



Resistenza al fuoco delle strutture

Approccio ingegneristico e prestazionale in conformità con gli Eurocodici, le norme UNI EN e le norme CNR

Roberto Lenzi

Questo volume riempie un vuoto esistente nella letteratura tecnica italiana, nella quale non si trovano analisi a “largo spettro” della resistenza strutturale all’incendio. La materia è stata oggetto di numerosi studi negli ultimi decenni, i quali hanno prodotto una notevole evoluzione dell’impianto normativo, sia a livello comunitario sia a livello nazionale: nuove procedure sono state messe a punto nell’ambito degli Eurocodici strutturali, così come da parte del Consiglio Nazionale delle Ricerche, il tutto sulla base di raccolte di criteri generali stabiliti dalla Commissione europea. Gli stessi metodi sperimentali hanno visto un radicale aggiornamento, non ancora del tutto esaurito. Il volume è rivolto ai progettisti di strutture edilizie che si occupano anche della sicurezza all’incendio; presenta al tecnico una panoramica dei più recenti criteri di verifica, ponendosi quale strumento d’aggiornamento in un settore in gran parte ancora poco noto, integrando in maniera organica la normativa tecnica più recente. Il modello seguito

è quello del “nuovo approccio”, che privilegia l’aspetto prestazionale rispetto all’altro, per così dire tradizionale, basato su prescrizioni “chiuse” e di tipo descrittivo. Il lettore avrà quindi la possibilità di passare ad un nuovo punto di vista della materia, di carattere maggiormente ingegneristico, effettuando una valutazione critica dei problemi, in linea con gli orientamenti normativi tecnici comunitari più moderni.

PREMESSA

I calcoli e le verifiche di resistenza al fuoco rappresentano uno degli aspetti essenziali e di maggior significato della prevenzione incendi, anche se non sempre i protagonisti del processo edilizio hanno piena coscienza di ciò. La salvaguardia della vita umana, obiettivo principale della prevenzione incendi, non può prescindere dalla stabilità strutturale delle costruzioni, intesa non solo come capacità di ritardare il collasso di elementi o porzioni di strutture, ma anche come capacità di contenere la propagazione del fuoco e soprattutto dei suoi effluenti gassosi, senza perdere di vista infine la sicurezza dei soccorritori i quali, per effettuare i salvataggi e procedere all'estinzione dell'incendio, dovranno operare proprio all'interno delle opere edilizie nelle quali il fuoco è attivo. L'ottenimento di prefissate prestazioni di resistenza strutturale all'incendio non rappresenta peraltro un obiettivo da raggiungere, ma si configura quale strumento atto, in concorrenza con altri, al raggiungimento dell'obiettivo dell'assenza di "insicurezza". Esistono senz'altro notevoli competenze nel settore, molte volte però, anche se non solo, limitate all'ambiente universitario, mentre la realtà professionale è caratterizzata ancor oggi da una diffusa tendenza a considerare la certificazione di resistenza al fuoco un fastidioso onere richiesto dai vigili del fuoco, al quale dare una frettolosa risposta mediante confronto con qualche tabella, magari artificiosamente adattata ad una realtà strutturale non propriamente pertinente. Desta meraviglia, in effetti, constatare quanto sia diffusa la tendenza ad avvalersi, anche in maniera distorta, di metodologie largamente superate ed in alcuni casi nemmeno applicabili, associata ad una pressoché totale ignoranza delle tecniche di calcolo e di verifica più recenti. Sicuramente il sistema di controllo pubblico in materia di prevenzione incendi, affidato ai vigili del fuoco, dovrà subire un significativo rivolgimento in futuro, anche in funzione del sempre più ampio ricorso ai metodi ingegneristici di valutazione della sicurezza. L'insieme stesso delle fattispecie soggette al controllo dovrà essere profondamente rivisto, alla luce dei dati statistici sull'effettivo rischio d'incendio presentato dalle varie attività: è illogico, infatti, che i vigili del fuoco debbano controllare una centrale termica della potenza di 150 kW, o un distributore privato di gasolio per autotrazione, mentre non abbiano ufficialmente voce in capitolo in merito alla realizzazione di una grande stazione ferroviaria o d'una galleria stradale lunga alcuni chilometri, solo per citare alcuni casi emblematici. La concezione probabilistica della sicurezza fa comprendere come non sia tecnicamente ed economicamente possibile addivenire ad un rischio nullo: nessuno potrà mai garantire totalmente che non si verificheranno incidenti, pertanto gli scenari incidentali andranno



studiati e "misurati", più che allontanati con eccessiva facilità e con frasi del tipo "non deve succedere". Maggiore importanza dovrà essere riconosciuta a quei liberi professionisti che hanno ottenuto l'abilitazione alla certificazione antincendio, la cosiddetta "abilitazione 818", dando loro la possibilità di certificare direttamente il livello di sicurezza raggiunto, almeno in determinati casi. Lo stesso "Certificato di prevenzione incendi", rilasciato dai vigili del fuoco a seguito d'un sopralluogo meramente macroscopico e visivo, nonché sulla base di certificazioni prodotte da liberi professionisti, appare anacronistico in relazione alle moderne tendenze in materia d'analisi della sicurezza; esso fotografa semplicemente una situazione riscontrata in un determinato momento, senza peraltro dare giudizi sul livello di sicurezza raggiunto. È principalmente un atto di buon senso, rivolto però ad un mondo dove il buon senso è sempre meno importante ed apprezzato. La Pubblica Amministrazione dovrà fissare le strategie, gli obiettivi fondamentali, e limitarsi al controllo del loro perseguimento, abbandonando il concetto della verifica capillare e puntuale. Se anche nel nostro Paese si riuscirà a compiere il salto, per nulla facile ma necessario, dal sistema delle norme prescrittive a quello della vera e propria progettazione antincendio su modelli rappresentativi delle singole realtà, si perderà certo il comodo supporto della regola che dice cosa fare e dove farlo, regola facilitante il lavoro sia del libero professionista sia del tecnico addetto al controllo, però si perseguiranno in maggior misura obiettivi d'efficienza e si daranno risposte più pertinenti ai casi specifici. D'altronde la regola tecnica che fissa i numeretti serve a chi non sa la prevenzione incendi: chi conosce la materia non ha bisogno che sia precisato cosa fare ed è perfettamente in grado di sviluppare approcci metodologicamente corretti. Ciò non vuol dire che i vigili del fuoco perderanno il loro ruolo all'interno del rinnovato sistema, vuol dire invece che essi saranno sospinti a rivedere radicalmente i loro modi d'azione ed il loro approccio culturale, ripensando anche l'organizzazione della propria struttura, per molti versi ancora legata a modelli del passato e non più in linea con i tempi. Il filosofo della scienza statunitense Thomas Kuhn, nella propria teoria epistemologica sostiene che il progresso scientifico non avanza per evoluzione continua, bensì attraverso salti improvvisi, i quali determinano un radicale mutamento della maniera di pensare; nel nostro piccolo credo sia giunto il momento di saltare. Uno dei settori nei quali i vigili del fuoco dovrebbero assumere un maggior impegno è quello della ricerca applicata (termine quasi sconosciuto nel nostro Paese), in collaborazione con i laboratori riconosciuti e magari restituendo dignità ed operatività ai laboratori delle Capannelle in Roma, i quali dovrebbero rivestire il ruolo di guida e innovazione, perdendo quello di semplici accettatori di commesse in concorrenza con gli organismi notificati privati. Sia chiaro che la sicurezza antincendi non è fatta dai vigili del fuoco, ma piuttosto dal professionista, il quale studia ed analizza il problema progettuale ed adotta gli strumenti, tecnici e tecnologici, per otte-

nere un sufficiente livello di sicurezza; il vigile del fuoco interverrà, con la propria preparazione specifica ed esperienza, allo scopo d'evitare sbandamenti rispetto alla regola tecnica ed ai criteri generali. Sarà però sempre il vigile del fuoco il tecnico della Pubblica amministrazione meglio titolato e preparato ad occuparsi della complessa e difficile materia: egli, infatti, possiede il valore aggiunto dell'esperienza operativa interventistica. Dirigere in prima persona le operazioni di soccorso e, in special modo, quelle d'estinzione degli incendi, permette d'accumulare una preziosissima esperienza riguardante l'evoluzione reale del fenomeno e dei suoi effetti sui fabbricati.

Nella pratica professionale, peraltro, si riscontra una scarsa propensione dei progettisti a mantenersi aggiornati in materia: sovente essi si limitano ad applicare metodologie apprese una volta per tutte, non di rado superate cronologicamente e tecnicamente. Mancando l'interlocutore preparato, il tecnico dei vigili del fuoco diventa perciò un consulente al quale rivolgersi per dirimere dubbi ed ottenere informazioni; si crea così una situazione anomala, nella quale l'organo di vigilanza è anche ufficio di consulenza professionale (gratuita!), ma ciò si concreta ormai in una prassi consolidata, imposta per così dire dal mercato stesso. I tentativi, effettuati nel nostro Paese, di svincolare la prevenzione incendi dai vigili del fuoco e affidarla ad altri settori della Pubblica amministrazione, o addirittura di esternalizzarla completamente ai privati, si sono rivelati sostanzialmente un fallimento. D'altronde, la sicurezza antincendi è considerata, in tutta la Comunità europea, un obiettivo di primaria importanza, al quale gli Stati membri devono dedicare la necessaria attenzione, fissando adeguate strategie e mantenendo un controllo, sia pure diverso da quello oggi esistente in Italia, per citare un esempio, ma senza cedere a prospettive d'abdicazione. È auspicabile che l'attuazione della sussidiarietà verticale verso gli Enti territoriali minori non inneschi spinte euroscettiche e posizioni feudali sorrette dall'ignoranza o dalla malafede, ma che si rimanga nel solco tracciato, pur tra grandi difficoltà, dalla Comunità.

In tema di resistenza al fuoco, non si trovano in Italia molte pubblicazioni che ne trattino in maniera organica: molto spesso si accenna ai soli aspetti fondamentali, se ne dà una visione, per così dire, "in pillole", solitamente all'interno di testi aventi carattere più generale. Si è ritenuto perciò utile raggrupparne i concetti fondamentali in un testo d'impronta non certo trattatistica, ma piuttosto introduttiva; non s'intendono qui fornire elementi di tipo manualistico per la progettazione strutturale in condizioni d'incendio, bensì una panoramica dei concetti di base della materia, una sorta di lettura tecnica per il progettista che, in seguito, si cimenterà nel calcolo di resistenza al fuoco. Non tutto ciò che sarà presentato si presta ad un'applicazione immediata nella pratica progettuale e costruttiva: alcuni obiettivi sono formulabili solo a lungo termine e richiederanno studio ed applicazione; per ora è sufficiente indicare la direzione da percorrere. In ogni caso, la lettura del testo non richiede particolari competenze



nella prevenzione incendi: tutti i termini utilizzati sono spiegati, per questo anche il profano potrà utilmente avvicinarsi a questa materia, per poi eventualmente approfondirla nella pratica professionale.

Avvertenza.

Nel testo sono riportate numerose tabelle, tratte dalle varie norme che vengono via via illustrate: esse sono qui presentate con l'unico scopo di permettere al lettore un loro confronto, così da poterne apprezzare le differenze, l'evoluzione tecnica, averne quindi un'idea della "filosofia", se così si può dire. L'uso delle tabelle implica necessariamente la conoscenza e la comprensione dell'istruzione tecnica di riferimento, perciò la presente pubblicazione non può in nessun caso sostituire le norme, né essere utilizzata direttamente per il calcolo o la verifica di resistenza al fuoco d'elementi strutturali.

INTRODUZIONE ALLA RESISTENZA AL FUOCO DEI SISTEMI STRUTTURALI



1.1 Aspetti tecnologici generali

Il termine specifico resistenza al fuoco rientra nella definizione più ampia del comportamento al fuoco, ossia l'insieme di trasformazioni fisiche e chimiche d'un materiale o d'un elemento da costruzione sottoposto all'azione del fuoco, come indicato dal decreto del Ministro dell'interno 30/11/1983, "Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi"¹. Si tratta perciò, come si può facilmente intuire, d'un argomento strettamente correlato al processo edilizio ed alla qualità edilizia, più particolarmente all'attività di gestione della qualità all'interno del processo edilizio. La terminologia adottata nel presente lavoro sarà perciò desunta direttamente, per quanto concerne lo specifico settore, dalle norme UNI della serie Edilizia, nonché da altre norme d'ambito, principalmente di rilievo europeo; l'importante è stabilire un vocabolario tecnico comune il quale permetta di colloquiare senza ambiguità².

La resistenza strutturale all'incendio rappresenta una delle strategie attraverso le quali si perviene ad un risultato globale di sicurezza all'incendio; il problema della sicurezza richiede un'analisi di svariati fattori, che devono essere considerati nei loro aspetti peculiari ma anche in modo integrato e generale, così da giungere ad esiti equilibrati e coerenti.

Dal punto di vista sistemico, si deve subito precisare che la resistenza al fuo-

1. La prevenzione incendi è una materia di rilevanza interdisciplinare, nel cui ambito vengono promossi, studiati, predisposti e sperimentati misure, provvedimenti, accorgimenti e modi d'azione intesi ad evitare, secondo le disposizioni emanate dagli organi competenti, l'insorgenza d'un incendio ed a limitarne le conseguenze (D.P.R. 29/07/1992 n. 577).

2. Si segnala la pubblicazione della norma EN ISO 13943 "Fire safety – Vocabulary", la quale costituirà una base lessicale comune per i Paesi comunitari; si attende la sua traduzione da parte dell'UNI.

co, esplicandosi relativamente ad elementi e sistemi portanti e/o di compartimentazione³, trova applicazione all'interno del settore dei sistemi tecnologici⁴ e solo questo è il campo che le compete; è possibile circoscrivere ulteriormente il suo ambito, restringendolo ai subsistemi tecnologici strutturali, di chiusura e di partizione. Preme chiarire immediatamente, perché esiste ancora una certa confusione in proposito, che il concetto di *reazione al fuoco*⁵ in nulla attiene ai sistemi tecnologici, ma è riservato solamente ai materiali di rivestimento e d'arredo⁶: esso è legato a problemi di propagazione dell'incendio e d'esodo degli occupanti, però è del tutto disgiunto dalle analisi di resistenza strutturale al fuoco riferite ai subsistemi di cui sopra. Difatti, la regolamentazione tecnica antincendi moderna svincola totalmente ciò che è richiesto a strutture⁷ e compartimentazioni in termini di resistenza al fuoco dalle caratteristiche del materiale costituente e dalla sua eventuale incombustibilità. Quest'ultima non è per nulla richiesta al sistema strutturale⁸, potendosi infatti, ad esempio, utilizzare il legno; qualche eccezione si può rilevare relativamente a subsistemi tecnologici a servizio d'impianti particolari. Un'integrazione delle prestazioni di resistenza e reazione al fuoco si riscontra invece in quegli elementi tecnici⁹ realizzati mediante assemblaggio all'origine di più strati funzionali, ad esempio partizioni interne verticali costituite da struttura di sostegno, pannelli isolanti e lastre di contenimento esterne, oppure protezioni di strutture, sia verticali sia orizzontali, costituite da materiali compositi, che spesso sono anche termofonoisolanti e fonoassorbenti; si tratta di un'integrazione tra subsistema tecnologico e rivestimento, in forza alla quale il secondo collabora attivamente con il primo e quindi la caratteristica del materiale, in termini di comportamento al fuoco, non può essere disgiunta dalla caratteristica dell'elemento tecnico.

Le applicazioni degli studi di resistenza al fuoco non sono peraltro limitate

3. *Delimitazione delle parti d'un edificio ottenuta per mezzo d'elementi costruttivi di resistenza al fuoco predeterminata, costituenti barriera contro il fuoco ed il fumo; allo scopo d'evitare che l'incendio assuma proporzioni intollerabili e impedire la propagazione incontrollata del fumo, i perimetri di tali parti sono progettati per resistere all'azione del fuoco per un determinato periodo di tempo. La tenuta della compartimentazione si fonda sulla stabilità complessiva della struttura principale. Gli elementi tecnici, anche quando non collaborano alla stabilità strutturale dell'edificio, non devono causare danni agli utenti in caso d'incendio. L'Eurocodice 1, "Basi di calcolo ed azioni sulle strutture", definisce il compartimento antincendio come lo spazio d'un edificio, comprendente uno o più piani, delimitato da elementi separanti in modo tale che la diffusione del fuoco oltre il compartimento è ostacolata durante la prevista esposizione al fuoco.*

4. *Insieme strutturato di unità tecnologiche e/o di elementi tecnici definiti nei loro requisiti tecnologici e nelle loro specificazioni di prestazione tecnologica (UNI 10838). Il concetto di sistema implica un'interdipendenza tra gli elementi che lo costituiscono, l'esistenza d'una finalità riconoscibile, la presenza manifesta di elementi d'organizzazione.*

al settore edile, ma investono anche i settori aeronautico, navale, ferroviario, automobilistico; ad ogni modo, saranno qui discussi solo i problemi riguardanti l'edilizia.

Il problema deve essere affrontato, nei suoi aspetti tecnologici, in termini esigenziali-prestazionali, secondo i moderni orientamenti normativi e tecnici, nel quadro del più generale processo edilizio, sia si tratti di nuove realizzazioni, sia si tratti d'interventi sul costruito. Anche il raggiungimento d'un risultato prefissato in termini di resistenza strutturale all'incendio è perseguito in maniera più efficiente quando è gestito come un processo; passare da un concetto di *efficacia*¹⁰ ad un concetto di *efficienza*¹¹ in questo campo richiede un'evoluzione culturale ed un approccio ancora di là da venire, almeno nella generalità dei casi. Ciò è dovuto a molteplici fattori, tra i quali possiamo enumerare, a titolo d'esempio, la scarsa propensione dei progettisti a pensare in termini di qualità e di processo tecnico-economico, la ritrosia di gran parte della committenza ad accettare la trasformazione delle strutture produttive di progetto preferendo approcci tradizionali, l'ancora scarsa interazione tra varie funzioni quali normazione, produzione, mercato, gestione, in altri termini la mancanza d'una struttura operativa e decisionale guidata da criteri razionali di scelta e di controllo.

5. *Grado di partecipazione d'un materiale combustibile al fuoco al quale è sottoposto. Sono definite sei classi, da 0 a 5, con prestazioni peggiori all'aumentare dell'indice:*

- classe 0: incombustibile
- classe 1: non infiammabile
- classe 2: difficilmente infiammabile
- classe 3: mediamente infiammabile
- classe 4: facilmente infiammabile
- classe 5: altamente infiammabile

La classe di reazione al fuoco è attribuita mediante le procedure e prove di laboratorio indicate nel D.M. 26/06/1984 "Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi" e successive modificazioni ed integrazioni. A materassi e mobili imbottiti è attribuita una classe seguita dal simbolo IM (ad esempio, classe 1 IM).

La Decisione della Commissione 2000/147/CE di data 08/02/2000 classifica la reazione al fuoco dei prodotti da costruzione in sette "Euroclassi":

- A1: nessun contributo allo sviluppo dell'incendio. Nessun pericolo derivante da fumi
- A2: nessun contributo significativo allo sviluppo dell'incendio
- B: contributo molto limitato allo sviluppo dell'incendio
- C: contributo limitato allo sviluppo dell'incendio
- D: Contributo al flashover
- E: Grande contributo al flashover
- F: nessuna prestazione determinata

I prodotti devono essere classificati in base alla loro reazione all'azione dell'incendio quando le condizioni d'uso finale sono tali da contribuire alla generazione ed alla propagazione del fuoco e del fumo all'interno del locale d'origine, oppure in un'area definita. La Decisione specifica le norme contenenti i metodi di prova.

6. *Componente (o componenti variamente associati) che può (o possono) partecipare alla combustione in dipendenza della propria natura chimica e delle effettive condizioni di messa in opera per l'utilizzazione (UNI CNVVF 9177).*



Come per tutti i processi tecnologici, individuato un contesto, acquisita l'informazione tecnica necessaria, si passa a definire la qualità¹² degli elementi costruttivi e mediante uno studio di gestione della qualità si perviene alla progettazione tecnologica degli elementi medesimi. Devono essere presi in considerazione, pertanto, le diverse fasi del processo, le attività, i flussi decisionali, le metodologie, le informazioni, i materiali, le risorse a disposizione. Fondamentale sarebbe comprendere come ogni figura che appare nel processo incida sul risultato complessivo. Voler assumere la gestione della qualità come elemento fondante della progettazione strutturale, quindi anche della progettazione strutturale all'incendio, significa accettare che le fasi d'esecuzione e di realizzazione del manufatto rientrino nel dominio dell'attività progettuale¹³. In taluni casi la provvista d'interi sistemi o di singole parti di essi è affidata ad aziende produttrici d'elementi prefabbricati, le quali provvedono alla sola fornitura o anche al montaggio "chiavi in mano" del loro prodotto in cantiere; queste aziende sono dotate, in genere, di uffici tecnici qualificati per lo studio e la progettazione delle strutture da fornire, i quali si trovano nelle condizioni d'effettuare anche un calcolo di resistenza al fuoco. Le tecnologie industrializzate portano con sé la tendenza a spostare la ricerca specialistica di soluzioni verso la fase di produzione. Ciò può costituire un utile ausilio al coordinatore del processo progettuale, purché siano correttamente individuati e resi noti i presupposti sui quali fondare il calcolo medesimo. È possibile, altresì, reperire sul mercato singoli elementi tecnici accompagnati da una certificazione di resistenza al fuoco rilasciata da un laboratorio autorizzato (organismo notificato), il quale ha effettuato prove sperimentali impiegando procedimenti normalizzati.

7. *Combinazione organizzata di parti connesse progettate per fornire qualche misura di rigidità (Eurocodice 1).*

8. *Elementi portanti d'un edificio o di un'opera d'ingegneria civile ed il modo in cui questi elementi collaborano insieme (Eurocodice 1).*

9. *Prodotti che rispondono in maniera complessiva o parziale alle funzioni dell'unità tecnologica.*

10. *Capacità di produrre l'effetto ed i risultati voluti.*

11. *Ottimizzazione del rapporto tra risultati conseguiti e risorse impiegate.*

12. *La qualità edilizia riguarda molteplici aspetti, non solo propriamente tecnologici ma anche ambientali, funzionali-spaziali ed altri ancora, nel complesso concorrenti a soddisfare le esigenze poste a base del processo.*

13. *Si tratta di qualità procedurale, ossia corretta sequenza di rapporti tra gli operatori d'un processo edilizio, tesa ad assicurare la corrispondenza delle procedure alle esigenze dell'utenza, espresse dal requisito dell'impiego ottimale delle risorse.*

1.2 Esigenze, requisiti, prestazioni

Qualsiasi processo edilizio prende le mosse da un'esigenza, ossia da ciò che viene richiesto da parte della committenza per il corretto svolgimento d'una attività o d'una funzione tecnologica. L'esigenza deve poi essere tradotta in fattori, i quali permettano d'individuare i termini di soddisfacimento in determinate condizioni d'uso; questi fattori sono chiamati *requisiti*¹⁴. In altre parole, il requisito rappresenta la trasposizione a livello tecnico d'una esigenza, cioè in un insieme di caratteri che la connotano; l'analisi delle esigenze, tenuto conto dei fattori ambientali ed economici che condizionano il processo edilizio, costituisce pertanto la fase iniziale del processo stesso. La norma¹⁵ individua una serie d'esigenze, peraltro non esaustiva e quindi aperta a nuove definizioni, raggruppate in classi: la classe che qui interessa, dal punto di vista di questo lavoro, è definita *Sicurezza*¹⁶, pur ricordando che essa viene ad integrarsi fortemente con raggruppamenti differenti.

La definizione dei requisiti si ricava dal riconoscimento che un sistema tecnologico, per soddisfare alle esigenze, deve resistere, in virtù delle proprie caratteristiche, ad alcuni agenti¹⁷ i quali tendono ad impedire o limitare il soddisfacimento delle esigenze stesse. La UNI 8290 parte 3^a considera gli agenti come esplicitazione a livello tecnico dei sistemi di sollecitazioni esercitate sugli oggetti edilizi dalle condizioni ambientali, dalle scelte progettuali e dalle attività degli utenti; tra i gruppi d'agenti viene indicato espressamente il fuoco.

La resistenza al fuoco viene pertanto a delinarsi proprio come requisito, nel senso che dall'esigenza sicurezza si possono derivare serie logiche di caratteri tecnici, tra i quali è possibile isolare quelli connessi con la conservazione durante l'evento incendio, entro limiti determinati e durante un intervallo di tempo determinato, le prestazioni fornite dal sistema o subsistema tecnologico, o anche dal singolo elemento tecnico.

Ecco allora che dal requisito si passa a considerare ciò che il sistema tecnologico¹⁸ è in grado di garantire, in altri termini il suo comportamento in con-

14. UNI 10838.

15. UNI 8289.

16. *Insieme delle condizioni relative alla incolumità degli utenti, nonché alla difesa e prevenzione di danni in dipendenza da fattori accidentali, nell'esercizio del sistema edilizio (UNI 8289).*

17. *Entità che provocano un determinato effetto mediante la propria azione (UNI 8290 parte 3^a); possono essere naturali, artificiali, dovuti alla concezione degli edifici o alla loro utilizzazione.*

18. *D'ora in avanti, con il termine sistema tecnologico saranno indicati genericamente anche subsistemi ed elementi tecnici, ove non diversamente specificato.*



dizioni determinate d'uso e di sollecitazione: quello che il sistema garantisce, il suo comportamento in servizio nelle condizioni previste viene chiamato *prestazione*.

Per semplificare il discorso, una volta accertato (a seguito d'analisi o per imposizione regolamentare) che il committente ha individuato l'esigenza della sicurezza, in particolare della sicurezza all'incendio, si definiscono alcuni requisiti del sistema tecnologico, tra i quali quello della resistenza al fuoco. Si procede quindi alla progettazione del sistema in maniera che offra prestazioni adeguate alle richieste, ovvero rispondenti alle specifiche di prestazione tecnologica imposte, quindi ai valori adottati per definire proprio la risposta progettuale. Il successo dell'attività progettuale si estrinseca perciò, tra l'altro, nella *conformità*, nella rispondenza ai requisiti specificati.

È bene precisare però che, in senso più ampio, la resistenza al fuoco dei sistemi strutturali sarà qui trattata come una vera e propria disciplina, ancorché in forma introduttiva, perciò il termine così definito assumerà un significato meno *tecnologico*, se così si può dire, e più tecnico.

Trattando di esigenze, requisiti e prestazioni è opportuno, peraltro, ampliare il campo d'indagine e di studio sostituendo al concetto di committenza quello d'utenza: ciò non è fatto di poco conto, se si pensa che le aspettative di chi commissiona l'opera possono differire notevolmente, ed essere non di rado in conflitto, rispetto alle aspettative dei fruitori effettivi, anche intermedi, del bene. La generalizzazione del concetto giunge, in materia di sicurezza all'incendio, a considerare le esigenze di sicurezza delle squadre di soccorso¹⁹, fatto questo che sfugge, quasi invariabilmente, al committente; quest'ultimo s'avvicina un po' di più, oggi, ai problemi legati alla sicurezza, nello specifico riguardante il lavoro nei cantieri edili, dopo l'emanazione della normativa sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei e mobili (D.Lgs. 14/08/1996 n. 494 e successive modificazioni ed integrazioni), la quale impone alcuni obblighi e responsabilità a carico dello stesso committente.

In ogni caso, bisogna riconoscere che una determinazione delle specificazioni di prestazione non è cosa semplice, in quanto impone la ricerca e l'individuazione di parametri tali da permettere la trasposizione dei requisiti in termini misurabili (ossia la loro specificazione quantitativa), idonei alla successiva appli-

¹⁹ La normativa comunitaria indica la necessità di prevedere dei sistemi che permettano agli occupanti d'evacuare un edificio e che consentano alle squadre di soccorso di potervi accedere per i seguenti fini:

- consentire agli occupanti che si trovano in un punto qualsiasi dell'edificio di mettersi in salvo;
- permettere alle squadre di soccorso d'accedere all'edificio, di esplorare il suo interno e d'uscirne.

cazione del controllo di qualità; in più, è necessario interpretare correttamente le esigenze manifestate dalla committenza, esigenze che conducono, come detto in precedenza, all'espressione dei requisiti. L'individuazione dei parametri di natura tecnologica deve essere seguita, di necessità, anche da una loro verifica nei confronti dei rimanenti aspetti, ambientali e funzionali-spaziali, nonché di fattibilità. Ancora, quindi, si tratta d'un problema d'ottimizzazione di funzione su valori ambientali, tecnologici, produttivi, economici; un aspetto rilevante di ciò è costituito dalla limitazione dei costi d'esercizio, aspetto questo che può risultare più ragguardevole di quanto possa apparire a prima vista, trattando di resistenza strutturale al fuoco. La soluzione progettuale sarà condizionata non solo da funzioni e requisiti per così dire principali e maggiormente "visibili", ma anche dai secondari, quali ad esempio semplicità esecutiva, non danneggiabilità, resistenza alle vibrazioni eccetera.



1.3 Qualità in termini di prestazioni di resistenza al fuoco

L'approccio esigenziale-prestazionale al problema è strettamente correlato alla ricerca di soluzioni progettuali atte ad aumentare, rispetto ad approcci e metodologie tradizionali, la qualità delle costruzioni e la loro risposta in termini prestazionali anche negli ambiti della sicurezza, della durabilità, della manutenibilità eccetera. Obiettivo di fondo è la qualità globale delle costruzioni, ottenuta attraverso una progettazione che può elencare, tra i requisiti fondamentali, quello della resistenza al fuoco. Il vantaggio di tale tipo d'approccio sta nell'orientare le procedure progettuali verso l'analisi dei problemi e la sistematica verifica dei risultati ottenuti, anche mediante la sperimentazione. La verifica prestazionale, schematicamente, misura un livello di qualità Q , nel caso che interessa circoscritto alla resistenza al fuoco, mediante un rapporto tra prestazioni P e requisiti R : nel caso in cui si abbia $Q = P/R < 1$ la verifica qualitativa non è soddisfatta; ove $Q = P/R = 1$ esiste una corrispondenza perfetta tra prestazioni e requisiti, si è raggiunta l'ottimizzazione del sistema, almeno dal punto di vista qualitativo; se invece $Q = P/R > 1$ sussiste una ridondanza nelle prestazioni, non necessariamente negativa, ma la cui misura e convenienza dev'essere oggetto di attenta verifica.

È un settore, questo, tipico della cosiddetta *politica tecnologica*, la quale ha per oggetto l'insieme di scienze applicate collegate alla trasformazione ed agli assemblaggi di prodotti e componenti, in vista dell'ottenimento di sistemi edilizi. Di trasformazione si può parlare, infatti, anche nel settore della progettazione, la quale può essere vista come processo di trasformazione che,

prendendo le mosse da informazioni e conoscenze, giunge alla definizione d'un modello, vale a dire alla prefigurazione d'un prodotto o d'un sistema.

Una politica per la qualità deve fissare formalmente obiettivi ed indirizzi generali, i quali saranno perseguiti mediante un'appropriata attività progettuale (servizio), ma anche di ricerca e di fabbricazione (prodotto); servizio e prodotto, all'interno del processo edilizio, concorreranno insieme, quindi, al raggiungimento dell'obiettivo qualità. Il raggiungimento dell'obiettivo, ovvero la ragionevole presunzione che siano soddisfatti i requisiti, verrà garantito alla committenza attraverso un'assicurazione della qualità del servizio, per esempio mediante certificazione di qualità del soggetto progettista e del soggetto costruttore, come attraverso dichiarazioni²⁰ e certificazioni di conformità²¹ dei prodotti. Ma la qualità globale, ciò che l'utente percepisce, discende non tanto da un sommarsi di caratteristiche e qualità singole, quanto piuttosto dal funzionamento come sistema di tutti i componenti e requisiti funzionali, tra i quali figura la sicurezza antincendio. La politica per la qualità dovrebbe avvalersi in misura rilevante delle ricerche sul comportamento in esercizio dei sistemi realizzati, prevedendo anche l'analisi delle strutture che hanno subito l'evento incendio; non è certamente un compito facile, essendo innanzi tutto problematico giungere ad una rappresentazione quantitativa delle sollecitazioni termiche e meccaniche generate dall'incendio realmente verificatosi, e non esistendo oggi un organismo di ricerca orientato a tale problema. Gli unici studi esistenti in materia sono stati effettuati, per lo più da laboratori privati, con lo scopo di determinare il danno patito da singoli elementi strutturali²², al fine di prevedere idonei interventi di ripristino e la relativa spesa. Sono necessarie, in questi casi, prove di carico statiche e dinamiche per delineare la risposta della struttura nella sua completezza, in aggiunta ad indagini di carattere localizzato. È indubbio però che, se si riuscisse a studiare la risposta effettiva dei sistemi in esercizio, si darebbero giudizi realistici in tema di durabilità ed affidabilità, verificando nel contempo il livello di successo delle scelte tecnologiche adottate, successo che discende principalmente dal modo in cui i singoli elementi tecnici interagiscono tra loro costituendo il sistema, evidenziando con ciò la grande importanza della concezione tecnologica; valga l'esempio dei collegamenti, i quali durante l'incendio possono divenire nodi critici in grado di rendere labili

20. La dichiarazione di conformità è rilasciata dal produttore sotto la propria responsabilità e assicura che un determinato prodotto o servizio è conforme ad una norma, o ad altra specificazione tecnica, o ad un prototipo ritenuto idoneo.

21. La certificazione di conformità è un atto mediante il quale un organismo riconosciuto ed indipendente attesta, con ragionevole attendibilità, che un prodotto o servizio è conforme ad una norma, o ad altra specificazione tecnica, o ad un prototipo ritenuto idoneo.

22. Elementi portanti d'una struttura, inclusi gli elementi d'irrigidimento (Eurocodice 1).

sistemi costituiti da elementi di per sé capaci di prestazioni molto elevate. L'effetto sistema, invero, può essere valutato come somma dei comportamenti dei singoli elementi solo se è noto come essi sono interdipendenti; si tratta, ancora una volta, d'una evoluzione di pensiero, per passare da un approccio per componenti ad un approccio per sistemi. Nel settore della prefabbricazione e dell'industrializzazione edilizia la verifica delle interconnessioni e dei completamenti tra subsistemi strutturale, di partizione e di chiusura²³ occupa senz'altro una posizione di primo piano all'interno del processo progettuale, ma la verifica tecnologica e di stabilità non è quasi mai pensata in termini d'affidabilità durante l'incendio. La definizione del modello struttura-collegamenti-completamenti deve investire, anche in termini di resistenza al fuoco quando ciò sia richiesto da una regola tecnica o da un'analisi di rischio, le questioni di stabilità dell'orditura portante, di collaborazione alla stabilità globale della stessa orditura portante da parte dei collegamenti orizzontali e verticali, di compatibilità dimensionale e funzionale tra elementi strutturali e di completamento, anche in relazione a problemi di compartimentazione antincendio²⁴. Il tutto assumendo, naturalmente, che sia conseguito un appropriato livello di sicurezza nell'esecuzione. La ricerca e l'individuazione del punto debole è un problema ben noto ai progettisti di strutture (e non solo, essendo tipico di qualsiasi sistema, anche organizzativo), ma che non gode ancora di sufficiente attenzione in materia di resistenza al fuoco. L'approccio metodologico è caratterizzato dalla ricerca d'una strutturazione ottimizzata. La scelta delle soluzioni è certamente difficile e di solito procede per approssimazioni successive; conoscendo la situazione da cui si prendono le mosse ed i condizionamenti agenti, analizzando il percorso da effettuare, definendo le mete da raggiungere, cercando quindi d'avere un quadro il più possibile chiaro, si possono passare in rassegna le soluzioni strutturali adottabili anche in funzione della resistenza al fuoco richiesta e individuare il sottoinsieme delle soluzioni effettivamente utilizzabili. Un esempio schematico di percorso d'inquadramento generale, riferito al subsistema strutturale, può essere il seguente:

23. Ciò che costituisce l'esigenza denominata integrabilità, ossia l'insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra loro.

24. Si noti che il Documento Interpretativo per il requisito essenziale n. 2 (sicurezza in caso d'incendio) della direttiva 89/106/CE precisa che una struttura principale viene considerata resistente al fuoco se è dimostrato che la resistenza al fuoco dei singoli elementi è come minimo la stessa ed i punti di contatto tra le parti non riducono la capacità di resistenza al fuoco della struttura principale, tenuto conto delle azioni indirette causate dalla dilatazione termica, dalla deformazione e/o dal cedimento degli elementi strutturali.



Richieste:

- Prestazioni;
- Funzioni;
- Dimensioni intervento;
- Condizioni di mercato.

Vincoli generali:

- Tipo di cantiere;
- Termini di tempo per la realizzazione;
- Caratteristiche delle risorse umane.

Vincoli particolari:

- Reperibilità dei materiali e degli esecutori;
- Appropriatezza tecnologica;
- Compatibilità con le caratteristiche dell'impresa esecutrice;
- Finiture accessorie.

Obiettivi progettuali:

- Calcolo statico;
- Calcolo di resistenza al fuoco;
- Calcolo termoigrometrico;
- Calcolo acustico;
- Costi;
- Funzioni e prestazioni;
- Programmazione esecutiva;
- Interazioni e interfacciamento con le altre parti del subsistema strutturale e con altri subsistemi.



Un diagramma di flusso del processo di progettazione di subsistemi strutturali resistenti al fuoco è riportato in fig. 1.1.²⁵ Il processo produttivo deve rispettare le seguenti condizioni²⁶:

Prescrizioni regolamentari

- la scelta del sistema strutturale e del progetto d'una struttura viene eseguita da personale con qualifica ed esperienza appropriate;
- l'esecuzione viene portata a termine da personale con esperienza ed abilità adeguate;
- adeguata supervisione e controllo di qualità sono forniti durante l'esecuzione dei lavori, per esempio negli studi di progettazione, negli stabilimenti, negli impianti di produzione ed in sito (cantiere);
- materiali da costruzione e prodotti sono usati come specificato dalle norme;
- la struttura sarà soggetta ad adeguata manutenzione;
- la struttura sarà usata in accordo con le ipotesi di progetto.

Si ipotizza che appropriate misure di garanzia di qualità siano considerate per fornire una struttura che corrisponda ai requisiti ed alle ipotesi formulate durante la progettazione. Tali misure comprendono la definizione dei requisiti di affidabilità, misure di tipo organizzativo e controlli a livello di progettazione, esecuzione, uso e manutenzione.

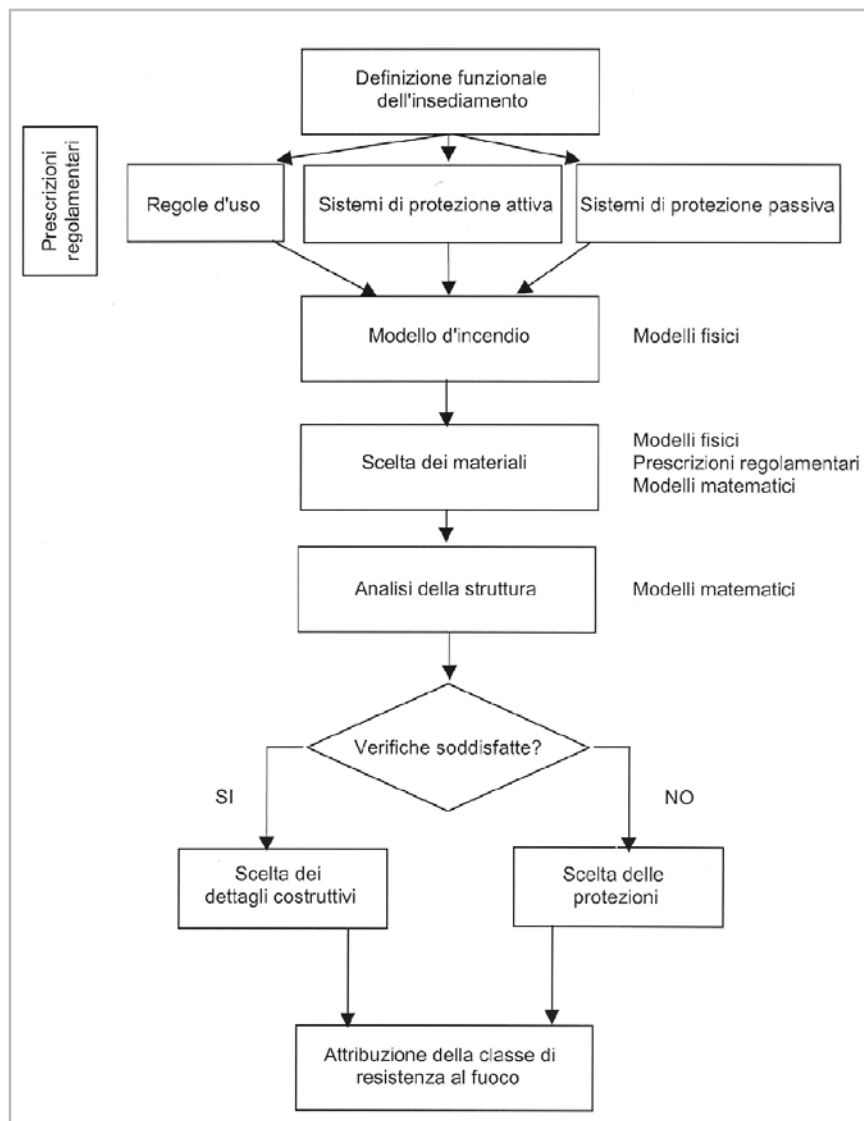
Le cause di danno d'un sistema strutturale, durante un incendio, possono essere schematizzate nell'elenco che segue:

- danneggiamento irreversibile dei singoli elementi o delle loro connessioni;
- superamento della velocità di deformazione;
- superamento della deformazione massima ammissibile (freccia, spostamento in prossimità dei vincoli);
- perdita della capacità portante della singola sezione;
- instabilità flessionale di elementi compressi;
- combinazioni anomale di azioni flettenti e taglio;
- scarsa duttilità delle sezioni, con conseguenti comportamenti di tipo fragile;
- riduzione delle sezioni resistenti.

25. Tratta da *BENEDETTI A.* – Dai componenti al sistema strutturale: criteri per le scelte progettuali e per lo studio dei particolari costruttivi in caso d'incendio.

26. *Eurocodice 1.*

Figura 1.1
Diagramma
di flusso
delle fasi di
progettazione



Ove il danno non sia tale da richiedere la demolizione d'interi elementi o parti di subsistema, sarebbe utile poter definire un *fattore di danneggiamento* in funzione della temperatura raggiunta dal materiale costitutivo, al fine di poter valutare il livello di sicurezza della struttura ed elaborare un intervento di riparazione. Un esame effettuato su un fabbricato industriale danneggiato da incendio²⁷ ha permesso di redigere la tabella 1.1.

27. Presentato in BENEDETTI A. – Dai componenti al sistema strutturale: criteri per le scelte progettuali e per lo studio dei particolari costruttivi in caso d'incendio.



Tab. 1.1. Confronto tra cause, effetti e fattori nel danneggiamento d'una struttura in seguito ad incendio.

Causa	Effetto	Fattore
Tipo di conglomerato	Fessurazione estesa, distacchi parziali di crosta, distruzione dell'interfaccia cemento-inerti	Composizione del conglomerato
Massività delle sezioni	Permanenza d'un nocciolo interno non danneggiato	Massività
Copponi precompressi di sezione sottile aperta	Crollo generalizzato della copertura	Resistenza dell'acciaio in funzione della temperatura
Vincoli a spinotto inghisato	Rottura delle selle d'appoggio	Dilatazioni termiche
Collegamento rigido tra travi e pilastri; passo dei giunti di dilatazione circa 60 cm	Deformazione permanente dei pilastri; danneggiamento dei pilastri di giunto	Coazioni termiche oltre la soglia elastica
Stoccaggio di materiali plastici con alto contenuto di cloro	Aggressione chimica delle armature per assorbimento superficiale del cloro libero	Corrosione delle armature
Staffatura consistente in conseguenza di carichi di progetto molto elevati	Assenza di fessure diagonali e frecce permanenti delle travi assai limitate	Resistenza e deformabilità a taglio

Scendendo di scala, passando dal generale al particolare si dovranno definire uno schema funzionale²⁸, una soluzione conforme²⁹ ed infine una soluzione tecnologica³⁰. Si stabilirà un collegamento tra richieste prestazionali e possibili schemi funzionali di riferimento, al fine di scegliere in modo appropriato sistemi e componenti³¹. Gli Eurocodici strutturali elencano dei requisiti

28. Schematizzazione d'un modello attraverso la descrizione del suo meccanismo di funzionamento rispetto a fenomeni dominanti (in questo caso l'incendio); nell'ambito d'ogni sistema s'individuano quindi diversi schemi funzionali.

29. All'interno d'un preciso schema funzionale, ogni sequenza di strati funzionali tali da assicurare il corretto funzionamento d'ogni singolo elemento o di tutto il subsistema nel suo complesso.

30. Data una soluzione conforme, la soluzione tecnologica è la sua traduzione in prescrizioni di capitolato sui materiali, riferita alle condizioni progettuali determinate dai requisiti ambientali e tecnologici. Per ogni soluzione conforme si possono individuare più soluzioni tecnologiche, che ne descrivono l'attuazione pratica nei singoli casi.

31. Si seguirà cioè un criterio di qualità tecnologica, tesa ad assicurare la corrispondenza delle prestazioni, fornite dagli elementi tecnici costituenti il sistema tecnologico, alle esigenze dell'utenza.

fondamentali di cui tener conto durante la progettazione: le strutture devono essere progettate ed eseguite, infatti, in maniera tale che durante la loro vita prevista, con appropriati gradi d'affidabilità, rimangano adeguate all'uso per il quale sono costruite e sopportino tutte le azioni e le influenze che potranno verificarsi durante l'esecuzione e l'uso. Si dovranno perciò riguardare adeguatamente la sicurezza strutturale e la funzionalità, inclusa la durabilità. Le strutture dovranno inoltre essere progettate ed eseguite in modo tale da non essere danneggiate da eventi quali fuoco, esplosioni, impatti, o conseguenze d'errori umani, ad un livello sproporzionato rispetto alla causa d'origine. Il danno potenziale deve essere evitato o limitato dalla scelta appropriata di una o più delle seguenti procedure:

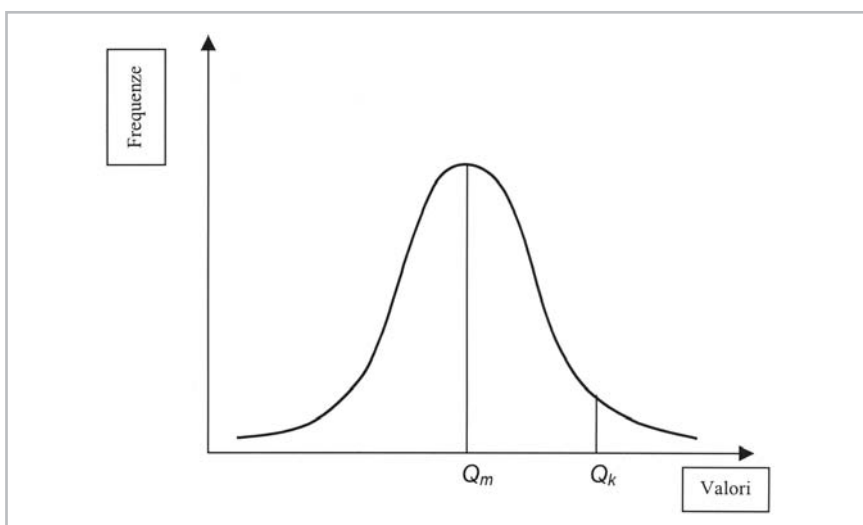
- evitare, eliminare o ridurre i rischi a cui la struttura può essere soggetta;
- scegliere una forma strutturale che abbia una minore sensibilità al rischio considerato;
- selezionare una forma strutturale ed una progettazione che può sopravvivere adeguatamente alla rimozione eccezionale d'un singolo elemento o d'una parte limitata della struttura, o all'occorrenza di accettabile danno limitato;
- evitare il più possibile sistemi strutturali che possano collassare senza avvertimento;
- connettere la struttura.

I precedenti requisiti saranno ottenuti attraverso la scelta di materiali opportuni, un'adeguata progettazione e definizione dei dettagli, specificando procedure di controllo per la progettazione, la produzione, l'esecuzione e l'uso relativo al particolare progetto.

Esistono prodotti pensati per rispondere con prestazioni variabili, entro intervalli definiti, alle richieste del mercato. Nel settore specifico della resistenza strutturale all'incendio, si trovano blocchi da muratura con isolante iniettato: variando il numero di strati iniettati si modifica la risposta in termini di tempo di resistenza (ed in termini di costo, naturalmente). È questa una concezione detta a metasistema, la quale implica una semilavorazione preparatoria su ordine, una preingegnerizzazione dei materiali e degli allestimenti.

1.4 Approccio statistico alla qualità

Requisiti e prestazioni difficilmente possono essere fissati in maniera deterministica, consistendo in realtà in grandezze statistiche. Un esempio chiarirà meglio il concetto. S'immagini un magazzino all'interno del quale vengono depositati materiali combustibili, per il quale si debba procedere ad uno studio di resistenza al fuoco delle strutture: il calcolo strutturale all'incendio potrebbe essere influenzato dalla quantità di combustibile presente, manifestando tale quantità stretta correlazione con l'intensità d'un eventuale incendio. Se si effettua il censimento delle merci stoccate nelle varie ore del giorno, nei vari giorni dell'anno, o ancora nelle varie stagioni si riscontra una variazione che può apparire anche notevole; riportando su un grafico i valori censiti e la loro frequenza si otterrebbe probabilmente una gaussiana, o curva a campana, simile a quella presentata nella fig. 1.2. Avremo un'area di frequenze maggiormente probabili, attestate intorno al valore medio Q_m , ed ai lati valori sempre più lontani dalla media. L'area centrale rappresenta allora le condizioni normali d'utilizzo del magazzino, mentre è possibile definire un valore caratteristico Q_k , che viene superato solo in una certa percentuale, predefinita, di rilevazioni.



Una curva stretta e con frequenze dei valori medi più alte indica una maggiore omogeneità d'utilizzo, mentre una curva larga e con frequenze dei valori medi più basse indica maggiore dispersione, con conseguente alta complessità d'interpretazione del fenomeno. La quantità di materiale combustibile da inserire nel calcolo, allora, non è un dato univocamente determinato, ma deve es-



Figura 1.2
Frequenze
della quantità
di materiale
combustibile
presente in
magazzino

sere ricavato con opportuni ragionamenti; un criterio potrebbe essere quello di prendere in considerazione la quantità massima ipotizzabile, ma non è detto che sia il solo valido. I requisiti di resistenza al fuoco ai quali il progettista dovrà dare una risposta, essendo legati funzionalmente alla quantità di combustibile contenuto nell'edificio, dovranno essere ricavati in qualche modo da una popolazione di dati trattati statisticamente. Non saranno perciò rilevabili in modo diretto ed univoco.

Per quanto riguarda le prestazioni, trattandosi d'un calcolo strutturale che deve fissare valori di capacità portante³², l'interpretazione statistica è maggiormente nota allo strutturista, abituato a prenderla in considerazione nei problemi di scienza delle costruzioni. Volendo graficizzare la distribuzione delle prestazioni, s'otterrebbe un diagramma del tutto simile a quello visto nella fig. 1.2.

Si può a questo punto proseguire sulla strada intrapresa, constatando che anche la qualità si presenta, in realtà, come concetto statistico: la fig. 1.3 mostra comparativamente le distribuzioni di requisiti e di prestazioni attribuibili ad un ipotetico elemento strutturale. Si può immaginare che i valori siano riferiti ai singoli blocchi di laterizio che costituiscono una partizione interna del magazzino poc'anzi considerato: i requisiti rappresenteranno allora i valori di resistenza strutturale al fuoco richiesti in dipendenza della quantità di materiale combustibile presente, mentre le prestazioni saranno i valori di resistenza al fuoco effettivamente riscontrati negli elementi (ad esempio mediante indagine di laboratorio).

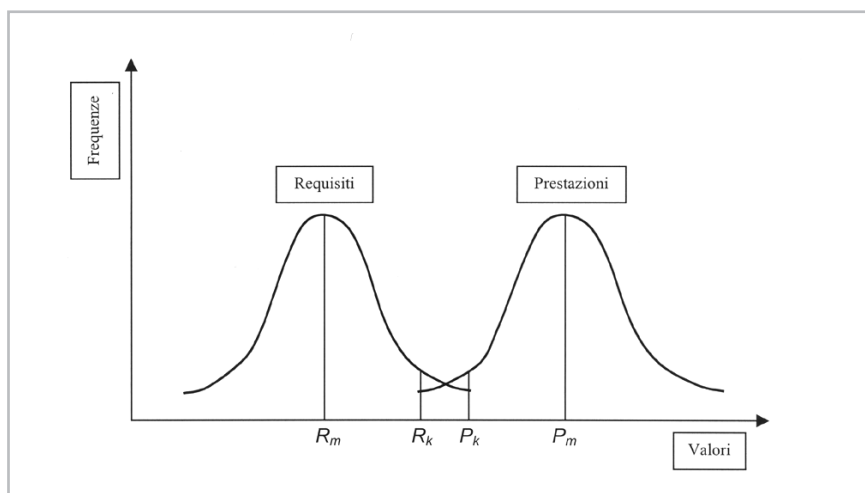
Osservando i valori medi, vediamo subito che P_m è molto superiore a R_m , dunque la prestazione media è più grande del requisito medio e la distanza tra i due valori è rappresentativa della sicurezza media (*coefficiente di sicurezza medio di qualità* γ_m).

Se passiamo ad esaminare i valori caratteristici, anche in questo caso P_k appare superiore a R_k , pur se d'una quantità molto inferiore rispetto ai valori medi; possiamo allora definire un *coefficiente di sicurezza caratteristico* γ_k ³³. Dove i due diagrammi si sovrappongono, l'area sottesa alle curve è il luogo dell'inaffidabilità: valori bassi di prestazione, poco probabili, corrispondono a valori elevati dei requisiti, anch'essi d'altra parte poco probabili. Nel nostro

32. La capacità portante in caso d'incendio si determina sulla base delle caratteristiche proprie dell'elemento portante, comprese le condizioni di carico e di vincolo, tenendo anche conto dell'eventuale presenza di materiali protettivi (CNR).

33. Come si può notare, il valore caratteristico dei requisiti è calcolato scartando i dati più alti, mentre il valore caratteristico delle prestazioni è calcolato scartando i dati più bassi.

esempio, ove si adotti il valore caratteristico R_k quale requisito di resistenza al fuoco, le prestazioni dei blocchi di laterizio possono essere giudicate soddisfacenti.



Il diagramma di fig. 1.3 può essere semplificato e riprodotto sotto forma di un'unica curva, come indicato in fig. 1.4³⁴: riprendendo il concetto di verifica prestazionale intesa come misura d'un livello di qualità, denotata dal rapporto $Q = P/R$, s'individua l'area dell'inaffidabilità ove $P/R < 1$.

Il terreno sul quale si sviluppa lo studio della resistenza al fuoco compete essenzialmente al progettista di strutture: infatti, l'analisi dei problemi connessi alla risposta di sistemi, sottosistemi ed elementi strutturali soggetti ad un incendio è fondamentale per una progettazione strutturale corretta. Lo strutturista possiede gli strumenti tecnico-culturali che consentono di prevedere e misurare quantitativamente la risposta d'una struttura ai cimenti cui sarà sottoposta, calcolando azioni (tra le quali si annovera anche l'incendio), comportamenti tanto del materiale costituente quanto dei singoli elementi e dei sistemi nel loro complesso. Sostanzialmente, egli determina l'intorno entro il quale è compreso il comportamento reale della struttura, tenuto conto delle incertezze di calcolo e di modellazione, nonché delle esigenze ulteriori già accennate in precedenza. Comunque il progettista di strutture rimane un attore all'interno del complesso processo produttivo, che deve necessariamente lavorare in continua integrazione con altre figure professionali non meno importanti; la divisione del lavoro, che sempre più s'impone nel subsettore della prevenzione incendi rispetto

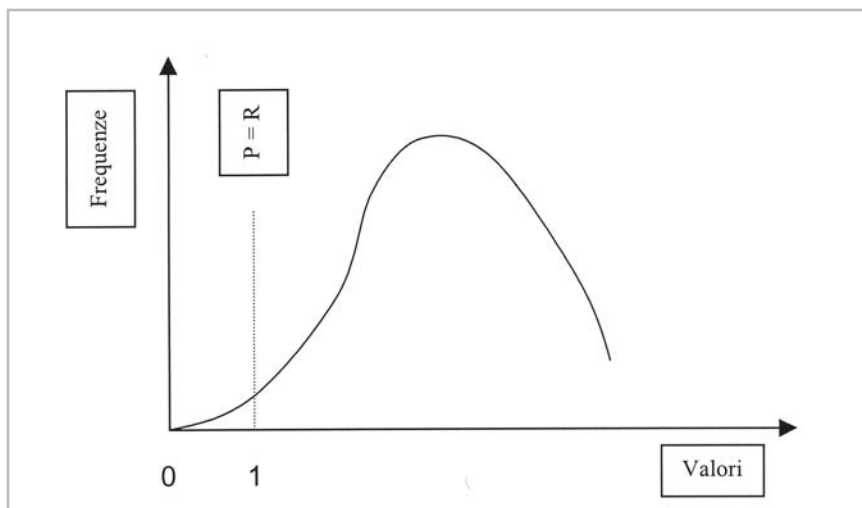
34. Tratta da MANFRON V. – Qualità ed affidabilità in edilizia.



Figura 1.3
Comparazione
probabilistica
tra prestazioni
e requisiti

Figura 1.4

Rappresen-
tazione
probabilistica
dei valori
di qualità



La ripartizione d'un processo progettuale in subsistemi, di cui uno sarà la sicurezza all'incendio e nel suo ambito lo studio di resistenza al fuoco, permette di controllare più efficacemente il processo medesimo e le interazioni fra gli operatori che in esso intervengono. Ecco quindi l'importanza del coordinamento del processo progettuale, di un controllo capace d'intervenire sul modello operativo, una sorta di garanzia della qualità³⁵. E trattando di controlli è logico accennare a quelli classificati come esterni, attuati dall'ente pubblico e che nel caso in esame, quello della resistenza strutturale all'incendio, sono attribuiti per legge, nel nostro Paese, ai vigili del fuoco: un sistema di controllo pubblico è basato su esigenze da tutelare, perché giudicate meritevoli di considerazione dal punto di vista sociale ed economico, su regole che traspongono le esigenze in vincoli (parametri, specifiche di prestazione, oppure obiettivi), su strutture di verifica di tali regole.

³⁵. Ciò che l'ente pubblico individua come responsabile del procedimento.