

DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Potenza

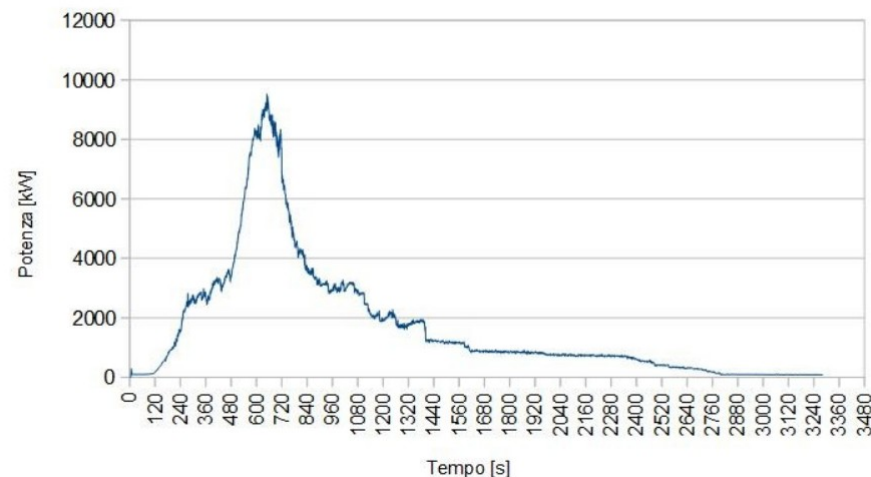
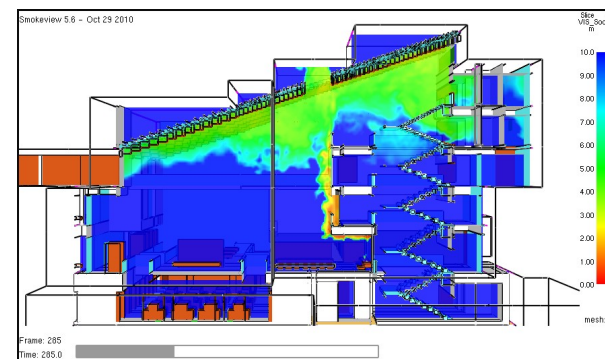
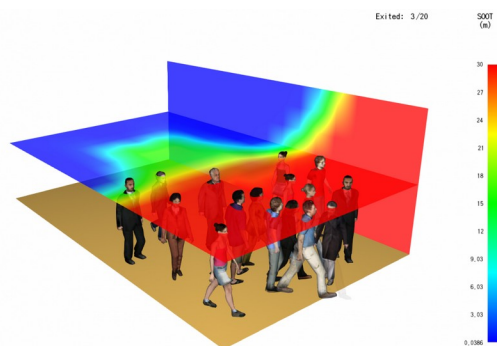
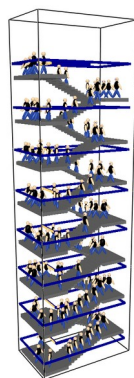
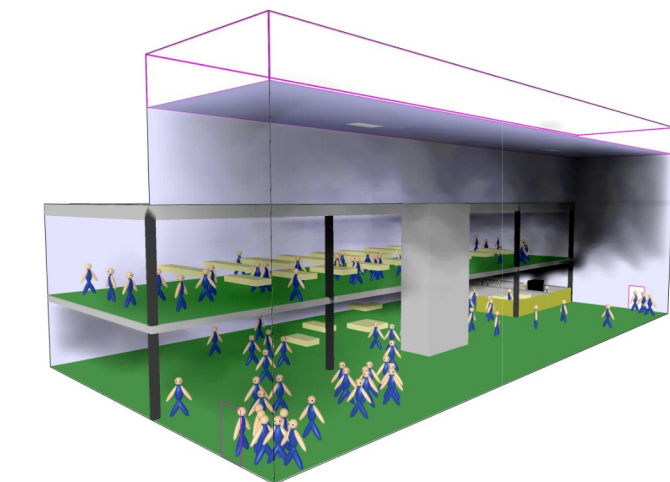


Illustrazione 17: Evoluzione dell'incendio (HRR) - Scenario 1



Ing. Alessandro Leonardi



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Riferimenti normativi

DM 03/08/2015 e s.m.i.

Nuovo codice di prevenzione incendi – capitoli M1, M2 ed M3

DM 09/05/2007

Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008

Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio. Trasmissione delle linee guida per l'approvazione dei progetti e della scheda rilevamento dati predisposte dall'Osservatorio.

DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Individuazione delle soluzioni progettuali

- a. *soluzioni conformi*;
- b. *soluzioni alternative*;
- c. *soluzioni in deroga*.

Applicazione di soluzioni conformi

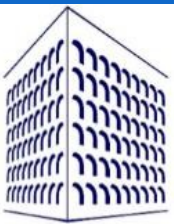
Il progettista che fa ricorso alle *soluzioni conformi* non è tenuto a fornire ulteriori valutazioni tecniche per dimostrare il raggiungimento del collegato *livello di prestazione*.

Applicazione di soluzioni alternative

Il progettista può fare ricorso alle *soluzioni alternative* proposte nei pertinenti paragrafi della sezione *Strategia antincendio* e delle *regole tecniche verticali*, oppure può proporre specifiche *soluzioni alternative* con i metodi di cui al punto successivo.

Applicazione di soluzioni in deroga

Se non possono essere efficacemente applicate né le *soluzioni conformi*, né le *soluzioni alternative*, il progettista può ricorrere al procedimento di deroga secondo le procedure previste dalla vigente normativa.



DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

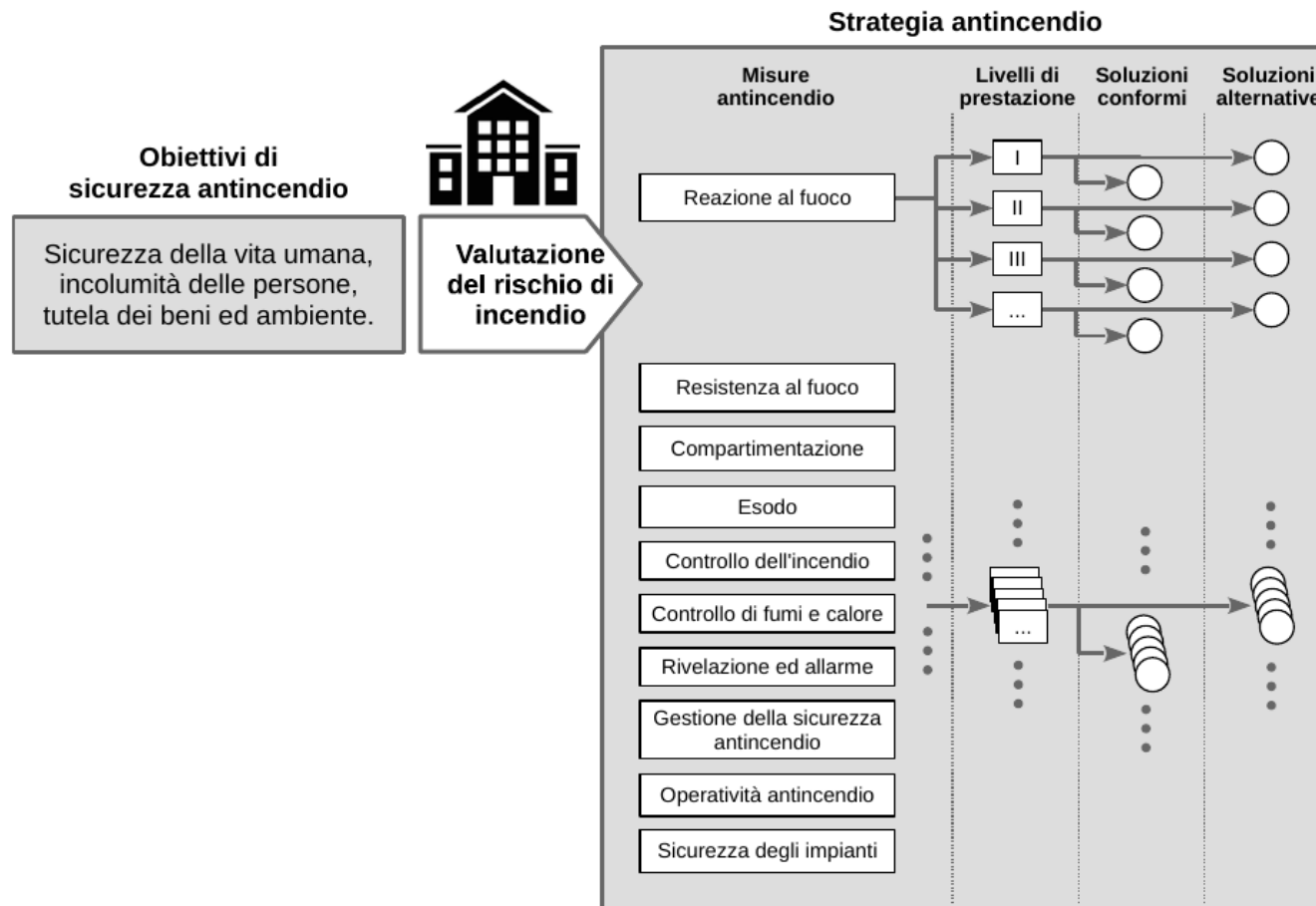
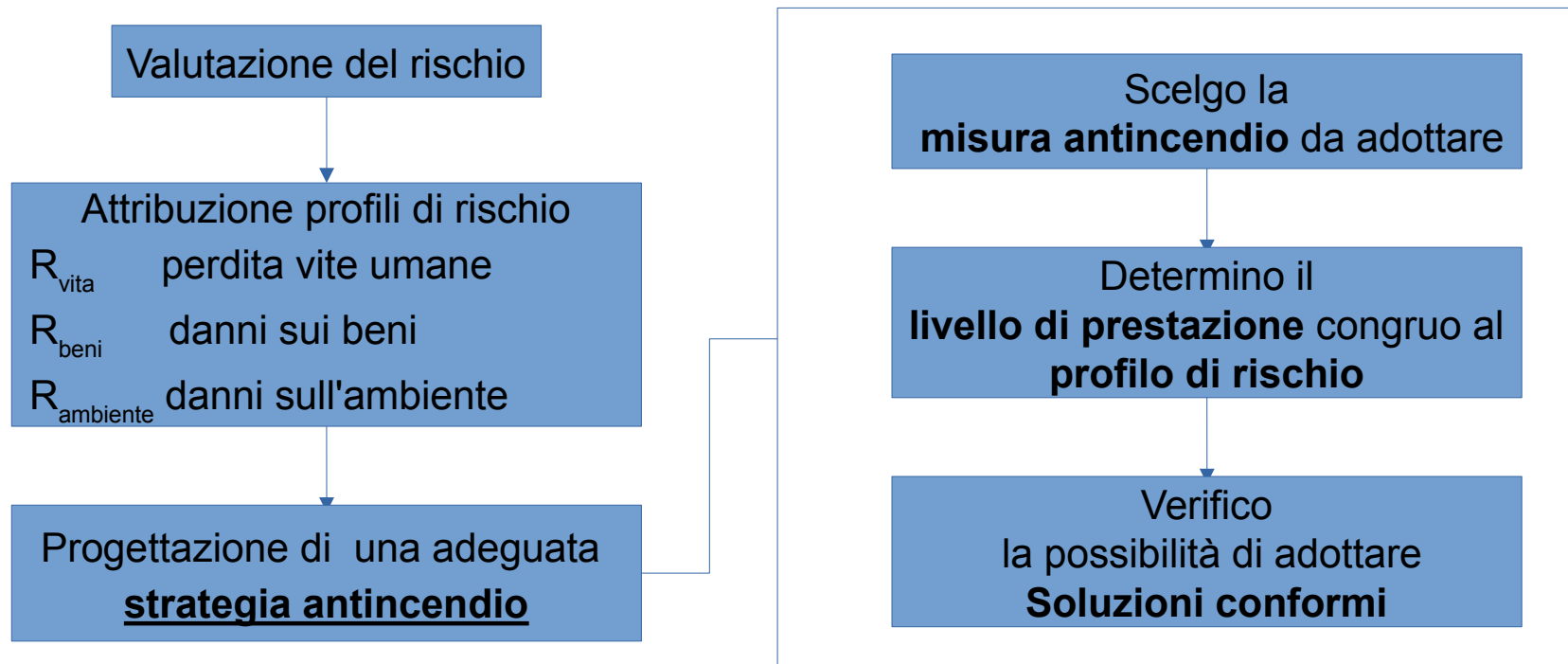


Illustrazione G.2-1: Schematizzazione della metodologia generale

DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

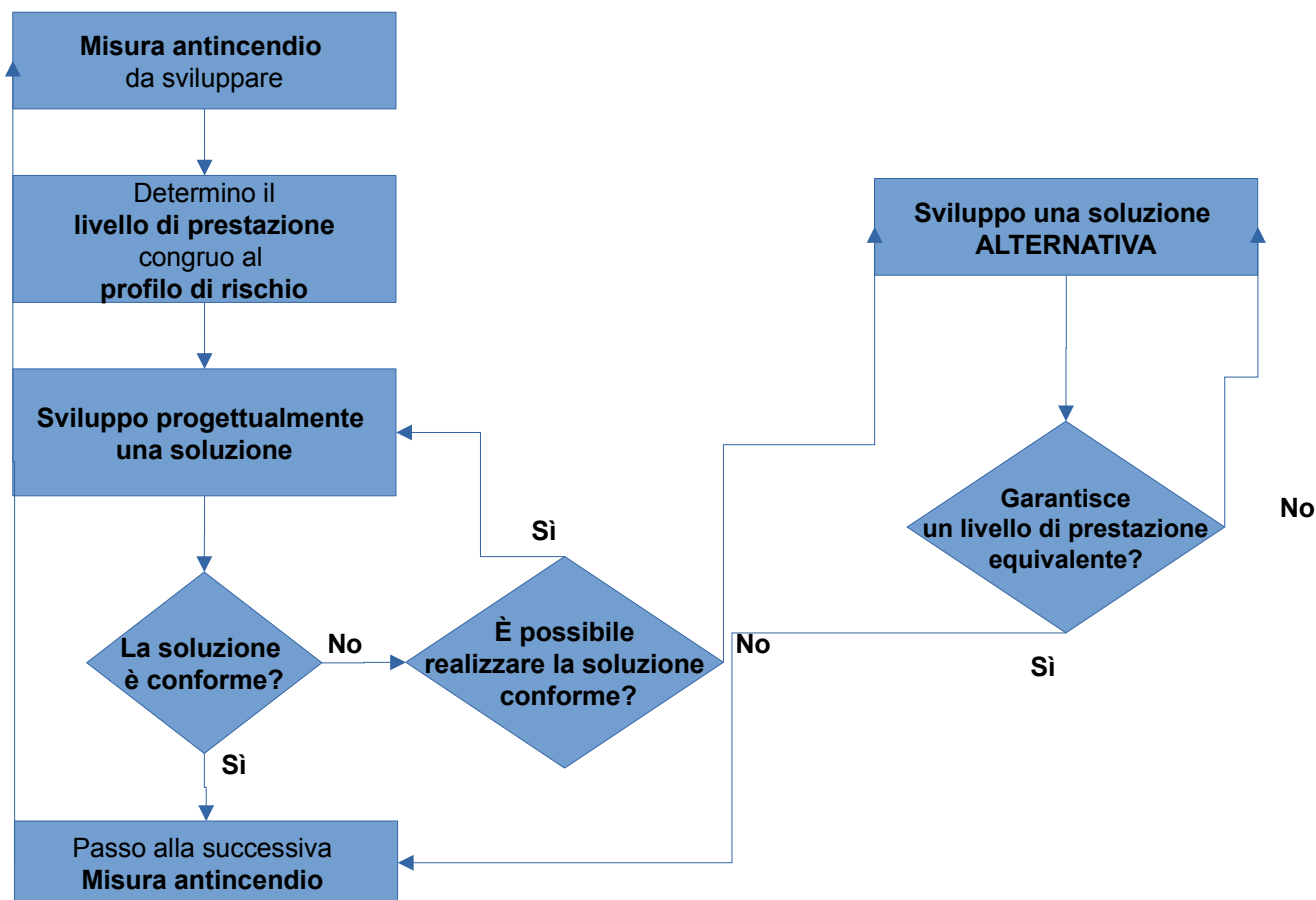
Definito il **profilo di rischio dell'attività** si sviluppa la **strategia antincendio**:



DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Processo logico da applicare nella progettazione della **strategia antincendio** secondo il **DM 03/08/2015**:

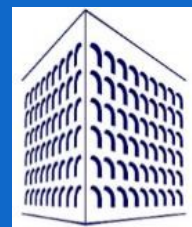


DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Metodi	Descrizione e limiti d'applicazione
Applicazione di norme o documenti tecnici	Il <i>progettista</i> applica norme o documenti tecnici adottati da organismi europei o internazionali, riconosciuti nel settore della sicurezza antincendio. Tale applicazione, fatti salvi gli obblighi connessi all'impiego di prodotti soggetti a normativa comunitaria di armonizzazione e alla regolamentazione nazionale, deve essere attuata nella sua completezza, ricorrendo a soluzioni, configurazioni e componenti richiamati nelle norme o nei documenti tecnici impiegati, evidenziandone specificatamente l'idoneità, per ciascuna configurazione considerata, in relazione ai profili di rischio dell'attività.
Soluzioni progettuali che prevedono l'impiego di prodotti o tecnologie di tipo innovativo	L'impiego di prodotti o tecnologie di tipo <i>innovativo</i> , frutto della evoluzione tecnologica, è consentito in tutti i casi in cui l'idoneità all'impiego possa essere attestata dal <i>professionista antincendio</i> , in sede di verifica ed analisi sulla base di una valutazione del rischio connessa all'impiego dei medesimi prodotti o tecnologie, supportata da pertinenti certificazioni di prova riferite a: <ul style="list-style-type: none"> • norme o specifiche di prova nazionali; • norme o specifiche di prova internazionali; • specifiche di prova adottate da laboratori a tale fine autorizzati.
Ingegneria della sicurezza antincendio	Il <i>professionista antincendio</i> applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, secondo procedure, ipotesi e limiti indicati in particolare nei capitoli M.1, M.2 e M.3 oppure in base a principi tecnico-scientifici riconosciuti a livello nazionale o internazionale.
Prove sperimentali	Il <i>professionista antincendio</i> esegue prove sperimentali in scala reale o in scala adeguatamente rappresentativa, finalizzata a riprodurre ed analizzare dal vero i fenomeni (es. chimico-fisici e termodinamici, esodo degli occupanti, ...) che caratterizzano la problematica oggetto di valutazione avente influenza sugli obiettivi di prevenzione incendi. Le prove sperimentali sono condotte secondo protocolli standardizzati oppure condivisi con la Direzione centrale per la prevenzione e la sicurezza tecnica del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco. Le prove sono svolte alla presenza di rappresentanza qualificata del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco, su richiesta del responsabile dell'attività. Le prove devono essere opportunamente documentate. In particolare i rapporti di prova dovranno definire in modo dettagliato le ipotesi di prova ed i limiti d'utilizzo dei risultati. Tali rapporti di prova, ivi compresi filmati o altri dati monitorati durante la prova, sono messi a disposizione del Corpo nazionale dei Vigili del fuoco.

Tabella G.2-1: Metodi di progettazione della sicurezza antincendio



DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Sezione M Metodi

Capitolo M.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio

Capitolo M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale

Capitolo M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

M.1.2

Fasi della metodologia

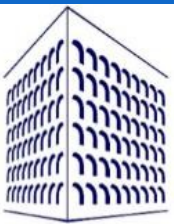
1. La metodologia di progettazione prestazionale si compone di due fasi:

a. prima fase, *analisi preliminare*:

sono formalizzati i passaggi che conducono ad individuare le condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e quali sono le *soglie di prestazione* cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire;

b. seconda fase, *analisi quantitativa*:

impiegando modelli di calcolo, si esegue l'analisi quali-quantitativa degli effetti dell'incendio in relazione agli obiettivi assunti, confrontando i risultati ottenuti con le *soglie di prestazione* già individuate e definendo il progetto da sottoporre a definitiva approvazione.



DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Aspetti generali

La lettera circolare definisce i contenuti della **Scheda Rilevamento Dati** di cui all'art. 7 del DM 09/05/2007 e la documentazione che deve essere prodotta dai professionisti a corredo del progetto sviluppato con l'Approccio Ingegneristico.

Documenti obbligatori:

- 1) **Scheda informativa;**
- 2) **Sommario tecnico – Analisi preliminare;**
- 3) **Analisi quantitativa;**



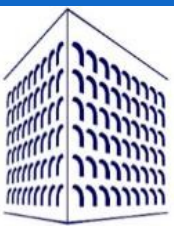
DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Scheda informativa

La scheda informativa generale deve contenere le seguenti informazioni:

- **Indicazione del responsabile dell'attività.**
- **Individuazione del responsabile della progettazione antincendio generale.**
- **Individuazione del progettista che utilizza l'approccio ingegneristico e del progettista che ha prodotto il Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio (SGSA) qualora diversi al responsabile della progettazione antincendio generale.**



DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Scheda informativa (segue 1)

La scheda informativa generale deve contenere le seguenti informazioni:

- **Finalità per le quali è applicato l'approccio ingegneristico**
 - **Prevenzione incendi**
 - analisi dei campi termici generati;
 - analisi della diffusione dei fumi e verifica delle vie di esodo;
 - valutazione dei tempi di esodo;
 - valutazione dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture;
 - valutazione dei requisiti di resistenza al fuoco della costruzione o di parte di essa;



DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Scheda informativa (segue 2)

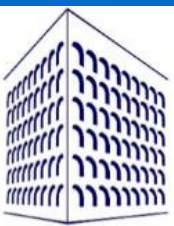
La scheda informativa generale deve contenere le seguenti informazioni:

- **Finalità per le quali è applicato l'approccio ingegneristico**
 - **Altri aspetti**
 - protezione di beni o infrastrutture;
 - prosecuzione attività (business continuity).

NB

La scheda informativa DEVE ESSERE FIRMATA DA:

- **Responsabile dell'attività**
- **Da tutti i professionisti coinvolti**



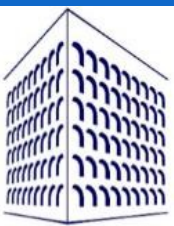
DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi preliminare (Sommario tecnico)

La sommario tecnico deve contenere le seguenti sezioni:

- **Definizione del progetto**
 - **Descrizione del ciclo produttivo**
 - **Strutture civili utilizzate**
 - **Impianti previsti**
 - **Organico lavorativo**
 - **Descrizione dell'eventuale pubblico coinvolto**



DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi preliminare (Sommaro tecnico)

(segue 1)

Il sommario tecnico deve contenere le seguenti sezioni:

- **Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio (vedi CPR)**
 - **Obiettivi primari**
 - **sicurezza della vita umana,**
 - **incolumità delle persone,**
 - **tutela dei beni e dell'ambiente.**



DM 05/09/2007 e s.m.i.

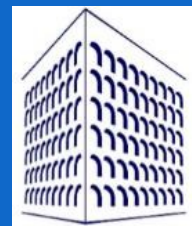
Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi preliminare (Sommario tecnico)

(segue 2)

Il sommario tecnico deve contenere le seguenti sezioni:

- **Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio (vedi CPR)**
 - **Obiettivi della prevenzione incendi**
 - **minimizzare le cause di incendio o di esplosione;**
 - **garantire la stabilità delle strutture portanti per un periodo di tempo determinato;**
 - **limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dell'attività;**
 - **limitare la propagazione di un incendio ad attività contigue;**
 - **limitare gli effetti di un'esplosione;**



DM 05/09/2007 e s.m.i.

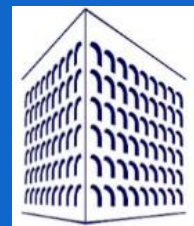
Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi preliminare (Sommaro tecnico)

(segue 3)

Il sommario tecnico deve contenere le seguenti sezioni:

- **Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio (vedi CPR)**
 - **Obiettivi della prevenzione incendi**
 - garantire la possibilità che gli occupanti lascino l'attività autonomamente o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
 - garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza;
 - tutelare gli edifici pregevoli per arte e storia;
 - garantire la continuità d'esercizio per le opere strategiche;
 - prevenire il danno ambientale e limitare la compromissione dell'ambiente in caso d'incendio.



DM 05/09/2007 e s.m.i.

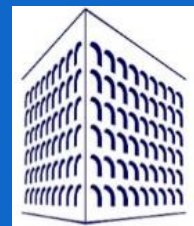
Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi preliminare (Sommario tecnico)

(segue 4)

Il sommario tecnico deve contenere le seguenti sezioni:

- **Identificazione dei livelli di prestazione;**
 - **Riferimento a limiti di esposizione (temperature massime, irraggiamento, visibilità, concentrazioni specie tossiche, ecc.)**
 - **Tempo di sfollamento**
 - **ecc**
- **Identificazione degli scenari d'incendio significativi.**
 - **Determinazione di una scala incidentale mediante il calcolo del rischio.**



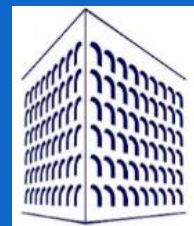
DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi quantitativa

L'analisi quantitativa deve contenere le seguenti sezioni:

- **Definizione delle soluzioni progettuali sviluppate per contenere gli effetti dell'incendio;**
 - **Descrizione della strategia scelta per raggiungere gli obiettivi prefissati.**
 - **Misure di prevenzione e loro caratteristiche:**
 - **sostituzione di materiali combustibili con altri non combustibili;**
 - **sistemi di sicurezza a saturazione;**
 - **ventilazione dei locali.**



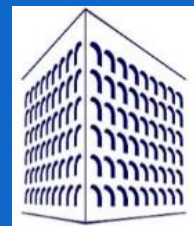
DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi quantitativa (segue 1)

L'analisi quantitativa deve contenere le seguenti sezioni:

- **Definizione delle soluzioni progettuali sviluppate per contenere gli effetti dell'incendio;**
 - **Misure di protezione passiva e loro caratteristiche:**
 - **strutture resistenti al fuoco;**
 - **compartimenti antincendio/antifumo;**
 - **porte e chiusure tagliafuoco;**
 - **sistemi di contenimento dei fumi;**
 - **materiali classificati ai fini della reazione al fuoco.**



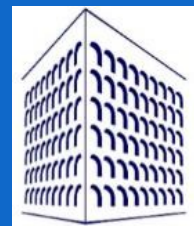
DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi quantitativa (segue 2)

L'analisi quantitativa deve contenere le seguenti sezioni:

- **Definizione delle soluzioni progettuali sviluppate per contenere gli effetti dell'incendio;**
 - **Misure di protezione attive e loro caratteristiche:**
 - **ventilazione ordinaria;**
 - **ventilazione in caso di incendio (SENFEC – SEFFC UNI 9494);**
 - **Impianti di rivelazione incendi (IRAI UNI 9795);**
 - **Impianti di spegnimento automatico (Sprinkler UNI 12845);**
 - **Impianti di idranti (UNI 10779).**
 - **Tavole progettuali che illustrino le soluzioni proposte;**



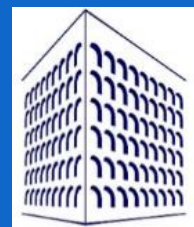
DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi quantitativa (segue 3)

L'analisi quantitativa deve contenere le seguenti sezioni:

- **Scelta dei modelli di calcolo;**
 - **Analisi di applicabilità del modello allo scenario scelto:**
 - **Verifica dei lavori di validazione;**
 - **Valutazione dell'affidabilità del modello e limiti applicativi;**
 - **Determinazione dell'incertezza dei risultati;**
 - **Origine e caratteristiche dei codici di calcolo prescelti;**
 - **Denominazione e versione;**
 - **Autore;**
 - **Documentazione tecnica e manualistica**



DM 05/09/2007 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Lettera Circolare DCPST/427 del 31/03/2008 – Analisi quantitativa (segue 4)

L'analisi quantitativa deve contenere le seguenti sezioni:

- **Descrizione dei dati di input utilizzati;**
 - **Dati geometrici;**
 - **Dati fisici;**
 - **Dati chimici;**
 - **Eventuali dati sperimentali.**
- **Analisi comparativi fra i risultati ottenuti ed i livelli di prestazione impostati nella fase preliminare del Sommario Tecnico**



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

ASET – RSET Capitolo M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

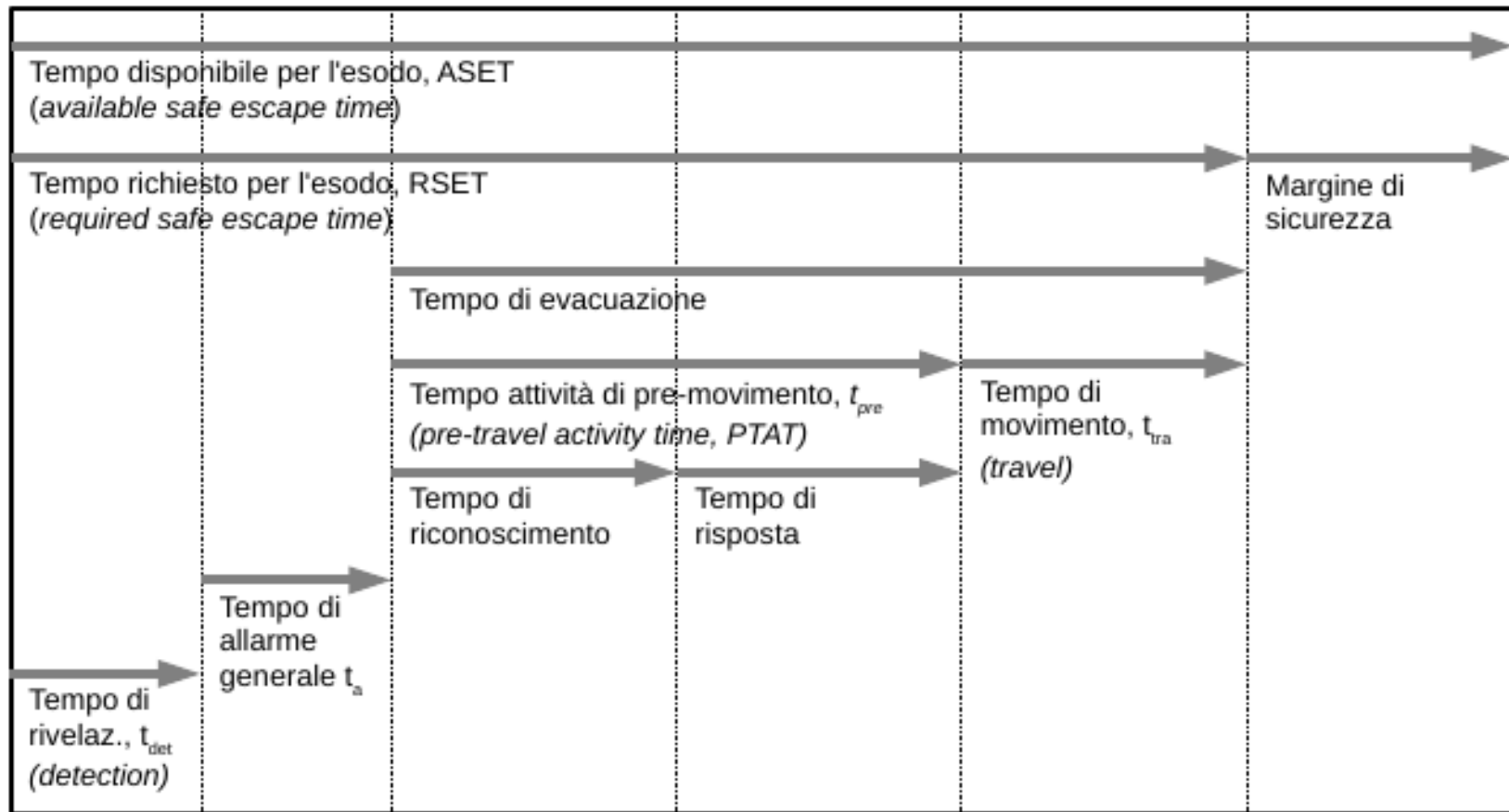
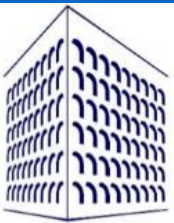


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

M.3.2.2

Criterio di ASET > RSET

1. Per risolvere quanto previsto al comma 2. del paragrafo M.3.2.1, la norma introduce il criterio $ASET > RSET$, esemplificato nell'illustrazione M.3-1.

La progettazione prestazionale del sistema di vie d'esodo consiste sostanzialmente nel calcolo e nel confronto tra due intervalli di tempo così definiti:

- a. ASET, tempo disponibile per l'esodo (*available safe escape time*);
 - b. RSET, tempo richiesto per l'esodo (*required safe escape time*).
2. Si considera efficace il sistema d'esodo se $ASET > RSET$, se cioè il tempo in cui permangono condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti è superiore al tempo necessario perché essi possano raggiungere un luogo sicuro, non soggetto a tali condizioni ambientali sfavorevoli dovute all'incendio.
 3. La differenza tra ASET ed RSET rappresenta il *margin* di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita:

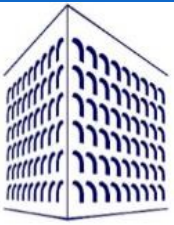
$$t_{\text{marg}} = ASET - RSET \quad \text{M.3-1}$$

Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo il margine di sicurezza t_{marg} in relazione alle ipotesi assunte, al fine di considerare l'incertezza nel calcolo dei tempi di ASET ed RSET.

A meno di specifiche valutazioni si assume $t_{\text{marg}} \geq 100\% \cdot RSET$. In caso di specifiche valutazioni sull'affidabilità dei dati di input impiegati nella progettazione prestazionale, è consentito assumere $t_{\text{marg}} \geq 10\% \cdot RSET$.

In ogni caso, deve essere $t_{\text{marg}} \geq 30$ secondi.

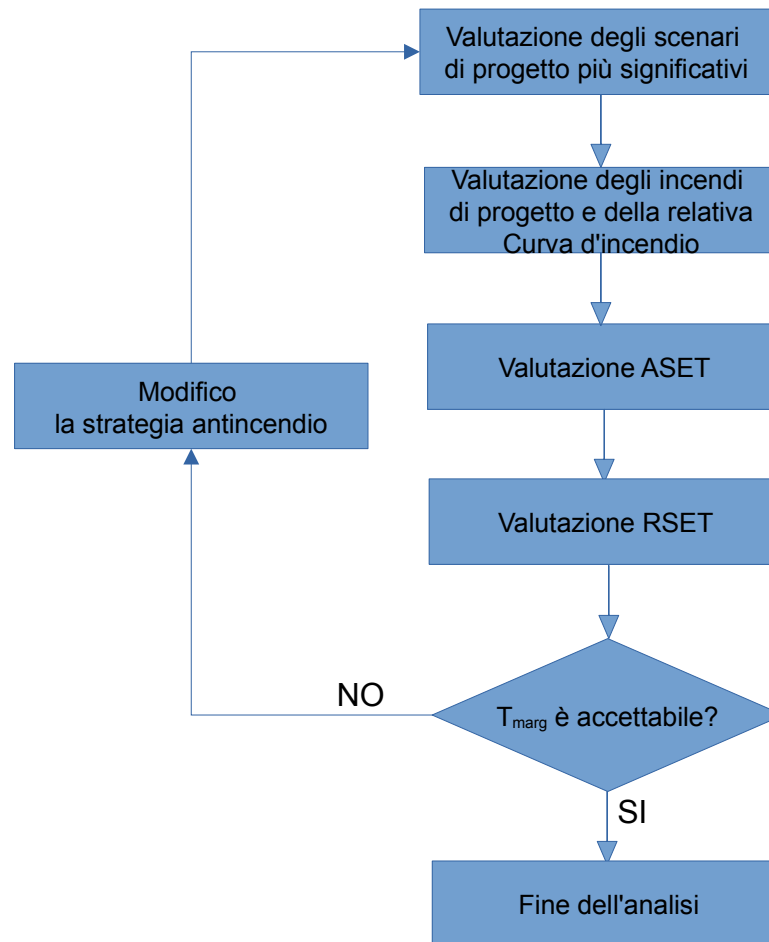
Nota Le specifiche valutazioni sul $t_{\text{marg}} \geq 10\% \cdot RSET$ dovrebbero essere supportate da dati di letteratura o di normazione tecnica consolidata.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

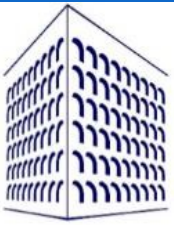
Approccio ingegneristico

Come calcolo l'ASET?

M.3.3

Calcolo di ASET

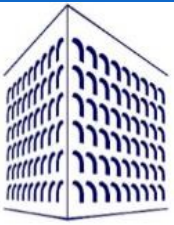
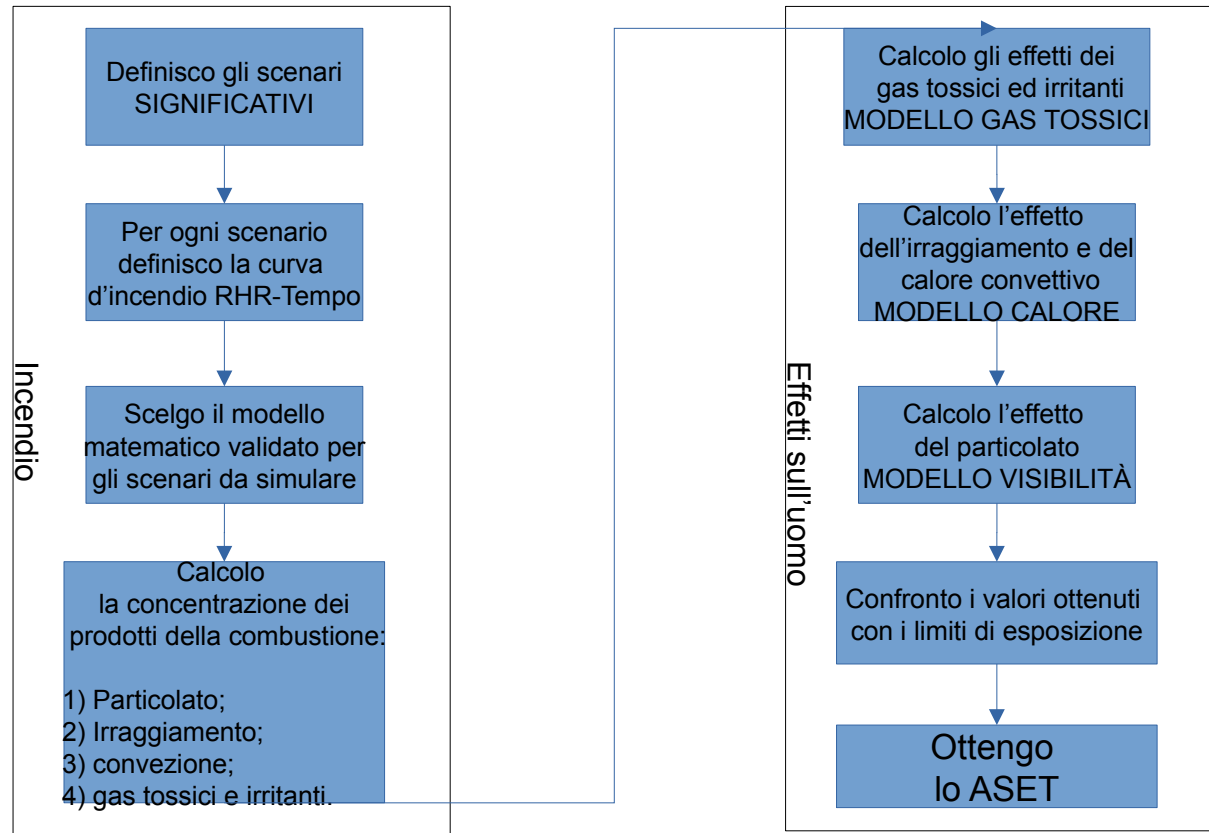
3. Nei seguenti paragrafi si presentano i *metodi di calcolo* di ASET ammessi dalle norme:
- a. metodo di calcolo avanzato;
 - b. metodo di calcolo semplificato.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET con metodo avanzato.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET con metodo avanzato – Soglie di prestazione.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m²: 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m²: 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0,1	ISO 13571:2012, limitando a 1,1% la porzione di occupanti incapaci al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti (incendio, effluenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m²	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato



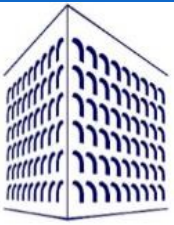
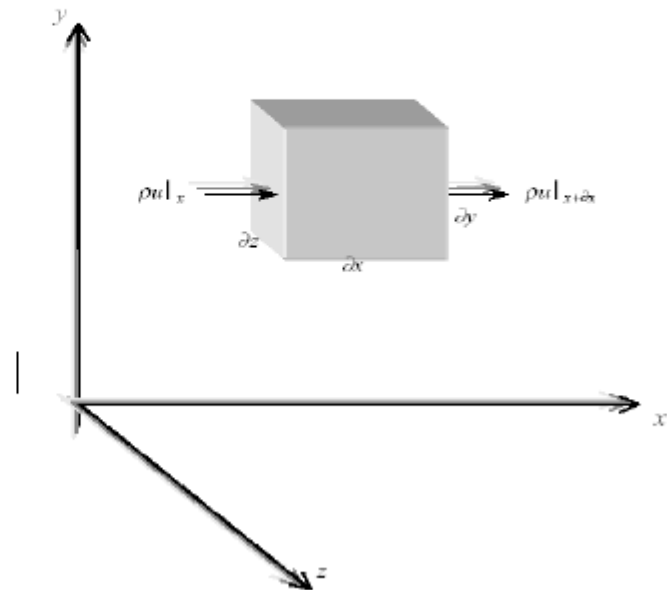
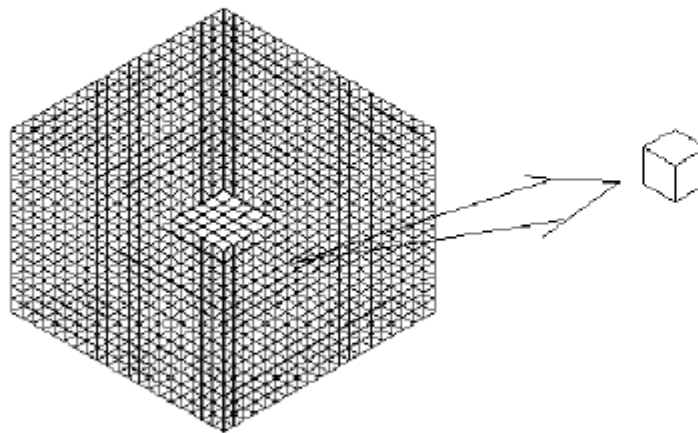
DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo avanzato

CFD - Principi



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

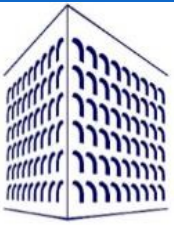
ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo avanzato

CFD – Principi (segue 1)

I CFD sono basati sulla soluzione delle equazioni differenziali che regolano:

- **CONSERVAZIONE DELLA MASSA**
- **CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA**
- **CONSERVAZIONE DELLE SPECIE CHIMICHE**
- **EQUAZIONE DI STATO**
- **MODELLIZZAZIONE DELLA TURBOLENZA**
- **I FLUSSI DI ENERGIA TERMICA E DI MASSA**



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

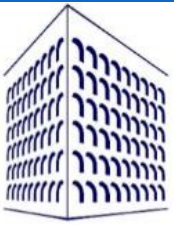
ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo avanzato

CFD – Principi (segue 2)

I dati di input utilizzati nei CFD sono:

- *geometria 3D e relativo dominio*
- *sotto modelli fisici (combustione, irraggiamento, turbolenza, ecc.)*
- *condizioni al contorno e le caratteristiche dei materiali*
- *passo iterativo (cioè scegliere la scala dei tempi)*



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

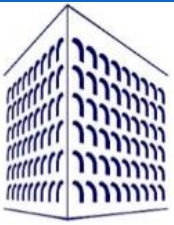
Approccio ingegneristico

ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo avanzato

CFD – Principi (segue 3)

La validazione e FDS



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

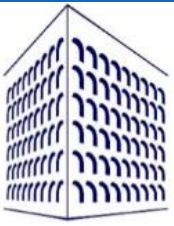
Approccio ingegneristico

ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo avanzato

Applico la ISO 13571 ovvero come il più piccolo tra gli ASET calcolati secondo quattro modelli:

- a. modello dei gas tossici;
- b. modello dei gas irritanti;
- c. modello del calore;
- d. modello dell'oscuramento della visibilità da fumo.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

ASET – cenni sui modelli di calcolo

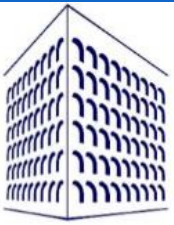
Metodo avanzato

a./b. modello dei gas tossici (FED) Irritanti (FEC);

$$FED = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(Ct)_i} \Delta t$$

$$FLD_{irr} = FLD_{HCl} + FLD_{HBr} + FLD_{HF} + FLD_{SO_2} + FLD_{NO_2} + FLD_{CH_2CHO} + FLD_{HCHO} + \sum FLD_x$$

$$F_{IN} = (F_{ICO} + F_{ICN} + F_{INOx} + FLD_{irr}) \times V_{CO_2} + FED_{Io}$$



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

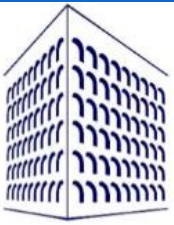
ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo avanzato

c. modello del calore;

$$X_{\text{FED}} = \sum_{t1}^{t2} \left(\frac{1}{t_{\text{Irad}}} + \frac{1}{t_{\text{Iconv}}} \right) \Delta t$$

I valori di t_{Irad} e t_{Iconv} sono i tempi di incapacitazione per calore radiante e calore convettivo calcolati con altre relazioni in funzione della condizione di abbigliamento dei soggetti, reperibili nella norma ISO 13571.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo avanzato

d. modello dell'oscuramento della visibilità da fumo.

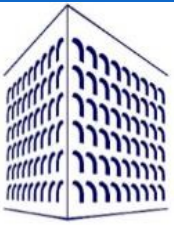
$$C = \sigma \rho_{\text{smoke}} L$$

L visibilità [m]

C costante adimensionale pari a 3 per segnaletica di esodo riflettente non illuminata o 8 per segnaletica retroilluminata

σ coefficiente massico di estinzione della luce pari a $8,7 \text{ m}^2/\text{g}$ o diverso valore adeguatamente giustificato dal progettista $[\text{m}^2/\text{g}]$

ρ_{smoke} massa volumica dei fumi (smoke aerosol mass concentration) $[\text{g}/\text{m}^3]$



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

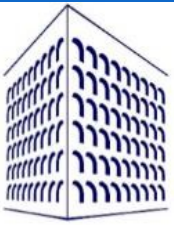
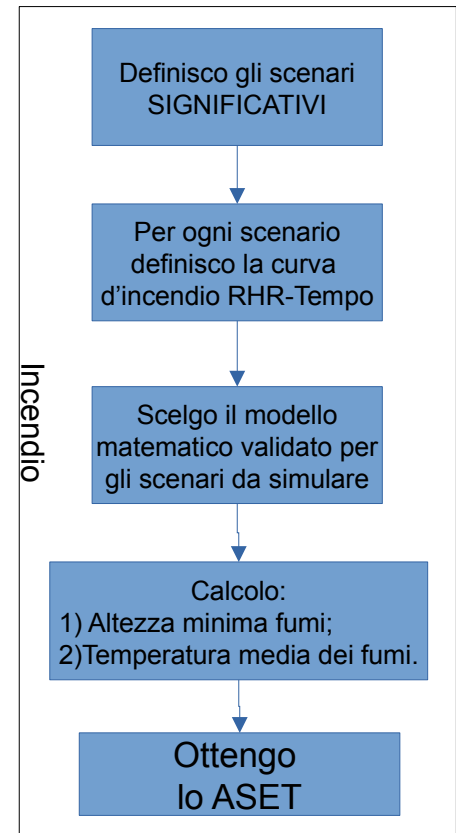
Calcolo dell'ASET con metodo semplificato.

M.3.3.3

Campo di applicabilità del metodo semplificato

1. Il metodo di calcolo semplificato di cui al paragrafo M.3.3.2 è applicabile, solo se la potenza del focolare rapportata alla geometria dell'ambiente è sufficiente a garantire la formazione dello strato di fumi caldi superiore: il professionista antincendio è tenuto a verificare che tale condizione si verifichi.

Normalmente si utilizzano modelli a zone o manuali.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

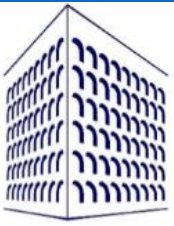
ASET – cenni sui modelli di calcolo

Metodo semplificato

Applico la ISO/TR 16738 che prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della esposizione zero (zero exposure).

Ovvero impongo le seguenti condizioni:

- a. altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio pari a 2 m, al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata.
- b. temperatura media dello strato di fumi caldi $\leq 200^{\circ}\text{C}$.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto – Capitolo M.2.

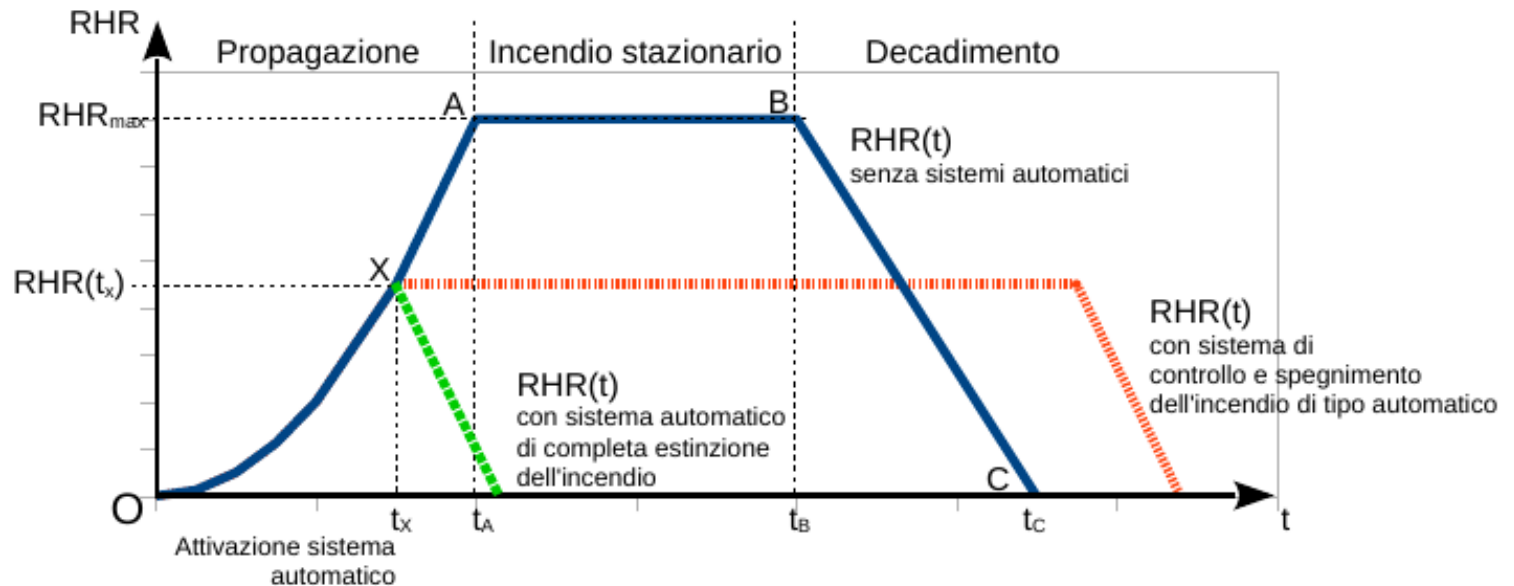
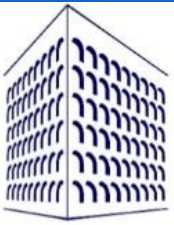


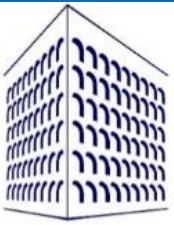
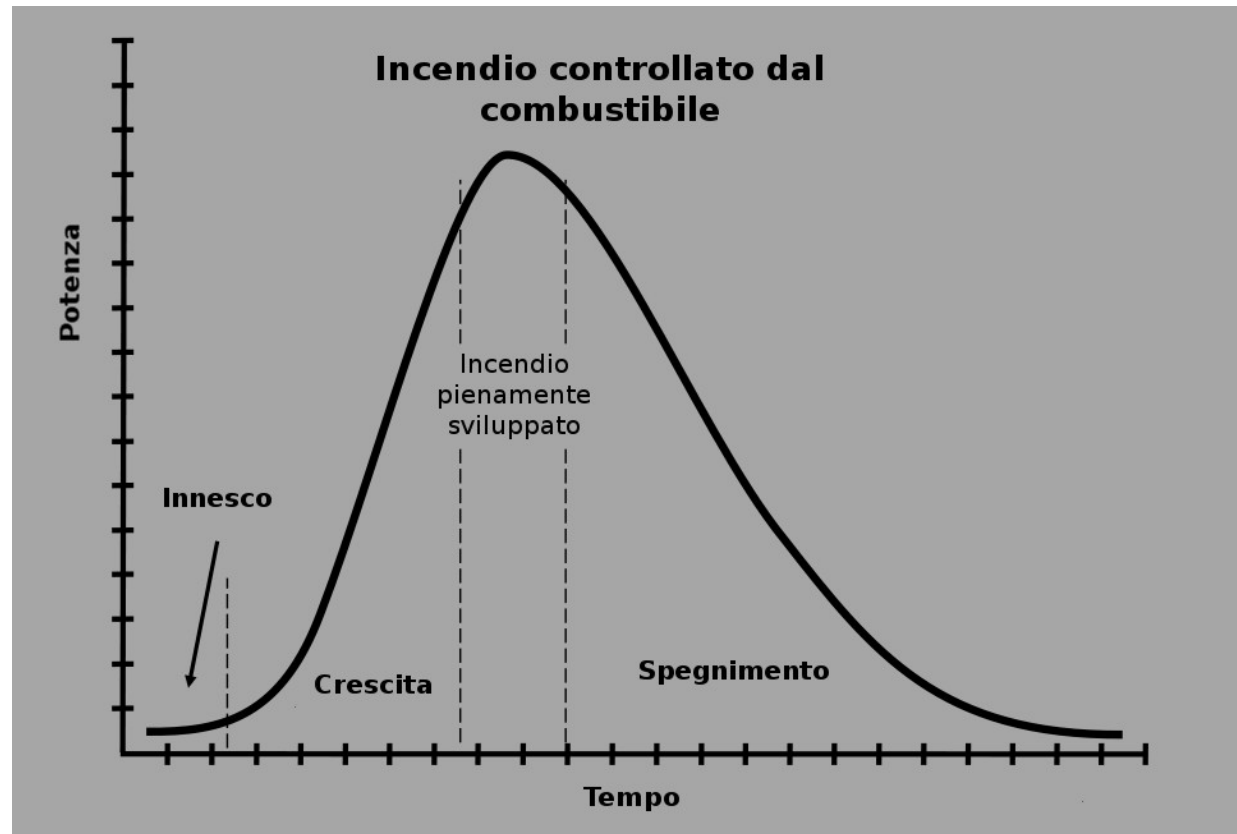
Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

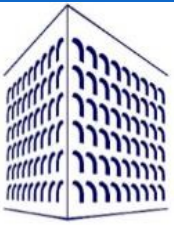
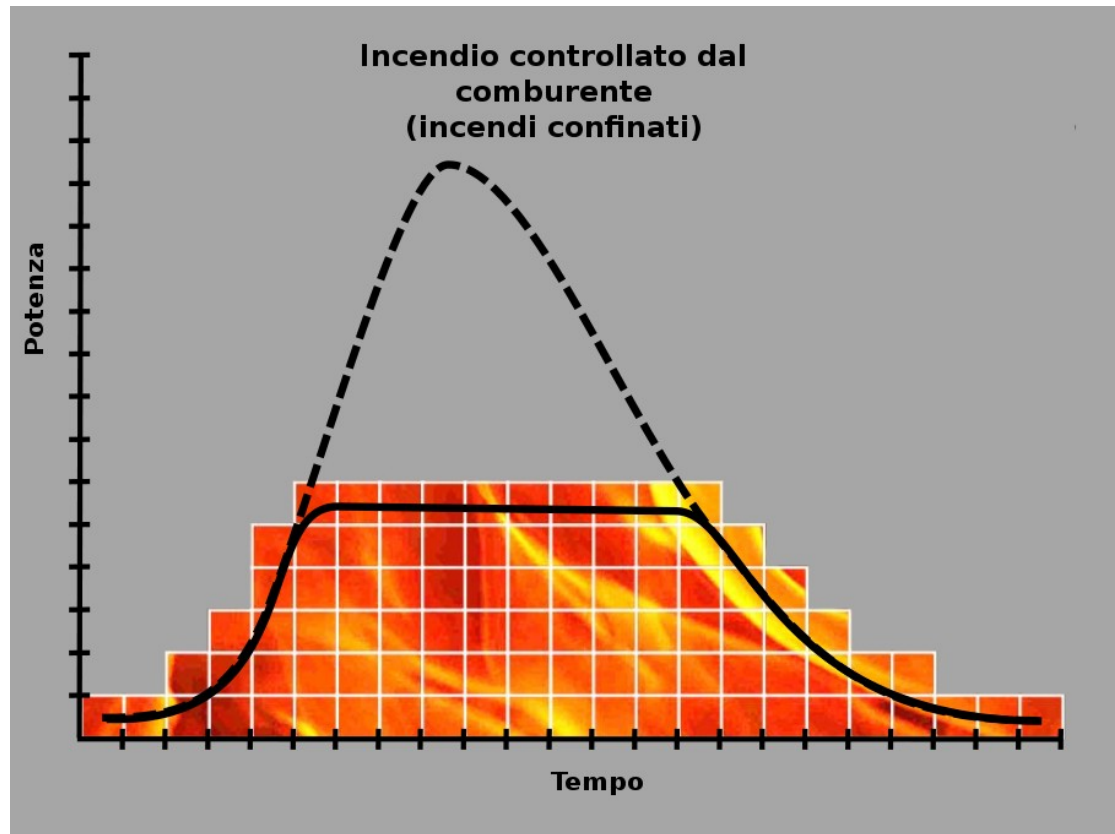
Calcolo dell'ASET incendio di progetto – in realtà



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto – in realtà





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Capitolo M.2.6

Fase di propagazione dell'incendio M.2.6.1

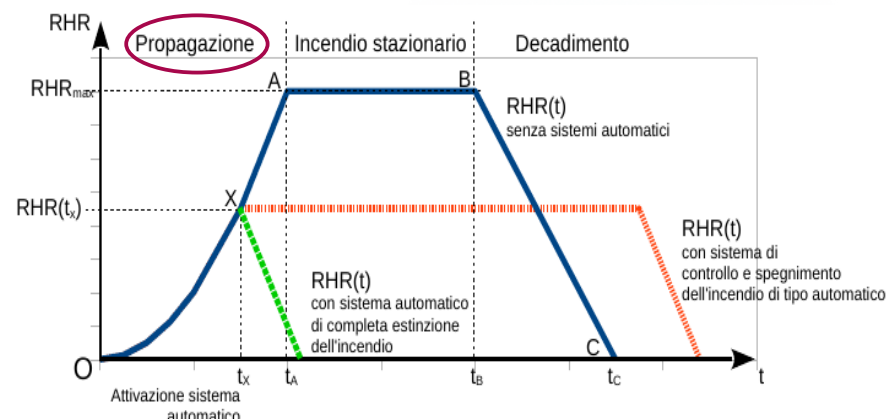
$$P_{\text{incendio}} = \alpha \cdot t^2 = \left(\frac{1.000}{t_{\alpha}^2} \right) \cdot t^2$$

P_{incendio} : potenza raggiunta dell'incendio (kW)

1.000 : potenza di riferimento (flash-over ISO 9705)

T_{α} : tempo necessario a raggiungere 1.000 kW

t : tempo (s)



δ_{α}	Velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio t_{α} [s]	Esempi
1	600 Lenta	Materiali poco combustibili distribuiti in modo discontinuo o inseriti in contenitori non combustibili
2	300 Media	Scatole di cartone impilate, pallets di legno, libri ordinati su scaffale, mobilio in legno, materiali classificati per reazione al fuoco (capitolo 5)
3	150 Rapida	Materiali plastici impilati, prodotti tessili sintetici, apparecchiature elettroniche, automobili, materiali combustibili non classificati per reazione al fuoco
4	75 Ultra-rapida	Liquidi infiammabili, materiali plastici cellulari o espansi, schiume combustibili





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

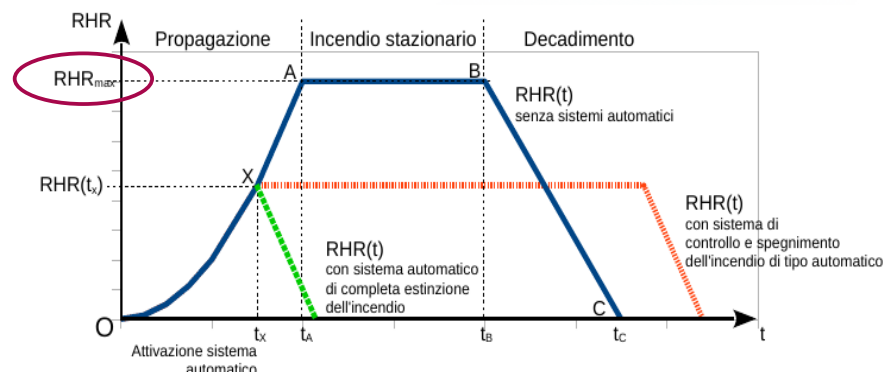
Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Capitolo M.2.6

Fase stazionaria dell'incendio M.2.6.3

Incendio controllato dal combustibile

$$P_{\text{incendioMAX}} = RHR_{\text{area}} \cdot A_{\text{superficie}}$$



Velocità massima di rilascio di calore RHR_t			
Destinazione d'uso	Velocità di crescita dell'incendio	t_{α} [s]	RHR_t [kW/m ²]
Alloggio	Media	300	250
Ospedale (stanza)	Media	300	250
Albergo (stanza)	Media	300	250
Biblioteca	Veloce	150	500
Ufficio	Media	300	250
Classe di una scuola	Media	300	250
Centro commerciale	Veloce	150	250
Teatro (cinema)	Veloce	150	500
Trasporti (spazio pubblico)	Lenta	600	250





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Ma anche

Incendio controllato dal combustibile

Drysdale: cinetica della reazione di combustione

$$P_{incendioMAX} = A_f \cdot \dot{m} \cdot x \cdot \Delta H_c \text{ (kW)}$$

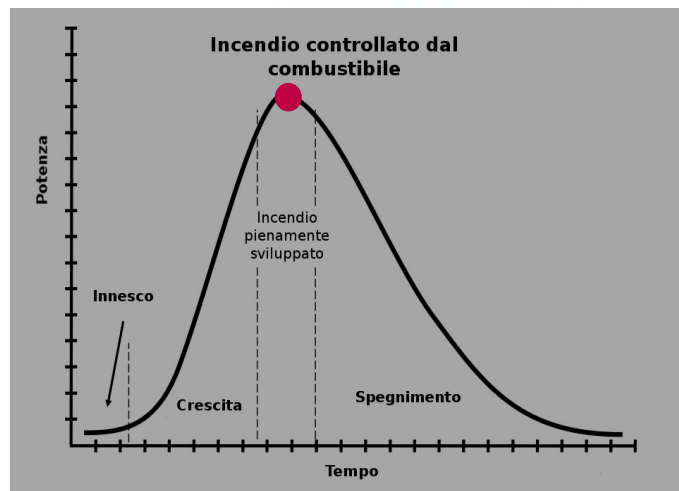
Con:

\dot{m} : velocità di combustione (kg/s)

A_f : area della superficie del combustibile esposta all'aria (m²)

x : conversione del combustibile (tra 0,9 e 0,6)

ΔH_c : entalpia di reazione (coincidente con il PCI kJ)





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Capitolo M.2.6

Fase stazionaria dell'incendio M.2.6.3

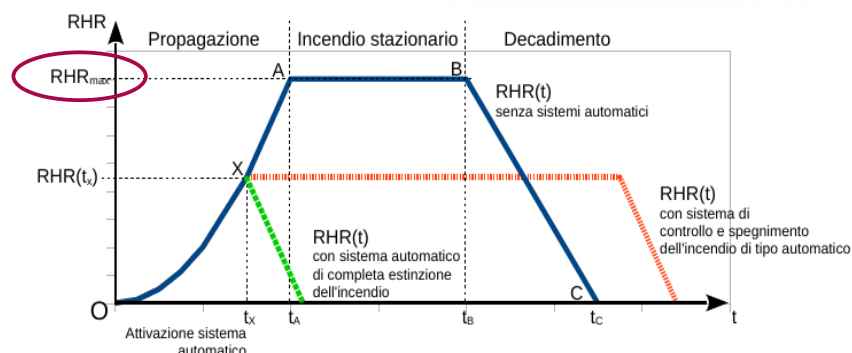
Incendio controllato dal comburente

$$P_{\text{incendioMAX}} = 0,10 \cdot m \cdot H_u \cdot A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}$$

Con:

- m : *fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 del DM 03/08/2015.*
- H_u : *potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.*
- A_v : *area totale delle aperture verticali su tutte le pareti del compartimento (m²)*
- h_{eq} : *altezza equivalente delle aperture verticali calcolata con la seguente relazione:*

$$h_{eq} = \frac{\sum_i A_{vi} \cdot h_i}{A_v}$$



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Ma anche

Fase stazionaria dell'incendio

Incendio controllato dal comburente

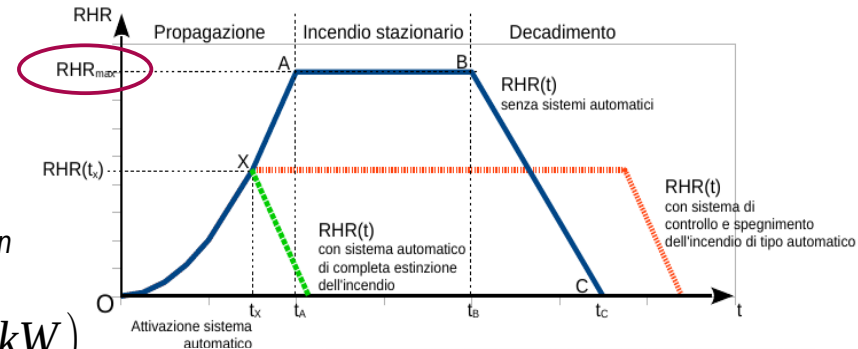
Flashover (incendio confinato) – potenza generata

Mc Caffrey - Quintiere: interpolazione dati sperimentali applicato ad un compartimento con T_{fumi} pari a 600 °C

$$P_{incendioMAX} = 610 \cdot (h_k \cdot A_T \cdot A \cdot \sqrt{h_{eq}})^{0,5} \text{ (kW)}$$

Con:

- h_k : coefficiente di trasmissione del calore
- A_T : area totale delle superfici che circoscrivono il compartimento
- A_i : area della superficie i-esima che circoscrive il compartimento
- A : area totale delle superfici di aerazione
- A_{vi} : area della superficie di ventilazione i-esima
- h_{eq} : altezza media equivalente delle superfici di aerazione
- h_i : altezza della superficie di ventilazione i-esima
- k_i : conducibilità termica della superficie i-esima
- ρ_i : densità della superficie i-esima
- c_i : calore specifico della superficie i-esima
- t : tempo di esposizione all'incendio
- δ_i : spessore della superficie i-esima



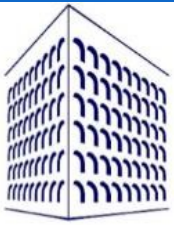
$$t_p = \frac{\rho \cdot Cp}{k} \cdot \left(\frac{\delta}{2} \right)^2$$

$$h_k = \frac{\sum_i A_i \cdot \sqrt{\left(\frac{k_i \cdot \rho_i \cdot c_i}{t} \right)}}{A_T}$$

Con gradiente di temperatura stazionario

$$h_{eq} = \frac{\sum_i A_{vi} \cdot h_i}{A}$$

$$h_k = \frac{\sum_i A_i \cdot \sqrt{\left(\frac{k_i}{\delta_i} \right)}}{A_T}$$





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Ma anche

Fase stazionaria dell'incendio

Incendio controllato dal comburente

Flashover (incendio confinato) – potenza generata

Thomas: bilancio di energia semplificato ed applicato ad un compartimento

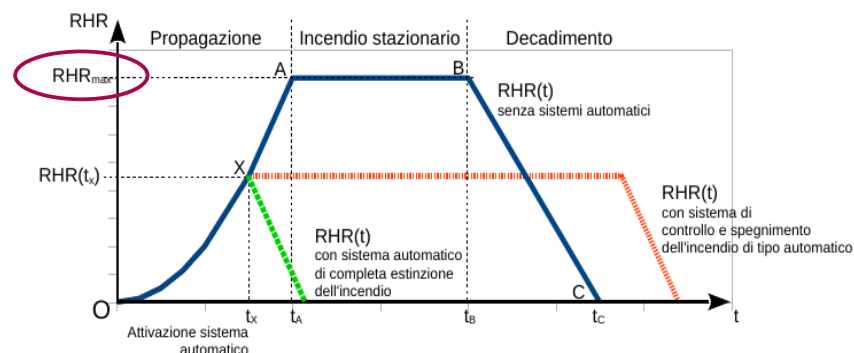
$$P_{\text{incendioMAX}} = 7,8 \cdot A_T + 378 \cdot A \cdot \sqrt{h_{eq}} \text{ (kW)}$$

Con:

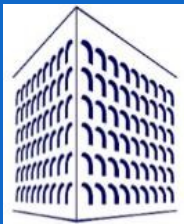
A_T : area totale delle superfici che circoscrivono il compartimento

A : area totale delle superfici di aerazione

h_{eq} : altezza media delle superfici di aerazione



$$h_{eq} = \frac{\sum A_{vi} \cdot h_i}{A}$$



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

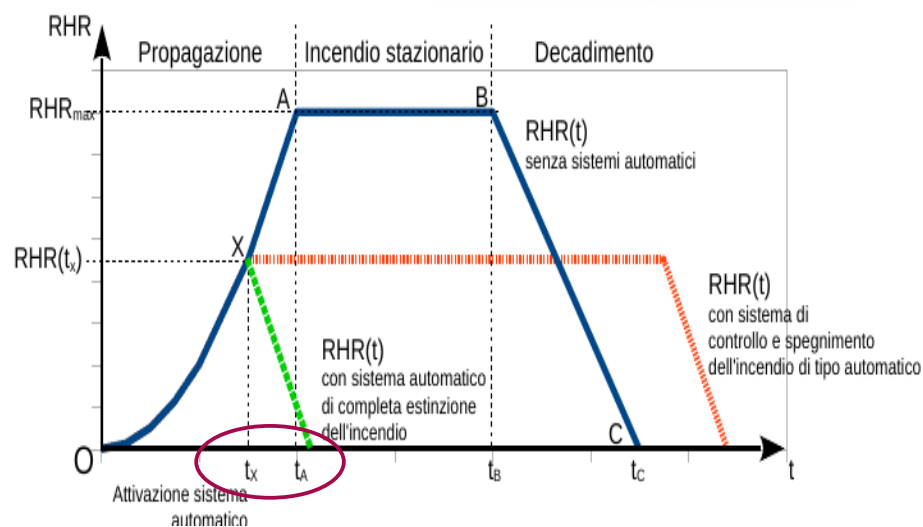
Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Capitolo M.2.6

Fase stazionaria dell'incendio M.2.6.3

Calcolo del tempo t_A di inizio della fase stazionaria

$$t_A = \sqrt{\frac{P_{\text{incendioMAX}} \cdot t_\alpha^2}{1.000}}$$





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

Incendio di progetto – Capitolo M.2.6

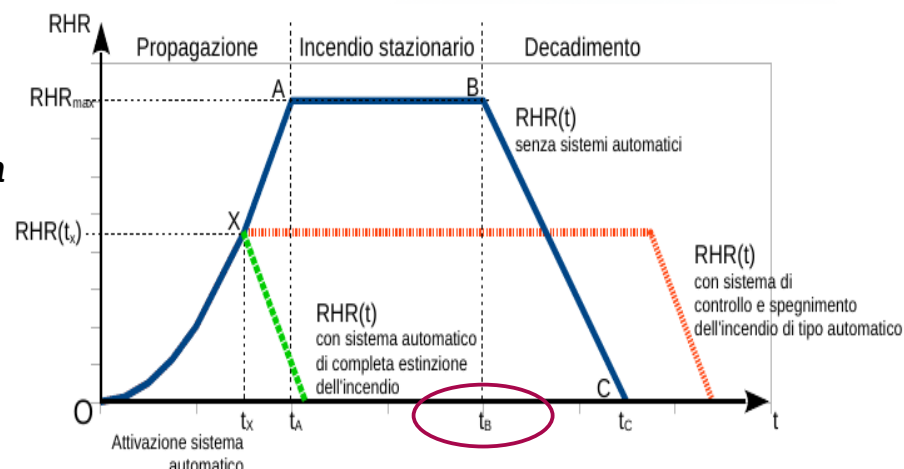
Fase stazionaria dell'incendio M.2.6.3

Calcolo del tempo t_B di durata della fase stazionaria

Se è verificata la seguente condizione
(esiste la fase stazionaria)

$$q_f \cdot A_f \cdot 0,7 \geq \frac{1.000 \cdot t_A^3}{3 \cdot t_\alpha^2}$$

$$t_B = t_A + \frac{0,7 \cdot q_f \cdot A_f - \frac{1.000 \cdot t_A^3}{3 \cdot t_\alpha^2}}{P_{incendioMAX}}$$





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i. Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

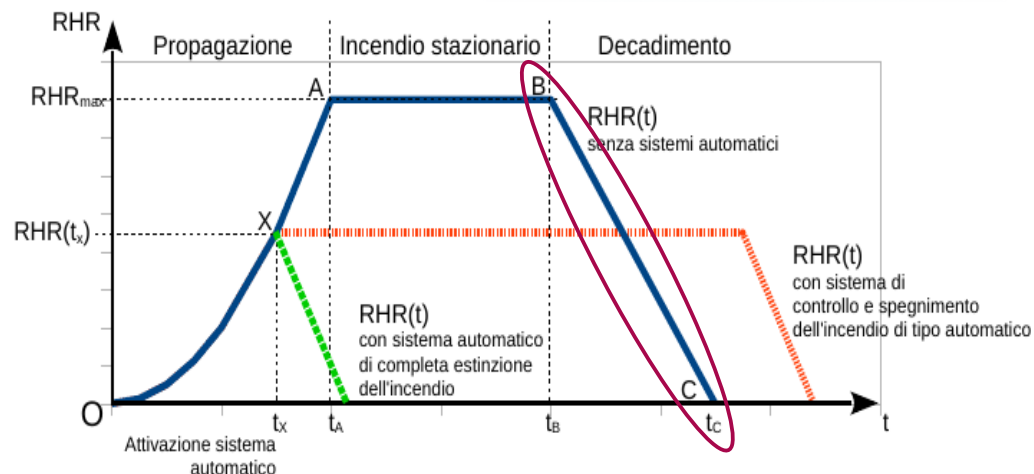
Incendio di progetto – Capitolo M.2.6

Fase di decadimento dell'incendio M.2.6.4

$$P_{\text{incendio}} = P_{\text{incendioMAX}} \cdot \frac{t_C - t}{t_C - t_B}$$

Con

$$t_C = t_B + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot q_f \cdot A_f}{P_{\text{incendioMAX}}}$$





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET incendio di progetto

M.2.7

Focolare predefinito

1. Qualora si intenda omettere le valutazioni in merito alla descrizione quantitativa del focolare di cui al paragrafo M.2.4, possono essere impiegati i *focolari predefiniti* descritti quantitativamente secondo il metodo indicato nel paragrafo M.2.6, impiegando i valori dei parametri di cui alla tabella M.2-2.
2. È escluso l'impiego dei focolari predefiniti nei casi in cui si valuti che i focolari attesi risultino più gravosi di quelli previsti in tabella M.2-2.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_i	150 s (<i>fast</i>)	75 s (<i>ultra-fast</i>)
RHR _{max} totale	5 MW	50 MW
RHR _{max} 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: 0,18 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 ΔH _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 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 Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008		
[3] "CVM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code		
[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4 th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da polyurethane flexible foams.		
[5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con Φ = 1,25 (<i>underventilated fire</i>)		
[6] In alternativa alle rese Y _{co2} e Y _{H2O} , si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico CH ₂ O _{0,5} .		

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti

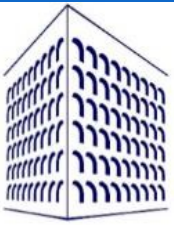


DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Evoluzione dell'incendio – Modelli semplificati

- Fase di crescita dell'incendio – volume dei fumi prodotti dall'incendio



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET - modelli semplificati

Calcolo della temperatura dei fumi - Metodo di McCaffrey, Quintiere e Harkleroad

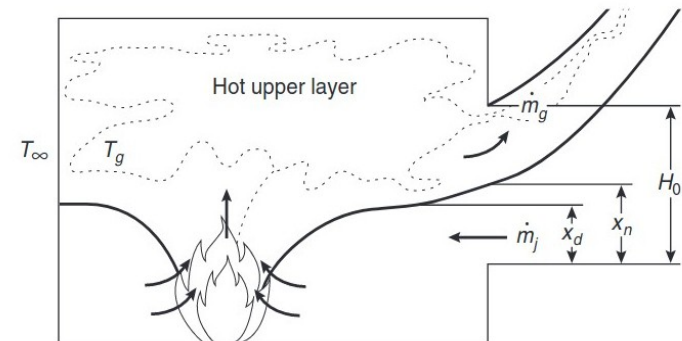
Modello a zone - Condizioni quasi stazionarie

$$\dot{Q} = q_{UscitoAperture} + q_{PersoConduzione}$$

$$\Delta T_g = T_g - T_\infty = 6,85 \cdot \left(\frac{\dot{Q}^2}{A_0 \cdot \sqrt{H_{eq}} \cdot h_k \cdot A_T} \right)^{(1/3)}$$

Con:

- T_g : Temperatura dei fumi [K]
- T : Temperatura ambiente [K]
- A_0 : area superfici di ventilazione [m²]
- H_{eq} : altezza equivalente delle sup. di ventilazione [m]
- h_k : coefficiente di trasmissione termica [kW/(m² K)]
- A_T : area superfici compartimento [m²]
- K : conducibilità termica pareti comp.to [kW/(m K)]
- δ : spessore pareti compartimento [m]
- Cp : calore specifico a p cost. pareti comp.to [kJ/(kg K)]
- t : tempo di esposizione delle pareti comp.to [s]
- t_p : tempo caratteristico di penetrazione termica [s]
- ρ : densità delle pareti comp.to [kg/m³]



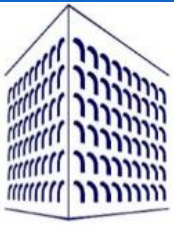
$$t_p = \frac{\rho \cdot Cp}{k} \cdot \left(\frac{\delta}{2} \right)^2$$

per $t > t_p$

$$h_k = \frac{\sum_i A_i \cdot \sqrt{\left(\frac{k_i}{\delta_i} \right)}}{A_T}$$

per $t \leq t_p$

$$h_k = \frac{\sum_i A_i \cdot \sqrt{\left(\frac{k_i \cdot \rho_i \cdot c_i}{t} \right)}}{A_T}$$





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET - modelli semplificati

Calcolo dell'altezza dello strato di fumi – ISO 16735 Modello a zone

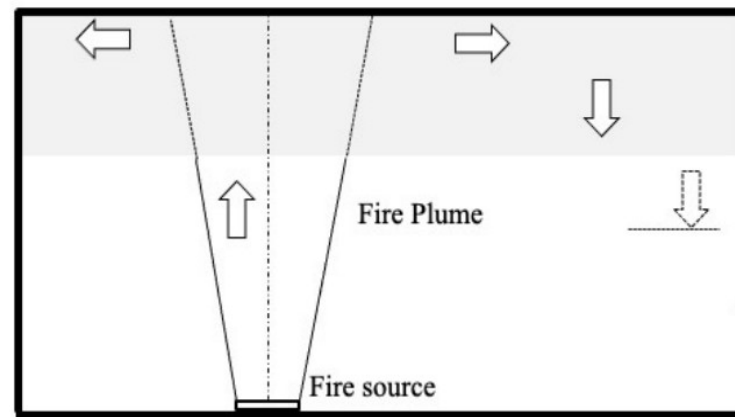
$$z = \left(\frac{0.076}{\rho_s} \frac{(1 - \chi)^{1/3} \times \alpha^{1/3}}{A} \frac{2}{n + 3} t^{(1 + \frac{n}{3})} + \frac{1}{H^{2/3}} \right)^{-3/2} \quad \text{Condizione } Z_L \leq Z$$

$$D = \left(\frac{4 \cdot \dot{Q}}{\pi \cdot RHR_{sp}} \right)^{0,5} \quad D = \left(\frac{4 \cdot A_f}{\pi} \right)^{0,5} \quad \dot{Q}_c = \dot{Q} \cdot 0,7 \quad Z_L = -1,02 \cdot D + 0,083 (\dot{Q})^{2/5} + 0,166 \cdot (\dot{Q}_c)^{2/5}$$

$$Z_0 = -1,02 \cdot D + 0,083 (\dot{Q})^{2/5}$$

Con:

- z : Altezza del Layer fumi rispetto al pavimento [m]
- Z_0 : Quota dell'origine virtuale della fiamma [m]
- Z_f : Altezza della fiamma dalla quota virtuale [m]
- \dot{Q} : Potenza rilasciata dalla combustione [kW]
- \dot{Q}_c : Potenza convettiva [kW]
- D : Diametro caratteristico dell'incendio [m²]
- χ : Frazione della potenza emessa come radiazione ir
- A : Area dell'ambiente [m²]
- H : Altezza dell'ambiente [m]
- n : Potenza della curva d'incendio αt^n ($n=2$)
- ρ_s : Densità del fumo [kg/m³]





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET - modelli semplificati

Calcolo dell'altezza dello strato di fumi – NFPA Modello a zone

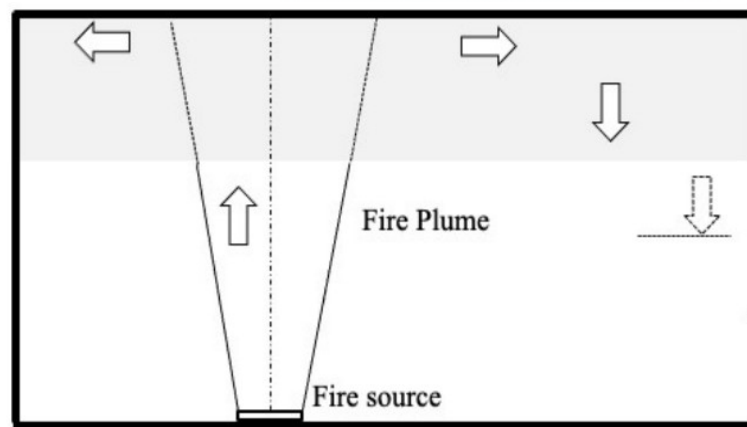
$$z = 0.91 \times \left(\frac{t}{t_g^{2/5} \times H^{4/5} \times (A/H^2)^{3/5}} \right)^{-1.45} \times H \quad \text{Condizioni } 0.9 < \frac{A}{H} < 23 \text{ e } \frac{Z}{H} > 0.2$$

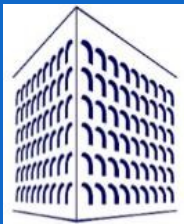
$$D = \left(\frac{4 \cdot \dot{Q}}{\pi \cdot RHR_{sp}} \right)^{0.5} \quad D = \left(\frac{4 \cdot A_f}{\pi} \right)^{0.5} \quad \dot{Q}_c = \dot{Q} \cdot 0.7 \quad Z_L = -1.02 \cdot D + 0.083 (\dot{Q})^{2/5} + 0.166 \cdot (\dot{Q}_c)^{2/5}$$

$$Z_0 = -1.02 \cdot D + 0.083 (\dot{Q})^{2/5}$$

Con:

- z : Altezza del Layer fumi rispetto a pavimento [m]
- Z_0 : Quota dell'origine virtuale della fiamma [m]
- Z_L : Altezza della fiamma dalla quota virtuale [m]
- \dot{Q} : Potenza rilasciata dalla combustione [kW]
- \dot{Q}_c : Potenza convettiva [kW]
- D : Diametro caratteristico dell'incendio [m]
- t_g : Tempo caratteristico di crescita dell'incendio [s]
- A : Area dell'ambiente [m²]
- H : Altezza dell'ambiente [m]





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET - modelli semplificati

Calcolo dell'altezza dello strato di fumi – NIST

Modello a zone

$$z = \left(1 + \frac{20 \times k_v \times t^{5/3}}{H^{-4/3} \times \frac{A}{H^2}} \right)^{-\frac{3}{2}} \times H$$

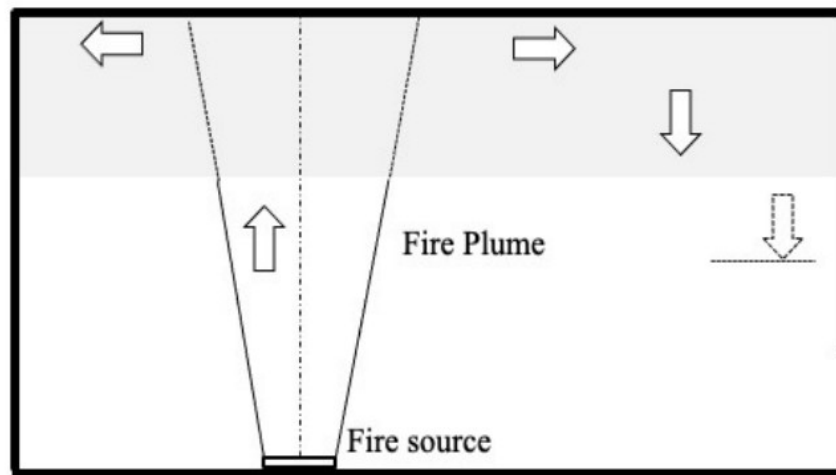
$$D = \left(\frac{4 \cdot \dot{Q}}{\pi \cdot RHR_{sp}} \right)^{0,5} \quad D = \left(\frac{4 \cdot A_f}{\pi} \right)^{0,5} \quad \dot{Q}_c = \dot{Q} \cdot 0,7$$

$$Z_L = -1,02 \cdot D + 0,083 (\dot{Q})^{2/5} + 0,166 \cdot (\dot{Q}_c)^{2/5}$$

$$Z_0 = -1,02 \cdot D + 0,083 (\dot{Q})^{2/5}$$

Con:

- z : Altezza del Layer fumi rispetto a pavimento [m]
- Z_0 : Quota dell'origine virtuale della fiamma [m]
- Z_L : Altezza della fiamma dalla quota virtuale [m]
- Q : Potenza rilasciata dalla combustione [kW]
- Q_c : Potenza convettiva [kW]
- D : Diametro caratteristico dell'incendio [m²]
- t_g : Tempo caratteristico di crescita dell'incendio [s]
- A : Area dell'ambiente [m²]
- H : Altezza dell'ambiente [m]
- K_v : Costante di immissione aria 0,00064 [m^{4/3}/(s kW^{1/3})]





DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico

Calcolo dell'ASET - modelli semplificati - livelli di prestazione

Fondazione
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma

Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Altezza minima dei fumi stratificati dal piano di calpestio al di sotto del quale permanga lo strato d'aria indisturbata	Occupanti: 2 m	Ridotto da ISO/TR 16738:2009, section 11.2
	Soccorritori: 1,5 m	[1]
Temperatura media dello strato di fumi caldi	Occupanti: 200°C	ISO/TR 16738:2009, section 11.2
	Soccorritori: 250°C	[1]
[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.		

Tabella M.3-3: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo semplificato



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

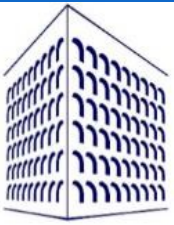
Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

3. RSET è determinato da varie componenti, come il *tempo di rivelazione (detection)* t_{det} , il *tempo di allarme generale* t_a , il *tempo di pre-movimento (pre-travel activity time, PTAT)* t_{pre} , il *tempo di movimento (travel)* t_{tra} :

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra} \quad \text{M.3-4}$$

4. Al fine del calcolo di RSET il professionista antincendio deve sviluppare lo *scenario comportamentale di progetto più appropriato* per il caso specifico, perché l'attività di pre-movimento e le velocità dell'esodo dipendono dalla tipologia di popolazione considerata e dalle modalità d'impiego dell'edificio.

Nota I parametri variano notevolmente se gli occupanti sono svegli ed hanno familiarità con l'edificio, come in un edificio scolastico, o dormono e non conoscono la struttura, come in una struttura alberghiera.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Tempo di Rivelazione: t_{det}

In caso di sistema IRAI, dipende dal sensore e dalla velocità caratteristica di crescita dell'incendio. Esistono formule empiriche come quella di Beyler che neconsentono una valutazione approssimata (normalmente intorno ai 45-60s).

Tempo di allarme: t_a

Tipologia di sistema di allarme	Tempo stimato (min)
Sistema automatico di rivelazione e allarme incendio	0
Sistema automatico di rivelazione ed allarme incendio con preallarme	2 - 5
Assenza di sistema di rivelazione esteso a tutta l'attività	> 5



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Tempo di Reazione: t_{pre}

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO/TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO/TR 16738	
	$\Delta t_{pre} (1st)$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre} (99th)$ ultimi occupanti in fuga
Esempio 1: albergo di media complessità <ul style="list-style-type: none"> occupanti: <i>Ciii, sleeping and unfamiliar</i>; sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>. 	20'	40'
Esempio 2: grande attività produttiva <ul style="list-style-type: none"> occupanti: <i>A, awake and familiar</i>; sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout complesso</i>; gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>. 	1' 30"	3' 30"
Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale <ul style="list-style-type: none"> occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>; sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>; presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili. 	5'	10'

Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento, tratto da ISO/TR 16738



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Tempo di movimento: t_{tra} o Δt_{sf}

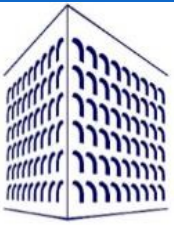
$$\Delta t_{sf} = f(V, D, L)$$

Con:

- V : velocità di percorrenza delle vie d'esodo (m/s)
 D : densità di affollamento (max 3,75 pers/m²)
 L : larghezza delle vie d'esodo (m)

Può essere calcolato con:

- a) metodi di calcolo avanzati**
- b) metodi di calcolo semplificati**



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Modelli avanzati

Modelli comportamentali (B): sono quei modelli che descrivono il comportamento degli occupanti, consentendo di impostare specifiche azioni oltre al movimento verso un obiettivo specificato (uscita). Questi modelli possono anche prevedere algoritmi, che simulano il processo decisionale da parte degli occupanti nei confronti di specifiche azioni sulla base delle specifiche condizioni d'esodo.

Modelli di movimento (M): sono quei modelli che simulano lo spostamento degli occupanti da un punto dell'edificio a un altro (di solito l'uscita o una posizione di sicurezza) mediante modelli derivati da principi di idraulica. Questi modelli sono fondamentali per simulare aree congestionate, ed analizzare i fenomeni di code o colli di bottiglia all'interno del sistema organizzato delle vie d'esodo. Sono i più utilizzati nell'ottimizzazione delle scelte progettuali

Modelli comportamentali parziali (PB): sono quei modelli che simulano principalmente il movimento degli occupanti, integrandolo con algoritmi comportamentali. Gli aspetti comportamentali sono rappresentati da pre-distribuzioni del tempo di movimento tra gli occupanti, caratteristiche uniche degli occupanti, comportamento di sorpasso e l'introduzione di fumo o effetti di fumo per l'occupante. Queste sono modelli in grado di simulare in maniera propria l'esodo da interi complessi.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Modelli avanzati – Software disponibili

Modelli comportamentali (B):

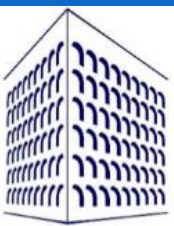
EXITT, Legion, EGRESS 2002, Evacsim, VegAS, E-SCAPE, ... ecc.

Modelli di movimento (M):

TIMTEX, WAYOUT, PathFinder, EESCAPE, EgressPro, Magnetic Model, ... ecc.

Modelli comportamentali parziali (PB):

STEPS, PedGo, EVAC-FDS, ALLSAFE, SGEM, ... ecc.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

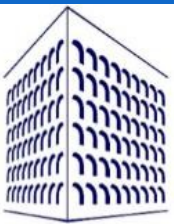
Modelli semplificati: Tempo di movimento: t_{tra}

Velocità V

$$V = V_c + V_c \cdot D_a$$

Con:

V_c	: velocità caratteristica (m/s)
a	: costante di affollamento (pari a 0,266 m ² /pers.)
D_a	: densità di affollamento (max 3,75 pers/m ²)



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

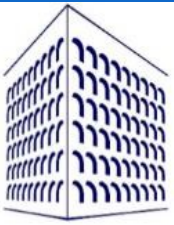
Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Modelli semplificati: Tempo di movimento: t_{tra}

Velocità caratteristica V_c per occupanti in buona salute e adulti in funzione del percorso

(Valori medi ricavati da Fruin a seguito di esercitazioni)

Velocità caratteristica		
Alzata (cm)	Pedata (cm)	V_c (m/s)
0	0	1,40
19	25	1
18	28	1,08
17	30	1,16
17	33	1,23



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

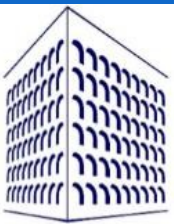
Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Modelli semplificati: Tempo di movimento: t_{tra}

Velocità caratteristiche V_c in funzione degli occupanti

(Linee guida **CFPA-E Guideline No 19:2009 F** - Fire safety engineering concerning evacuation from buildings)

Velocità caratteristica orizzontale				
Tipo di occupanti	Valore medio [m/s]	Deviazione Standard	• MIN - MAX [m/s]	• Intervallo (50%) Interquartile
Tutti i disabili	1,00	0,42	0,10-1,77	• 0,71-1,28
Disabili motori	0,80	0,32	0,24-1,68	• 0,57-1,02
Disabili non assistiti	0,85	0,32	0,24-1,68	• 0,70-1,02
Con stampelle	0,94	0,30	0,63-1,35	• 0,67-1,24
Con bastone	0,81	0,38	0,26-1,60	• 0,49-1,08
Con deambulatore	0,57	0,29	0,10-1,02	• 0,34-0,83
Privi di disabilità	1,25	0,32	0,82-1,77	• 1,05-1,34
Con sedia a rotelle	0,69	0,35	0,13-1,35	0,38-0,94
Con sedia a rotelle assistiti	1,30	0,94	0,84-1,98	1,02-1,59



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

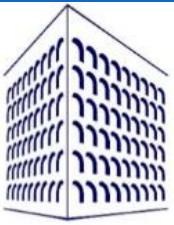
Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Modelli semplificati: Tempo di movimento: t_{tra}

Velocità caratteristiche V_c in funzione degli occupanti
(Linee guida **CFPA-E Guideline No 19:2009 F** - Fire safety engineering concerning evacuation from buildings)

Velocità caratteristica su scale in salita				
Tipo di occupanti	Valore medio [m/s]	Deviazione Standard	• MIN - MAX [m/s]	• Intervallo (50%) Interquartile
Disabili motori	0,38	0,14	0,13-0,62	0,26-0,52
Disabili non assistiti	0,43	0,13	0,14-0,62	0,35-0,55
Con stampelle	0,22	-	0,19-0,31	0,26-0,45
Con bastone	0,35	0,11	0,18-0,49	• -
Con deambulatore	0,14	-	-	• -
Privi di disabilità	0,70	0,24	0,55-0,82	0,55-0,78



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

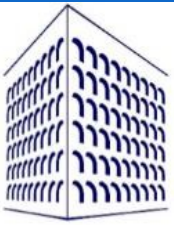
Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Modelli semplificati: Tempo di movimento: t_{tra}

Velocità caratteristiche V_c in funzione degli occupanti
(Linee guida **CFPA-E Guideline No 19:2009 F** - Fire safety engineering concerning evacuation from buildings)

Velocità caratteristica su scale in discesa				
Tipo di occupanti	Valore medio [m/s]	Deviazione Standard	• MIN - MAX • (m/s)	• Intervallo (50%) Interquartile
Disabili motori	0,33	0,16	0,11-0,70	0,22-0,45
Disabili non assistiti	0,36	0,14	0,11-0,70	0,20-0,47
Con stampelle	0,22	-	-	-
Con bastone	0,32	0,12	0,11-0,49	0,24-0,46
Con deambulatore	0,16	-	-	• -
Privi di disabilità	0,70	0,26	0,45-1,10	0,53-0,90



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico - ESODO

Calcolo dell'RSET – Capitolo M.3.4

Modelli semplificati: Tempo di movimento: t_{tra}

Deflusso Varchi

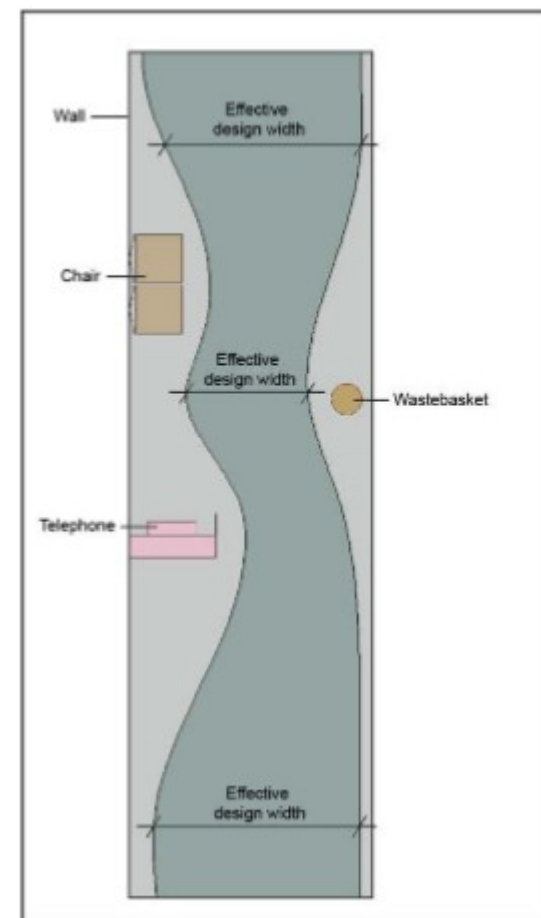
$$F = F_s \cdot L$$

con

L : larghezza del varco (m)

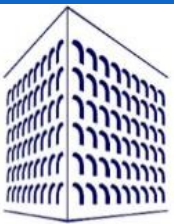
F_s : il capacità di deflusso (1,32 per./(m x s))

$$F_s = V \cdot D$$



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio



Fondazione
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma

Presentazione di un esempio pratico con soluzioni alternative attuate

Elaborazione effettuata sulla base di un progetto messo a disposizione
dall'Ing. **Enzo Santagati**



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

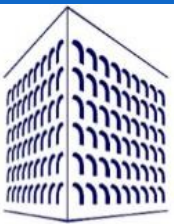
Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

Trattasi di un'attività inserita all'interno di un edificio pluripiano di altezza antincendio superiore a 24 m e inferiore ai 32 m realizzato con struttura portante mista in muratura e solai con travi in ferro e laterizio ed è costituito da un piano seminterrato e sei piani fuori terra.

L'edificio in cui è inserita l'attività nasce nei primi decenni del '900 ed ha una forte carattere storico architettonico che ne vincolano sia gli esterni che parte degli interni, condizionando in alcuni casi le tipologie di intervento di adeguamento.

Tutti i piani dell'attività sono messi in collegamento tra loro mediante scale e ascensori di tipo protetto, ad uso esclusivo.

La superficie complessiva degli uffici è di circa 17.000 mq suddivisa in compartimenti costituiti da ogni singolo piano della superficie di 2.500 mq circa.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

Descrizione del progetto (Att. n. 71/C Uffici)



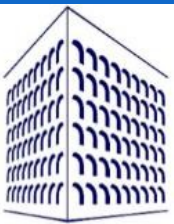
Piano tipo

Ing. Alessandro Leonardi

Corso di aggiornamento

13/06/2025

pag.72

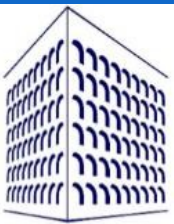


Fondazione
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio



Norme cogenti applicabili

1. Il DM 22/02/2006 - Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio delle attività uffici con oltre 300 persone
2. Il D.M. 03/08/2015 e s.m.i. con particolare riguardo al capitolo - **V.4: attività uffici** (ultimo aggiornamento V.4 con D.M. 24/11/2021 – ultimo testo coordinato disponibile su www.vigilfuoco.it del 02/01/2022).

DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

IDENTIFICAZIONE DEGLI OBIETTIVI DI SICUREZZA ANTINCENDIO

Gli obiettivi di sicurezza antincendio sono stati esattamente individuati in relazione al caso in esame anche in relazione agli obiettivi generali già previsti dalla Direttiva Europea Prodotti da Costruzione, requisito essenziale “sicurezza in caso di incendio”, in particolare gli obiettivi in relazione al caso in esame sono di seguito riportati:

- gli occupanti devono poter raggiungere un luogo sicuro ammettendo una larghezza delle vie di esodo verticale inferiore a quanto previsto dalla regola tecnica e comunque mai inferiore a 0,80 m come previsto dal D.lgs. 81/08;
- la produzione e la propagazione del fuoco e del fumo lungo il percorso di esodo più sfavorito deve essere limitata entro le soglie di cui al successivo capoverso;







DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

INDIVIDUAZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE

In relazione agli obiettivi di sicurezza individuati, nella presente sezione sono indicati quali sono i parametri significativi presi a riferimento per garantire il soddisfacimento degli stessi obiettivi, espressi in valori numerici. I parametri prevedono:




-  livelli di temperatura massima alla quale si può essere esposti;
-  livelli di visibilità;
-  livelli di irraggiamento termico a cui le persone o gli elementi possono essere esposti;
-  livelli di concentrazione delle specie tossiche.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

In particolare sono stati assunti i seguenti parametri:

-  **Livelli di temperatura:** Per gli occupanti può essere ritenuta ammissibile una esposizione ad una temperatura $\leq 50 \div 60$ °C per il tempo di esodo.
-  **Livelli di visibilità:** Per gli occupanti si può ritenere ammissibile una visibilità di 10 m per il tempo di esodo. Può essere giustificata per i soccorritori l'assunzione di livelli di visibilità ridotti ma garantiti per il tempo necessario all'intervento.
-  **Livelli di irraggiamento:** il livello di irraggiamento considerato è stato desunto dal contributo della sorgente di incendio, dei prodotti della combustione (fumi, gas) e delle strutture (pareti, solai).

Per l'analisi delle condizioni di esodo in sicurezza si è ritenuto necessario adottare dei valori inferiori, valori usualmente accettabili ai fini del raggiungimento dell'obiettivo di realizzare esodi in sicurezza, non sono superiori a 2 kW/ m², per un limitato tempo di esposizione.

Livelli di concentrazione delle specie tossiche:

Cautelativamente è stata imposta, nei percorsi di esodo, un'altezza dei fumi non inferiore a 1.8 dal pavimento, indipendentemente dalla composizione dei fumi stessi, impostando una visibilità non inferiore a 10 m, si può ragionevolmente trascurare la valutazione delle specie tossiche presenti.

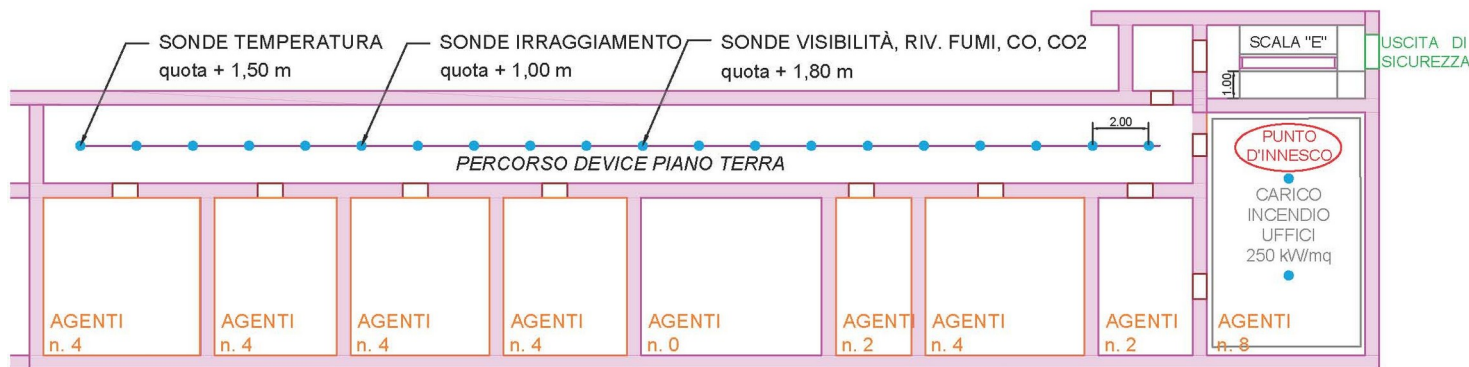


DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

INDIVIDUAZIONE DEGLI SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO

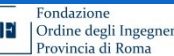
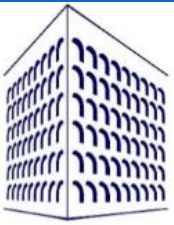
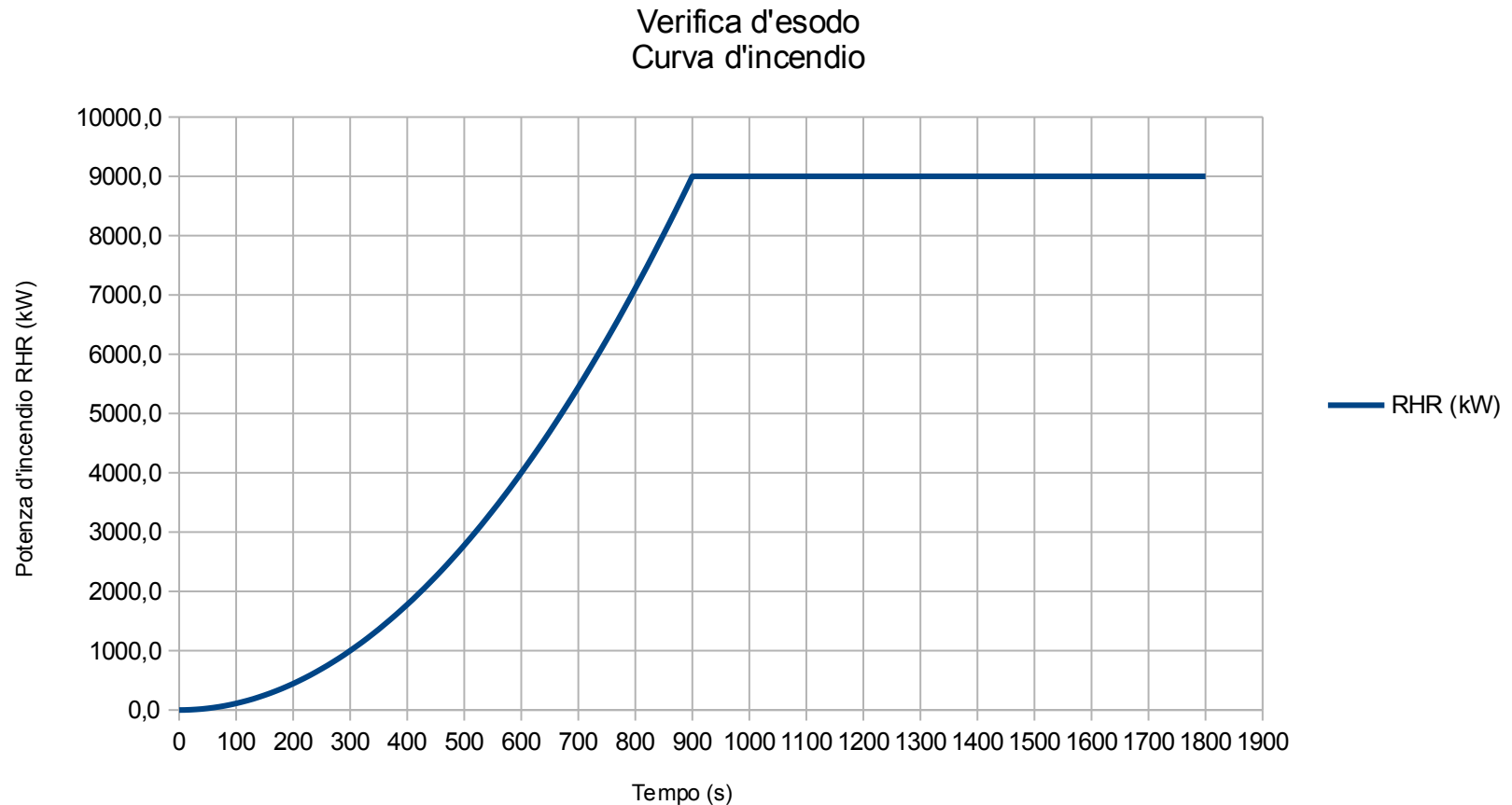
Lo **scenario** preso in considerazione descrive un incendio che si sviluppa durante una fase ordinaria dell'attività presente nell'area dell'edificio, nella quale insistono le scale E e D.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

La curva HRR relativa all'incendio simulato per lo scenario in esame è la seguente (incendio con velocità di crescita media $\alpha = 300$ s):



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

Nel calcolo sono stati inseriti i seguenti impianti di protezione antincendio e sonde di misura:

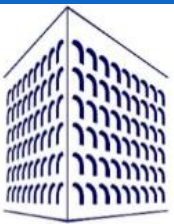
- Impianto di rivelazione incendi in conformità alla UNI 9795
- Sonde di temperatura, visibilità, irraggiamento intervallate e concentrazione specie tossiche ogni 2 m, per monitorare l'andamento dei livelli di prestazione

Caratteristiche dell'edificio

Nella definizione dello scenario di incendio, non sono state prese in considerazione le condizioni al contorno.

Nella simulazione effettuata i suddetti parametri non sono stati valutati ai fini del calcolo poiché le pareti ed i solai sono stati modellati come superfici adiabatiche, trascurando in tal modo la frazione di calore assorbita dagli elementi costruttivi. Questa scelta risulta conservativa in relazione alle temperature raggiunte nell'ambiente.

Al fine di monitorare l'andamento dei livelli di prestazione sono stati inseriti lungo i corridoi, sonde poste ogni 2 metri. Sono state inseriti inoltre dei rivelatori di fumo in prossimità del focolaio d'incendio.



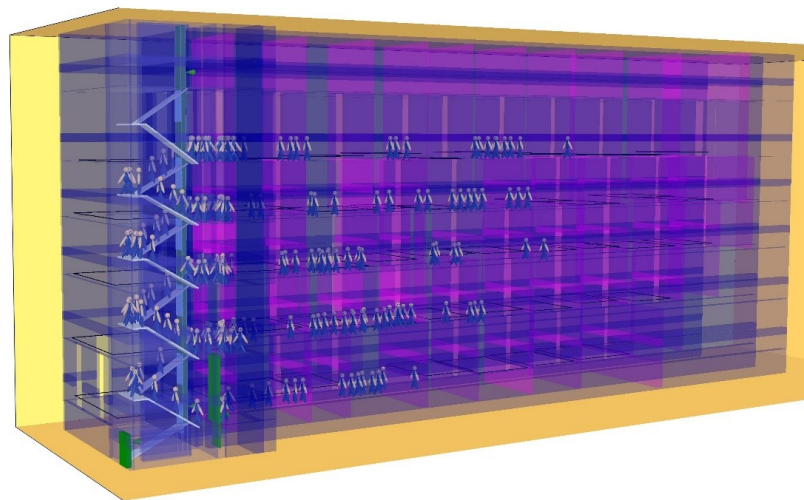
DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

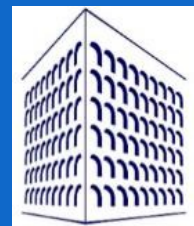
ANALISI QUANTITATIVA (II FASE)

La finalità della progettazione è quella di verificare che tutti gli occupanti dell'attività possano raggiungere in sicurezza il "luogo sicuro" utilizzando anche la scala E pur avendo la stessa larghezza inferiore a 1,20 m in alcuni tratti.

Dal calcolo EVAC risulta che l'evacuazione complessiva dell'edificio fino a luogo sicuro esterno attraverso la scala E avviene in 397", tempo compatibile con i normali valori di esodo registrati in attività similari.

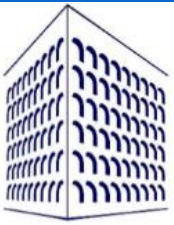


Fase iniziale dell'evacuazione attraverso la scala E

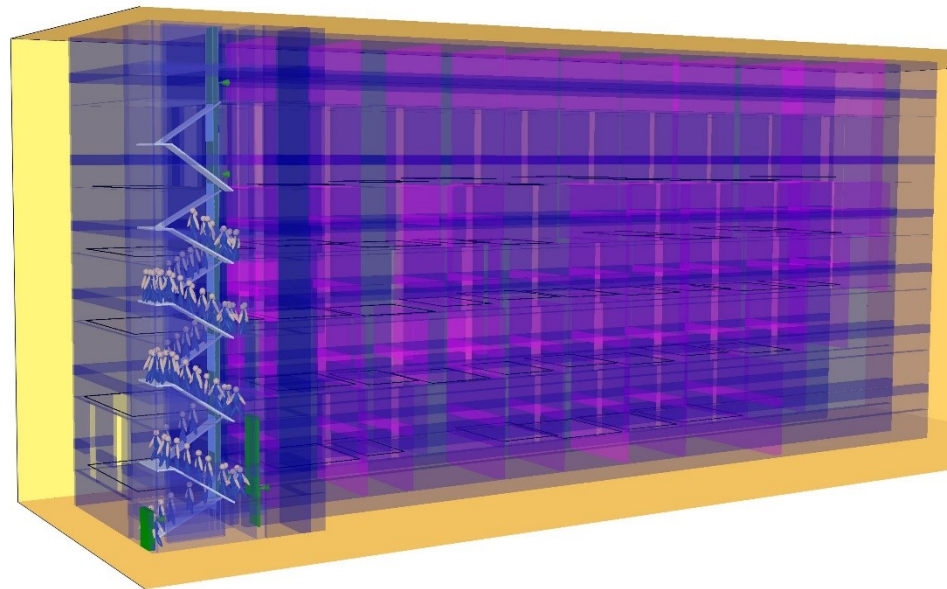


DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio



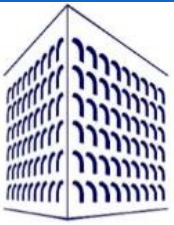
Fondazione
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma



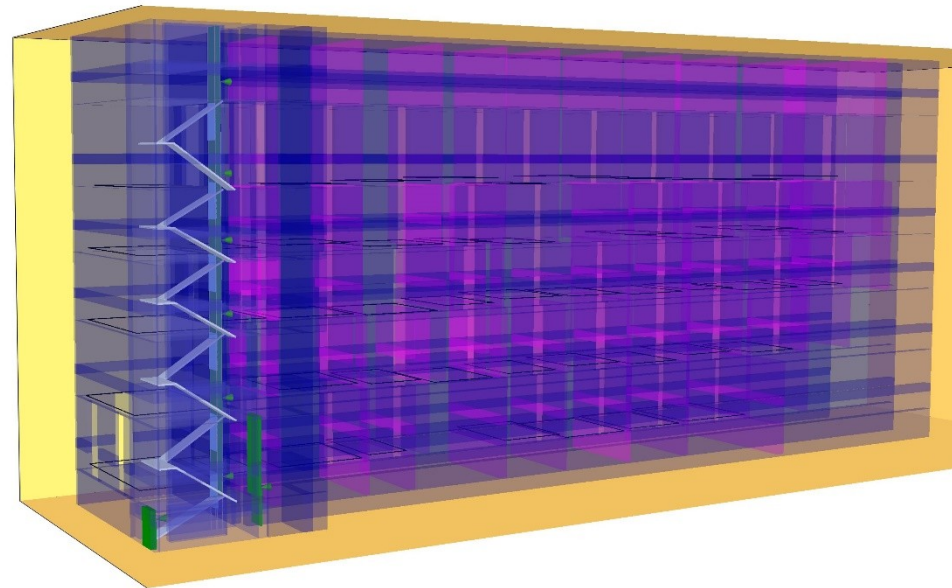
Evacuazione attraverso la scala E in progress

DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio



Fondazione
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma



Conclusione dell'evacuazione attraverso la scala E dopo 397 secondi



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

Dal calcolo di simulazione FDS-EVAC si ottiene l'attivazione del rivelatore di fumo all'interno della sala riunioni dopo circa 30", pertanto questo costituisce il **tempo di rivelazione** t_{det} .

A questo punto si assume che le persone presenti nella sala riunioni diano immediatamente l'allarme visto e che il sistema IRAI provveda alla apertura automatica delle finestre.

Si è ipotizzato che gli occupanti degli altri ambienti si ipotizza, a favore di sicurezza, inizino l'esodo dopo un tempo pari a 60" pertanto questo rappresenta il **tempo di allarme** t_a .

Dopo il **tempo di pre-movimento** t_{pre} , assunto pari a 30", inizia l'evacuazione dal piano terra che, come da calcolo EVAC si conclude in circa 180" fino a luogo sicuro temporaneo, ossia alla porta tagliafuoco appena prima dell'accesso alla scala E. Si è ipotizzato che, la scala D sia interdetta ad ogni piano (congruenza con la verifica di ridondanza). Si è inoltre considerato che tutte le porte della sala riunioni e degli uffici rimangano aperte, circostanza che favorisce la diffusione del fumo nei corridoi.

Le soglie di prestazione sono state monitorate lungo tutto il percorso di esodo del piano agli istanti corrispondenti al passaggio degli occupanti lungo le vie di esodo senza riscontrare alcun superamento di tali soglie. Il margine di sicurezza viene calcolato nei punti più sfavoriti del percorso di esodo, ossia dove viene superata la soglia di visibilità.



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

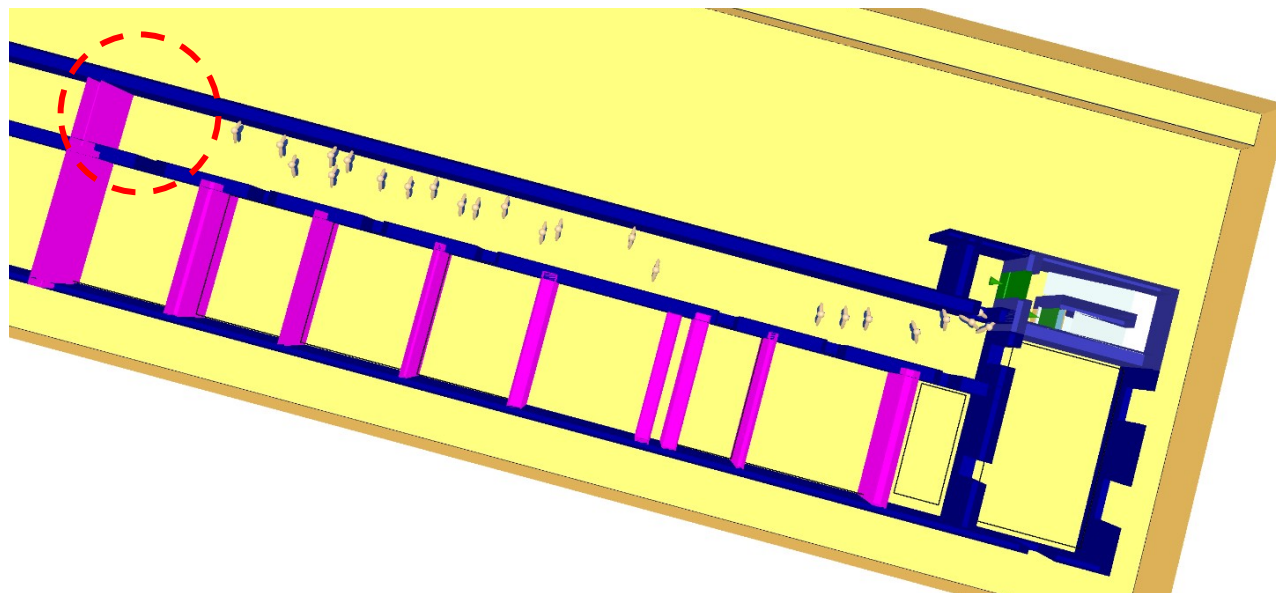
Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio

Punto critico - A

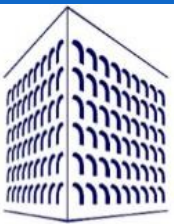
In posizione opposta alla sala riunioni si riscontra il primo superamento delle soglie, poiché il fumo si diffonde nel corridoio e poi inizia a stratificarsi.

Il valore di RSET nel punto è pari a $30'' + 60'' + 30'' + 10'' = 130''$ mentre l'ASET nello stesso punto vale $163''$, momento in cui viene superata la soglia di concentrazione dei fumi tossici. La verifica risulta quindi soddisfatta essendo:

ASET – RSET = $163'' - 130'' = 33'' > 30''$ margine di sicurezza minimo richiesto.

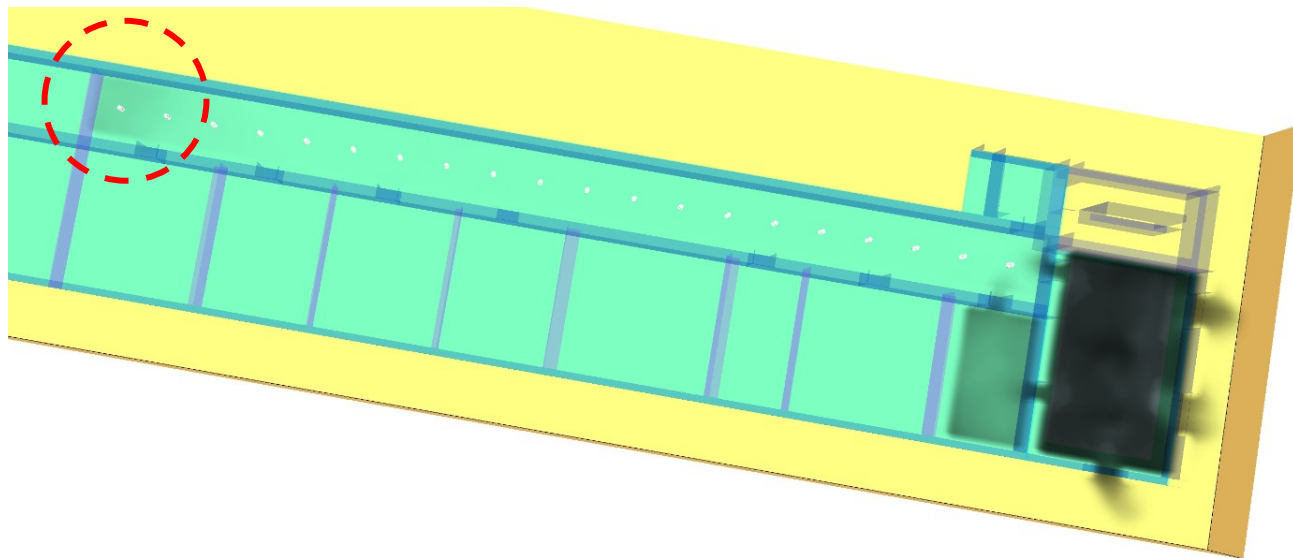


*Immagine EVAC piano terra dopo **163 secondi** del tempo di movimento, nel punto critico dove il parametro di concentrazione dei fumi tossici ha superato la soglia stabilita*



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

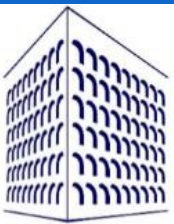
Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio



Punto critico - B

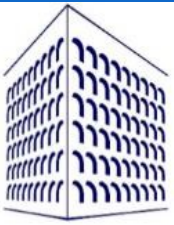
In prossimità della sala riunioni si riscontra il superamento delle soglie il valore di RSET è pari a $30''+60''+30''+50''=170''$ mentre l'ASET nello stesso punto vale $213''$, momento in cui viene superata la soglia di concentrazione dei fumi tossici. La verifica risulta quindi soddisfatta essendo:

ASET – RSET = $213''-170''= 43'' > 30''$ margine di sicurezza minimo richiesto



DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio



Fondazione
Ordine degli Ingegneri
Provincia di Roma

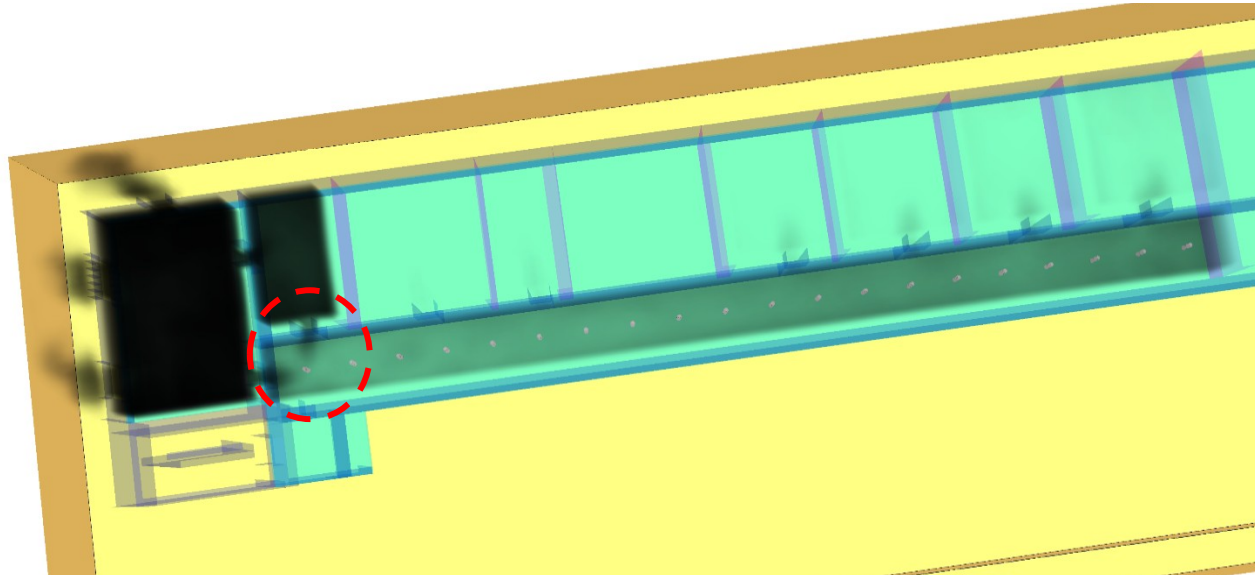
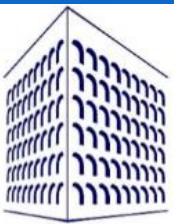


Immagine EVAC piano terra dopo 213 secondi del tempo di movimento, nel punto critico dove il parametro di concentrazione dei fumi tossici ha superato la soglia stabilita

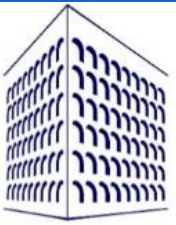
DM 09/05/2007 e DM 03/08/2015 e s.m.i.

Approccio ingegneristico – ESODO - Esempio



Risultati ottenuti

Le simulazioni condotte, hanno permesso di valutare il tempo necessario per evacuare (il tempo di rilevazione e allarme dell'incendio+ tempo inizio evacuazione + tempo luogo sicuro) in 6 min. e 37 sec. Le simulazioni d'incendio hanno mostrato come, per queste tempistiche, l'esodo degli occupanti avviene in sicurezza, dato che la visibilità, le temperature e i flussi radianti si mantengono sostanzialmente entro i livelli di soglia lungo le vie di fuga.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

