

## **1. Ingegneria della sicurezza antincendio (fire safety engineering).**

---

### **1.1 Che cos'è l'ingegneria antincendio?**

L'ingegneria della sicurezza antincendio, o *Fire Safety Engineering (FSE)*, è un moderno strumento di valutazione della sicurezza di un edificio o di un'attività.

### **1.2. Da dove provengono i concetti su cui si basa l'ingegneria antincendio?**

Già dall'immediato dopoguerra e limitato a settori di tecnologie di punta s'introduce il concetto di ricerca di prestazione di una struttura cioè la struttura stessa deve essere progettata in modo tale da soddisfare determinate prestazioni che con un approccio tradizionale richiederebbero un enorme dispendio tecnico-economico o addirittura non sarebbero realizzabili.

L'ingegneria antincendio nasce da un grande sforzo di ricerca su scala planetaria, sviluppato dall'ISO nell'ambito del Comitato Tecnico 92 - sottocomitato 4 (all'interno di quale sono particolarmente attivi gruppi di ricercatori Usa, del Regno Unito, della Svezia, del Giappone).

L'Unione europea ha previsto la possibilità di utilizzare metodi paralleli alla consueta normazione prescrittiva e deterministica usualmente utilizzata anche in Italia (definiamo prescrittiva una norma che impone l'attuazione di determinati provvedimenti, basandosi sulla determinazione *a priori* degli scenari incidentali universalmente ritenuti validi). Questi metodi, che il *Documento interpretativo n. 2 della Direttiva prodotti da costruzione - Sicurezza in caso di incendio* ha definito *ingegneristici*, sono in grado di risolvere la progettazione della sicurezza antincendio in modo più mirato alle esigenze degli utenti.

### **1.3. 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.

### **1.4. Quando si può 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.)

### **1.5. 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.

### **1.6. Le norme prescrittive andranno in pensione?**

La risposta, negativa, è riportata nella Direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione (CPD). Oggi, come anche nel futuro, ai progettisti si presenteranno due possibili vie: il rispetto delle norme di sicurezza tradizionali o l'adozione di misure di sicurezza diverse, giustificata sulla base delle valutazioni effettuate secondo l'approccio ingegneristico.

## **2. Codici di calcolo**

---

### **2.1 Cos'è 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 alcun'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).

### **2.2 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.

### 2.3 Cosa sono i 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!

### 2.4 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.

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.

Infatti anche se per ipotesi le equazioni matematiche fossero risolte con assoluta precisione e il modello matematico fosse estremamente preciso ci sarebbero delle bande di incertezza sul risultato.

Tale banda si allarga ulteriormente a causa degli errori introdotti nell'informatizzazione e nella risoluzione numerica.

## **2.5 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.

## **2.6 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 più persone può fornire risultati diversi.

## **2.7 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 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 Fluid 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.

## **3. Approccio ingegneristico all'antincendio nella normativa italiana**

---

### **3.1 Il decreto ministeriale 9 maggio 2007**

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.

Il campo di applicazione per tale metodologia (art. 2) è:

- ★ insediamenti di tipo complesso o a tecnologia avanzata
- ★ edifici di particolare importanza architettonica e/o costruttiva
- ★ edifici pregevoli per arte e storia
- ★ edifici ubicati in ambiti urbanistici di particolare specificità

La metodologia può essere applicata in alternativa a quella vigente per:

- ★ individuazione di misure da adottare in caso di attività non normate
- ★ 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.

L'ingegneria antincendio va applicata, a causa della sua onerosità e non facile applicabilità, SOLO QUANDO CON IL METODO PRESCRIZIONALE 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.

### 3.2 L'allegato tecnico al decreto ministeriale 09 maggio 2007

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

#### 3.2.1 analisi preliminare

va concordata con l'organismo di controllo.

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'attività**. 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".

---

\*  
1. capacità portante dell'opera per un tempo determinato  
2. limitazione della produzione e propagazione del fuoco e del fumo all'interno delle opere  
3. limitazione della propagazione del fuoco alle opere vicine  
4. abbandono dell'opera da parte degli occupanti  
5. sicurezza delle squadre di soccorso

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. Questa fase **va concordata con l'organismo di controllo**.

**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.)

**definizione degli scenari di incendio di progetto** – 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. Questa fase deve essere **concordata con l'organismo di controllo**.

A questo punto è conclusa la fase preliminare e si elabora il documento finale che è detto

## **SOMMARIO TECNICO**

### **3.2.2 analisi quantitativa**

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

**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'autorità di controllo perché il codice DEVE ESSERE VALIDATO. Codici non

---

validati NON SONO ACCETTATI così come le versioni beta. La lista dei codici valicati e la documentazione obbligatoria di corredo che deve essere fornita è ripostata 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.

**risultati delle elaborazioni che individuano i principali parametri** – 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 avvala con la sua firma la correttezza dei dati**. Se il progettista è straniero il progetto deve essere controfirmato da un tecnico italiano.

**individuazione del progetto finale** – il progetto finale riporterà le soluzioni tecniche adottate tali da far sí che i risultati del calcolo rientrino nei valori limite accordati prima della loro esecuzione.

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.

### 3.2.3 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'attività
- ★ Controllo operativo
- ★ Gestione delle modifiche
- ★ Pianificazione di emergenza
- ★ Controllo delle prestazioni
- ★ Controllo e revisione.

### 3.3 Il decreto ministeriale 09 marzo 2007

Questo decreto regola le prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette a controllo di prevenzione incendi ed introduce per la prima volta la possibilità di utilizzare degli scenari di incendio naturale per la loro valutazione. Introduce inoltre i livelli di prestazione RICHIESTA alle strutture cioè i valori minimi di resistenza che la struttura deve soddisfare.

Se tali valori minimi sono già soddisfatti grazie alle caratteristiche strutturali intrinseche dell'edificio non è necessario effettuare alcuna verifica di tipo ingegneristico.

### **3.4 Il decreto ministeriale 14 gennaio 2008 (Testo unico sulle costruzioni)**

Si tratta praticamente del recepimento nazionale degli eurocodici per il calcolo delle strutture. Il decreto si rivolge specificatamente agli strutturisti dando indicazioni precise sui tipi di sollecitazione a cui va verificata la struttura. Nel decreto sono specificate anche le concomitanze fra le varie possibili sollecitazioni.

Tutte le strutture anche quelle che sono destinate a non contenere attività soggette al controllo di prevenzione incendi devono soddisfare il requisito essenziale di salvaguardia della struttura in caso di incendio. A tale scopo è stato introdotto il capitolo 3.6. "Azioni Eccezionali" che contempla anche il caso d'incendio e le esplosioni.

Il sopracitato decreto ministeriale 09 marzo 2007, assumendo anch'esso i concetti di base degli eurocodici è la restrizione degli stessi e del testo unico alle attività soggette a controllo per le quali sono state imposte ulteriori limitazioni.