Il calcestruzzo per la sicurezza e la protezione antincendio

Federbeton
Federazione delle Associazioni della Filiera del Cemento e del Calcestruzzo Armato

Traduzione e pubblicazione: FEDERBETON, Ottobre 2009
Editore: PUBBLICEMENTO S.r.l.

Tutti i diritti sono riservati. La riproduzione e la trasmissione in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, elettronico o meccanico, comprese fotocopie, registrazioni o altro tipo di sistema di memorizzazione o consultazione dei dati sono assolutamente vietate senza previo consenso scritto di FEDERBETON.

Pubblicazione originale:
European Concrete Platform ASBL
a cura di: Jean-Pierre Jacobs 1050 Brussels, Belgio
Grafica e Stampa: The European Concrete Platform ASBL

La European Concrete Platform dichiara che tutte le informazioni contenute nel presente testo sono corrette e aggiornate al momento della sua pubblicazione e sono riportate in buona fede.

La loro divulgazione non comporta alcuna responsabilità per i soci dell'associazione. Nonostante gli sforzi compiuti in tal senso la European Concrete Platform non garantisce l'esattezza e l'esaustività delle informazioni. Eventuali errori, se segnalati, saranno tempestivamente corretti.

Il presente testo riflette le opinioni degli autori e la European Concrete Platform non si assume la responsabilità di quanto riportato.
Tutte le indicazioni e le informazioni fornite dalla European Concrete Platform sono destinate a coloro che sono in grado di valutare il significato e i limiti del contenuto dell'opera, e di assumersi la responsabilità della loro applicazione pratica. Non si assume, pertanto, alcuna responsabilità (neppure per casi di negligenza) per eventuali danni derivanti da tali indicazioni o informazioni.

I lettori devono essere consapevoli del fatto che tutte le pubblicazioni edite dalla European Concrete Platform sono soggette a revisione periodica e, pertanto, sono tenuti ad accertare che la versione in loro possesso sia la più recente.

Immagine di copertina:
(per gentile concessione di Rastra Corporation, USA).

Il Calcestruzzo per la sicurezza e la protezione antincendio

Questo documento, redatto dalla European Concrete Platform, è destinato a progettisti, Enti normatori, proprietari e utilizzatori di edifici. La finalità che gli autori si propongono è quella di dimostrare in che modo il calcestruzzo può contribuire alla protezione antincendio e quindi alla sicurezza delle persone, delle cose e dell'ambiente in generale.

Indice

1 Il calcestruzzo fornisce una protezione globale contro gli incendi 2
Un approccio globale 2

2 Il comportamento del calcestruzzo in caso di incendio 5
Il calcestruzzo non brucia 5
Il calcestruzzo è un materiale protettivo 5
L'espulsione del calcestruzzo superficiale (spalling) 6
Il calcestruzzo fornisce una compartimentazione efficace 7
Il calcestruzzo si ripara facilmente dopo l'incendio 7
Caso n. 1 Incendio in un edificio multipiano di Francoforte 7

3 Progettare la sicurezza antincendio con l'impiego del calcestruzzo 9
Progettare edifici a prova d'incendio 9
Caso n. 2 Prove di resistenza al fuoco sul telaio di un edificio di calcestruzzo a grandezza naturale 11
Applicazione dell'Eurocodice 2 Parte 1-2 11

4 Tutelare la vita delle persone 13
Le strutture di calcestruzzo rimangono stabili nel corso dell'incendio 13
Caso n. 3 La Torre Windsor, Madrid, Spagna 2005 13
Il calcestruzzo fornisce una via di fuga e una protezione al fuoco altrettanto sicura 15
Caso n. 4 Le Torri Gemelle del World Trade Centre, New York (2001) 16
Caso n. 5 Migliora la sicurezza in caso d'incendio nelle gallerie stradali 16
Il calcestruzzo previene la contaminazione ambientale 18
Sicurezza negli edifici residenziali in caso d'incendio 18
Caso n. 6 Incendio in una costruzione di legno, Colindale, Londra (2006) 20
Il calcestruzzo previene la propagazione di incendi conseguenti a scosse sismiche 21

5 Proteggere le proprietà e le attività 22
Il calcestruzzo protegge prima e dopo l'incendio 22
Con il calcestruzzo la protezione anticendio è compresa 23
Premi assicurativi più bassi con il calcestruzzo 23
Caso n. 7 Premi assicurativi per magazzini in Francia 24
Caso n. 8 Il mattatoio, Bordeaux (1997) 24
Caso n. 9 Magazzino di abbigliamento, Marsiglia (1996) 25
Il calcestruzzo aiuta i vigili del fuoco a salvare le proprietà 25
Caso n. 10 Mercato internazionale dei fiori, Rungis, Parigi (2003) 26

6 Il calcestruzzo e l'ingegneria della sicurezza 27
Il principio dell'ingegneria della sicurezza in caso d'incendio 27
Ingegneria della sicurezza in caso d'incendio nella pratica 27

7 Il valore aggiunto del calcestruzzo 30

8 Bibliografia 31

Il calcestruzzo protegge le cose e le persone

1. IL CALCESTRUZZO FORNISCE UNA PROTEZIONE GLOBALE CONTRO GLI INCENDI

È stato dimostrato che in caso d'incendio le straordinarie proprietà di resistenza al fuoco del calcestruzzo rappresentano una sicurezza per le persone, per le cose e anche per l'ambiente. Questo materiale soddisfa tutti i requisiti in materia di protezione antincendio previsti dalla legislazione Europea, e ciò a vantaggio di tutti: utenti e proprietari di edifici, aziende, compagnie di assicurazione, organi di vigilanza e, non da ultimo, vigili del fuoco. **Nelle diverse situazioni - edifici residenziali, magazzini, edifici industriali o gallerie stradali – il calcestruzzo può essere adattato alle singole specifiche progettuali in modo da resistere al fuoco anche nelle condizioni più difficili.**

Le proprietà ignifughe del calcestruzzo emergono prepotentemente dall'analisi della cronaca quotidiana e dalle statistiche internazionali. Per tale motivo questo materiale si sta imponendo sempre di più, rispetto ad altri materiali edili, nelle scelte dei proprietari immobiliari, degli assicuratori e degli organi di vigilanza. Con il calcestruzzo si può essere certi di aver fatto la scelta giusta perché il materiale non aumenta il carico d'incendio, fornisce vie di fuga protette dal fuoco, impedisce alle fiamme di diffondersi tra le varie aree dell'edificio e ritarda eventuali crolli strutturali, riuscendo, nella maggior parte dei casi, a prevenire il crollo dell'intero edificio. **Rispetto ad altri materiali da costruzione, il calcestruzzo assicura il massimo rendimento dal punto di vista di tutti i criteri di protezione contro gli incendi in modo semplice ed efficiente**.

L'uso del calcestruzzo per la realizzazione di edifici e strutture offre eccezionali livelli di protezione e sicurezza in caso d'incendio:

- il calcestruzzo non brucia e non accresce il carico d'incendio;
- il calcestruzzo è molto resistente al fuoco e ne impedisce la propagazione;
- il calcestruzzo rappresenta un'efficace barriera tagliafuoco garantendo, in tal modo, una via di fuga sicura agli utilizzatori dell'immobile e al tempo stesso una protezione all'intervento dei vigili del fuoco;
- il calcestruzzo non produce fumo né gas tossici, con conseguenti minori rischi per gli utilizzatori dell'immobile;
- il calcestruzzo non fonde al contatto con il calore; di conseguenza non determina l'emissione di particelle che potrebbero propagarsi con le fiamme;
- il calcestruzzo contiene le fiamme riducendo, quindi, il rischio di inquinamento ambientale;
- il calcestruzzo fornisce di per sé un sistema di protezione antincendio, e normalmente non richiede altre precauzioni;
- il calcestruzzo è in grado di resistere a condizioni estreme di temperatura e pressione, pertanto è il materiale ideale per la costruzione di magazzini con un elevato carico d'incendio;
- la robustezza del calcestruzzo in caso d'incendio agevola lo spegnimento delle fiamme e riduce il rischio di crolli strutturali;
- il calcestruzzo si ripara facilmente dopo l'incendio rendendo più rapido il ritorno alla normalità e la ripresa dell'attività;
- il calcestruzzo non è danneggiato dall'acqua necessaria per spegnere le fiamme;
- le pavimentazioni stradali di calcestruzzo sono in grado di resistere alle condizioni estreme di temperatura e pressione che si sviluppano all'interno delle gallerie in caso d'incendio agevolando l'intervento delle squadre di soccorso.

È una scelta semplice, molto lungimirante

Un approccio globale

In caso d'incendio, è necessario un approccio globale alla sicurezza, per ridurre il numero di vittime causato dagli incendi e l'impatto dei danni che questi provocano. Nel 1999 il *World Fire Statistics Centre* ha presentato al gruppo di lavoro per l'edilizia, costituito dalle Nazioni Unite, una relazione che riassumeva i dati relativi agli incendi di edifici su scala mondiale (Neck, 2002). Lo studio ha interessato 16 paesi industrializzati, ha dimostrato che ogni anno, 1-2 persone su 100.000 abitanti muoiono per incendio, mentre i danni causati dalle fiamme ammontano allo 0,2-0,3% del prodotto interno lordo (PIL) (vedi tab. 5.1).

Occorre quindi essere pronti a fronteggiare l'evenienza di un incendio e le conseguenze che questo ha su persone e cose, nella maggior parte degli edifici. Lo scopo è realizzare edifici e strutture in grado di proteggere le persone e le cose contro il pericolo rappresentato dagli incendi. Benché le normative riguardanti le misure di sicurezza in caso d'incendio siano state elaborate tenendo ben presenti tali esigenze, è naturale che spesso sia la sicurezza delle persone a prevalere. Tuttavia, i proprietari di immobili, le compagnie di assicurazione e le autorità nazionali possono essere interessati alla protezione antincendio anche per altri aspetti, tra i quali la **salvaguardia del valore economico**, la **conservazione dei dati**, la **tutela ambientale** e il **mantenimento dell'efficienza di infrastrutture** importanti per la comunità. Tutti questi fattori sono confluiti nelle legislazioni adottate a livello nazionale ed europeo in materia di protezione antincendio (vedi fig. 1.1).

Tre sono le finalità delle misure strutturali di protezione antincendio:

- **protezione delle persone** per tutelare la vita e la salute;
- **protezione delle cose** per preservare i beni e altri valori negli edifici residenziali e commerciali in cui si è sviluppato l'incendio e anche negli immobili limitrofi; a ciò si deve aggiungere la massima preservazione possibile delle strutture dell'edificio;
- **tutela ambientale** per minimizzare gli effetti negativi per l'ambiente dovuti al fumo, ai gas tossici ed anche all'acqua utilizzata per spegnere le fiamme.

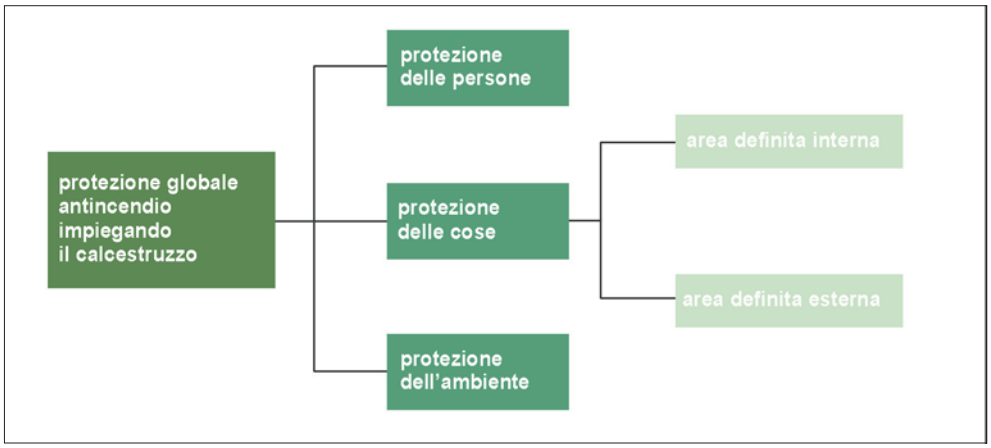

Fig. 1.1 L'approccio globale alla sicurezza in caso d'incendio (*per gentile concessione di Neck, 2002*).

La realizzazione di un edificio con l'impiego del calcestruzzo consente di raggiungere tutti e tre gli obiettivi. Le caratteristiche di non combustibilità e di alta resistenza al fuoco del calcestruzzo garantiscono la massima protezione antincendio a **persone, cose e all'ambiente**.

La tab. 1.1 mette a confronto le proprietà di resistenza al fuoco del calcestruzzo con quelle di altri materiali edili, dimostrando come esso sia superiore per diversi aspetti.

Tab. 1.1: Il comportamento in caso d'incendio dei materiali edili non protetti

Materiale edile non protetto	Resistenza al fuoco	Combustibilità	Incremento del carico d'incendio	Incremento della temperatura nella sezione	Protezione antincendio incorporata	Riparabilità dopo l'incendio	Protezione per gli utilizzatori dell'immobile e per i vigili del fuoco
Legno	Bassa	Elevata	Elevata	Molto bassa	Molto bassa	Assente	Bassa
Acciaio	Molto bassa	Assente	Assente	Molto elevata	Bassa	Bassa	Bassa
Cemento	Elevata	Assente	Assente	Bassa	Elevata	Elevata	Elevata

Fig. 1.2 Nell'incendio di questo magazzino, in Francia, la parete di calcestruzzo ha consentito ai vigili del fuoco di avvicinarsi senza pericolo alle fiamme fino a riuscire a domarle (*per gentile concessione di DMB/Fire Press – Revue soldats du feu magazine, Francia*)

Fig. 1.3 La torre North Galaxy a Bruxelles, un edificio in calcestruzzo armato alto 30 piani, è conforme ai rigidi requisiti della normativa sulla resistenza al fuoco attualmente vigente (REI 120); i pilastri sono realizzati in calcestruzzo ad alta resistenza C80/95 (*per gentile concessione di ERGON, Belgio*).

Fig. 1.3 Tunnel Cointe a Liegi. Le gallerie con pavimentazione stradale realizzata in calcestruzzo sono in grado di resistere alle condizioni estreme di temperatura e pressione che si sviluppano all'interno delle gallerie in caso d'incendio.

Il calcestruzzo non brucia, non emette fumi o gas tossici e impedisce la propagazione delle fiamme

2. IL COMPORTAMENTO DEL CALCESTRUZZO IN CASO DI INCENDIO

Due sono i fattori principali da cui dipende il buon comportamento del calcestruzzo in caso d'incendio: innanzitutto le sue proprietà fondamentali come materiale, in secondo luogo la sua funzionalità all'interno della struttura. Il calcestruzzo è ignifugo (non brucia) e ha una bassa conduzione del calore all'interno della sezione (è tagliafuoco): ciò significa che nella maggior parte delle strutture il materiale consente di fare a meno di altri sistemi di protezione antincendio. Molte delle proprietà di resistenza al fuoco del calcestruzzo non risentono della sua composizione, ossia sono immutate sia che si tratti di calcestruzzo strutturale normale o leggero, o che si tratti di muratura armata o di calcestruzzo cellulare autoclavato. In buona sostanza non esiste un altro materiale che possa dimostrare di avere lo stesso rendimento in caso d'incendio (vedi tab. 1.1).

Il calcestruzzo non brucia

Il calcestruzzo non può prendere fuoco come gli altri materiali di un edificio. È resistente nei confronti dei materiali che bruciano senza fiamma, che possono raggiungere temperature molto elevate, innescando o reinnescando l'incendio, come ad esempio il legno. Le fiamme prodotte dagli oggetti che ardono non riescono a propagarsi al calcestruzzo. Pertanto, quando si sviluppa un incendio, il calcestruzzo, non potendo bruciare, non emette fumo, gas o sostanze tossiche. Inoltre, a differenza di alcuni materiali sintetici e i metalli, il calcestruzzo non fonde al contatto con il calore. Di conseguenza non determina l'emissione di particelle che potrebbero contribuire ad aumentare la diffusione del fuoco. **Il calcestruzzo non può contribuire all'innesco né alla propagazione delle fiamme, né può accrescere il carico d'incendio**.

Gli standard europei presentano prove autorevoli delle proprietà di resistenza al fuoco del calcestruzzo. Tutti i materiali edili sono stati classificati in funzione della loro reazione al fuoco e della loro resistenza al fuoco, e da tali coefficienti dipende la possibilità di utilizzarli e la necessità di prevedere altre misure di protezione antincendio. Sulla base della Direttiva Europea sui Prodotti da Costruzione, la norma EN 13501-1: 2002: "Classificazione al fuoco dei prodotti ed elementi da costruzione" classifica i materiali in sette categorie - A1, A2, B, C, D, E e F - in base ai risultati delle prove di reazione al fuoco.

La classe di reazione al fuoco A1 (materiali non combustibili) è la più sicura. La Commissione Europea ha pubblicato un elenco vincolante di materiali omologati in base a tale classificazione, tra cui figurano diversi tipi di calcestruzzo così come i minerali con cui viene prodotto. **Il calcestruzzo risponde ai requisiti della classe A1 perché i suoi costituenti minerali sono effettivamente non combustibili**, ossia non prendono fuoco alle temperature che normalmente si raggiungono durante un incendio.

Il calcestruzzo è un materiale protettivo

Il calcestruzzo possiede un alto grado di resistenza al fuoco e, nella maggior parte delle applicazioni, può essere considerato come ignifugo, con una composizione adeguata.
Il calcestruzzo è una barriera tagliafuoco molto efficace. La massa del calcestruzzo ha una capacità eccellente di accumulare calore. Inoltre, la sua struttura porosa fa sì che l'aumento della temperatura all'interno della sezione sia molto basso. Ne consegue un modesto incremento della sua temperatura che consente al calcestruzzo di comportarsi come un'efficace barriera tagliafuoco.

Data la modesta velocità di aumento della temperatura attraverso la sezione traversale di un elemento di calcestruzzo, nelle zone più interne non si raggiungono le stesse temperature elevate della superficie esposta alle fiamme. La norma ISO 834 prevede la prova di resistenza al fuoco di travi campione di calcestruzzo di 160 mm di larghezza x 300 mm di profondità, esponendoli alle fiamme su tre lati per un'ora.
Mentre a 16 mm dalla superficie viene raggiunta una temperatura di 600° C, a 42 mm questa si dimezza attestandosi ad appena 300° C, pari ad un gradiente termico di 300° C in appena 26 mm di calcestruzzo (Kordina, Meyer-Ottens, 1981). Ciò dimostra chiaramente che l'aumento relativamente basso, in percentuale, della temperatura del calcestruzzo, assicura che le zone interne rimangano abbastanza protette.

Anche dopo un periodo prolungato, la temperatura interna del calcestruzzo rimane sufficientemente contenuta tanto da preservare la sua capacità strutturale e le proprietà di barriera tagliafuoco, agendo come elemento divisorio.

Quando il calcestruzzo è esposto alle elevate temperature di un incendio, si sviluppano delle reazioni chimico-fisiche che, in funzione dei livelli di temperatura raggiunti al suo interno e non della temperatura delle fiamme, causano delle variazioni delle sue proprietà, come illustrato nella fig. 2.1.

Fig. 2.1 Processi fisici del calcestruzzo in caso di incendio (*Khoury 2000*).

L'espulsione del calcestruzzo superficiale (spalling)

Lo spalling, ossia il distacco improvviso del copriferro, fa parte della risposta normale del calcestruzzo alle elevate temperature che si sviluppano durante un incendio. Per edifici quali uffici, scuole, ospedali e abitazioni residenziali, con incendi normali le normative per il calcolo strutturale, come l'Eurocodice 2, prevedono l'effetto spalling. Il fatto che il copriferro si distacchi durante un incendio è previsto nelle normative, con l'eccezione delle gallerie o per le tipologie di incendi che coinvolgono idrocarburi, come descritto più avanti al cap. 4 (La tutela delle persone). Ad esempio, i risultati sperimentali della ricerca effettuata su campioni utilizzati per l'elaborazione delle norme per la progettazione di calcestruzzi strutturali nel Regno Unito (BS 8110), hanno dimostrato come la capacità di resistenza al fuoco di questi era in molti casi conservativa (Lennon, 2004). La fig. 2.2 mette a confronto il comportamento di solai in calcestruzzo misurato nelle prove di resistenza al fuoco con il loro comportamento teorico seconda la norma BS 8110. Molti dei campioni hanno risentito dell'effetto spalling durante le prove, ma il fatto che la maggior parte dei solai abbia superato i livelli teorici previsti, dimostra chiaramente che

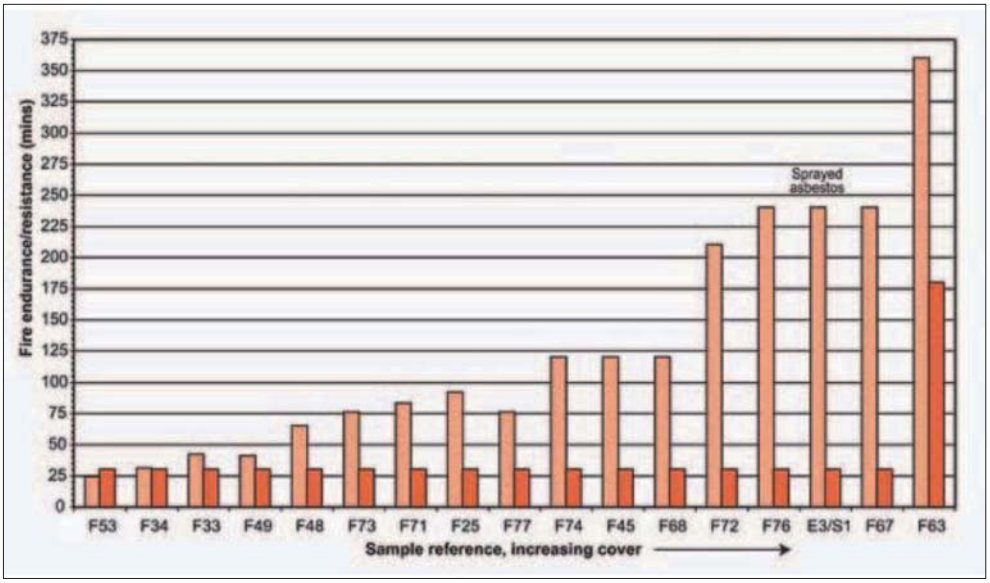

Fig. 2.2 Confronto fra la resistenza al fuoco misurata (color cuoio) e ipotizzata (arancione) sulla base della profondità del copriferro (*tratto da Lennon 2004*).

il distacco del copriferro è adeguatamente considerato nelle normative di progettazione e che questo non incide sensibilmente sulla capacità di resistenza al fuoco del calcestruzzo, nei casi più frequenti di incendio.

Il calcestruzzo fornisce una compartimentazione efficace

Il calcestruzzo protegge da tutti gli effetti dannosi del fuoco e si è dimostrato talmente affidabile che nei grandi edifici industriali e negli edifici multipiano trova comunemente impiego per la compartimentazione. Dividendo la superficie totale in compartimenti, il rischio di perdita totale, in caso di incendio, viene virtualmente ridotto – i pavimenti e le pareti di calcestruzzo riducono l'area di incendio sia orizzontalmente (per la presenza delle pareti) che verticalmente (per la presenza dei solai). Il calcestruzzo offre, quindi, l'opportunità di realizzare strutture divisorie sicure in modo facile ed economico. Le sue proprietà tagliafuoco sono intrinseche e non richiedono l'utilizzo contemporaneo di altri materiali ignifughi né di alcun tipo di manutenzione.

Fig. 2.3 Pareti prefabbricate dotano questo magazzino di una comparti- mentazione ignifuga. (*per gentile concessione di BDV, Germania*).

Il calcestruzzo si ripara facilmente dopo l'incendio

La maggior parte delle strutture di calcestruzzo non è distrutta dalle fiamme durante gli incendi. Questo è uno dei principali vantaggi di questo materiale. I danni causati dall'incendio si possono di solito riparare facilmente riducendo, in tal modo, al minimo i costi e i disagi. I modesti carichi presenti sulla pavimentazione e le temperature relativamente basse che si raggiungono nella maggior parte degli incendi negli edifici, garantiscono che la stabilità del calcestruzzo è preservata quasi integralmente sia durante che dopo l'incendio. Per tale motivo, spesso è sufficiente una semplice opera di ripulitura. La rapidità degli interventi di riparazione e recupero è un fattore importante per ridurre le perdite economiche derivanti dalla sospensione dell'attività che si verifica dopo un grosso incendio ed è ovviamente preferibile alla demolizione e alla ricostruzione.

CASO N. 1
Incendio in un edificio multipiano di Francoforte, Germania (1973)

Nella notte del 22 agosto 1973 un incendio di vaste proporzioni scoppiò al quarantesimo piano del primo edificio commerciale multipiano di Francoforte alto 140 m e costituito da due blocchi gemelli. Le fiamme si propagarono velocemente fino al trentottesimo piano e raggiunsero l'ultimo piano, il quarantunesimo. L'intera struttura portante verticale e orizzontale dell'edificio era stata realizzata in calcestruzzo armato con un solaio con travi a doppia T.

In conseguenza del fatto che le colonne montanti del sistema antincendio non erano state collegate correttamente, l'opera di spegnimento dell'incendio poté iniziare soltanto due ore dopo che le fiamme erano divampate. Tre ore più tardi la situazione era sotto controllo. In totale, ci vollero circa otto ore per spegnere l'incendio (Beese, Kürkchübasche, 1975).

Tutti gli elementi strutturali resistettero all'incendio, nonostante fossero rimasti esposti alle fiamme per quasi quattro ore. Molti elementi furono interessati dall'effetto spalling,

che in taluni punti arrivò fino a esporre completamente l'armatura. Per fortuna, la struttura non cedette e ciò evitò successivamente di dover demolire interi piani dell'edificio un intervento non privo di rischi per un edificio di altezza superiore ai 100 m. La maggior parte degli elementi furono riparati sul posto riutilizzando e rinforzando l'armatura e con interventi a base di gunite (calcestruzzo spruzzato).
La rapidità con cui fu ripristinato l'edificio dopo l'incendio è un tipico esempio dell'elevata resistenza al fuoco delle strutture di calcestruzzo e del modo in cui si possono riparare in sicurezza.

Fig. CS1 L'incendio dell'edificio multipiano di Francoforte (*per gentile concessione di DBV, Germania*).

Fig. CS1.2 Esempi di spalling negli elementi di calcestruzzo dopo l'incendio (*per gentile concessione di DBV, Germania*).

Fig. CS1.3 Riparazione degli elementi con calcestruzzo spruzzato (*per gentile concessione di DBV, Germania*).

Le strutture di calcestruzzo sono conformi a tutte le norme nazionali ed europee in materia di protezione antincendio

3. PROGETTARE LA SICUREZZA, ANTINCENDIO, CON L'IMPIEGO DEL CALCESTRUZZO

Una corretta progettazione e scelta dei materiali sono fondamentali per garantire la protezione antincendio. Questo capitolo spiega i principali elementi progettuali richiesti per quanto riguarda gli incendi.

Progettare edifici a prova d'incendio

In passato le norme antincendio erano emanate dai singoli governi nazionali, mentre ora recepiscono le direttive, gli standard o linee guida emesse a livello Europeo.
Quattro sono gli obiettivi principali da soddisfare quando si deve progettare un edificio a prova d'incendio e il calcestruzzo è in grado di soddisfare tutti gli obiettivi di sicurezza in caso d'incendio in modo semplice ed economico, con un elevato grado di affidabilità. I requisiti principali sono illustrati nella fig.3.1, mentre nella tab. 3.1 sono riportati alcuni esempi di come i requisiti possano essere soddisfatti con l'impiego del calcestruzzo e dimostra le funzioni protettive globali delle strutture di calcestruzzo.

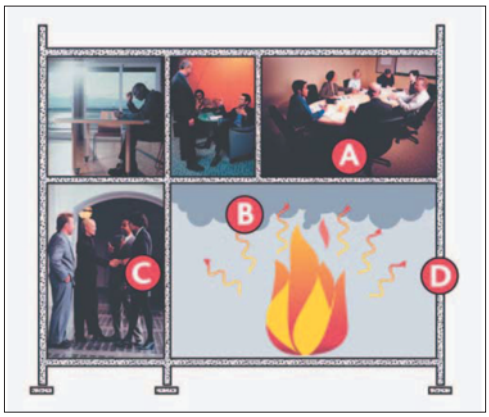

Fig. 3.1 I 4 OBIETTIVI DA SODDISFARE
La struttura deve:
A - preservare la sua stabilità;
B - proteggere le persone da fumi e gas nocivi;
C - proteggere le persone dal calore;
D - agevolare l'intervento dei vigili del fuoco (*per gentile concessione di The Concrete Centre, UK*)

Fig. 3.2 Protezione fornita da una costruzione di calcestruzzo - v. D in fig. 3.1 precedente (*per gentile concessione di DMB/Fire Press - Revue soldats du feu magazine, Francia*).

Tutti i cinque requisiti di tab. 3.1 devono essere presi in considerazione quando si progetta una struttura avente caratteristiche antincendio. Questi costituiscono la base dei metodi per la progettazione di elementi strutturali che rispettino le prescrizioni di sicurezza, in caso d'incendio, previste negli Eurocodici (es. EN 1992-1-2 Eurocodice 2. Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Progetto strutturale con caratteristiche antincendio).
Ogni struttura progettata in conformità con l'Eurocodice 2 deve soddisfare i seguenti criteri di protezione antincendio: resistenza (R), separazione (E) e isolamento (I). Questi tre criteri sono descritti nella tab. 3.2. Le lettere R, E e I sono abbinate a numeri che indicano la resistenza in minuti rispetto a un "incendio tipo", secondo la definizione ISO. In base a ciò, una parete portante in grado di resistere alle fiamme per 90 minuti è classificata come **R90**; una parete portante tagliafuoco è **RE 90**, mentre una parete portante, tagliafuoco e isolante è **REI 90**.

Tab. 3.1: Requisiti per la sicurezza in caso d'incendio e il loro rapporto con il calcestruzzo

Obiettivo	Requisito	Uso del calcestruzzo
1. **Ridurre lo sviluppo** delle fiamme	Pareti, pavimenti e soffitti devono essere realizzati con materiali non combustibili	Il calcestruzzo è un materiale inerte e **non combustibile** (classe A1).
2. Assicurare la **stabilità** degli elementi portanti in un dato periodo di tempo	Gli elementi devono essere realizzati con materiali non combustibili e devono possedere un'elevata resistenza al fuoco.	Il calcestruzzo è un materiale non combustibile e la sua bassa conduttività termica consente di preservare la maggior parte della sua **resistenza** in un incendio tipo.
3. Limitare lo sviluppo e la **propagazione** delle fiamme e del fumo	Pareti e pavimenti tagliafuoco devono essere realizzati con materiali non combustibili e possedere un'elevata resistenza al fuoco.	Oltre a quanto sopra descritto, collegamenti adeguatamente progettati e realizzati in calcestruzzo **riducono la vulnerabilità alle fiamme** e sfruttano al massimo la continuità strutturale.
4. Facilitare l'**evacuazione** degli utilizzatori e assicurare la sicurezza delle squadre di soccorso	Le vie di fuga devono essere realizzate con materiali non combustibili e possedere un'elevata resistenza al fuoco in modo da essere fruibili per un lungo periodo.	I nuclei del calcestruzzo sono **molto robusti** e possono assicurare livelli molto elevati di resistenza**.** L'uso di casseforme scorrevoli o rampanti rappresenta una soluzione particolarmente efficace.
5. Facilitare l'**intervento** delle squadre di soccorso (vigili del fuoco)	Gli elementi portanti devono possedere un'elevata resistenza al fuoco onde consentire un intervento efficace di spegnimento delle fiamme; non devono formarsi gocce ardenti.	Gli elementi portanti devono **preservare la loro integrità** per un lungo periodo e il calcestruzzo non produce materiale fuso.

Tab. 3.2: I tre principali criteri di protezione antincendio adottati dall'Eurocodice 2, Parte 1-2.

Indicazione	Stato limite dell'incendio	Criterio
Resistenza (R) Definita anche: Resistenza al fuoco Stabilità	**Limite di carico** La struttura deve preservare la sua stabilità	La resistenza portante della costruzione deve essere garantita per uno specificato periodo di tempo. *Il periodo di tempo in cui è preservata la capacità portante di un elemento resistente al fuoco, che dipende dalla resistenza meccanica sotto carico.*
Separazione (E) Definita anche: Arresto della fiamma Separazione Tenuta	**Limite di integrità** La struttura deve proteggere persone e cose dalle fiamme, dal fumo e dai gas nocivi	Se l'integrità viene mantenuta si impedisce la propagazione delle fiamme e dei gas nocivi al lato non esposto. *Il periodo di tempo in cui, oltre alla resistenza al fuoco, è preservata la capacità di separazione dalle fiamme di un elemento, che è determinata dalla tenuta stagna dei collegamenti alle fiamme e ai gas.*
Isolamento (I) Definita anche: Tagliafuoco Schermatura al calore Separazione	**Limite di isolamento** La struttura deve proteggere persone e cose dal calore	L'isolamento viene mantenuto e ciò limita l'aumento della temperatura dalla parte del lato non esposto. *Il periodo di tempo in cui è preservata, oltre alla resistenza al fuoco e alla capacità di separazione, la capacità di un elemento di fungere da barriera tagliafuoco, definito in base a un aumento accettabile della temperatura sul lato non esposto.*
Ciascuno dei suddetti stati limite è espresso in minuti, secondo i seguenti intervalli: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.		

N.B.: Le lettere R, E, I sono le iniziali dei termini francesi, e sono riportati così nell'Eurocodice a testimonianza del fatto che furono impiegati per la prima volta in Francia.

CASO N. 2

Prove di resistenza al fuoco sul telaio di un edificio di calcestruzzo a grandezza naturale

Le proprietà di resistenza al fuoco del calcestruzzo in merito ai criteri R, E e I sono state testate nel corso di un esperimento su scala reale (v. fig. CS2.1) condotto nel 2001 (Chana e Price, 2003), presso il Building Research Establishment (BRE), un ente indipendente, a Cardington in Inghilterra. I risultati della prova sono stati così riassunti dallo stesso BRE:

"La prova ha messo in evidenza il rendimento eccezionale di un edificio progettato in conformità ai requisiti dell'Eurocodice 2. Quando l'edificio è stato esposto al fuoco naturale in presenza di carichi, ha risposto molto bene ai criteri prestazionali di stabilità, isolamento e integrità. Il solaio ha continuato a sostenere i carichi senza che fosse necessario ripristinarlo dopo l'incendio".

Fig. CS2.1 Prova antincendio su telaio di calcestruzzo presso il BRE (*per gentile concessione del Building Research Establishment, GB*).

Applicazione dell'Eurocodice 2 Parte 1-2.

Le norme descrivono le modalità con cui si deve effettuare una corretta progettazione della sicurezza antincendio delle strutture di calcestruzzo, includendo i casi di esposizione accidentale alle fiamme, gli aspetti relativi alla protezione passiva e, in generale, la sicurezza in caso d'incendio, identificati dai parametri R, E, I, sopra analizzati.

Come illustra la fig. 3.3, l'EC2 consente agli ingegneri di dimensionare una struttura e di verificarne la resistenza al fuoco usando uno di tre metodi:

1. stabilire i valori minimi delle dimensioni della sezione e del copriferro di calcestruzzo mediante l'uso di **tabelle**;
2. dimensionare la sezione trasversale dell'elemento, con un **metodo semplificato**, calcolando la sezione trasversale residua, non danneggiata, in funzione della curva della temperatura secondo la norma ISO;
3. dimensionare, con **metodi generali di calcolo**, in base a valori di tensione dell'elemento esposto al calore ridotti in funzione della temperatura.

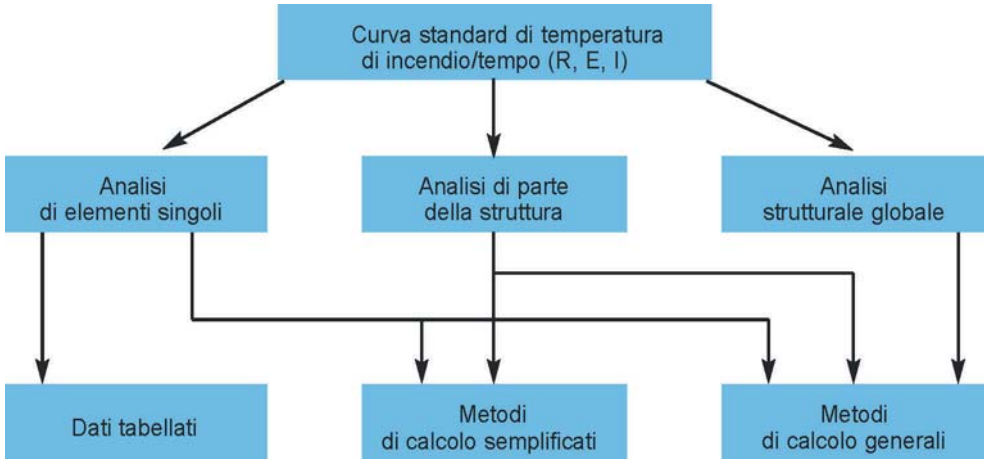

Fig. 3.3 Procedimento di calcolo della resistenza al fuoco di strutture.

Oltre alle regole generali riguardanti la progettazione antincendio, che trovano applicazione in tutta Europa, gli stati membri dell'UE sono liberi di fissare dei valori, per alcuni importanti parametri o procedure, attraverso le Appendici Nazionali (NAD). I progettisti devono quindi fare riferimento ai NAD onde verificare di aver operato le scelte corrette per il paese in cui lavorano o per il paese per il quale stanno elaborando un progetto. Testi di consultazione, come il manuale di Naryanan e Goodchild (2006), che tratta della progettazione nel Regno Unito, resta comunque un opera di riferimento per i progettisti che desiderano aggiornarsi o approfondire la propria conoscenza dell'Eurocodice 2. Altrettanto utile risulta la guida di Denoel/Febelcem (2006) sulla progettazione di opere di calcestruzzo in caso d'incendio, che comprende un'estesa trattazione dei vari metodi di progettazione consentiti dagli Eurocodici.

Il calcestruzzo tutela la vita e accresce la sicurezza degli utilizzatori degli edifici e dei vigili del fuoco

4. TUTELARE LA VITA DELLE PERSONE

Il fuoco rappresenta molto spesso una minaccia per la vita delle persone. È questo il motivo per cui si punta sempre di più a migliorare la sicurezza in caso d'incendio e a pro- gettare edifici in grado di proteggere la vita delle persone e le loro cose contro i pericoli rappresentati dal fuoco.
Gli edifici e le strutture di calcestruzzo forniscono una protezione contro il fuoco in modo da preservare la vita e la salute, in conformità con la legislazione Europea sulla sicurezza in caso d'incendio. Nel cap. 2 abbiamo evidenziato i comportamenti del calcestruzzo in caso d'incendio e il modo in cui le sue caratteristiche peculiari determinano un corretto funzionamento in termini di resistenza al fuoco.
La tutela della vita umana si fonda sulle proprietà intrinseche di robustezza, non combustibilità e barriera tagliafuoco di questo materiale, in grado di assicurare che gli edifici rimangano stabili nel corso dell'incendio. Tali aspetti contribuiscono a proteggere la vita delle persone, che possono mettersi in salvo, consente ai vigili del fuoco di lavorare in condizioni di sicurezza e, cosa ancor più importante, riduce l'impatto ambientale causato dai prodotti di combustione. Questo è l'argomento che viene approfondito nel presente capitolo.

Le strutture di calcestruzzo rimangono stabili nel corso dell'incendio

Nella progettazione per la sicurezza in caso d'incendio, le funzioni di un elemento strutturale sono rappresentate dalla stabilità, dalla separazione e/o dall'isolamento (R, E, I) e sono espresse tramite valori numerici (in minuti, da 15 a 360), che esprimono il tempo in cui si prevede che l'elemento in questione continui a svolgere tali funzioni (v. cap. 3). In caso d'incendio, la struttura deve soddisfare almeno il livello minimo richiesto per legge, ma naturalmente è auspicabile che la sua stabilità sia mantenuta quanto più a lungo possibile per consentire agli utilizzatori di mettersi in salvo e ai soccorritori di domare le fiamme. Ciò è ancor più importante nei grossi complessi edilizi e negli edifici multipiano. I telai strutturali realizzati in calcestruzzo, progettati per soddisfare l'esigenza di stabilità globale in caso d'incendio, spesso, si comportano in modo addirittura superiore alle aspettative. La non combustibilità e il basso livello con cui aumenta la temperatura all'interno del calcestruzzo significano che questo materiale non brucia e che la sua resistenza non viene intaccata in maniera significativa in caso d'incendio. Inoltre, la resistenza al fuoco intrinseca del calcestruzzo offre una protezione passiva nel tempo; il calcestruzzo è, infatti, l'unico materiale da costruzione che non ha bisogno di misure di protezione attiva, quali la predisposizione di un sistema di sprinkler, per migliorare il suo comportamento in caso d'incendio. Un chiaro esempio della protezione offerta dal calcestruzzo è rappresentato dal comportamento della Torre Windsor di Madrid nel disastroso incendio divampato nel febbraio del 2005. I pilastri e il nucleo di calcestruzzo hanno impedito il crollo di quest'edificio di 29 piani. Le robuste travi di trasferimento di calcestruzzo, ubicate oltre il sedicesimo piano, hanno impedito alle fiamme di espandersi al di sotto di tale livello per ben sette ore, come descritto nel Caso n. 3.

CASO N. 3
La Torre Windsor, Madrid, Spagna (2005)

L'incendio, che ha causato danni per 122 milioni di Euro, è scoppiato durante i lavori di ristrutturazione di un grosso edificio nel quartiere finanziario di Madrid. Questo caso rappresenta un ottimo esempio di come le strutture di calcestruzzo reagiscono agli incendi. Costruita tra il 1974 e il 1978, la torre Windsor era un palazzo di 29 piani che ospitava uffici, con cinque piani interrati e due 'piani tecnici' al 3° e al 16° piano.

All’epoca del progetto, la legge spagnola non imponeva ancora l’uso di sistemi antincendio, introdotti con un successivo emendamento. Di conseguenza furono decisi dei lavori di ristrutturazione per la messa a norma dell’edificio. L’intervento comprendeva l’applicazione di barriere tagliafuoco lungo tutti i pilastri perimetrali di acciaio, una nuova facciata, l’installazione di nuove scale di sicurezza, l’adeguamento del sistema di allarme e di rilevazione antincendio e la sopraelevazione di due piani. Al momento dell’incendio il palazzo ospitava gli uffici di una società internazionale di revisione contabile, che occupava 20 piani, e quelli di uno studio legale spagnolo, che si estendevano su due piani. La pianta dell’edificio era sostanzialmente rettangolare, con dimensioni di 40x26 m, dal terzo piano in su’. Il sistema strutturale era costituito da un nucleo centrale di calcestruzzo a resistenza normale, pilastri e solai alleggeriti; gran parte della facciata presentava pilastri perimetrali di calcestruzzo, ma la caratteristica principale erano i due ‘pavimenti tecnici’ di calcestruzzo. Ogni ‘pavimento tecnico’ di calcestruzzo era sostenuto da otto travi a parete di calcestruzzo (3,75 m di altezza, ossia la normale distanza tra pavimento e solaio), e doveva fungere da sistema di trasferimento, atto ad impedire il crollo progressivo a seguito del crollo di elementi strutturali ai piani superiori.
L’incendio scoppiò a notte fonda, quasi due anni dopo l’inizio dei lavori di adeguamento e messa a norma. L’edificio era vuoto, le fiamme si diffusero rapidamente dal ventunesimo piano verso l’alto, attraverso le aperture praticate per i lavori e attraverso la facciata, nello spazio tra i pilastri perimetrali e la facciata di acciaio/vetro, e verso il basso, attraverso elementi della facciata incendiati che precipitando dai piani alti, penetravano attraverso le finestre dei piani inferiori. L’altezza, l’estensione e l’intensità delle fiamme costrinsero i vigili del fuoco a limitarsi a contenere l’incendio e a impedire che si estendesse agli edifici limitrofi: ci vollero 26 ore prima di riuscire ad avere ragione delle fiamme, che avevano nel frattempo avvolto quasi tutti i piani (v. fig. CS3.2).
Quando finalmente l’incendio fu spento, l’edificio era distrutto dal quinto piano in su', gran parte della facciata non esisteva più e si temeva seriamente che sarebbe potuto crollare da un momento all’altro. Tuttavia, per tutta la durata dell’incendio e fino a quando si decise poi di demolirla, la struttura rimase in piedi; soltanto la facciata e i piani al di sopra dei ‘pavimenti tecnici’ crollarono. La resistenza dei pilastri e del nucleo centrale di calcestruzzo aveva contribuito ad evitare il crollo totale, ma il ruolo dei due ‘pavimenti tecnici’ era stato fondamentale, soprattutto quello ubicato al 16° piano, essendo riuscito a contenere le fiamme per oltre sette ore. Fu solo dopo il crollo di una parte estesa dell’edificio, che le macerie in fiamme, precipitando dai piani superiori, diffusero l’incendio ai piani sottostanti, che presero fuoco, ma anche in questo caso il danno fu limitato ai piani al di sopra del ‘pavimento tecnico’ del terzo piano.
Ciò sta ad indicare che la presenza di pavimenti "forti" di calcestruzzo distribuiti a distanza regolare consentono di minimizzare il rischio di crollo della struttura e impediscono alle fiamme di espandersi. La perizia sull’incendio della torre Windsor fu eseguita da un gruppo di ricercatori spagnoli dell’Instituto Técnico de Materiales y Construcciones (Intemac). Quest’analisi indipendente si concentrò sulla resistenza al fuoco e sulla stabilità residua della struttura dopo l’incendio (Intemac, 2005). Tra gli altri dati, la perizia presentata nel 2005 riporta quanto segue:

"La struttura di calcestruzzo della torre Windsor ha avuto un ottimo comportamento nel corso di un disastroso incendio, di gran lunga migliore di quanto ci si sarebbe aspettato se le norme vigenti relative alle strutture di calcestruzzo fossero state applicate rigidamente. È stata riconfermata l’esigenza di installare protezioni antincendio delle parti in acciaio per garantirne la tenuta in caso d’incendio. Visto il comportamento di questi elementi nei piani in cui tali protezioni erano state predisposte, si può avere ragione di credere, benché non possa essere ovviamente affermato con certezza assoluta, che se l’incendio fosse divampato dopo l’installazione di tali protezioni anche ai piani superiori dell’edificio, questi non sarebbero crollati e i danni sarebbero stati probabilmente molto meno seri".
L’Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc), un centro di ricerca spagnolo, in collaborazione con l’Istituto Spagnolo del Cemento e delle sue Applicazioni (IECA) eseguì un’accurata indagine sugli elementi strutturali di calcestruzzo armato della torre Windsor, compreso anche uno studio microstrutturale mediante termoanalisi con microscopio elettronico. È stato rilevato che all’interno del calcestruzzo la temperatura ha raggiunto i 500° C a una profondità di 5 cm dalla superficie esposta alle fiamme. Ciò conferma le vaste proporzioni dell’incendio e il buon rendimento di un copriferro di calcestruzzo conforme alle norme di progettazione per la sicurezza delle strutture di calcestruzzo, in caso d’incendio.

Fig. CS3.1 La facciata al di sopra del piano tecnico, il 16°, è completamente distrutta. Torre Windsor, Madrid (*per gentile concessione di IECA, Spagna*).

Fig. CS3.2 Le fiamme avvolgono la Torre Windsor, Madrid (*per gentile concessione di IECA, Spagna*).

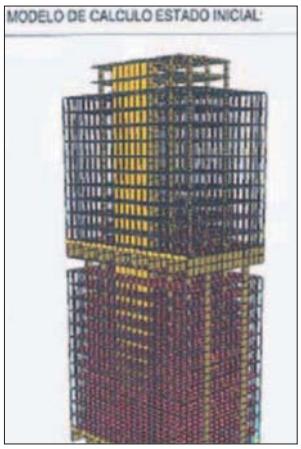

Fig. CS3.3 La vista assonometrica della struttura illustra l'ubicazione del piano tecnico (*per gentile concessione di OTEP e di CONSTRUCCIONES ORTIZ, Spagna*).

Il calcestruzzo fornisce una via di fuga sicura e una protezione al fuoco altrettanto sicura

Il fatto che le strutture di calcestruzzo rimangano stabili negli incendi è di particolare rilevanza per un'evacuazione sicura degli utilizzatori di un edificio e per l'opera dei vigili del fuoco. Trombe delle scale, pavimenti, solai e pareti di calcestruzzo impediscono alle fiamme di espandersi e agiscono da compartimenti, assicurando in tal modo una via di fuga sicura e una via di accesso, per i soccorritori, altrettanto protetta. Le vie di fuga di calcestruzzo hanno un grado di robustezza e d'integrità che non si riscontra in altri materiali edili, sia che si tratti di edifici residenziali, sia di luoghi affollati come centri commerciali, teatri o edifici commerciali. L'uso del calcestruzzo garantisce, inoltre, l'incolumità dei vigili del fuoco. I componenti portanti e perimetrali di una struttura realizzati in calcestruzzo, offrono una protezione efficace per i vigili del fuoco, anche all'interno di un edificio in fiamme. Solo in tali condizioni il loro intervento può avvenire in condizioni di rischio ridotto. Le raccomandazioni pubblicate dal National Institute of Standards and Technology (NIST) a seguito del crollo delle Torri Gemelle sono molto pertinenti (v. il caso n.4).

Anche nelle gallerie stradali il calcestruzzo è fondamentale per salvare vite umane – v. il caso n. 5.

CASO N. 4
Le Torri Gemelle del World Trade Centre, New York (2001)

Senza alcun dubbio lo studio condotto dal National Institute of Standards and Technology (NIST), a seguito del crollo delle Torri gemelle di New York nel 2001, rappresenta uno dei rapporti tecnici più significativi e autorevoli, mai elaborati, sul tema della sicurezza negli edifici (per maggiori informazioni http://wtc.nist.gov/).
Il documento finale, con un totale di ben 10.000 pagine, è stato pubblicato nel 2006 successivamente a un'indagine durata 3 anni, nella quale il crollo delle Torri Gemelle è stato indicato come il peggiore disastro dovuto al crollo di un palazzo della storia, con oltre 2.800 vittime.
Gran parte delle persone decedute, erano in vita al momento del crollo delle torri. Il NIST ha indagato sulle probabili cause che hanno contribuito al collasso delle Torri con strutture in acciaio, elaborando un elenco di 30 raccomandazioni per la preparazione di codici, norme e procedure, relative ai temi di sicurezza strutturale e di progettazione. Tra le diverse raccomandazioni il rapporto del NIST richiede:

• Una maggiore integrità strutturale: includendo la prevenzione dei crolli progressivi e l'adozione di norme standard riconosciute a livello nazionale.
• Una maggiore resistenza al fuoco delle strutture: necessità di tempi adeguati per il soccorso e l'evacuazione, assenza di crolli parziali durante lo sviluppo dell'incendio, ridondanza dei sistemi antincendio, compartimentazione, capacità di resistere alla massima intensità teorica di incendio senza crolli.
• Nuovi metodi per la progettazione delle strutture resistenti al fuoco: compreso il requisito che eventuali incendi incontrollati dovrebbero svilupparsi senza crolli totali o parziali.
• Migliori sistemi di evacuazione: per preservare l'integrità degli edifici e la sopravvivenza degli occupanti.
• Migliore protezione attiva: sistemi di allarme, di comunicazione e spegnimento automatico.
• Migliori tecnologie e procedure in caso di emergenza.
• Regolamentazione più severa in merito alle vie di fuga e al tipo di sprinkler negli edifici esistenti.

Il Dr S. Sunder, che ha diretto l'indagine del NIST, si è reso conto delle eccezionali circostanze che hanno portato al crollo delle torri, ma spiega che il gruppo di studio del NIST è stato in grado di stilare una serie di raccomandazioni prioritarie, realistiche, appropriate e fattibili, come risultato dei test e delle analisi sviluppate. Il calcestruzzo è in grado di soddisfare con facilità queste raccomandazioni.
Inoltre, il rapporto dell''American Society of Civil Engineers (ASCE) sul comportamento dell'edificio, sede del Pentagono, attaccato, lo stesso 11 settembre, in seguito all'impatto dell'aereo, conclude che la presenza di una struttura in calcestruzzo armato ha avuto un ruolo determinante nell'evitare ulteriori danni all'edificio (ASCE, 2003). Questo rapporto riporta letteralmente: "La continuità, la iperstaticità e la resilienza delle strutture, anno contribuito alla buona prestazione dell'edificio". Il rapporto auspica che tali caratteristiche siano recepite negli edifici di nuova costruzione, soprattutto in caso di elevato rischio di crollo progressivo.

CASO N. 5
Migliora la sicurezza in caso d'incendio nelle gallerie stradali

L'Europa ha oltre 15.000 km di gallerie stradali e ferroviarie, che fanno parte della nostra infrastruttura dei trasporti e che sono particolarmente importanti nelle regioni montuose, ma ancor più nelle grandi città, in cui i tunnel possono alleggerire il traffico e liberare gli spazi urbani. Il problema è che gli incidenti stradali che coinvolgono veicoli possono provocare incendi molto gravi. Gli incendi all'interno delle gallerie, a causa del bruciare contemporaneo di carburante e autovetture, possono determinare il raggiungimento di temperature molto elevate, nell'ordine di 1000-1200 °C. Sono state documentate anche temperature fino a 1350 °C. Picchi di temperatura si raggiungono più rapidamente negli incendi all'interno di gallerie che in quelli che divampano negli edifici, soprattutto a causa degli idrocarburi contenuti nella benzina e nel gasolio, ma anche per via degli spazi limitati in cui si sviluppano (v. fig. CS5.1).

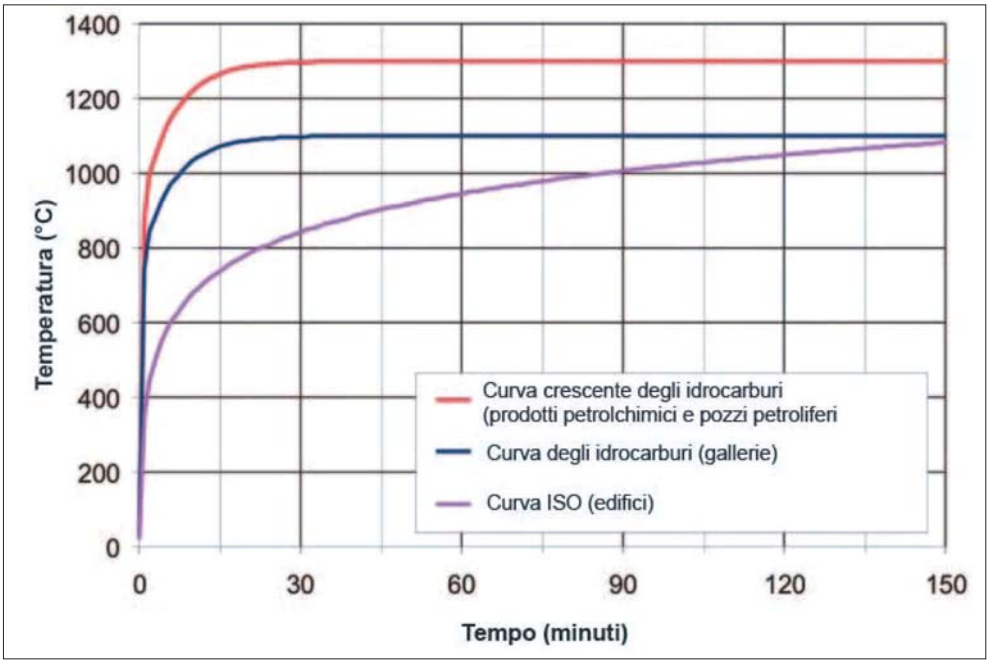

Fig. CS5.1 Gli incendi all'interno delle gallerie sviluppano temperature molto elevate (*per gentile concessione di J-F Denoël/FEBELCEM, Belgio*).

Un rapporto della compagnia di assicurazioni Munich Reinsurance Group (2003) afferma che lo scoppio di un incendio è venti volte più probabile in una galleria stradale che in una galleria ferroviaria, e che questi incendi in condizioni estreme sono spesso letali. In presenza di fumo, l'uomo può sopravvivere per meno di due minuti in quanto i gas prodotti dalla combustione possono essere altamente tossici. Inoltre, gli incendi che scoppiano in gallerie molto lunghe, in zone lontane dagli imbocchi, possono continuare per molto tempo. L'incendio che divampò nel traforo del Monte Bianco, nel 1999, bruciò per ben 53 ore. Incidenti molto gravi, come quelli del tunnel della Manica (1996) e delle gallerie del Monte Bianco (1999) e del S. Gottardo (2001), hanno evidenziato all'attenzione dell'opinione pubblica, le drammatiche conseguenze che possono determinare questi incendi e hanno messo in evidenza le carenze dei materiali edili e delle soluzioni strutturali utilizzate. Di conseguenza, le autorità di controllo si sono soprattutto preoccupate di migliorare le condizioni di evacuazione e di salvataggio delle persone coinvolte negli incidenti all'interno delle gallerie stradali, imponendo particolari requisiti di sicurezza, robustezza e stabilità.
Al contrario, invece, è stata prestata scarsa attenzione ai materiali utilizzati nella costruzione delle pavimentazioni e al loro contributo al carico dell'incendio; pertanto, è necessario un approccio olistico alla progettazione e alla costruzione delle gallerie, che consideri come preferenziale la soluzione con l'uso della pavimentazione di calcestruzzo (CEMBUREAU, 2004). In caso d'incendio in galleria, una pavimentazione stradale non combustibile e non tossica, come quella di calcestruzzo, contribuisce, al tempo stesso, alla sicurezza degli occupanti dei veicoli e dei soccorritori. Il calcestruzzo soddisfa completamente questi requisiti perché non è infiammabile (non brucia), non accresce il carico d'incendio, non indebolisce la struttura e di conseguenza, non mette in pericolo le squadre dei vigili del fuoco, non si deforma né fonde, permettendo l'avvicinamento dei mezzi di soccorso, e non emette gas tossici, qualunque sia l'intensità raggiunta dall'incendio. Il calcestruzzo può essere utilizzato come rivestimento per gallerie da solo o insieme con un'altra barriera termica, ma può essere utilizzato anche per realizzare la pavimentazione stradale, sostituendo l'asfalto. Rispetto all'asfalto, il calcestruzzo garantisce:
• **maggiore sicurezza**: perché non brucia, né emette gas tossici. L'asfalto brucia a circa 400-500 °C e nel giro di pochi minuti emette soffocanti vapori cancerogeni, fumo, fuliggine e sostanze inquinanti. Nell'incendio del traforo del Monte Bianco, 1.200 m^2 di asfalto hanno sviluppato un incendio equiparabile a quello di 85 autovetture in fiamme (CEMBUREAU, 2004);
• **migliore resistenza** della pavimentazione, delle infrastrutture e della struttura: il calcestruzzo non si deforma con il calore, mentre l'asfalto brucia, perde la sua struttura fisica e rischia di compromette gli interventi di evacuazione e salvataggio;
• **intervalli di manutenzione più diradati nel tempo** rispetto a quelli, più frequenti, richiesti dalla pavimentazione d'asfalto;

• migliore illuminazione: il calcestruzzo è più chiaro e, di conseguenza, più brillante, contribuendo, quindi, a migliorare la visibilità sia nelle condizioni d'esercizio normali che nelle situazioni d'emergenza;
• maggiore robustezza della pavimentazione di calcestruzzo, con riduzione del tempo di chiusura delle gallerie e dei cantieri stradali. La chiusura con deviazione del traffico, dovuta a lavori di manutenzione, è causa di inquinamento e i lavori stradali possono mettere a repentaglio la vita degli operai.

La compagnia internazionale di assicurazioni Munich Re, nella sua guida dettagliata sulla riduzione dei rischi nelle gallerie (2003, pag. 20), afferma la necessità di prevedere, nelle gallerie stradali, la costruzione di almeno una corsia in materiale non combustibile (es. calcestruzzo). Alcuni enti di vigilanza hanno, inoltre, riconosciuto il ruolo importante che il calcestruzzo può ricoprire in galleria ai fini della sicurezza in caso d'incendio. In Austria un decreto del 2001 impone la realizzazione di una pavimentazione di calcestruzzo in tutte le gallerie stradali di nuova costruzione con una lunghezza maggiore di un chilometro. Per tutte le nuove gallerie, le pavimentazioni di calcestruzzo sono obbligatorie in Slovacchia e raccomandate in Spagna (CEMBUREAU, 2004).

Fig. CS5.2 Le superfici stradali realizzate in calcestruzzo resistono alle condizioni estreme di temperatura che si sviluppano, in caso d'incendio, all'interno delle gallerie.

Si deve comunque tenere presente che negli incendi in galleria potrebbero verificarsi condizioni estreme mai sperimentate. In presenza di temperature così elevate, si deve necessariamente prevedere la comparsa del fenomeno di spalling delle superfici di calcestruzzo (v. cap. 2). La ricerca ha studiato approfonditamente la possibilità di sviluppare materiali di rivestimento per minimizzare gli effetti del distacco del copriferro di superfici di calcestruzzo esposte a incendi severi (es. Khoury, 2000). È stato dimostrato che semplicemente aggiungendo alla miscela di calcestruzzo delle fibre monofilamento di polipropilene si ha una soluzione efficace e si ottiene un materiale che 'respira' in presenza di un icendio, riducendo, quindi, le probabilità che si verifichi lo spalling.

Il calcestruzzo previene la contaminazione ambientale

Il calcestruzzo non produce né fumo né gas tossici in presenza d'incendio, quindi può essere utile per prevenire la diffusione di fiamme e fumi nocivi per l'ambiente. L'uso di compartimenti di calcestruzzo e di pareti tagliafuoco fa si che soltanto un volume limitato e circoscritto di merci possa bruciare, riducendo in tal modo il volume dei prodotti di combustione, tra cui fumo, esalazioni di gas tossici e produzione di residui tossici. In caso d'incendio, contenitori di calcestruzzo possono fungere da barriere protettive contro lo spandimento di liquidi inquinanti per l'ambiente o dell'acqua stessa usata per lo spegnimento dell'incendio e quindi contaminata. Nel corso dell'incendio il calcestruzzo non deposita fuliggine che è poi difficile, nonché pericoloso, eliminare.

Sicurezza negli edifici residenziali in caso d'incendio

Le normative europee sulla sicurezza in caso d'incendio di cui si è parlato nel cap. 1 riguardano la tutela della vita umana, con specifico riferimento agli edifici residenziali, dove i rischi sono significativi. Infatti, case ed edifici per uso abitativo possono essere densamente popolati ed hanno un alto carico d'incendio per via dei mobili e delle suppellettili. Non si deve inoltre dimenticare che le persone che dormono sono più a rischio rispetto a quelle sveglie. Se ne deduce che per l'edilizia abitativa merita particolare considerazione la progettazione di strutture che rispettino le norme di

sicurezza in caso d'incendio. Negli incendi di edifici residenziali non è tanto il crollo strutturale che segue l'incendio a causare la maggior parte delle vittime, quanto piuttosto l'inalazione di fumo o gas emessi dai materiali che ardono e la conseguente impossibilità di fuga per gli utilizzatori (Neck, 2002).

In Europa sono stati pubblicati due importanti lavori che dimostrano la sicurezza superiore offerta dalle costruzioni in calcestruzzo in caso d'incendio.

1. Confronto della sicurezza in caso d'incendio tra edifici residenziali realizzati in legno e in calcestruzzo

Mettendo a confronto la sicurezza in caso d'incendio di edifici con telaio in calcestruzzo e in legno, U. Schneider, docente presso il Politecnico di Vienna, ha identificato sette specifici fattori di rischio correlati all'uso di un materiale edile combustibile (ad es. il legno) sia nella struttura che nel rivestimento di un edificio (Schneider and Oswald, 2005) (tav. 1).

Tav. 1: Rischi derivanti dall'uso di materiali edili combustibili

1. Aumento del carico d'incendio.
2. Aumento del fumo e dei prodotti della pirolisi.
3. Elevate concentrazioni di monossido di carbonio.
4. Estensione dell'incendio agli elementi strutturali.
5. Estensione dell'incendio alle cavità della costruzione.
6. Pericolo di combustione senza fiamma e di incandescenza non percepibile (tizzoni ardenti).
7. Possibilità crescente di incendio generalizzato.

Analizzando le statistiche di mortalità per incendio di vari paesi, Schneider ha rilevato un nesso inequivocabile tra il numero di vittime e i materiali edili utilizzati negli edifici, come evidenziato in fig. 4.1. Da un'analisi dettagliata effettuata sui particolari tipici degli edifici di legno, ha osservato che il deterioramento in caso d'incendio può essere dovuto a combustione e crollo degli elementi strutturali, di quelli non strutturali o ai connettori metallici previsti tra le parti della struttura di legno, che s'indeboliscono a seguito dell'esposizione alle fiamme, perdendo, in tal modo, la loro capacità portante. Schneider ha rilevato, inoltre, che le fiamme si propagano molto più rapidamente tra stanze e/o appartamenti adiacenti, negli edifici le cui pareti esterne sono state realizzate o rivestite in legno. Per concludere, secondo Schneider gli edifici con struttura in legno "hanno diversi punti deboli in termini di sicurezza in caso d'incendio". Egli raccomanda, pertanto, che: "*In linea di principio, le intelaiature strutturali di legno possono essere rese sicure, soltanto tramite l'utilizzo di sistemi di estinzione incendi automatici oppure con l'uso di materiali edili non infiammabili come rivestimento antincendio di tutte le superfici infiammabili, in conformità con quanto previsto nelle nuove linee guida specifiche per le costruzioni con strutture di legno*" (Schneider e Oswald, 2005).

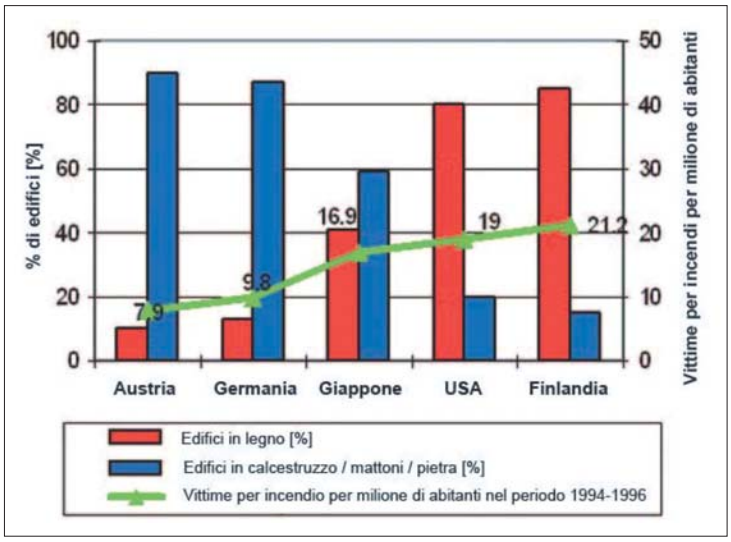

Fig. 4.1 Statistiche di mortalità per incendio per tipo di costruzione in cinque paesi (1994-1996) (*TUW Vienna Schneider e Oswald 2005*).

2. Valutazione indipendente dei danni causati da incendi
In Svezia O. Lundberg ha intrapreso un'indagine indipendente sul costo dei danni derivanti da incendio, in funzione del tipo di materiale con cui erano costruiti gli edifici, sulla base di dati statistici, in possesso dell'associazione Svedese delle assicurazioni (Forsakringsforbundet). Lo studio ha preso in considerazione solo incendi molto estesi che hanno interessato edifici multifamiliari con un valore assicurato superiore a €150.000. Sono stati considerati 125 incendi denunciati tra il 1995 e il 2004, il 10% degli incendi divampati in case multifamiliari ma che rappresentano il 56% degli incendi maggiori. I dati hanno dimostrato quanto segue:

• l'esborso medio per incendio di un appartamento effettuato dalla compagnia di assicurazione per abitazioni in legno è circa cinque volte più elevato rispetto a quello per abitazioni di calcestruzzo/muratura (circa €50.000 vs. €10.000);
• un incendio di vaste proporzioni è 11 volte più probabile in un edificio di legno che in uno di calcestruzzo/muratura;
• sul totale di edifici incendiati, il 50% di quelli di legno ha dovuto essere demolito, contro solo il 9% di quelli di calcestruzzo;
• su 55 incendi di abitazioni in calcestruzzo, solo in 3 le fiamme si sono propagate agli appartamenti adiacenti;
• dei 55 incendi, 45 erano di mansarda e tetto; nel caso tipico l'incendio inizia dai piani alti e si diffonde alla mansarda e al tetto (legno).

Questi studi forniscono evidenze importanti in merito ai rischi associati agli edifici con struttura di legno ed evidenziano la necessità di considerare tutti i vantaggi della sicurezza, in caso d'incendio, offerti dalle costruzioni effettuate con materiali non combustibili. Come già accennato, il fatto che il calcestruzzo sia contemporaneamente non infiammabile e molto efficace come tagliafuoco, fa si che sia la scelta migliore per avere edifici residenziali sicuri.

CASO N. 6
Incendio in una costruzione di legno, Colindale, Londra (2006)

Nel corso dei lavori di costruzione di un nuovo, importante complesso residenziale nella parte settentrionale di Londra, scoppiò un incendio che interessò edifici con struttura di legno, alti sei piani (v. figg. CS6.1). L'incendio si protrasse per cinque ore e ci vollero 100 vigili del fuoco e 20 autopompe per domare le fiamme. I testimoni riferirono che i condomini furono distrutti in pochi minuti. Poco dopo l'incendio, la stazione per il monitoraggio della qualità dell'aria collocata nelle vicinanze registrò un aumento significativo dell'emissione di particelle tossiche PM10, che possono provocare serie conseguenze alle persone con problemi respiratori. Circa 2.500 persone dovettero essere evacuate dalle zone limitrofe; una strada principale fu chiusa per due ore e l'atrio di una scuola, situata nei paraggi, fu danneggiato al punto che gli studenti non poterono tornarci. Fortunatamente il complesso non era stato ancora occupato da nuovi residenti e la scuola era quasi deserta per le vacanze estive. Nonostante tutto, i danni furono enormi. I funzionari preposti al controllo dell'edilizia si dichiararono preoccupati per il fatto che "se hai una struttura con solai di calcestruzzo e scoppia un incendio, l'incendio si sviluppa per compartimenti; se invece hai il legno brucia tutto" (Building Design, 21/07/06, pag. 1). Al momento di andare in stampa, era stata decisa la ricostruzione di almeno un condominio del complesso, utilizzando stavolta il calcestruzzo.

Fig. CS6.1 L'incendio scoppiato a Colindale in edifici residenziali costruiti parzialmente in legno è durato cinque ore e ci sono voluti 100 vigili del fuoco e 20 auto-pompe per avere ragione delle fiamme (*per gentile concessione di John-Macdonald- Fulton, UK*).

Il calcestruzzo previene la propagazione di incendi conseguenti a scosse sismiche

Le norme antisismiche che si applicano in alcuni paesi esigono che i progettisti tengano conto del problema specifico degli incendi dopo i terremoti. Questo aspetto è stato preso in considerazione in vari paesi e ad esempio in Nuova Zelanda si è evidenziato come le strutture di calcestruzzo abbiano un basso livello di vulnerabilità alla propagazione delle fiamme dopo un terremoto (Wellington Lifelines Group, 2002).

Il calcestruzzo protegge la proprietà – protezione antincendio con il calcestruzzo significa sicurezza e una rapida ripresa delle attività economiche

5. PROTEGGERE LE PROPRIETÀ E LE ATTIVITÀ

Gli edifici e le strutture in calcestruzzo sono in grado di proteggere le persone e le cose contro il pericolo rappresentato dagli incendi, ma comprensibilmente assume sempre maggiore importanza la sicurezza delle persone sia nella fase di progettazione sia nelle situazioni di emergenza. Tuttavia, la sicurezza in caso d'incendio relativamente ai suoi aspetti economici, di tutela ambientale e di salvaguardia dell'efficienza di infrastrutture importanti per la collettività, stanno molto a cuore a proprietari privati, compagnie di assicurazione e autorità nazionali. Tutti questi fattori sono stati tenuti in conto nella legislazione Europea sulla sicurezza in caso d'incendio (v. cap. 1), in cui uno dei tre obiettivi della protezione è basato specificamente sulla tutela delle cose, delle proprietà limitrofe all'incendio e sulla salvaguardia dello stesso edificio in cui l'incendio è divampato.

Il calcestruzzo protegge prima e dopo l'incendio

Si stima che il costo economico totale dei danni causati dagli incendi ammonti mediamente allo 0,2-0,3% del prodotto interno lordo (PIL) per anno (v. tab. 5.1). Chiaramente, per i paesi europei ciò corrisponde a molti milioni di Euro, ma non dà un'indicazione realistica del potenziale impatto economico degli incendi – Denoël/Febelcem (2006). In Usine enterprise (2004) si afferma che oltre il 50% delle aziende che hanno subito un grave incendio è destinata a fallire. Per le imprese commerciali quali centri logistici, alberghi, fabbriche, edifici commerciali e centri di distribuzione, un incendio determina la completa distruzione della funzione operativa e della produttività, oltre all'interruzione del servizio ai clienti. Ciò causa seri problemi e, in ultima analisi, può comportare la perdita di posti di lavoro o la chiusura dell'attività. Tuttavia, il grado di impatto su edifici che hanno un ruolo infrastrutturale molto importante per la comunità potrebbe essere ancor più penalizzante, come ad esempio su ospedali, stazioni ferroviarie, centrali elettriche, uffici governativi, archivi dati e sedi di sistemi di telecomunicazione. Nessuno auspica che questi edifici siano distrutti dalle fiamme, perché ciò potrebbe avere effetti potenzialmente devastanti.

Tab. 5.1: Dati statistici internazionali sugli incendi negli edifici nel periodo 1994-1996 (*Neck, 2002*)

Paese	Costo dei danni diretti e indiretti causati da incendi (% del PIL)	Morti su 100.000 abitanti per anno	Costo delle misure di protezione antincendio (% del PIL)	Costo dei danni e delle misure di prevenzione (% del PIL)
Austria	0,20	0,79	NA	NA
Belgio	0,40 (1988–89)	1,32	NA	0,61
Danimarca	0,26	1,82	NA	NA
Finlandia	0,16	2,12	NA	NA
Francia	0,25	1,16	2,5	0,40
Germania	0,20	0,98	NA	NA
Italia	**0,29**	**0,86**	**4,0**	**0,63**
Norvegia	0,24	1,45	3,5	0,66
Spagna	0,12 (1984)	0,77	NA	N
Svezia	0,24	1,32	2.5	0,35
Svizzera	0,33 (1989)	0,55	NA	0,62
Olanda	0,21	0,68	3,0	0,51
Regno Unito	0,16	1,31	2,2	0,32
USA	0,14	1,90	NA	0,48
Canada	0,22	1,42	3,9	0,50
Giappone	0,12	1,69	2,5	0,34

Con il calcestruzzo la protezione antincendio è compresa

Ciò può stupire, perché i dati mondiali relativi ai costi della protezione antincendio indicano che tra il 2 e il 4% circa dei costi di una costruzione sono spesi per le misure di protezione antincendio (v. tab. 5.1), ma con il calcestruzzo la protezione antincendio è un beneficio compreso e quindi gratuito. Infatti, il calcestruzzo ha una riserva di sicurezza al fuoco, che rimane efficace anche dopo un cambio di destinazione d'uso, oppure se l'edificio subisce delle modifiche. Le proprietà antincendio del calcestruzzo rimangono immutate nel tempo e consistenti, senza incidere su questo tipo di spese.

Le intrinseche proprietà di resistenza al fuoco degli elementi di calcestruzzo fanno sì che questi siano pienamente in grado di soddisfare in maniera economica i requisiti di protezione antincendio e li rendono in un certo senso 'a prova di futuro' nei confronti di eventuali modifiche marginali delle norme antincendio.

Se scoppia un incendio, avere investito in un edificio di calcestruzzo avrà veramente un senso. La continuazione delle attività sociali e professionali è una priorità, sia in ambito residenziale che lavorativo, ed è da questo punto di vista che il comportamento del calcestruzzo in caso d'incendio determina benefici economici immediati e significativi:

- La resistenza al fuoco del calcestruzzo significa che qualunque incendio è circoscritto ad una piccola area, sala o compartimento, minimizzando la portata e l'entità degli interventi di riparazione richiesti.
- I lavori di riparazione agli edifici di calcestruzzo coinvolti in un incendio sono di solito marginali, immediati e poco costosi, perché spesso limitati solo ad aree di superficie limitata, mentre la demolizione anche solo parziale è rara (v. cap. 2).
- Le pareti e i pavimenti dei compartimenti realizzati in calcestruzzo prevengono la propagazione delle fiamme, pertanto i locali adiacenti di una fabbrica, magazzino, ufficio o gli appartamenti adiacenti, se si tratta di un edificio residenziale, dovrebbero essere in grado di continuare a funzionare normalmente, una volta risolta l'emergenza. Questo indipendentemente da quali possano essere le condizioni dell'area interessata dall'incendio.
- Nelle strutture industriali e commerciali, le pareti di calcestruzzo tagliafuoco prevengono la perdita di beni preziosi, macchinari, attrezzature, scorte, ecc., limitando l'impatto dell'incendio sull'attività e riducendo il livello dell'indennizzo da richiedere alla compagnia di assicurazione.
- L'esperienza dimostra che dopo un incendio i danni provocati dall'acqua, negli edifici costruiti in calcestruzzo, sono trascurabili.

Premi assicurativi più bassi con il calcestruzzo

Ogni incendio è causa di perdite economiche, e nella maggior parte dei casi sono le compagnie di assicurazione a dover sostenere gli oneri dei danni prodotti dalle fiamme. Per tale motivo, le assicurazioni mantengono banche dati complete e accurate sulla prestazione di tutti i materiali edili in caso d'incendio; sanno che il calcestruzzo offre un'eccellente protezione antincendio e ciò si riflette in premi più bassi. In tutta Europa, i premi delle polizze assicurative per gli edifici costruiti in calcestruzzo tendono ad essere minori di quelli richiesti per altri materiali, spesso più pesantemente danneggiati o addirittura distrutti dall'incendio. Nella maggior parte dei casi, gli edifici di calcestruzzo sono classificati nella categoria più bassa per via della capacità dimostrata nella protezione antincendio e resistenza al fuoco.
Naturalmente ogni compagnia ha regole e condizioni contrattuali che variano da paese a paese, ma la maggior parte prevede benefici per i proprietari di edifici di calcestruzzo, proprio in virtù delle statistiche favorevoli che dimostrano le ottime proprietà di questo materiale. Nel calcolo del premio di una polizza, gli assicuratori tengono conto dei seguenti fattori:

- materiale utilizzato;
- tipo di materiale con cui è realizzato il tetto;
- tipo di attività/destinazione d'uso dell'edificio;
- distanza dagli edifici limitrofi;
- natura degli elementi della costruzione;
- tipo di riscaldamento;
- impianti elettrici;
- protezione e prevenzione.

CASO N. 7
Premi assicurativi per magazzini in Francia

Sfortunatamente i dati pubblicamente disponibili in merito ai costi delle polizze assicurative sono molto pochi, ma per fortuna esistono alcuni studi comparati. In Francia CIMbéton (2006) ha pubblicato una sintesi e un modello di costi che riflette il punto di vista delle compagnie di assicurazione nel caso di magazzini ed edifici industriali monopiano.

Lo studio evidenzia come i premi delle polizze assicurative tengano conto di diversi fattori, tra i quali l'attività che si svolge nell'edificio e il materiale da costruzione utilizzato. Il materiale con cui è costruito l'edificio è certamente importante; influenzano il calcolo fattori quali la struttura, le pareti esterne, il numero di piani, il tetto e l'arredamento. I risultati dimostrano chiaramente in che misura il calcestruzzo è preferibile ad altri materiali, quali l'acciaio e il legno, per tutte le parti dell'edificio. Ad esempio, decidendo di realizzare in calcestruzzo il telaio e le pareti di un magazzino monopiano, è possibile ridurre del 20% il premio 'standard' medio. Se, invece, si preferisce una struttura con telaio in acciaio e rivestimento in lamiera, il premio 'standard' aumenta del 10-12%, con una differenza totale di almeno il 30%. Nella definizione del premio finale, gli assicuratori prendono in considerazione l'equipaggiamento di sicurezza, le misure di prevenzione e spegnimento dell'incendio, che includono un'efficace compartimentazione, un metodo di protezione antincendio in cui il calcestruzzo eccelle.

Tab. 5.2: Premi assicurativi per un magazzino di 10.000 m² (monopiano, non arredato); importo totale assicurato = 25 milioni di Euro (CIMbéton, 2006)

Costruzione	Premio annuo (tasse escluse) Tariffa annua media = 50.000 €
Calcestruzzo	Euro 40.000 (20% in meno rispetto alla tariffa media)
Acciaio	Euro 56.000 (12% in più rispetto alla tariffa media)

CASO N. 8
Il mattatoio, Bordeaux (1997)

Originato da un cortocircuito sviluppatosi nel soffitto, questo spettacolare incendio si propagò molto rapidamente, coinvolgendo i primi 2.000 m² in soli 10 minuti. I vigili del fuoco impiegarono tre ore per domare le fiamme che avevano ormai divorato la metà dei 9.000 m² dell'edificio. L'incendio si diffuse così rapidamente per via della combustione del materiale isolante infiammabile che era contenuto nei pannelli a sandwich, utilizzati per la facciata lunga 130 m e che i vigili del fuoco non riuscirono ad impedire venisse aggredita dalle fiamme (v. fig. CS8.1). È chiaro come la ripartizione dell'edificio in compartimenti con pareti di calcestruzzo e l'uso di pannelli di calcestruzzo per la facciata, avrebbe notevolmente limitato la propagazione delle fiamme.

Fig. CS8.1 I pannelli sandwich in metallo leggero non sono riusciti ad impedire che il mattatoio di Bordeaux (Francia) andasse distrutto nel devastante incendio del gennaio 1997. Le fiamme avvolsero tutto l'edificio e si estesero anche agli immobili adiacenti (*per gentile concessione di SDIS 33, Fire and Rescue Service, Gironde, Francia*).

CASO N. 9
Magazzino di abbigliamento, Marsiglia (1996)

Il fuoco si diffuse molto rapidamente nel magazzino di abbigliamento in cui lavoravano all'epoca 40 persone. In cinque minuti l'intero edificio fu avvolto dalle fiamme, mentre dal materiale altamente infiammabile si sprigionò molto fumo e calore. Senza idranti, senza pareti tagliafuoco e con una struttura instabile al fuoco, l'intero edificio andò distrutto, come si può vedere nella fig. CS9.1. Il vento contribuì a far propagare le fiamme, minacciando i magazzini limitrofi situati a 10 metri di distanza, che dovettero essere evacuati. Gli altri edifici furono salvati dall'intervento dei vigili del fuoco che crearono una parete di interdizione con l'acqua.

Fig. CS9.1 Immagine vista dall'alto del magazzino ubicato a nord di Rognac, vicino a Marsiglia. Si vede come l'incendio si sia diffuso all'intero edificio privo di pareti tagliafuoco (*per gentile concessione di SDIS 13, Fire and Rescue Service, Bouches du Rhone, Francia*).

Il calcestruzzo aiuta i vigili del fuoco a salvare le proprietà

Nonostante la legislazione Europea imponga come requisito la tutela delle persone, delle cose e dell'ambiente, ovviamente, i vigili del fuoco attribuiscono la priorità dei loro interventi, nella maggior parte dei casi, alla tutela delle vite umane; per tale motivo, i loro protocolli d'intervento per l'ingresso in un edificio in fiamme tendono a mettere al primo posto il salvataggio delle persone, e solo successivamente quello delle cose e dell'ambiente. Ad esempio, i vigili del fuoco potrebbero decidere di non entrare in un edificio se gli utilizzatori sono già stati evacuati, pur garantendo sempre il tentativo di domare le fiamme. La facciata di calcestruzzo fornisce una protezione adeguata per un approccio di questo tipo. Una volta certi che tutte le persone sono in salvo, i vigili del fuoco si preoccupano di evitare che le fiamme si propaghino agli edifici adiacenti e valutano gli eventuali rischi per l'ambiente, derivanti dai prodotti della combustione. Quest'approccio sottolinea la necessità che le persone siano in grado di abbandonare in sicurezza un edificio in fiamme almeno nei limiti dell'intervallo temporale di resistenza al fuoco previsto dalle normative.
Una ricerca svolta in Francia dimostra che, su 13.000 incendi in un anno, il 5% interessa edifici industriali e che un solo incendio di grosse proporzioni può produrre perdite economiche fino a due milioni di Euro (CIMbéton, 2006). In questi edifici, le scorte di magazzino possono essere altamente infiammabili e presenti in grosse quantità, con l'altissimo rischio di contribuire al crollo in caso d'incendio, a meno che non si usino in maniera efficace dei compartimenti, che ripartiscano lo spazio e, quindi, il carico d'incendio. Si prenda ad esempio il caso di un proprietario di un magazzino preoccupato di minimizzare i danni per le merci in caso d'incendio, consapevole del fatto che i vigili del fuoco potrebbero insistere per combattere le fiamme a distanza di sicurezza, operando solo dall'esterno dell'edificio. In tal caso, il calcestruzzo può rappresentare un certo vantaggio:

1. Il carico d'incendio di questi edifici può essere molto alto in funzione del tipo di materiale e delle dimensioni del compartimento. Pareti tagliafuoco interne di calcestruzzo, equamente distanziate e ben distribuite, **riducono il rischio di propagazione delle fiamme** da un ambiente all'altro, minimizzando l'entità del danno riportato.
2. Negli edifici monopiano, con lunga campata e monocomparto il rischio di crollo precoce ed improvviso del tetto è particolarmente elevato. **Le pareti di calcestruzzo preservano la loro stabilità** e anche se il tetto dovesse cedere, le pareti non dovrebbero deformarsi e crollare, mettendo così a rischio le aree adiacenti.
3. Le facciate resistenti al fuoco realizzate in calcestruzzo (classificate come REI 120), impediscono alle fiamme di propagarsi e proteggono l'intervento dei vigili del fuoco (v. fig. 1.2). **Le facciate di calcestruzzo riducono di circa il 50% la distanza di sicurezza per i vigili del fuoco, che possono quindi avvicinarsi di più alle fiamme**

grazie al calcestruzzo che funge da scudo di protezione.
4. **Le pareti esterne di calcestruzzo sono talmente efficaci nell'evitare la propagazione delle fiamme** tra gli edifici, che in alcuni paesi, ad esempio la Francia, è ammesso di non rispettare la distanza tra edifici adiacenti, generalmente applicata in presenza di materiali diversi dal calcestruzzo.
5. **I tetti di calcestruzzo non sono infiammabili**, ossia appartengono alla classe di resistenza al fuoco A-1 e non producono materiale fuso.

CASO N. 10
Mercato internazionale dei fiori, Rungis, Parigi (2003)

Gran parte di questo magazzino, realizzato in calcestruzzo e che si estende su una superficie di 7.200 m^2, ha resistito ad un incendio scoppiato nel giugno 2003. Le pareti e il soffitto hanno retto bene all'impatto con le fiamme, che produssero molto calore e fumo quando presero fuoco i materiali utilizzati per il confezionamento dei fiori, aiutate anche dagli oli aromatici contenuti nelle piante. L'intera zona meridionale di Parigi fu invasa dal fumo emesso dalla merce e dalle attrezzature andate completamente distrutte per una superficie di 1.600 m^2. Benché 100 m^2 dell'edificio siano crollati, l'incendio rimase circoscritto all'area da cui si era sviluppato, e dopo soli sei mesi, nonostante le molte indagini condotte dall'assicurazione, l'edificio fu riparato e l'attività poté riprendere.

Fig. CS10.1 Il magazzino di fiori di Rungis, che ha ripreso l'attività sei mesi dopo l'incendio (*per gentile concessione di CIMbéton, Francia*).

Fig. CS10.2 Gli interni danneggiati del magazzino, riparati in tempi molto brevi (*per gentile concessione di CIMbéton, Francia*).

Il calcestruzzo offre una resistenza al fuoco intrinseca, rendendo superflua l'installazione di sistemi attivi per proteggere persone e cose

6. IL CALCESTRUZZO E L'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA

Il principio dell'ingegneria della sicurezza in caso d'incendio

L'ingegneria della sicurezza in caso di incendio (Fire Safety Engineering – FSE) è un approccio relativamente nuovo per identificare le misure di protezione antincendio, ed è basato su metodi prestazionali piuttosto che su delle tabelle di dati prescrittivi. Tale approccio è stato applicato soprattutto per grandi strutture, come ad esempio aeroporti, centri commerciali, sale espositive ed ospedali, al fine di ottimizzare le richieste di misure di protezione antincendio. Anche se non esiste una definizione univoca di FSE, secondo l'ISO è "l'applicazione di metodi ingegneristici, basati su principi scientifici, per lo sviluppo o la valutazione di progetti in un ambiente costruito, attraverso l'analisi di specifici scenari d'incendio o attraverso la quantificazione del rischio d'incendio per un gruppo di scenari d'incendio" (ISO/CD).
La procedura di progetto, secondo la FSE, calcola il valore progettuale del carico d'incendio considerando i seguenti fattori:
• la densità caratteristica del carico d'incendio per unità di superficie di pavimento (i valori sono riportati nell'EC1, parte 1-2);
• il carico d'incendio atteso dovuto alla combustione dei contenuti (fattore di combustione);
• il rischio d'incendio dovuto alle dimensioni del compartimento (più grande il compartimento, più elevato il rischio);
• la probabilità che scoppi un incendio, sulla base del numero di utilizzatori e del tipo d'uso (fattore uso);
• le condizioni di ventilazione ed emissione di calore.
Sulla base di tali fattori vengono valutati i singoli elementi strutturali e si può stabilire la probabilità globale di accadimento di un incendio che causi danni strutturali.
Il metodo di calcolo si avvale di tutte le misure di prevenzione attive presenti nell'edificio, che vengono aggregate, allo scopo di dare il quinto e ultimo fattore del calcolo del carico d'incendio, e include:
• l'esistenza di un sistema di rilevamento automatico (es. allarmi termici, sensori di fumo, trasmissione automatica del segnale alla centrale dei vigili del fuoco);
• l'esistenza di un sistema di spegnimento automatico (es. sprinkelr/sistemi di spegnimento ad acqua, disponibilità di alimentazione idrica indipendente);
• l'esistenza di un sistema di spegnimento manuale dell'incendio (es. vigili del fuoco presenti sul posto, intervento tempestivo dei vigili del fuoco dalla centrale).

L'ingegneria della sicurezza in caso d'incendio nella pratica

Non esistono regole comuni per la FSE, un software di semplice utilizzo non è ancora disponibile e ci sono differenze significative dal punto di vista dell'approccio, dell'esperienza e dei livelli di accettazione da parte delle diverse autorità.
La FSE deve essere usata con cautela da parte degli esperti competenti e solo tramite un'opportuna valutazione dei presupposti. Seri dubbi sono stati sollevati sulla validità e sull'accuratezza dei calcoli probabilistici, e le critiche si concentrano sulle disastrose conseguenze che un calcolo impreciso potrebbe avere.
Sono stati anche espressi timori circa il fatto che l'inesperienza nell'utilizzo di quest'approccio, da parte di personale non competente, potrebbe indurre a interpretazioni errate dei metodi di calcolo, con conseguenti elaborazioni di risultati errati. La notevole variabilità dei parametri inclusi nelle ipotesi alla base del modello di calcolo, potrebbe includere, ma non limitato solo a questi, i seguenti aspetti:
• **le percentuali di successo dell'intervento dei vigili del fuoco**: si tratta sempre di valori medi, non applicabili a tutti gli edifici; si prevedono considerevoli oscillazioni di rendimento;
• **il comportamento umano**: si ipotizza in che modo le persone reagiranno di fronte all'emergenza, ma c'è un alto grado di variabilità correlato al comportamento della massa ed alle disponibilità di vie di fuga;
• **l'affidabilità degli impianti antincendio a sprinkler**: si riportano i valori medi, ma esistono sistemi diversi per soddisfare le esigenze dei diversi tipi di edifici;
• **gli incendi dolosi** (ossia dovuti ad intento criminale) non sono coperti in maniera sufficiente: alcuni tipi di edifici e di localizzazioni sono naturalmente più a rischio di dolo.
Secondo alcune statistiche sul comportamento osservato su impianti antincendio a sprinkler, emerge che questi sarebbero scarsamente affidabili. Febelcem (2007) e PCI

(2005) riferiscono i dati relativi ad esperienze negli USA, in cui la National Fire Protection Association ha rilevato come gli sprinkler non siano serviti a domare le fiamme nel 20% degli incendi che hanno coinvolto ospedali/uffici, nel 17% di quelli di alberghi, nel 13% di quelli di appartamenti e nel 26% di quelli che hanno coinvolto edifici pubblici, con una percentuale media di insuccesso, su base nazionale, del 16% (cifre relative al 2001). I dati per l'Europa, riportati nella stessa pubblicazione, evidenziano un quadro leggermente diverso.

Le percentuali di successo degli sprinkler analizzate per classe di rischio evidenziano quanto di seguito riportato:
• uffici (rischio lieve): successo nel 97,4%;
• attività commerciali (rischio medio): successo nel 97,2%;
• industria del legname (rischio alto): successo nel 90,8%.
Altre fonti rivendicano che molti fallimenti siano dovuti all'interferenza dell'uomo sulle apparecchiature (tracce di vernice, oggetti appesi, ecc.). Ciononostante, l'efficienza degli sprinkler può risentire di un problema inerente all'interazione tra i sistemi antifumo (ventilazione) e gli sprinkler stessi. Secondo vari studi, l'acqua che questi emettono raffredda il pennacchio di fumo, impedendogli di salire; di conseguenza, il fumo rende più difficili le condizioni di visibilità durante l'evacuazione (Heselden, 1984; Hinkley and Illingworth, 1990; Hinkley et al, 1992). Inoltre, il movimento ascensionale del pennacchio di fumo espulso dal sistema di ventilazione meccanica impedisce alle goccioline d'acqua emesse dagli sprinkler di scendere efficacemente a spegnere le fiamme.

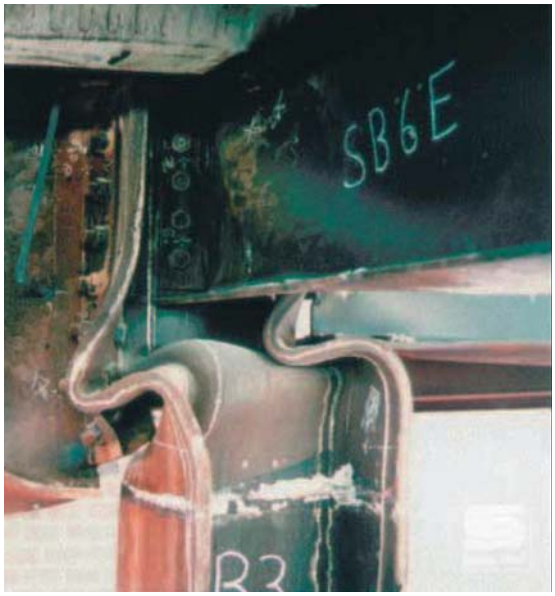

Fig. 6.1 Estremità di un pilastro d'acciaio fortemente deformato dopo un incendio (*per gentile concessione di Building Research Establishment, GB*).

Le procedure di progetto utilizzate nella FSE si basano sul presupposto che l'integrazione delle varie misure di protezione attiva riducono la possibilità che l'incendio causi un danno strutturale; combinando più misure, l'effetto si amplifica, riducendo ulteriormente la densità del carico d'incendio ipotizzato nell'edificio.
Questo metodo di calcolo riduce, pertanto, la protezione antincendio richiesta in un edificio. Ne consegue che alcuni materiali edili, che risultano essere poco resistenti in caso d'incendio e totalmente dipendenti dalle misure di protezione attiva, possono apparire opzioni praticabili.
Nella FSE, la capacità di resistere al fuoco di una struttura si ottiene prendendo in considerazione il sistema di spegnimento e la protezione applicata alla struttura. Tuttavia, non è detto che una soluzione valida per la FSE riesca a proteggere l'edificio, le persone e le cose. I motivi sono illustrati nella tav. 2.

In casi normali, il calcestruzzo è l'unico materiale in grado di fornire una robusta resistenza al fuoco senza la necessità di protezioni attive; è una misura di sicurezza passiva in caso d'incendio che agisce in maniera affidabile anche qualora le misure attive risultassero insufficienti.
La FSE può sottovalutare le misure passive di provata efficacia e che non richiedono manutenzione come la costruzione in calcestruzzo e potrebbe indurre a fare troppo affidamento su sistemi attivi inaffidabili, mettendo potenzialmente in pericolo le persone e le cose.

Tav. 2: Perché la FSE potrebbe non funzionare
Il sistema di spegnimento dell'incendio può non essere efficace:
- perché non funziona
- perché non è adeguato all'incendio

Il sistema di protezione antincendio può non funzionare:
- perché rotto
- perché obsoleto perché deteriorato
- perché non adeguato all'incendio

A questo punto la capacità di resistenza al fuoco della struttura ritorna ad essere quella intrinseca dei materiali che la costituiscono, siano essi calcestruzzo, legno, mattoni o acciaio. In questo caso la strategia FSE può fallire istantaneamente perché gli elementi non protetti di acciaio e legno perdono la loro stabilità in assenza di sistemi di protezione attiva funzionanti.

Con il calcestruzzo, le misure di sicurezza in caso d'incendio continuano ad essere operative anche se c'è stato un cambio di destinazione d'uso, perché il calcestruzzo è intrinsecamente resistente al fuoco. Laddove la prevenzione è assicurata dalla FSE, ciò vale solo nei casi in cui la destinazione d'uso resta immutata. Questo perché le misure previste da quest'approccio sono determinate sulla base della destinazione d'uso dell'edificio. In caso di eventuali variazioni, per esempio relativamente al carico d'incendio, la protezione fornita dagli sprinkler o dal rivestimento antincendio potrebbe non essere più sufficiente.

Il calcestruzzo non fornisce solo una protezione antincendio globale

7. IL VALORE AGGIUNTO DEL CALCESTRUZZO

In caso d'incendio, le straordinarie e sperimentate proprietà di resistenza al fuoco del calcestruzzo rappresentano una sicurezza per le persone, per le cose e per l'ambiente. Questo materiale soddisfa tutti i requisiti in materia di protezione antincendio previsti dalla legislazione Europea, con conseguente beneficio per gli utenti, i proprietari, le aziende e i residenti, ma anche per le compagnie di assicurazione, gli organi di vigilanza e i vigili del fuoco. Nelle diverse situazioni – edifici residenziali, capannoni industriali o gallerie – le prestazioni del calcestruzzo possono essere facilmente adattate alle singole specifiche progettuali, in modo tale da ottenere un'adeguata resistenza al fuoco anche nelle condizioni più difficili.

Il calcestruzzo non possiede soltanto un'eccellente resistenza al fuoco, ma fornisce anche massa termica e isolamento acustico

La combinazione di queste prestazioni consente al progettista di massimizzare i potenziali benefici ottenibili con il calcestruzzo. Ad esempio, l'installazione di una parete tagliafuoco di calcestruzzo tra compartimenti antincendio adiacenti, oltre a fornire la necessaria protezione antincendio, aggiunge massa termica all'edificio e agevola così al mantenimento della temperatura nell'ambiente, assicurando, contemporaneamente, un isolamento acustico tra gli spazi. Tutto questo con un unico materiale, senza dover fare affidamento su altre misure attive, senza aggiungere altri materiali isolanti, che richiedono un notevole dispendio di risorse per i frequenti interventi di manutenzione o di riparazione. È chiaro quindi il vantaggio economico ottenibile dal calcestruzzo nel lungo termine, ma è ancor più importante l'evidente vantaggio ottenibile nei confronti della sicurezza in caso d'incendio.

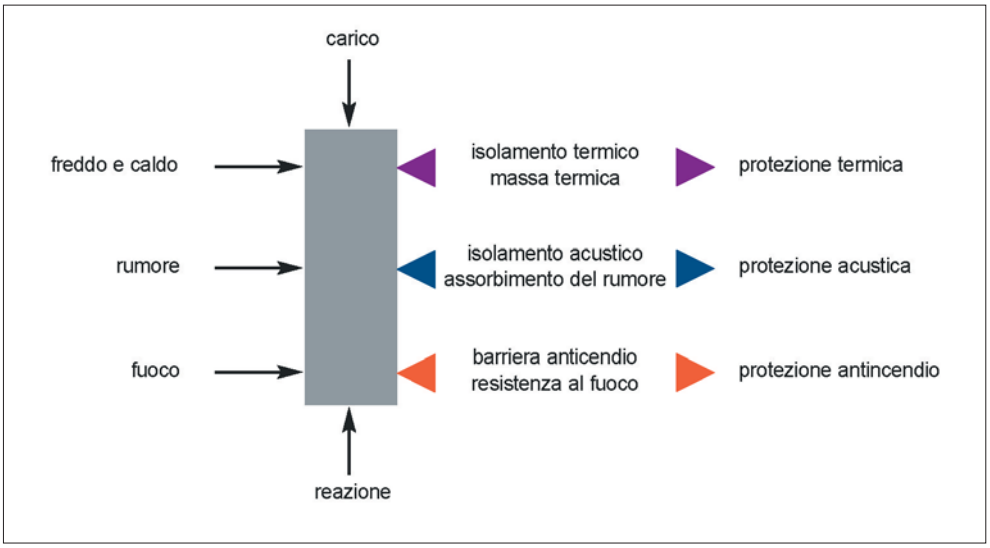

Fig. 7.1 Il valore aggiunto del calcestruzzo (*per gentile concessione di Neck, 1999*).

8. BIBLIOGRAFIA

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (2003). *The Pentagon building performance report*, ASCE, Washington, USA. 64 pp.

BEESE G and KÜRKCHÜBASCHE R. (1975), *Hochhaus Platz der Republik in Frankfurt am Main*. Teil III Der Brand vom 22 August 1973. *Beton- und Stahlbetonbau*, 70 (1975) H. 8, S. 184/188. *Germany*.

CEMBUREAU (2004). *Improving fire safety in tunnels: the concrete pavement solution*, CEMBUREAU, Brussels, Belgium. 8 pp.

CHANA P and PRICE B (2003). The Cardington fire test, *Concrete* – the magazine of The Concrete Society, January, pp. 28 – 33. Camberley, UK.

CEN EN 1991-1-2 (2002). Eurocode , Part 1-2: *Actions on structures – General actions – Actions of structures exposed to fire*. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (2004). EN 1992-1-2 (2004) Eurocode 2 Part 1-2: *Design of concrete structures - General rules – Structural fire design*. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (2002) EN 13501-1. *Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests*. CEN, Brussels, Belgium.

CIMbéton (2006). *Conception des bâtiments d'activités en béton: Murs séparatifs coupe-feu et façades à function d'écran thermique en béton* (B67), CIMbéton, Paris, France. 111 pp.

DENOËL J-F (2006). *Dossier ciment 37: La protection incendie par les constructions en béton*, Febelcem, Brussels, Belgium. 20 pp. (French, Dutch versions downloadable from www.febelcem.be).

DENOËL J-F (2007). *Fire safety and concrete structures*, Febelcem, Brussels, Belgium. 90 pp. (French, Dutch versions downloadable from www.febelcem.be).

HESELDEN A J M (1984). *The interaction of sprinklers and roof venting in industrial buildings: the current knowledge*. BRE, Garston, UK.

HINKLEY P L and ILLINGWORTH P M (1990). *The Ghent fire tests: observations on the experiments*, Colt International, Havant, Hants, UK.

HINKLEY P L, HANSELL G O, MARSHALL N R, and HARRISON R (1992). Sprinklers and vent interaction, Fire Surveyor, 21 (5) pp. 18-23. UK.

HORVATH, S (2002). *Fire safety and concrete: fire safety and architectural design*, CIMbéton, Paris, France. 13 pp. presented at 1st Advanced Seminar on Concrete in Architecture, Lisbon, Portugal.

INTEMAC (2005). *Fire in the Windsor Building, Madrid. Survey of the fire resistance and residual bearing capacity of the structure after fire, Notas de nformación Técnica (NIT), NIT-2 (05)*, (Spanish and English). Intemac (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones), Madrid, Spain. 35 pp.

ISO/CD 23932. *Fire safety engineering – General principles*. (under development).

KHOURY G. (2000). *Effect of fire on concrete and concrete structures, Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol. 2, pp. 429-447.

KORDINA K and MEYER-OTTENS C. (1981). *Beton-Brandschutz-Handbuck*. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany.

LENNON T (2004). *Fire safety of concrete structures: background to BS 8110 fire*

design, Building Research Establishment (BRE), Garston, Watford, UK. 41 pp.

LUNDBERG O. (2006) *Brandrapport 2006, Undersökning av bränder I flerbostadshus*, Available at: http://www.betong.se/brandrapport2006.pdf Betongforum, Danderyd, Sweden. 12 pp.

MUNICH RE (2003). *Risk management for tunnels*, Munich Re group, Munich, Germany. 55 pp.

NARYANAN, N, and GOODCHILD, C H (2006). *Concise Eurocode 2*, The Concrete Centre, Camberley, UK. 107 pp.

NECK, U (1999). Comprehensive performance of precast concrete components through integrated utilization of the material and component properties. *Proceedings of BIBM 16th International Congress of the Precast Concrete Industry in Venice*. pp. I-69-74. Milan, ASSOBETON, National Precast Concrete Association.

NECK U (2002). *Comprehensive fire protection with precast concrete elements – the future situation in Europe*, Proceedings of BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry. Session 5, 8 pp. Ankara, Turkish Precast Concrete Association. (CD only).

NIST. *Federal Building and Fire Safety investigation of the World Trade Centre disaster: Final report of the National Construction Safety Team on the collapse of the World Trade Center Tower*. NCSTAR 1.

SCHNEIDER U and OSWALD M (2005). *Fire safety analysis in concrete and timber frame construction* (German/English), Institute for Building Construction and Technology, Vienna University of Technology, Vienna, Austria. 42 pp.

STOLLARD P and ABRAHAMS J (1995). *Fire from first principles: a design guide to building fire safety* (2nd edition), E&FN Spon, London, UK. 192 pp

SZOKE S S. (2005). Are we protected from fire in buildings? PCI *Journal*, January – February 2005. PCI, United States.

Usine entreprise (Factory business) no. 3031, November 2004. Brussels, Belgium.

WELLINGTON LIFELINES GROUP (2002). *Fire following earthquake: identifying key issues for New Zealand*. Wellington Lifelines Group, Wellington, New Zealand. 41 pp.

pubblicemento