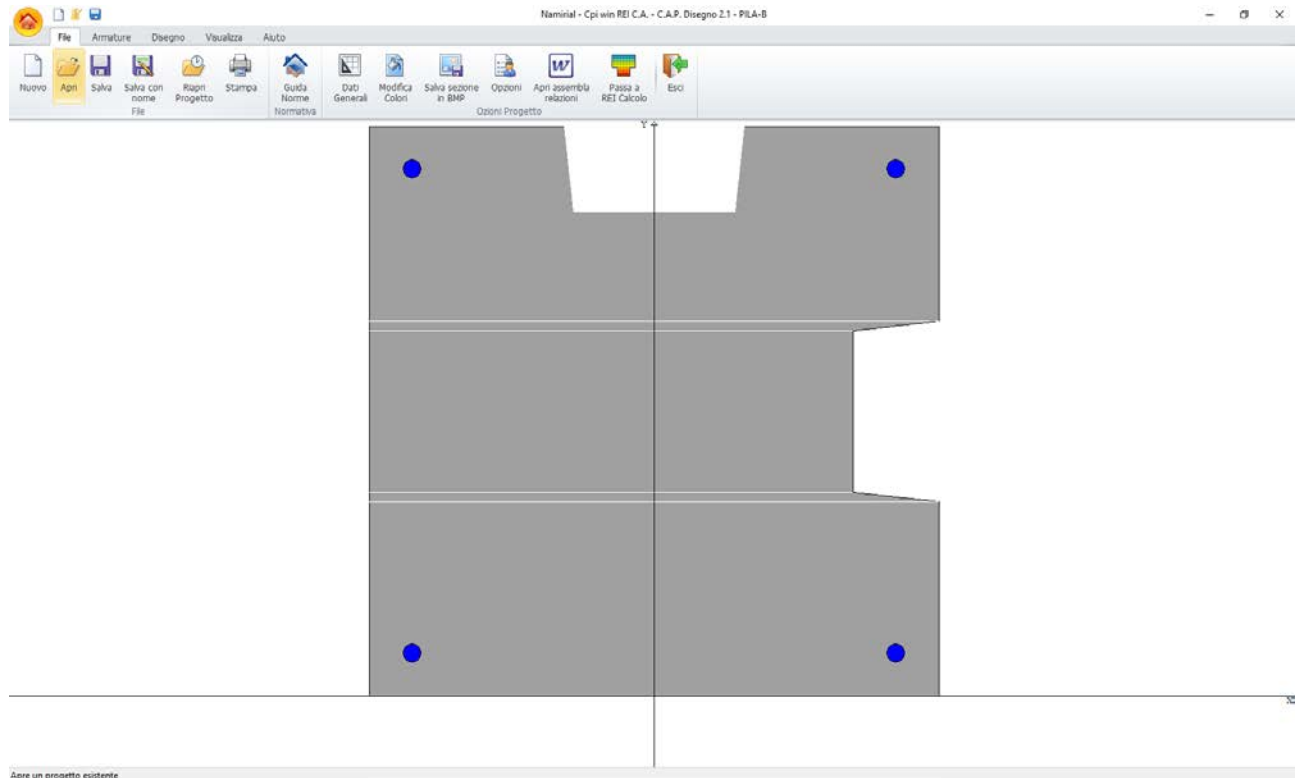
Confronto delle curve naturali dell'incendio in vari punti del solaio e la curva nominale ISO 834



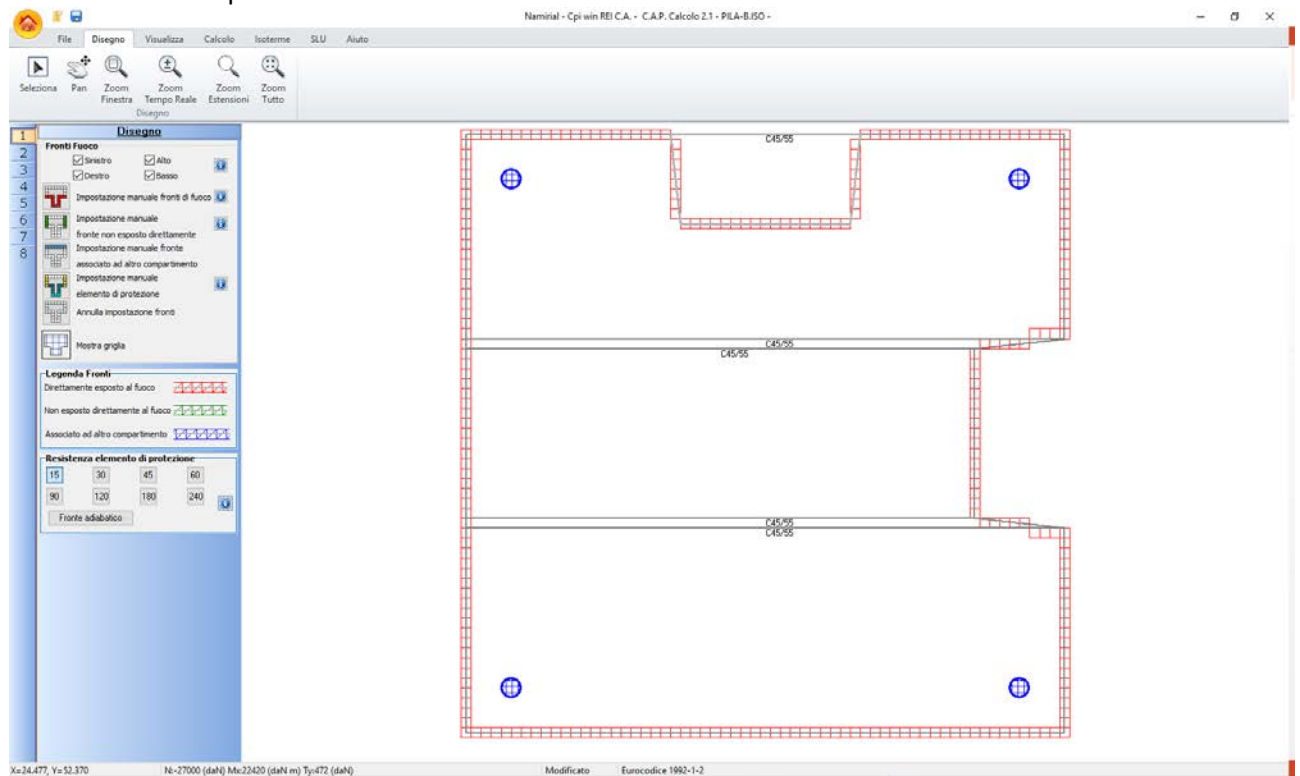
Dopo la costruzione della curva naturale dell'incendio è possibile verificare le varie sezioni dell'autorimessa secondo l'Eurocodice 2 "UNI EN 1992-1-2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio", che saranno verificate con la propria curva naturale di riferimento e le relative sollecitazioni.

Le immagini seguenti mostrano un esempio di definizione e calcolo di una struttura.

## Definizione dell'elemento strutturale da verificare

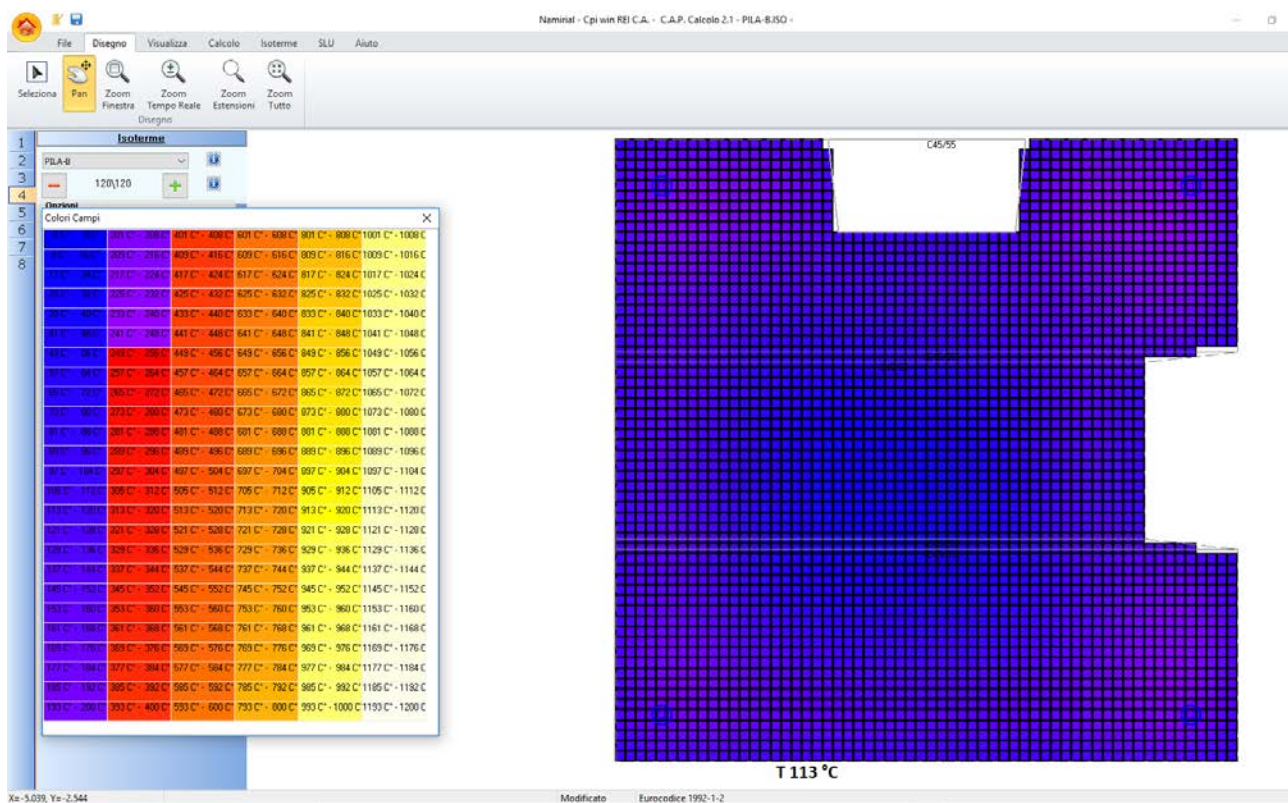
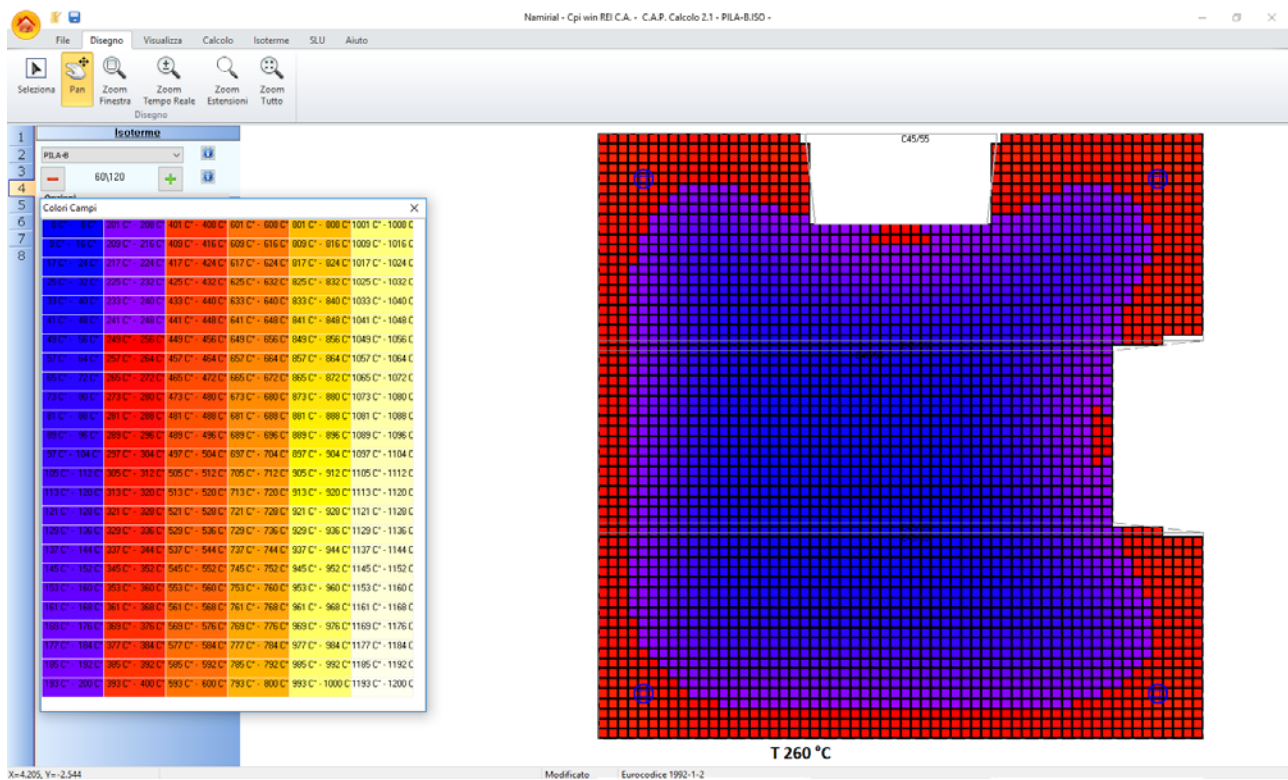


## Definizione dell'esposizione al fuoco su tutti i lati

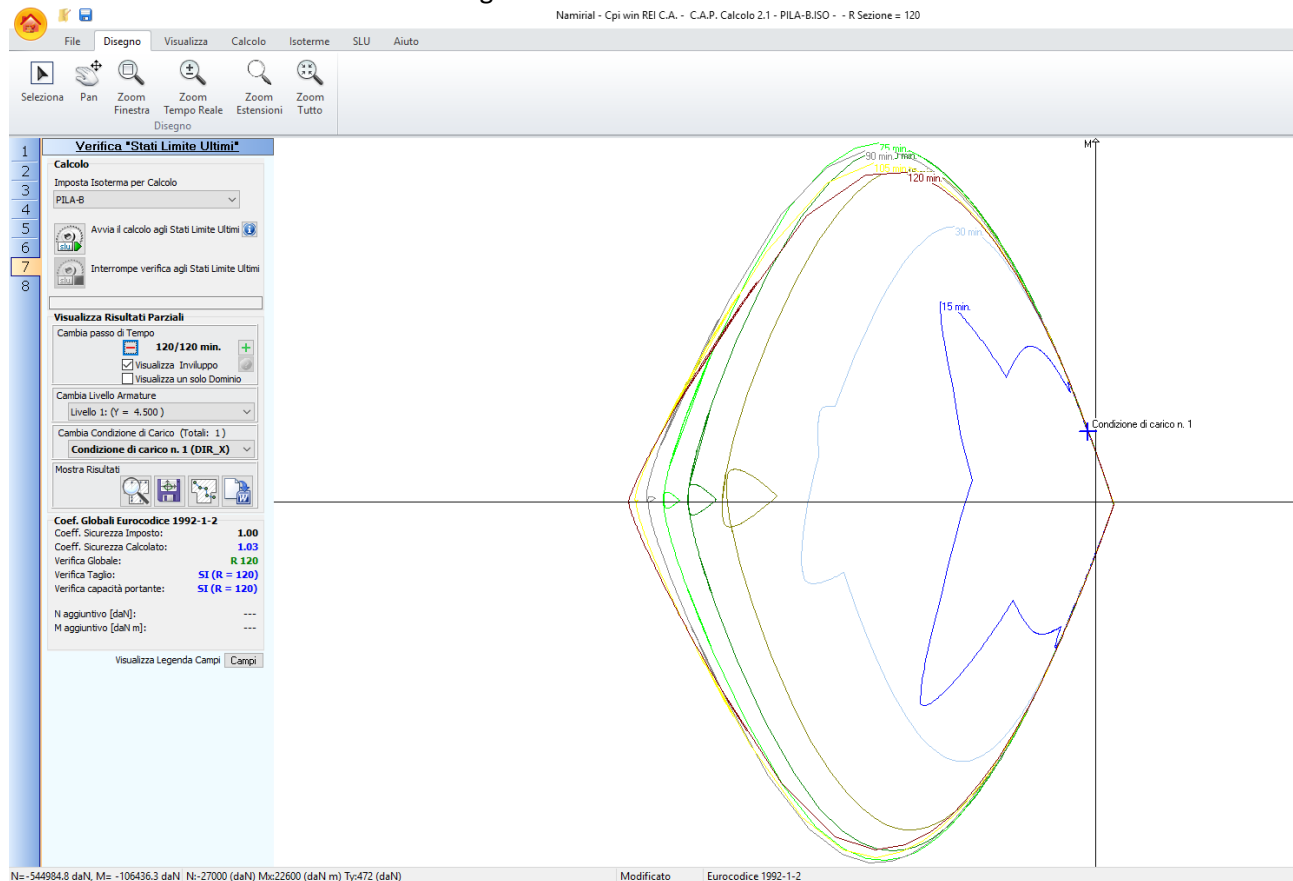


## Selezione della curva naturale dell'incendio e confronto con la ISO 834





## Visualizzazione del dominio di verifica agli Stati Limite Ultimo con sezione verificata R 120



La possibilità di simulare un incendio e di ottenere informazioni di tipo quantitativo è un aspetto estremamente interessante durante la progettazione.

I risultati di una simulazione permettono di pensare al sistema antincendio più consono all'edificio e quindi di ottimizzare sia la sicurezza degli occupanti sia dei soccorritori.

Nell'ambito della Fire Safety Engineering i risultati di una simulazione CFD in caso di incendio forniscono informazioni che possono agevolare enormemente il lavoro del progettista per garantire l'integrità della struttura e la sicurezza di tutti gli occupanti in qualsiasi momento.

Il software [CPI WIN FSE](#) consente di realizzare uno scenario di incendio da calcolare con il motore di calcolo FDS del NIST.

Il software [CPI WIN REI](#) consente di verificare un elemento strutturale in cemento armato o cemento armato precompresso secondo l'Eurocodice 1992-1-2, sia utilizzando una curva nominale dell'incendio, sia attraverso una curva naturale dell'incendio calcolata con i metodi della Fire Safety Engineering.

Dott. Pietro Monaco  
Namirial S.p.A.