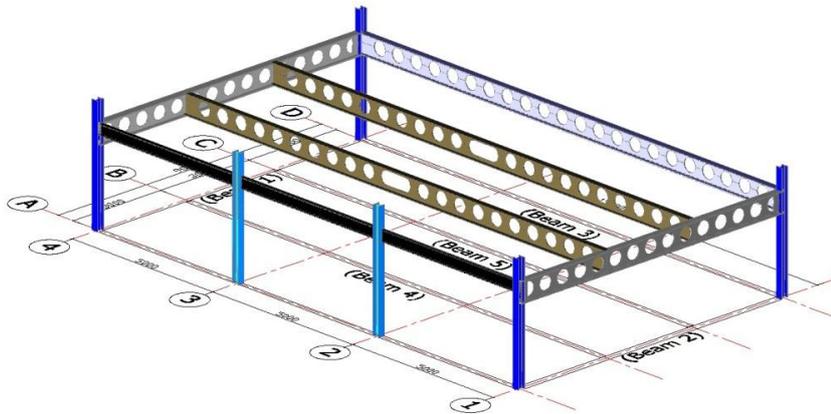


15. Il contributo dell'azione membranale nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo in condizioni di incendio.

A cura di:





Commissione per la Sicurezza
delle Costruzioni in Acciaio
in caso d'Incendio

La **Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni in Acciaio in caso d'Incendio** è un gruppo di lavoro costituito il 20 gennaio 2006, su iniziativa di Fondazione Promozione Acciaio con la partecipazione del Ministero dell'Interno, composto da rappresentanti nazionali nel campo della ricerca europea, da esponenti del Ministero dell'Interno coinvolti nella definizione del quadro normativo nazionale e da docenti universitari. Esso si propone i seguenti principali obiettivi:

- costituire un tavolo tecnico per la valutazione dei risultati della ricerca nazionale ed europea;
- analizzare tecnicamente la norma nazionale, con i necessari riferimenti alle norme vigenti nell'ambito della Comunità Europea;
- fornire strumenti tecnici aggiornati agli operatori di controllo (VVF e collaudatori) per la valutazione della sicurezza delle strutture in acciaio;
- fornire strumenti tecnici per l'aggiornamento professionale.

Per tutte le informazioni sulle attività della Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso d'Incendio e di Fondazione Promozione Acciaio: www.promozioneacciaio.it

Premessa

In questo lavoro viene presentato un metodo di calcolo semplificato per la realizzazione di edifici a telaio in acciaio, che impiegano travi e solai composti acciaio-calcestruzzo. Questo procedimento consente l'analisi globale dalla struttura del solaio e permette di individuare quali elementi strutturali possono restare senza protezione, mantenendo un livello di sicurezza equivalente a quello ottenuto mediante i metodi di calcolo tradizionali.

Questa trattazione è stata sviluppata nel recente progetto di ricerca RFCS MACS+, "Azione membranale nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo in condizioni di incendio"(7,8). Per l'applicazione di questo metodo di calcolo semplificato è stato implementato, nell'ambito della ricerca, uno specifico software MACS+.

Il contributo dell'azione membranale nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo in condizioni di incendio

Sandro Pustorino – Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in Caso di Incendio (Coordinatore)

Paola Princi – Structura Engineering

Emidio Nigro - Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Napoli Federico II

Luca Ponticelli - Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

Chiara Crosti – Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Università degli Studi di Roma La Sapienza

Il presente lavoro è frutto delle attività 2012 condotte dalla Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, istituita e sostenuta da Fondazione Promozione Acciaio.

Sommario

Le prove di resistenza al fuoco in grande scala condotte in diversi paesi e le analisi degli incendi che si sono verificati in edifici reali hanno mostrato che le prestazioni in caso di incendio di edifici a telaio realizzati con struttura in acciaio e composta acciaio-calcestruzzo sono migliori di quanto indicato dalle prove di resistenza al fuoco su elementi isolati. Appare chiaro che nei moderni edifici realizzati con questa tipologia strutturale ci sono ampie riserve di resistenza al fuoco e che le prove condotte con esposizione alla curva di incendio standard fatte su elementi singoli non vincolati non forniscono indicazioni soddisfacenti circa le prestazioni di questo tipo di strutture.

In questo lavoro viene presentato un metodo di calcolo semplificato per la realizzazione di edifici a telaio in acciaio, che impiegano travi e solai composti acciaio-calcestruzzo. Questo procedimento consente l'analisi globale dalla struttura del solaio e permette di individuare quali elementi strutturali possono restare senza protezione, mantenendo un livello di sicurezza equivalente a quello ottenuto mediante i metodi di calcolo tradizionali. Questa trattazione è stata sviluppata nel recente progetto di ricerca RFCS MACS+, "Azione membranale nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo in condizioni di incendio"(7,8). Per l'applicazione di questo metodo di calcolo semplificato è stato implementato, nell'ambito della ricerca, uno specifico software MACS+.



Fig. 1 – Le prove sperimentali di Cardington

L'azione membranale nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo in condizioni di incendio.

Le prove effettuate in varie campagne sperimentali e le osservazioni ricavate dagli incendi in edifici reali hanno mostrato che ci sono significative riserve di resistenza negli edifici a struttura composta acciaio-calcestruzzo, ossia che le prestazioni della struttura in caso di incendio sono superiori a quanto previsto sulla base delle prove di resistenza al fuoco standard condotte su singoli elementi strutturali. È stato osservato che è possibile intervenire sugli edifici al fine di ottimizzare le prestazioni proteggendo solo parte degli elementi strutturali.

Alla luce di tali osservazioni il lavoro è stato indirizzato verso lo studio di modelli di calcolo semplificati capaci di permettere di progettare la resistenza al fuoco di questo tipo di solai lasciando una parte delle travi secondarie non protette. Per determinare la capacità portante in caso di incendio sarebbe tecnicamente possibile impiegare un metodo di calcolo non lineare agli elementi finiti, ma, in generale, questa procedura di calcolo risulta onerosa e richiede esperienza non comune. Il metodo presentato in questo documento è pensato per semplificare e ridurre il tempo di analisi e richiede una conoscenza di base dell'ingegneria della sicurezza in caso di incendio.

Il metodo è stato approntato sulla base del tipo di collasso osservato durante le prove sperimentali e negli incendi reali e si basa sulla teoria delle linee di rottura. Si tratta di una teoria del carico limite ultimo della struttura basata su un definito meccanismo di collasso e sulle proprietà plastiche delle solette di calcestruzzo debolmente armate. Il meccanismo di collasso è definito dallo schema delle linee di rottura, lungo le quali le armature si snervano e si manifestano fessurazioni nella soletta. L'area delimitata dalle linee di rottura viene considerata rigida, in presenza delle rotazioni che si verificano in corrispondenza delle linee di rottura stesse. Per un dato schema delle linee di rottura può essere ricavata una soluzione limite basata sulla teoria dell'energia, secondo cui il lavoro esterno del carico applicato per uno spostamento unitario delle parti rigide è uguale al lavoro interno corrispondente alla rotazione lungo le linee di rottura.

Perché la teoria delle linee di rottura sia valida deve essere impedita la rottura della soletta per taglio, la rottura in corrispondenza dei vincoli e la rottura per compressione del calcestruzzo. La risposta momento-curvatura della soletta deve essere sufficientemente duttile in modo tale da permettere la formazione del meccanismo schematizzato; nella pratica questo non costituisce un problema poiché i solai sono di solito poco armati e ciò porta allo snervamento duttile delle armature prima di arrivare a rotture più fragili, come la rottura per compressione del calcestruzzo.

Per solette quadrate o rettangolari semplicemente appoggiate lungo i lati liberi lo schema delle linee di rottura previsto è mostrato in Figura 2.

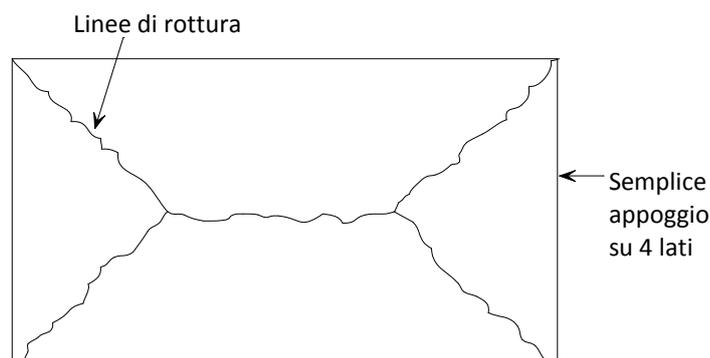


Fig. 2 - Un tipico schema di linee di rottura per un solaio rettangolare semplicemente appoggiato sui quattro lati.

Il metodo di calcolo semplificato

Le ipotesi di progetto

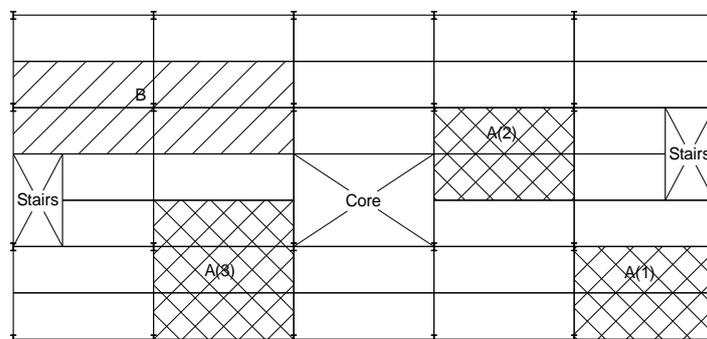
In un solaio composto lo schema delle linee di rottura dipende dal comportamento delle travi composte non protette, che perdono resistenza in maniera continua mentre la temperatura cresce. Diversamente da quanto avviene a temperatura ambiente, il meccanismo di resistenza ai carichi del solaio cambia con l'incremento della temperatura. Inizialmente il solaio composto funziona come un elemento monodirezionale portato dalle travi secondarie. Quando queste perdono resistenza a causa dell'aumento di temperatura, il comportamento del solaio tende al comportamento di un elemento bidirezionale semplicemente appoggiato e si ha la formazione dello schema delle linee di rottura mostrato in Figura 2. Ipotizzando che questa condizione ultima di collasso si verifichi quando la resistenza della trave è piccola rispetto a quella della soletta, può essere ottenuta una stima conservativa della capacità portante in modo relativamente semplice.

La capacità portante del solaio viene calcolata nell'ipotesi che le travi composte non contribuiscano alla resistenza ed è basata sullo schema di linee di rottura compatibili con le condizioni al contorno, ipotesi che fornisce la minore capacità portante. Questa resistenza è quindi incrementata tenendo conto degli effetti membranali di trazione corrispondenti all'inflessione stimata del solaio e dei modi di rottura previsti dal metodo. La resistenza a flessione delle travi composte è aggiunta a questa incrementata resistenza del solaio per ottenere la capacità portante totale del sistema.

Le zone di progetto del solaio

Per l'applicazione del metodo ogni solaio viene diviso in zone di progetto, come illustrato in Figura 3. Le zone di solaio denominate 'A' ricadono nel campo di applicazione del software MACS+ e la loro capacità di portare carico in condizioni di incendio può essere determinata utilizzando il metodo MACS+. La zona denominata 'B' ricade al di fuori del campo di applicazione del software perché contiene una colonna e le travi all'interno della zona non sono disposte tutte nella stessa direzione. Una singola zona di progetto del solaio è illustrata nella Figura 4, che mostra la designazione per la disposizione delle travi usata nel software MACS+.

Applicando il metodo di verifica in caso di incendio si ipotizza che, in corrispondenza dello stato limite di incendio, la resistenza delle travi interne non protette si riduca significativamente, lasciando il solaio composto reagente in due direzioni nello schema statico di elemento semplicemente appoggiato sul proprio perimetro. Per assicurare che il solaio possa sviluppare la propria azione membranale, il software MACS+ calcola il momento applicato ad ogni trave sul perimetro come il risultato delle azioni della zona di solaio di progetto. Per mantenere il supporto verticale sul perimetro di ogni zona di progetto del solaio, in pratica, il programma calcola il grado di utilizzazione e quindi la temperatura critica delle travi perimetrali. La protezione dal fuoco per queste travi deve essere progettata sulla base di tale temperatura critica e del periodo di resistenza al fuoco richiesto per l'impalcato in accordo con i regolamenti nazionali. Per ogni zona di progetto del solaio viene fornita la temperatura critica e il grado di utilizzazione per ogni trave perimetrale.



Legenda

A: zone che possono essere progettate usando MACS+

B: zone fuori dal campo di applicazione MACS+

A(1): per ogni periodo di resistenza al fuoco

A(2) & A(3): solo per 30 minuti di resistenza al fuoco

Fig. 3 - Possibili zone di progetto del solaio

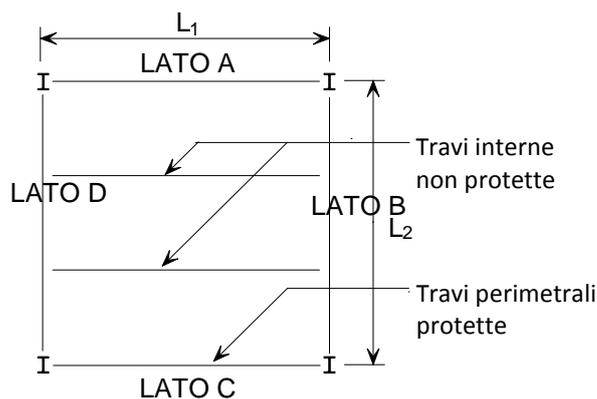


Fig. 4 - Definizione di luce 1 (L_1) e luce 2 (L_2) e disposizione delle travi per una zona di progetto del solaio in un edificio dove è richiesta una resistenza al fuoco di 60 minuti o maggiore.

Progetto della soletta del solaio

Capacità portante della soletta di un solaio composto

Quando viene calcolata la capacità portante di ogni zona di progetto del solaio, la resistenza della soletta composta e delle travi non protette viene calcolata separatamente. Si assume l'ipotesi che il solaio non sia continuo lungo il perimetro della zona di progetto del solaio. Il carico che può essere portato grazie al comportamento flessionale della soletta composta all'interno della zona di progetto del solaio è calcolato sulla base del meccanismo di rottura che assume la configurazione delle linee di rottura mostrata in Figura 2. Il valore della resistenza calcolato usando il meccanismo di rottura è incrementato per tenere conto del benefico effetto dell'azione di trazione membranale in corrispondenza dei grandi spostamenti. Questo aumento cresce con l'incremento degli spostamenti verticali del solaio fino a quando si verifica la rottura per trazione delle barre di armatura nella direzione della luce minore del solaio o la rottura per compressione del calcestruzzo negli angoli del solaio, come mostrato dalla Figura 5. Poiché il metodo di progetto non può prevedere il punto di rottura, il valore dell'inflessione considerata per il calcolo dell'incremento è basato su una stima conservativa dell'inflessione del solaio, che tiene conto della curvatura termica del solaio e della deformazione delle armature, come mostrato di seguito.

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h_{eff}} + \sqrt{\left(\frac{0.5f_y}{E_a}\right) \frac{3L^2}{8}}$$

L'inflessione dovuta all'allungamento delle armature è anche limitata dalla seguente espressione.

$$w \leq \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h_{eff}} + \frac{l}{30}$$

in cui:

$(T_2 - T_1)$ è la differenza di temperatura tra la superficie superiore e inferiore della soletta

L è la dimensione maggiore della zona di progetto del solaio;

l è la dimensione minore della zona di progetto del solaio;

f_y è la tensione di snervamento della rete di armatura;

E è il modulo di elasticità dell'acciaio;

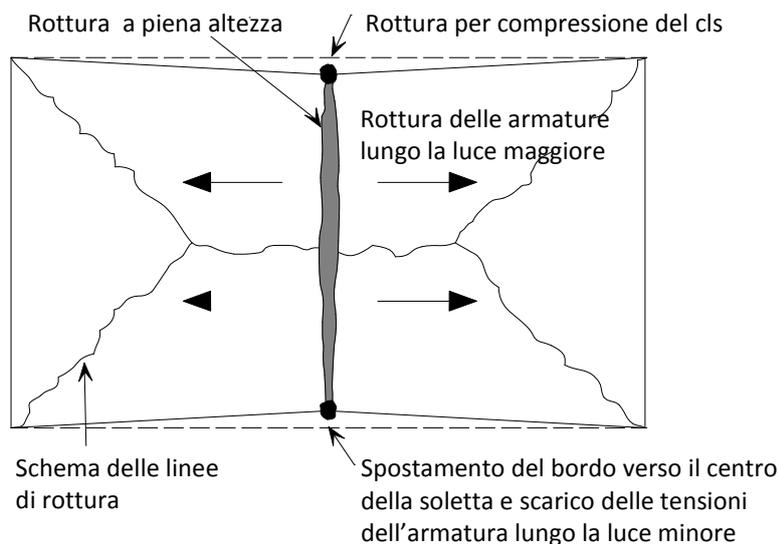
h_{eff} è lo spessore efficace della soletta composta;

α è il coefficiente di dilatazione termica del calcestruzzo.

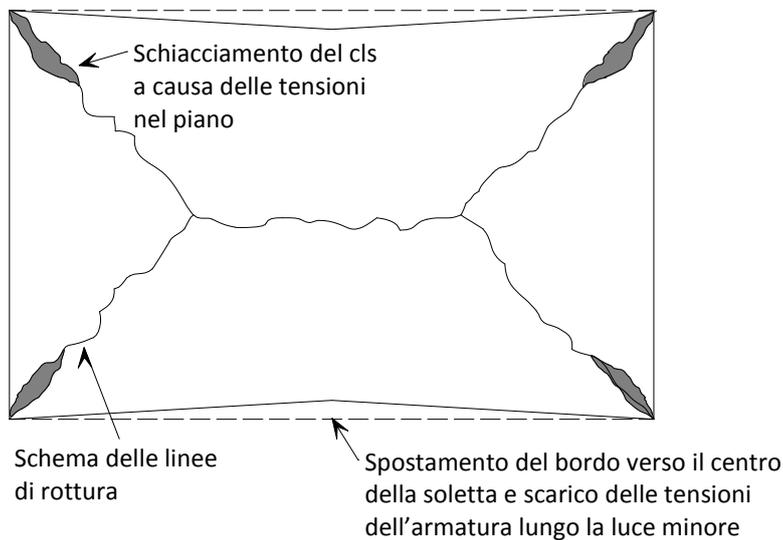
Le analisi di tutte le prove sperimentali disponibili mostrano che questo valore di inflessione viene superato prima che si verifichi la rottura per resistenza del solaio. Ossia che la resistenza calcolata utilizzando il metodo di progetto è conservativa rispetto alle sue reali prestazioni. L'inflessione complessiva del solaio è inoltre limitata dalla seguente espressione.

$$w \leq \frac{L+l}{30}$$

A questa resistenza deve essere aggiunta la resistenza a flessione residua delle travi composte non protette.



(a) Rottura per trazione delle armature



(b) Rottura per compressione del calcestruzzo

Fig. 5 - Modo di rottura dovuto alla crisi delle armature

Capacità portante delle travi non protette

In condizioni di incendio le travi non protette all'interno di ogni zona di progetto del solaio aggiungono il loro contributo alla resistenza a trazione del solaio mediante l'effetto catenaria. La temperatura della sezione trasversale delle travi non protette è calcolata usando il metodo fornito in 4.3.4.2.2 di EN 1994-1-2. Ogni elemento, ala inferiore, anima e ala superiore del profilo di acciaio, è considerato soggetto ad una temperatura uniforme per il calcolo della resistenza a flessione.

Il calcolo del momento resistente plastico delle travi ad alta temperatura segue i principi dati in 4.3 di EN 1994-1-2, tenendo conto del grado di connessione a taglio tra la sezione di acciaio e il calcestruzzo. La temperatura della soletta è assunta pari al 40% della temperatura della flangia superiore.

Per le sezioni piene viene considerato l'intero profilo. Per le travi alveolari è stato osservato che dopo l'instabilità dell'anima della trave è corretto tenere conto solo della tensione che si genera nella T superiore della sezione, a favore di sicurezza.

Prestazioni di tenuta ed isolamento della soletta composta

Per la valutazione del corretto funzionamento del sistema è necessario assicurarsi che le caratteristiche del solaio garantiscano le necessarie prestazioni di isolamento e tenuta in accordo alle raccomandazioni date in EN 1994-1-2. Il software MACS+ fornisce, nel report dei risultati, la temperatura sulla superficie superiore del calcestruzzo, che può essere utilizzata per la verifica dell'isolamento. Le temperature calcolate nelle varie zone del solaio dal software sono determinate sulla base dei metodi di calcolo indicati in EN 1994-1-2.

Progetto delle travi perimetrali

Le travi lungo il perimetro della zona di progetto del solaio, indicate con le lettere da A a D in Figura 4, devono garantire la resistenza al fuoco richiesta per l'impalcato, in modo da fornire il supporto verticale richiesto al perimetro della zona di progetto del solaio. Per questo motivo, di solito, tali travi sono protette dal fuoco. Il software MACS+ calcola l'effetto delle azioni su queste travi perimetrali e il momento resistente della trave a temperatura ambiente, in modo da determinare il grado di utilizzazione per ogni trave perimetrale, calcolato usando le indicazioni fornite in EN 1993-1-2 al par. 4.2.4. Sulla base del grado di utilizzazione, viene determinata la temperatura critica dell'ala inferiore delle travi perimetrali, che può essere utilizzata quando è necessario specificarne la protezione dal fuoco. I valori del grado di utilizzazione e della temperatura critica delle travi sono riportati nell'output del software MACS+. Tutti i dettagli del metodo di calcolo possono essere ottenuti dal documento MACS+ Basi Scientifiche (7).

Nel caso delle travi perimetrali con zone di progetto del solaio da entrambi i lati, per definire la protezione dal fuoco, deve essere usato il valore più basso della temperatura critica dato dalla progettazione delle zone adiacenti di progetto del solaio.

La campagna di prove sperimentali e lo studio parametrico

Il metodo di calcolo semplificato è stato sviluppato principalmente sulla base di prove di resistenza al fuoco realizzate su compartimenti in scala reale in cui i solai sono stati esposti ad incendi reali pienamente sviluppati. Al fine di poter applicare il criterio progettuale anche nel caso di esposizione alla curva di incendio standard è stato necessario approfondire diverse questioni, come ad esempio l'influenza di:

- la lunga durata dell'incendio (fino a 120 minuti);
- differenti dettagli costruttivi;
- l'effetto di valori più alti delle azioni di progetto.

Queste considerazioni hanno portato all'idea di includere una prova di resistenza al fuoco con esposizione alla curva di incendio standard nell'ambito del progetto FRACOF. Questo progetto è stato pensato per fornire prove sperimentali sul comportamento di solai composti acciaio-calcestruzzo esposti alla curva di incendio standard e per estendere l'applicazione dei criteri progettuali basati sull'effetto membrana. Inoltre, allo scopo di investigare sulla resistenza al fuoco dei collegamenti tra la soletta di calcestruzzo e gli elementi di acciaio nelle zone di bordo dei solai composti soggetti a grandi inflessioni sotto l'azione membranale, è stata condotta un'altra prova in forno nell'ambito del progetto COSSFIRE. Le prove sono state condotte in accordo alla norma EN1365-2 su due differenti campioni in scala reale di solai composti acciaio-calcestruzzo. Le

prestazioni al fuoco di questi sistemi di solaio osservate durante le prove sono state molto soddisfacenti e hanno rivelato una buona robustezza in condizioni di incendio di questo sistema strutturale. Infine un'altra campagna di prove sperimentali è stata condotta su un solaio composto comprendente travi alveolari di acciaio di grande luce presso l'Università di Ulster, nell'ambito del progetto FICEB.

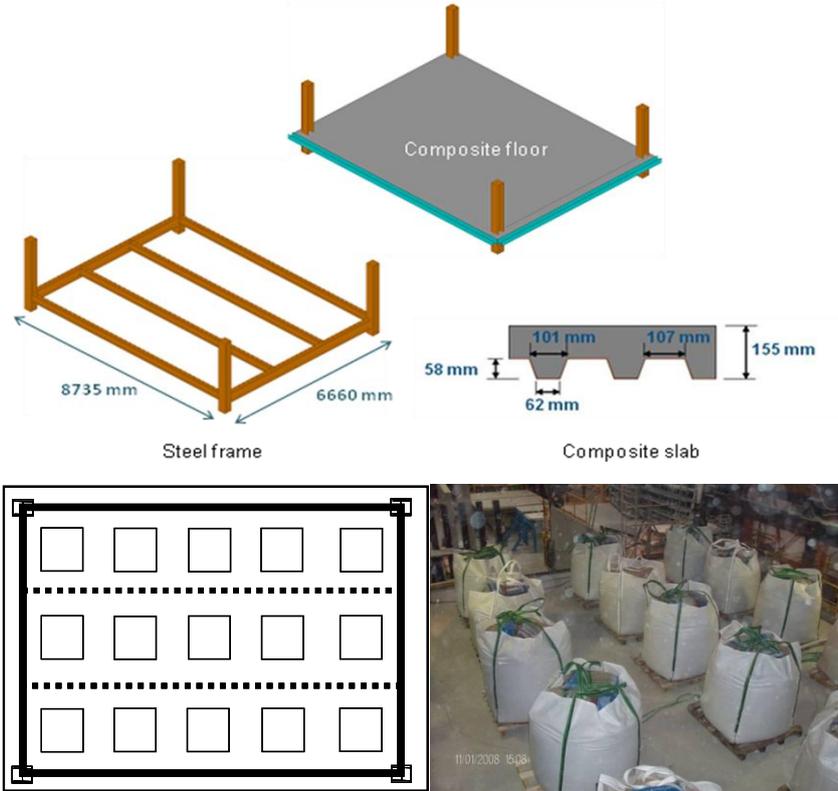
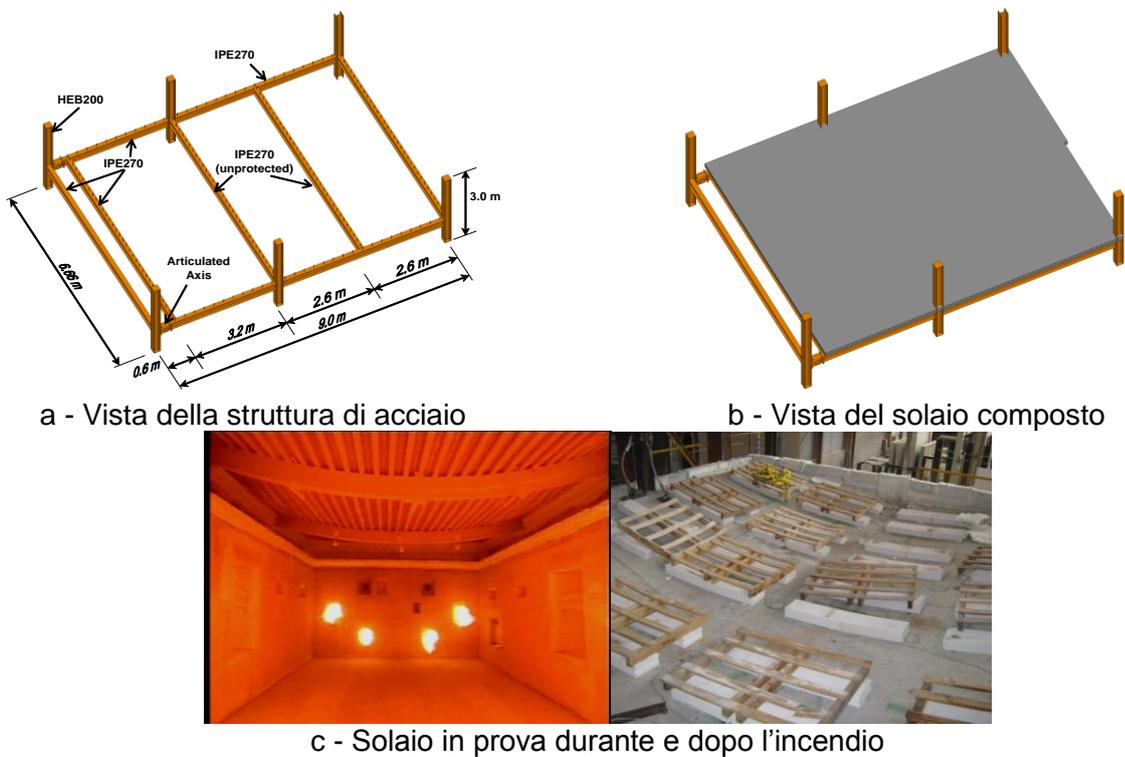


Fig. 6 - Prova FRACOF: caratteristiche del campione di prova e i carichi sul solaio costituiti da sacchi di sabbia

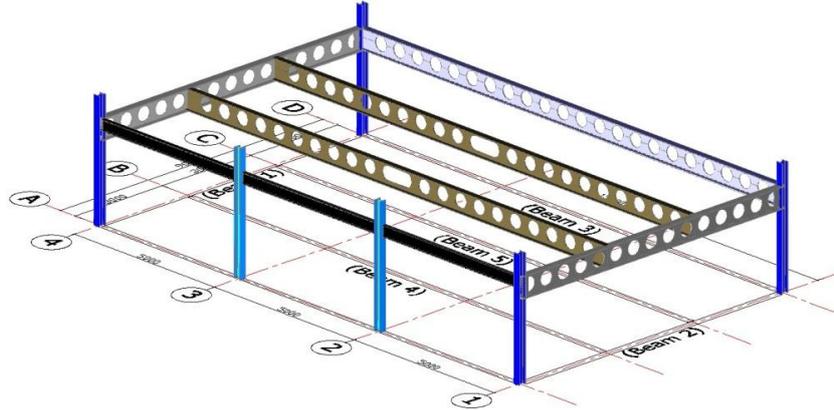


c - Solaio in prova durante e dopo l'incendio

Fig. 7 - Prova COSSFIRE



a) Il compartimento di prova con travi alveolari non protette di grande luce



b) Layout della struttura di acciaio



c) L'edificio durante e dopo la prova sperimentale

Fig. 8 – La prova FICEB

I risultati delle prove sperimentali suddette sono stati utilizzati per la validazione dei modelli di calcolo impiegati per la verifica dei criteri di sicurezza in caso di incendio. La verifica è stata condotta mediante uno studio numerico parametrico basato sull'applicazione dei modelli di calcolo avanzato, in cui sono state controllate alcune caratteristiche specifiche, come l'inflessione del solaio e l'allungamento delle armature di acciaio. L'obiettivo dello studio parametrico è stato quello di condurre un'analisi dettagliata del metodo di progetto semplificato impiegando modelli di calcolo avanzato validati tramite una prova di incendio ISO.

Dai risultati ottenuti può essere concluso che:

- per quanto riguarda la capacità portante, il metodo di progetto semplificato fornisce risultati conservativi rispetto a quelli forniti dai modelli di calcolo avanzato;
- quando si usano i criteri tradizionali basati sul comportamento di singoli elementi strutturali per valutare l'inflessione, la prestazione in caso di incendio dei sistemi di solaio composti calcolata con il metodo di progetto semplificato è valutata conservativamente;
- per quanto riguarda l'allungamento della rete di armatura di acciaio, essa rimane generalmente sotto il 5%, che è il requisito di minimo allungamento raccomandato da EN 1992-1-2 per tutti i tipi di armatura di acciaio;
- il collegamento meccanico tra la soletta e le colonne non è necessario; tuttavia, questo dettaglio costruttivo può ridurre l'inflessione del sistema di solaio composto in condizioni di incendio.

I risultati dello studio parametrico mostrano chiaramente che il metodo di progetto semplificato è in grado di valutare in maniera sicura le prestazioni strutturali dei solai composti acciaio-calcestruzzo soggetti alle condizioni di incendio ISO.

Applicazione del metodo di calcolo semplificato MACS+ in accordo alla normativa nazionale

La classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi può essere effettuata, sulla base dell'articolo 2 comma 3 del decreto del ministro dell'Interno 16 febbraio 2007, con:

- a) prove;
- b) calcoli;
- c) confronti con tabelle.

Il metodo proposto nel presente lavoro è ovviamente riconducibile alla casistica b) "metodo di calcolo" e, in particolare, come metodo analitico avanzato così come indicato dalla norma EN 1994 1-2 relativa alla progettazione al fuoco di strutture miste in acciaio calcestruzzo.

In base all'allegato "C" del D.M. 16/2/2007, per le verifiche strutturali in condizioni di incendio è possibile utilizzare le parti fuoco degli Eurocodici pur in assenza di approvazione delle relative Appendici Nazionali (cd. NAD), ricorrendo alle indicazioni proposte dal CEN. Sebbene ad oggi (18/12/2012 n.d.r.) manchi ancora la pubblicazione di tali Appendici sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, le stesse sono state approvate, oltre che dal Ministro dell'Interno e dal Capo del Dipartimento di Protezione Civile, anche dal Ministro delle Infrastrutture e Trasporti, sulla base del lavoro svolto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Le bozze delle Appendici, così come approvate dall'Organo Consultivo, possono essere scaricate dal sito istituzionale del Consiglio Superiore.

Come si vede dalla lettura del punto "4.1 (1)P NOTA" dell'Appendice della EN 1994 1-2, il Consiglio Superiore non ha ritenuto di porre alcun limite all'applicazione di metodologie avanzate di calcolo di resistenza al fuoco per strutture miste.

Da un punto di vista meramente amministrativo, pertanto, non vi sono limitazioni all'impiego del metodo.

Visto il procedimento di calcolo, basato su un'analisi plastica condotta in grandi deformazioni, si ritiene opportuno, in particolare, sottolineare che i materiali impiegati per l'esecuzione delle opere devono rispondere non soltanto alla normativa nazionale ma devono essere in grado di garantire le prestazioni richieste in sede di analisi a caldo. Pertanto, particolare attenzione va posta alla verifica delle caratteristiche meccaniche degli stessi sia in termini di resistenza che di duttilità.

Inoltre, si ritiene utile sottolineare l'importanza della cura dei particolari costruttivi, funzionali all'esplicazione della duttilità richiesta, così come indicato nelle istruzioni operative a corredo del metodo.

Non di secondaria importanza è la verifica di ammissibilità delle condizioni di applicazione alla base del metodo.

Particolare attenzione richiede l'applicazione del metodo nel caso di analisi con esposizione alla curva di incendio naturale. Queste curve di incendio sono implementabili nel metodo ma è necessario tenere conto che in tali analisi dovranno essere considerate anche le interazioni della parte di struttura analizzata con il resto della struttura, in accordo alle indicazioni dell'Eurocodice per i metodi di calcolo avanzato. Per questo tipo di applicazioni è pertanto necessario integrare i criteri di calcolo previsti dal metodo con specifiche analisi strutturali essenziali nel caso di applicazione dei metodi di calcolo avanzato nell'ambito dell'approccio ingegneristico.

Viste le considerazioni sul controllo delle proprietà meccaniche dei materiali, sulla cura dei particolari costruttivi e sulla verifica dello schema strutturale, si ritiene il metodo proposto adeguato a manufatti di nuova realizzazione, mentre per quelli esistenti, per i quali mancano spesso informazioni particolareggiate, ricavabili se non a prezzo di approfondite analisi strumentali in campo, si consiglia l'impiego di altri procedimenti di verifica.

Bibliografia

1. BAILEY, C. G. and MOORE, D. B.
The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 1: Theory
The Structural Engineer, June 2000
2. BAILEY, C. G. and MOORE, D. B.
The structural behaviour of steel frames with composite floor slabs subject to fire, Part 2: Design
The Structural Engineer, June 2000
3. BAILEY, C. G.
Membrane action of slab/beam composite floor systems in fire
Engineering Structures 26
4. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1 2: General actions. Actions on structures exposed to fire CEN
5. EN 1993-1-2:2005 Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Structural fire design CEN
6. EN 1994-1-2:2005 Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. Structural fire design CEN
7. PUSTORINO S., PRINCI P., VASSART O. and ZHAO B.
L'azione membranale nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo in condizioni di incendio, Basi Scientifiche, Edizione 2012-1
8. PUSTORINO S., PRINCI P., VASSART O. and ZHAO B.
L'azione membranale nelle strutture composte acciaio-calcestruzzo in condizioni di incendio, Guida alla progettazione, Edizione 2012-1
9. EN 1994-1-1:2004 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – Part 1 1: General rules and rules for buildings
CEN
10. COUCHMAN. G. H , HICKS, S. J. and RACKHAM, J, W
Composite Slabs and Beams Using Steel Decking: Best Practice for Design & Construction (2nd edition)
SCI P300, The Steel Construction Institute, 2008
11. BAILEY, C. G.
The influence of thermal expansion of beams on the structural behaviour of columns in steel framed buildings during a fire
Engineering Structures Vol. 22, July 2000, pp 755 768
12. LAWSON, R. M.
Enhancement of fire resistance of beams by beam to column connections
The Steel Construction Institute, 1990
13. EN 13381-4 (2010)
Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Applied passive protection to steel members.
14. EN 13381-8 (2010)
Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members. Applied reactive protection to steel members.
15. Decreto del Ministero dell'Interno del 16 febbraio 2007
Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione.
16. Decreto del Ministero dell'Interno del 09 marzo 2007
Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco
17. Decreto del Ministero dell'Interno del 09 maggio 2007
Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.
18. Decreto del Presidente della Repubblica 1 agosto 2011 "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122."