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

Premessa.....	2
Fasi della metodologia.....	2
Prima fase: analisi preliminare.....	3
Seconda fase: analisi quantitativa.....	5
Documentazione di progetto.....	5
Sommario tecnico.....	5
Relazione tecnica.....	6
Gestione della sicurezza antincendio.....	7
Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo.....	8
Riferimenti.....	8



M.1.1**Premessa**

1. L'applicazione dei principi dell'ingegneria della sicurezza antincendio consente, analogamente alle altre discipline ingegneristiche, di definire soluzioni idonee al raggiungimento di obiettivi progettuali mediante analisi di tipo quantitativo.
2. Nel presente capitolo si descrive in dettaglio la metodologia di progettazione dell'ingegneria della sicurezza antincendio (o *progettazione antincendio prestazionale*)
3. Per altri aspetti tecnici della progettazione antincendio prestazionale devono essere impiegate le indicazioni riportate nei seguenti capitoli:
 - a. capitolo M.2 *Scenari di incendio per la progettazione prestazionale*;
 - b. capitolo M.3 *Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale*.
4. Per gli aspetti della progettazione antincendio prestazionale non esplicitamente definiti nel presente documento si può fare riferimento alla regola dell'arte internazionale.

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.



M.1.3 **Prima fase: analisi preliminare**

1. La fase di analisi preliminare si compone delle seguenti sotto-fasi necessarie per definire i rischi da contrastare e, di conseguenza, i criteri oggettivi di quantificazione degli stessi necessari per la successiva analisi numerica.

M.1.3.1 **Definizione del progetto**

Nota Nei riferimenti internazionali, *Define project scope*

1. In questa sotto-fase viene definito lo scopo della progettazione antincendio.
2. Il professionista antincendio identifica e documenta almeno i seguenti aspetti:
 - a. destinazione d'uso dell'attività;
 - b. finalità della progettazione antincendio prestazionale;
 - c. eventuali vincoli progettuali derivanti da previsioni normative o da esigenze peculiari dell'attività;
 - d. pericoli di incendio connessi con la destinazione d'uso prevista;
 - e. condizioni al contorno per l'individuazione dei dati necessari per la valutazione degli effetti che si potrebbero produrre;
 - f. caratteristiche degli occupanti in relazione alla tipologia di edificio ed alla destinazione d'uso prevista.

M.1.3.2 **Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio**

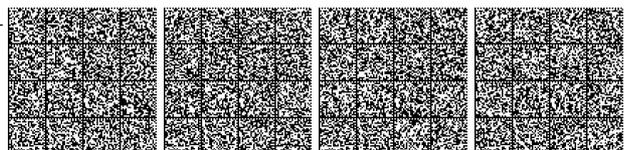
Nota Nei riferimenti internazionali, *Identify goals, define objectives*

1. Dopo aver stabilito lo scopo del progetto, in particolare la destinazione e le modalità di impiego dell'attività, il professionista antincendio specifica gli obiettivi di sicurezza antincendio, tra quelli previsti nel presente documento, in relazione alle specifiche esigenze dell'attività in esame ed alle finalità della progettazione.
2. Con gli obiettivi di sicurezza antincendio si specificano qualitativamente, ad esempio, il livello di salvaguardia dell'incolumità degli occupanti, il massimo danno tollerabile all'attività ed al suo contenuto, la continuità d'esercizio a seguito di un evento incidentale.

M.1.3.3 **Definizione delle soglie di prestazione**

Nota Nei riferimenti internazionali, *Develop performance criteria*

1. Il passo successivo consiste nella traduzione degli obiettivi antincendio in *soglie di prestazione (performance criteria)*. Si tratta di soglie di tipo quantitativo e qualitativo rispetto alle quali si può svolgere la valutazione oggettiva di sicurezza antincendio.
2. Con la scelta delle *soglie di prestazione* si rendono quindi quantitativi gli effetti termici sulle strutture, la propagazione dell'incendio, i danni agli occupanti, ai beni ed all'ambiente.
3. Tali *soglie di prestazione* devono poter essere utilizzate nella seconda fase della progettazione per discriminare in modo oggettivo le soluzioni progettuali che soddisfano gli obiettivi antincendio da quelle che invece non raggiungono le prestazioni richieste.
4. Ai fini della progettazione per la salvaguardia della vita si stabiliscono le *soglie di prestazione per la vita (life safety criteria)*. Si tratta delle soglie impiegate per definire l'*incapacitazione* degli occupanti esposti al fuoco ed ai suoi prodotti. Nel capitolo M.3 sono riportati esempi di valori numerici utilizzabili per tali progettazioni.



5. Per definizione, gli occupanti raggiungono l'*incapacitazione* quando diventano inabili a mettersi al sicuro autonomamente. A tale condizione segue, in breve tempo, il decesso del soggetto.
6. Il capitolo S.2 definisce le *soglie di prestazione* per le progettazioni la cui finalità sia il mantenimento della capacità portante di tutta o parte di un'opera da costruzione.

M.1.3.4

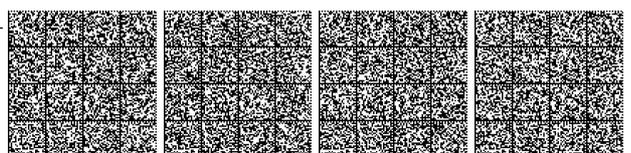
Individuazione degli scenari di incendio di progetto

Nota Nei riferimenti internazionali, *Develop fire scenarios*

1. Gli scenari di incendio rappresentano la schematizzazione degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi nell'attività in relazione alle caratteristiche del focolare, dell'edificio e degli occupanti.
2. La procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di incendio di progetto è descritta nel capitolo M.2.



-
- M.1.4 Seconda fase: analisi quantitativa**
1. La fase di analisi quantitativa si compone di alcune sotto-fasi necessarie per effettuare le verifiche di sicurezza degli scenari individuati nella fase preliminare.
- M.1.4.1 Elaborazione delle soluzioni progettuali**
Nota Nei riferimenti internazionali, *Develop trial designs*
1. Il professionista antincendio elabora una o più soluzioni progettuali per l'attività, congruenti con le finalità già definite al paragrafo M.1.3.1, da sottoporre alla successiva verifica di soddisfacimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.
- M.1.4.2 Valutazione delle soluzioni progettuali**
Nota Nei riferimenti internazionali, *Evaluate trial designs*
1. In questa fase il professionista antincendio calcola gli effetti che gli scenari d'incendio di progetto determinerebbero nell'attività per ciascuna soluzione progettuale elaborata nella fase precedente.
 2. A tal fine il professionista antincendio impiega un modello di calcolo analitico o numerico: l'applicazione del modello fornisce i risultati quantitativi che consentono di descrivere l'evoluzione dell'incendio e dei suoi effetti sulle strutture, sugli occupanti o sull'ambiente, secondo le finalità della progettazione.
 3. La modellazione degli effetti dell'incendio consente di calcolare gli effetti dei singoli scenari per ciascuna soluzione progettuale.
 4. I risultati della modellazione sono utilizzati per la verifica del rispetto delle soglie di prestazione per le soluzioni progettuali per ciascuno scenario d'incendio di progetto.
 5. Le soluzioni progettuali che non rispettano tutte le soglie di prestazione per ogni scenario di incendio di progetto devono essere scartate.
- M.1.4.3 Selezione delle soluzioni progettuali idonee**
Nota Nei riferimenti internazionali, *Select final design*
1. Il professionista antincendio seleziona la soluzione progettuale finale tra quelle che sono state verificate positivamente rispetto agli scenari di incendio di progetto.
-
- M.1.5 Documentazione di progetto**
1. La documentazione di progetto deve essere integrata da:
 - a. per la prima fase (analisi preliminare):
 - i. *sommario tecnico*, firmato congiuntamente dal professionista antincendio e dal responsabile dell'attività, ove è sintetizzato il processo seguito per individuare gli scenari di incendio di progetto e le soglie di prestazione, come descritto al paragrafo M.1.6;
 - b. per la seconda fase (analisi quantitativa):
 - i. specifica *relazione tecnica* ove si presentino i risultati dell'analisi ed il percorso progettuale seguito, come descritto al paragrafo M.1.7;
 - ii. *programma per la gestione della sicurezza antincendio*, come descritto nel paragrafo M.1.8, con le specifiche modalità d'attuazione delle misure di *gestione della sicurezza antincendio* di cui al capitolo S.5.
-
- M.1.6 Sommario tecnico**
1. Il sommario tecnico deve contenere le seguenti informazioni:



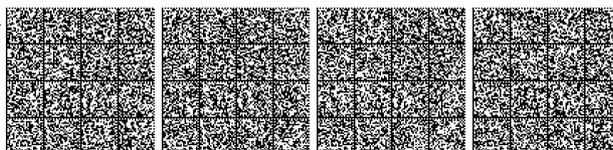
- a. indicazione del responsabile dell'attività;
 - b. individuazione del responsabile della progettazione antincendio generale;
 - c. individuazione dei professionisti antincendio che utilizzano l'ingegneria della sicurezza antincendio e che definiscono le specifiche misure di gestione della sicurezza antincendio, qualora diversi dal responsabile della progettazione antincendio generale;
 - d. finalità per le quali è applicato il metodo prestazionale (es. analisi dei campi termici, della diffusione dei fumi e verifica delle vie di esodo, valutazione dei tempi di esodo, valutazione della capacità portante delle strutture, protezione di beni o ambiente in caso d'incendio, continuità di esercizio dell'attività). Devono essere chiaramente evidenziati gli aspetti della progettazione antincendio esclusi dalla progettazione prestazionale.
2. Il sommario tecnico deve essere firmato dal responsabile dell'attività e da tutti i soggetti coinvolti nella progettazione.

M.1.7

Relazione tecnica

1. Nella relazione tecnica devono risultare le soluzioni progettuali agli scenari di incendio di progetto.
2. L'esito dell'analisi deve essere sintetizzato con tabelle, disegni, schemi grafici, immagini, che presentino in maniera quantitativa i parametri rilevanti ai fini del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.
3. Nello specifico si devono fornire le seguenti indicazioni:
 - a. modelli di calcolo utilizzati: il professionista antincendio deve fornire elementi a sostegno della scelta del modello utilizzato affinché sia dimostrata la coerenza delle scelte operate con lo scenario di incendio di progetto adottato;
 - b. parametri e valori associati: la scelta iniziale dei valori da assegnare ai parametri alla base dei modelli di calcolo, deve essere giustificata in modo adeguato, facendo specifico riferimento a norme, letteratura tecnico-scientifica, prove sperimentali;
 - c. origine e caratteristiche dei codici di calcolo: devono essere fornite indicazioni in merito all'origine ed alle caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati, con riferimento alla denominazione, all'autore o distributore, nonché sull'inquadramento teorico della metodologia di calcolo e sulla sua traduzione numerica e indicazioni riguardanti la riconosciuta affidabilità dei codici. Inoltre, tramite riferimento ai manuali d'uso, deve essere indicato che il codice di calcolo è impiegato nel suo *campo di applicazione* e nel rispetto delle *limitazioni d'impiego per applicazioni ingegneristiche, e validato per applicazioni analoghe a quella oggetto di modellazione e verificato*;
 - d. confronto fra risultati della modellazione e soglie di prestazione: in funzione della metodologia adottata per effettuare le valutazioni relative allo scenario di incendio considerato, devono essere adeguatamente illustrati tutti gli elementi che consentono di verificare il rispetto delle soglie di prestazione indicate nell'analisi preliminare, al fine di evidenziare l'adeguatezza delle misure antincendio che si intendono adottare;
4. Devono essere resi disponibili i tabulati relativi al calcolo e i relativi dati di input.

Nota: La documentazione riportante i risultati e il percorso progettuale assicura che tutti i soggetti interessati comprendano le limitazioni imposte all'attività in relazione alla soluzione progettuale. Tale documentazione deve esplicitare il criterio con cui sono state valutate le condizioni di sicu-



rezza del progetto, al fine di garantire la realizzazione corretta e il mantenimento nel tempo delle scelte concordate.

M.1.8**Gestione della sicurezza antincendio**

1. Con l'applicazione della metodologia prestazionale il professionista antincendio basa l'individuazione delle misure antincendio di prevenzione e protezione di progetto su specifiche ipotesi e limitazioni d'esercizio: devono pertanto essere previste specifiche misure di *gestione della sicurezza antincendio* (GSA) affinché non possa verificarsi la riduzione del livello di sicurezza assicurato inizialmente.
2. Le specifiche misure di *gestione della sicurezza antincendio* devono essere *limitate* agli aspetti trattati nella progettazione prestazionale, con particolare riguardo alle specifiche soluzioni progettuali, alle misure antincendio di prevenzione e protezione adottate, al mantenimento delle condizioni di esercizio da cui discendono i valori dei parametri di ingresso nella progettazione prestazionale.
3. Su specifiche misure di *gestione della sicurezza antincendio* sono sottoposte a verifiche periodiche da parte del responsabile dell'attività secondo le cadenze temporali già definite nel progetto.
4. Nell'ambito del programma per l'attuazione della gestione della sicurezza antincendio devono essere valutati ed esplicitati i provvedimenti presi relativamente ai seguenti punti:
 - a. organizzazione del personale;
 - b. identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività;
 - c. controllo operativo;
 - d. gestione delle modifiche;
 - e. pianificazione di emergenza;
 - f. sicurezza delle squadre di soccorso;
 - g. controllo delle prestazioni;
 - h. manutenzione dei sistemi di protezione;
 - i. controllo e revisione.



M.1.9 Criteri di scelta e d'uso dei modelli e dei codici di calcolo

1. Il professionista antincendio può optare tra i modelli di calcolo che le conoscenze tecniche di settore mettono a disposizione, sulla base di valutazioni inerenti la complessità del progetto.
 2. Il professionista antincendio che adotta modelli di calcolo sofisticati, deve possedere una particolare competenza nel loro utilizzo, nonché un'approfondita conoscenza sia dei fondamenti teorici che ne sono alla base che della dinamica dell'incendio.
 3. Allo stato attuale i modelli più frequentemente utilizzati sono:
 - a. modelli analitici,
 - b. modelli numerici tra cui:
 - i. modelli di simulazione dell'incendio a zone per ambienti confinati,
- Nota Ad esempio, codici di calcolo CFAST, Ozone.
- ii. modelli di simulazione dell'incendio di campo,
- Nota Ad esempio, codici di calcolo CFX, FDS, Fluent.
- iii. modelli di simulazione dell'esodo,
- Nota Ad esempio, codice di calcolo FDS+EVAC.
- iv. modelli di analisi termostutturale.
- Nota Ad esempio, codici di calcolo Abaqus, Adina, Ansys, Diana, Safir, Strauss..
4. Nel loro campo di applicazione, i modelli analitici garantiscono stime accurate di effetti specifici dell'incendio (es. il calcolo del tempo di *flashover* in un locale). Per analisi più complesse che coinvolgano interazioni dipendenti dal tempo di più processi di tipo fisico e chimico presenti nello sviluppo di un incendio si ricorre generalmente ai modelli numerici.
 5. Per i parametri di input del modello più rilevanti deve essere svolta analisi di *sensibilità* dei risultati alla variazione del parametro di input. Ad esempio, i risultati dell'analisi non devono essere significativamente dipendenti dalle dimensioni della griglia di calcolo.
 6. È ammesso l'utilizzo contemporaneo di più tipologie di modelli. Ad esempio:
 - a. si possono usare modelli specifici per la valutazione del tempo di attivazione di un impianto di rivelazione o di spegnimento e della rottura di un vetro in funzione della temperatura, per poi inserire i dati ricavati in una modellazione effettuata con modelli di campo;
 - b. si può utilizzare un modello a zone per valutare in una prima fase le condizioni di maggiore criticità del fenomeno, per poi approfondire la trattazione degli effetti con modelli di campo.

M.1.10 Riferimenti

1. I principali riferimenti sull'argomento sono i seguenti:
 - a. ISO 23932, FSE – *General principles*.
 - b. BS 7974: *Application of FSE principles to the design of buildings – Code of practice*.
 - c. BS PD 7974-0: *Application of FSE principles to the design of buildings – Part 0: Guide to design framework and FSE procedures*.



- d. SFPE *Engineering Guide to Performance-Based Fire Protection*, 2nd ed., 2007.



Capitolo M.2 **METODI**
Scenari di incendio
per la progettazione prestazionale

Premessa.....	2
Identificazione dei possibili scenari d'incendio.....	2
Selezione degli scenari d'incendio di progetto.....	3
Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto.....	4
Durata degli scenari d'incendio di progetto.....	5
Stima della curva RHR.....	7
Focolare predefinito.....	10
Riferimenti.....	12



M.2.1**Premessa**

1. Il presente capitolo descrive la procedura di *identificazione, selezione e quantificazione* degli *scenari di incendio di progetto* che sono impiegati nell'analisi quantitativa da parte del *professionista antincendio* che si avvale dell'ingegneria della sicurezza antincendio e fornisce altresì indicazioni per eseguire la verifica del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio per le attività.
2. Gli *scenari d'incendio* rappresentano la descrizione dettagliata degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a tre aspetti fondamentali:
 - a. caratteristiche dell'incendio;
 - b. caratteristiche dell'attività;
 - c. caratteristiche degli occupanti.
3. La documentazione della procedura di *identificazione, selezione e quantificazione* degli *scenari di incendio di progetto* deve essere conforme alle indicazioni di questo documento, per consentire la valutazione del progetto da parte delle competenti strutture dei Vigili del fuoco.
4. Tale procedura consiste nei seguenti passi:
 - a. *identificazione* dei possibili *scenari d'incendio* che possono svilupparsi nell'attività, da cui dipende l'esito dell'intera valutazione secondo il metodo prestazionale;
 - b. *selezione* degli *scenari d'incendio di progetto* tra tutti i possibili scenari d'incendio identificati;
 - c. *descrizione quantitativa* degli scenari d'incendio di progetto selezionati.

M.2.2**Identificazione dei possibili scenari d'incendio**

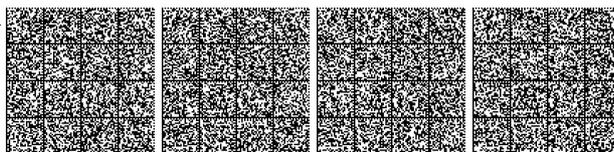
1. Il primo passo della procedura consiste nell'*identificare tutti i possibili scenari d'incendio* che possono svilupparsi durante la vita utile dell'attività. In relazione a ciò si devono considerare *tutte le condizioni di esercizio* ragionevolmente prevedibili.

Nota Ad esempio: allestimenti temporanei, diverse configurazioni spaziali dei materiali combustibili, modifica delle vie d'esodo e dell'affollamento, ...

2. Per individuare gli scenari d'incendio, il professionista antincendio sviluppa uno specifico *albero degli eventi* a partire da ogni evento iniziatore pertinente e credibile. Il processo può essere svolto in maniera *qualitativa*, oppure in maniera *quantitativa* se sono disponibili dati statistici desunti da fonti autorevoli e condivise.
3. Ogni scenario d'incendio identificato deve essere compiutamente ed univocamente descritto in relazione ai suoi tre aspetti fondamentali: le caratteristiche dell'incendio, le caratteristiche dell'attività e le caratteristiche degli occupanti.
4. In ogni caso, il professionista antincendio deve specificare se lo scenario d'incendio ipotizzato sia relativo ad una condizione di *pre-flashover* oppure ad una condizione di *post-flashover*, a seconda dell'obiettivo da raggiungere.

Nota Ad esempio: salvaguardia degli occupanti, mantenimento della capacità portante delle strutture, ...

5. Nella fase di identificazione degli scenari, il professionista antincendio deve tenere conto degli incendi che hanno interessato edifici o attività simili a quella in esame mediante analisi storica e deve descrivere:



- a. *evento iniziatore* caratterizzato da un focolaio di incendio e dalle condizioni dell'ambiente circostante;
- b. *propagazione* dell'incendio e dei prodotti della combustione;
- c. *azione degli impianti* tecnologici e di protezione attiva contro l'incendio;
- d. azioni eseguite dai componenti della *squadra aziendale* dedicata alla lotta antincendio presenti nell'ambiente;
- e. distribuzione e comportamento degli *occupanti*.

M.2.3

Selezione degli scenari d'incendio di progetto

1. Nel primo passo della procedura viene in genere identificato un elevato numero di scenari d'incendio possibili nell'attività. Lo scopo di questo secondo passo della procedura consiste nel ridurre il numero degli scenari d'incendio al minimo numero ragionevole, al fine di alleggerire il successivo lavoro di verifica delle soluzioni progettuali.
2. Il professionista antincendio seleziona gli *scenari di incendio* ed estrae il sottoinsieme degli *scenari d'incendio di progetto*, esplicitando nella documentazione progettuale i motivi che portano ad escluderne alcuni dalla successiva analisi quantitativa, facendo riferimento agli alberi degli eventi già sviluppati nel precedente passo o secondo giudizio esperto.
3. Il professionista antincendio seleziona i *più gravosi* tra gli scenari di incendio *credibili*.
4. Gli *scenari d'incendio di progetto* così selezionati rappresentano per l'attività un livello di rischio d'incendio non inferiore a quello compiutamente descritto dall'insieme di tutti gli *scenari d'incendio*. Le soluzioni progettuali, rispettose delle *soglie di prestazione* richieste nell'ambito degli *scenari d'incendio di progetto*, garantiscono quindi lo stesso grado di sicurezza anche nei confronti di tutti gli altri *scenari d'incendio*.
5. La selezione degli scenari d'incendio è fortemente influenzata dall'obiettivo che il professionista antincendio intende raggiungere. Ad esempio, se si intende principalmente perseguire la salvaguardia degli occupanti durante la fase di esodo, possono essere selezionati scenari come quelli di seguito indicati:
 - a. un incendio di breve durata e con crescita veloce, che è accompagnato da elevata produzione di fumo e gas di combustione (ad esempio, l'incendio di un mobile imbottito), risulta più critico di uno che rilascia maggiore potenza termica, ma che ha una crescita lenta e dura più a lungo, anche se quest'ultimo sollecita termicamente in modo più severo gli elementi costruttivi presenti;
 - b. un incendio di limitate dimensioni, che però si sviluppa in prossimità delle vie di esodo di un locale ad alta densità di affollamento, può risultare più pericoloso di uno che emette una maggiore potenza termica, ma che si origina in un ambiente confinato e che si trova lontano dalle zone dove è prevista la presenza di occupanti.



M.2.4 Descrizione quantitativa degli scenari d'incendio di progetto

1. Terminata la selezione degli scenari di incendio di progetto, il professionista antincendio deve procedere con la *descrizione quantitativa* di ciascuno di essi.
2. Il professionista antincendio traduce la descrizione qualitativa degli scenari d'incendio di progetto, già elaborata nel primo passo, in dati numerici di input appropriati per la metodologia di calcolo scelta per la verifica delle ipotesi progettuali.
3. In relazione alle finalità dell'analisi, il professionista antincendio specifica i dati di input per attività, occupanti ed incendio, dettagliatamente elencati nei prossimi paragrafi.

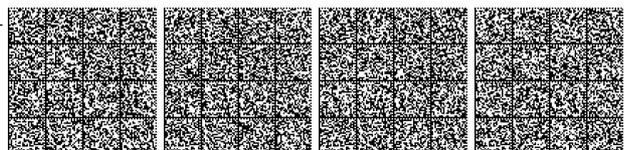
M.2.4.1 Attività

1. Le caratteristiche dell'attività influenzano l'esodo degli occupanti, lo sviluppo dell'incendio e la diffusione dei prodotti della combustione. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione quantitativa dell'attività potrà comprendere i seguenti elementi:
 - a. Caratteristiche architettoniche e strutturali:
 - i. localizzazione e geometria dell'attività, dimensioni e distribuzione degli ambienti interni;
 - ii. descrizione strutturale, caratteristiche dei relativi elementi costruttivi portanti e separanti;
 - iii. descrizione materiali non strutturali e di finitura;
 - iv. sistema d'esodo: dimensioni, distribuzione e uscite di sicurezza;
 - v. dimensione, localizzazione e stato di apertura/chiusura/rottura efficace delle aperture di ventilazione di progetto e potenziali, come porte, finestre, lucernari, superfici vetrate;
 - vi. barriere che influenzano il movimento dei prodotti della combustione.
 - b. Impiantistica:
 - i. impianti di protezione attiva contro l'incendio;
 - ii. impianti di rivelazione, di segnalazione e di allarme incendio;
 - iii. impianti tecnologici a servizio dell'attività, come gli impianti di condizionamento, di distribuzione o di processo.
 - c. Aspetti gestionali ed operativi:
 - i. destinazione d'uso dell'attività e processo produttivo che vi si svolge;
 - ii. organizzazione dell'attività ospitata;
 - iii. eventuali azioni attuate dai soccorritori, previste nel piano di emergenza, in grado di alterare la propagazione dei prodotti della combustione; tali azioni devono essere considerate solo in via eccezionale e valutate caso per caso.

Nota Ad esempio: chiusura di porte e attivazione manuale di sistemi di allarme che possono influire sullo sviluppo dell'incendio e sull'esodo degli occupanti.

d. Fattori ambientali che influenzano le prestazioni antincendio dell'attività.

Nota Ad esempio: temperature esterne, ventosità dell'area, livello di rumore che ha impatto sulla percezione dell'allarme.



M.2.4.2**Occupanti**

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, il professionista antincendio descrive dettagliatamente le caratteristiche della popolazione ospitata nell'attività, che possono influenzare il comportamento e la risposta nei confronti dell'incendio.
2. In particolare, la descrizione deve tener conto almeno dei seguenti aspetti ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. affollamento complessivo e distribuzione degli occupanti negli ambienti dell'attività;
 - b. tipologia degli occupanti;

Nota Ad esempio: lavoratori, visitatori occasionali, anziani, bambini, degenti, ...

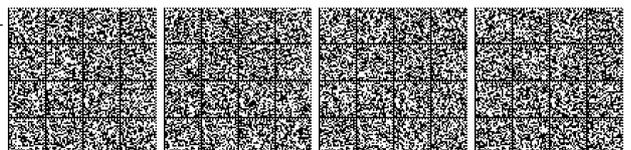
- c. familiarità degli occupanti con l'attività e con il sistema di vie d'esodo;
- d. stato di veglia/sonno degli occupanti.

M.2.4.3**Incendio**

1. A seconda dell'obiettivo dell'analisi, la descrizione dell'incendio consiste nella caratterizzazione quantitativa del focolare, in quanto sorgente di *energia termica* e di *prodotti della combustione*, secondo i seguenti parametri ove rilevanti ai fini della tipologia dell'analisi:
 - a. localizzazione del focolare;
 - b. tipologia di focolare: covante o con fiamma;
 - c. quantità, qualità e distribuzione spaziale del materiale combustibile;
 - d. fonti d'innescio;
 - e. curva RHR (*rate of heat release*), quale potenza termica prodotta dal focolare al variare del tempo RHR(t);
 - f. generazione dei prodotti della combustione presi in considerazione (es. CO e particolato).
2. Ai fini della caratterizzazione quantitativa del focolare il professionista antincendio può:
 - a. impiegare dati sperimentali ottenuti da misura diretta in laboratorio secondo metodologia scientifica consolidata;
 - b. usare dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise. Il professionista antincendio *cita sempre* con precisione tali fonti e *verifica la corrispondenza* del campione di prova sperimentale (quantità, composizione, geometria e modalità di prova) con quello previsto nello scenario di incendio di progetto, utilizzando un approccio ragionevolmente conservativo;
 - c. impiegare delle *metodologie di stima*. Nel paragrafo M.2.6 si descrivono alcune metodologie di stima mutuata dalla letteratura citata al paragrafo M.2.8.
3. In alternativa, può impiegare i focolari predefiniti di cui al paragrafo M.2.7 nell'ambito delle limitazioni ivi specificate.

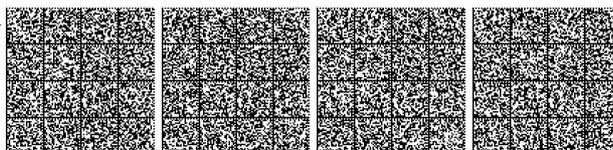
M.2.5**Durata degli scenari d'incendio di progetto**

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



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

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



M.2.6 Stima della curva RHR

1. La definizione quantitativa delle varie fasi dell'incendio qui riportata si riferisce alla curva qualitativa dell'illustrazione M.2-1.
2. La presente metodologia può essere utilizzata per:
 - a. costruire le curve naturali con un modello di incendio numerico avanzato di cui al capitolo S.2, per la valutazione della capacità portante in condizioni d'incendio delle opere da costruzione;
 - b. valutare la portata di fumo emessa durante l'incendio per la progettazione dei sistemi SEFC.

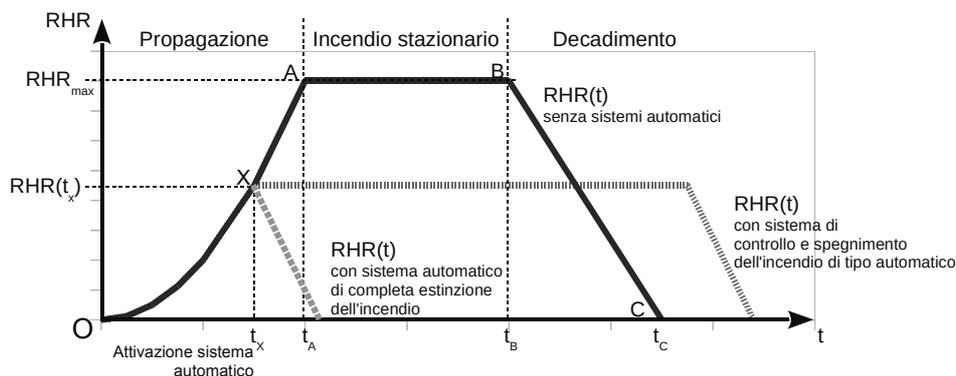


Illustrazione M.2-1: Fasi dell'incendio

M.2.6.1 Fase di propagazione dell'incendio

1. Durante la fase di propagazione, la potenza termica rilasciata dall'incendio al variare del tempo $RHR(t)$ può essere rappresentata da:

$$RHR(t) = 1000 \left(\frac{t}{t_\alpha} \right)^2 \quad \text{per } t < t_A \quad \text{M.2-1}$$

dove:

$RHR(t)$ potenza termica rilasciata dall'incendio [kW]

t tempo [s]

t_α tempo necessario affinché la potenza termica rilasciata raggiunga il valore di 1000 kW, come definito nel capitolo G.3. [s]

Per alcune attività, tale valore può essere desunto dai prospetti dell'appendice E dell' Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2. Per le altre attività il valore di t_α può essere determinato con considerazioni basate sul giudizio esperto per analogia.

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

1. Se nell'attività sono previsti sistemi di controllo dell'incendio di tipo automatico (es. impianto sprinkler), l'andamento della potenza termica rilasciata $RHR(t)$ non raggiunge il valore massimo RHR_{max} , calcolato secondo quanto previsto al paragrafo M.2.6.3, che avrebbe potuto raggiungere in relazione alle condizioni del combustibile ed a quelle ambientali, ma può essere assunta costante e pari al valore di $RHR(t_x)$ raggiunto all'istante t_x di entrata in funzione dell'impianto automatico. Tale valore permane per un intervallo di tempo pari alla durata di alimentazione prevista per l'impianto, entro cui si presume che l'incendio controllato venga definitivamente estinto mediante l'intervento manuale.



2. In ogni caso il progettista è tenuto a valutare l'affidabilità di funzionamento dei sistemi automatici di controllo dell'incendio considerati in fase progettuale ai fini della modifica dell'andamento della curva RHR(t).
3. Se nell'attività sono invece previsti *sistemi automatici di estinzione completa dell'incendio* (es. ESFR, water mist, ...), il loro effetto deve essere valutato caso per caso in relazione alla loro efficacia ed all'affidabilità di funzionamento.
3. A differenza dell'attivazione dei sistemi automatici, l'intervento manuale effettuato dalle *squadre antincendio* non può essere considerato in fase progettuale ai fini della modifica dell'andamento della curva RHR(t).

M.2.6.3

Fase dell'incendio stazionario

1. Nella maggioranza dei casi l'energia termica potenzialmente contenuta nel compartimento antincendio è sufficiente a produrre la condizione di *flashover* e si ipotizza che, anche dopo il flashover, la curva cresca con andamento ancora proporzionale a t^2 fino al tempo t_A che corrisponde alla massima potenza RHR_{max} rilasciata dall'incendio nello specifico compartimento antincendio.
2. Se nell'attività non sono previsti impianti di controllo o estinzione automatica dell'incendio, si suppone che dal tempo t_A fino a t_B la potenza termica prodotta dall'incendio si stabilizzi al valore massimo RHR_{max} :

$$RHR(t) = RHR_{max} \quad \text{per } t_A \leq t < t_B \quad \text{M.2-2}$$

3. Se lo sviluppo dell'incendio risulta *controllato dal combustibile*, come accade *all'aperto* o in edifici con *elevata superficie di ventilazione*, il valore di RHR_{max} può essere fornito dalla seguente espressione:

$$RHR_{max} = RHR_f A_f \quad \text{M.2-3}$$

dove:

RHR_f valore della potenza termica massima rilasciata per unità di superficie lorda. Per alcune attività, tale valore può essere desunto dai prospetti dell'appendice E.4 dell'Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2. [kW/m²]

A_f superficie lorda del compartimento in caso di distribuzione uniforme del carico d'incendio, oppure superficie lorda effettivamente occupata dal combustibile oppure area operativa di sistemi automatici di controllo dell'incendio [m²]

4. Se lo sviluppo dell'incendio risulta *limitato dal valore della superficie di ventilazione*, come generalmente si verifica in edifici con superficie di *ventilazione ordinaria*, allora il valore di RHR_{max} deve essere ridotto in conseguenza della quantità di comburente disponibile che può affluire dalle superfici di ventilazione presenti nella fase di post-flashover. In tal caso, se le pareti del compartimento presentano solo aperture verticali, è possibile determinare il valore di RHR_{max} ridotto tramite la seguente espressione semplificata:

$$RHR_{max} = 0,10 \text{ m } H_u A_v \sqrt{h_{eq}} \quad \text{M.2-4}$$

con:

m fattore di partecipazione alla combustione di cui al capitolo S.2 del presente documento.

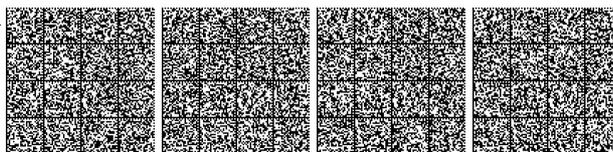
H_u potere calorifico inferiore del legno pari a 17500 kJ/kg.

A_v area totale delle *aperture verticali* su tutte le pareti del compartimento [m²]

L'altezza equivalente delle aperture verticali h_{eq} si calcola con la seguente relazione:

$$h_{eq} = \frac{\sum_i A_{v,i} h_i}{\sum_i A_{v,i}} \quad \text{M.2-5}$$

con:



h_{eq} altezza equivalente delle aperture verticali [m]
 $A_{v,i}$ area dell'apertura verticale i-esima [m²]
 h_i altezza dell'apertura verticale i-esima [m]

Se invece le pareti del compartimento presentano anche *aperture orizzontali* (ad es. SEFC), l'eventuale riduzione del valore di RHR_{max} deve essere valutata con modelli più sofisticati, ad esempio i modelli di campo di simulazione dell'incendio considerando tutte le superfici di ventilazione aperte sin dall'innesco dell'incendio.

5. Noto il valore di RHR_{max} , il tempo t_A di inizio della fase di incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_A = \sqrt{RHR_{max} \frac{t_\alpha^2}{1000}} \quad M.2-6$$

con:

t_A tempo di inizio della fase di incendio stazionario [s]

6. La fase di incendio stazionario termina al tempo t_B , tempo di inizio della fase di decadimento, in cui il 70% dell'*energia termica inizialmente disponibile* $q_f \cdot A_f$ è stata rilasciata nel compartimento antincendio. Il valore dell'energia q_f è valutato conformemente alle indicazioni contenute nel capitolo S.2.

7. Se l'energia termica inizialmente disponibile è *sufficiente* affinché l'incendio superi la fase di propagazione e raggiunga la potenza massima RHR_{max} , cioè:

$$70\% q_f A_f \geq \frac{1}{3} \frac{1000}{t_\alpha^2} t_A^3 \quad M.2-7$$

allora il tempo t_B di fine della fase di incendio stazionario si calcola con la seguente espressione:

$$t_B = t_A + \frac{70\% q_f A_f - \frac{1}{3} \frac{1000}{t_\alpha^2} t_A^3}{RHR_{max}} \quad M.2-8$$

dove:

t_B tempo di fine della fase di incendio stazionario [s]

q_f carico di incendio specifico [kJ/m²]

8. Se l'energia termica inizialmente disponibile non è *sufficiente* affinché l'incendio superi la fase di propagazione, la curva RHR raggiunge il valore massimo per qualche secondo poi passa direttamente alla fase di decadimento.

M.2.6.4

Fase di decadimento

1. Il tempo t_C , trascorso il quale la potenza termica rilasciata dall'incendio si annulla, viene calcolato considerando che nella fase di decadimento è consumato il restante 30% dell'energia termica inizialmente disponibile:

$$t_C = t_B + \frac{2 \cdot 30\% q_f A_f}{RHR_{max}} \quad M.2-9$$

dove:

t_C tempo con potenza termica rilasciata dall'incendio nulla [s]

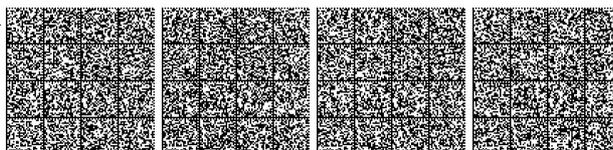
2. Durante la fase di decadimento l'andamento della potenza prodotta dall'incendio è lineare e quindi:

$$RHR(t) = RHR_{max} \frac{t_C - t}{t_C - t_B} \quad \text{per } t_B \leq t \leq t_C \quad M.2-10$$

M.2.6.5

Altre indicazioni

1. Qualora la definizione della fase di propagazione della curva $RHR(t)$ basata esclusivamente sul tempo caratteristico t_α fosse ritenuta non rappresentativa della reale evoluzione dell'incendio durante la fase di propagazione, in particolare negli edifici civili, si renderà necessaria una più dettagliata definizione della



curva di crescita dell'incendio, con specifica attenzione alla propagazione dell'incendio e dei prodotti della combustione, che rappresentano i fenomeni di maggiore interesse per i problemi di *salvaguardia della vita*.

2. Il professionista antincendio può pertanto valutare le possibilità che l'incendio si propaghi dagli oggetti già coinvolti dalle fiamme ad altri elementi combustibili, per mezzo di un'appropriata valutazione del rischio di incendio. Tale valutazione deve essere giustificata durante l'analisi quantitativa.
3. Un esempio di tale approccio è chiaramente affrontato nelle NFPA 92 e NFPA 555. Questi documenti riportano alcune correlazioni impiegabili per verificare se, nelle prime fasi di sviluppo di un incendio, la potenza termica rilasciata da un oggetto incendiato possa provocare la propagazione dell'incendio ad altri oggetti per effetto dell'irraggiamento termico, in relazione alla tipologia dei materiali ed alla distanza che li separa dagli oggetti già innescati.
4. La curva RHR può essere così ricostruita nel seguente modo:
 - a. ipotizzare il materiale combustibile iniziatore dell'incendio;
 - b. valutare la sequenza con la quale i diversi elementi combustibili presenti nell'ambiente vengono coinvolti dalla propagazione dell'incendio;
 - c. calcolare la curva RHR(t) complessiva, per somma dei contributi nel tempo dei singoli oggetti. Le curve RHR(t) di molte tipologie di oggetti combustibili presenti negli edifici civili possono essere facilmente reperite in letteratura.

M.2.7

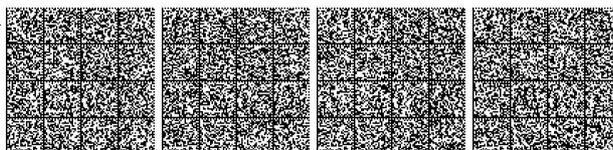
Focolare predefinito

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_d	150 s (<i>fast</i>)	75 s (<i>ultra-fast</i>)
RHR _{max} totale RHR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m ² [1]	50 MW 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_{CO_2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y_{H_2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR(t) in irraggiamento (<i>Radiative fraction</i>)	35% [3]	
<p>[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.</p> <p>[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies", BRANZ, 2008</p> <p>[3] "C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code</p> <p>[4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da <i>polyurethane flexible foams</i>.</p> <p>[5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con $\Phi = 1,25$ (<i>underventilated fire</i>)</p> <p>[6] In alternativa alle rese Y_{CO_2} e Y_{H_2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico $CH_2O_{0,5}$.</p>		

Tabella M.2-2: Focolari predefiniti



M.2.8**Riferimenti**

1. Dal punto di vista metodologico, in aggiunta alle indicazioni contenute nelle regole tecniche di prevenzione incendi, a titolo esemplificativo e non esaustivo, i seguenti documenti forniscono un'utile guida al professionista antincendio.
2. Identificazione degli scenari d'incendio:
 - a. ISO 16732-1 "*Fire safety engineering - Fire risk assessment*", descrive l'applicazione alla valutazione del rischio di incendio delle metodologie proprie dell'analisi di rischio, come l'albero dei guasti e l'albero degli eventi;
 - b. NFPA 551 "*Guide for the evaluation of fire risk assessment*".
3. Selezione degli scenari di incendio di progetto:
 - a. ISO/TS 16733 "*Fire safety engineering - Selection of design fire scenarios and design fires*";
 - b. NFPA 101 "*Life Safety Code*".
4. Stima della curva RHR:
 - a. Eurocodice 1, UNI EN 1991-1-2 Parte 1-2: Azioni in generale - Azioni sulle strutture esposte al fuoco;
 - b. NFPA 92 "*Standard for smoke control systems*";
 - c. NFPA 92B "*Smoke management systems in malls, atria, and large areas*";
 - d. NFPA 555 "*Guide on methods for evaluating potential for room flash over*".
5. Descrizione quantitativa del focolare:
 - a. "*SFPE handbook of fire protection engineering*", NFPA, 4th ed., 2008.



Capitolo M.3 **METODI**
Salvaguardia della vita
con la progettazione prestazionale

Premessa.....	2
Progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita.....	2
Calcolo di ASET.....	4
Calcolo di RSET.....	7
Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita.....	9
Riferimenti.....	11



M.3.1 Premessa

1. Nell'applicazione del metodo prestazionale alla sicurezza antincendio per la salvaguardia della vita, gli obiettivi del professionista antincendio possono essere:
 - a. la dimostrazione diretta ed esplicita della possibilità per tutti gli occupanti di un'attività di raggiungere o permanere in un luogo sicuro, senza che ciò impedito da un'eccessiva esposizione ai prodotti dell'incendio;
 - b. la dimostrazione della possibilità per i soccorritori di operare in sicurezza, secondo le indicazioni delle tabelle M.3-2 e M.3-3.
2. La progettazione deve seguire una delle procedure riconosciute a livello internazionale per valutare la posizione e la condizione degli occupanti durante l'evoluzione degli scenari d'incendio previsti per l'attività.

M.3.2 Progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita

M.3.2.1 Criterio ideale

1. La progettazione ideale di un sistema d'esodo dovrebbe assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza. Questo è dunque il primo criterio da impiegare per la maggior parte degli occupanti dell'attività.
2. Esistono situazioni ove il criterio del comma 1 non è applicabile, in particolare per gli occupanti che si trovano nel compartimento di primo innesco dell'incendio.

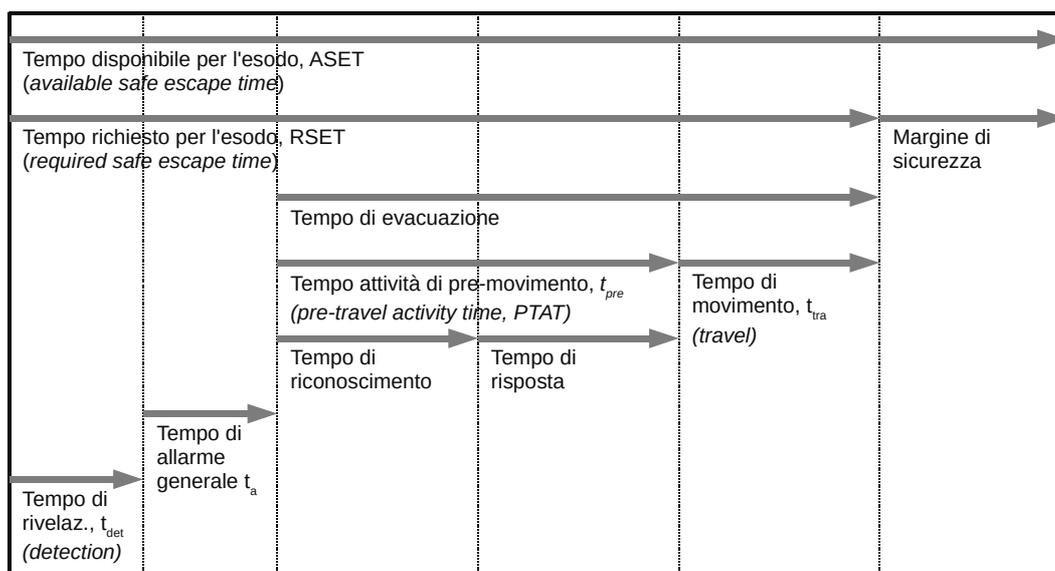
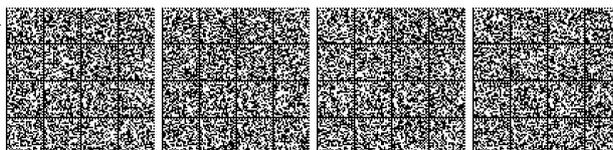


Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET ed RSET

M.3.2.2 Criterio di ASET > RSET

1. Per risolvere quanto previsto al comma 1 del paragrafo M.3.2.1, la norma introduce il criterio ASET > RSET. 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:

$$t_{\text{marg}} = ASET - RSET \quad [\text{s}]$$

Nel confronto tra diverse soluzioni progettuali, il professionista antincendio rende massimo¹ 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, il valore di t_{marg} non dovrà mai essere inferiore a 30 secondi.

¹ Babrauskas V, Fleming J M, Don Russell B, "RSET/ASET, a flawed concept for fire safety assessment", Fire and Materials 34:341-355, 2010.



M.3.3 Calcolo di ASET

1. *ASET*, il tempo a disposizione degli occupanti per mettersi in salvo, dipende strettamente dalle interazioni nel sistema incendio-edificio-occupanti: l'incendio si innesca, si propaga e diffonde nell'edificio i suoi prodotti, fumi e calore. L'edificio resiste all'incendio per mezzo delle misure protettive attive e passive: impianti antincendio, compartimentazioni, sistemi di controllo di fumo e calore. Gli occupanti sono esposti agli effetti dell'incendio in relazione alla attività che svolgono, alla loro posizione iniziale, al loro percorso nell'edificio ed alla condizione fisica e psicologica.
2. In conseguenza di quanto indicato al comma 1, ciascun occupante possiede un proprio valore di *ASET*. Tale complessità viene risolta dal professionista antincendio con considerazioni statistiche, con modelli di calcolo numerici o assumendo le ipotesi semplificative descritte nel paragrafo M.3.4.1.
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.

M.3.3.1 Metodo di calcolo avanzato per ASET

1. Il calcolo di *ASET* richiede la stima delle concentrazioni di prodotti tossici, delle temperature e delle densità del fumo negli ambienti a seguito dell'incendio e la loro variazione nel tempo, in quanto gli occupanti possono muoversi nel fumo, che nei casi complessi può essere ragionevolmente elaborata solo con modelli di calcolo fluidodinamici. Sono infatti la tipologia dell'incendio e dell'attività che determinano complessivamente l'andamento di tali variabili con il tempo.
2. La norma ISO 13571 è il riferimento più autorevole per il calcolo *ASET*. *ASET* globale è ivi definito 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.

M.3.3.1.1 Modello gas tossici

1. Il modello dei gas tossici impiega il concetto di dose inalata (*exposure dose*) e di *FED* (*fractional effective dose*). La *exposure dose* è definita come la misura della dose di un gas tossico disponibile per inalazione, cioè presente nell'aria inspirata, calcolata per integrazione della curva concentrazione-tempo della sostanza per il tempo di esposizione. La *FED* è il rapporto tra questa *exposure dose* e la dose del gas tossico che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto. Quando $FED = 1$ si considera incapacitato il soggetto medio.

Nota: Per esempio, la dose incapacitante di CO, monossido di carbonio, prevista nella ISO 13571:2007 è pari a $35000 \text{ ppm} \cdot \text{min}$. Ciò significa ipotizzare che il soggetto medio esposto ad una concentrazione di 3500 ppm per 10 minuti risulti incapacitato. In tal caso la sua *FED* è pari a 1 ed il suo *ASET* per il CO è pari a 10 minuti.

M.3.3.1.2 Modello gas irritanti

1. Il modello dei gas irritanti impiega il concetto di *FEC*, *fractional effective concentration*. La *FEC* è definita come il rapporto tra la concentrazione di un gas



irritante disponibile per inalazione e la concentrazione dello stesso gas che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto.

- Al fine di semplificare l'analisi, qualora negli scenari di incendio di progetto non siano identificati nel focolare materiali combustibili suscettibili di costituire specifica sorgente di gas irritanti (es. sostanze o miscele pericolose, cavi elettrici in quantità significative...) la verifica del modello dei gas irritanti può essere omessa.

M.3.3.1.3

Modello calore

- Per il modello del calore irraggiato e convettivo la norma propone un approccio, basato sulla FED, simile a quello dei gas tossici. L'equazione proposta è la seguente:

$$X_{FED} = \sum_{t1}^{t2} \left(\frac{1}{t_{irad}} + \frac{1}{t_{conv}} \right) \Delta t \quad M.3-1$$

I valori di t_{irad} e t_{conv} 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.

- La verifica del modello del calore può essere semplificata assumendo conservativamente le seguenti *soglie di prestazione*:
 - irraggiamento sugli occupanti $\leq 2,5 \text{ kW/m}^2$;
 - temperatura ambiente sugli occupanti $\leq 60^\circ\text{C}$.
- Tali valori corrispondono ad un ASET oltre i 30 minuti per qualsiasi condizione di abbigliamento.

M.3.3.1.4

Modello visibilità

- Il modello dell'oscuramento della visibilità da fumo è basato sul concetto del minimo contrasto percettibile, cioè la minima differenza di luminosità visibile tra un oggetto e lo sfondo.
- Per legare il valore della visibilità L alla massa volumica dei fumi ρ_{smoke} , si ricorre alla seguente correlazione sperimentale, applicata ad ogni punto del dominio di calcolo:

$$C = \sigma \rho_{smoke} L \quad M.3-2$$

dove:

- L visibilità [m]
 C costante adimensionale pari a 3 per cartellonistica di esodo riflettente non illuminata o 8 per cartellonistica retroilluminata
 σ coefficiente massico di estinzione della luce pari a $10 \text{ m}^2/\text{g}$ [m^2/g]
 ρ_{smoke} massa volumica dei fumi (*smoke aerosol mass concentration*) [g/m^3]

Grazie a questa correlazione, i codici di calcolo fluidodinamico restituiscono direttamente la ρ_{smoke} e calcolano la visibilità L per ogni punto degli ambienti simulati.

M.3.3.1.5

Soglia di prestazione per FED e FEC

- I valori di FED e FEC pari ad 1 sono associati ad effetti incapacitanti dell'esodo calibrati su occupanti di media sensibilità agli effetti dei prodotti dell'incendio.
- Per tenere conto delle categorie più deboli o più sensibili della popolazione, che risulterebbero incapacitate ben prima del raggiungimento di FED o FEC uguale a 1, si considera ragionevole impiegare il valore 0,1 come *soglia di prestazione* per FED e FEC (limitando a 1,1% gli occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia secondo ISO 13571), lasciando però al professionista antincendio



l'onere di selezionare e giustificare il valore più adatto alla tipologia di popolazione coinvolta.

M.3.3.2

Metodo di calcolo semplificato per ASET

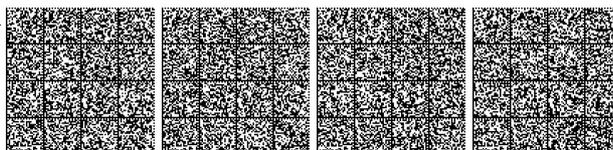
1. La ISO/TR 16738 prevede la possibilità di utilizzare l'ipotesi semplificativa della esposizione zero (*zero exposure*).
2. Invece di procedere alla verifica di tutti i modelli di cui al paragrafo M.3.3.1, il professionista antincendio impiega le seguenti *soglie di prestazione*, molto conservative:
 - 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 e
 - b. temperatura media dello strato di fumi caldi non superiore a 200°C.

Questi criteri permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, non inquinata dai prodotti della combustione, ed un valore dell'irraggiamento dai fumi cui sono esposti inferiore a 2,5 kW/m²: sono dunque automaticamente soddisfatti tutti i modelli di cui al paragrafo M.3.3.1 e l'analisi è notevolmente semplificata perché non occorre eseguire calcoli di esposizione degli occupanti a tossici, irritanti, calore e oscuramento della visibilità. È infatti sufficiente valutare analiticamente o con modelli numerici a zone o di campo l'altezza dello strato dei fumi *pre-flashover* nell'edificio.

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.



M.3.4 Calcolo di RSET

1. RSET è calcolato tra l'innesco dell'incendio ed il momento in cui gli occupanti dell'edificio raggiungono un luogo sicuro. Anche RSET dipende dalle interazioni del sistema incendio-edificio-occupanti: la fuga degli occupanti è fortemente condizionata dalle geometrie dell'edificio ed è rallentata dagli effetti dell'incendio.
2. Il documento di riferimento per il calcolo di RSET è la ISO/TR 16738.
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} :

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

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.

5. Come già indicato per ASET, ciascun occupante possiede un proprio valore anche di RSET.

M.3.4.1 Tempo di rivelazione

1. Il *tempo di rivelazione* t_{det} è determinato dalla tipologia di sistema di rivelazione e dallo scenario di incendio. E' il tempo necessario al sistema di rivelazione automatico per accorgersi dell'incendio. Viene calcolato analiticamente o con apposita modellizzazione numerica degli scenari d'incendio e del sistema di rivelazione.

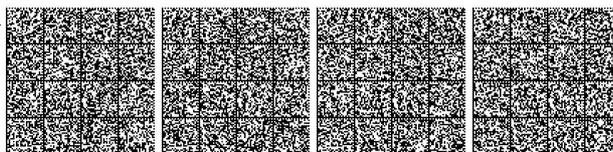
M.3.4.2 Tempo di allarme generale

1. Il *tempo di allarme generale* t_a è il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'informazione agli occupanti, dell'allarme generale.
2. Il tempo di allarme generale sarà dunque:
 - a. pari a zero, quando la rivelazione attiva direttamente l'allarme generale dell'edificio;
 - b. pari al ritardo valutato dal professionista antincendio, se la rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento ed attiva poi l'allarme manuale.
3. Negli edifici grandi e complessi si deve tenere conto della modalità di allarme che può essere diversificata, ad esempio, nel caso di una evacuazione per fasi multiple.

M.3.4.3 Tempo di attività pre-movimento

1. Il *tempo di attività pre-movimento* t_{pre} è l'oggetto della valutazione più complessa, perché si tratta del tempo necessario agli occupanti per svolgere una serie di attività che precedono il movimento vero e proprio verso il luogo sicuro. La letteratura² indica che questa fase occupa spesso la maggior parte del tempo totale di esodo.

2 Proulx G, "Movement of people: the evacuation timing", in The SFPE Handbook of fire protection engineering, 3rd edition, NFPA, 2002



2. Il tempo t_{pre} è composto da un tempo di *riconoscimento (recognition)* e da uno di *risposta (response)*.
3. Durante il tempo di riconoscimento gli occupanti continuano le attività che stavano svolgendo prima dell'allarme generale, finché riconoscono l'esigenza di rispondere all'allarme.
4. Nel tempo di risposta gli occupanti cessano le loro attività normali e si dedicano ad attività legate allo sviluppo dell'emergenza, quali: raccolta di informazioni sull'evento, arresto e messa in sicurezza delle apparecchiature, raggruppamento del proprio gruppo (lavorativo o familiare), lotta all'incendio, ricerca e determinazione della via d'esodo appropriata (*wayfinding*) ed altre attività a volte anche errate ed inappropriate.
5. A seconda dello scenario comportamentale di progetto, questi tempi possono durare anche alcune decine di minuti. Nella tabella M.3-1 si riportano alcuni esempi di valutazione tratti dal ISO TR 16738.
6. Il professionista antincendio può impiegare valori diversi da quelli indicati in letteratura purché adeguatamente giustificati, anche in riferimento a prove di evacuazione riportate nel registro dei controlli.

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: edificio multipiano e layout complesso; • 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: edificio multipiano e layout semplice; • 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

M.3.4.4 Tempo di movimento

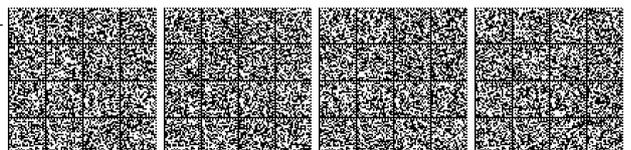
1. Il *tempo di movimento* t_{tra} è il tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro dal termine delle attività di pre-movimento appena descritte.
2. Il t_{tra} è calcolato in riferimento ad alcune variabili:



- a. la distanza degli occupanti o gruppi di essi dalle vie d'esodo;
 - b. le velocità d'esodo, che dipendono dalla tipologia degli occupanti e dalle loro interazioni con l'ambiente costruito e gli effetti dell'incendio. È dimostrato che la presenza di fumi e calore rallenta notevolmente la velocità d'esodo in funzione delle condizioni di visibilità;
 - c. la portata delle vie d'esodo, dovuta a geometria, dimensioni, dislivelli ed ostacoli.
3. Nella realtà, quando gli occupanti di edifici densamente affollati fuggono lungo le vie d'esodo, si formano lunghe file nei restringimenti, inoltre secondo lo sviluppo degli scenari di incendio di progetto presi in esame, alcuni percorsi possono diventare impercorribili o bloccati.
- Il calcolo del t_{tra} deve tenere conto di questi fenomeni.
4. Attualmente si impiegano comunemente due famiglie di modelli per il calcolo del tempo di movimento: *modelli idraulici* e *modelli agent based*.
 5. I modelli idraulici predicono con ragionevole precisione alcuni aspetti del movimento degli occupanti (es. flussi attraverso le uscite), ma non includono fattori importanti del comportamento umano, come la familiarità con l'edificio, le interazioni persona-persona e l'effetto del fumo sul movimento.
 6. Altri tipi di modelli (es. *macroscopic/microscopic, coarse network/fine network/continuous models*) sono oggetto di intensa ricerca scientifica e di sperimentazione; attualmente esistono ancora solo validazioni parziali dei risultati. Pertanto i risultati devono essere valutati con cautela.

M.3.5**Soglie di prestazione per la salvaguardia della vita**

1. Le soglie di prestazione per la salvaguardia della vita determinano l'incapacitazione degli occupanti e dei soccorritori quando sottoposti agli effetti dell'incendio.
2. Il professionista antincendio sceglie idonee soglie di prestazione per la specifica attività, in relazione agli scenari di incendio di progetto, ed in particolare in riferimento alle caratteristiche degli occupanti coinvolti (es. anziani, bambini, disabilità, ...).
3. Il rispetto delle soglie di prestazione per la salvaguardia della vita deve essere verificato:
 - a. per gli *occupanti*: in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di occupanti, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.
 - b. per i *soccorritori*:
 - i. solo qualora essi abbiano un ruolo ben definito nella pianificazione d'emergenza dell'attività,
 - ii. in tutte le zone dell'attività dove esiste contemporanea presenza di soccorritori, stanziali o in movimento, e di effetti dell'incendio.
4. A titolo di esempio, si riportano nelle tabelle M.3-2 e M.3-3 delle soglie di prestazione per occupanti e soccorritori con riferimento ai metodi di calcolo avanzato e semplificato.



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 < 100m ² : 5 m	ISO 13571-2012.
		Soccorritori: 5 m Soccorritori n locali di superficie lorda < 100m ² : 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% gli occupanti incapacitati 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/m ²	ISO 13571-2012, per esposizioni maggiori di 30 minuti, senza modifica significativa dei tempi di esodo (2,5 kW/m ²).
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]

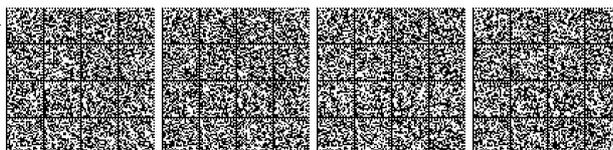
[1] Ai fini di questa tabella, per *soccorritori* si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere 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

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



M.3.6**Riferimenti**

1. La salvaguardia della vita (*life safety*), che comprende le problematiche legate all'evacuazione dell'edificio, è il sottosistema 6 della BS 7974.
2. Il documento specifico di riferimento per la progettazione del sistema d'esodo è il *published document* PD 7974-6 "*The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).*"
3. L'ISO ha pubblicato due documenti fondamentali per analisi degli aspetti più tecnici della progettazione della *life safety*:
 - a. ISO 13571 "*Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires*";
 - b. ISO/TR 16738 "*Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*".

15A06189

LOREDANA COLECCHIA, *redattore*DELIA CHIARA, *vice redattore*

(WI-GU-2015-SON-044) Roma, 2015 - Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato S.p.A.

