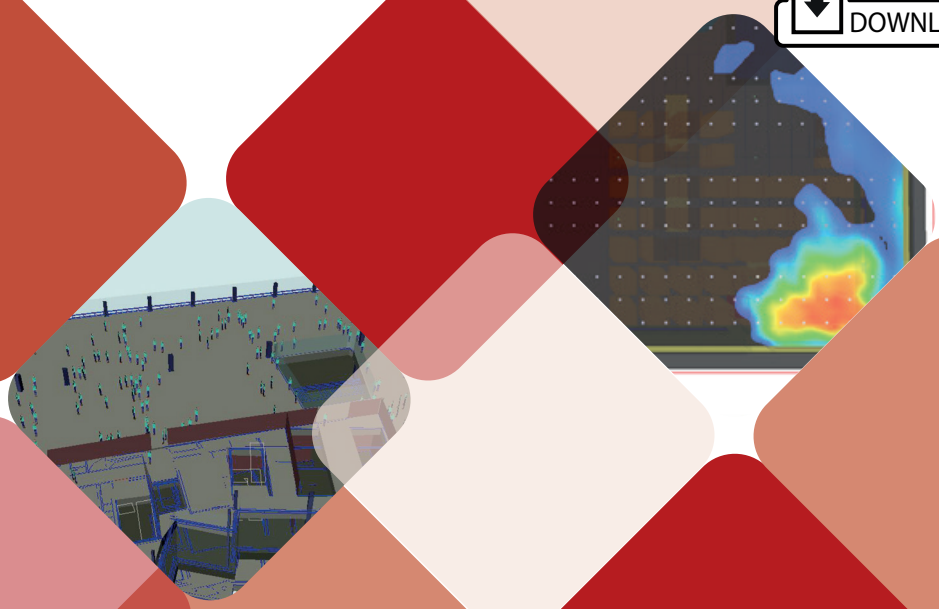
STEFANO MARSELLA, LUCA NASSI

L'INGEGNERIA della SICUREZZA ANTINCENDIO e il PROCESSO PRESTAZIONALE

Guida alla Fire Safety Engineering ed esempi applicativi

III EDIZIONE

contenuti digitali
DOWNLOAD



EPC EDITORE

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

Come scaricare i contenuti digitali

1. accedi alla sezione **My EPC**

   nel sito www.epc.it (inserisci le credenziali utilizzate per l'acquisto o effettua una nuova registrazione)

2. attiva il tuo **contenuto digitale**

   a) entra nella sezione **Contenuti digitali** cliccando su **I tuoi contenuti digitali**
   b) inserisci il **codice etichetta** che si trova *in fondo a questa pagina* e premi **Attiva**
   c) ne **La mia libreria** saranno attivi i contenuti predisposti per te, clicca su **Vedi contenuti** per visualizzarli o scaricarli

codice etichetta

su libro cartaceo

EPC EDITORE

Per informazioni e chiarimenti

Servizio assistenza 06 33245273 - tecnico@epclibri.it

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

Stefano Marsella, Luca Nassi

L'INGEGNERIA della SICUREZZA ANTINCENDIO e il PROCESSO PRESTAZIONALE

Guida alla Fire Safety Engineering ed esempi applicativi

Nei documenti scaricabili tutti i casi studio a colori completi di grafici, foto, filmati e le indicazioni per installazione dei programmi FDS e FAST/CFAST

III edizione

EPC EDITORE

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO E IL PROCESSO PRESTAZIONALE
ISBN: 978-88-9288-8365-9

Copyright © 2025 EPC S.r.l. Socio Unico
Via Clauzetto, 12 − 00188 Roma − www.epc.it
Servizio clienti: Tel. 06 33245271/277 - clienti@epc.it
Redazione: Tel. 06 33245264/205

La traduzione, l'adattamento totale o parziale, la riproduzione o trasmissione in qualsiasi forma e/o con qualsiasi mezzo elettronico, meccanico o altro (compresi i microfilm, i film, le fotocopie), nonché la memorizzazione anche digitale su supporti di qualsiasi tipo (inclusi magnetici e ottici), i diritti di noleggio e di prestito, sono riservati per tutti i Paesi.
L'Editore si dichiara pienamente disponibile a soddisfare eventuali oneri derivanti da diritti di riproduzione del materiale protetto dai diritti d'autore, di cui non sia stato possibile reperire gli aventi diritto. Ci scusiamo per eventuali omissioni e saremo lieti di inserire gli opportuni riconoscimenti nelle edizioni successive.
L'Editore declina ogni responsabilità per eventuali errori, refusi o inesattezze nonché per eventuali danni risultanti dall'uso delle informazioni presenti nel volume, pur curato con la massima diligenza e attenzione.

Il codice QR che si trova sul retro della copertina, consente attraverso uno smartphone di accedere direttamente alle informazioni e agli eventuali aggiornamenti di questo volume.
Le stesse informazioni sono disponibili alla pagina:
https://www.epc.it/Prodotto/Editoria/Libri/L-ingegneria-della-sicurezza-antincendio-e-il-processo-3ed/5641

Foto di copertina: *www.123rf.com*

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

INDICE

Premessa 19

CAPITOLO 1

Introduzione 21

1.1. L'ingegneria antincendio e l'approccio prestazionale 22

1.2. L'approccio prestazionale ed il quadro normativo italiano 27

1.2.1. L'evoluzione dell'approccio prestazionale 28

1.2.2. Il quadro normativo generale 29

1.2.3. Il D.M. 9 maggio 2007 34

1.2.4. Il Decreto del Ministero dell'Interno 3 agosto 2015: Un approccio duale alla prevenzione incendi 40

CAPITOLO 2

I principi del processo prestazionale 43

2.1. L'analisi prestazionale nel processo di progettazione 43

2.2. Il processo della progettazione prestazionale 45

2.2.1. La definizione dello scopo del progetto 46

2.2.2. L'identificazione delle mete del progetto – le scelte strategiche 47

2.2.3. L'identificazione degli obiettivi del progetto 47

2.2.4. Lo sviluppo delle soglie di prestazione 47

2.2.5. Lo sviluppo degli scenari di incendio di progetto 48

2.2.6. Lo sviluppo di un sommario tecnico 48

2.2.7. Elaborazione delle soluzioni progettuali 49

2.2.8. La valutazione delle soluzioni progettuali 49

2.2.9. La selezione della soluzione progettuale finale 49

2.2.10. La documentazione di progetto e il sistema di gestione della sicurezza 50

CAPITOLO 3

L'applicazione del processo di valutazione prestazionale 53

3.1. L'applicazione in presenza di norme prescrittive 53

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

3.1.1. L'applicazione in presenza di codici di tipo prestazionale 54
3.2. L'uso come metodologia "Stand alone" 56
3.3. I livelli di applicazione 56
3.4. Lo scopo del progetto 57
3.4.1. Generalità 57
3.4.2. Le problematiche connesse agli scopi del progetto 59
3.5. Mete di progetto 60
3.6. Gli obiettivi di progetto 63
3.6.1. Generalità 63
3.7. I criteri di prestazione 64
3.7.1. Generalità 64
3.7.2. La determinazione dei criteri di prestazione 65
3.7.3. I criteri per la sicurezza della vita umana 66
3.7.3.1. Gli effetti termici 66
3.7.3.2. La tossicità 66
3.7.3.3. La visibilità 67
3.7.4. I criteri di sicurezza non legati alla vita umana 67
3.7.4.1. Gli effetti termici 67
3.7.4.2. La propagazione dell'incendio 67
3.7.4.3. I danni da fumo 67
3.7.4.4. I danni alle strutture 68
3.7.4.5. I danni alle proprietà limitrofe 68
3.7.4.6. I danni all'ambiente 68
3.8. Gli scenari di incendio 69
3.9. Gli scenari di incendio di progetto 71
3.9.1. L'approccio probabilistico 72
3.9.1.1. L'approccio deterministico 74
3.9.2. L'identificazione degli scenari d'incendio 75
3.9.3. Le caratteristiche di uno scenario di incendio 76
3.9.3.1. Le caratteristiche dell'edificio 76
3.9.3.2. Le caratteristiche degli occupanti 76
3.9.3.3. Le caratteristiche dell'incendio 77
3.9.4. Gli strumenti per identificare gli scenari di incendio 77
3.9.4.1. La "failure analysis" 77
3.9.4.2. La "what if? analysis" 78
3.9.4.3. La "Failure Modes and Effects Analysis" (FMEA) 78
3.9.4.4. I dati storici, i manuali, le liste di controllo 79
3.9.4.5. I dati statistici rilevanti 79
3.9.4.6. Gli altri metodi di analisi 79
3.9.5. Gli scenari della norma NFPA 101 80
3.10. La selezione degli scenari 82

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

3.10.1. Generalità ... 82
3.10.1.1. Le caratteristiche dell'edificio ... 83
3.10.1.2. Le caratteristiche degli occupanti ... 84
3.10.2. La quantificazione degli scenari – le curve di incendio di progetto ... 85
3.10.3. La fase dell'innesco e pre-flashover ... 86
3.10.3.1. L'estensione potenziale ... 87
3.10.3.2. La localizzazione dei bersagli ... 87
3.10.3.3. Le curve di incendio di progetto ... 87
3.10.4. La fase del flashover ... 89
3.10.5. La fase post-flashover ... 89
3.10.6. Il decadimento ed estinzione ... 91
3.10.7. Le curve HRR ... 91
3.10.7.1. La definizione dei dati ... 91
3.11. Lo sviluppo dei progetti di prova ... 93
3.11.1. Generalità ... 93
3.11.2. Il sistema di protezione antincendio ... 94
3.11.3. L'innesco e sviluppo dell'incendio ... 94
3.11.3.1. L'innesco ... 94
3.11.3.2. Il controllo dello sviluppo dell'incendio ... 95
3.11.4. La diffusione, ed il controllo dei fumi ... 95
3.11.5. I criteri generali di calcolo delle caratteristiche del fumo ... 96
3.11.6. La rilevazione e l'allarme dell'incendio ... 97
3.11.6.1. La rilevazione di incendio ... 97
3.11.6.2. La notifica dell'allarme ... 98
3.11.7. La soppressione dell'incendio ... 99
3.11.7.1. I sistemi di soppressione automatica d'incendio ... 99
3.11.7.2. Le operazioni antincendio manuali ... 100
3.11.8. Il comportamento umano ... 101
3.11.9. La protezione passiva al fuoco ... 102
3.11.9.1. La stabilità delle strutture ... 102
3.11.9.2. I sistemi passivi di protezione ... 102
3.12. La valutazione dei progetti di prova ... 103
3.12.1. Tecniche di valutazione dei progetti di prova ... 104
3.12.1.1. Prestazioni dei sottosistemi ... 104
3.12.1.2. Valutazione delle prestazioni di sistema ... 105
3.12.1.3. Valutazione delle prestazioni di un edificio ... 106

CAPITOLO 4

I modelli quantitativi di valutazione ... 107

4.1. La dinamica della combustione ... 107

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

4.1.1. Il meccanismo della combustione 108
4.1.1.1. L'innesco 110
4.1.1.2. La propagazione dell'incendio 117
4.1.1.3. L'effetto radiante delle fiamme 120
4.1.1.4. L'effetto convettivo delle fiamme 121
4.1.1.5. L'effetto radiante dello strato di gas caldi 122
4.1.1.6. La propagazione dell'incendio sulle superfici 123
4.1.2. L'incendio nella fase pre-flashover 125
4.1.2.1. Le curve di rilascio termico (HRR) 128
4.1.2.2. La curva parametrica di incendio dell'Eurocodice 1 130
4.1.2.3. La concentrazione dei gas 134
4.1.3. Il flashover 135
4.1.3.1. Definizione di flashover 135
4.1.3.2. La potenza termica nel flashover 137
4.1.3.3. La previsione del flashover 139
4.1.4. Il fattore di ventilazione 141
4.1.5. La produzione di fumo 143
4.1.6. Il movimento dei fumi 147
4.1.6.1. Forze generanti il movimento del fumo 147
4.1.6.2. Il processo di saturazione del fumo 149
4.1.7. La generazione del calore 153
4.1.7.1. La temperatura del fumo 154
4.1.7.2. Temperatura di attivazione di un rivelatore 155
4.2. Il rischio per la vita umana 157
4.2.1. Il comportamento umano nell'incendio 158
4.2.1.1. L'interazione uomo-edificio-ambiente 159
4.2.1.2. Le caratteristiche degli occupanti 160
4.2.1.3. La risposta agli indizi 162
4.2.1.4. La salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale nel Codice di Prevenzione Incendi 163
4.2.2. Effetti tossici ed irritanti dei fumi 164
4.2.2.1. La "Fractional Effective Dose" 165
4.2.2.2. La "Fractional Effective Concentration" 167
4.2.2.3. Utilizzo dei modelli di calcolo 167
4.2.3. Effetti del calore sul corpo umano 168
4.2.4. Visibilità nelle vie di esodo 169
4.2.4.1. L'impatto del fumo sul movimento 173
4.2.5. I modelli di calcolo dell'esodo 173
4.2.5.1. Il modello tradizionale ed il Codice 173
4.2.5.2. Il modello di flusso 178
4.3. La risposta delle strutture 187
4.3.1. La propagazione dell'incendio per cedimento degli elementi di isolamento 189

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

4.3.1.1. Metodi ingegneristici 204
4.3.1.2. Formule manuali 204
4.3.1.3. Modelli automatici 205
4.3.1.4. Metodi sperimentali 205
4.3.1.5. I criteri di accettabilità 205
4.4. I modelli di calcolo automatico 206
4.4.1. Il problema della modellazione automatica 206
4.4.2. La documentazione a corredo dei modelli 208
4.4.2.1. Le informazioni generali 208
4.4.2.2. La documentazione tecnica e manuale dell'utente 209
4.4.3. Metodologie di verifica dei programmi 210
4.4.3.1. L'accuratezza numerica del modello 211
4.4.3.2. Incertezze dei dati 212
4.4.3.3. Analisi di sensibilità 212
4.4.4. I modelli automatici di simulazione dell'incendio 213
4.4.4.1. I modelli a zone per ambienti confinati 215
4.4.4.2. I modelli di campo 222
4.4.5. I modelli automatici di simulazione dell'esodo 232
4.4.5.1. I modelli di movimento 234
4.4.5.2. Modelli parzialmente comportamentali 235
4.4.5.3. Modelli comportamentali 235
4.5. Il digital twin e il machine learning 238

CAPITOLO 5

Le linee guida per la valutazione dei progetti 241

5.1. Il quadro normativo generale e la valutazione di tipo qualitativo 241
5.2. Lo schema di valutazione di tipo qualitativo 242
5.3. Il passaggio da valutazione qualitativa a valutazione quantitativa e prestazionale 243
5.4. L'approccio Prestazionale e l'ingegneria antincendio 244
5.5. Il D.M. 9/5/97 e le Linee Guida 244
5.6. Il D.M. 3/8/2015 - La sezione M del Codice di Prevenzione Incendi 268
5.6.1. Premessa 268
5.6.2. Capitolo M.1 "Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio" 269
5.6.2.1. M.1.2 Fasi della metodologia 269
5.6.2.2. M.1.3 Prima Fase – Analisi Preliminare 269
5.6.2.3. M.1.4 Seconda Fase – Analisi Quantitativa 275
5.6.3. Capitolo M.2 "Scenari di incendio per la progettazione prestazionale" 280
5.6.4. Capitolo M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale 290
5.7. Il Sistema di Gestione della Sicurezza antincendio (GSA) 299

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

5.7.1. Introduzione 299
5.7.2. Requisiti e Struttura del Sistema di gestione della sicurezza antincendio 301
5.7.3. Finalità 301
5.7.4. Contenuti tecnici del GSA 302
5.7.4.1. Organizzazione e personale 303
5.7.4.2. Identificazione e valutazione dei pericoli derivanti dall'attività 303
5.7.4.3. Controllo operativo 304
5.7.4.4. Gestione delle modifiche 304
5.7.4.5. Pianificazione di emergenza 305
5.7.4.6. Sicurezza delle squadre di soccorso 305
5.7.4.7. Controllo delle prestazioni 305
5.7.4.8. Manutenzione dei sistemi di protezione 306
5.7.4.9. Controllo e revisione 306
5.7.4.10. Conclusioni 307

CAPITOLO 6
Glossario 309

CAPITOLO 7
Bibliografia 315

APPENDICE A
Casi di studio

CASO 1 - Palazzo di Giustizia di Siena - simulazioni d'incendio mediante modello CFD - dimensionamento sistemi di ventilazione meccanica e di evacuazione fumo e calore 321
A.1.1 Premessa 321
A.1.2 Sintesi dello studio 321
A.1.3 Metodo 322
A.1.3.1 Generalità 322
A.1.3.2 Scopo ed obiettivi 322
A.1.3.3 Criterio prestazionale 322
A.1.3.4 Il modello applicato 323
A.1.4 Dominio di simulazione 324
A.1.5 Sistemi attivi 325
A.1.5.1 Evacuatori fumo calore 326
A.1.5.2 Ventilazione meccanica 326

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

A.1.5.3 Interblocchi/azionamenti 326
A.1.6 Scenari di incendio 327
A.1.6.1 Materiali combustibili presenti 327
A.1.6.2 Reazione di combustione 327
A.1.6.3 Modellazione dell'incendio 328
A.1.6.3.1 Scenario di incendio A 328
A.1.6.3.2 Scenario di incendio B 328
A.1.6.3.3 Scenario di incendio C 329
A.1.6.3.4 Scenario di incendio D 329
A.1.6.3.5 Tempo di rivelazione 330
A.1.6.3.6 Tabella riassuntiva degli scenari di incendio 330
A.1.7 Risultati delle simulazioni 331
A.1.7.1 Introduzione 331
A.1.7.2 Scenari 331
A.1.7.2.1 Considerazioni comuni 331
A.1.7.2.2 Scenario di incendio A 332
A.1.7.2.3 Scenario di incendio B 332
A.1.7.2.4 Scenario di incendio C 333
A.1.7.2.5 Scenario di incendio D 334
A.1.8 Conclusioni 335
A.1.8.1 Verifica del criterio prestazionale 335
A.1.8.2 Considerazioni aggiuntive 335
A.1.9 Bibliografia 335
A.1.10 Appendice - Grafici 336

CASO 2 - Studio sulla ventilazione di un atrio: criteri di sicurezza relativi 337
A.2.1 Introduzione 337
A.2.2 Geometria e strategia antincendio 337
A.2.3 Metodo adottato 339
A.2.4 Riassunto dei risultati 340
A.2.5 Risultati in dettaglio 340

CASO 3 - Studio di un centro commerciale 341
A.3.1 Introduzione 341
A.3.2 Geometria e strategia antincendio per la mall 342
A.3.3 Geometria e strategia antincendio per il parcheggio 342
A.3.4 Criteri di accettabilità 344
A.3.5 Metodo adottato 345
A.3.6 Riassunto dei risultati 346
A.3.6.1 Cristallo centrale 346
A.3.6.2 Parcheggio 347
A.3.7 Risultati in dettaglio 347

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

CASO 4 - La comparazione tra modelli di calcolo: i risultati di un Blind Test effettuato su un atrio 348

A.4.1 Introduzione 348
A.4.2 Metodo adottato 350
A.4.3 Riassunto dei risultati 351
A.4.3.1 Tabella riassuntiva 351
A.4.3.2 Altezza dello strato dei fumi 351
A.4.3.3 Portate volumetriche e temperature 351
A.4.3.4 Modello a zone Argos 352
A.4.3.5 Risultati in dettaglio 352
A.4.4 Risultati in dettaglio 352

CASO 5 - La valutazione degli effetti di un incendio "reale" in un reparto ospedaliero 353

A.5.1 Premessa 353
A.5.2 Il Metodo 353
A.5.2.1 Parametri di accettabilità/ipotesi progettuali 353
A.5.2.2 Simulazione dell'incendio/ipotesi progettuali 354
A.5.2.2.1 Il Dominio 354
A.5.2.2.2 Layout 354
A.5.2.2.3 Materiali 354
A.5.2.2.4 Tipologia e intensità (Heat Release Rate) della combustione 354
A.5.2.2.5 Sistemi di spegnimento 355
A.5.2.2.6 Durata del processo di simulazione 355
A.5.3 La modellazione 356
A.5.3.1 Ospedale di Campostaggia - Definizione del dominio geometrico della simulazione 356
A.5.3.2 Ospedale di Campostaggia – Layout 356
A.5.3.3 Ospedale di Campostaggia - Materiali 358
A.5.3.4 Ospedale di Campostaggia - Tipologia e Intensità (Heat Release Rate) della Combustione 358
A.5.3.5 Ospedale di Campostaggia - Sistemi di Spegnimento 358
A.5.4 Descrizione delle simulazioni effettuate 359
A.5.4.1 Generalità 359
A.5.4.2 Simulazione n. 1 (finestre chiuse, porta del deposito chiusa) 360
A.5.4.3 Simulazione n. 2 (finestre chiuse, porte aperte) 361
A.5.4.4 Simulazione n. 3 (finestre e porte aperte) 362
A.5.4.5 Simulazione n. 5 (stanza di degenza, sprinkler t=180 sec) 362
A.5.4.6 Simulazione n. 6 (stanza di degenza, sprinkler T = 68 °C) 363
A.5.5 Conclusioni 364
A.5.6 Riferimenti bibliografici 364

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

CASO 6 - Caso di studio di valutazione della resistenza al fuoco di un telaio monoplano secondo l'approccio prestazionale 366

A.6.1 Premessa 366
A.6.2 L'approccio prescrittivo e prestazionale alla resistenza al fuoco 368
A.6.3 La proposta di un metodo semplificato per l'analisi da caldo di una sottostruttura: il telaio monopiano a singola campata 370
A.6.3.1 La definizione del criterio di collasso 370
A.6.3.2 Un esempio applicativo 372
A.6.4 Conclusioni 379
A.6.5 Riferimenti bibliografici 379

CASO 7 - Caso di studio di capannone adibito a deposito intensivo 380

A.7.1 Elementi generali 380
A.7.2 Problematiche legate all'uso di modelli di simulazione 381
A.7.3 Descrizione dell'edificio 381
A.7.4 Valutazione secondo metodi semplificati 381
A.7.5 Sicurezza dell'esodo 382
A.7.6 Rischio di innesco 382
A.7.7 Sistema di rilevazione ed allarme 382
A.7.8 Curva di crescita dell'incendio 382
A.7.9 Conclusioni della valutazione semplificata 383
A.7.10 Analisi ingegneristica 383
A.7.10.1 Tempo richiesto per l'esodo 384
A.7.10.2 Il problema degli oggetti che non partecipano alla combustione 388
A.7.10.3 Dati di input 388
A.7.10.4 Simulazione con ostacoli 390
A.7.10.5 Simulazione con aperture sul tetto 391
A.7.10.6 Simulazione con una modifica del modello di combustione 391
A.7.10.7 Simulazione con materiali di proprietà diverse 391
A.7.10.8 Simulazione dell'intero edificio 391
A.7.10.9 Valutazione della sicurezza dei soccorritori 392
A.7.10.10 La valutazione della resistenza al fuoco delle strutture 392
A.7.10.11 Conclusioni 393
A.7.10.12 Ipotesi da verificare durante la gestione 394

CASO 8 - Studio sull'evacuazione delle persone da un edificio multipiano ubicato a Londra (UK) 395

A.8.1 Introduzione 395
A.8.2 Evacuazione 396
A.8.2.1 Generalità 396
A.8.2.2 La Modellazione (The Modeling Process) 397
A.8.2.3 Scenario di incendio 397
A.8.3 Risultati 399

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

CASO 9 - Hotel Crowne Plaza di Caserta. Studio di ingegneria antincendio prestazionale volto ad analizzare gli scenari d'incendio significativi mediante applicazione del modello FDS 403

A.9.1 Introduzione 403
A.9.2 Sintesi dello studio 403
A.9.3 Qualifiche professionali 404
A.9.4 Metodo 404
A.9.4.1 Ambito di analisi e finalità di progetto 405
A.9.4.2 Obiettivi di sicurezza assunti 405
A.9.4.3 Criterio prestazionale 406
A.9.4.4 Il modello applicato 407
A.9.5 Scenari di incendio 407
A.9.5.1 Dominio di simulazione 407
A.9.5.2 Scenario 1 - Azione termica sulla copertura 408
A.9.5.3 Scenario 2 - Fumi 409
A.9.5.4 Modellazione dell'incendio 410
A.9.5.5 Condizioni al contorno 410
A.9.6 Risultati delle simulazioni 411
A.9.6.1 Introduzione 411
A.9.6.2 Considerazioni comuni 411
A.9.6.3 Scenario di incendio 1 – Azione termica sulla copertura 412
A.9.6.4 Scenario di incendio 2 – Andamento dei fumi 413
A.9.6.4.1 Piazza 413
A.9.6.4.2 Locali affacciati sulla piazza 414
A.9.7 Conclusioni 416
A.9.8 Riferimenti bibliografici 416
A.9.9 Addendum - considerazioni supplementari sulla temperatura delle lastre vetrate 417

CASO 10 - Esempio di soluzione alternativa per il livello di prestazione II misura s.2 – edificio industriale 424

A.10.1 Premessa 424
A.10.2 Metodologia progettuale 424
A.10.3 Descrizione dell'attività e della struttura 426
A.10.4 Individuazione livello di prestazione 427
A.10.5 Obiettivo della progettazione 428
A.10.6 Soluzione alternativa 429
A.10.7 Soglie di prestazione 429
A.10.8 Stima curva RHR 430
A.10.9 Scenari d'incendio di progetto 431
A.10.10 Calcolo di RSET 435
A.10.11 Simulazioni scenari d'incendio ed analisi termo-strutturali 435

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

A.10.11.1 Modellazione termo-strutturale 435
A.10.11.2 Materiali 437
A.10.11.3 Geometria struttura 437
A.10.11.4 Combinazione di carico 438
A.10.11.5 Risultati delle simulazioni 439
A.10.11.5.1 Commento risultati Scenario 1 439
A.10.11.5.2 Commento risultati Scenario 2 444
A.10.11.5.3 Commento risultati Scenario 3 448
A.10.11.5.4 Commento risultati Scenario 4 454
A.10.11.5.5 Commento risultati Scenario 5 460
A.10.12 Collegamenti 465
A.10.13 Considerazioni a commento 472
A.10.13.1 Riepilogo sintetico del caso studio 472
A.10.13.2 Commento dei risultati 472
A.10.14 Ringraziamenti 474
A.10.15 Riferimenti bibliografici 474

CASO 11 - Compartimentazioni virtuali in un deposito di materie prime farmaceutiche 476
A.11.1 Inquadramento dell'intervento 476
A.11.2 Descrizione dell'edificio 476
A.11.3 Criticità progettuali e vincoli 476
A.11.4 Obiettivi dell'approccio prestazionale 477
A.11.5 Strategie progettuali 477
A.11.5.1 Analisi degli scenari d'incendio 477
A.11.5.2 Individuazione degli scenari d'incendio di progetto 479
A.11.5.3 Determinazione delle curve HRR 480
A.11.5.4 Simulazioni CFD 480
A.11.6 La compartimentazione virtuale 481
A.11.7 Verifica dei requisiti e risultati 481
A.11.7.1 Resistenza strutturale 481
A.11.7.2 Compartimentazione virtuale 483
A.11.8 Conclusioni e spunti progettuali 483

CASO 12 - Strategie innovative per la sicurezza antincendio di un silo plastico 484
A.12.1 Inquadramento dell'intervento 484
A.12.2 Descrizione dell'edificio 485
A.12.3 Criticità progettuali e vincoli 485
A.12.4 Obiettivi dell'approccio prestazionale 485
A.12.5 Strategie progettuali 486
A.12.5.1 Individuazione degli scenari d'incendio di progetto 486
A.12.5.2 Determinazione delle curve HRR 486

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

A.12.5.3 Simulazioni CFD 486
A.12.6 Risultati delle modellazioni CFD 488
A.12.6.1 Scenario S01 488
A.12.6.2 Scenario S02 489
A.12.7 Soluzione alternativa per lo smaltimento fumi e calore d'emergenza 492
A.12.7.1 Scenario S02 492
A.12.8 Conclusioni e spunti progettuali 494

CASO 13 - Proteggere un edificio storico senza snaturarlo: minimizzare gli interventi, massimizzare la sicurezza 495
A.13.1 Inquadramento dell'intervento 495
A.13.2 Descrizione dell'edificio tutelato 495
A.13.3 Un approccio integrato: materiali, gestione della sicurezza e simulazioni CFD 496
A.13.4 Limitare il rischio alla fonte: la gestione dei materiali 497
A.13.5 Determinazione della curva HRR da test in scala reale 497
A.13.6 Il livello di gestione della sicurezza: una componente strategica per la sicurezza 499
A.13.7 La modellazione CFD: uno strumento per validare un sistema di sicurezza complesso 500
A.13.8 Conclusioni e spunti progettuali 502

CASO 14 - La sicurezza dell'esodo in un capannone industriale 503
A.14.1 Premessa 503
A.14.1.1 Descrizione del reparto 503
A.14.1.2 Finalità della progettazione antincendio prestazionale 504
A.14.1.3 Caratteristiche del sistema di esodo 504
A.14.1.4 Caratteristiche degli occupanti 504
A.14.1.5 Codice di calcolo 505
A.14.2 Ipotesi di partenza – dati di input 505
A.14.2.1 Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio 505
A.14.2.2 Definizione delle soglie di prestazione 505
A.14.2.3 Geometria del fabbricato 506
A.14.2.4 Geometria delle MESH 507
A.14.2.5 Individuazione scenari di incendio di progetto 509
A.14.2.6 Curva HRR (Heat Release Rate) 509
A.14.2.7 Caratterizzazione del materiale combustibile 510
A.14.2.8 Ipotesi di rilevazione (rilevatori di fumo, punti di misura, slice files) 510
A.14.2.9 Impianti di spegnimento 512
A.14.2.10 Tempo di modellazione 513
A.14.3 Modellazioni di incendio – post-processing 515
A.14.3.1 Discretizzazione magazzino 515
A.14.3.2 Valutazione soluzioni progettuali 517

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

A.14.3.2.1 Scenari 518
A.14.3.2.2 Conclusioni 519
A.14.4 Ipotesi progettuali adottate 520
A.14.5 Conclusioni finali 521

CASO 15 - Valutazione della sicurezza della Piazza del Campo in occasione del Palio 522
A.15.1 Premessa 522
A.15.2 Breve descrizione del luogo e dell'evento 522
A.15.3 La valutazione della sicurezza nell'esodo 523
A.15.3.1 L'analisi della metodologia proposta dalla Green Guide 525
A.15.3.2 L'analisi Prestazionale 527
A.15.4 Il modello di calcolo: BuildingEXODUS 528
A.15.5 Valutazione prestazionale dell'esodo 532
A.15.5.1 Output di simulazione 535
A.15.6 Conclusioni 538

APPENDICE B
Esempi di obiettivi e criteri di prestazione 539

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

Premessa

Lo sviluppo e la diffusione dell'ingegneria antincendio non può essere considerato esclusivamente il risultato di progressi tecnici o della ricerca scientifica nel settore, ma deve essere analizzato anche come esito dell'evoluzione sociale e della crescente domanda di sicurezza da parte della cittadinanza. In un contesto in cui il concetto di sicurezza è sempre più percepito come un diritto fondamentale, l'ingegneria antincendio ha assunto un ruolo centrale nel garantire la protezione delle persone, dei beni e dell'ambiente. Tuttavia, questa progressiva specializzazione e diffusione delle tecnologie antincendio non è priva di implicazioni etiche e professionali.

I professionisti del settore, impegnati nella progettazione e implementazione di soluzioni antincendio, devono essere consapevoli che il loro operato non riguarda solo il rispetto delle normative e delle *best practices* tecniche, ma anche la responsabilità morale di garantire la reale sicurezza delle persone. L'ingegneria antincendio, infatti, può essere utilizzata tanto per rispondere a legittimi bisogni di protezione, quanto per perseguire interessi economici che, pur apparendo adeguati alle esigenze normative, potrebbero non rispondere in modo ottimale agli obiettivi di sicurezza. In questi casi, l'adozione di soluzioni che appaiono appropriate sotto un profilo superficiale potrebbe, in realtà, compromettere la protezione effettiva, mettendo a rischio la vita delle persone e l'integrità degli edifici.

Questo scenario impone ai professionisti della sicurezza di agire con integrità e competenza, facendo prevalere l'interesse collettivo rispetto a quello individuale o economico. La progettazione e la scelta di soluzioni antincendio devono essere guidate dalla consapevolezza che ogni decisione può avere un impatto significativo sulla vita delle persone. Per questo motivo, l'etica professionale deve essere considerata un principio irrinunciabile, che impone la selezione di soluzioni non solo tecnicamente valide, ma anche moralmente giuste e orientate alla protezione effettiva e durevole dei cittadini e dei beni, a partire del patrimonio storico e artistico, che contribuisce in modo rilevante a definire l'appartenenza alle comunità ed ai luoghi i cui le persone vivono e lavorano.

Partendo da queste considerazioni, a ormai 15 anni dalla pubblicazione della seconda edizione del volume "*L'ingegneria della sicurezza antincendio e il processo prestazionale*", l'evoluzione della disciplina e le esperienze maturate nel settore hanno reso opportuna un'integrazione e un aggiornamento dei contenuti originari.

Le principali novità presenti in questa seconda edizione riguardano i necessari aggiornamenti a quanto indicato dal decreto 3 agosto 2015 − Codice di Prevenzione Incendi, che, peraltro nella linea del D.M. 9/5/2007, ha introdotto ulteriori indicazioni relative ai progetti redatti secondo l'approccio ingegneristico.

Un altro aspetto di significativa rilevanza è rappresentato dall'ampliamento dei casi di studio. Alla luce del crescente approfondimento tecnico e dell'evoluzione metodologica, gli autori hanno ritenuto utile proporre nuovi esempi maggiormente rispondenti allo stato attuale delle conoscenze. Al contempo, sono stati mantenuti quei casi che, già presenti nella prima e seconda edizione, conservano un indubbio valore didattico e metodologico.

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

Un'ulteriore e importante aggiornamento è dedicato alla gestione della sicurezza antincendio nel contesto dell'approccio prestazionale. Anche in relazione alle indicazioni fornite dal decreto 3 agosto 2015, si sottolinea l'esigenza di attribuire adeguata attenzione a tale aspetto, fondamentale per garantire la sicurezza degli edifici lungo l'intero ciclo di vita, dalla progettazione all'esercizio.

Con la pubblicazione di questa terza edizione, gli autori desiderano esprimere un sentito ringraziamento a tutti coloro che, con il proprio contributo scientifico e professionale, hanno arricchito il volume, elevandone in modo significativo il livello tecnico e formativo.

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

CAPITOLO 1

Introduzione

L'ingegneria della sicurezza antincendio, traduzione italiana dell'anglosassone *fire safety engineering*, rappresenta una delle discipline più recenti tra quelle tradizionali insegnate nelle facoltà di ingegneria. Nonostante la sua giovane età, essa ha maturato, soprattutto negli ultimi venti anni, la capacità di supportare in modo concreto i professionisti nella risoluzione di problematiche complesse legate alla sicurezza contro il rischio di incendio. In Italia, il riconoscimento ufficiale di questa disciplina come materia universitaria è avvenuto solo di recente, segnando un importante passo nella sua valorizzazione accademica e professionale.

Uno degli aspetti distintivi dell'ingegneria della sicurezza antincendio è la sua capacità di fornire agli operatori del settore un approccio innovativo nella valutazione della sicurezza degli edifici in caso di incendio. In questo senso, essa si affianca e integra il tradizionale metodo di progettazione, che per decenni ha guidato, tanto in Italia quanto a livello internazionale, la realizzazione e la verifica dei progetti di sicurezza. L'ingegneria antincendio offre, infatti, una visione complementare che non si limita alla semplice applicazione di normative, ma si fonda sull'analisi scientifica dei fenomeni fisici e chimici legati alla combustione e al comportamento umano in situazione di emergenza.

A questo proposito, il Decreto del 9 maggio 2007, che ha introdotto per la prima volta in Italia l'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio, e successivamente il D.M. 3 agosto 2015, meglio noto come *"Codice di prevenzione incendi",* hanno rappresentato tappe fondamentali nell'evoluzione della cultura della sicurezza antincendio nel nostro Paese. Tali normative hanno segnato un avanzamento significativo, riconoscendo e regolamentando l'utilizzo delle tecniche ingegneristiche nella progettazione della sicurezza antincendio.

Come conseguenza della nuova modalità di progettazione e verifica della sicurezza antincendio, i professionisti del settore, pur facendo riferimento alle normative, si trovano spesso nella necessità di integrare tali disposizioni con una comprensione più approfondita delle leggi fisiche e chimiche che governano il comportamento del fuoco. Sebbene il rispetto delle normative garantisca la rispondenza a una buona parte delle situazioni, non sempre essa risulta sufficiente o percorribile. In questi casi, gli strumenti dell'ingegneria della sicurezza antincendio consentono di affrontare scenari complessi con soluzioni più mirate e scientificamente supportate.

Questa disciplina si configura, infatti, come l'applicazione di principi ingegneristici, regolamenti e giudizi esperti, basati su una valutazione rigorosa dei fenomeni della combustione, degli effetti degli incendi e del comportamento umano. L'obiettivo principale è quello di tutelare la vita umana, proteggere i beni materiali e l'ambiente, quantificare i rischi d'incendio e gli effetti ad essi associati, nonché analizzare in modo preciso ed efficace le misure di prevenzione necessarie per minimizzare le conseguenze di un incendio.

La complessità e l'ampiezza di questa definizione evidenziano la molteplicità delle applicazioni di tale disciplina. Rispetto all'approccio tradizionale, che si limita principalmente alla progettazione e all'adeguamento normativo, l'ingegneria della sicurezza antincendio amplia no-

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

tevolmente il campo di intervento. Essa consente non solo di progettare soluzioni di sicurezza più adeguate, ma anche di elaborare piani di emergenza che rispondano in modo più preciso alle esigenze reali degli utenti, valutare la sicurezza di edifici già esistenti e ricostruire, attraverso simulazioni, l'evoluzione di incendi già verificatisi.

Gli strumenti che supportano tali attività sono oggi numerosi e in continua evoluzione, offrendo un ventaglio di soluzioni decisamente più ampio rispetto a quello disponibile solo pochi decenni fa. Questa varietà di strumenti e metodi consente ai professionisti del settore di affrontare la sicurezza antincendio con un approccio altamente specializzato, scientificamente validato e in grado di rispondere alle sfide sempre più complesse del contesto moderno.

In questo quadro, una delle principali difficoltà che i professionisti incontrano nell'avvicinarsi all'ingegneria della sicurezza antincendio risiede nella complessità degli strumenti disponibili e, di conseguenza, nella difficoltà di orientarsi tra i numerosi riferimenti offerti sia dalla letteratura specialistica che dal mercato. Questo testo, anche nella sua nuova edizione, si propone di guidare i lettori nel primo approccio a una disciplina che, pur essendo relativamente recente, non può più essere considerata innovativa, dato che già esistono corsi di laurea specifici in numerose università a livello globale.

Gli autori hanno scelto di strutturare il contenuto del volume per favorire una comprensione organica e coerente delle principali tematiche legate alla sicurezza antincendio, seguendo lo schema normativo del Decreto del 9 maggio 2007 e del D.M. 3 agosto 2015, meglio conosciuto come *"Codice di prevenzione incendi"*. Allo stesso tempo, hanno integrato con i criteri internazionali più diffusi, mettendo in evidenza tutti i riferimenti fondamentali ai principi che da anni regolano la prevenzione incendi in Italia, per fornire un quadro completo, sia teorico che pratico, della disciplina. A questo scopo, attraverso l'uso della grafica e della visualizzazione dei concetti, il volume mira a chiarire i processi che sottendono la progettazione della valutazione del rischio incendio, nonché i modelli matematici e numerici che permettono di effettuare tali valutazioni. I riferimenti di base per il contenuto tecnico provengono da fonti autorevoli come il Rapporto tecnico ISO 23932-1:2018 (che tratta dell'ingegneria della sicurezza antincendio), dall'*Handbook of Fire Protection Engineering* e dal volume SFPE *"Engineering Guide to Performance-based Fire Protection"*. A questi si aggiungono altri riferimenti specifici, puntualmente indicati nel testo in corrispondenza dei singoli argomenti trattati, per garantire una panoramica completa e aggiornata delle risorse a disposizione dei professionisti del settore.

Inoltre, a completamento del testo, sono stati inseriti diversi esempi applicativi, molti dei quali tratti da casi reali, che consentono ai lettori di confrontarsi con situazioni concrete e di comprendere come gli strumenti e i modelli descritti nel libro possano essere applicati in contesti pratici, arricchendo ulteriormente l'esperienza di apprendimento e approfondimento.

1.1. L'ingegneria antincendio e l'approccio prestazionale

Prima dell'introduzione del Decreto 9 maggio 2007 e, successivamente, del D.M. 3 agosto 2015, l'applicazione dei principi di prevenzione incendi nelle attività di progettazione, valutazione del rischio e scelta delle misure di sicurezza si basava principalmente sulla verifica del rispetto delle disposizioni normative esistenti. In tale contesto, le regole tecniche venivano intese non solo come strumenti per definire i livelli di sicurezza, ma anche come principi stessi di sicurezza antincendio. Di conseguenza, la formazione di professionisti, tecnici, studenti e responsabili della sicurezza si fondava principalmente sulla lettura e interpretazione dei testi normativi, piuttosto che su un apparato scientifico consolidato e metodologicamente rigoroso.

Il cambiamento significativo è avvenuto con l'emanazione del D.M. 3 agosto 2015, il "Codice

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

di prevenzione incendi", che ha introdotto un approccio più globale e integrato. A partire da questo decreto, si è cominciato a considerare non solo l'aspetto prescrittivo delle regole tecniche, ma anche le valutazioni basate sulle conoscenze tecnico-scientifiche disponibili. Tale innovazione si inserisce in un contesto più ampio che è stato, in parte, preceduto dal Decreto Legislativo 81/2008, che impone al datore di lavoro l'obbligo di ricercare continuamente soluzioni adeguate per rispondere alle esigenze di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro. Questo decreto ha posto una solida base per una visione della sicurezza più dinamica e fondata su evidenze scientifiche.

Per comprendere meglio il passaggio dall'approccio tradizionale a quello innovativo, può essere utile riferirsi al commento del Professor Remo Calzona, che, nel preambolo del suo commento al Decreto 15 giugno 2005, che ha introdotto nuove norme tecniche per le costruzioni [1]:, afferma: "Lo sviluppo scientifico ha portato ad una migliore conoscenza dei fenomeni naturali (sisma, vento, ecc.) descritti attraverso formulazioni e modelli scientificamente più avanzati. Al confronto, anche la valutazione della resistenza dei materiali e delle strutture dovrà essere espressa attraverso teorie e modelli matematici con lo stesso livello di approfondimento, in modo che il confronto tra la valutazione dell'azione e della resistenza conservi coerenza scientifica. Altrimenti, potrebbe accadere che le costruzioni, utilizzando vecchi metodi teorici di valutazione della resistenza e tecnologie superate, diventino inutilmente onerose, o che si ceda alla tentazione di mettere in discussione il risultato scientifico, riducendo arbitrariamente l'azione naturale. L'avvento e la diffusione dell'informatica, degli elaboratori elettronici e dei metodi numerici avanzati non giustifica più la possibilità di seguire la seconda via."

Mutatis mutandis, queste parole possono essere facilmente applicate anche al contesto della sicurezza antincendio. È importante notare che il decreto che adotta un approccio prestazionale nella verifica delle costruzioni è stato emanato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, in accordo con le proprie specifiche competenze, e contiene riferimenti alla sicurezza antincendio. Il Ministero dell'Interno, dal canto suo, fornisce le disposizioni normative per la sicurezza delle attività, che comprendono anche aspetti relativi alla protezione contro gli incendi negli edifici.

A parere degli autori, sebbene la verifica del rispetto delle normative prescrittive risolva con successo la maggior parte dei casi di sicurezza antincendio, esistono situazioni, specialmente per edifici storici o particolarmente complessi, in cui l'applicazione di norme prescrittive non è sufficiente per garantire una risposta completa alle esigenze di sicurezza. In tali casi, la protezione e la salvaguardia dell'integrità architettonica dell'edificio, pur mantenendo elevati standard di sicurezza, possono essere assicurate solo attraverso una valutazione scientifica e una simulazione dei potenziali scenari di incendio, così come delle risposte delle misure attive e passive adottate. Questo approccio, basato su modelli e analisi scientifiche avanzate, permette di bilanciare la protezione contro il rischio di incendio con il rispetto delle peculiarità storiche e architettoniche degli edifici coinvolti.

I due approcci a cui si è accennato sono chiamati, normalmente, prescrittivo e prestazionale. Con il termine prescrittivo, ci si riferisce al complesso di norme che chiedono di realizzare il rispetto del livello minimo di sicurezza attraverso misure specificamente prescritte (ad esempio, una via di esodo deve essere lunga non più di 30 m, le esercitazioni di sicurezza devono essere svolte almeno due volte l'anno ecc.). Nell'approccio prestazionale, invece, si ritiene più importante verificare il rispetto di prestazioni che l'opera deve garantire (ad esempio, le persone devono essere fuori del compartimento in cui si manifesta l'incendio prima che i fumi raggiungano 2

1. Cfr Testo unitario - *Norme tecniche per le costruzioni* - DEI. Roma, 2005.

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

m di altezza dal pavimento). Le misure di sicurezza, di conseguenza, devono essere calibrate e verificate per consentire il raggiungimento dell'obiettivo. Appare evidente che questo secondo metodo è più maturo e richiede la disponibilità di dati e strumenti di calcolo sofisticati. Il fatto che, ormai, tali strumenti siano ampiamente diffusi, ha generato la richiesta di formazione sulla disciplina dell'ingegneria della sicurezza antincendio, che fornisce all'approccio prestazionale il supporto teorico e culturale che ne permette l'utilizzo.

Se, normativamente, il primo riconoscimento della disciplina compare in un atto collegato alla ormai superata Direttiva sui prodotti da costruzione (il documento interpretativo sul requisito essenziale n. 2 sulla sicurezza in caso di incendio), dal punto di vista dello stato dell'arte a livello internazionale, l'ingegneria della sicurezza antincendio ha ricevuto il riconoscimento più importante con l'emanazione del rapporto tecnico ISO (sostituito dalla ISO 23932-1:2018) – *fire safety engineering* –, nel quale sono enunciate le questioni che riguardano l'organizzazione e la sistematizzazione della disciplina. Corsi universitari, pubblicazioni scientifiche, atti di convegni e manuali (di cui quello di riferimento è l'Handbook NFPA) costituiscono il corollario culturale e tecnico a supporto di questa nuova branca dell'ingegneria. Tali documenti hanno portato prima all'emanazione del decreto 9 maggio 2007 e successivamente alla più recente sezione M del decreto 3/8/2015 "Codice di prevenzione incendi".

L'approccio prestazionale, nella sicurezza antincendio, non è contrapposto a quello prescrittivo. Tutto il complesso di prescrizioni che, spesso convenzionalmente, hanno stabilito contemporaneamente il livello di sicurezza da rispettare e la misura che ne garantiva e consentiva il rispetto, possiede tuttora innegabili vantaggi. Esso, però, manifesta dei limiti in tutti i casi in cui le esigenze delle parti interessate non siano immediatamente contemplate dalla normativa di riferimento.

Il caso più evidente di utilizzabilità dell'approccio prestazionale è quello delle deroghe, nelle quali la misura di sicurezza alternativa non può essere identificata se non ricorrendo a valutazioni scientifiche, a causa dell'intrinseca impossibilità di stabilire cosa sia alternativo ad una prescrizione che stabilisce un obbligo e non un livello o una prestazione.

È necessario sottolineare, inoltre, che il processo di proliferazione di norme di carattere prescrittivo ha coinvolto tutti i paesi industrializzati, nei quali, si è creata una gabbia sempre più stretta di vincoli poco flessibili. In Italia, i criteri che sono emersi nel corso del tempo dall'applicazione di questa prassi hanno visto una formulazione normativa fin dal 1982 con l'articolo 3 del D.P.R. 577. Pertanto, la soluzione ai problemi di individuazione dei criteri per la valutazione del rischio, sull'organizzazione delle vie di esodo, sulla resistenza al fuoco delle strutture e su tutte le altre questioni che i professionisti si trovano ad affrontare, non derivano da una visione teorica maturata a seguito di studi o sperimentazioni, ma dalla lettura di norme che si sono stratificate nel corso degli anni.

Solo con il 1998 (anno in cui è stato emanato il decreto ministeriale sui criteri generali di sicurezza nei luoghi di lavoro) ha visto la luce, ancora una volta per mano del legislatore, una enunciazione strutturata dei criteri di valutazione del rischio. È bene precisare che questo decreto è stato abrogato dal decreto 3 settembre 2021 - Criteri generali di progettazione, realizzazione ed esercizio della sicurezza antincendio per luoghi di lavoro, ai sensi dell'articolo 46, comma 3, lettera a), punti 1 e 2, del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, norme che, però, ne hanno ripreso l'impostazione di tipo prestazionale.

Come accennato in premessa, nel campo della sicurezza antincendio si distinguono due principali approcci normativi: quello "prescrittivo" e quello "prestazionale". L'approccio prescrittivo si basa su un insieme di norme che definiscono puntualmente le misure da adottare per garantire un livello minimo di sicurezza. Si tratta, in sostanza, di regole che indicano cosa fare in termini

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

concreti e misurabili. Alcuni esempi includono la lunghezza massima consentita per una via di esodo (ad esempio, 30 metri) o la frequenza obbligatoria delle esercitazioni di evacuazione (almeno due volte l'anno).

Al contrario, l'approccio prestazionale si fonda sul concetto di "obiettivo da raggiungere": non è tanto importante seguire una misura specifica, quanto dimostrare che l'edificio o l'attività riescano a garantire determinate prestazioni in condizioni d'emergenza. Un esempio tipico è l'obiettivo secondo cui tutte le persone presenti devono poter abbandonare un compartimento prima che i fumi scendano sotto i 2 metri dal pavimento. In questa prospettiva, le misure di sicurezza non sono precostituite, ma devono essere progettate e verificate per assicurare il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Risulta evidente come l'approccio prestazionale richieda un livello più avanzato di competenze, l'accesso a dati affidabili e l'uso di strumenti di calcolo sofisticati. Proprio la crescente disponibilità di tali strumenti ha alimentato, negli ultimi decenni, un crescente interesse per la disciplina dell'ingegneria della sicurezza antincendio, che fornisce le basi teoriche e metodologiche necessarie per applicarlo in modo efficace.

Sul piano normativo, il primo riconoscimento ufficiale della disciplina si è avuto con un documento collegato alla ormai superata Direttiva sui prodotti da costruzione, in particolare il documento interpretativo relativo al requisito essenziale n. 2 (sicurezza in caso di incendio). Tuttavia, il riconoscimento più rilevante a livello internazionale è giunto con la pubblicazione del rapporto tecnico ISO (sostituito dalla norma ISO 23932-1:2018) – *Fire Safety Engineering,* che ha contribuito a sistematizzare i principi fondamentali e le modalità operative dell'ingegneria antincendio.

Nel tempo, l'evoluzione della disciplina è stata accompagnata dalla nascita di corsi universitari, dalla pubblicazione di articoli scientifici, dagli atti di convegni internazionali e da manuali di riferimento – tra cui spicca l'NFPA Handbook, oggi considerato una delle fonti più autorevoli nel settore.

A livello nazionale, questi sviluppi hanno portato dapprima all'emanazione del Decreto 9 maggio 2007, e successivamente all'introduzione della Sezione M del Codice di prevenzione incendi (Decreto 3 agosto 2015), che rappresenta un importante passo verso l'integrazione dell'approccio prestazionale nel contesto normativo italiano.

È importante sottolineare che l'approccio prestazionale non si pone in contrapposizione con quello prescrittivo. Le norme prescrittive, infatti, hanno il vantaggio di offrire una guida chiara, uniforme e facilmente applicabile, agevolando il controllo da parte delle autorità e semplificando il lavoro dei progettisti. Tuttavia, esse mostrano dei limiti ogniqualvolta le esigenze specifiche di un'opera non rientrano nei casi contemplati dalla normativa. In tali situazioni, come nel caso delle deroghe, l'approccio prestazionale si rivela essenziale. Poiché una prescrizione definisce un obbligo preciso, è impossibile individuare una "misura alternativa" se non attraverso un'analisi tecnico-scientifica in grado di dimostrare che l'obiettivo di sicurezza è comunque raggiunto.

La proliferazione di norme prescrittive è un fenomeno che ha interessato tutti i Paesi industrializzati, contribuendo alla formazione di un sistema normativo spesso rigido e poco flessibile. In Italia, la formalizzazione di questa impostazione risale almeno al D.P.R. 577 del 1982, il cui articolo 3 ha sancito i criteri generali per la sicurezza antincendio. Tuttavia, per lungo tempo, l'individuazione delle misure di sicurezza è derivata più dalla stratificazione delle norme che da un'elaborazione teorica basata su studi o sperimentazioni.

Un cambiamento significativo si è avuto con il Decreto Ministeriale 10 marzo 1998, che ha introdotto – sebbene in forma ancora amministrativa – un primo schema strutturato per la valuta-

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

zione del rischio nei luoghi di lavoro. Questo decreto, successivamente abrogato e sostituito dal Decreto 3 settembre 2021, ha comunque lasciato un'impronta importante, poiché ha anticipato l'impostazione prestazionale oggi riconosciuta dalle norme più recenti.

Sebbene in Italia il sistema di prevenzione incendi si sia storicamente fondato sull'approccio prescrittivo, l'evoluzione della disciplina e la crescente complessità delle esigenze progettuali hanno reso sempre più necessario il ricorso all'approccio prestazionale. L'ingegneria della sicurezza antincendio, con il supporto delle istituzioni e della comunità scientifica, rappresenta oggi lo strumento fondamentale per affrontare in modo consapevole, flessibile e scientificamente fondato le sfide poste dalla progettazione e gestione della sicurezza in caso di incendio.

A partire dagli anni 2000, la disponibilità di dati e di modelli, frutto di una ricerca finanziata appositamente, e la diffusione larga e rapida di strumenti di calcolo automatico, hanno consentito l'espansione di un nuovo approccio alla sicurezza antincendio, nel quale si verifica caso per caso il livello di sicurezza raggiunto con un progetto, simulando le conseguenze di incendi nelle effettive condizioni di utilizzo. La progettazione assistita da questo strumento è, per sua natura, più onerosa. Ciononostante, il metodo si è diffuso perché i suoi vantaggi sono significativi. Esso consente di risparmiare risorse, evitando l'adozione di misure di sicurezza quando si rivelino poco utili e concentrandole dove effettivamente servono. Il caso più evidente di utilizzazione di questo strumento è quello dei beni culturali, dove l'adozione di misure di sicurezza deve essere attentamente calibrata, non solo per l'ovvia necessità di limitare gli oneri inutili, ma soprattutto perché molto spesso tali misure sono invasive e recano al patrimonio storico danni paragonabili a quelli che cercano di evitare.

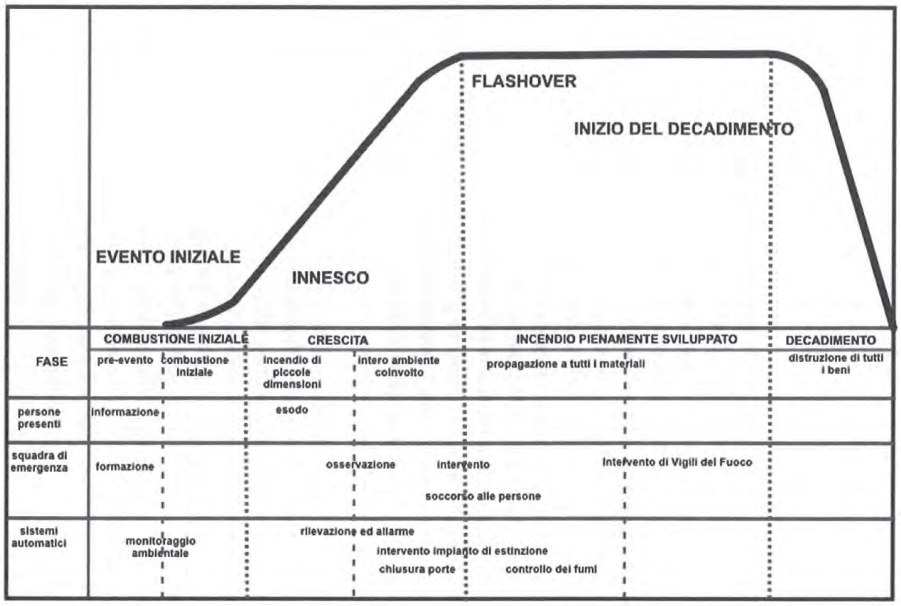
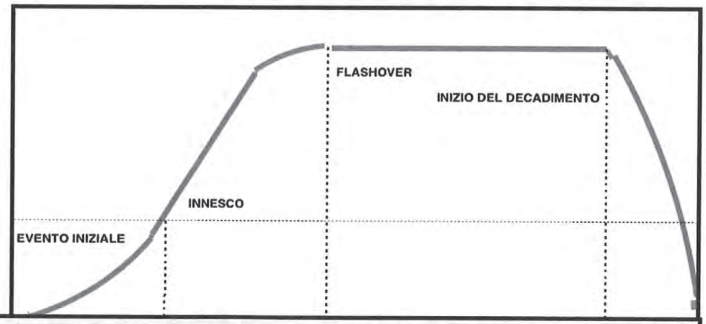


Figura 1.1 – *Le attività delle persone durante l'incendio. La differenza tra l'approccio tradizionale e quello prestazionale può, in un certo senso, essere riassunta in questo grafico ed in quello che segue. Alla curva di incendio standard, infatti, l'approccio prestazionale sostituisce una curva di incendio legata alle specifiche caratteristiche dell'ambiente nel quale si sviluppa la combustione (superficie, altezza, proprietà dei materiali di rivestimento, e di quelli combustibili ecc.). Nota l'evoluzione dell'incendio, è possibile stabilire quali attività possono essere svolte durante l'incendio e i tempi a disposizione delle persone*

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati



FASE	combustione iniziale	crescita	incendio pienamente sviluppato	decadimento
EVENTI	innesco del primo oggetto, produzione di fumo e gas	innesco del primo oggetto, produzione di fumo e gas	i materiali partecipano alla combustione completamente, le temperature superano i 1000 oC	le temperature si abbassano
EFFETTI SULLE PERSONE	l'aria inizia ad essere contaminata	l'aria diventa progressivamente intollerabile fino ad essere letale	l'atmosfera é letale	
EFFETTI SUI MATERIALI	effetti trascurabili	i materiali sono contaminati ed anneriti dal fumo compaiono bolle sulla vernice	le rifiniture sono distrutte, il legno strutturale brucia, la muratura non strutturale cede	gli elementi protetti dall'incendio resistono

Figura 1.2 – *Effetti dell'incendio sulle persone e sui beni. Un'altra prerogativa dell'approccio prestazionale è quella di consentire la previsione degli effetti dell'incendio su persone e beni, non solo in termini qualitativi o generali, ma aderenti alle specifiche caratteristiche dell'ambiente e dei materiali che partecipano alla combustione*

1.2. L'approccio prestazionale ed il quadro normativo italiano

Con l'introduzione del Decreto 9 maggio 2007 e del Decreto 3/8/2015 "Codice di prevenzione incendi" è stata definita la necessaria organizzazione al flusso dei documenti che il professionista produce a corredo della domanda di parere di conformità o di deroga. È importante ricordare che anche prima dell'emanazione del decreto era possibile presentare progetti o deroghe con l'ausilio dell'approccio prestazionale, dato che non esistevano e non esistono tuttora altri approcci in grado di fornire un contributo analogo al miglioramento della sicurezza in caso di incendio.

Figura 1.3 – *Processo schematico della valutazione ingegneristica della sicurezza di un'opera*

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

1.2.1. L'evoluzione dell'approccio prestazionale

L'adozione di criteri prestazionali nella prevenzione incendi non è una novità recente, ma affonda le proprie radici nelle prime forme organizzate di società umana. Infatti, le più antiche disposizioni di sicurezza di cui si abbia traccia erano, per loro natura, basate su un approccio prestazionale [(2)] . È emblematico, in tal senso, il caso dell'imperatore Nerone che, all'indomani del grande incendio di Roma, promulgò norme edilizie finalizzate a prevenire nuovi disastri, ponendo l'accento non tanto sul "come" costruire, quanto sul risultato da garantire: ridurre il rischio di propagazione degli incendi [(3)].

Anche nella normativa moderna non mancano esempi di disposizioni che, invece di definire modalità costruttive o requisiti specifici dei materiali, si concentrano sulle funzioni da assicurare in caso di emergenza. Tuttavia, è solo a partire dagli anni Settanta del Novecento che si può parlare di un vero e proprio salto di paradigma. In quel periodo, il progresso della ricerca scientifica e l'evoluzione delle tecnologie di simulazione hanno reso possibile un approccio sistemico alla sicurezza antincendio. L'edificio ha iniziato a essere considerato non più come una semplice somma di elementi da verificare uno per uno, ma come un sistema integrato, la cui risposta all'incendio deve essere valutata nel suo complesso.

Questa visione organica ha permesso di superare i limiti dell'approccio prescrittivo, che, pur offrendo semplicità e uniformità, rischia spesso di trascurare le specificità del contesto, portando a sottovalutazioni o errori progettuali. Il controllo puntuale dei singoli componenti è rimasto una parte necessaria del processo, ma non è più sufficiente: è la prestazione dell'intero sistema edificio-occupanti che deve essere garantita.

Secondo la letteratura internazionale, il primo tentativo di formalizzazione dell'approccio prestazionale si è avuto nel 1971, durante una conferenza organizzata dalla General Services Administration degli Stati Uniti. Da quel momento, il dibattito tecnico e scientifico ha cominciato a strutturarsi, portando a risultati significativi.

Un passo fondamentale è rappresentato dalla pubblicazione, nel 1985, dello standard NFPA 550, che introduce il concetto di *"fire safety concept tree"*: uno schema analitico che consente di rappresentare graficamente le funzioni di sicurezza antincendio e le relative strategie di controllo. Questo modello ha contribuito a rendere l'approccio prestazionale più comprensibile e applicabile anche in ambito operativo.

Nel 1988, l'NFPA *(National Fire Protection Association)* e la SFPE *(Society of Fire Protection Engineers)* hanno pubblicato la prima edizione dell'*"Handbook of Fire Protection Engineering"*, oggi punto di riferimento imprescindibile per professionisti e ricercatori del settore. Da lì in avanti, si è assistito a una rapida internazionalizzazione del metodo, con il coinvolgimento attivo di numerosi Paesi, tra cui Canada, Nuova Zelanda, Regno Unito e Svezia. A questa fase di intensa produzione tecnico-scientifica è seguita, negli anni Novanta, la pubblicazione del primo importante documento normativo internazionale: il rapporto tecnico ISO TR 13387 – *Fire Safety Engineering*, che rappresenta tuttora il principale riferimento per l'organizzazione sistematica della disciplina (il rapporto tecnico ISO 13387 è stato poi sostituito dalla norma ISO 23932-1:2018).

---

2. Il primo regolamento edilizio di cui sia giunta una trascrizione è quello attribuito al Re Hammurabi (ca 1955 - 1913 a.C.). Nell'obelisco conservato al museo del Louvre l'art. 229 prevede che "*se il costruttore realizza una casa per un uomo e questa crolla ed uccide qualcuno, il costruttore deve essere ucciso*".
3. Cfr Tacito, Annali, 15 "…prescrisse che ciascuno dovesse tenere presso la propria casa quanto potesse servire a spegnere il fuoco…".

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

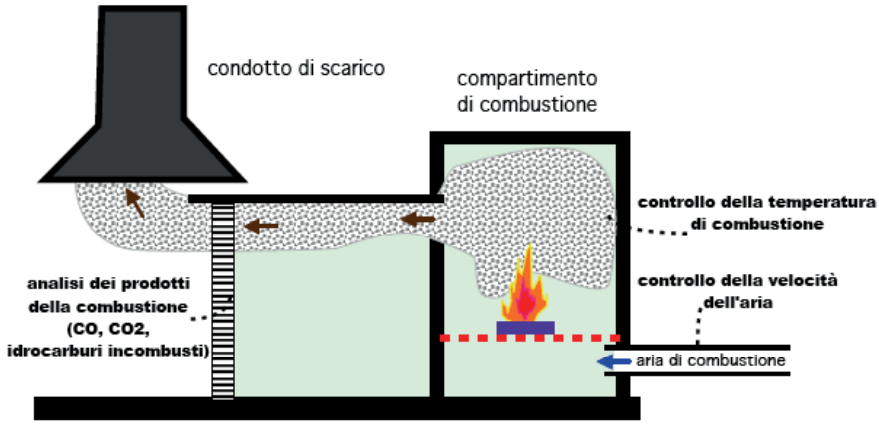


Figura 1.4 – *Schema di apparecchiatura di prova. Uno degli aspetti più importanti da considerare nell'utilizzazione dei dati reperibili in letteratura sul comportamento al fuoco dei materiali riguarda la dipendenza dei valori dalle condizioni di prova. Nell'approccio prestazionale è essenziale che sia documentata l'origine dei valori utilizzati e, possibilmente, che siano note le modalità di prova che hanno condotto alla loro definizione*

1.2.2. Il quadro normativo generale

Il sistema giuridico italiano relativo alla prevenzione incendi ha subito, nel corso degli anni, profonde trasformazioni, sia sotto il profilo procedurale che in termini di armonizzazione con il diritto comunitario e con i principi della moderna gestione del rischio. La prima disciplina organica in materia è rappresentata dalla legge n. 966 del 26 dicembre 1965, che ha posto fine alla frammentazione dei regolamenti comunali, introducendo un impianto normativo unitario e stabilendo obblighi procedurali validi su tutto il territorio nazionale. Tra le innovazioni più rilevanti introdotte dalla legge, vi è l'istituzione del Certificato di Prevenzione Incendi (CPI), destinato alle attività considerate a rischio rilevante. A questa legge ha fatto seguito il D.P.R. n. 577 del 29 luglio 1982, che ha rappresentato un'evoluzione significativa, introducendo l'obbligo di esame preventivo dei progetti per le attività soggette a controllo, nonché una disciplina strutturata per le procedure di deroga, destinate a quei casi in cui non fosse possibile rispettare pienamente le prescrizioni tecniche vigenti.

Un ulteriore e profondo rinnovamento si è registrato a partire dal 1998, in risposta a due esigenze fondamentali: da un lato, l'allineamento con i principi di trasparenza e semplificazione dell'azione amministrativa; dall'altro, l'adeguamento alle direttive europee in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro, che nel frattempo erano entrate a far parte del diritto nazionale. Questo processo di revisione ha portato all'emanazione di tre provvedimenti fondamentali:

– il D.P.R. 12 gennaio 1998, n. 37,
– il Decreto Ministeriale 10 marzo 1998,
– il Decreto Ministeriale 4 maggio 1998.

Questi atti hanno segnato il passaggio da un approccio eminentemente prescrittivo a un'impostazione più attenta alla valutazione del rischio e alla funzionalità delle misure di sicurezza adottate.

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

È importante evidenziare che, nella fase antecedente al 1998, la normativa antincendio si fondava principalmente su una logica procedurale. La legge n. 966/1965 e il D.P.R. 577/1982 avevano introdotto strumenti fondamentali come il CPI e l'esame del progetto, ma non erano del tutto coerenti con l'impostazione che, a partire dal Decreto Legislativo 19 settembre 1994, n. 626, e poi con il D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, avrebbe posto al centro del sistema prevenzionistico il principio della valutazione globale dei rischi.

Con l'adozione di tali decreti, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, già competente in materia di vigilanza antincendio, ha assunto un ruolo ancor più rilevante. A partire dal 1994, infatti, le sue funzioni si sono estese non solo ai controlli tecnici sull'attuazione delle misure di sicurezza, ma anche alla verifica documentale degli adempimenti previsti in materia di prevenzione incendi, contribuendo all'effettiva attuazione dei nuovi principi normativi.

Infine, sin dal D.P.R. 547 del 1955, e attraverso le successive modifiche apportate dal D.Lgs. 626/94, dal D.Lgs. 81/2008 e dal D.Lgs. 106/2009, la legislazione ha continuato a prevedere specifiche misure di sicurezza antincendio. La violazione di tali disposizioni comporta responsabilità penali e costituisce oggetto prioritario dell'attività di vigilanza istituzionale del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Nel contesto tratteggiato si colloca l'emanazione del D.P.R. 151/2011, che ha apportato diverse novità. Questo nuovo regolamento ha in effetti rivoluzionato l'approccio alla sicurezza antincendio, portando una ventata di novità in un sistema che, con il precedente DM 16/02/1982, mostrava evidenti segni di rigidità e complessità procedurale.

Il vecchio sistema, basato su un elenco di 97 attività soggette ai controlli, prevedeva un'unica procedura autorizzativa, indipendentemente dalla complessità dell'attività considerata. Questo significava che, paradossalmente, una piccola autorimessa e un grande ospedale dovevano seguire lo stesso iter procedurale, con evidenti inefficienze nel sistema.

L'innovazione più significativa introdotta dal D.P.R. 151/2011 è stata la suddivisione delle attività in tre categorie, basate sul livello di rischio e complessità. La categoria A comprende le attività più semplici e standardizzate, come le piccole autorimesse fino a 300 metri quadrati o le strutture ricettive con meno di 50 posti letto. Per queste attività, il legislatore ha previsto una procedura semplificata: non serve più la valutazione preventiva del progetto, ed è sufficiente presentare una SCIA per iniziare l'attività.

La categoria B include le attività di media complessità, come le autorimesse tra 300 e 1000 metri quadrati o gli edifici storici di dimensioni significative. In questo caso, è necessaria una valutazione preventiva del progetto, seguita dalla presentazione della SCIA per l'avvio dell'attività. I controlli vengono effettuati a campione entro 60 giorni.

La categoria C, infine, vengono raggruppate le attività più complesse e rischiose, come i grandi alberghi, gli ospedali o le autorimesse di grandi dimensioni. Per queste attività, oltre alla valutazione del progetto e alla SCIA, è previsto un controllo obbligatorio da parte dei Vigili del Fuoco entro 60 giorni dall'avvio dell'attività.

Un aspetto particolarmente rilevante del nuovo regolamento riguarda i tempi di risposta dei Vigili del Fuoco. Il DPR 151 ha introdotto tempistiche definite e vincolanti: 60 giorni per la valutazione del progetto e altrettanti per i controlli nelle categorie B e C.

Il ruolo dei professionisti antincendio è stato significativamente rafforzato dal nuovo regolamento; questi infatti sono chiamati ad assumersi maggiori responsabilità attraverso l'asseverazione della conformità delle opere, la certificazione dei requisiti di prevenzione incendi e la dichiarazione di non aggravio del rischio. Queste responsabilità comportano anche potenziali conseguenze penali in caso di dichiarazioni mendaci o false attestazioni.

Pagine omesse dall’anteprima del volume

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

APPENDICE A

Casi di studio

I casi di studio che seguono sono relativi a varie esperienze svolte, in tempi successivi, nell'ambito dell'ingegneria antincendio.

Lo scopo principale di questa sezione è quello di riportare analisi svolte da professionisti, in modo da poter confrontare differenti approcci e di mostrare come i criteri di fondo esposti nel volume possano essere adattati alle esigenze che si presentano nella pratica professionale.

Alcuni casi riguardano soluzioni progettuali di edifici realmente esistenti, altri studi su problemi diversi, tra i quali un'analisi di validazione dei risultati di software di simulazione numerica, argomento di fondamentale importanza.

In particolare si desidera ringraziare, tutti gli autori dei singoli contributi.

Nei contenuti scaricabili (vedi procedura descritta a pagina 1 di questo volume) sono riportati tutti i casi visualizzabili a colori, alcuni dei quali, anche in forma più estesa.

Disclaimer: i casi di studio riportati costituiscono esempi che provengono da fonti e da paesi diversi e, pur se rappresentativi, non sono necessariamente condivisi dagli autori. Gli stessi non rispondono in alcun modo di utilizzi propri o impropri degli esempi forniti e dei dati in essi contenuti.

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

CASO 1 - Palazzo di Giustizia di Siena - simulazioni d'incendio mediante modello CFD - dimensionamento sistemi di ventilazione meccanica e di evacuazione fumo e calore [1]

A.1.1 Premessa

Lo studio descritto nel seguito si inserisce nel più ampio progetto di adeguamento ed ampliamento del Palazzo di Giustizia di Siena, curato dallo Studio Zacchiroli Architetti Associati: un ringraziamento personale va agli architetti Elena Zacchiroli ed Alessio Naldoni, nonché a tutti i professionisti coinvolti nel progetto, per la disponibilità offerta.

Un ringraziamento va infine al Comune di Siena per la sensibilità dimostrata verso le tematiche di sicurezza e per il contributo tecnico fornito nell'individuazione del corretto percorso progettuale attraverso i metodi prestazionali della ingegneria antincendio.

A.1.2 Sintesi dello studio

L'edificio presso cui ha sede il Palazzo di Giustizia di Siena è oggetto di un esteso progetto di adeguamento ed ampliamento. Nell'ambito del progetto di prevenzione incendi è stata rilevata la criticità rappresentata dalla particolare conformazione della scala prospiciente l'ingresso da Via R. Franci, che collega tutti i piani dell'edificio, inclusi quelli interrati.

La scala in questione è inserita nel percorso d'esodo da predisporre per il corretto deflusso del pubblico e degli operatori dall'interno edificio in caso d'emergenza; tuttavia, a causa dei diversi vincoli architettonici e strutturali esistenti, nei piani fuori terra è sostanzialmente impossibile procedere alla realizzazione della compartimentazione necessaria a conferire alla medesima la caratteristica di scala a prova di fumo, a meno d'interventi estensivi che modificherebbero in modo radicale l'intero assetto progettuale originario.

Lo studio condotto ha permesso la definizione degli interventi impiantistici ed infrastrutturali in materia di sicurezza antincendio volti a conferire alla scala in questione un livello di fruibilità in caso di incendio compatibile con l'esodo in sicurezza.

Tale risultato è stato perseguito analizzando l'andamento dei fumi attesi in vari scenari di incendio permettendo di individuare e verificare l'efficacia dell'effetto prodotto dalla combinazione di un impianto di ventilazione meccanica e di evacuazione fumo e calore statico opportunamente dimensionati per garantire la fruibilità della scala in sicurezza nei tempi previsti di esodo, durante le diverse fasi degli incendi previsti.

In sintesi lo studio prestazionale evidenzia come la scala aperta in questione, in tutti gli scenari di incendio valutati, possa essere considerata libera da fumi e prodotti di combustione entro i limiti dei criteri di accettabilità e sia quindi adeguata ad essere inclusa nel sistema di vie di esodo dell'edificio.

---

1. Autori: Andrea Ferrari – Hughes Associates Europe s.r.l.; Luciano Nigro – Hughes Associates Europe s.r.l.; Gaetano Coppola – Hughes Associates Europe s.r.l.
   Per visualizzare le immagini a colori, e il Caso completo, si vedano i contenuti scaricabili allegati al testo.

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

Lo studio descritto è stato condotto applicando il modello di fluidodinamica computazionale FDS (versione 4) sviluppato dal NIST *(National Institute of Standards & Technologies)*, che consente di simulare numericamente i fenomeni d'incendio e quelli della propagazione dei fumi all'interno degli edifici.

A.1.3 Metodo

A.1.3.1 Generalità

Nel campo della termofluidodinamica, ed in particolare in quello specifico degli incendi, l'esigenza di interpretare e prevedere fenomeni fortemente dinamici comporta la quantificazione nello spazio e nel tempo delle variabili che governano i processi. Le principali metodologie che permettono di ottenere le informazioni desiderate con cui investigare i fenomeni di interesse si riducono essenzialmente a due grandi categorie: la sperimentazione e la modellazione matematica.

Negli ultimi anni, in supporto all'analisi sperimentale, vi è stato lo sviluppo della modellazione matematica di tipo numerico. Infatti, le difficoltà legate alla riproduzione degli scenari in scala reale, dovute a costi ed a danni notevoli, molte volte rendono non applicabili le metodologie di tipo sperimentale. Con la simulazione numerica è possibile valutare l'andamento nel tempo dei valori delle grandezze considerate ai fini dell'analisi nei diversi punti dello spazio, confrontandoli con quelli ritenuti accettabili sulla base di un opportuno criterio prestabilito.

Il metodo utilizzato nello sviluppo dello studio di sicurezza oggetto di questa relazione è consistito nell'applicazione dei criteri di analisi prestazionale antincendio internazionalmente riconosciuti come rispondenti allo stato dell'arte.

È significativo ribadire come sia fondamentale per la corretta applicazione delle metodologie prestazionali dell'ingegneria antincendio, che la presenza di coloro che da più parti hanno titolo per contribuire al progetto (la figura degli *stakeholders*, secondo la felice espressione anglosassone) sia costante in tutte le fasi progettuali. In particolare in questo caso, i Progettisti, i Vigili del Fuoco e la Committenza hanno avuto modo di discutere e condividere gli aspetti fondamentali di progetto, dalla individuazione degli scopi e degli obiettivi progettuali, sino alla definizione dei criteri di accettabilità e degli scenari di incendio in base ai quali valutare il comportamento del sistema.

A.1.3.2 Scopo ed obiettivi

Scopo dello studio è prevedere l'andamento dei fumi in alcuni scenari di incendio rappresentativi delle condizioni connesse alla destinazione d'uso dell'edificio, al fine di individuare e verificare l'efficacia di un impianto di ventilazione meccanica e di evacuazione fumo e calore dimensionati per garantire la fruibilità della scala in sicurezza nei tempi previsti di esodo. A tal fine, l'obiettivo principale dei sistemi previsti è quello di fare in modo che gli occupanti nelle fasi di evacuazione non siano esposti ad effetti dell'incendio tali da pregiudicarne la sicurezza.

A.1.3.3 Criterio prestazionale

Il criterio prestazionale indica le soglie di accettabilità per la visibilità, per la concentrazione dei prodotti di combustione, per la temperatura dei fumi e per i flussi termici che tali grandezze non dovranno superare al fine di ritenere accettabili le condizioni di sicurezza della scala oggetto dell'analisi.

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

La visibilità viene ridotta da un'elevata concentrazione di particolato (sostanza carboniosa) presente nei prodotti di combustione e si percepisce dalla forte riduzione di luminosità nell'ambiente. I prodotti di combustione come la CO_2 e la CO, unitamente ad una riduzione della concentrazione dell'ossigeno, hanno un effetto narcotico sull'uomo. Infine, gli effetti termici possono essere letali poiché, oltre al pericolo dovuto al contatto diretto con le fiamme, anche l'esposizione ad una temperatura troppo elevata può portare alla morte per ipertermia, che avviene quando la temperatura corporea raggiunge i 41°C.

Nella seguente tabella sono riassunti i limiti di accettabilità per la visibilità, per la concentrazione dei gas, per la temperatura dei fumi e per il flusso termico irraggiato a cui si può venire esposti {7}, {8}, {9}.

Tabella A.1.1 – Soglie di accettabilità

SPECIE	SOGLIA DI ACCETTABILITÀ	DESCRIZIONE
Visibilità	10 m	Visibilità per oggetti illuminati da fonti esterne, corrispondente a circa 25 m per sorgenti luminose (es. segnali retroilluminati)
Temperatura	50 °C	In condizioni di umidità relativa inferiore al 50% corrisponde ad un tempo di tollerabilità di 2 ore
Anidride carbonica	0.5 %	Limite di sicurezza per esposizione prolungata (la concentrazione del 3 % induce il raddoppio della frequenza respiratoria)
Monossido di carbonio	500 ppm	Allucinazioni dopo 60-90 minuti (1000 ppm provocano perdita di coscienza in un'ora; 4000 ppm sono letali in 30 minuti)
Ossigeno	15 %	Primi segni di affaticamento
Flusso termico	2.0 kW/m^2	Esposizione tollerabile per tempi pari a diversi minuti (l'esposizione solare raggiunge 1 kW/m^2; 4 kW/m^2 generano bruciature cutanee in tempi brevi)

In generale le grandezze esaminate dovranno mantenersi entro le soglie di accettabilità almeno per il tempo stimato di esodo dall'edificio, convenzionalmente assunto pari a 300 secondi a partire dall'istante in cui avviene la rivelazione d'incendio.

A.1.3.4 Il modello applicato

L'attività di simulazione numerica è stata condotta applicando il modello di fluidodinamica computazionale FDS (versione 4) sviluppato dal NIST.

Fire Dynamics Simulator (FDS) è un modello che risolve numericamente, con il metodo ai volumi finiti, le equazioni che modellano la reazione di combustione ed i fenomeni di trasporto (di energia, di massa e di quantità di moto), tenendo conto dinamicamente delle mutue interazioni tra i processi, simulando in questo modo l'incendio e prevedendone gli effetti. La tecnica di calcolo CFD si basa sulla risoluzione delle equazioni differenziali associate alle condizioni al contorno che caratterizzano il problema dato in un numero finito di volumi dello spazio (o celle) con i quali si è discretizzato il dominio.

FDS contiene un modello di combustione che, a partire da un dato materiale, permette la modellazione dell'incendio secondo una determinata reazione chimica. La dinamica dell'incendio è poi simulata in base ai parametri che caratterizzano ciascun materiale presente nel dominio di simulazione, ciascuno con le proprie caratteristiche termiche e di reazione all'incendio. Il moto

Pagine tratte da www.epc.it - Tutti i diritti riservati

dei fumi generati dalla combustione all'interno del dominio di interesse viene calcolato mediante la risoluzione di una forma delle equazioni di Navier-Stokes appropriata per flussi termici lentamente variabili (Mach inferiore a 0.2). Il modello di turbolenza utilizzato è quello K-e [2] tipico per la modellazione dei fenomeni di questo tipo ed è costituito da un insieme di due equazioni in cui sono calcolate l'energia cinetica della turbolenza (K) e la sua dissipazione (e).

FDS è in grado di fornire come dati di uscita, previo un opportuno *setup* della simulazione in modo che le quantità di interesse vengano effettivamente calcolate e misurate mediante "termocoppie virtuali", i valori di tutte le variabili, scalari e vettoriali, calcolate in ciascuna delle celle del dominio, utili alla comprensione dei fenomeni ed alla analisi degli effetti (concentrazioni delle specie chimiche, distribuzioni delle temperature/pressioni/velocità dei gas/fumi, visibilità, …).

FDS è stato oggetto di numerosi studi di validazione sia interni al NIST sia di enti esterni, pertanto, opportunamente utilizzato, è ritenuto un codice di calcolo di comprovata attendibilità {3}.

A.1.4 Dominio di simulazione

L'attività di simulazione numerica ha richiesto la definizione del dominio di simulazione che, opportunamente suddiviso in un numero finito di volumi di controllo (celle), consente la rappresentazione geometrica tridimensionale del Palazzo di Giustizia.

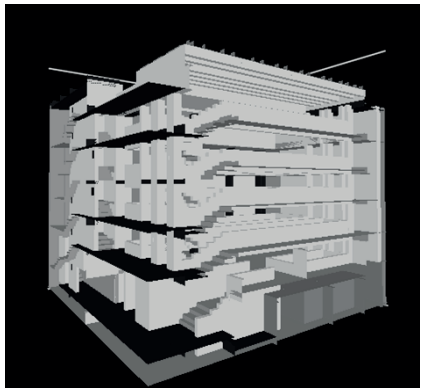


Figura A.1.1 – *Spaccato del dominio di simulazione*

Il dominio di simulazione ha la forma di un parallelepipedo e misura 37.8 × 37.8 × 28.0 m di altezza, in modo da racchiudere la porzione dell'edificio interessata dall'analisi fluidodinamica.

Al fine di verificare ulteriormente l'attendibilità dei risultati forniti dal modello, sono state predisposte due distinte mesh di calcolo, in cui il dominio di simulazione è stato suddiviso rispettivamente nel seguente modo:

– celle cubiche di circa 0.50 m di lato;
– celle cubiche di 0.35 m di lato.

Nel primo caso il dominio risulta composto da 279.936 celle, mentre nel secondo caso da 933.120 celle. Ciò ha permesso di effettuare l'analisi di sensibilità delle previsioni del modello al variare delle dimensioni della griglia di calcolo, a garanzia dei risultati ottenuti.

Tutti i particolari geometrici sono rappresentabili, a seconda dei casi, con una risoluzione di 0.50 m oppure di 0.35 m e sono descrivibili lasciando le celle vuote o mediante l'introduzione di

Pagine omesse dall’anteprima del volume