UNIVERSITÀ DI PISA

Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

«Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi»
A.A. 2015 - 2016

"FSE, l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio"

Docente
NICOLA MAROTTA
nicola.marotta@dic.unipi.it

La norma prescrittiva

- Per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi le specifiche regole tecniche di prevenzione incendi emanate dal Ministero dell'Interno stabiliscono **i requisiti minimi** che esse devono possedere e lasciano, quindi, esigui margini di discrezionalità ai professionisti ed ai responsabili delle attività sulle misure di sicurezza antincendio da intraprendere.

- Semplice riscontro ed applicazione di regole tecniche in cui sono già definite «a priori» dal Legislatore le misure di mitigazione del rischio da adottare per raggiungere la Sicurezza Antincendio.

- La definizione degli Scenari critici di incendio e la valutazione del Rischio sono definiti dal normatore

La soluzione conforme

- In sostanza il legislatore esegue preventivamente l'analisi del rischio di carattere generale e mediante l'individuazione di una soluzione conforme avente carattere conservativo (valevole nella generalità dei casi) impone l'esecuzione di misure preventive e protettive idonee a ridurre il rischio esistente, misure che restano individuate dal **puntuale rispetto della regola tecnica** di prevenzione incendi di riferimento.

- Non deve essere trascurato l'obbligo del progettista di farsi carico di valutare un rischio residuo che permane nonostante l'applicazione della norma e decidere se, e quando, può essere opportuno, o necessario, adottare **misure integrative** a quelle previste dalle varie normative e dai codici prescrittivi.

La norma prescrittiva

- Il vantaggio di tale procedura progettuale è la **semplicità di controllo**, essendo gli standard fissati a priori, ed inoltre la responsabilità del progettista è scaricata sul rispetto scrupoloso della normativa.

- D'altra parte tale filosofia di progetto da una garanzia indiretta delle prestazioni, **senza una adeguata verifica**, una difficoltà nell'utilizzo di nuove tecnologie e di adeguamento alle situazioni peculiari del progetto in esame nonché ad una tendenza ad aumentare i costi di costruzione.

Approccio di tipo prescrittivo

- Le norme e regole tecniche di tipo prescrittivo «impongono» un livello minimo sicurezza attraverso specifiche misure prescrittive

- **PREGI**
  - Regole tecniche di più «facile» applicazione da parte dei professionisti
  - Minore responsabilità da parte del progettista (l'analisi del Rischio viene svolta direttamente dal Normatore)

- **DIFETTI**
  - Nessun contributo alternativo può essere apportato dal progettista se non con lo strumento della deroga
  - Notevoli casi in cui la Regola tecnica non risulta applicabile (Troppo rigida)

Limiti della norma prescrittiva

- Tale approccio, di natura prescrittiva, si riferisce a quasi tutti i possibili casi che in realtà si possono riscontrare e generalmente risulta conservativo

- Il rispetto delle norme e la conseguente verifica di conformità, infatti, risolve la maggior parte dei casi, ma esistono diverse situazioni nelle quali tale soluzione non è possibile o non è soddisfacente.

- Quando la realizzazione di determinati interventi risulta di difficile attuazione è necessario ricercare ulteriori provvedimenti, attraverso una specifica analisi e valutazione del rischio incendio dell'attività, volta a conferire all'attività un grado di sicurezza equivalente (misurabile) a quello stabilito dalle norme vigenti.

L'approccio prestazionale

- L'approccio prestazionale si contrappone a quello prescrittivo perché consente di raggiungere al meglio gli obiettivi di sicurezza, attraverso una **misura** del livello di sicurezza raggiunto.

- Secondo tale filosofia di progetto è infatti possibile liberare il progettista da vincoli spesso troppo stringenti, al fine di permettere un maggior utilizzo di nuove tecnologie e spesso anche un miglior utilizzo delle risorse economiche a disposizione, responsabilizzando maggiormente i professionisti coinvolti

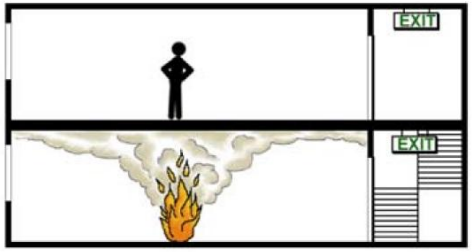
L'approccio prestazionale

- L'approccio prestazionale nel campo della sicurezza in caso di incendio, si basa sul riconoscimento **di esigenze-requisiti-prestazioni** che le attività debbono soddisfare al fine di migliorarne il livello di sicurezza.

- Tale approccio mira sia alla definizione delle esigenze di sicurezza necessarie, sia al progetto della sicurezza mediante la **definizione dei requisiti** e infine alla **verifica delle prestazioni** di sicurezza adottate mediante metodi ingegneristici.

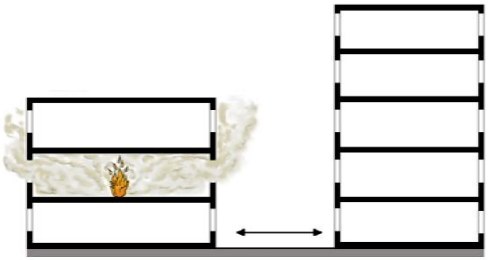
Esigente rispetto all'obiettivo: sicurezza in caso di incendio

La capacità portante delle strutture sia garantita per un determinato periodo di tempo



La produzione e la propagazione di fiamme e di fumi all'interno delle costruzioni sia limitata

La propagazione dell'incendio alle costruzioni vicine sia limitata



Gli occupanti possano abbandonare la costruzione o essere messi in salvo

La sicurezza delle squadre di soccorso sia presa in considerazione

- **Obiettivo:**
  - Sicurezza in caso di incendio

- **Esigenze:**
  - L'edificio deve essere concepito costruito in modo che, in caso di incendio: la capacità portante dell'edificio sia garantita per un periodo di tempo determinato; la produzione e la propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere siano limitate; la propagazione del fuoco ad opere vicine sia limitata; gli occupanti possano lasciare l'opera in sicurezza o essere soccorsi altrimenti; sia presa in considerazione la sicurezza delle squadre di soccorso.

Nuovo codice di prevenzione incendi obiettivi

a. minimizzare le cause di incendio;

b. garantire la stabilità delle strutture portanti per un periodo di tempo determinato;

c. limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dell'attività;

d. limitare la propagazione di un incendio ad attività contigue;

e. garantire la possibilità che gli occupanti lascino l'attività autonomamente o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;

f. garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza;

g. tutelare gli edifici pregevoli per arte e storia;

h. garantire la continuità d'esercizio per le opere strategiche;

i. prevenire il danno ambientale e limitare la compromissione dell'ambiente in caso d'incendio.

Requisiti

- Per **requisito** tecnico si intende la specifica condizione tecnica, comunque realizzata, misurabile, che soddisfa un'esigenza riconosciuta.

- Per ciascun requisito, le specifiche tecniche devono indicare:
  - L'esigenza che il requisito deve soddisfare;
  - La grandezza fisica che si intende misurare

Prestazione

- Per **prestazione** dell'opera si intende il livello minimo di soddisfacimento di un requisito richiesto.

- Ai fini delle asseverazioni sul raggiungimento dei livelli minimi di prestazione richiesti, l'applicazione di specifici **metodi di calcolo** e di verifica, viene considerata come soluzione conforme per il raggiungimento teorico della prestazione.

- Le **modalità di controllo** del soddisfacimento degli obiettivi prestazionali, in un approccio prestazionale, divengono più complesse; ci si può basare sui criteri che formano l'ingegneria della sicurezza antincendio, espressione con cui si traduce il corrispondente **Fire Safety Engineering** (FSE).

Fire Safety Engineering (FSE).

- L' ingegneria della sicurezza antincendio, o Fire Safety Engineering (FSE), è un moderno **strumento di verifica delle prestazioni** di sicurezza in caso di incendio in un edificio o attività.

- Questa disciplina e definita come l'applicazione di principi ingegneristici, di regole e di giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi di incendio e dei relativi effetti e alla valutazione analitica delle misure di prevenzione ottimali necessarie a limitare, entro i livelli previsti, le conseguenze dell'incendio.

Fire Safety Engineering (FSE).

- La FSE non è una regola tecnica che fissa a priori le misure ed i relativi livelli prestazionali da adottare.

- La FSE rappresenta una linea guida che stabilisce un percorso metodologico da seguire, i cui presupposti tecnici e scientifici devono necessariamente essere ricercati nella letteratura internazionale di settore.

Che scopi persegue?

- L' ingegneria antincendio, se correttamente utilizzata, permette di raggiungere una valutazione analitica e quindi quantitativa del livello di sicurezza presente.
- In pratica gli obiettivi sono:
  - Progettare con maggiore libertà edifici di particolare interesse architettonico o con particolare destinazione;
  - Evitare gli sprechi di materiale;
  - Verificare la validità di progetti di prevenzione incendi proposti per risolvere situazioni difficili;
  - Valutare i piani d'emergenza poiché è possibile seguire l'andamento di un incendio e la propagazione dei prodotti della combustione, e conoscere istante per istante la percentuale di sopravvivenza di una persona in un ambiente;
  - Investigare sulle cause d'incendio, mediante la ricostruzione delle fasi dell'incendio e la verifica o l'esclusione delle varie ipotesi incidentali.

Quando si puó utilizzare?

- Nelle istanze di Deroga o in progetti di attività non normate che presentano situazioni particolari, o se vogliamo raggiungere delle prestazioni non contemplate dalle norme (es. garanzia della prosecuzione dell'attività in caso di incendio, protezione di un particolare bene ecc.)

Come si utilizza?

- Si può riassumere l'analisi ingegneristica in tre punti essenziali:
- definizione di una metodologia di progettazione antincendio secondo una codificazione definita (scelta di codici di calcolo adeguati a schematizzare la situazione reale);
- definizione degli scenari incidentali (in accordo con gli organi di controllo) su cui sviluppare le successive valutazioni;
- valutazione oggettiva delle conseguenze di un incendio in relazione allo scenario prescelto e misura del livello di sicurezza presumibile.

Cos'è un fenomeno fisico/chimico?

- Un fenomeno è un qualunque mutamento che avviene nel mondo naturale. Parliamo di **fenomeno fisico** quando si ha un mutamento della posizione o della forma di un corpo senza che avvenga alcuna alterazione della sostanza. In quest'ultimo caso, cioè quando si ha un cambiamento della sostanza del corpo, parleremo di **fenomeno chimico**.
- Lo studio di un fenomeno fisico consiste nella ricerca delle modalità secondo cui il fenomeno avviene, nell'indagine intorno alle cause che la producono e sugli effetti che esso provoca.
- Su cosa si fonda lo studio di un fenomeno fisico? Sull'osservazione (è l'esame attento, accurato, minuzioso del fenomeno così come spontaneamente si manifesta in natura) e sull'esperienza (nella riproduzione artificiale del fenomeno in circostanze controllate e riproducibili, cercando di evitare tutte le cause secondarie che possono renderne difficile l'interpretazione).

Quali sono le grandezze fisiche di osservazione?

- Cardine della fisica sono i concetti di **misura**, di **grandezza fisica** e di **incertezza**: la fisica prende in considerazione solo ciò che è in qualche modo misurabile secondo criteri concordati (le unità e i metodi di misura), e il risultato di tale misura viene associato a ciò che è stato misurato.
- Ogni quantità è dunque specificata da un **numero**, che è il risultato della misura, e dall'unità di misura scelta. Per questo motivo, le teorie della fisica sono quindi generalmente espresse come relazioni matematiche fra quantità fisiche. Ogni fenomeno è caratterizzato da grandezze fisiche che sono per esso più significative (es. temperatura, pressione, velocità, ecc.).
- Le equazioni matematiche che regolano i fenomeni sono generalmente valide solo con determinate condizioni al contorno, se queste cambiano le formule non descrivono più il problema e bisogna cambiare “set” di equazioni.

Codici di calcolo

- Sono strumenti informatici che servono a risolvere dei sistemi di formule matematiche complesse che a loro volta descrivono il fenomeno che si vuole simulare.
- Dal fenomeno fisico al codice di calcolo si arriva attraverso la modellizzazione numerica cioè la “traduzione” delle formule che descrivono il fenomeno in un linguaggio matematico che è adatto ad essere implementato sui calcolatori.
- Questa “traduzione” consiste nella scrittura di uno o più algoritmi. In fase di progettazione di un software l’algoritmo consiste nella soluzione di un problema, che si è analizzato, seguendo una serie di operazioni sequenziali rappresentate sotto forma di diagramma o di pseudocodifica.
- Tale sequenza di operazioni deve essere applicabile ad ogni linguaggio di programmazione. Un programma può essere visto come un insieme di algoritmi diversi che interagiscono per risolvere problemi complessi. Anche gli algoritmi non sono generalmente universalmente validi ma hanno un loro determinato campo di applicazione al cui interno i risultati sono validi, al di fuori di esso no!

Come si fa a sapere se i risultati forniti dal codice sono corretti?

- Quando si vuole simulare un fenomeno ci sono 2 difficoltà: la prima è determinare quali equazioni governano il fenomeno schematizzandolo, la seconda è trovare una strada numerica che mi porti alla risoluzione delle equazioni scritte. Tutte queste schematizzazioni (ammesso che il modello fisico sia stato correttamente individuato) comportano un allontanamento dei risultati dell'operazione da quello che è il vero risultato.

- Si rende quindi necessaria un'analisi dei risultati dove bisogna confrontare dei dati ottenuti sperimentalmente ed in modo certo (seguendo il metodo scientifico) con i risultati del calcolo.

Validazione del codice

- Le prove sperimentali vengono realizzate sotto osservazione di strutture internazionali che garantiscono l'applicazione del metodo scientifico e che rendono noti a tutti le condizioni in cui è stata effettuata la prova ed i risultati. Tutti i codici si testano inizialmente con dei problemi benchmark cioè con una procedura di test standard utilizzata per valutarne le prestazioni. Successivamente si passa a testare i codici con problemi di cui sono noti i risultati e per ultimo ci sono i blind test che devono essere eseguiti senza conoscere prima i risultati.

- Affinché i risultati di un codice siano accettabili bisogna misurare le bande di incertezza da associare ad ogni risultato dei codici di calcolo. Per determinare qual è tale banda si valuta l'accuratezza (accuracy) del codice cioè la differenza tra valori calcolati e i valori sperimentali e da essa tramite metodologie note (per es. l'UMAE - Uncertainty Methodology based on the Accuracy Extrapolation) si ricava l'incertezza del risultato

Quando si ha la validazione del codice?

- Un codice di calcolo è validato quando fornisce dei risultati certificati che hanno una determinata accuratezza. Quando il codice è validato può essere utilizzato dagli utenti finali per eseguire dei calcoli. Ogni codice, per quanto detto prima, avrà un suo campo di applicazione sia come modello fisico di simulazione che come modello matematico. Questi dati devono essere forniti all'utente insieme alle istruzioni di uso.

La schematizzazione (nodalizzazione) influenza il risultato?

- Una volta in possesso di un codice validato per ottenere dei risultati è necessario schematizzare lo scenario in cui si vuol far girare il codice.
- La validazione di un codice si ottiene anche facendo girare lo stesso problema schematizzato da più gruppi di persone in modo da vedere come tale schematizzazione influisce sui risultati e quale tipo di schematizzazione è più redditizia ai fini dell'accuracy del calcolo.
- Quindi anche lo stesso codice utilizzato da piú persone può fornire risultati diversi.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

- L'origine e caratteristiche dei codici di calcolo deve essere documentata;
- In particolare devono essere fornite indicazioni con riferimento alla denominazione, all'autore o distributore, alla versione e alle validazioni sperimentali;
- Deve essere fornita altresì idonea documentazione sull'inquadramento teorico della metodologia di calcolo e sulla sua traduzione numerica nonché indicazioni riguardanti la riconosciuta affidabilità dei codici;

Quali codici si utilizzano per analisi FSE?

- In commercio si trovano già dei codici per i quali sono stati elaborati **modelli** che descrivono le capacità di rilascio del calore dei materiali durante la combustione, la loro suscettibilità ad essere innescati, l'andamento dell'incendio in funzione della ventilazione, la generazione delle specie tossiche, la generazione dei fumi ed il loro movimento, l'esodo delle persone, ecc. Inoltre, sono state compiute sperimentazioni di laboratorio in grado di dare pratica utilizzabilità alle formule matematiche teoriche.

I modelli

- I modelli di simulazione più diffusi che rappresentano l'incendio al variare delle situazioni iniziali sono i seguenti:

- **modelli a zone** o volumi di controllo in cui le equazioni di conservazione vengono risolte per zone distinte e relativamente grandi
- **modelli di campo** (CFD = Computational Fluyd Dynamics) in cui si utilizzano metodi agli elementi finiti e le equazioni di conservazione vengono risolte all'interno di una griglia tridimensionale di cubetti in cui sono divisi i compartimenti.

Modelli

- Nei modelli a zone si calcola la temperatura media del compartimento risolvendo le equazioni di conservazione della massa e dell'energia.
- Nei modelli ad una zona si fa riferimento ad un'unica temperatura omogenea del compartimento in fase di incendio generalizzato.
- Nei modelli a due zone si distingue tra condizioni di pre-flashover, caratterizzate da temperatura non omogenea nel compartimento, e condizioni di post-flashover con distribuzione uniforme della temperatura. Anche in questo caso sono risolte le equazioni di conservazione della massa e dell'energia, ipotizzando l'accumulo di gas caldi in corrispondenza del soffitto (zona calda) e la presenza di un piano di interfaccia orizzontale, che separa la zona calda dalla zona fredda interessata dal ricambio d'aria .

Sviluppo e Propagazione

Sviluppo e propagazione

Modelli a Zone: dividono il volume dell'edificio in zone (normalmente stanze) ed eseguono un bilancio di energia e massa.

Grossolani ma efficaci.

Modelli CFD: dividono il volume dell'edificio in volumetti di controllo ed eseguono per ciascuno di essi bilanci di energia termica e calcoli fluidodinamici.

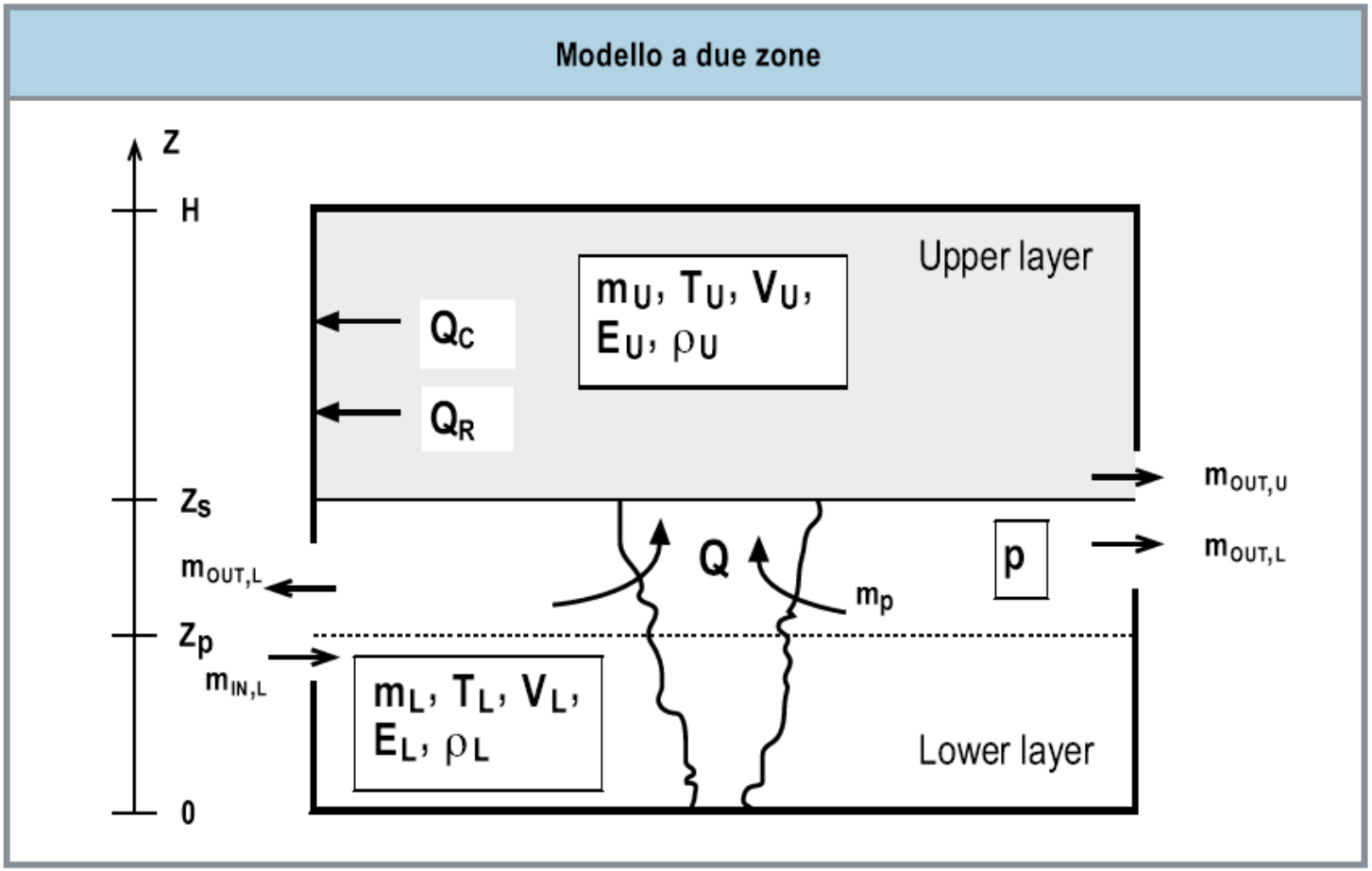
Molto precisi ed efficienti ma necessitano di grande potenza di calcolo.

Analisi del rilascio termico (Heat Release Rate – HRR)	**Analisi dei tempi di intervento degli impianti di rilevazione/spegnimento**	**Analisi produzione di fuliggine ("soot") e prodotti di combustione (acidi, ecc.)**
Reazione al fuoco dei materiali	Response Time Index (R.T.I.) rilevatori, sprinkler, ecc.	Natura dei materiali (legno, plastiche, ecc.)

Modello a due zone

- Suddivisione dell'ambiente sede dell'incendio in due volumi di controllo:
  - Volume superiore contenente i prodotti della combustione
  - Volume inferiore che rappresenta l'aria ambiente presente nel locale Presenza di una interfaccia ad una certa altezza dal pavimento con variazione a gradino della temperatura

Modello a due zone



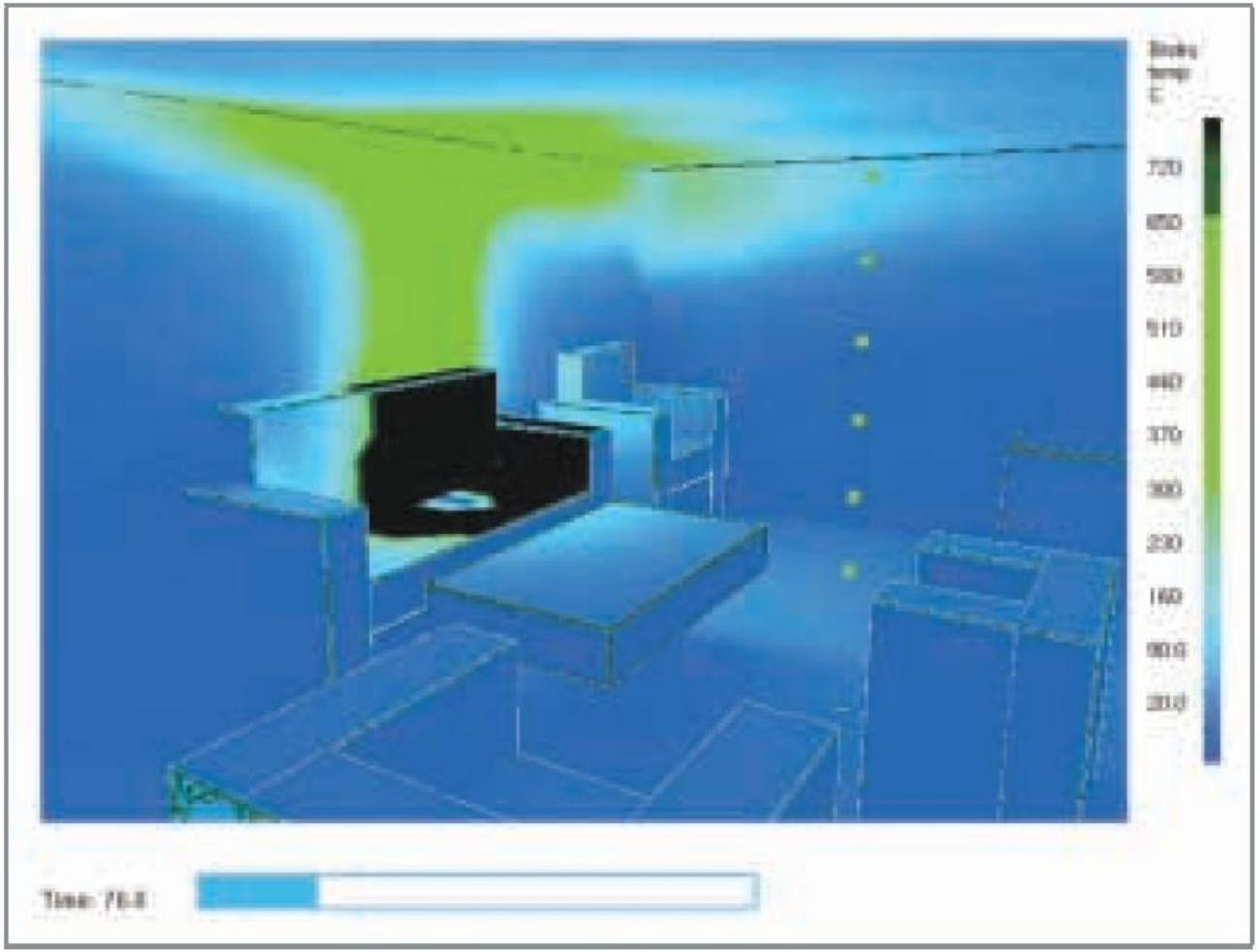
Modelli fluidodinamici

- I modelli fluidodinamici suddividono il compartimento in celle elementari per le quali vengono risolte le equazioni di conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto.

- Tali modelli danno una descrizione molto particolareggiata dell'evoluzione dell'incendio, ma sono molto onerosi sia per tempi di calcolo, sia per la difficoltà di gestione dei dati.

- Nella figura seguente si riporta un esempio di modello a celle ottenuto con il codice di calcolo FDS prodotto e distribuito da NIST (www.fire.nist.gov).

Modelli fluidodinamici



Scelta del modello

- Il progettista 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.

Progettazione Deterministica vs. Probabilistica

Fire Scenario

⇩

Deterministici ⇨

- Sviluppo e propagazione dell'incendio
- Movimento dei prodotti di combustione
- Human Behaviour
- Building Response to fire

Limiti:

- Modello utilizzato basato su sperimentazioni su piccola scala.
- Analisi e studio della letteratura per valutare il campo di validità del modello.

Analisi di sensitività

Necessaria per valutare la correttezza e delicatezza dei risultati.

Probabilistici ⇨

Rischio

$R = \Sigma(\text{Prob.}\% \cdot \text{Magnitudo})$

Sicurezza

$S = R^{-1}$

Limiti:

- Disponibilità sui dati a disposizione.
- Approfondimento delle circostanze alla base dei dati ottenuti.

Alberi di Guasto & Alberi degli Eventi

⇧

Dati storici su incendi e indagini sul campo

Fattori da cui dipende l'incendio

- I fattori da cui dipende l'incendio e la sua durata sono molteplici:

- Ventilazione del locale;
- Velocità di combustione;
- Apporto di energia;

Ventilazione

- Secondo Kawagoe la portata volumetrica di aria entrante *Qa* (mc) è proporzionale all'area delle finestre *Af* (mq) (superficie delle aperture in condizioni di post-flashover praticamente coincidente, con la superficie totale finestrata del compartimento) e alla radice quadrata dell'altezza H (m) delle predette aperture, ossia:

$$Q_a = K A_f \sqrt{H} \ (mc)$$

- Il coefficiente di proporzionalità K è una quantità dipendente dalla differenza di temperatura fra interno ed esterno e dal rapporto fra volume di gas prodotto per unità di massa e il volume di aria richiesto per la combustione completa dell'unità di massa di combustibile.

Altezza equivalente finestre

Nel caso di finestre di dimensioni diverse si deve considerare la Heq ponderale:

$$H_{eq} = \frac{\sum_i A_{vi} \cdot H_i}{A_v} \quad [m]$$

Dove:
Av = Superficie delle aperture di ventilazione ricavate sulle pareti del locale, in mq;
At = Superficie totale del compartimento, pavimento pareti e soffitto, in mq;
Heq = altezza equivalente, media ponderata di tutte le altezza Hi delle aperture di ventilazione delle pareti.

Fattore di Ventilazione

- Fattore di primaria importanza perché da esso dipende prima lo sviluppo dell'incendio e poi la sua propagazione per effetto dell'apporto di aria necessaria alla combustione.
- Il fattore di ventilazione va ad influenzare la velocità di combustione (massa di combustibile consumata nell'unità di tempo [kg/s]). Il suo valore è dato dalla seguente formula empirica:

$$F_v = \frac{A_f \sqrt{H}}{A_t}$$

At = Superficie totale del compartimento: somma delle superfici di pavimento, soffitto e chiusure laterali (mq).

Af = Superficie delle aperture di ventilazione ricavate sulle pareti del locale, in mq;

- Si deve tuttavia precisare che una buona ventilazione consente l'evacuazione dei fumi e rende in tal modo più semplice le operazioni dei soccorritori i quali possono penetrare nei locali per individuare i focolai.

Velocità di combustione

- Legata alla ventilazione è la velocità di combustione media Vc che rappresenta la massa di combustibile che brucia nell'unità di tempo.
- È praticamente costante nella fase di incendio vero e proprio e cioè dal Flashover al punto di temperatura massima.
- Kawagoe e Sekine, Tomas hanno trovato per il legno l'espressione:

$$V_c = K_1 A_F \sqrt{H} \ (Kg/min)$$

- essendo K1 una costante opportuna dipendente dal tipo di combustibile: Per il legno K1= 5,5 (Kg $^{-}$)

Energia rilasciata in un incendio

energia massima rilasciata = massa x potere calorifico = $M \times H_u$

$Q_{fi,k} = \Sigma M_{k,i} \cdot H_{u,i} \cdot \Psi_i = \Sigma Q_{fi,k,i}$ carico di incendio caratteristico

Ψ coeff. opzionale per carichi di incendio protetti

$M_{k,i}$ = se permanenti: valori medi attesi
se variabili: frattile 80%

carico di incendio specifico (fire load density) è l'energia massima al m^2

$q_{f,k}$ $(MJ/m^2) = Q_{fi,k} / A_f$ rispetto all'area A_f del **pavimento**

q_t è riferito all'area totale A_t dell'ambiente (pareti, aperture e soffitto inclusi)

il pedice "k" indica il valore caratteristico,
mentre "d" indica il valore di progetto

Carico d'incendio

- L'apporto di energia dipende dalla qualità e quantità del materiale combustibile costituisce ciò che viene chiamato carico di fuoco o carico d'incendio.

- Il carico di incendio è espresso in [MJ]; è il Potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione dei singoli materiali.

Potenza termica rilasciata

- Per descrivere la dinamica di sviluppo di un incendio in maniera più reale, devono essere prese in considerazioni le modalità di rilascio energetico che giocano un ruolo fondamentale. Esse sono associate alla potenza rilasciata dall'incendio durante l'evento.

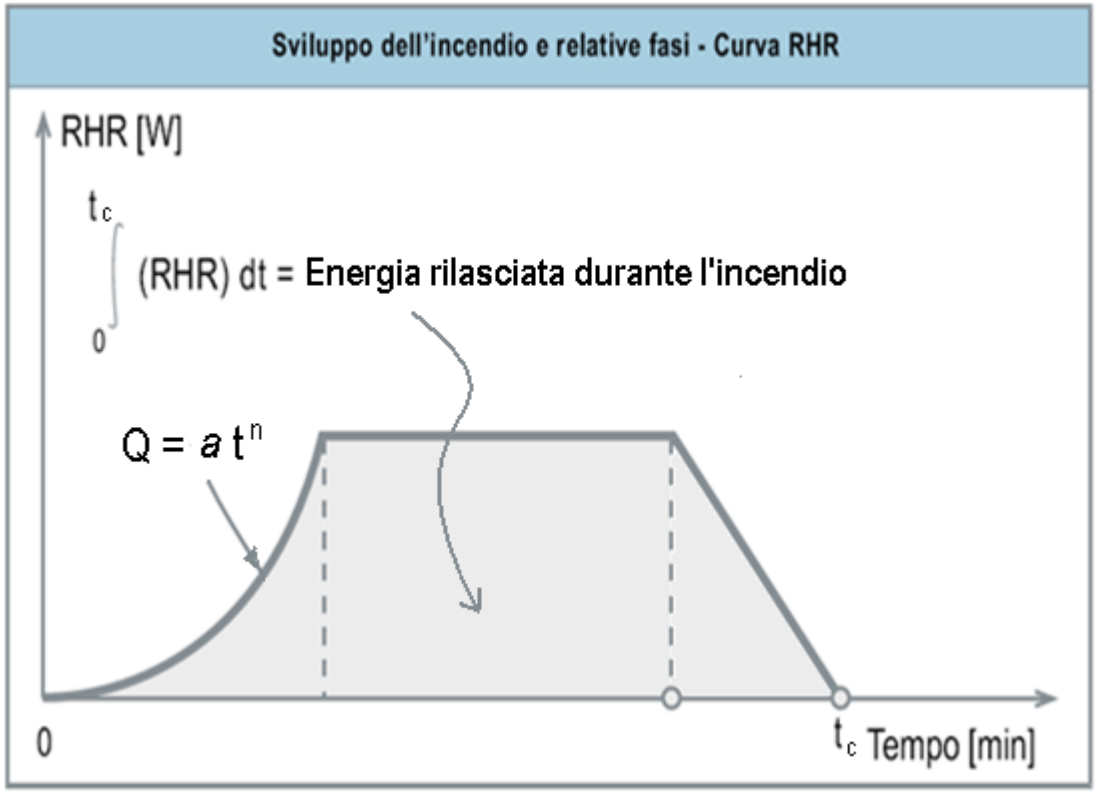
- La variazione sparzio-temporale della liberazione di energia dal materiale combustibile governa gli scambi del sistema termodinamico materiale combustibile-ambiente e l'andamento delle temperature dei gas sviluppati. Si pensi come, infatti, uno stesso carico di incendio possa bruciare con differenti velocità a seconda delle particolari condizioni che si instaurano, dipendenti e dal materiale (quantitativo, tipologia, pezzatura, ecc) e dall'ambiente (volumetria, apertura, ambiente aperto, ecc), dando origine a temperature nel locale coinvolto o volume di controllo (se all'aperto) anche molto diverse da caso a caso.

- Sulla base di numerosi test eseguiti, su base internazionale, l'andamento delle modalità di rilascio energetico, viene descritto dal tasso di rilascio dell'energia termica RHR (dall'inglese Rate of Heat Released) o HRR (Heat Release Rate), che esprime la potenza termica rilasciata nell'ambiente durante la combustione al trascorrere del tempo.

Curva RHR (Rate of Heat Released)

- Il concetto di RHR è più attendibile di quello di carico d'incendio: il primo, infatti, prende in esame il rilascio d'una potenza termica, ossia un parametro strettamente legato allo sviluppo dell'incendio reale; il carico d'incendio, per contro, è riferito ad un'energia rilasciata, senza riferimenti al tempo di combustione.

- Anche nella valutazione dei valori di temperatura che possono raggiungersi in un compartimento chiuso durante un incendio nella fase pre-flashover, il valore di RHR come dato di input è più attendibile di quello del carico di incendio; infatti, in tale fase, impiegando il carico di incendio, la stima dei valori di temperatura è molto conservativa, poiché si suppone che tutto il combustibile presente nell'ambiente partecipa al processo di combustione (tale ammissione è lecita solamente se si eseguono valutazioni di tipo post-flashover).

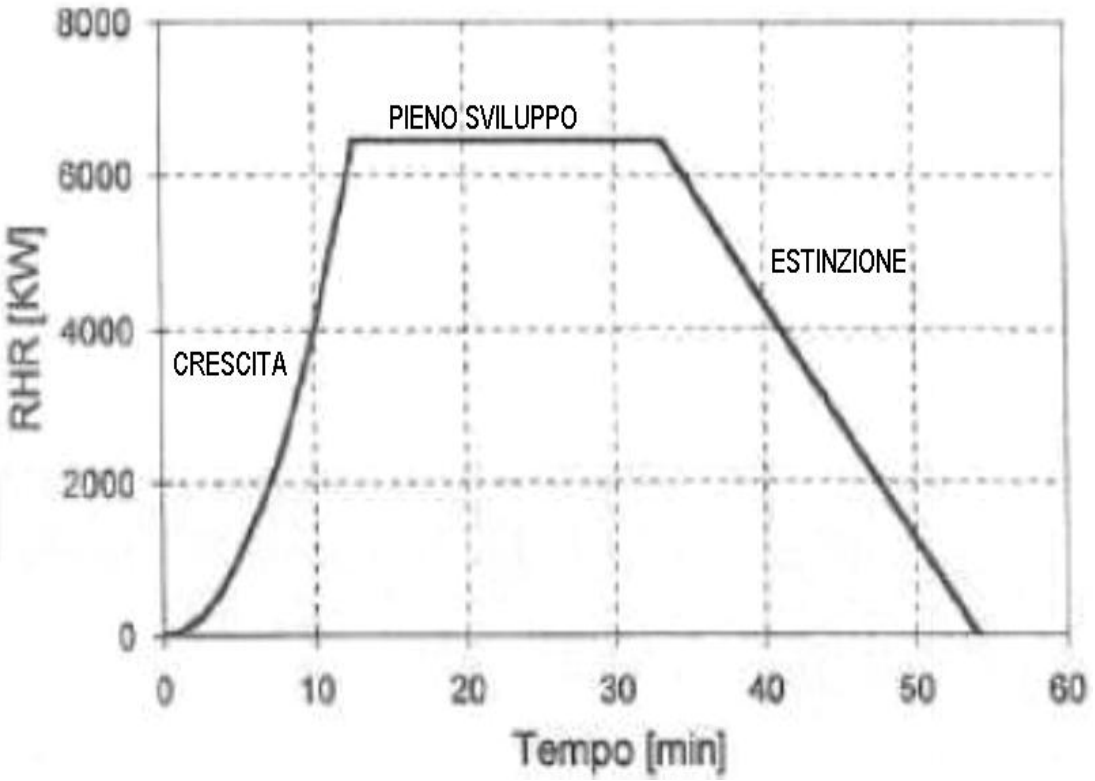


Curva RHR (Rate of Heat Released)

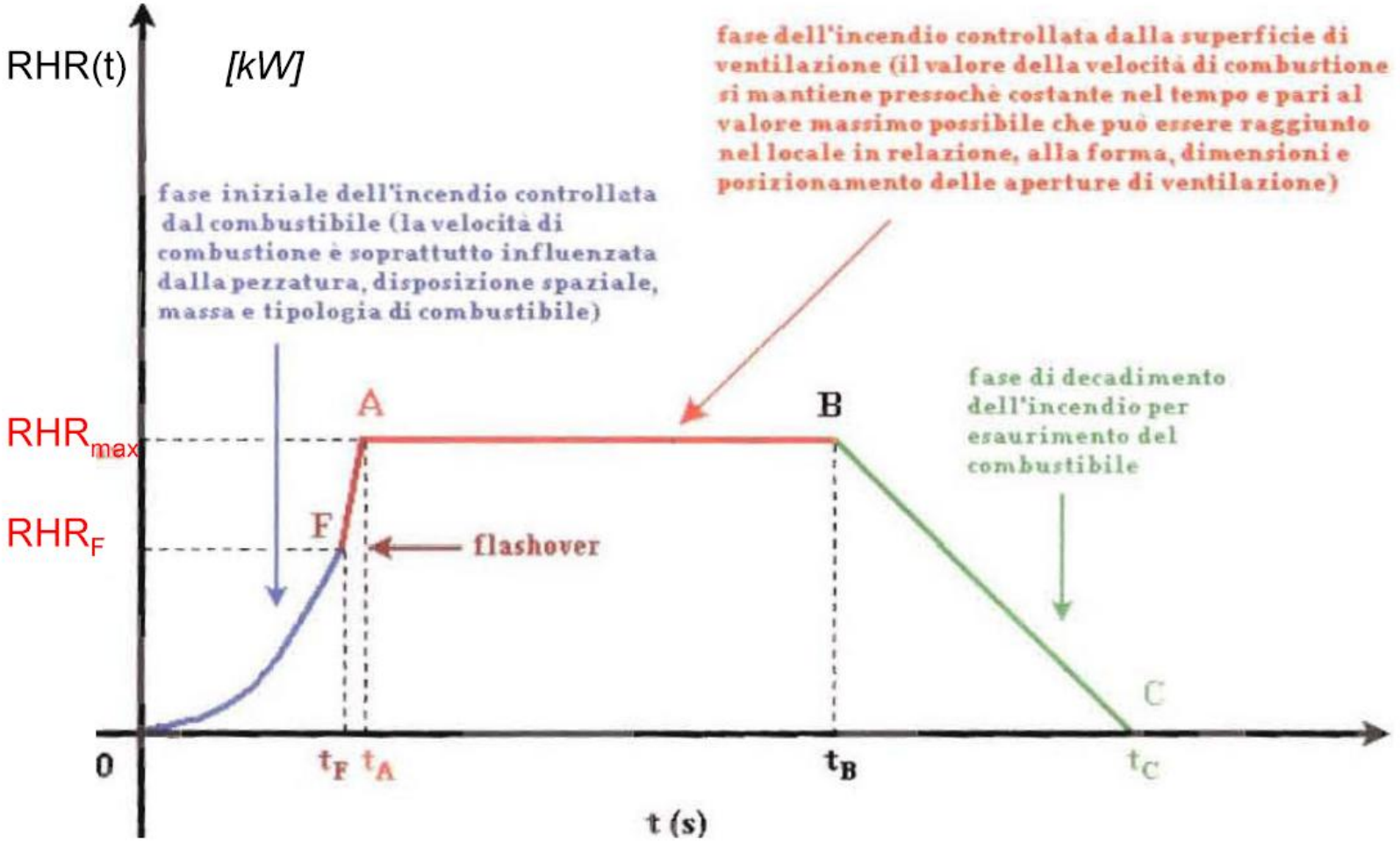
- Il modello che meglio rappresenta l'incendio dei comuni materiali combustibili contenuti all'interno delle costruzioni è quello citato dall'Eurocodice EN1991-1-2, costituito dai seguenti tratti:

- Tratto di crescita quadratica fase di propagazione dell'incendio;
- Fase di plateau orizzontale fase di pieno sviluppo;
- Tratto di decadimento lineare fase di estinzione.

- In una prima fase (ignizione) la potenza termica totale rilasciata nell'ambiente, cresce in modo parabolico fino al flash-over, oltre il quale la potenza rilasciata resta costante fintanto che prosegue il processo di combustione, per poi ridursi gradualmente all'esaurirsi del combustibile.



Curva RHR (Rate of Heat Released)



MINISTERO DEGLI INTERNI
Decreto 9 Maggio 2007

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

- Il decreto riguarda essenzialmente le procedure da seguire ed i documenti da produrre; non riporta né formule né algoritmi.

- È costituito da 8 articoli che stabiliscono le procedure per adottare l'approccio ingegneristico e un **allegato tecnico** suddiviso in 5 punti che indicano il processo di valutazione e progettazione.

Art. 1 - Oggetto

Il presente decreto definisce:

GLI ASPETTI PROCEDURALI

E I CRITERI DA ADOTTARE

per valutare il livello di rischio e progettare le conseguenti misure compensative in alternativa al DM Maggio 1998

UTILIZZANDO L'APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO AL FINE DI SODDISFARE GLI OBIETTIVI DELLA PREVENZIONE INCENDI

Art. 2 – Campo di applicazione

In caso di:

- ✓ **INSEDIAMENTI DI TIPO COMPLESSO O A TECNOLOGIA AVANZATA**
- ✓ **EDIFICI DI PARTICOLARE RILEVANZA ARCHITETTONICA E/O COSTRUT.**
- ✓ **EDIFICI PREGEVOLI PER ARTE E STORIA**
- ✓ **EDIFICI UBICATI IN AMBITI URBANISTICI PARTICOLARE SPECIFICITA'**

E' POSSIBILE UTILIZZARE LA METODOLOGIA DEL PRESENTE DECRETO QUANDO:

a) **per la individuazione dei provvedimenti da adottare ai fini del RILASCIO DEL CPI nel caso di attività non regolate da specifiche disposizioni antincendio;**

b) **per la individuazione delle misure di sicurezza che si ritengono idonee a compensare il rischio aggiuntivo nell'ambito del procedimento di DEROGA.**

Deroghe

- Si applica in caso di deroga per l'individuazione delle misure di sicurezza alternative.

- Questo caso è molto importante perché si passa da una valutazione "qualitativa" e basata sull'esperienza ad una valutazione "quantitativa" delle misure di sicurezza equivalente.

- L'analisi esperta permette infatti di individuare gli incendi effettivamente possibili in quel particolare ambiente (incendi reali) e di valutare gli effetti dell'evento in termini di diffusione dei fumi (visibilità), dei prodotti della combustione (specie tossiche), delle temperature ecc.

Art. 3 – Domanda di Parere di Conformità sul Progetto

- **La documentazione tecnica previste dal DM 4 Maggio 1998 per la richiesta del Parere di Conformità (Allegato I lettera A) deve essere INTEGRATA con:**

✓ **QUANTO STABILITO NELL'ALLEGATO AL PRESENTE DECRETO**

✓ **DOCUMENTO CONTENENTE IL PROGRAMMA DI ATTUAZIONE DEL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO.**

- **Il Comando provinciale VVF valuta l'opportunità di acquisire il parere del COMITATOTECNICO REGIONALE.**

- **Nel caso si presenti il parere di conformità con questo metodo il corrispettivo dovuto ai Vigili del Fuoco è il doppio**

Art. 4 – Domanda di Deroga

- La DOCUMENTAZIONE tecnica previste dal DM 4 Maggio 1998 per la richiesta di DEROGA (Allegato I) deve essere INTEGRATA con:
  - ✓ VALUTAZIONE SUL RISCHIO AGGIUNTIVO DERIVANTE DAL MANCATO RISPETTO DELLE DISPOSIZIONI A CUI SI INTENDE DEROGARE
  - ✓ MISURE COMPENSATIVE RISCHIO AGGIUNTIVO
  - ✓ DOCUMENTO CONTENENTE IL PROGRAMMA DI ATTUAZIONE DEL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO.
- Nel caso si presenti la deroga con questo metodo il corrispettivo dovuto è MAGGIORATO DEL 50%.

Art. 5 – Dichiarazione di inizio attività

- **La MODULISTICA prevista dal DM 4 Maggio 1998 per la Dichiarazione di Inizio attività deve essere INTEGRATA con:**

- **La dichiarazione in merito all'attuazione del programma relativo al SGSA**

Art. 6 – Sistema di gestione della sicurezza Antincendio SGSA

- **La progettazione secondo l'approccio ingegneristico COMPORTA la necessità di elaborare un**

DOCUMENTO CONTENENTE IL PROGRAMMA PER L'ATTUAZIONE DEL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO
VINCOLATO ALLE SCELTE PROGETTUALI
SOGGETTO A CONTROLLI DA PARTE DEL COMANDO VVF

- **La prima verifica avviene all'atto del sopralluogo per il rilascio del CPI**
- **Nel caso si presenti la richiesta CPI o il rinnovo CPI con questo metodo il corrispettivo dovuto è doppio.**
- **Se all'atto del sopralluogo i requisiti previsti dal SGSA sono disattesi il Comando Provinciale VVF sospende la validità del CPI e procede alle comunicazioni agli enti interessati (Comune, Prefettura..).**

Art. 7 – Osservatorio per l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio

- E' istituito presso il Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del soccorso pubblico, e della difesa civile l'OSSERVATORIO per l'approccio ingegneristico finalizzato a:

  ✓FAVORIRE LA MASSIMA INTEGRAZIONE TRA I VARI SOGGETTI INTERESSATI

  ✓ESPLETARE ATTIVITA' DI MONITORAGGIO

  ✓ADOTTARE MISURE TESE AD UNIFORMARE LE MODALITA' ATTUATIVE

  ✓FORNIRE I NECESSARI INDIRIZZI E SUPPORTO AGLI ORGANI TERRITORIALI DEL CNVVF

- Con successivo provvedimento a firma del Capo del CNVVF verranno dettate le disposizioni relative alla composizione e al funzionamento dell'osservatorio.

Art. 8 – Entrata in vigore

- **Il presente decreto è entrato in vigore il novantesimo giorno successivo alla data di pubblicazione (G.U. n° 117 del 22 maggio 2007):**

20 AGOSTO 2007

1. Definizioni

CURVA DI RILASCIO TERMICO (Heat Realise Rate) – RHR	**energia termica emessa da un focolare o da un incendio per unità di tempo.**
INCENDIO DI PROGETTO	**descrizione quantitativa di un focolare previsto all'interno di uno scenario di incendio.**
LIVELLI DI PRESTAZIONE	**criteri di tipo quantitativo e qualitativo rispetto ai quali si può svolgere una valutazione di sicurezza.**
PROCESSO PRESTAZIONALI	**processo finalizzato a raggiungere obiettivi e livelli di prestazione specifici.**
SCENARIO DI INCENDIO	**descrizione qualitativa dell'evoluzione di un incendio (innesco, crescita, incendio pienamente sviluppato, decadimento) e dei fattori che lo influenzano (ambiente circostante, impianti di protezione attiva..).**
SCENARIO DI INCENDIO DI PROGETTO	**specifico scenario di incendio per il quale viene svolta l'analisi.**

Allegato al DM 9 Maggio 2007

PROCESSO DI VALUTAZIONE E PROGETTAZIONE NELL'AMBITO DELL'APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO

- Il processo di valutazione e progettazione nell'ambito dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio si divide in 3 fasi:
- Analisi preliminare (I fase)
- Analisi quantitativa (II fase)
- SGSA

2. Generalità (Iter progettuale)

PRIMA FASE **(Analisi preliminare)**	**In questa fase devono essere formalizzati i passaggi che individuano le condizioni rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta in relazione agli obiettivi.** **Redazione di un SOMMARIO TECNICO in cui sono riportati gli scenari più caratteristici e rappresentativi del rischio e quali sono i livelli di prestazione a cui riferirsi in relazione agli obiettivi di sicurezza da perseguire a firma** **- PROGETTISTA - TITOLARE DELL'ATTIVITA'**
SECONDA FASE **(Analisi quantitativa)**	**Definiti gli scenari nella seconda fase dell'iter progettuale si passa al calcolo ed all'analisi quantitativa che permettono di definire il progetto da presentare per la definitiva approvazione.**
SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO	**A completamento del progetto si predispone lo strumento che permetterà di mantenere efficienti le misure di sicurezza adottate (SGSA)**

Analisi preliminare (I FASE)

- Questa fase va concordata con l'organismo di controllo. Prevede:
- Definizione del progetto
- Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio
- Individuazione dei livelli di prestazione
- Individuazione degli scenari di incendio di progetto

3. Analisi preliminare (Prima Fase)

3.1 DEFINIZIONE DEL PROGETTO	**Nel definire il progetto è necessari documentare: VINCOLI PROGETTUALI** **INDIVIDUAZIONE PERICOLI DI INCENDIO** **CONDIZIONI AMBIENTALI** **ANALISI CARATTERISTICHE OCCUPANTI**
3.2 IDENTIFICAZIONE DEGLI OBIETTIVI DI SICUREZZA	**Bisogna definire i capisaldi della sicurezza e cioè gli obiettivi di sicurezza antincendio in conformità alle normative vigenti in relazione alle specifiche esigenze dell'attività in esame compreso il soccorso.**
3.3 INDIVIDUAZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE	**In relazione agli obiettivi definiti è necessario stabilire quali sono i parametri che permettono il soddisfacimento degli stessi. Quindi bisogna definire quali sono i valori numerici di riferimento che possono essere desunti dalla normativa ISO/TR 13387, BS 7974..**
3.4 INDIVIDUAZIONE DEGLI SCENARI DI INCENDIO	**E' necessario schematizzare gli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione alle caratteristiche del focolaio, dell'edificio e degli occupanti.** **E' necessario procedere ad una attenta valutazione dei rischi di incendio con particolare attenzione a: combustibile, tasso di crescita del fuoco, RHR, sviluppo dei prodotti della combustione, caratteristiche del locale, condizioni delle persone presenti.**

Analisi preliminare (I)
Definizioni del progetto e degli obiettivi

- Nell'analisi preliminare vanno eseguiti i seguenti passi:
- **definizione del progetto** – bisogna fare una fotografia dell'opera e definire l'ipotesi di utilizzo. La definizione del progetto deve rimanere agli atti e deve essere concordata, firmata e CAPITA anche dal titolare dell'attivitá . A questo punto bisogna individuare quali sono i problemi che sono risolvibili solo con l'approccio ingegneristico.
- **definizione degli obiettivi** di sicurezza antincendio – sono gli obiettivi della direttiva europea CPD requisito essenziale "sicurezza in caso di incendio" Bisogna zoomare sull'obiettivo critico o su quelli critici dopo che si è dimostrato che gli altri sono stati comunque soddisfatti. Oltre a tali obiettivi OBBLIGATORI ci sono altri obiettivi che possono essere di notevole importanza per il titolare per esempio il danno accettabile, l'impatto sulla proprietà il fermo di eventuali macchinari ecc.

Analisi preliminare (II)
Definizione dei livelli di prestazione

- **Definizione dei livelli di prestazione** – bisogna valutare i parametri significativi che più interessano per garantire il soddisfacimento degli obiettivi di sicurezza prefissati. Devono essere parametri MISURABILI, VALORI NUMERICI che devono essere concordati con l'organismo di controllo e dichiarati PRIMA che vengano fatti i calcoli.
- I parametri possono essere per esempio: temperature massime dei gas, livelli di visibilità, livelli di esposizione termica per le persone o per i materiali, % di ossigeno, gas tossici o fumo ecc. I valori limite di riferimento con le loro conseguenze possono essere trovati in letteratura tecnica come per esempio norme ISO/TR 13387 per i gas tossici, BS 7974 per temperature tollerate, D.M. 09/05/2001 ecc.
- I livelli di prestazione possono essere differenti da caso in caso (es. sulla temperatura: quella accettabile può variare se considero solo l'esodo degli occupanti, la presenza degli addetti per il tempo necessario alla messa in sicurezza dell'impianto, per l'intervento dei soccorritori, per mantenere macchinari sotto una determinata temperatura, ecc.)

Analisi preliminare (III)
Definizione degli scenari di incendio di progetto

- **Questa fase deve essere concordata con l'organismo di controllo.**
- Ci sono 2 approcci:
- Quello "esperto" in cui ci si appoggia a teorie di analisi degli incidenti dove si stabiliscono quali sono gli scenari in grado di mandare in crisi il sistema per testare i parametri precedentemente stabiliti.
- Oppure l'approccio "normativo" (NFPA101) dove vengono dati 8 scenari predeterminati. Ciascuno di questi scenari potrà essere multiplo o non applicabile a seconda delle caratteristiche dell'edificio. Fra gli scenari si citano a titolo di esempio: fuoco ultraveloce in una via di esodo, fuoco in ambiente non occupato ma vicino a un luogo con grande afflusso di persone, fuoco a parete o a soffitto in ambiente vicino a persone, in intercapedini, ecc.
- A questo punto è conclusa la fase preliminare e si elabora il documento finale che è detto **SOMMARIO TECNICO**

4. Analisi quantitativa (Seconda Fase)

4.1 SCELTA DEI MODELLI	**La scelta del modello costituisce l'inizio della progettazione.**
4.2 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI	**La modellazione deve fornire tutti i parametri numerici che servono a descrivere l'evoluzione dell'incendio** **Parametri – Direttiva 89/106/CEE – Sicurezza in caso di Incendio** **Caratteristiche strutturali – DM 9 marzo 2007**
4.3 INDIVIDUAZIONE DEL PROGETTO FINALE	**Alla fine della valutazione quantitativa sarà possibile predisporre il progetto da presentare al Comando VVF**
4.4 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	**Ad integrazione della documentazione prevista dal DM 4 maggio 1998 si dovrà presentare:** **-Sommario Tecnico;** **-Disegni e schemi grafici che presentino in modo inequivocabile i parametri calcolati ed i risultati evidenziando – Modelli utilizzati, parametri e valori associati, origine e caratteristiche dei codici di calcolo, confronto dei risultati con i livelli di prestazione;**

Analisi quantitativa (II FASE)

- Da questa fase devono scaturire dati NUMERICI.
- Si compone anche questa da più sottofasi:

  - Scelta dei modelli
  - Risultati delle elaborazioni
  - Individuazione del progetto finale
  - Documentazione di progetto

Analisi quantitativa (I)
scelta del modello di calcolo

- Bisogna determinare quale codice è in grado di descrivere i fenomeni che ci interessano. Questo si vede nel campo di applicazione e nelle limitazioni che DEVONO essere riportate sul manuale del codice che è sicuramente presente e deve essere messo a disposizione dell'autoritá di controllo perché il codice DEVE ESSERE VALIDATO. Codici non validati NON SONO ACCETTATI così come le versioni beta. La lista dei codici validati e la documentazione obbligatoria di corredo che deve essere fornita è riportata nella guida ASTM E 1355-97.
- La scelta del codice va concordata con l'organismo di controllo. Una volta individuato il codice da utilizzare deve essere concordata con l'organismo di controllo la nodalizzazione (schematizzazione) dell'opera in modo da ottenere i risultati che interessano.

Analisi quantitativa (I)
Risultati delle elaborazioni

- I risultati delle elaborazioni individuano i principali parametri in gioco.
- Bisogna ottenere i valori numerici dei parametri individuati nell'analisi preliminare - determinazione dei livelli di prestazione.
- Questa fase è di totale responsabilità del tecnico progettista che avvalla con la sua firma la correttezza dei dati.
- Se il progettista è straniero il progetto deve essere controfirmato da un tecnico italiano.

Analisi quantitativa (I)
Risultati delle elaborazioni

- I risultati delle elaborazioni individuano i principali parametri in gioco.
- Bisogna ottenere i valori numerici dei parametri individuati nell'analisi preliminare - determinazione dei livelli di prestazione.
- Questa fase è di totale responsabilità del tecnico progettista che avvalla con la sua firma la correttezza dei dati.
- Se il progettista è straniero il progetto deve essere controfirmato da un tecnico italiano.

Analisi quantitativa (II) individuazione del progetto finale

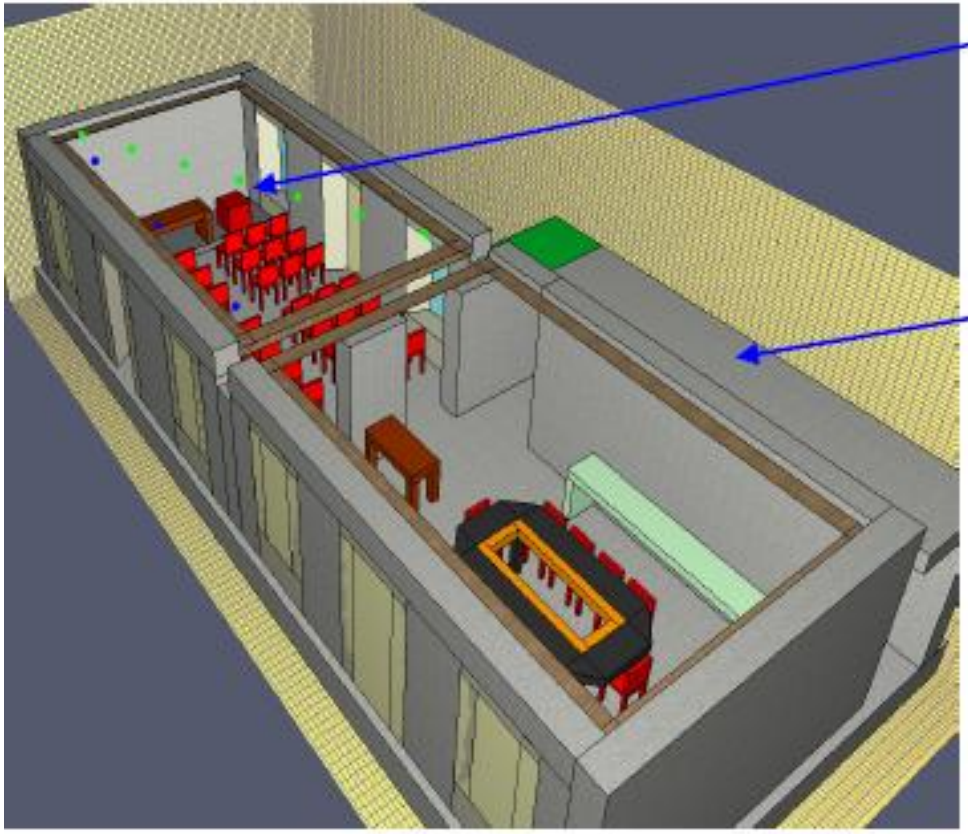
- A questo punto è chiusa anche la fase quantitativa e viene prodotto il **PROGETTO FINALE**: Una documentazione adeguata assicura che tutti i soggetti interessati comprendano le limitazioni poste alla base del progetto.
- Il progetto finale riporterà le soluzioni tecniche adottate tali da far sì che i risultati del calcolo rientrino nei valori limite accordati prima della loro esecuzione. È costituito da:
  - Sommario Tecnico;
  - Disegni e schemi grafici che presentino in modo inequivocabile i parametri calcolati ed i risultati evidenziando – Modelli utilizzati, parametri e valori associati, origine e caratteristiche dei codici di calcolo, confronto dei risultati con i livelli di prestazione;

SGSA
(Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio)

- La metodologia prestazionale proprio per la sua natura basata sull'individuazione di misure di protezione effettuata mediante scenari d'incendio valutati ad hoc rende necessario garantire il mantenimento nel tempo di tutti i parametri posti alla base della scelta sia degli scenari che dei progetti. È per questo motivo che già dalla fase progettuale bisogna predisporre un piano da sottoporre a verifica periodica. In esso devono essere compresi i seguenti punti:

- Organizzazione del personale
- Identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attivitá
- Controllo operativo
- Gestione delle modifiche
- Pianificazione di emergenza
- Controllo delle prestazioni
- Controllo e revisione.

ESEMPIO 1 (Cfast – NIST):



Incendio materiale plastico
Con curva imposta

Verifica condizioni di
Sicurezza per esodo
Persone nel corridoio

ANALISI PRELIMINARE: 3.1 Definizione del Progetto

VINCOLI PROGETTUALI	Ipotizziamo che applicando la normativa sugli uffici e che non si riesca a rispettare le prescrizioni relative al percorso di esodo nell'aula corsi: **6.6 Lunghezza delle vie di uscita** **Comma 3 – La lunghezza dei corridoi ciechi non deve essere superiore a 15 m (aumentato di 10 metri essendo esistente).**
INDIVIDUAZIONE PERICOLI DI INCENDIO	I possibili pericoli di incendio derivano essenzialmente dal malfunzionamento della workstation che può prendere fuoco. Non vi sono altre possibilità di incendio.
CONDIZIONI AMBIENTALI	L'Aula in esame può ospitare al max 100 persone, ha due porte di esodo verso la sala ovale adiecente e la lunghezza massima del percorso per raggiungere il luogo sicuro sarà 28 m (3 metri superiore alla lunghezza consentita dal D.M. 22 febbraio 2006). L'unica via di esodo è la porta in fondo al corridoio d'accesso di larghezza 2 m. L'aula ha un'altezza di 6,5 m ed il corridoi di 4 m.
ANALISI CARATTERISTICHE OCCUPANTI	Gli occupanti l'aula accedono ad essa in caso di eventi (corsi, convegni). Non sono presenti in modo permanente. Non sono formati per l'emergenza antincendio e non conoscono le procedure primo intervento.

ANALISI PRELIMINARE: 3.2 Identificazione degli obiettivi di sicurezza

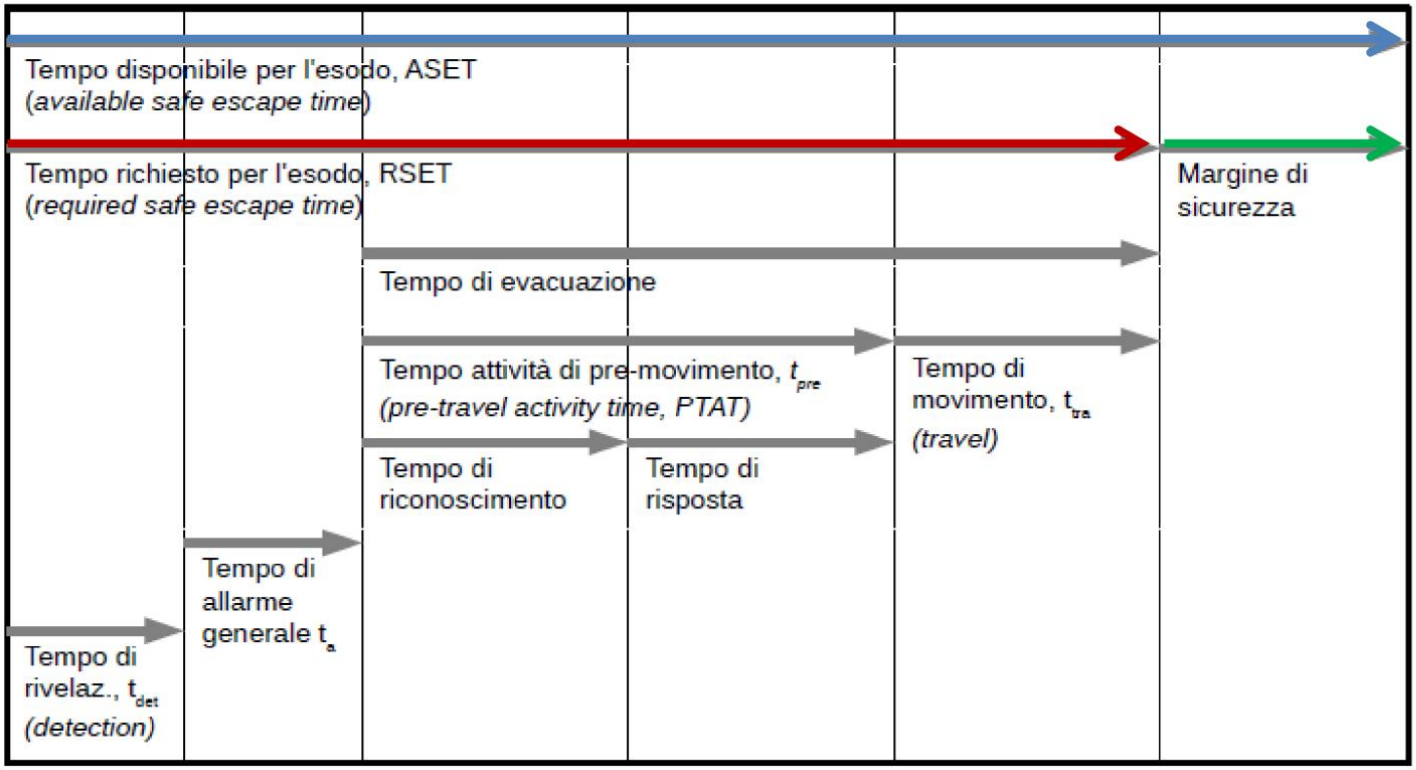
DEFINIZIONE DEI CAPISALDI DELLA SICUREZZA	Tutti i parametri della sicurezza previsti dalla normativa sugli **Uffici** saranno rispettati pertanto ci si focalizza sulle vie di esodo oggetto della deroga. Importante ai fini dell'esodo saranno: - il corridoio, libero da ingombro - la larghezza delle porte di esodo e del corridoio da 2 m che agevola l'evacuazione
OBIETTIVO 1	**Incolumità degli occupanti:** Si può ipotizzare che durante l'emergenza nell'Aula ci siano al massimo 100 persone, si considera il tempo impiegato dalla persona più distante a raggiungere il luogo sicuro. La verifica verrà effettuata calcolando il presumibile tempo occorrente alla persone, poste nel punto più sfavorevole, per raggiungere un luogo sicuro e controllando che esso sia minore di quello che impiegano il fumo ed i gas di combustione per portarsi ad un altezza delle vie respiratorie; è importante sapere che tale valutazione delle condizioni di sicurezza è ragionevolmente conservativa poiché viene ammesso che le persone, anche per breve tempo, non possano essere sottoposte all'azione nociva del fumo e dei gas di combustione. A vantaggio della sicurezza, è stato supposto che non vi sia stato alcun intervento da parte del personale interno incaricato dell'attuazione delle misure di lotta antincendio, in quanto non è sorvegliata.

ANALISI PRELIMINARE: 3.3 Individuazione dei livelli di prestazione

PARAMETRI NECESSARI AL SODDISFACIMENTO DEGLI OBIETTIVI	OBIETTIVI	PARAMETRI	Valore Numerico di riferimento
	Obiettivo 1: **Incolumità delle persone**	**Parametro 1** **h_{min} = Altezza minima dei fumi**	Ai sensi della normativa sulla Sicurezza in caso di incendio si ha che tale parametro è **h_{min} = 1,5 m**
		Parametro 2 **$t_{evac.\ Tot.}$ = Tempo totale di evacuazione**	Al fine di preservare l'obiettivo 1 è necessario che **$t_{evac.\ Tot.}$** sia inferiore al tempo necessario ai fumi di abbassarsi al di sotto di **h_{min}** . **$t_{evac.\ Tot.}$ = 180 s** **(Allegato calcolo)**

ANALISI PRELIMINARE: 3.3 Individuazione dei livelli di prestazione

Criterio ASET > RSET



ISO 13387-8

ANALISI PRELIMINARE: 3.3 Individuazione dei livelli di prestazione

Parametro2	Tempo Totale di Evacuazione

Si ipotizzi che la presenza dell'incendio venga notata dalla persona più sfavorita per l'esodo dopo circa 10 s dall'inizio dell'ignizione, poiché viene notata la presenza di fumo proveniente dalla workstation posta sulla scrivania.

$$\mathbf{t}_{rilev.inc} = 10 \text{ s}$$

Dopo un iniziale tempo di sorpresa ed incredulità inizia il processo di evacuazione delle persone presente nel punto più distante. Le persone non impiegheranno molto tempo per iniziare ad evacuare, possiamo pertanto supporre che sia circa

$$\mathbf{t}_{iniz.evac} = 30 \text{ s.}$$

Adottando, a scopo precauzionale, che l'affollamento per una superficie di 140 m^2, specifica dell'aula con percorso superiore a 25 m (vedi figura), sia di 100 persone,

la densità nel corridoio sarà di:

$$\mathbf{d}_{corridoio\ aula} = 100/(2{,}0 \times 25) = 2{,}00 \text{ persone}/m^2$$

La velocità di esodo in tale tratto è, quindi, pari a:

$$\mathbf{V}_{corridoio\ aula} = 1{,}4 - 0{,}37 \times 2{,}00 = 0{,}66 \text{ m/s}$$

Allora la persona più sfavorita posta nel punto più distante dalla rampa dovrà percorrere 25 m e impiegherà mediamente per raggiungere l'uscita un tempo di:

$$\mathbf{t}_{uscita} = 25\text{m} / 0{,}66 \text{ m/s} = 38 \text{ s} \approx 40 \text{ s}$$

Arrivati alla uscita, le persone passando da 2 m a 1,2 m (larghezza della porta) gli occupanti formeranno una coda e l'esodo avverrà in modo non lineare pertanto prevediamo un ritardo di 30 s.

TEMPO TOTALE DI EVACUAZIONE $\mathbf{t}_{evac.tot.} = 10 \text{ s} + 30 \text{ s} + 40 \text{ s} + 30 \text{ s} = 110 \text{ s}$

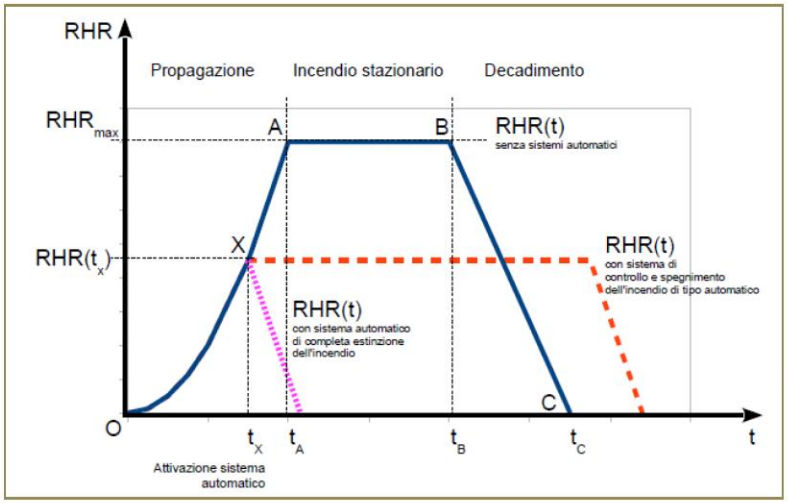
ANALISI PRELIMINARE: 3.4 Individuazione degli scenari di incendio

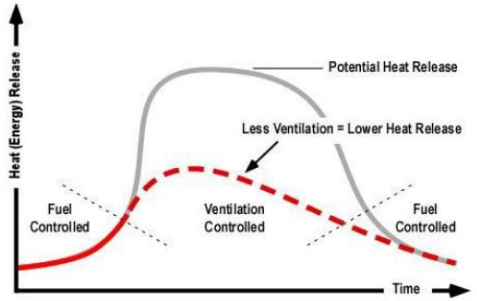
SCENARI DI INCENDIO	**CARATTERISTICHE DEL FOCOLAIO**	Prendiamo in esame la parte di Aula con percorso superiore al massimo consentito. Un incendio a sviluppo veloce dovuto alla combustione di una workstation si produce sul tavolo dei relatori, dimensione Aula **Lun**ghezza Aula = 14,0 m **Lar**ghezza Aula = 10,00 m, Al fine di una buona evacuazione del fumo del calore e dei gas di combustione si tenga presente che l'aula durante l'ipotesi di incendio ha la porta finestra e le 2 finestre aperte e le due porte di accesso all'aula dalla sala ovale sono anch'esse aperte.
	CARATTERISTICHE DELL'EDIFICIO	H = 6,25 m l'aula presenta un'altezza rilevante pertanto i fumi hanno un volume maggiore da riempire. h_{eq} = 4 m Le porte e le finestre sono molto alte pertanto i fumi ed i gas della combustione possono evacuare rapidamente .
	CARATTERISTICHE OCCUPANTI	Gli occupanti si accorgono del fumo che esce dalla workstation e si occupano soltanto di evacuare senza intervenire per lo spegnimento. A favore di sicurezza.

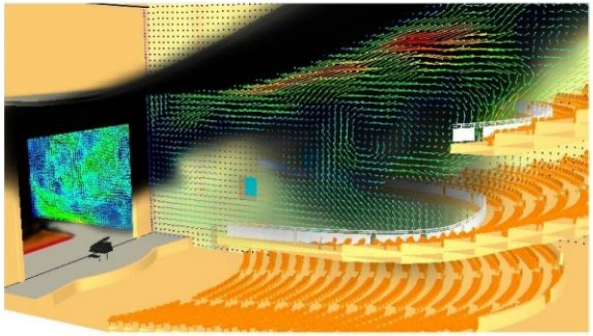
ANALISI PRELIMINARE: 3.4 Individuazione degli scenari di incendio

VALUTAZIONE RISCHI INCENDIO	**COMBUSTIBILE**	Si ipotizza che prenda fuoco la workstation sulla scrivania a 2 m dalle pareti in fondo all'aula e che vi sia altro combustibile quali una sedia più vicina che prende fuoco dopo 100 s.
	TASSO DI CRESCITA DEL FUOCO	In nell'aula si può supporre un tasso di crescita elevato **t_g = 150 s**
	RHR	Potenza termica della workstation, e della sedia
	SVILUPPO DEI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE	Si valuta lo sviluppo dei fumi nel suo complesso avendo ipotizzato che la persona non respiri mai tali prodotti della combustione
	CARATTERISTICHE DEL LOCALE	**Struttura : Mattone pieno** **Dim. Aula incendio: 10,00 m x 14,00 m x 6,25 m** **Corridoio: : 2,00 m x 25,00 m x 4 m** **Dim. Sala Ovale : 10,00 m x 14,00 m x 6,25 m** **Aerazioni orizzontale: 1,5 x 4,00 m^2 = 6,00 m^2** **2 x 1,25 x 3,00 m^2 = 7,50 m^2** **Sup. porte : 2 x 2,00 m x 4,00 m = 16,00 m^2** **H Aula. = 6,25 m**
	CONDIZIONE DELLE PERSONE PRESENTI	Si considera un affollamento di 100 persone per l'intera area di 140 m^2 pertanto **Affollamento =** 0,7 **persone/ m^2** tutte auto sufficienti.

ANALISI PRELIMINARE: 3.4 Individuazione degli scenari di incendio







Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t_g	150 s (*fast*)	75 s (*ultra-fast*)
RHR_{max} totale RHR_{max} per m^2 di superficie del focolare	5 MW 250–500 kW/m^2 [1]	50 MW 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(t) in irraggiamento (*Radiative fraction*)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR_{max} totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.
[2] Robbins A P, Wade C A, Study Report No.185 *"Soot Yield Values for Modelling Purposes – Residential Occupancies"*, BRANZ, 2008
[3] *"C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design"*, New Zealand Building Code
[4] *"SFPE handbook of fire protection engineering"*, NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da *polyurethane flexible foams.*
[5] Stec A A, Hull T R, *"Fire Toxicity"*, Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con Φ = 1,25 (*underventilated fire*)
[6] In alternativa alle rese Y_{CO2} e Y_{H2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico $CH_2O_{0,5}$.

Quanto costa?

Necessità di tempo per l'inquadramento del problema, elaborazione dati ed analisi dei risultati

Tempo

Personale estremamente specializzato, qualificato e con esperienza

Personale

Strumentazioni e software specifici ed eventualmente sperimentazioni

Risorse

Quanto costa?

- L'ingegneria antincendio va applicata, a causa della sua onerosità e non facile applicabilità, SOLO QUANDO CON IL METODO PRESCRITTIVO NON SI HANNO RISPOSTE SODDISFACENTI.

- Se in un edificio, per esempio, non si ha problemi a garantire la resistenza al fuoco delle strutture ma si hanno dubbi sull'esodo delle persone il metodo prestazionale va applicato solo per tale studio, sarebbe superfluo applicarlo anche per determinare la resistenza al fuoco.

Conclusioni

- L'approccio prestazionale alla sicurezza in caso d'incendio può dare indubbi vantaggi soprattutto in termini di ottimizzazione nell'uso delle risorse disponibili, specie nel caso di opere complesse per le quali le metodologie prescrittive possono risultare inapplicabili oppure portare all'applicazione di misure di protezione troppo onerose.

- Per contro la conoscenza ancora limitata del fenomeno incendio deve sempre essere tenuta presente dal progettista allo scopo di mantenere saldo il grado di "confidenza" con i risultati che si ottengono