
SICUREZZA IN CASO DI INCENDIO: FIRE SAFETY DESIGN

1

FIRE SAFETY DESIGN

Obiettivi della progettazione

Gli obiettivi primari del **FIRE SAFETY DESIGN**, cioè di una progettazione sicura in caso di incendio, sono quelli di:

- **RIDURRE LE PERDITE UMANE** (sia dei civili che dei pompieri);
- **LIMITARE I DANNI ALLE STRUTTURE**
- **CONTENERE LE PERDITE MONETARIE DOVUTE ALLA INTERROTTE ATTIVITÀ.**

Questi obiettivi vengono raggiunti contenendo la propagazione del fuoco e limitando la quantità di fumi e calore che possono raggiungere gli occupanti, i vari ambienti e gli impianti dell'edificio.

2

I campi del Fire Safety Design

Per controllare i rischi connessi ad un incendio e raggiungere tali obiettivi vengono utilizzati in modo congiunto otto sistemi di progettazione:

- **PREVENZIONE (Contents/Finish control)**
- **PROTEZIONE PASSIVA (Passive Fire Protection)**
- **PROTEZIONE ATTIVA (Active Fire Protection)**
- **SMOKE MANAGEMENT SYSTEM**
- **RILEVAZIONE ED ALLARME (Detection and alarm)**
- **IMPIANTI DI SPEGNIMENTO MANUALE (Manual firefighting)**
- **SISTEMI DI EVACUAZIONE (Egress Systems)**

3

PREVENZIONE INCENDI

4

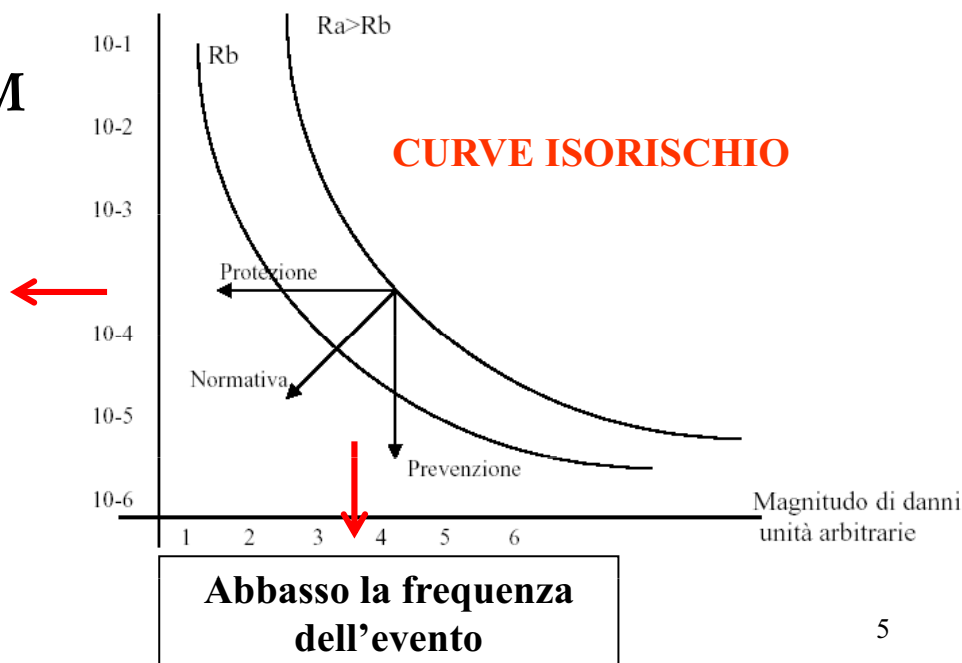
PREVENZIONE INCENDI

PREVENZIONE INCENDI

Si possono definire misure di **prevenzione** quelle che servono a diminuire le probabilità che un incendio sia innescato. Il rischio ai fini antincendio infatti è legato ad eventi di **tipo probabilistico** ed è definito come il prodotto della **frequenza F** (previsione di accadimento) per la **magnitudo M** (conseguenza dell'evento) e perciò:

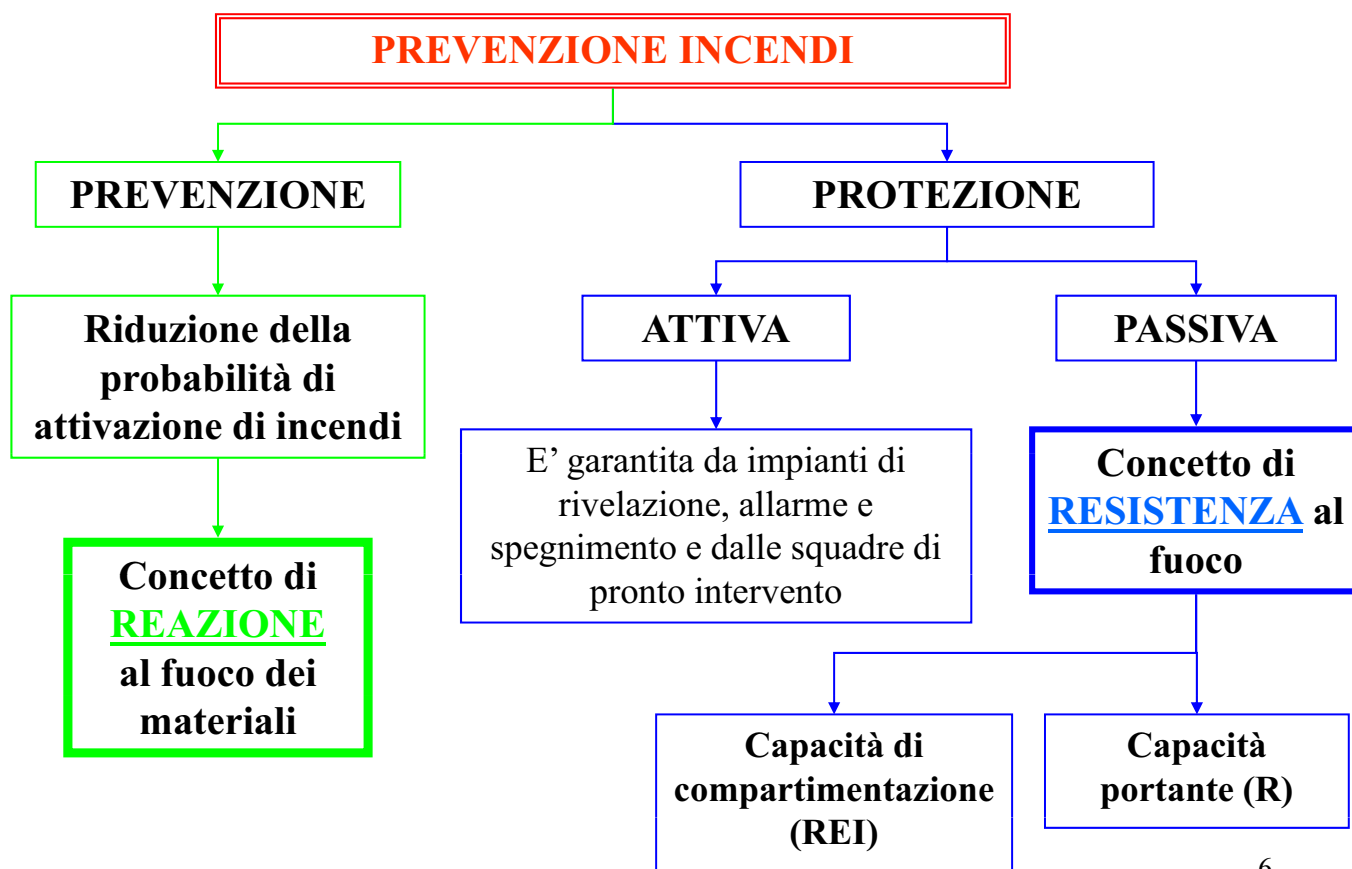
$$\text{RISCHIO} = F \cdot M$$

Abbasso la gravità
del danno



5

PREVENZIONE INCENDI



6

PREVENZIONE INCENDI

Ogni combustibile ha, nei confronti della combustione, un'attitudine propria ed un proprio comportamento, che sono definiti dalle seguenti grandezze:

- a) Temperatura di accensione
- b) Limiti d'infiammabilità
- c) Campo d'infiammabilità

● **TEMPERATURA DI ACCENSIONE:** è la più bassa temperatura che deve raggiungere una sostanza combustibile perché possa accendersi spontaneamente e bruciare senza innesco.

● **LIMITE SUPERIORE ED INFERIORE DI INFIAMMABILITÀ:** è rispettivamente la più alta e la più bassa concentrazione in aria di gas di un combustibile, al di sopra o al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco.

● **CAMPO DI INFIAMMABILITÀ:** è determinato dal limite inferiore e superiore di infiammabilità.

Si ha quindi una propensione o meno da parte del materiale all'innesco e al mantenimento della combustione.

7

PREVENZIONE INCENDI

LA REAZIONE AL FUOCO DEI MATERIALI

Con il termine di **REAZIONE AL FUOCO** si indica una classificazione che si riferisce alla propensione degli elementi a partecipare ad un incendio. In particolare, negli ambienti in cui è necessario abbattere il rischio che un piccolo innesco dia luogo ad un principio di incendio - si pensi ai teatri o agli ospedali, dove anche il solo allarme potrebbe avere conseguenze pesanti per le persone presenti - si cerca di installare materiali di rivestimento o arredo che, soggetti a piccoli inneschi, non diano luogo all'incendio ma abbiano un comportamento autoestinguente, ossia per i quali una volta rimosso l'innesco cessi la combustione.

8

PREVENZIONE INCENDI

LA REAZIONE AL FUOCO DEI MATERIALI

Il concetto di REAZIONE AL FUOCO riguarda, quindi, i rivestimenti, i tendaggi, le poltrone, cioè in generale **ELEMENTI NON STRUTTURALI**.

Le norme italiane, ed in particolare il Decreto del Ministero dell'Interno 26/6/1984, stabiliscono le modalità per la determinazione della classe di reazione al fuoco di un elemento (che avviene sempre sperimentalmente con prove in forni secondo modalità standardizzate) e prevedono la suddivisione in classi da **0 a 1, 2, 3, 4, 5** a seconda che si passi da materiali che non partecipano alla combustione, cioè incombustibili (classe 0) a materiali che partecipano maggiormente e più rapidamente alla stessa (classe 2, 3, ecc.). Le normative impongono l'uso di materiali con classe di reazione al fuoco bassa (0 e 1) nelle vie di fuga degli edifici, e media (1 e 2) negli altri ambienti. Classi di reazione al fuoco superiori a 2 non sono generalmente più consentite.

Per la valutazione della reazione al fuoco dei materiali esistono solo **METODI SPERIMENTALI**.

9

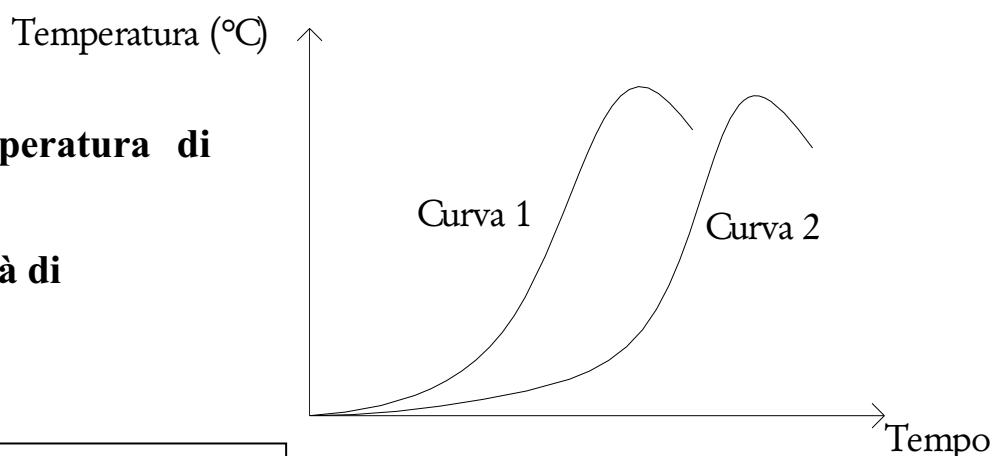
PREVENZIONE INCENDI

LA REAZIONE AL FUOCO DEI MATERIALI

Per migliorare la classe di reazione al fuoco, i materiali vengono trattati in modo tale da:

- **Aumentare la temperatura di accensione**

- **Diminuire la velocità di combustione**



Perciò con classi di reazione al fuoco più basse, è possibile allungare la prima fase dell'incendio, quella iniziale o di prima accensione, garantendo una condizione di maggior sicurezza per le persone presenti nell'edificio

Viene abbassata la gravità del danno, quindi si ha **PREVENZIONE**

10

LA REAZIONE AL FUOCO DEI MATERIALI

E' interessante ricordare la genesi storica di questa classificazione, nata per aumentare la sicurezza dei locali di spettacolo (pochi anni prima erano avvenute le due tragedie del cinema Statuto di Torino e della mostra di antiquariato a Todi). Essa è stata successivamente estesa anche ad altre attività (alberghi, scuole ecc.) con un notevole successo. Si deve infatti evidenziare che nei locali in cui sono presenti questi prodotti non riescono a propagarsi facilmente neanche gli incendi dolosi, che si estinguono appena è rimosso o esaurito l'innesco.

NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- **D.M. 30 Novembre 1983:** contiene la definizione di reazione al fuoco
- **D.M. 26 Giugno 1984:** contiene la classificazione e l'omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi.
- **D.M. 14 Maggio 1985:** concerne l'attribuzione della classe di reazione al fuoco zero;
- **D.M. 03 Settembre 2001:** contiene modifiche ed integrazioni al decreto 26 giugno 1984 concernente la classificazione della reazione al fuoco e l'omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi
- **D.M. 28 Maggio 2002:** contiene la rettifica del decreto ministeriale 3 settembre 2001;

PREVENZIONE INCENDI

E' importantissimo sottolineare che tutti i materiali per i quali è richiesta una classe di reazione al fuoco determinata, **devono essere accompagnati da una serie di certificati**. Tali certificati, a fine lavori, vengono trasmessi ai VVFF.

● **CERTIFICATO DI OMOLOGAZIONE DEL MINISTERO DELL'INTERNO:** l'omologazione è una procedura tecnico-amministrativa con la quale viene provato il prototipo di materiale, certificata la sua classe di reazione al fuoco ed emesso da parte del Ministero dell'interno il provvedimento di autorizzazione alla riproduzione del prototipo stesso prima della immissione del materiale sul mercato per la utilizzazione nelle attività soggette alle norme di prevenzione incendi.

● **CERTIFICATO DI PROVA SUL PROTOTIPO DI LABORATORIO:** è un rapporto rilasciato dal Centro studi ed esperienze del Ministero dell'interno (C.S.E.), o da altro laboratorio legalmente riconosciuto dal Ministero stesso, nel quale si certifica la classe di reazione al fuoco del campione sottoposto ad esame.

13

PREVENZIONE INCENDI

● **DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ DA PARTE DEL PRODUTTORE:** è una dichiarazione del produttore con cui attesta la conformità del materiale al prototipo omologato. Tale dichiarazione dovrà riportare tra l'altro gli estremi dell'omologazione. Quale produttore si intende il fabbricante del materiale, nonché ogni persona che, apponendo il proprio nome, marchio o segno distintivo sul materiale, si presenti come produttore dello stesso. Si considera altresì produttore chi importa e/o commercializza un materiale d'importazione. E' parimenti ritenuto produttore, il produttore estero avente sede legale nell'Unione europea ovvero, in uno dei Paesi contraenti l'accordo SEE.

● **DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ DA PARTE DEL POSATORE.**

MARCHIO DI CONFORMITA'

Indicazione permanente ed indelebile apposta dal produttore sul materiale riportante i seguenti dati:

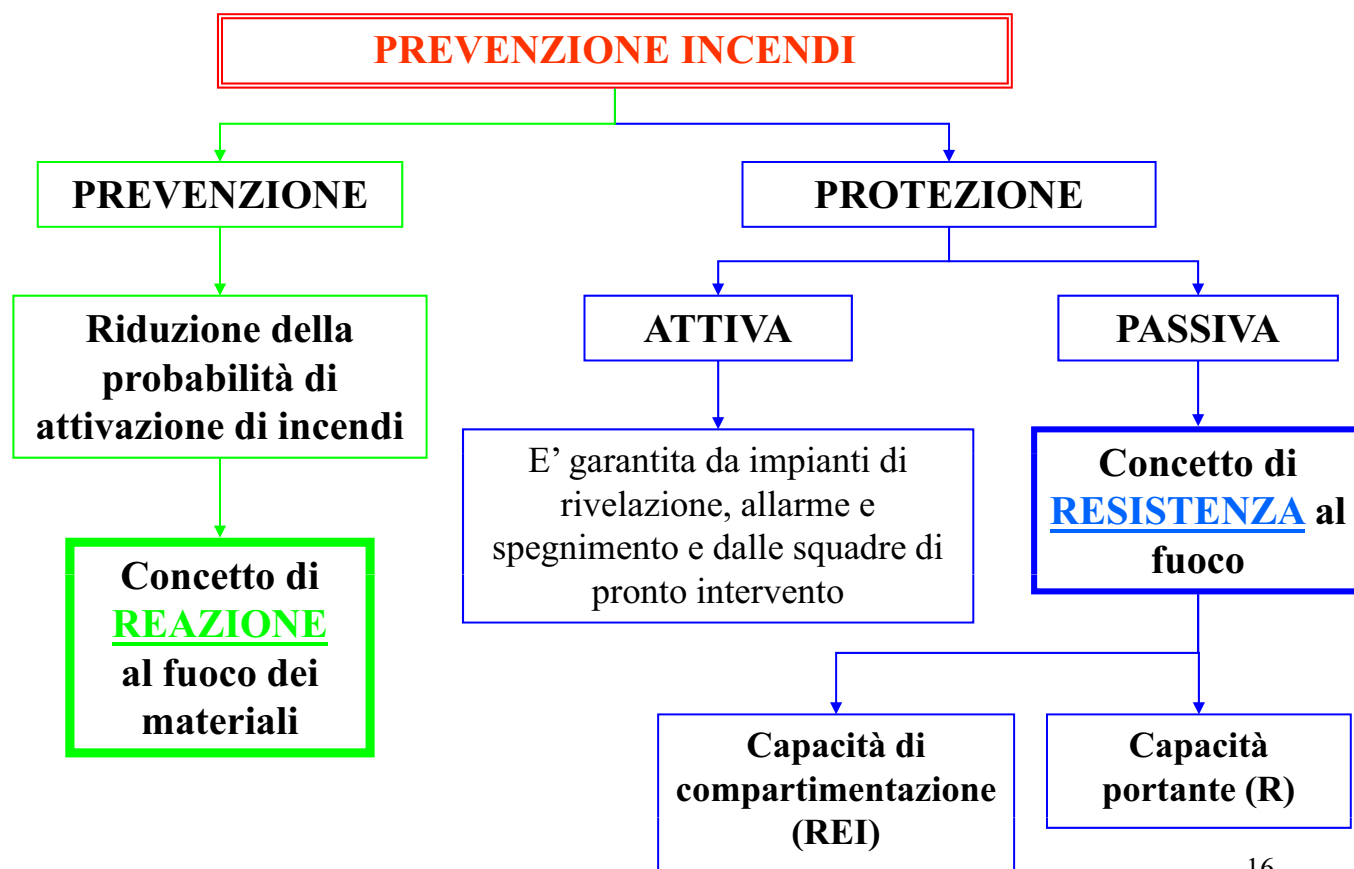
- nome od altro segno distintivo del produttore;
- anno di produzione;
- classe di reazione al fuoco;
- estremi dell'omologazione.

14

LA PROTEZIONE PASSIVA

15

PREVENZIONE INCENDI



16

ANALISI AL FUOCO DELLE STRUTTURE

La progettazione di una struttura sotto condizioni d'incendio è concettualmente simile ad una progettazione in condizioni ordinarie. Prima di procedere con qualunque calcolo è necessario, però, porsi dei chiari obiettivi (priorità) e decidere la severità del carico d'incendio. Le maggiori differenze rispetto ad una progettazione ordinaria sono:

- I carichi applicati sono inferiori.
- Si possono avere forze interne aggiuntive dovute all'espansione termica.
- Le resistenze dei materiali devono essere ridotte in funzione della temperatura.
- L'area delle sezioni di verifica può essere ridotta (carbonizzazione, frantumazione).
- Si possono adottare coefficienti di sicurezza inferiori a causa della bassa probabilità dell'evento.
- Gli spostamenti non sono importanti (a meno che non modifichino la resistenza).
- Devono essere considerati differenti meccanismi di collasso strutturale.

17

ANALISI AL FUOCO DELLE STRUTTURE

Valutazione della resistenza al fuoco

Il passo fondamentale nella progettazione antincendio delle strutture è quello di verificare che la resistenza della struttura (o di ogni parte della struttura) sia più grande della severità dell'incendio a cui si trova assoggettata la struttura. Questa verifica richiede che:

$$\text{Resistenza al fuoco} \geq \text{Severità dell'incendio}$$

dove:

- resistenza al fuoco: è la misura dell'abilità della struttura a resistere al collasso, alla propagazione dell'incendio o di altri tipi di fallimento durante l'esposizione al fuoco di una specificata intensità;
- severità dell'incendio: è la misura dell'impatto distruttivo di un incendio, o la misura delle forze o delle temperature che possono causare il collasso od altre forme di fallimento come risultato dell'incendio.

18

Valutazione della resistenza al fuoco

Quindi, a differenza del caso usuale di verifica “a freddo”, in cui la resistenza R_d è invariabile, in caso di incendio **entrambi i termini della disequazione critica possono cambiare**: la resistenza strutturale R_d diminuisce per effetto del danneggiamento termico dei materiali e le sollecitazioni di progetto E_d variano a causa della dilatazione termica contrastata.

19

Valutazione della resistenza al fuoco

Si possono utilizzare tre metodi alternativi per eseguire la comparazione fra severità e resistenza di un incendio. La verifica può essere fatto lavorando nel dominio del **TEMPO**, della **TEMPERATURA** o della **RESISTENZA**, in termini di differenti unità di misura.

DOMINIO	UNITÀ	RESISTENZA AL FUOCO \geq SEVERITÀ DELL'INCENDIO
Tempo	minuti o ore	Tempo al collasso \geq Durata dell'incendio indicata dal codice o determinata dai calcoli
Temperatura	°C	Temperatura che causa il collasso \geq Massima temperatura raggiunta durante l'incendio
Resistenza	kN o kN·m	Capacità di carico ad elevate temperature \geq Carico applicato durante l'incendio

20

Valutazione della resistenza al fuoco

La normativa permette di calcolare la resistenza al fuoco di un edificio in base a tre “**FAILURE CRITERIA**” associati ai singoli elementi strutturali che la compongono.

E' necessario prima comprendere cos'è la resistenza al fuoco associata ad un SINGOLO ELEMENTO STRUTTURALE:

Per **resistenza al fuoco di un elemento** si intende l'attitudine di un elemento da costruzione (componente o struttura) a conservare, secondo un programma termico prestabilito e per un tempo determinato, la stabilità “R”, la tenuta “E” e l'isolamento termico “I” così definiti:

21

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Il concetto di resistenza al fuoco

- **stabilità (R)**: attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco. Essa si determina sulla base delle caratteristiche proprie dell'elemento portante, comprese le condizioni di carico e di vincolo, tenendo anche conto dell'eventuale presenza di materiali protettivi.
- **tenuta (E)**: attitudine di un elemento da costruzione a non lasciare passare né produrre, se sottoposto all'azione del fuoco su un lato, fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- **isolamento termico (I)**: attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore

n.b.: i materiali in sé non possiedono una resistenza al fuoco. Questa è una proprietà associata ad elementi dell'edificio che sono costituiti da un materiale o da un insieme di materiali.

22

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Il concetto di resistenza al fuoco

a cui si aggiungono:

- irraggiamento (W)
- tenuta al fumo (S)
- impatto / azione meccanica (M)
- dispositivo automatico di chiusura (C)
- Resistenza all'incendio della fuliggine (G)
- Capacità di protezione al fuoco (K)

n.b.: i materiali in sé non possiedono una resistenza al fuoco. Questa è una proprietà associata ad elementi dell'edificio che sono costituiti da un materiale o da un insieme di materiali.

23

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Il concetto di resistenza al fuoco

Pertanto:

- con il simbolo **REI** si identifica un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la **stabilità**, la **tenuta** e l'**isolamento termico** (ad es. elementi di chiusura di un compartimento);
- con il simbolo **RE** si identifica un elemento costruttivo che deve conservare per un tempo determinato, la stabilità e la tenuta (elementi non di chiusura di un compartimento ma che devono impedire il passaggio dei fumi);
- con il simbolo **R** si identifica un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la stabilità (elementi portanti).

n.b. Per la classificazione degli elementi non portanti il criterio "R" è automaticamente soddisfatto qualora siano soddisfatti i criteri "E" ed "I".

24

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Il concetto di resistenza al fuoco

I tre criteri di collasso per la resistenza al fuoco sono quindi la STABILITÀ (R), la TENUTA (E) e l'ISOLAMENTO (I). Vediamo quale sono le tecniche per quantificare tali criteri.

- **STABILITÀ (R):** l'elemento strutturale in questione, sottoposto ad una curva di temperatura standard, deve essere in grado di sostenere i carichi di progetto senza che intervenga il collasso per la durata di tempo prevista.
- **TENUTA (E):** il provino in esame non deve presentare fessure o punti di rottura che possano permettere ai fumi ed ai gas caldi di passare attraverso l'elemento.
- **ISOLAMENTO (I):** la temperatura del lato freddo del provino non deve eccedere il limite specificato, di solito un incremento medio di 140 °C ed un massimo incremento di 180 °C in un punto singolo.

25

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Il concetto di resistenza al fuoco

In relazione ai requisiti dimostrati, gli elementi strutturali vengono classificati da un numero che esprime, in minuti primi, **il tempo durante il quale l'elemento costruttivo deve conservare, se esposto ad un incendio standard nel forno sperimentale, le caratteristiche richieste**. Le norme fissano le seguenti classi di resistenza al fuoco:

REI	0	15	20	30	45	60	90	120	180	240
RE										
R										

Ma qual è la curva di incendio da utilizzare per quantificare la resistenza al fuoco del materiale?

26

La curva di incendio

Un incendio reale, per il gran numero di variabili che lo influenzano, quali la natura del combustibile (quantità, stato fisico, umidità, potere calorifico, temperatura di combustione), la natura del locale (dimensioni, tipo pareti, proprietà termiche delle pareti, ampiezza e disposizione delle aperture) e le condizioni ambientali (altezza sul livello del mare, pressione, temperatura, umidità relativa, direzione ed intensità del vento), non è mai uguale ad un altro ed è difficilmente analizzabile.

Per tali motivi si è resa necessaria la standardizzazione e si sono stabilite una serie di curve T-t sperimentali/analitiche che comprendessero la maggior parte degli incendi reali più gravi di lunga durata e che comprendessero anche gli incendi meno gravi.

27

La curva di incendio

La curva di incendio è una rappresentazione analitica dell'andamento nel tempo delle temperature (curva tempo-Temperatura) che si raggiungono in un compartimento in condizioni di completa partecipazione all'incendio di tutti i materiali combustibili in esso presenti.

Tale curva può rappresentare condizioni convenzionali di incendio ovvero può simulare condizioni reali di incendio. Esse si dividono in:

- **Curve nominali**
- **Curve parametriche**
- **Curve naturali**

28

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Le curve nominali

La curva nominale è una curva generalmente monotona crescente e pertanto ben riproducibile in laboratorio. Trascura la fase di innesco e di prima propagazione avendo inizio in corrispondenza del flash over.

La curva nominale per eccellenza e attualmente in uso presso tutti i laboratori di prova italiani per le prove di resistenza al fuoco è la curva nominale standard definitiva dalla UNI7678 (ISO 834).

Questa è la prima curva di incendio introdotta in Italia come media tra varie curve esistenti in vari regolamenti stranieri.

Con gli anni, si sono affermate anche in Italia altre curve nominali già in uso all'estero. Oggi con l'approvazione dell'Eurocodice sulle azioni in caso di incendio sono definitivamente riconosciute le seguenti curve nominali:

29

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

La curva nominale STANDARD ISO 834

La norma UNI 7678 (ISO 834), in analogia ad altre norme europee, stabilisce quale incendio convenzionale la seguente [curva nominale di incendio standard](#) detta anche **incendio convenzionale ISO 834:**

$$T_g = T_0 + 345 \cdot \log_{10} (8 \cdot t + 1)$$

dove T_g è la temperatura dei gas nell'ambiente (°C), T_0 è la temperatura iniziale in gradi Celsius (20°C), t è il tempo in minuti.

N.B. La durata dell'incendio convenzionale è calcolata in modo tale che essa produca sugli elementi di costruzione relativi ad un dato compartimento **gli stessi effetti** che sarebbero causati da un incendio reale.

30

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

La curva nominale INCENDIO ESTERNO

$$T_g = T_0 + 660 \left(1 - 0.687e^{-0.32 \cdot t} - 0.313e^{-3.8 \cdot t} \right)$$

La curva nominale INCENDIO DA IDROCARBURI

$$T_g = T_0 + 1080 \left(1 - 0.325e^{-0.167 \cdot t} - 0.675e^{-2.5 \cdot t} \right)$$

La curva nominale INCENDIO LATENTE

$$T_g = T_0 + 154 \cdot t^{0.25} \quad 0 < t < 21$$
$$T_g = T_0 + 345 \cdot \log_{10} (8 \cdot (t - 20) + 1) \quad t > 21$$

La curva nominale INCENDIO NEI TUNNEL

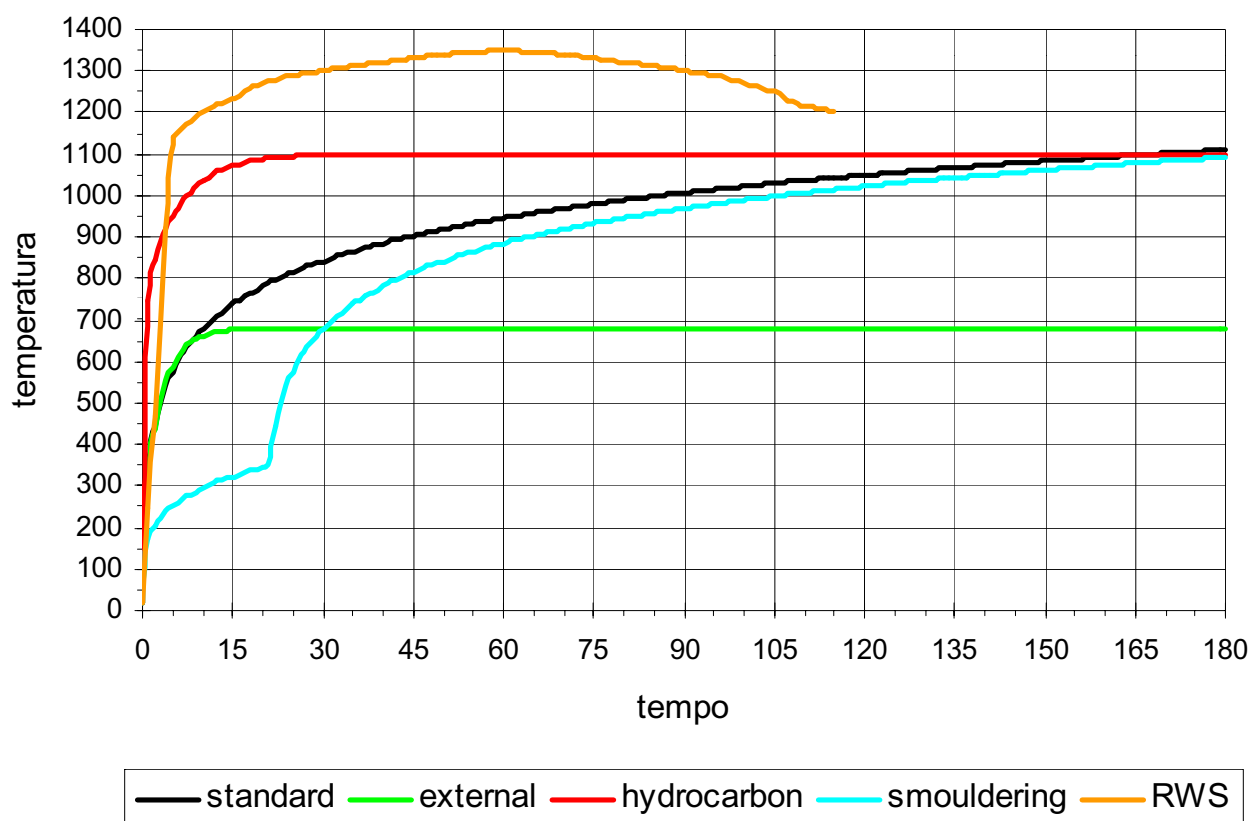
Definita per punti

dove T_g è la temperatura dei gas nell'ambiente ($^{\circ}\text{C}$), T_0 è la temperatura iniziale in gradi Celsius (20°C), t è il tempo in minuti.

31

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

curve nominali



32

Ricapitolando la resistenza al fuoco di un elemento costruttivo si calcola mediante prove sperimentali utilizzando, generalmente la curva ISO per lo sviluppo dell'incendio.

Ma come viene determinata la resistenza MINIMA richiesta all'intero edificio, e quindi ad ogni suo singolo elemento strutturale?

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

IL CARICO D'INCENDIO (D.M. 09/03/2007)

E' definito come il POTENZIALE TERMICO DELLA TOTALITÀ DEI MATERIALI COMBUSTIBILI CONTENUTI IN UNO SPAZIO, ivi compresi i rivestimenti dei muri, delle pareti provvisorie, dei pavimenti e dei soffitti.

Secondo la **nuova normativa D.M. 09 marzo 2007** è espresso in MJ, dove 1MJ è convenzionalmente assunto pari a 0.054 kg di legna equivalente.

Si definisce **CARICO D'INCENDIO SPECIFICO** il carico d'incendio riferito all'unità di superficie lorda [MJ/m²].

Si definisce **CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO**, il carico d'incendio specifico corretto in base ai parametri indicatori del rischio di incendio del compartimento e dei fattori relativi alle misure di protezione presenti. Esso costituisce la grandezza di riferimento per le valutazioni della resistenza al fuoco delle costruzioni

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

IL CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f \quad [\text{MJ/m}^2]$$

dove:

$\delta_{q,1}$ è il fattore correttivo che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento e i cui valori sono definiti in tabella1:

Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}	Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}
A < 500	1,00	2.500 ≤ A < 5.000	1,60
500 ≤ A < 1.000	1,20	5.000 ≤ A < 10.000	1,80
1.000 ≤ A < 2.500	1,40	A ≥ 10.000	2,00

Tabella 1

35

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

IL CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f \quad [\text{MJ/m}^2]$$

dove:

$\delta_{q,2}$ è il fattore correttivo che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento e i cui valori sono definiti in tabella2:

Classi di rischio	Descrizione	δ_{q2}
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,00
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20

Tabella 2

36

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

IL CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f \quad [\text{MJ/m}^2]$$

dove:

δ_n è il fattore correttivo che tiene conto delle diverse misure di protezione e i cui valori sono definiti in tabella3:

δ_{ni} . Funzione delle misure di protezione								
Sistemi automatici di estinzione		Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	Sistemi automatici di rivelazione, segnalazione e allarme di incendio	Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio ¹	Rete idrica antincendio		Percorsi protetti di accesso	Accessibilità ai mezzi di soccorso VVF
ad acqua	altro				interna	interna e esterna		
δ_{n1}	δ_{n2}	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}
0,60	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90

Tabella 3

37

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

IL CARICO D'INCENDIO SPECIFICO

q_f è il valore nominale del carico di incendio specifico, così espresso:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A} \quad [\text{MJ/m}^2]$$

dove:

g_i è la massa dell'i-esimo materiale combustibile, in [kg];

H_i è il potere calorifico inferiore dell'i-esimo materiale comb., in [MJ/kg];

m_i è il fattore di partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale comb. pari a 0.80 per il legno e altri materiali di natura cellulosica e 1.00 per tutti gli altri;

ψ_i è il fattore di limitazione della partecipazione alla combustione dell'i-esimo materiale pari a 0 per i materiali contenuti in contenitori appositamente progettati per resistere al fuoco; 0.85 per i materiali contenuti in contenitori non combustibili e non appositamente progettati per resistere al fuoco; 1 in tutti gli altri casi;

A è la superficie lorda in pianta del compartimento.

38

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

Il concetto di potere calorifico

Per potere calorifico si intende la quantità di calore che sviluppa la massa di 1 kg di sostanza nella sua **combustione perfetta e completa**; con il primo termine si vuole indicare una combustione che produce solo CO_2 e non CO, mentre con il secondo si indica che tutte le molecole devono bruciare nel corso della combustione.

La quantità di calore sviluppata dipende, quindi, dalla possibilità effettiva che tutto il combustibile bruci e dalla disponibilità di ossigeno sufficiente.

All'interno del concetto di potere calorifico, è necessario fare una distinzione fra **potere calorifico superiore** ed **inferiore**. Per potere calorifico superiore si definisce la quantità di calore sviluppata dalla combustione considerando anche il calore di condensazione del vapore d'acqua prodotto. Se si esclude il contributo di quest'ultimo, si ottiene invece il potere calorifico inferiore.

39

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

Il carico d'incendio

Le condizioni più gravose del carico d'incendio di un certo locale o piano sono quelle per le quali il valore di q_f è massimo e va determinato esaminando le previste utilizzazioni dei locali e dei piani come dichiarato dal progettista e dal proprietario stesso.

40

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

IL LIVELLI DI PRESTAZIONE

A seconda dell'obiettivo che si vuole conseguire fra quelli appena elencati, è possibile suddividere la progettazione in livelli di prestazione richiesti. La CNR n°192 del 1999 ne distingue cinque:

- **Livello 1:** Nessun requisito di resistenza specifico al fuoco dove le conseguenze del crollo delle strutture siano accettabili o dove il rischio di incendio sia trascurabile;
- **Livello 2:** Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro;
- **Livello 3:** Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture tali da evitare, per tutta la durata dell'incendio, il collasso delle strutture stesse;
- **Livello 4:** Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse;
- **Livello 5:** Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità delle strutture stesse.

41

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

IL LIVELLI DI PRESTAZIONE

- **Livello 1:** non è ammesso per le costruzioni che ricadono nel campo di applicazione del decreto D.M. 09/03/2007;
- **Livello 2:** può ritenersi adeguato per costruzioni fino a due piani fuori terra ed un piano interrato, isolate e destinate ad un'unica attività non aperta al pubblico, ecc.. In tal caso si hanno le seguenti classi di resistenza:

Classi di resistenza	
30	Per costruzioni ad un piano fuori terra, senza interrati
60	Per costruzioni fino a due piani fuori terra e un piano interrato

- **Livello 4 - 5:** possono essere oggetto di specifiche richieste del committente o essere previsti da capitolati tecnici di appalto.

42

IL LIVELLI DI PRESTAZIONE

● **Livello 3:** può ritenersi adeguato per tutte le costruzioni rientranti nel campo di applicazione del decreto D.M. 09/03/2007; le classi di resistenza sono indicate nella tabella seguente:

Carichi d'incendio specifici di progetto ($q_{f,d}$)	Classe
Non superiore a 100 MJ/m ²	0
Non superiore a 200 MJ/m ²	15
Non superiore a 300 MJ/m ²	20
Non superiore a 450 MJ/m ²	30
Non superiore a 600 MJ/m ²	45
Non superiore a 900 MJ/m ²	60
Non superiore a 1200 MJ/m ²	90
Non superiore a 1800 MJ/m ²	120
Non superiore a 2400 MJ/m ²	180
Superiore a 2400 MJ/m ²	240

Tabella 4

43

CARATTERISTICHE DI UN INCENDIO

IL CARICO D'INCENDIO e CLASSE DELL'EDIFICIO (secondo Circ. n.91 del 14/09-[Abrogata](#))

In precedenza (**Circ. n.91 del 14/09/1961**) si definiva convenzionalmente il “Carico di Incendio” pari alla QUANTITÀ EQUIVALENTE DI LEGNO per mq che si otteneva dividendo per 4400 (potere calorifico superiore del legno) il numero di calorie per unità di superficie del locale o del piano considerato che al massimo si possono sviluppare per effetto della combustione di tutti i materiali combustibili presenti:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i}{4400 \cdot A} \quad (\text{Kg legna/m}^2)$$

dove:

4400 è il potere calorifico superiore del legno (Kcal/Kg o Cal/Kg);

A è la superficie orizzontale in mq del locale o compartimento considerato;

H_i è il potere calorifico superiore (in Kcal/Kg o Cal/Kg) del generico tra gli n combustibili di peso g_i ;

G_i il peso (in Kg) del generico tra gli n combustibili che si prevedono presenti nel locale o nel piano nelle condizioni più gravose di carico d'incendio.

44

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Secondo la normativa abrogata (**Circolare n.91, del 14 settembre 1961**), il carico d'incendio moltiplicato per un coefficiente di riduzione che teneva conto delle reali condizioni dell'incendio, portava a stabilire la classe dell'edificio, che corrispondeva al numero di minuti di resistenza al fuoco da chiedere all'edificio stesso in esame. La classe del piano o del locale considerato dell'edificio si determinava pertanto in base alla formula:

$$c = k \cdot q$$

dove:

- c è il numero indicativo della classe;
- q è il carico d'incendio dichiarato dal costruttore o progettista come definito in precedenza (in kg legna/mq);
- k è il coefficiente di riduzione che tiene conto delle reali condizioni d'incendio del piano o del locale nel complesso dell'edificio.

45

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Il valore del coefficiente k, compreso tra 0.2 e 1.0, veniva determinato in base:

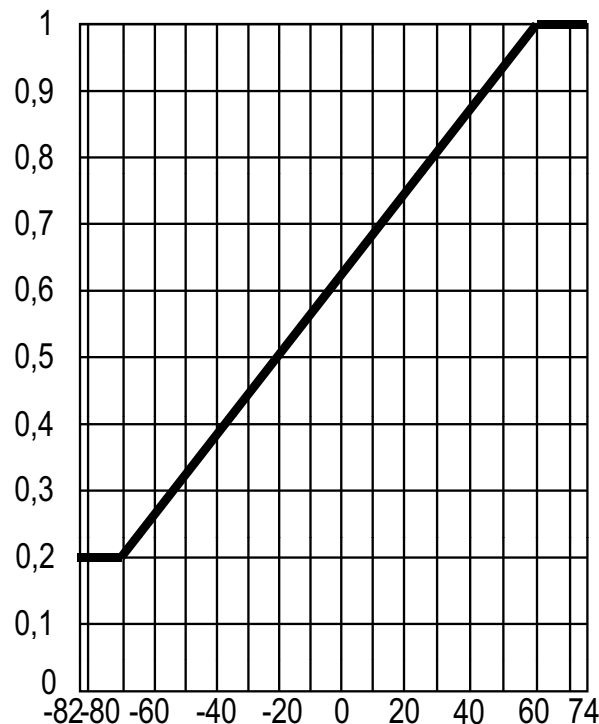
- alle caratteristiche dell'edificio (es: altezza dell'edificio e dei piani);
- all'utilizzazione dell'edificio e dei locali (es: natura del materiale combustibile presente, destinazione, esistenti misure di segnalazione e prevenzione degli incendi);
- ai pericoli di propagazione (es: distanza dagli altri edifici);
- alle segnalazioni, all'accessibilità ed agli impianti di protezione antincendi (es: presenza di estintori, tempo richiesto per l'arrivo dei Vigili del Fuoco, ecc.);

In relazione ad ogni fattore di influenza di k veniva associato un indice numerico I_v che poteva essere positivo o negativo in quanto si intendeva riferito alle condizioni di un caso reale medio di incendio.

46

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Il valore della somma algebrica degli indici di valutazione ΣI_v , riportato in ascissa nel diagramma correlazione fra indice totale di valutazione e coefficiente k forniva direttamente il valore di k per il quale va moltiplicato il carico di incendio per la determinazione della classe del piano e del locale nell'ambito dell'edificio considerato ($c = k \cdot q$).



47

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Esempio di determinazione della classe di un edificio in funzione del carico d'incendio

Si prenda in esame un edificio civile ideale da destinarsi ad uffici, rappresentanza, archivio ed alloggi dei dirigenti, comprendente un piano rialzato e cinque piani, di cui tre adibiti ad alloggi. L'area occupata in pianta dalla costruzione sia di 1100 mq.

- 1) Per prima cosa si esegue una suddivisione dell'edificio in zone caratterizzate da un'uguale destinazione d'uso in modo tale da poter calcolare con facilità il carico d'incendio q associato ad ogni singola zona (si scelgono, cioè, **I COMPARTIMENTI**).
- 2) Per ogni zona si calcola il valore nominale del carico d'incendio specifico con la formula:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A}$$

48

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Esempio di determinazione della classe di un edificio in funzione del carico d'incendio

3) Si determinano tutti i fattori che tengono conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione (δ_{q1}), tipo di attività (δ_{q2}) e misure di protezione (δ_n) associati ad ogni zona in funzione delle corrispondenti caratteristiche.

4) Per ogni zona si calcola il carico d'incendio specifico con la formula:

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f$$

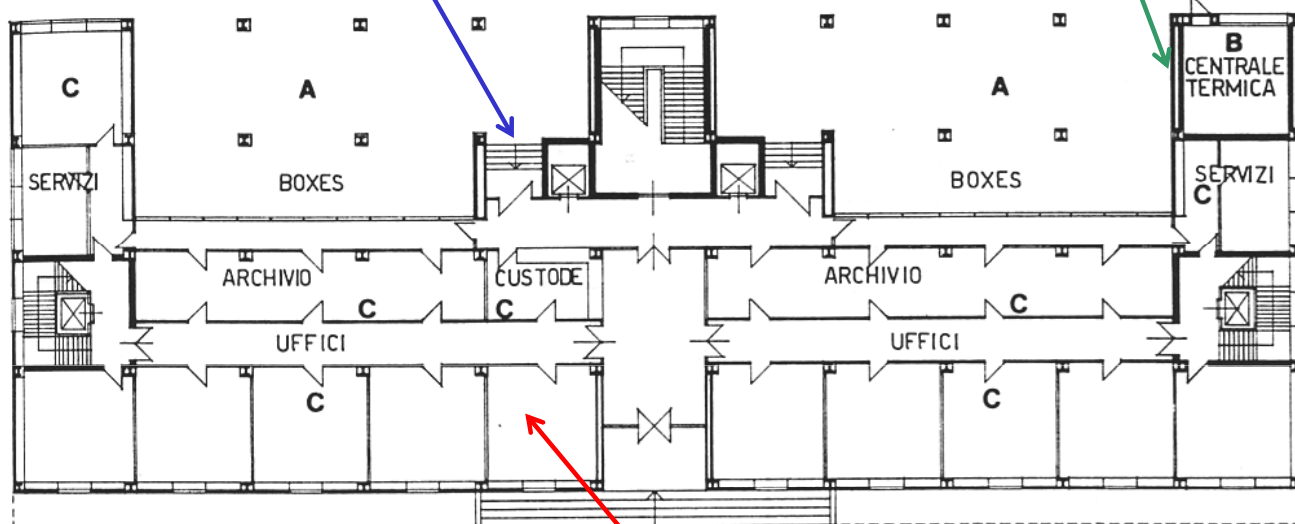
5) Si determina la classe del compartimento in funzione del livello di prestazione atteso ed in funzione della tabella 4 (Livello 3).

49

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

ZONA A: porticato coperto aperto da un lato destinato a parcheggio autovetture

ZONA B: locale per caldaia ed acqua calda, pompe e serbatoi di servizio per olio combustibile per forni

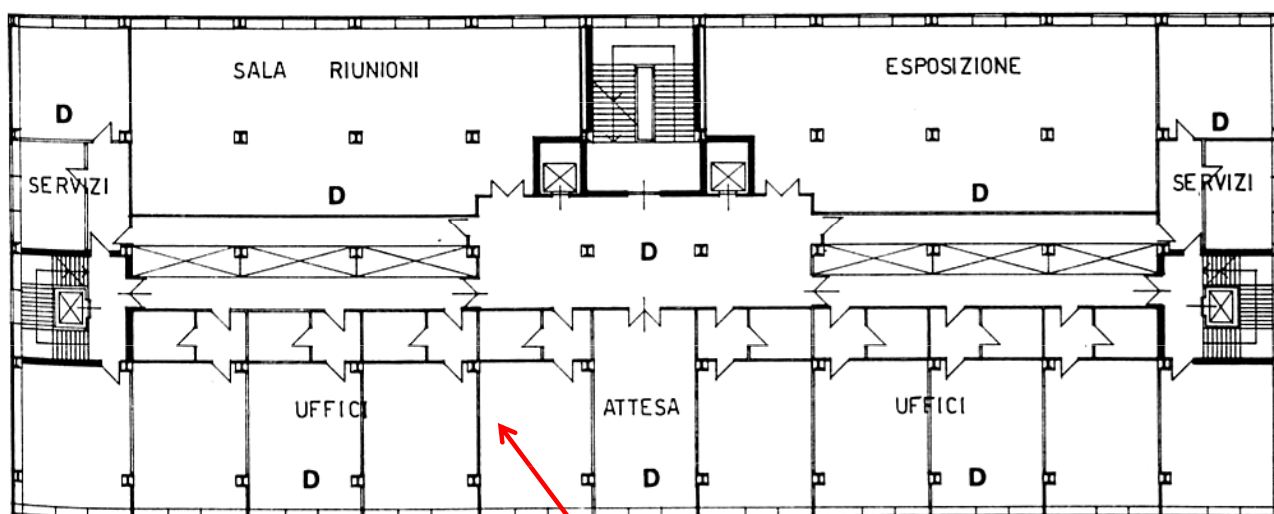


ZONA C: archivi, uffici per il pubblico, casotto custode, corridoi, servizi, spogliatoi, corridoi di disimpegno.

PIANTA PIANO TERRENO

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

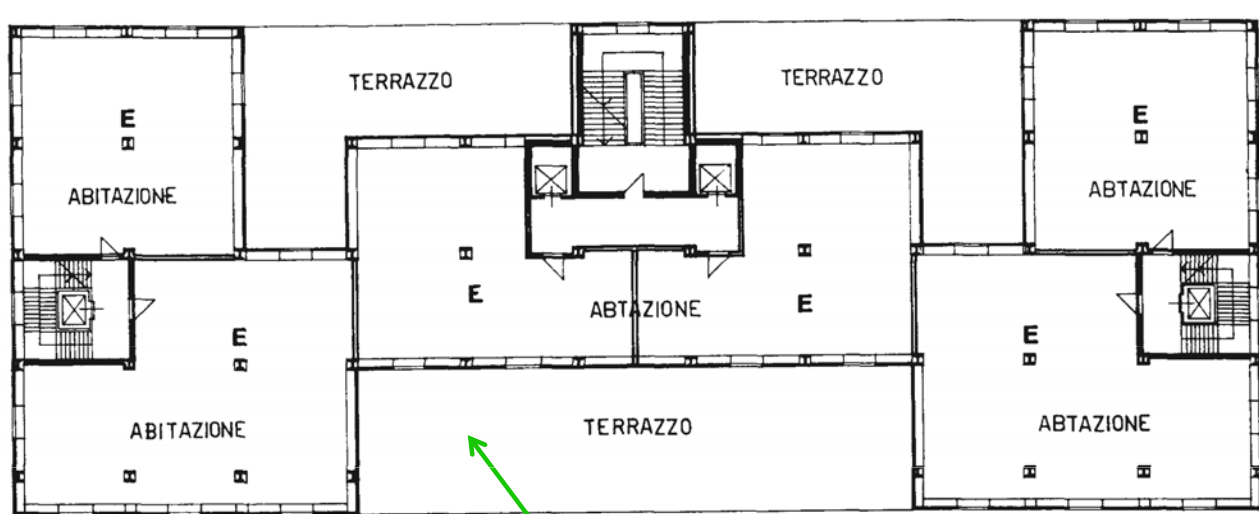
PIANTA PIANO TIPO UFFICI (2 PIANI)



ZONA D: saloni di rappresentanza, uffici, deposito, spogliatoio, servizi, corridoi di disimpegno. Superficie (escluso scala ed ascensori ed al netto delle murature perimetrali) 984,5 mq.

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

PIANTA PIANO TIPO ABITAZIONI (3 PIANI)



ZONA E: abitazioni. Superficie complessiva (escluso scale, ascensori, terrazze) 640 mq.

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Carico incendio
secondo
Circ. N. 91/1961

Tabella riassuntiva per il calcolo dei carichi d'incendio

Zona	Destinazione	Superficie	Natura del combustibile o dell'inflammabilità	Quantità	Peso specifico	Peso complessivo	Potere calorifico	Calorie	Carico di incendio
Pianterreno A	Parcheggio autovetture n. 32 (una ogni 8 mq circa)	252,00	a) benzina	30 lt x 32	0,7	660 kg	11.000 cal/kg	7.250.000	
			b) vernice nitrc.	5 kg x 32		160 kg	11.000 cal/kg	1.760.000	
			c) materiali int. sedili, ecc.	30 kg x 32		960 kg	4.000 cal/kg	3.850.000	
			d) gomme	25 kg x 32		800 kg	8.000 cal/kg	6.400.000	
			e) olio lubrif.	3,5 kg x 32		112 kg	11.000 cal/kg	1.230.000	
	f) mater. combust. depositato nel porticato			3.000 kg	4.000 cal/kg	12.000.000			
								32.490.000	29,50
Pianterreno B	Locale caldaia per impianto di riscaldamento	21,00	Olio combustibile da forni	lt. 450	0,8	360 kg	11.000 cal/kg		
								3.960.000	
Pianterreno C	Archivi	532,00	a) carta b) legname secco			300.000 kg 13.000 kg	4.000 cal/kg 4.400 cal/kg	1.200.000.000	
								59.000.000	
								1.259.000.000	
Primo e secondo piano D	Uffici	948,50	a) legname secco b) carta			30.000 kg 29.500 kg	4.400 cal/kg 4.000 cal/kg	132.000.000	
								118.000.000	
								250.000.000	
Terzo, quarto, quinto piano E	Abitazioni	640,00	a) carta, stessuti b) legname secco			4.500 kg 10.000 kg	4.000 cal/kg 4.400 cal/kg	18.000.000	
								44.000.000	
								62.000.000	

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

SCELTA DEI FATTORI CORRETTIVI

δ_{q1} è il fattore correttivo che tiene conto del rischio di incendio in relazione alla dimensione del compartimento e i cui valori sono definiti in tabella 1:

Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}	Superficie in pianta lorda del compartimento (m ²)	δ_{q1}
A < 500	1,00	2.500 ≤ A < 5.000	1,60
500 ≤ A < 1.000	1,20	5.000 ≤ A < 10.000	1,80
1.000 ≤ A < 2.500	1,40	A ≥ 10.000	2,00

Tabella 1

Zona A: A = 252 mq $\delta_{q1} = 1.00$

Zona B: A = 21 mq $\delta_{q1} = 1.00$

Zona C: A = 532 mq $\delta_{q1} = 1.20$

Zona D: A = 949 mq $\delta_{q1} = 1.20$

Zona E: A = 640 mq $\delta_{q1} = 1.20$

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

SCELTA DEI FATTORI CORRETTIVI

δ_{q2} è il fattore correttivo che tiene conto del rischio di incendio in relazione al tipo di attività svolta nel compartimento :

Classi di rischio	Descrizione	δ_{q2}
I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	0,80
II	Aree che presentano un moderato rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione di un incendio e possibilità di controllo dell'incendio stesso da parte delle squadre di emergenza	1,00
III	Aree che presentano un alto rischio di incendio in termini di probabilità d'innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza	1,20

Tabella 2

Zona A:	Classe di rischio III	$\delta_{q2} = 1.20$
Zona B:	Classe di rischio II	$\delta_{q2} = 1.00$
Zona C:	Classe di rischio II	$\delta_{q2} = 1.00$
Zona D:	Classe di rischio I	$\delta_{q2} = 0.80$
Zona E:	Classe di rischio I	$\delta_{q2} = 0.80$

55

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

SCELTA DEI FATTORI CORRETTIVI

δ_n è il fattore correttivo che tiene conto delle diverse misure di protezione :

δ_{ni} Funzione delle misure di protezione								
Sistemi automatici di estinzione		Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore	Sistemi automatici di rivelazione, segnalazione e allarme di incendio	Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio ¹	Rete idrica antincendio		Percorsi protetti di accesso	Accessibilità ai mezzi di soccorso VVF
ad acqua	altro				interna	interna e esterna		
δ_{n1}	δ_{n2}	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}
0,60	0,80	0,90	0,85	0,90	0,90	0,80	0,90	0,90

Tabella 3

Zona	δ_{n1}	δ_{n2}	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_n
A	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90
C	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90
D	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90
E	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.90

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

IL CARICO D'INCENDIO SPECIFICO

q_f è il valore nominale del carico di incendio specifico, così espresso:

$$q_f = \frac{\sum_{i=1}^n g_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \psi_i}{A}$$

Zona	$\Sigma g_i H_i$ [kcal]	$\Sigma g_i H_i$ [MJ]	m_i	Ψ_i	A [mq]	q_f [MJ/mq]
A	32.49x10 ⁶	136x10 ³	1.00	1.00	252	540
B	3.96x10 ⁶	16.5x10 ³	1.00	1.00	21	790
C	1259x10 ⁶	5.27x10 ⁶	0.80	1.00	532	9909
D	250x10 ⁶	1.05x10 ⁶	0.80	1.00	949	1103
E	62x10 ⁶	259x10 ³	0.80	1.00	640	406

57

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

IL CARICO D'INCENDIO SPECIFICO DI PROGETTO

$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \cdot q_f \quad [\text{MJ/m}^2]$$

CLASSE DEL COMPARTIMENTO

zona	A	B	C	D	E
q_f [MJ/m ²]	540	790	9909	1103	406
δ_{q1}	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20
δ_{q2}	1.20	1.00	1.00	0.80	0.80
δ_n	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
$q_{f,d}$ [MJ/m ²]	583	711	10700	953	351
Classe (DM.09/03/2007)	45	60	240	90	30
Classe (Circ. N.91/1961)	30	30	180	45	15

58

IL CONCETTO DI COMPARTIMENTAZIONE

Per **compartimento** s'intende una parte dell'edificio delimitata da elementi costruttivi di resistenza al fuoco predeterminata, e organizzata per rispondere alle esigenze di prevenzione incendi. Nell'Eurocodice si definisce compartimento d'incendio lo spazio di un edificio, comprendente uno o più piani, delimitato da elementi separanti in modo tale che la diffusione del fuoco oltre il compartimento sia ostacolata durante la prevista esposizione al fuoco.

Gli elementi di compartimentazione devono, quindi, conservare stabilità, impermeabilità alla fiamma e al fumo, isolamento per un tempo stabilito evitando così il collasso della struttura stessa prima di quel tempo stabilito. Affinché la compartimentazione sia efficiente è necessario che nelle strutture che costituiscono il comparto non vi siano soluzioni di continuità o, se create, abbiano le caratteristiche del comparto stesso.

59

IL CONCETTO DI COMPARTIMENTAZIONE

Per i vani delle porte e per le aperture necessarie per il passaggio di impianti tecnici, debbono adottarsi soluzioni tali da **non consentire la propagazione del fuoco ed il passaggio dei prodotti della combustione**.

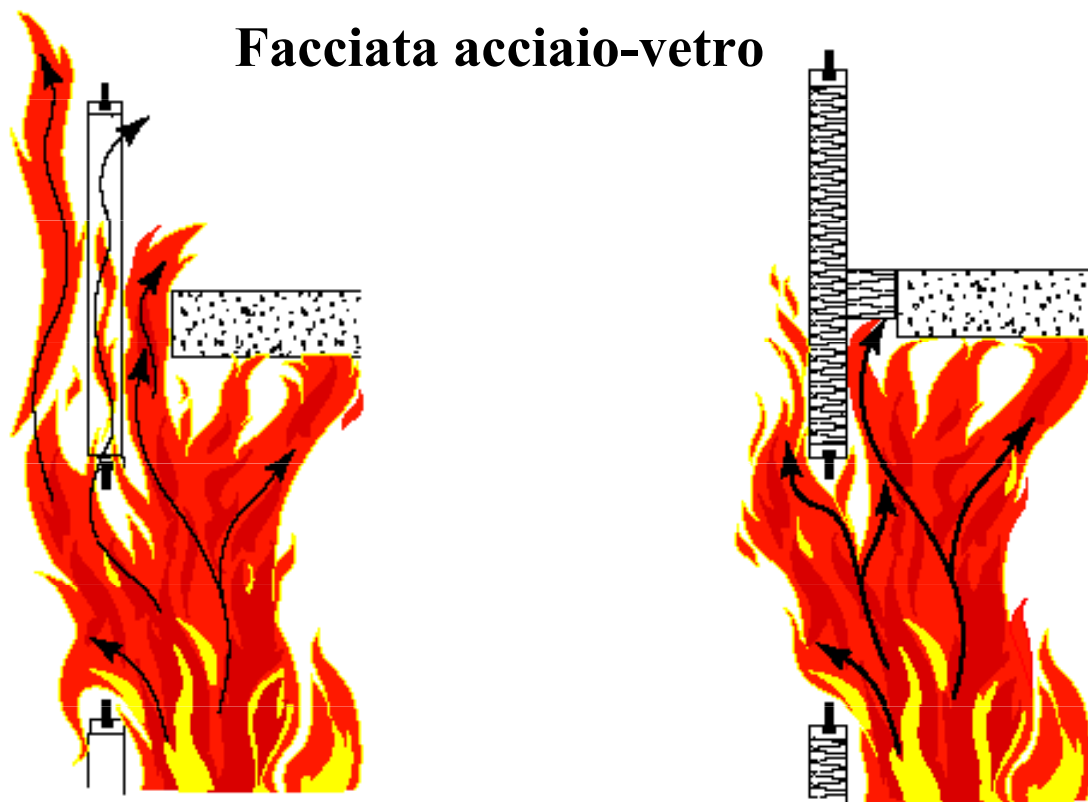
Le **porte**, oltre che essere dotate di congegni di autochiusura, debbono possedere le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco delle strutture del compartimento ed essere installate a regola d'arte.

I **vani** creati per il passaggio di impianti tecnici (impianti elettrici, impianti di condizionamento d'aria, tubazioni, canalizzazioni, ecc.) debbono essere protetti tamponandoli con idonei materiali che, oltre la sigillatura, diano luogo ad una resistenza al fuoco non minore di quella delle strutture del comparto.

60

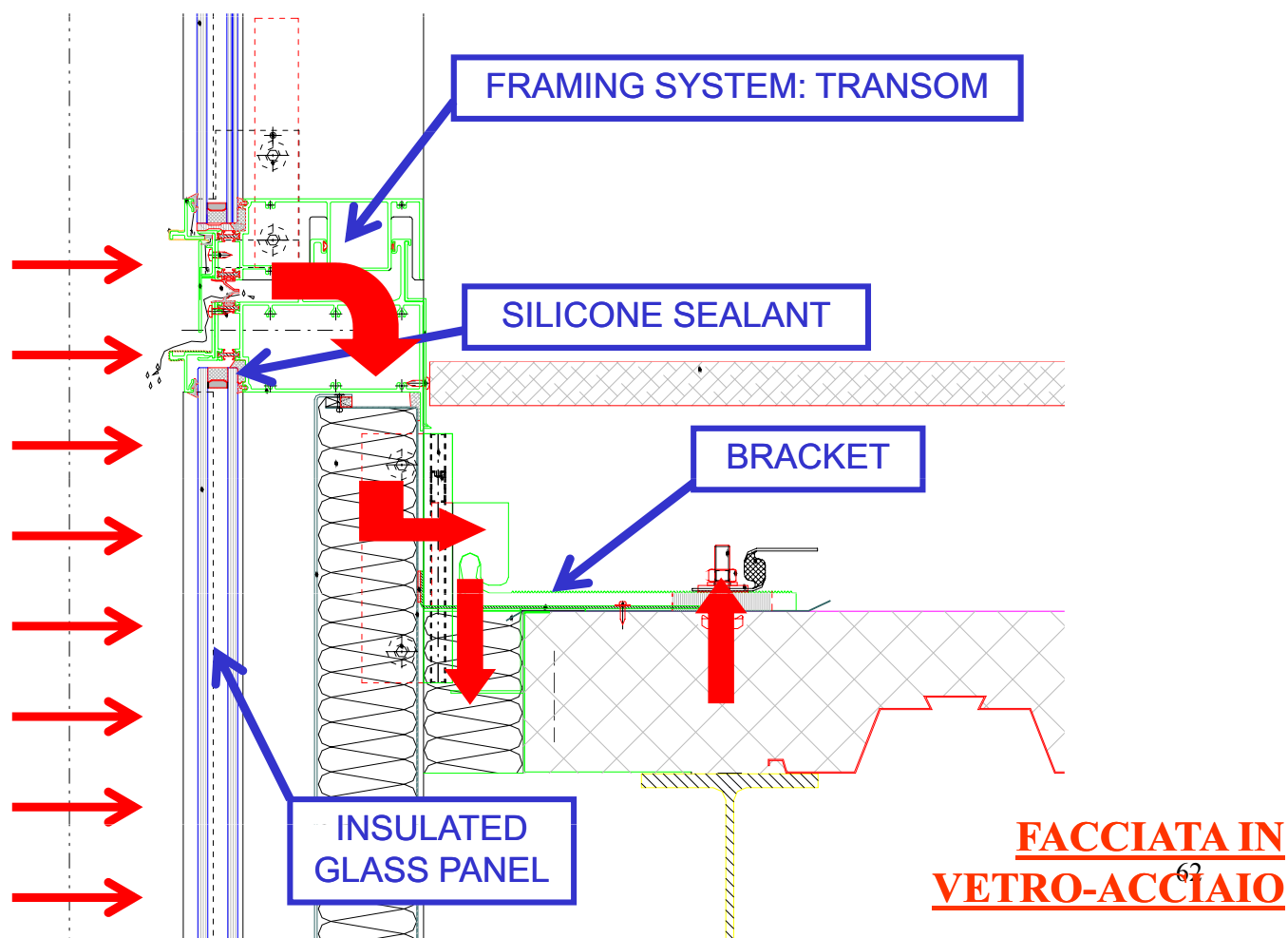
TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA

Facciata acciaio-vetro



Sistemi per diminuire la propagazione dell'incendio tramite isolanti termici 61

TECNICHE DI PROTEZIONE PASSIVA



Il concetto di compartimentazione

Riguardo la compartimentazione di civili abitazioni, il D.M. 16 Maggio 1987, n°246 stabilisce che gli edifici debbano essere suddivisi in compartimenti di superficie non superiore a quella indicata nella tabella che segue. I compartimenti e le massime superfici di compartimentazione, le quali possono essere costituite anche da più piani, debbono essere suddivisi da elementi costruttivi aventi REI predeterminato come in tabella.

TIPO DI EDIFICIO	Altezza antincendio	Massima superficie del compartimento in mq	Caratteristiche REI degli elementi costruttivi e di suddivisione dei
a	$12\text{m} \leq H \leq 24\text{m}$	8000	60
b	$24 \leq H \leq 32\text{m}$	6000	60
c	$32\text{m} \leq H \leq 54\text{m}$	5000	90
d	$54\text{m} \leq H \leq 80\text{m}$	4000	90
e	$H > 80\text{m}$	2000	120