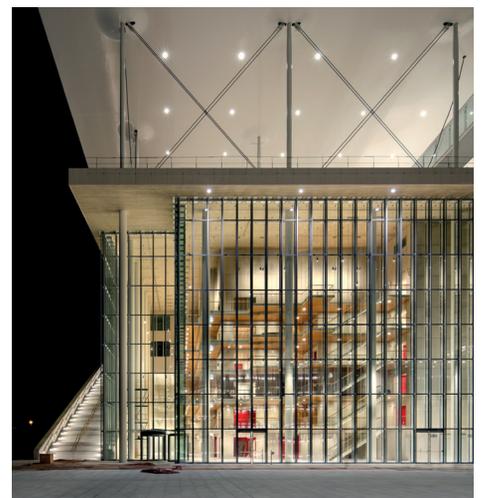
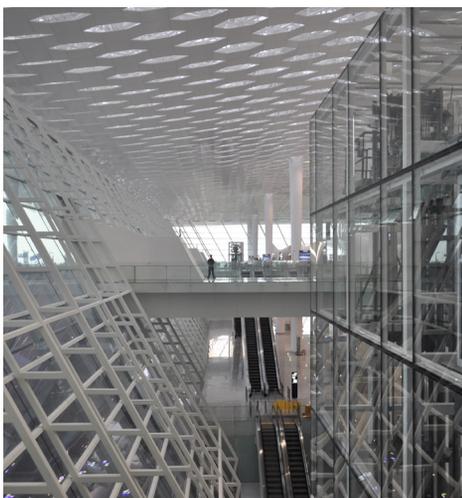




Commissione per la Sicurezza
delle Costruzioni in Acciaio
in caso d'Incendio

Sicurezza in caso di incendio

PRONTUARIO SOLUZIONI PROGETTUALI MISURA S.2 E CHECK LIST



Sicurezza in caso di incendio

PRONTUARIO SOLUZIONI PROGETTUALI MISURA S.2 E CHECK LIST



Il presente testo è stato scritto nell'ambito delle attività della Commissione Tecnica per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio, istituita su iniziativa di Fondazione Promozione Acciaio e del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.



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

Il presente prontuario è frutto delle attività della Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio.

Il Tavolo Tecnico-Scientifico permanente è stato istituito il 20 gennaio 2006 su iniziativa di Fondazione Promozione Acciaio e del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ed è finalizzato a valutare i risultati della ricerca nazionale ed europea, all'analisi tecnica della norma nazionale e confronto con quella europea al fine di fornire contributi tecnici per un suo aggiornamento; fornire strumenti appropriati all'organo di controllo per la valutazione della sicurezza delle strutture in acciaio e garantire l'aggiornamento professionale dei tecnici impegnati nell'attività di prevenzione incendi.

La Commissione è composta da rappresentanti nazionali nel campo della ricerca europea, da esponenti del Ministero dell'Interno coinvolti nella definizione del quadro normativo nazionale, da docenti universitari e da liberi professionisti:

- Prof. Ing. Emidio Nigro (Coordinatore) - Ordinario di Strutture Speciali e Tecnica delle Costruzioni Università Federico II di Napoli;
- Ing. Mauro Caciolai – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco;
- Ing. Andrea Marino – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco;
- Ing. Sandro Pustorino – Libero professionista

Prestano la loro collaborazione su aspetti specifici in merito alla sicurezza strutturale e alla protezione attiva:

- Ing. Luca Ponticelli – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
- Ing. Piergiacomo Cancelliere – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
- Ing. Armando De Rosa – Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

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

© Documento di proprietà di Fondazione Promozione Acciaio.
Diritti di riproduzione riservati
Pubblicazione: ottobre 2024

PRONTUARIO SOLUZIONI PROGETTUALI MISURA S.2 E CHECK LIST

AUTORI

A. Marino, Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco
E. Nigro, Università degli Studi di Napoli "Federico II"
S. Pustorino, SIS Ingegneria.

Indice

1.	PREMESSA.....	4
2.	VALUTAZIONI PRELIMINARI.....	5
3.	ADEMPIMENTI NTC E CODICE DI P.I.....	5
4.	SOLUZIONI CONFORMI.....	7
4.1.	STRUTTURAZIONE ELABORATI PROGETTUALI CON SOLUZIONI CONFORMI.....	9
4.2.	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO CON SOLUZIONI CONFORMI.....	10
4.3.	METODI DI CALCOLO SOLUZIONI CONFORMI – ACCIAIO.....	11
4.4.	METODI DI CALCOLO SOLUZIONI CONFORMI – ACCIAIO-CLS.....	12
4.5.	PROPOSTA CHECK-LIST VERIFICA ELABORATI PROGETTUALI MISURA S.2 IN SOLUZIONE CONFORME.....	13
4.5.1.	CHECK-LIST SOLUZIONI CONFORMI – VALUTAZIONE PROGETTO NUOVE O.D.C.....	13
4.5.2.	CHECK-LIST SOLUZIONI CONFORMI – VALUTAZIONE PROGETTO O.D.C. ESISTENTI O VERIFICA SCIA O.D.C. NUOVE O ESISTENTI.....	14
4.5.3.	CRITERI E FINALITÀ CHECK-LIST SOLUZIONI CONFORMI.....	16
5.	SOLUZIONI ALTERNATIVE.....	17
5.1.	STRUTTURAZIONE ELABORATI PROGETTUALI CON SOLUZIONI ALTERNATIVE.....	18
5.2.	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO CON SOLUZIONE ALTERNATIVA.....	20
5.3.	METODI DI CALCOLO SOLUZIONI ALTERNATIVE – ACCIAIO E ACCIAIO-CLS.....	21
5.4.	PROPOSTA CHECK-LIST DI VERIFICA ELABORATI PROGETTUALI MISURA S.2 IN SOLUZIONE ALTERNATIVA.....	22
5.4.1.	CHECK-LIST SOLUZIONI ALTERNATIVE – VALUTAZIONE PROGETTO O VERIFICA SCIA O.D.C. NUOVE O ESISTENTI.....	23
5.4.2.	CRITERI E FINALITÀ CHECK-LIST SOLUZIONI ALTERNATIVE.....	25
6.	BIBLIOGRAFIA.....	27

1. PREMESSA

L'obiettivo di questo breve prontuario è quello di supportare il controllo in merito alla corretta ed esaustiva impostazione ed esecuzione delle soluzioni progettuali relative alla misura antincendio S.2 del Codice di P.I. [1] per le strutture in acciaio e composte acciaio-CLS. I principi generali in esso stabiliti possono essere validi anche per strutture realizzate con altri materiali da costruzione.

Il prontuario, fatta eccezione per una prima parte generale e sempre valida di valutazioni tecniche, viene suddiviso in due grosse sezioni:

- **SOLUZIONI CONFORMI:** ognuna è una soluzione progettuale di immediata applicazione nei casi specificati, che garantisce il raggiungimento del collegato livello di prestazione. In tal caso il progettista, che può essere o un tecnico abilitato o un professionista antincendio, in fase di progetto, e solo professionista antincendio in fase di SCIA, ai fini della certificazione di resistenza al fuoco, individua soluzioni progettuali già definite all'interno del Codice di P.I., delle quali non è tenuto a verificare la validità, ma soltanto ad applicarle in maniera corretta e nel rispetto della normativa tecnica vigente.
- **SOLUZIONI ALTERNATIVE:** ognuna è una soluzione progettuale alternativa alle soluzioni conformi. Il professionista antincendio è tenuto a dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione impiegando uno dei metodi di progettazione della sicurezza antincendio ammessi. Relativamente alla misura antincendio S.2 del Codice di P.I. per le strutture in acciaio e composte acciaio-CLS, i metodi ammessi sono quelli dell'ingegneria della sicurezza antincendio, applicati secondo quanto stabilito nei capitoli M1, M2 e M3 del Codice di P.I. e sulla base dei criteri di calcolo definiti negli Eurocodici [5], [6], [7], tenendo conto di quanto previsto nelle relative Appendici Nazionali; è inoltre possibile ricorrere, quale ulteriore supporto, alle prove sperimentali, che sono condotte secondo protocolli standardizzati oppure condivise con la Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica, Antincendio ed Energetica del CNVVF.

Una completa indicazione dei metodi di calcolo disponibili sia per le soluzioni conformi sia per le soluzioni alternative, applicate alle strutture di acciaio e composte acciaio-calcestruzzo, è riportata nelle Istruzioni tecniche [2].

Quanto sopra detto per le soluzioni conformi è sostanzialmente valido anche per quelle di carattere prescrittivo, di cui ai DD.MM. 9 marzo e 16 febbraio 2007. Pertanto, di seguito, con la dicitura "*soluzioni conformi*" ci si riferirà anche alle soluzioni progettuali prescrittive basate sui suddetti decreti del 2007.

In merito alle soluzioni alternative, quanto detto vale anche per le soluzioni progettuali derivanti dall'applicazione della FSE, secondo i predetti decreti del 2007 e, in aggiunta, del D.M. 09.05.2007.

Per le soluzioni in deroga, per le quali, ai sensi del Codice di P.I., si ricorre agli stessi metodi di progettazione della sicurezza antincendio validi per le soluzioni alternative, con l'aggiunta del giudizio esperto, quanto si dirà in seguito in merito alle soluzioni alternative stesse varrà anche per quelle in deroga del Codice di P.I., fatti salvi i casi di ricorso al metodo del giudizio esperto, di fatto non inquadrabile in maniera oggettiva. Analoghe conclusioni valgono anche quando si richiede la deroga con riferimento ai decreti del 2007, ricorrendo a metodologie progettuali di tipo prestazionale. Il ricorso all'istituto della deroga è l'unica strada per poter utilizzare la progettazione prestazionale o Fire Safety Engineering per le attività dotate di regola prescrittiva tradizionale e che non rientrano nel campo di applicazione del Codice di P.I.

Pertanto, di seguito, con la dicitura “*soluzioni alternative*” ci si riferirà anche alle soluzioni progettuali che ricorrono alla FSE, sia in valutazione progetto che in deroga, basate sia sul Codice di P.I. sia sui suddetti decreti del 2007.

2. VALUTAZIONI PRELIMINARI

A prescindere dalla tipologia di soluzione progettuale adottata, in fase di progettazione è sempre necessario avere definito chiaramente e univocamente i seguenti aspetti:

- caratterizzazione delle strutture dell'opera o delle opere da costruzione in cui è ospitata l'attività;
- piena conoscenza della geometria strutturale (sia globale sia di ciascun elemento strutturale) dell'opera o delle opere da costruzione in cui è ospitata l'attività;
- adeguata conoscenza meccanica dei materiali strutturali dell'opera o delle opere da costruzione in cui è ospitata l'attività.

Nel caso di opere da costruzione di nuova realizzazione, i dati di progetto sopra menzionati devono essere assunti e documentati secondo quanto previsto dalle norme di progettazione vigenti sia per la prevenzione incendi sia per le opere strutturali. Trattandosi della medesima opera da costruzione, è logico aspettarsi che questi dati di progetto nei due procedimenti tecnico amministrativi siano documentati senza differenze.

Nel caso di opere da costruzione esistenti, è spesso necessario integrare eventuali dati di progetto non disponibili. Per i dati di progetto degli elementi strutturali è necessario effettuare delle indagini strumentali ai sensi delle NTC 2018 [3], [4], per individuare ciascuna opera da costruzione, la geometria degli elementi strutturali costituenti e le caratteristiche meccaniche dei materiali, nonché i vincoli e i collegamenti presenti. Tali indagini, abbinate alla documentazione eventualmente reperita relativa alle opere da costruzione esistenti, devono consentire di definire un appropriato Livello di Conoscenza LC e il relativo Fattore di Confidenza FC, come stabilito nell'ambito delle NTC 2018. In estrema sintesi, è dunque necessario condurre una **valutazione della sicurezza ex pt. 8.3 delle NTC 2018**, a valle della quale è possibile stabilire se è necessario o meno effettuare interventi sulle strutture per incrementarne le prestazioni di resistenza al fuoco, fino a raggiungere quelle stabilite nel progetto antincendio, oppure, in caso di impossibilità tecniche o economiche ad eseguirli, declassare la struttura in termini di prestazioni di resistenza al fuoco.

Pertanto, prima di procedere alla progettazione della resistenza al fuoco di opere da costruzione in acciaio o composte acciaio-CLS, è sempre necessario caratterizzare in termini di geometria (sia globale sia di ciascun elemento strutturale, sia dei collegamenti e dei vincoli) e di caratteristiche meccaniche le opere da costruzione oggetto della progettazione. Tale assunto è senz'altro valido per qualsiasi materiale e tecnologia costruttiva adottati.

3. ADEMPIMENTI NTC E CODICE DI P.I.

L'applicazione congiunta delle vigenti NTC 2018 e del Codice di P.I. impone, in merito alla resistenza al fuoco delle strutture, la corretta progettazione, esecuzione e collaudo delle opere da costruzione, anche con riferimento all'azione eccezionale incendio, presente in molti casi (ad es. attività soggette ai controlli del CNVVF e, in generale, “*quando necessario*”). L'iter tecnico da seguire può essere così sintetizzato:

1. **PRESTAZIONE RESISTENZA AL FUOCO** – Viene definita nel progetto antincendio, pertanto il parere positivo del Comando VF, necessario prima dell'inizio dei lavori, costituisce il primo step progettuale necessario per poter proseguire nella progettazione della resistenza al fuoco delle strutture. Nel caso delle soluzioni conformi, almeno nel caso delle nuove opere da costruzione, ferma restando la conoscenza geometrica e meccanica delle strutture, è sufficiente definire, in sinergia con la progettazione strutturale, le prestazioni in termini di livello di prestazione e la conseguente classe di resistenza al fuoco; in caso di valutazioni su opere da costruzione esistenti, è necessario effettuare preliminarmente la valutazione della sicurezza ex punto 8.3 delle NTC 2018 per poter poi determinare le prestazioni in termini di livello e la conseguente classe di resistenza al fuoco, sempre in sinergia con la progettazione strutturale. Nel caso delle soluzioni alternative, sia per opere da costruzione nuove che esistenti, è sufficiente definire le prestazioni che devono essere verificate in funzione del livello attribuito. È chiaro che questa individuazione, sia nel caso della classe per le soluzioni conformi sia della prestazione da verificare per le soluzioni alternative, deve essere supportata da una preliminare analisi delle caratteristiche degli elementi della struttura, che devono essere adeguate alle verifiche richieste. Questo aspetto è maggiormente significativo nel caso delle opere da costruzione esistenti, a causa di eventuali incertezze iniziali circa il Livello di Conoscenza degli elementi della struttura e degli eventuali sistemi protettivi esistenti. Questa analisi preliminare deve essere documentata mediante una specifica tecnica, riferita al progetto delle prestazioni di resistenza al fuoco, inclusa nel progetto di prevenzione incendi ed in quello delle strutture.

La progettazione della resistenza al fuoco è parte integrante sia del progetto antincendio sia di quello strutturale ed è condotta in maniera completa ed esecutiva, ferma restando la conoscenza delle strutture, come più volte già ribadito in precedenza; pertanto, prima di depositare il progetto strutturale, comprensivo della progettazione della resistenza al fuoco, è necessario richiedere ed ottenere, se previsto, il preventivo parere sul progetto ex art. 3 D.P.R. 151/2011 e s.m.i., fermo restando che la progettazione della resistenza a caldo delle strutture va condotta sempre in maniera integrata anche nei confronti di tutte le restanti azioni; pertanto, il parere positivo del Comando VF, quando previsto, è fondamentale per la successiva completa definizione della progettazione integrata delle strutture. Negli altri casi, in cui non è previsto il parere del Comando VF (attività soggette al controllo del CNVVF in cat. A), la progettazione strutturale e quella di resistenza al fuoco devono comunque essere tra di loro coordinate e integrate.

2. **PROGETTO RESISTENZA AL FUOCO** – È parte del progetto strutturale NTC 2018, tenendo conto dei criteri definiti nel Codice P.I. per la determinazione della soluzione progettuale. Per una soluzione conforme è la fase di calcolo necessaria per verificare la classe di resistenza al fuoco prevista dal parere di conformità del progetto di prevenzione incendi o, negli altri casi, dalla documentazione tecnica progettuale di P.I. allegata alla SCIA. Per una soluzione alternativa è il complesso di operazioni previsto dalle procedure del Codice P.I. e delle NTC 2018, tramite l'applicazione dei metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio e le successive analisi termiche e termo-strutturali, per verificare le prestazioni di resistenza al fuoco previste dal parere di conformità del progetto di prevenzione incendi.

Come previsto dalle norme vigenti, il deposito del progetto strutturale, comprensivo del progetto della resistenza al fuoco, deve essere depositato al Genio Civile, a firma di progettista strutturale, prima dell'inizio dei lavori, previa acquisizione del parere positivo sul progetto ex art. 3 D.P.R. 151/2011 e s.m.i., se previsto. Il progettista strutturale, responsabile del deposito della pratica al Genio Civile, può non essere il professionista antincendio responsabile della certificazione di resistenza al fuoco delle strutture nell'ambito

della SCIA antincendio. In tal caso è fondamentale che ci sia coordinamento e sinergia tra queste due figure. Si evidenzia nuovamente che il carattere di opera da costruzione esistente può comportare una fase di indagine iniziale necessaria per raggiungere un adeguato Livello di Conoscenza degli elementi della struttura e degli eventuali sistemi protettivi esistenti.

3. **ESECUZIONE DELLE STRUTTURE** – Avviene nel rispetto del progetto strutturale depositato al Genio Civile, sotto la responsabilità del direttore dei lavori strutturali, per tutte le azioni di progetto, compreso l'incendio, per il quale possono essere state adottate le soluzioni progettuali, conformi o alternative, stabilite nei punti 1 e 2. Il direttore dei lavori strutturale può non essere il professionista antincendio che sottoscriverà la certificazione di resistenza al fuoco delle strutture nell'ambito della SCIA antincendio; pertanto, in tal caso, è bene che ci sia coordinamento e sinergia tra queste due figure, nell'interesse del committente e della pubblica incolumità.
4. **COLLAUDO DELLE STRUTTURE** – Attesta la conformità dell'esecuzione delle strutture al progetto con riferimento a tutte le azioni di progetto e, quindi, anche ai fini delle prestazioni di resistenza al fuoco. Il collaudo delle strutture dovrebbe essere acquisito dal professionista antincendio, il quale è il soggetto abilitato dal decreto ministeriale 7 agosto 2012 a sottoscrivere le certificazioni di resistenza fuoco delle strutture nell'ambito della SCIA antincendio. Pertanto, è bene che il progettista antincendio, nei casi in cui non coincida con il direttore dei lavori strutturali, sia coinvolto durante l'esecuzione dei lavori riguardanti le strutture, che si tratti di nuove costruzioni o di interventi su opere da costruzioni esistenti, sempre nell'interesse del committente e della pubblica incolumità.
5. **SCIA ANTINCENDIO** – Sia per nuove costruzioni sia per interventi su opere da costruzioni esistenti, il collaudo delle strutture eseguito ai sensi delle NTC 2018 dovrebbe essere allegato alla SCIA antincendio e, in ogni caso, dovrebbe essere di riferimento per il professionista antincendio che, ai sensi del D.M. 07.08.2012, redige e sottoscrive le certificazioni di resistenza al fuoco, su modello CERT.REI, e le allega alla SCIA antincendio stessa.

È superfluo notare e ribadire che la documentazione tecnica del progetto strutturale, con gli elaborati minimi di cui al cap. 10 delle NTC 2018, deve comprendere le analisi e le verifiche nei confronti delle azioni di progetto, tra cui, "*quando necessario*", l'azione eccezionale incendio, sia in soluzione conforme sia in alternativa.

4. SOLUZIONI CONFORMI

Come già detto in precedenza, le soluzioni conformi sono soluzioni progettuali già definite all'interno del Codice di P.I., delle quali il progettista non è tenuto a verificare la validità. Anche per le strutture di acciaio e composte acciaio-calcestruzzo sono previste nelle norme tecniche ipotesi semplificative che consentono di progettare le soluzioni strutturali senza calcoli complessi. Particolari risultati progettuali possono essere ottenuti a fronte di specifici calcoli di tipo avanzato. Il controllo delle soluzioni conformi, quindi, da un lato deve essere rivolto alla verifica che nel progetto siano state rispettate tutte le ipotesi semplificative previste e dall'altro che i metodi di calcolo applicati siano stati impiegati nello specifico campo di applicazione previsto dal metodo.

Di norma le soluzioni conformi si possono applicare a singoli elementi esposti a curva nominale standard ISO 834 o altra curva nominale, prendendo in considerazione le sollecitazioni determinate a tempo zero. In tal caso, ai sensi del pt. S.2.8.1 comma 2 lett. b del Codice di P.I., è possibile trascurare le cosiddette sollecitazioni indirette, che normalmente si generano per effetto di deformazioni ed espansioni imposte o impedito dovute ai cambiamenti di temperatura generati dall'esposizione al fuoco-e che determinano un significativo aggravio

in termini di sollecitazioni, che si aggiunge al degrado delle prestazioni meccaniche dei materiali costituenti la struttura esposta all'incendio.

Fermo restando quanto già detto in merito all'adeguata conoscenza dell'opera/e da costruzione in cui viene svolta l'attività soggetta e agli adempimenti derivanti dall'applicazione congiunta di NTC 2018 e Codice di P.I., è necessario procedere come segue:

- **LIVELLO DI PRESTAZIONE:** deve essere individuato per ogni opera da costruzione con riferimento ai criteri di attribuzione generalmente accettati; richiede una completa ed esaustiva valutazione del rischio, l'individuazione dei profili di rischio e dei compartimenti in cui suddividere ciascuna opera da costruzione;
- **RESISTENZA/CLASSE MINIMA DA GARANTIRE:** dipende dal livello di prestazione individuato:
 - o **livello I:** non è richiesta alcuna prestazione in termini di classe di resistenza al fuoco; sono invece richieste sia indipendenza in termini di compartimentazione (opera da costruzione isolata con distanza di separazione su spazio a cielo libero da altre opere da costruzione o dall'esterno del confine dell'area ove insiste l'attività non inferiore all'altezza massima dell'opera stessa) sia indipendenza strutturale da altre opere da costruzione (opera da costruzione isolata);
 - o **livello II:** oltre a indipendenza in termini di compartimentazione e strutturale come per il livello I, classe di resistenza al fuoco minima di ciascuna opera da costruzione pari a 30 minuti riferiti alla curva nominale standard,;
 - o **livelli III, IV e V:** classe di resistenza al fuoco minima per ciascun compartimento in cui è suddivisa ciascuna opera da costruzione in funzione del carico d'incendio specifico di progetto e tale da assicurare che le strutture presenti in ciascun compartimento non crollino e quindi mantengano la capacità portante fino al termine dell'incendio; per i livelli IV e V, in aggiunta a quanto previsto per il livello III, è necessario valutare anche deformazioni e spostamenti che possono avere influenza sulla funzionalità delle opere da costruzione al termine dell'incendio;
 - o **esistenza RTV:** in caso di presenza di RTV, è necessario verificare qual è la classe minima prescritta dalla stessa per ogni compartimento in cui è suddivisa l'opera da costruzione; tra la classe determinata tramite la RTO e quella minima stabilita dalla RTV, prevale la maggiore;
- **MODELLO D'INCENDIO:** è necessario definire il cimento termico agente su ciascun elemento strutturale, con riferimento alla loro superficie esterna (tipicamente la ISO 834); in pratica, ciò equivale a considerare uno scenario di incendio generalizzato con temperature dei gas uguali, in tutti i punti del compartimento, a quelle della curva nominale;
- **ANALISI TERMICA:** consiste nel calcolo termico degli elementi strutturali per stabilire come il calore prodotto dall'incendio si trasferisce all'interno di ogni elemento; qualora si ricorra a codici di calcolo, questi devono essere validati a tal fine; è necessario, prima dei calcoli numerici, stabilire quali parti superficiali dell'elemento sono riscaldate dalla curva nominale adottata;
- **ANALISI TERMO MECCANICA:** si sostanzia nel calcolo termo-meccanico sul singolo elemento, tipicamente nel dominio delle temperature o delle resistenze, impiegando uno dei metodi di calcolo ammessi per le soluzioni conformi e verificando che, nel caso trattato, il campo di applicazione previsto dal metodo di calcolo sia valido.

La relazione tecnica deve riportare:

- la verifica della temperatura critica, se eseguita nel dominio delle temperature;

- la verifica delle resistenze di progetto rispetto alle sollecitazioni di progetto in caso di incendio, se eseguita nel dominio delle resistenze, con l'indicazione dei dati numerici derivanti dal metodo di calcolo adottato.

È necessario progettare e verificare anche i collegamenti in condizioni d'incendio.

Le analisi richiedono l'impostazione della combinazione di carico eccezionale di cui alle NTC 2018, che può essere definita fin già nel modello di calcolo a freddo di ciascuna opera da costruzione, in modo da avere le sollecitazioni d'incendio al tempo zero, le quali non variano per effetto dell'ipotesi semplificativa sulle sollecitazioni indirette. Qualora l'opera da costruzione sia esistente e venga calcolata solo con riferimento all'azione eccezionale incendio, la relativa combinazione può essere valutata su ciascun singolo elemento, facendo le dovute semplificazioni tecniche sui vincoli e sulla continuità degli elementi, sotto la responsabilità del progettista.

Qualora si ricorra a codici di calcolo, questi devono essere validati per l'analisi di strutture in condizioni di incendio.

4.1. STRUTTURAZIONE ELABORATI PROGETTUALI CON SOLUZIONI CONFORMI

Alla luce di quanto sopra, gli elaborati progettuali descrittivi e grafici per quanto riguarda la resistenza al fuoco delle strutture in acciaio e composte acciaio-CLS in soluzione conforme devono trattare nell'ordine almeno i seguenti argomenti:

- INDIVIDUAZIONE OPERA/E DA COSTRUZIONE:** ciascuna opera da costruzione ospitante l'attività oggetto di progettazione deve essere completamente ed esaustivamente individuata, sia in termini geometrici (schema strutturale, vincoli interni ed esterni, tipologie e geometria collegamenti, geometria elementi costituenti, ecc.) sia meccanici (resistenze e rigidità dei materiali costituenti gli elementi e i collegamenti); per opere da costruzione esistenti è di norma necessaria la valutazione della sicurezza ex punto 8.3 delle NTC 2018;
- ESITI VALUTAZIONE DEL RISCHIO:** vanno illustrati gli aspetti salienti della valutazione del rischio che riguardano la misura S.2 resistenza al fuoco, quindi, a titolo non esaustivo, il layout delle utilizzazioni dei locali in termini di distribuzione del carico di incendio (ad esempio il layout delle auto in un parcheggio, degli scaffali in un supermercato, dello stoccaggio di materiali in un deposito, ecc.), i compartimenti individuati per ciascuna opera da costruzione, i carichi d'incendio specifici e quelli specifici di progetto per ciascuno di essi, le misure di protezione che hanno influenza sui valori di questi ultimi, la presenza di aree soggette a carichi di incendio localizzati, da considerare per la particolare intensità o per la particolare vicinanza agli elementi strutturali (che in genere fanno aumentare il carico di incendio specifico di progetto nell'area di effettiva distribuzione del materiale combustibile), le sovraresistenze da attribuire eventualmente ad alcune parti della struttura in caso di carichi d'incendio localizzati, i profili di rischio R_{vita} , R_{beni} e $R_{ambiente}$ riferiti a compartimenti o ambiti, ecc.;
- LIVELLO DI PRESTAZIONE:** va attribuito (pt. S.2.2) a ciascuna opera da costruzione (e ai suoi compartimenti), con una sua indipendenza strutturale, ospitante l'attività oggetto di progettazione, con riferimento ai criteri di attribuzione generalmente accettati di cui al cap. S.2 del Codice di P.I. (Tabella S.2-2);

- d) **RESISTENZA STRUTTURALE MINIMA:** va individuata in funzione del livello di prestazione attribuito e delle conseguenti valutazioni in termini di compartimentazione, pertanto va espressa in termini di classe di resistenza al fuoco; in caso di esistenza di RTV per l'attività in progetto, va poi confrontata con la classe minima prevista dalla RTV stessa, assumendo il valore massimo tra le due;
- e) **CIMENTO TERMICO:** in soluzione conforme è certamente una curva nominale, tipicamente quella standard ISO 834; per elementi strutturali esterni al volume dell'opera/e da costruzione e prossimi allo stesso, si può ricorrere alla curva da incendio esterno; per altri casi ci sono curve nominali specifiche (es. gallerie, depositi di liquidi infiammabili, ecc.);
- f) **ANALISI TERMICA:** utilizzando il cemento termico come input, da applicare sulla superficie esterna di ogni elemento strutturale esposta all'incendio, va determinato il campo di temperature all'interno di ciascuno di essi per una durata dell'incendio pari alla classe di resistenza al fuoco minima da garantire; qualora si ricorra a codici di calcolo, questi devono essere validati a tal fine; risultato essenziale dell'analisi termica è la determinazione del campo di temperatura all'interno dell'elemento durante il tempo di esposizione all'incendio;
- g) **ANALISI TERMO MECCANICA:** utilizzando i risultati dell'analisi termica come input, bisogna valutare su ciascun singolo elemento strutturale le proprietà resistenti dello stesso, tipicamente nel dominio della temperatura o delle resistenze e raramente in quello del tempo; a tal fine, va sempre determinata la classe di duttilità dei profili di acciaio in condizioni d'incendio, da cui dipendono i criteri e metodi di progettazione previsti nelle NTC 2018 e in EN 1991-1-2, EN 1993-1-2 e EN 1994-1-2 [5], [6], [7], [8] e [9]; qualora si ricorra a codici di calcolo, questi devono essere validati per l'analisi di strutture in condizioni di incendio; risultato essenziale dell'analisi termomeccanica è, nel caso di risoluzione nell'ambito del dominio delle temperature, la temperatura critica dell'elemento, che deve essere superiore alla massima temperatura dell'elemento durante il tempo di esposizione all'incendio, determinata nell'analisi termica; nel caso di risoluzione nel dominio delle resistenze, è la sollecitazione di progetto in condizione di incendio $S_{d,fi}$ che non deve essere superiore alla resistenza di progetto $R_{d,fi}$, valutata alla temperatura massima dell'elemento durante il tempo di esposizione all'incendio ($S_{d,fi} < R_{d,fi}$).
- h) **VERIFICA COLLEGAMENTI:** va effettuata per ciascun collegamento, in funzione delle condizioni di sollecitazione termica e meccanica più gravose.

Le operazioni di cui sopra possono assumere carattere iterativo, in quanto i risultati ottenuti in alcuni step progettuali possono essere non verificati e richiedere modifiche al progetto (ad es. modifiche alla struttura, interventi di miglioramento della resistenza al fuoco, rinforzo di porzioni di struttura o dell'intera struttura, modifiche ad altre misure di protezione, ecc.).

4.2. DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO CON SOLUZIONI CONFORMI

In merito alla fase di valutazione progetto, in caso di adozione di soluzioni conformi, è sufficiente produrre al Comando VV.F. competente territorialmente la documentazione attestante il corretto espletamento degli step progettuali di cui alle lettere a), b), c), d) ed e); per quanto riguarda gli step di cui alle lettere f), g) e h), nel caso in cui il progetto della struttura non sia ancora sufficientemente definito, è comunque necessario riportare in una apposita specifica tecnica i dati del progetto, che consentono al professionista di giustificare la verifica delle prestazioni richieste, dal momento che l'adeguatezza delle prestazioni di resistenza al fuoco della

struttura va assicurata sin dalla fase di presentazione o predisposizione (per attività in cat. A) del progetto di prevenzione incendi e strutturale, al fine di evitare spiacevoli sorprese in fase di verifica ad attività avviata, quando intervenire è quasi sempre più oneroso tecnicamente ed economicamente, sempre che sia possibile. Nel caso di lavori pubblici (nuova costruzione o interventi su opere da costruzione esistenti), dovendo necessariamente coincidere il progetto di prevenzione incendi e quello strutturale con quello esecutivo di cui al vigente Codice degli Appalti e relativo regolamento, la specifica tecnica del professionista che giustifica la verifica delle prestazioni di resistenza al fuoco richieste è ancora più essenziale e, pertanto, è necessario documentare sin da subito tutti gli step progettuali da a) ad h), al fine di definire compiutamente l'opera in tutti i suoi elementi, ottenere il preventivo parere sul progetto ex art. 3 D.P.R. 151/2011 e s.m.i., quando previsto (attività in cat. B o C), effettuare il deposito dei calcoli strutturali presso il soggetto stabilito da ogni regione, stimarne con ragionevole esattezza i costi e definire compiutamente il capitolato speciale tecnico d'appalto. Nei lavori privati vale lo stesso iter progettuale, ad esclusione degli adempimenti obbligatori di carattere tecnico amministrativo legati al Codice degli Appalti.

In fase di SCIA, a prescindere dalla natura pubblica o privata della costruzione, è certamente necessario dare atto che tutti gli step progettuali siano stati correttamente attuati e verificati, comprese eventuali piccole variazioni esecutive non significative in termini globali rispetto al progetto di P.I. approvato o predisposto per allegarlo alla SCIA antincendio, producendo le certificazioni di resistenza al fuoco di ciascun elemento strutturale, a valle del collaudo di ciascuna opera da costruzione con indipendenza strutturale.

Qualora le variazioni apportate siano sostanziali ai fini strutturali e antincendio rispetto a quanto approvato (cat. B o C) o predisposto dal progettista di P.I. (cat. A), è necessario ripartire dalla valutazione del progetto, in caso di aggravio di rischio incendio (solo cat. B o C), o ripresentare la SCIA antincendio, producendo una dichiarazione di non aggravio di rischio, qualora non ci sia aggravio di rischio incendio o per attività in cat. A: è evidente come tale modus operandi sia in genere da evitare per modifiche significative, in quanto le variazioni apportate senza l'opportuna considerazione degli aspetti antincendio può rendere oneroso e difficoltoso l'intero processo autorizzativo ai fini antincendio e strutturali.

Le considerazioni di cui sopra valgono sia per opere da costruzione nuove che esistenti, sia pubbliche che private, con le sole differenze normative evidenziate.

Qualora siano previsti, su un'opera da costruzione esistente, interventi per migliorare o adeguare la resistenza al fuoco degli elementi strutturali, a valle di una generalmente necessaria valutazione della sicurezza ex punto 8.3 delle NTC 2018, ad esempio con l'utilizzo di protettivi, la modifica delle condizioni di vincolo, il contributo di ulteriori elementi di rinforzo o accorgimenti costruttivi, ecc., è necessario progettarli secondo le norme vigenti, acquisendo, in caso di modifiche sostanziali con aggravio di rischio incendio, il parere sul progetto (cat. B o C) ex art. 3 D.P.R. 151/2011 e s.m.i. secondo le procedure di Prevenzione Incendi di cui al suddetto D.P.R. e al D.M. 07/08/2012, procedere poi al deposito dei calcoli strutturali a caldo presso il soggetto stabilito da ogni regione e, infine, presentare la SCIA antincendio ex art. 4 del medesimo D.P.R.

4.3. METODI DI CALCOLO SOLUZIONI CONFORMI – ACCIAIO

In merito alle strutture in acciaio, i metodi di calcolo a disposizione dei progettisti in soluzione conforme (quindi con incendio rappresentato quasi sempre da curva nominale standard ISO 834 e sollecitazioni indirette trascurabili ai sensi del pt. S.2.8.1 del Codice di P.I.) validi per singoli elementi strutturali sono:

- metodo della temperatura critica (non applicabile per elementi soggetti a fenomeni di instabilità), basato sul confronto $\theta_{fi,d} \leq \theta_{crit}$, in cui $\theta_{fi,d}$ è la temperatura di progetto in condizioni d'incendio raggiunta nel singolo elemento e θ_{crit} è la cosiddetta temperatura critica, dipendente dal fattore di utilizzazione dell'elemento (rapporto tra sollecitazione di progetto in condizioni d'incendio e resistenza di progetto a inizio incendio, con gli opportuni coefficienti parziali di sicurezza); nel caso di sezioni di classe 4 si ha $\theta_{crit} = 350 \text{ °C}$; la θ_{crit} può sempre essere calcolata per qualsiasi elemento sottoposto a qualsiasi carico termico e meccanico, ma con metodologie differenti e eventualmente più complesse; in ogni caso la relazione tecnica deve riportare le sollecitazioni di progetto e le resistenze di progetto con cui è stata calcolata la temperatura critica, i valori della temperatura critica e i valori della temperatura massima degli elementi con cui fare il confronto;
- valutazioni agli SLU di cui all'UNI EN 1993-1-2 e NTC 2018, basate sul confronto $E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$, in cui $E_{fi,d}$ è la sollecitazione di progetto (semplice o composta) in condizioni d'incendio (si suppone che non vari durante l'incendio per effetto della non considerazione delle sollecitazioni indirette) e $R_{fi,d,t}$ è la resistenza di progetto (semplice o composta) in condizioni d'incendio al tempo di valutazione t , coincidente con la classe di resistenza al fuoco; anche con tali metodi è possibile stabilire qual è il valore della θ_{crit} corrispondente, sebbene con metodologie più accurate e complesse rispetto a quelle del metodo della temperatura critica; in tal caso, la relazione tecnica deve riportare le sollecitazioni di progetto e le resistenze di progetto, eventualmente i valori della temperatura critica ottenuta e i valori delle temperature massime previste sugli elementi da confrontare per la verifica;
- valutazioni nel dominio del tempo, assicurando che $t_{fi,d} \leq t_{classe}$, essendo $t_{fi,d}$ il tempo di resistenza di progetto in condizioni d'incendio e t_{classe} la classe di resistenza al fuoco del compartimento cui appartiene l'elemento strutturale; anche con tali valutazioni è possibile stabilire qual è il valore della θ_{crit} corrispondente, sebbene con metodologie più accurate rispetto a quelle del metodo della temperatura critica; in tal caso, la relazione tecnica deve riportare le sollecitazioni di progetto, i valori del tempo in cui le resistenze di progetto uguagliano le sollecitazioni di progetto e eventualmente i valori della temperatura critica ottenuta.

Le Istruzioni Tecniche riportano un riepilogo dei metodi di calcolo previsti dalle normative vigenti per la progettazione strutturale in condizioni di incendio delle strutture di acciaio (UNI EN 1993-1-2) in soluzione conforme. Per ogni metodo di calcolo, il volume riporta anche il campo di applicazione previsto per la validità del metodo stesso.

In caso di utilizzo di protettivi, è necessario stimare il valore della temperatura critica dell'elemento strutturale e confrontarlo poi con le temperature di riferimento riportate nel rapporto di valutazione impiegato, ricorrendo allo stesso cimento termico utilizzato nel suddetto rapporto di valutazione (tipicamente la curva standard ISO 834). Naturalmente, il valore della temperatura critica deve trovare giustificazione nella relazione tecnica, facendo riferimento ai metodi di calcolo previsti dalle normative vigenti (ad es. metodo della temperatura critica nel dominio delle temperature, metodi analitici semplificati di cui all'EN 1993-1-2 nel dominio delle resistenze). In caso di calcoli nel dominio del tempo, occorre utilizzare le proprietà termiche del protettivo in funzione del cimento termico nominale applicato (tipicamente la curva standard ISO 834), riportate nel rapporto di valutazione impiegato.

4.4. METODI DI CALCOLO SOLUZIONI CONFORMI – ACCIAIO-CLS

In merito alle strutture composte in acciaio-CLS, i metodi di calcolo a disposizione dei progettisti in soluzione conforme (quindi con incendio rappresentato da curva nominale standard ISO 834 e sollecitazioni indirette trascurabili ai sensi del pt. S.2.8.1 del Codice di P.I.) validi per singoli elementi sono:

- valutazioni agli SLU di cui all'UNI EN 1993-1-2 e NTC 2018, basati sul confronto $E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$, in cui $E_{fi,d}$ è la sollecitazione di progetto (semplice o composta) in condizioni d'incendio (non varia durante l'incendio) e $R_{fi,d,t}$ è la resistenza di progetto (semplice o composta) in condizioni d'incendio al tempo di valutazione t , coincidente con la classe di resistenza al fuoco; in tal caso, la relazione tecnica deve riportare le sollecitazioni di progetto e le resistenze di progetto e i valori delle temperature massime previste sugli elementi, da confrontare quindi per la verifica;
- valutazioni nel dominio del tempo, assicurando che $t_{fi,d} \leq t_{classe}$, essendo $t_{fi,d}$ il tempo di resistenza al fuoco di progetto in condizioni d'incendio e t_{classe} la classe di resistenza al fuoco del compartimento cui appartiene l'elemento strutturale; in tal caso, la relazione tecnica deve riportare le sollecitazioni di progetto e il valore del tempo in cui l'elemento non è più in grado di sopportare le azioni esterne (incendio compreso) e quindi non garantisce la resistenza al fuoco;
- metodi tabellari e calcoli analitici semplificati illustrati nell'UNI EN 1994-1-2 (sono considerati tutti metodi analitici ai fini della certificazione di resistenza al fuoco).

Le Istruzioni tecniche riportano un riepilogo dei metodi di calcolo previsti dalle normative vigenti per la progettazione strutturale in condizioni di incendio delle strutture composte di acciaio e calcestruzzo (UNI EN 1993-1-2, UNI EN 1994-1-2) in soluzione conforme.

4.5. PROPOSTA CHECK-LIST VERIFICA ELABORATI PROGETTUALI MISURA S.2 IN SOLUZIONE CONFORME

Alla luce di quanto esposto finora in merito alle soluzioni conformi per le strutture in acciaio e composte acciaio-CLS, si propongono di seguito due semplici check-list (Tabella 1 e Tabella 2), la prima per la valutazione del progetto di nuove opere da costruzione, la seconda per la valutazione del progetto di opere da costruzione esistenti e per la verifica della SCIA di opere da costruzione sia nuove sia esistenti, finalizzate a controllare che la progettazione della resistenza al fuoco delle suddette strutture in soluzione conforme sia completa, conforme ed esaustiva. Nella "Tabella 1: proposta di check list di validazione del progetto strutturale in condizioni d'incendio in SOLUZIONE CONFORME – VALUTAZIONE PROGETTO NUOVE OPERE DA COSTRUZIONE" viene riportato in maniera semplificata lo schema della check list in forma grafica.

4.5.1. CHECK-LIST SOLUZIONI CONFORMI – VALUTAZIONE PROGETTO NUOVE O.D.C.

Tabella 1: proposta di check list di validazione del progetto strutturale in condizioni d'incendio in SOLUZIONE CONFORME – VALUTAZIONE PROGETTO NUOVE OPERE DA COSTRUZIONE

STEP	DOMANDA	RISPOSTA	
1	Sono state sufficientemente caratterizzate geometricamente e meccanicamente le opere da costruzione che ospitano l'attività e i loro elementi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sono presenti elaborati grafici e descrittivi che rappresentino le opere da costruzione che ospitano l'attività, i loro elementi costruttivi, la destinazione d'uso dei locali e la distribuzione prevista dei carichi di incendio?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sulla base della valutazione del rischio, sono stati individuati, descritti e rappresentati i compartimenti per ogni opera da costruzione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sulla base della valutazione del rischio, la classe di ogni compartimento è stata determinata con riferimento al $q_{f,d}$ calcolato considerando l'effettiva distribuzione del materiale combustibile (distribuita o localizzata)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Il calcolo di $q_{f,d}$ ha tenuto conto correttamente delle misure antincendio presenti?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di presenza di RTV, la classe definitiva è la maggiore tra quella determinata con la metodologia proposta in S.2 (RTO) e questa stabilita nella RTV stessa?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sono state indicate e recepite nella GSA le misure da tenere sotto controllo per garantire il rispetto di quanto previsto in progetto in merito a quantità, qualità e distribuzione dei materiali combustibili in ciascun compartimento?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
2	È stato correttamente attribuito un adeguato livello di prestazione a ciascuna opera da costruzione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello I, è stata valutata e calcolata la distanza di separazione (cap. S.3) su spazio a cielo libero verso altre opere da costruzione o verso il confine dell'area su cui sorge l'attività, la quale in ogni caso deve essere almeno superiore all'altezza massima dell'opera stessa? <i>N.B.: ciascuna opera da costruzione con livello I è in sostanza isolata, senza richiesta di alcuna prestazione di resistenza al fuoco.</i>	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello II, oltre alla distanza di separazione su spazio a cielo libero calcolata come per il livello I, è stata stabilita la classe di resistenza al fuoco 30 come prestazione minima? <i>N.B.: ciascuna opera da costruzione con livello II è in sostanza isolata, con classe minima di resistenza al fuoco pari a 30.</i>	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello III, IV e V, è stata stabilita la classe di resistenza al fuoco in funzione del $q_{f,d}$ (tabella S.2-3) come prestazione minima di resistenza al fuoco?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello IV, è stato valutato anche il danneggiamento degli elementi di compartimentazione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
Nel caso di livello V, è stato valutato anche il danneggiamento degli elementi di compartimentazione e di tutti gli elementi strutturali?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	

4.5.2. CHECK-LIST SOLUZIONI CONFORMI – VALUTAZIONE PROGETTO O.D.C. ESISTENTI O VERIFICA SCIA O.D.C. NUOVE O ESISTENTI

Tabella 2: proposta di check list di validazione del progetto strutturale in condizioni d'incendio in SOLUZIONE CONFORME – VALUTAZIONE PROGETTO O.D.C. ESISTENTI O VERIFICA SCIA O.D.C. NUOVE O ESISTENTI

STEP	DOMANDA	RISPOSTA	
1	Sono state sufficientemente caratterizzate geometricamente e meccanicamente le opere da costruzione che ospitano l'attività e i loro elementi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di opere da costruzione esistenti, sono state effettuate le indagini finalizzate a stabilire i livelli di conoscenza e i relativi fattori di confidenza?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di opere da costruzione esistenti, è stata effettuata la valutazione di sicurezza ex art. 8.3 delle NTC 2018?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sono presenti elaborati grafici e descrittivi che rappresentino le opere da costruzione che ospitano l'attività, i loro elementi costruttivi, la destinazione d'uso dei locali e la distribuzione prevista dei carichi di incendio?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sulla base della valutazione del rischio, sono stati individuati, descritti e rappresentati i compartimenti per ogni opera da costruzione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sulla base della valutazione del rischio, la classe di ogni compartimento è stata determinata con riferimento al $q_{f,d}$ calcolato considerando l'effettiva distribuzione del materiale combustibile (distribuita o localizzata)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Il calcolo di $q_{f,d}$ ha tenuto conto correttamente delle misure antincendio presenti?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di presenza di RTV, la classe definitiva è la maggiore tra quella determinata con la metodologia proposta in S.2 e questa stabilita nella RTV stessa?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sono state indicate e recepite nella GSA le misure da tenere sotto controllo per garantire il rispetto di quanto previsto in progetto in merito a quantità, qualità e distribuzione dei materiali combustibili in ciascun compartimento?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
2	È stato correttamente attribuito un adeguato livello di prestazione a ciascuna opera da costruzione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello I, è stata valutata e calcolata la distanza di separazione (cap. S.3) su spazio a cielo libero verso altre opere da costruzione o verso il confine dell'area su cui sorge l'attività, la quale in ogni caso deve essere almeno superiore all'altezza massima dell'opera stessa? <i>N.B.: ciascuna opera da costruzione con livello I è in sostanza isolata, senza richiesta di alcuna prestazione di resistenza al fuoco.</i>	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello II, oltre alla distanza di separazione su spazio a cielo libero calcolata come per il livello I, è stata stabilita la classe di resistenza al fuoco 30 come prestazione minima di resistenza al fuoco e quindi verificata? <i>N.B.: ciascuna opera da costruzione con livello II è in sostanza isolata, con classe minima di resistenza al fuoco pari a 30.</i>	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello III, IV e V, è stata stabilita la classe di resistenza al fuoco in funzione del $q_{f,d}$ (tabella S.2-3) come prestazione minima di resistenza al fuoco e quindi calcolata?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello IV, è stato valutato anche il danneggiamento degli elementi di compartimentazione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello V, è stato valutato anche il danneggiamento degli elementi di compartimentazione e di tutti gli elementi strutturali?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
3	Per ogni livello di prestazione, salvo il livello I, è stata utilizzata la curva nominale standard ISO 834 o altra curva nominale come cimento termico dell'incendio agente sugli elementi strutturali e sui collegamenti?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Per ogni elemento strutturale, è stata attribuita la curva nominale alla sua superficie esterna esposta all'incendio?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Per ogni elemento strutturale, è stata effettuata l'analisi termica?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

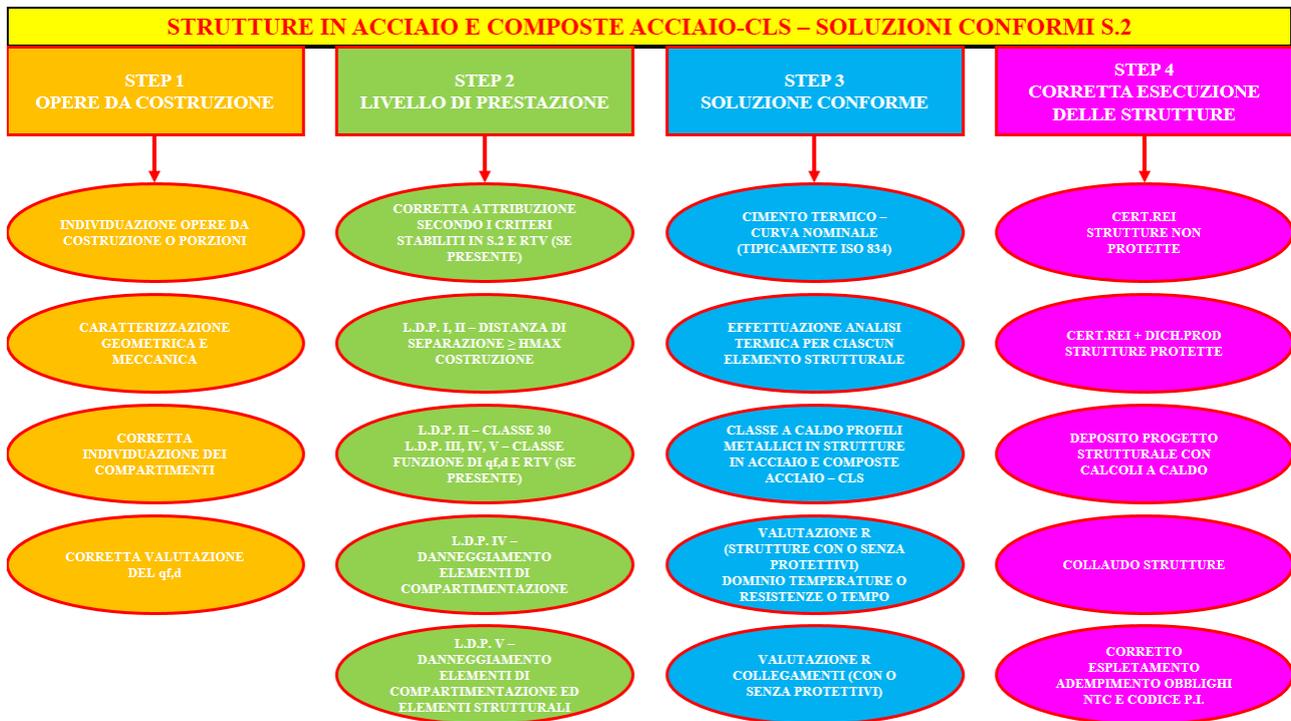
STEP	DOMANDA	RISPOSTA	
	Per ogni elemento strutturale, a meno solo degli elementi soggetti a trazione pura, è stata valutata la classe di duttilità in condizioni d'incendio, che consente di individuare il corretto metodo di calcolo che tiene conto della capacità dell'elemento di sviluppare o meno un comportamento plastico?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Per ogni elemento strutturale, è stata valutata la resistenza al fuoco nel dominio delle temperature o delle resistenze o del tempo, garantendo la classe minima di resistenza al fuoco stabilita in funzione del livello di prestazione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di utilizzo di protettivi, è stata valutata analiticamente la temperatura critica di progetto in funzione della classe di resistenza al fuoco per ogni elemento da proteggere prima di determinare lo spessore del protettivo indicato nel rapporto di valutazione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di utilizzo di protettivi e di utilizzo di metodi analitici numerici, sono stati utilizzati i parametri termo-fisici (eventualmente dipendenti dalla temperatura) riportati nel rapporto di valutazione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	I codici di calcolo eventualmente utilizzati sono validati allo scopo (punto 10.2 NTC 2018)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sono stati verificati i collegamenti in condizioni d'incendio?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
4	Alla SCIA sono allegati le certificazioni di resistenza al fuoco di tutti gli elementi strutturali e di compartimentazione componenti le opere da costruzione che ospitano l'attività, comprensive degli elaborati grafici con l'individuazione della posizione di ciascuno di essi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di utilizzo di protettivi, alla SCIA è allegata anche la DICH.PROD, nella quale si dimostra l'adeguatezza del prodotto utilizzato, con riferimento al rapporto di valutazione, e la sua corretta posa in opera?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Il progetto strutturale, comprensivo dei calcoli di resistenza al fuoco, è stato depositato presso il soggetto individuato dalla normativa di ciascuna regione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Le opere da costruzione nuove o, in caso di interventi finalizzati a migliorare la loro resistenza al fuoco, quelle esistenti, che ospitano l'attività soggetta, sono state collaudate, anche con riferimento all'azione eccezionale incendio, ai sensi delle vigenti NTC 2018?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In definitiva, sono stati correttamente espletati gli adempimenti derivanti dall'applicazione congiunta di NTC 2018 e Codice di P.I., in merito a progettazione, esecuzione e collaudo delle opere da costruzione o di loro porzioni?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

4.5.3. CRITERI E FINALITÀ CHECK-LIST SOLUZIONI CONFORMI

Ciascuna check-list è basata sul Codice di P.I., ma può essere utilizzata anche per progetti realizzati sulla base dei DD.MM. 9 marzo e 16 febbraio 2007, mutuando i riferimenti normativi del Codice di P.I. stesso. Gli STEP n. 1 e n. 2 sono legati alla fase di valutazione progetto, pertanto, possono essere sufficienti in alcune situazioni (opere da costruzione di nuova realizzazione), sebbene lo step n. 3 dovrebbe essere presente sin dalla fase di valutazione progetto, nonostante si riferisca alla documentazione allegata alla SCIA; lo STEP n. 4 invece riguarda sempre la fase di esecuzione, collaudo strutturale e presentazione SCIA antincendio.

Gli elaborati progettuali di resistenza al fuoco e quelli relativi all'esecuzione con sole soluzioni conformi per la misura antincendio S.2 del Codice di P.I. possono certamente considerarsi NON completi, NON conformi e NON esaustivi, se almeno una delle sopra elencate risposte è risultata NEGATIVA (fatte salve quelle che prospettano situazioni eventuali); in caso contrario, è ragionevole supporre che gli elaborati progettuali e quelli relativi all'esecuzione abbiano quantomeno affrontato tutti gli aspetti principali connessi con la resistenza al fuoco dell'opera/e da costruzione, o sua/loro porzione/i, in cui viene esercita l'attività. Il merito sulla correttezza o meno nell'utilizzo delle valutazioni tecniche effettuate resta in capo al progettista e/o professionista che ha curato l'esecuzione.

Si sottolinea infine che, se gli adempimenti di cui agli STEP 1, 2 e 3 sono eseguiti prima dell'inizio della costruzione, è possibile eseguire una modifica del progetto prima della realizzazione o messa in opera; in caso contrario, la loro assenza o incompletezza può determinare a posteriori un declassamento delle prestazioni della struttura portante dell'edificio.



5. SOLUZIONI ALTERNATIVE

Si ricorre alle soluzioni alternative o quando non è possibile utilizzare le soluzioni conformi o per esigenze tecniche, economiche o di altra natura; ad es., ciò si può verificare per le strutture in acciaio o composte acciaio calcestruzzo quando non si vogliono o non si possono utilizzare sistemi protettivi. Nel settore della resistenza al fuoco una soluzione alternativa è normalmente definita mediante l'applicazione dei metodi di ingegneria della sicurezza antincendio, secondo quanto previsto nel Capitolo M delle Norme tecniche di prevenzione incendi [1]. Di norma, nelle soluzioni alternative si modellano sottostrutture o intere strutture esposte a incendi naturali e non singoli elementi, in quanto, in presenza di sollecitazioni indirette, è praticamente non fattibile stimarle quantitativamente nella maggioranza dei casi.

Fermo restando quanto già detto in merito all'adeguata conoscenza dell'opera/e da costruzione in cui viene svolta l'attività soggetta e agli adempimenti derivanti dall'applicazione congiunta di NTC 2018 e Codice di P.I., è necessario procedere come segue:

- **LIVELLO DI PRESTAZIONE:** deve essere individuato per ogni opera da costruzione con riferimento ai criteri di attribuzione generalmente accettati o secondo uno dei metodi di cui al pt. G.2.7 del Codice di P.I.; richiede l'individuazione delle opere da costruzione, la loro caratterizzazione geometrica e meccanica, una completa ed esaustiva valutazione del rischio, l'individuazione dei profili di rischio e dei compartimenti in cui sono eventualmente suddivise le opere da costruzione;

- **RESISTENZA MINIMA DA GARANTIRE:** viene normalmente valutata nel dominio del tempo e dipende dal livello di prestazione individuato:
 - o **livello I:** non è richiesta alcuna prestazione in termini di tempo di resistenza al fuoco; con riferimento ai criteri di attribuzione generalmente accettati, sono invece richieste sia indipendenza in termini di compartimentazione sia indipendenza strutturale da altre opere da costruzione, ma nessuna distanza di separazione su spazio a cielo libero; è necessario, però, dimostrare analiticamente che il meccanismo di collasso, in generale, non arrechi danni ad altre opere da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima (ad es. è implosivo);
 - o **livello II:** oltre a quanto previsto per il livello I e potendosi applicare anche a porzioni di opere da costruzione, con il requisito, in caso di collasso, di non arrecare danni anche al resto dell'opera da costruzione o ad altre opere da costruzione o all'esterno del confine dell'area su cui sorge l'attività medesima, viene in aggiunta richiesto di mantenere la capacità portante per un tempo in minuti pari almeno a $\max\{2 \cdot RSET, 15\}$;
 - o **livelli III, IV e V:** deve essere garantito il mantenimento della capacità portante di ciascuna opera da costruzione, o sua porzione, ospitante l'attività per una durata congrua con la durata dell'incendio, secondo quanto previsto al pt. M.2.5 del Codice di P.I.; per i livelli IV e V è necessario valutare anche deformazioni e spostamenti che possono avere influenza sulla funzionalità delle opere da costruzione al termine dell'incendio;
 - o **esistenza RTV:** in caso di presenza di RTV, è necessario verificare se sono previste indicazioni specifiche per l'applicazione delle soluzioni alternative;
- **MODELLO D'INCENDIO:** si applicano i metodi della FSE per ricavare in output il campo di temperature o flussi termici variabile nel tempo e nello spazio, in particolare in prossimità della frontiera degli elementi strutturali componenti ciascuna opera da costruzione o sua porzione ospitanti l'attività; elemento centrale dei predetti metodi è rappresentato dagli **SCENARI D'INCENDIO DI PROGETTO**, la cui determinazione, riportata nell'analisi preliminare, deve essere giustificata, tenendo conto dei fattori che influenzano un possibile evento di incendio, della posizione del focolare nei confronti degli elementi strutturali, della presenza o meno di elementi più o meno importanti, del suo comportamento in condizioni di incendio, ecc.;
- **ANALISI TERMICA:** calcolo termico degli elementi per stabilire come il calore prodotto dall'incendio nel volume di calcolo si trasferisce all'interno dell'elemento; qualora si ricorra a codici di calcolo, questi devono essere validati per l'analisi in condizioni di incendio delle strutture considerate; è necessario, prima dei calcoli numerici, stabilire quali parti superficiali dell'elemento sono riscaldate dall'incendio naturale;
- **ANALISI TERMO MECCANICA:** calcolo termo-meccanico di porzioni di strutture o dell'intera struttura tipicamente nel dominio del tempo, con valutazione della variazione temporale di sollecitazioni, spostamenti e deformazioni; è necessario progettare e verificare a parte i collegamenti in condizioni d'incendio, nonché effettuare le verifiche a taglio, dal momento che alcuni codici di calcolo specifici non sono in grado di modellare eventuali collassi dovuti al taglio (piuttosto rari); le analisi richiedono l'impostazione della combinazione di carico eccezionale di cui alle vigenti NTC 2018. I codici di calcolo generici o specifici devono essere validati per l'analisi in condizioni di incendio delle strutture considerate.

5.1. STRUTTURAZIONE ELABORATI PROGETTUALI CON SOLUZIONI ALTERNATIVE

Alla luce di quanto sopra, gli elaborati progettuali descrittivi e grafici per quanto riguarda la resistenza al fuoco delle strutture in acciaio e composte acciaio-CLS in soluzione alternativa devono trattare nell'ordine almeno i seguenti argomenti:

- a) **INDIVIDUAZIONE OPERA/E DA COSTRUZIONE:** ciascuna opera da costruzione ospitante l'attività oggetto di progettazione deve essere completamente ed esaustivamente individuata, sia in termini geometrici (schema strutturale, vincoli interni ed esterni, tipologie collegamenti, geometria elementi costituenti, ecc.) sia meccanici (resistenze e rigidità dei materiali costituenti gli elementi e i collegamenti);
- b) **ESITI VALUTAZIONE DEL RISCHIO:** vanno illustrati gli aspetti salienti della valutazione del rischio che riguardano la misura S.2 resistenza al fuoco, quindi, a titolo non esaustivo, i compartimenti individuati per ciascuna opera da costruzione, i carichi d'incendio specifici per ciascuno di essi, le sovraresistenze da attribuire eventualmente ad alcune parti della struttura in caso di distribuzioni localizzate di materiale combustibile, i profili di rischio R_{vita} , R_{beni} e $R_{ambiente}$ riferiti a compartimenti o ambiti, le caratteristiche dei focolari d'incendio possibili, le tipologie di occupanti presenti, le peculiarità dell'opera da costruzione in termini di proprietà termiche, ventilazione, layout, ecc.;
- c) **LIVELLO DI PRESTAZIONE:** va attribuito (pt. S.2.2) a ciascuna opera da costruzione ospitante l'attività oggetto di progettazione, tipicamente con riferimento ai criteri di attribuzione generalmente accettati di cui al cap. S.2 del Codice di P.I. (Tabella S.2-2) oppure verificando l'adeguatezza del livello di prestazione nei confronti degli obiettivi di sicurezza antincendio con uno dei metodi di cui al pt. G.2.7 del Codice di P.I.;
- d) **RESISTENZA STRUTTURALE MINIMA:** va individuata in funzione del livello di prestazione attribuito, e delle conseguenti valutazioni in termini di compartimentazione, e va espressa in termini di tempo di resistenza al fuoco nei confronti di azioni termiche da incendio rappresentate da curve naturali o flussi termici individuati a seguito della modellazione fluidodinamica dell'opera/e da costruzione o compartimento/i ospitante/i l'attività; in caso di esistenza di RTV per l'attività in progetto, va verificata l'esistenza di fattori progettuali significativi ai fini della progettazione prestazionale;
- e) **MODELLO D'INCENDIO:** deriva dalla corretta individuazione degli **SCENARI DI INCENDIO DI PROGETTO**, selezionati mediante l'applicazione dei metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio, in modo da rappresentare i più gravosi tra gli scenari di incendio credibili; la loro determinazione è uno step della progettazione che deve essere accompagnato da una giustificazione tecnica legata all'obiettivo della progettazione antincendio;
- f) **CIMENTO TERMICO:** in soluzione alternativa è costituito dall'output della modellazione dell'incendio con approccio ingegneristico, in termini di curve naturali riferite ciascuna a uno specifico punto del volume di calcolo o a flussi termici, ai quali è associato un campo di direzioni; per determinare il cimento termico, oltre ai più generali modelli di campo di fluidodinamica computazionale, è possibile progettare con modelli meno complicati (curve parametriche o modelli a zone) e con modelli d'incendio localizzato (HASEMI e LOCAF1);
- g) **ANALISI TERMICA:** utilizzando il cimento termico come input, da applicare sulla superficie esterna di ogni elemento strutturale esposto all'incendio, va determinato il campo di temperature in ciascuno di essi per una durata dell'incendio pari al tempo di resistenza al fuoco minimo da garantire; i codici di calcolo ai quali inevitabilmente si ricorre devono essere validati a tal fine;
- h) **ANALISI TERMO MECCANICA:** utilizzando i risultati dell'analisi termica come input, valutare sull'intera struttura o sua porzione la risposta strutturale della stessa, tipicamente nel dominio del tempo; a tal fine,

va sempre determinata la classe di duttilità dei profili di acciaio in condizioni d'incendio, in modo da tener correttamente conto del loro comportamento in condizioni d'incendio nella modellazione avanzata; i codici di calcolo utilizzati devono essere validati a tal fine;

- i) **VERIFICA COLLEGAMENTI:** va effettuata a parte per ciascun collegamento o sua tipologia, in funzione delle condizioni di sollecitazione termica e meccanica più gravose, in quanto non è ad oggi inclusa nei modelli di calcolo avanzati più diffusi;
- j) **VERIFICA A TAGLIO:** va effettuata a parte per gli elementi strutturali, in funzione delle condizioni di sollecitazione termica e meccanica più gravose, in quanto ad oggi i modelli di calcolo avanzati più diffusi non riproducono il comportamento a taglio negli elementi lineari tipo "beam" o "frame".

Le operazioni di cui sopra possono assumere carattere iterativo, in quanto i risultati ottenuti in alcuni step progettuali possono essere non verificati e richiedere modifiche al progetto (ad es. modifiche alla struttura, interventi di miglioramento della resistenza al fuoco, rinforzo di porzioni di struttura o dell'intera struttura, ecc.). L'intero processo di progettazione in soluzione alternativa può essere riassunto dal seguente diagramma:

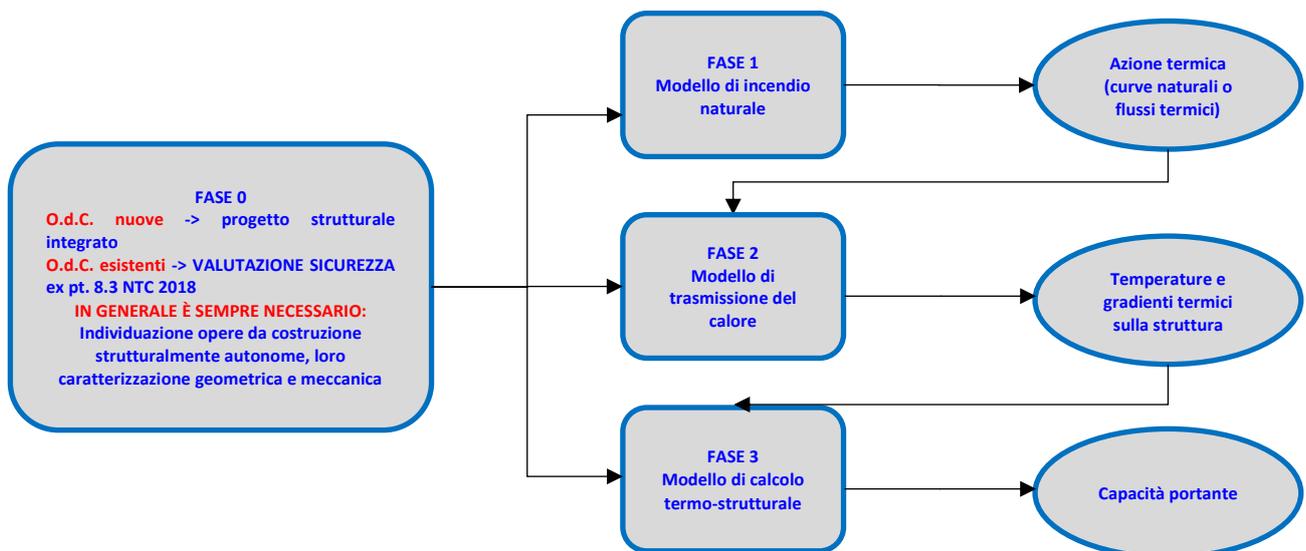


Figura 1: fasi della progettazione della resistenza al fuoco delle strutture in soluzione alternativa

5.2. DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO CON SOLUZIONE ALTERNATIVA

In merito alla fase di valutazione progetto, è necessario produrre al Comando VV.F. competente territorialmente la documentazione attestante il corretto espletamento di tutti gli step progettuali di cui alle lettere da a) a j). In particolare, la documentazione progettuale aggiuntiva può essere suddivisa in tre blocchi:

- 1) **MODELLO D'INCENDIO:** la documentazione necessaria è quella prevista nel cap. M.1 – pt. M.1.5 del Codice di P.I., in particolare:
 - a. **Sommario tecnico**, ove viene dettagliata tutta l'analisi preliminare, per la quale è fondamentale il concorso sinergico del progettista delle strutture; in tale step progettuale è fondamentale:
 - i. stabilire scopo della progettazione, obiettivi di sicurezza antincendio e soglie di prestazione (tipicamente nel dominio del tempo), in funzione del livello di prestazione da attribuire alle opere da costruzione o loro porzioni;

- ii. individuare gli scenari d'incendio e selezionare quelli di progetto (allo stesso tempo credibili e più gravosi ai fini della resistenza al fuoco), basandosi sulla conoscenza completa (geometrica e meccanica) delle strutture delle opere da costruzione che ospitano l'attività;
 - iii. primi elementi per la progettazione della GSA, da cui dipendono alcune ipotesi di partenza e gli scenari d'incendio di progetto;
- b. **Relazione tecnica**, ove si riportano i risultati dell'analisi quantitativa, in particolare le curve naturali o i flussi termici agenti su tutti gli elementi strutturali componenti l'opera da costruzione o sua porzione o il compartimento in progetto;
- c. **Programma per la Gestione della Sicurezza Antincendio**, nel quale sono dettagliate le misure e le modalità di loro attuazione, al fine di non rendere solo teorica la progettazione effettuata.
- 2) **ANALISI TERMICA**: è necessario produrre la documentazione illustrativa, numerica e grafica relativa all'analisi della trasmissione del calore dall'incendio che lambisce gli elementi strutturali sulla loro superficie esterna (output del **MODELLO D'INCENDIO**) verso il loro interno, in modo da utilizzarne poi i risultati come input della fase successiva;
- 3) **ANALISI TERMOSTRUTTURALE**: è necessario produrre la documentazione illustrativa, numerica e grafica relativa alle analisi strutturali a caldo, le quali utilizzano l'output dell'**ANALISI TERMICA** come dato di input, necessario per tener conto delle non linearità geometriche e meccaniche che insorgono quale conseguenza diretta e indiretta del calore prodotto dall'incendio, atte a dimostrare il raggiungimento del tempo di soglia minimo stabilito in funzione del livello di prestazione di resistenza al fuoco.

Nel caso di lavori pubblici (nuova costruzione o interventi su opere da costruzione esistenti), dovendo di norma coincidere il progetto di prevenzione incendi e strutturale con quello definitivo di cui al Codice degli Appalti e relativo regolamento, è sempre necessario definire compiutamente l'opera in tutti i suoi elementi, ottenere il preventivo parere sul progetto ex art. 3 D.P.R. 151/2011 e s.m.i. (solo per cat. B o C), effettuare il deposito dei calcoli strutturali presso il soggetto stabilito da ogni regione, stimarne con ragionevole esattezza il costo e definire compiutamente il capitolato speciale tecnico d'appalto.

Nei lavori privati vale lo stesso iter progettuale, ad esclusione degli adempimenti obbligatori di carattere tecnico amministrativo legati al Codice degli Appalti.

In tutti i casi, il deposito della documentazione progettuale strutturale deve rispettare anche le procedure previste dalle NTC 2018, al fine di consentire la corretta attuazione delle fasi di progettazione, esecuzione e collaudo delle strutture.

In fase di SCIA antincendio, a prescindere dalla natura pubblica o privata della costruzione, è certamente necessario dare atto che tutti gli step progettuali siano stati correttamente attuati e verificati, comprese eventuali piccole variazioni esecutive non significative in termini globali rispetto al progetto approvato, producendo le certificazioni di resistenza al fuoco di ciascuna struttura, a valle del collaudo di ciascuna opera da costruzione con indipendenza strutturale.

Qualora le variazioni apportate siano sostanziali ai fini strutturali e antincendio rispetto a quanto approvato (cat. B o C) o predisposto dal progettista di P.I. (cat. A), è necessario ripartire dalla valutazione del progetto, in caso di aggravio di rischio incendio (solo cat. B o C), o ripresentare la SCIA antincendio, producendo una dichiarazione di non aggravio di rischio alla stessa allegata, qualora non ci sia aggravio di rischio incendio o per attività in cat. A: è evidente come tale modus operandi sia in genere da evitare per modifiche significative,

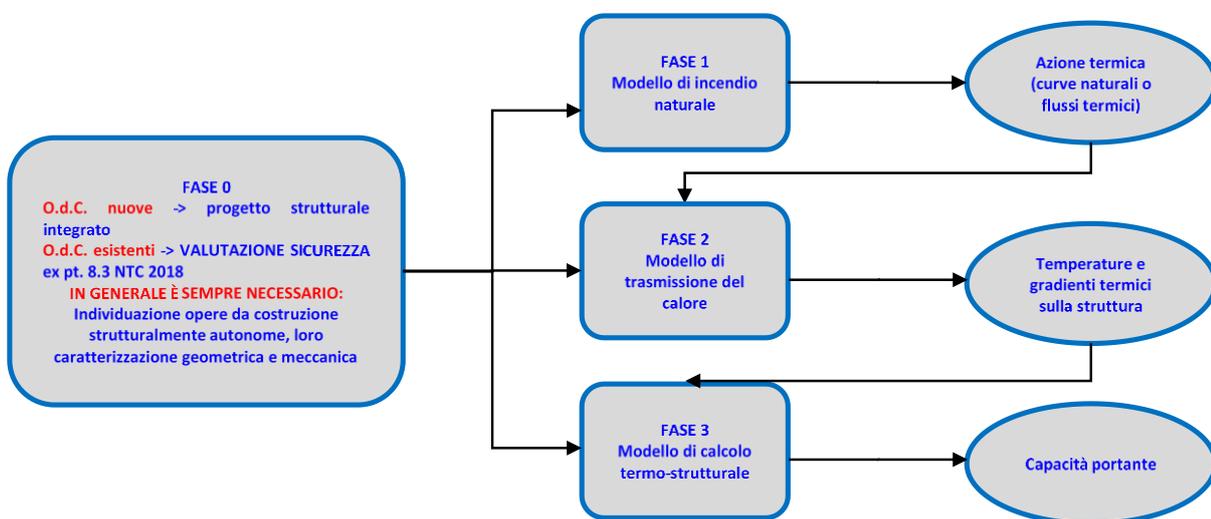
in quanto le variazioni apportate senza l'opportuna considerazione degli aspetti antincendio può rendere oneroso e difficoltoso l'intero processo autorizzativo ai fini antincendio e strutturali.

Le considerazioni di cui sopra valgono sia per opere da costruzione nuove che esistenti, sia pubbliche che private, con le sole differenze normative evidenziate.

Qualora siano previsti, su un'opera da costruzione esistente, interventi per migliorare o adeguare la resistenza al fuoco degli elementi strutturali, a valle di una generalmente necessaria valutazione della sicurezza ex punto 8.3 delle NTC 2018, ad esempio con l'utilizzo di protettivi, la modifica delle condizioni di vincolo, il contributo di ulteriori elementi di rinforzo o accorgimenti costruttivi, ecc., è necessario progettarli e realizzarli secondo le norme vigenti, acquisendo, in caso di modifiche sostanziali con aggravio di rischio incendio, il parere sul progetto (cat. B o C) ex art. 3 D.P.R. 151/2011 e s.m.i. secondo le procedure di Prevenzione Incendi di cui al suddetto D.P.R. e al D.M. 07/08/2012, procedere poi al deposito dei calcoli strutturali a caldo presso il soggetto stabilito da ogni regione e, infine, presentare la SCIA antincendio ex art. 4 del medesimo D.P.R.

5.3. METODI DI CALCOLO SOLUZIONI ALTERNATIVE – ACCIAIO E ACCIAIO-CLS

A differenza delle soluzioni conformi, non sono presenti metodi di calcolo specifici o semplificati per strutture in acciaio e composte acciaio-cls, bensì è necessario ricorrere a strumenti di calcolo piuttosto avanzati e che richiedono competenze ampie e variegata per comprenderne le basi teoriche e padroneggiarne l'imputazione e l'interpretazione oggettiva dell'output. Solo in seguito al corretto espletamento preliminare delle fasi 0, 1 e 2, come schematizzate nella Figura 1, è possibile condurre i calcoli termo-strutturali avanzati (fase 3) e trarre le



conclusioni del caso in merito alla resistenza al fuoco delle strutture analizzate. Tutti questi step progettuali richiedono la conoscenza della dinamica degli incendi, della fluidodinamica computazionale, della teoria della trasmissione del calore tra mezzi e, infine, di avanzate conoscenze di analisi strutturale, sia teorica che normativa, nonché di software specifici validati per ciascuna delle predette finalità (punto 10.2 delle NTC 2018). Per l'effettuazione di analisi termo-strutturali è possibile ricorrere a codici di calcolo generali o specifici: con i primi è necessario implementare, oltre ai dati relativi a geometria, vincoli, carichi, proprietà meccaniche, ecc.,

anche i legami costitutivi dei materiali e le loro proprietà termiche in condizioni d'incendio, in fase di raffreddamento, ecc., mentre con i secondi, progettati solo per tale tipologia di analisi, i dati di input da inserire sono molti di meno, in quanto molti dati meccanici e termici sono già incorporati nel codice e allineati alle norme tecniche strutturali (es. Eurocodici). Inoltre, può essere particolarmente onerosa, dal punto di vista computazionale, anche l'analisi termica di ciascun elemento strutturale. Le analisi strutturali da condurre sono statiche o dinamiche, non lineari in termini di geometria e di meccanica, e transienti nel tempo, al fine di tener conto dell'effetto delle temperature o dei flussi termici generati dall'incendio in termini di degrado geometrico e meccanico di tutti gli elementi strutturali; si evidenzia che, con le analisi dinamiche, è possibile tener conto delle eventuali capacità di redistribuzione delle sollecitazioni nell'intera struttura, a seguito di fallimento di uno o più elementi, qualora l'equilibrio della restante parte di struttura sia possibile. È inoltre necessario modellare correttamente il comportamento in condizioni d'incendio degli elementi strutturali metallici con classi di duttilità a caldo pari a 2, 3 o 4.

Infine, si evidenzia che alcuni codici di calcolo specifici non sono in grado di modellare e verificare i collassi dovuti alla sollecitazione tagliente, piuttosto rari, nelle strutture con elementi lineari di tipo "beam", per cui le verifiche a taglio vanno condotte separatamente; discorso analogo vale per i collegamenti tra elementi, che nei modelli termo-strutturali sono invariabili nel tempo e soggetti spesso ad azioni aggiuntive in condizioni d'incendio che non sono state previste a freddo, per cui è fondamentale la loro progettazione e verifica a caldo a parte, tenendo conto degli effetti dell'incendio in termini di degrado delle proprietà meccaniche del materiale e delle sollecitazioni indirette aggiuntive.

5.4. PROPOSTA CHECK-LIST DI VERIFICA ELABORATI PROGETTUALI MISURA S.2 IN SOLUZIONE ALTERNATIVA

Alla luce di quanto esposto finora in merito alle soluzioni alternative per le strutture in acciaio e composte acciaio-calcestruzzo, si propone di seguito la semplice check-list (Tabella 3) finalizzata a verificare una completa, conforme ed esaustiva progettazione e realizzazione della resistenza al fuoco delle suddette strutture in soluzione alternativa. La check-list vale principalmente per la valutazione del progetto, in quanto in fase di SCIA antincendio generalmente non devono essere presentati ulteriori analisi strutturali; qualora ciò accada, le modifiche apportate devono essere solo di dettaglio e non è necessario aggiornare la check-list. Qualora le modifiche siano sostanziali con aggravio di rischio incendio, è invece necessario ripresentare per l'approvazione la valutazione progetto ex art. 3 D.P.R. 151/2011 e s.m.i., completa di tutti i nuovi calcoli strutturali a caldo.

5.4.1. CHECK-LIST SOLUZIONI ALTERNATIVE – VALUTAZIONE PROGETTO O VERIFICA SCIA O.D.C. NUOVE O ESISTENTI

Tabella 3: proposta di check list di validazione del progetto strutturale in condizioni d'incendio in SOLUZIONE ALTERNATIVA – VALUTAZIONE PROGETTO O SCIA PER OPERE DA COSTRUZIONE NUOVE O ESISTENTI

STEP	DOMANDA	RISPOSTA	
1	Sono state caratterizzate geometricamente e meccanicamente le opere da costruzione che ospitano l'attività e i loro elementi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In caso di opere da costruzione esistenti, sono state effettuate le indagini finalizzate a stabilire i livelli di conoscenza e i relativi fattori di confidenza?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

Misura S2 (strutture di acciaio): prontuario delle soluzioni progettuali e check list
A. Marino, E. Nigro, S. Pustorino

STEP	DOMANDA	RISPOSTA	
	In caso di opere da costruzione esistenti, è stata effettuata la valutazione di sicurezza ex art. 8.3 delle NTC 2018?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sono presenti elaborati grafici e descrittivi che rappresentino sia le opere da costruzione che ospitano l'attività sia i loro elementi costruttivi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sulla base della valutazione del rischio, sono stati individuati, descritti e rappresentati i compartimenti per ogni opera da costruzione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Sulla base della valutazione del rischio, sono stati caratterizzati in termini di quantità, potenza termica, proprietà di propagazione, ecc. i materiali combustibili secondo la loro effettiva distribuzione (distribuita o localizzata)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
2	È stata correttamente definita la durata dell'incendio in funzione del livello di prestazione attribuito alle opere da costruzione o loro porzioni?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	È stato correttamente attribuito un adeguato livello di prestazione a ciascuna opera da costruzione o sua porzione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello I o II, in caso di rispetto dei criteri di attribuzione generalmente accettati, è stata individuata la necessità di dimostrare analiticamente che il meccanismo di collasso sia di tipo implosivo o, in generale, di natura tale da non arrecare danni ad altre opere da costruzione (livelli I e II) o a porzioni di opere da costruzione (solo livello II) o all'esterno dell'area su cui sorge l'attività (livelli I e II)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso di livello I o II, in caso di NON rispetto dei criteri di attribuzione generalmente accettati, è stata dimostrata, con i metodi di cui al pt. G.2.7, l'adeguatezza del livello di prestazione selezionato a raggiungere i pertinenti obiettivi di sicurezza antincendio e, quindi, effettuata la verifica analitica di un qualsiasi meccanismo di collasso tale da non arrecare danni ad altre opere da costruzione (livelli I e II) o a porzioni di opere da costruzione (solo livello II) o all'esterno dell'area su cui sorge l'attività (livelli I e II) e, per il solo livello II, del mantenimento della capacità portante per un tempo in minuti pari almeno a $\max\{2 \cdot RSET, 15\}$?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso dei livelli III, IV e V, in caso di rispetto dei criteri di attribuzione generalmente accettati, è stato dimostrato il mantenimento della capacità portante delle opere da costruzione o loro porzioni per la durata dell'incendio, per come stabilita al pt. M.2.5 tab. M.2-1?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso dei livelli III, IV e V, in caso di NON rispetto dei criteri di attribuzione generalmente accettati, è stata dimostrata, con i metodi di cui al pt. G.2.7, l'adeguatezza del livello di prestazione selezionato a raggiungere i pertinenti obiettivi di sicurezza antincendio e, quindi, il mantenimento della capacità portante delle opere da costruzione o loro porzioni per la durata dell'incendio, per come stabilita al pt. M.2.5 tab. M.2-1?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso dei livelli IV e V, sono stati valutati e verificati anche i parametri di danneggiamento e funzionalità delle opere da costruzione o loro porzioni?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Nel caso dei livelli IV e V, le soluzioni progettuali sono state ricercate nel rispetto delle vigenti NTC 2018?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
3	FASE 1 – È stato definito chiaramente lo scopo della progettazione prestazionale?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Sono stati stabiliti chiaramente gli obiettivi di sicurezza antincendio?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Sulla base del livello di prestazione attribuito in progetto a ciascuna opera da costruzione o sua porzione, sono state definite le soglie di prestazione (tipicamente nel dominio del tempo)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – La durata dell'incendio è congruente con il livello di prestazione stabilito nello STEP 2?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – In caso di presenza di sistemi o impianti a disponibilità superiore o presunti tali, è stata quantificata la loro affidabilità in termini probabilistici?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Sono stati determinati correttamente gli scenari di incendio di progetto, fornendo la giustificazione tecnica della loro determinazione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Tutti gli scenari d'incendio sono stati identificati in funzione della reciproca posizione tra focolare ed elementi strutturali?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – In caso di presenza di RTV, si è tenuto conto di eventuali condizioni che possono avere un impatto sugli scenari d'incendio di progetto?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – In caso di presenza di sistemi o impianti a disponibilità superiore o presunti tali, sono stati selezionati gli scenari d'incendio di progetto sulla base di un'analisi del rischio che abbia tenuto conto dell'affidabilità dei sistemi o impianti medesimi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – In caso di presenza di sistemi o impianti a disponibilità superiore, è stato dimostrato analiticamente che tutti gli scenari d'incendio in cui i medesimi sistemi o impianti non sono funzionanti non sono ragionevolmente credibili o rischiosi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

Misura S2 (strutture di acciaio): prontuario delle soluzioni progettuali e check list
A. Marino, E. Nigro, S. Pustorino

STEP	DOMANDA	RISPOSTA	
	FASE 1 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, è stato correttamente valutato e caratterizzato il focolare e la sua potenza termica RHR(t)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, la curva RHR ha tenuto conto correttamente delle misure antincendio presenti?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – In caso di presenza di sistemi o impianti a disponibilità superiore, è stato stabilito, sulla base di riferimenti di letteratura o normazione tecnica consolidati, qual è il valore di t_x e quello di $RHR(t_x)$ in ogni scenario d'incendio di progetto nei quali sono presenti?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, è stato accertato e stabilito se l'incendio è controllato dal combustibile o dalla ventilazione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, è stato accertato e stabilito se l'incendio è di tipo localizzato, con o senza propagazione, o generalizzato?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, sono state effettuate analisi di sensibilità per i parametri di input più importanti, al fine dimostrare che i risultati non variano significativamente al variare degli stessi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, sono fornite in output le curve naturali o i flussi termici presenti sulla superficie esterna esposta all'incendio di ciascun elemento strutturale?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, sono state indicate e recepite nella GSA le misure da tenere sotto controllo per garantire il rispetto di quanto previsto in progetto in merito a quantità, qualità e distribuzione dei materiali combustibili in ciascun compartimento?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – È stata correttamente implementata la GSA in funzione degli scenari d'incendio di progetto, con particolare riferimento a ciascuno dei requisiti di cui al pt. M.1.8?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 2 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, sulla base delle curve naturali o dei flussi termici per ciascun elemento strutturale, sono state individuate le condizioni di esposizione all'incendio sulla loro superficie esterna?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
FASE 2 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, è stata effettuata l'analisi termica su ciascun elemento strutturale costituente le opere da costruzione o loro porzione e prodotta idonea documentazione illustrativa, numerica e grafica in merito?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
	FASE 3 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, è stata correttamente effettuata la modellazione termo-strutturale, considerando l'effetto dell'incendio su tutti gli elementi strutturali?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 3 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, è stato correttamente modellato il comportamento in condizioni d'incendio degli elementi con classi di duttilità a caldo pari a 2, 3 e 4?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 3 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, sono state effettuate le verifiche a taglio a caldo di tutti gli elementi strutturali?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 3 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, sono stati verificati a caldo i collegamenti in condizioni d'incendio?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 3 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, è stata prodotta idonea documentazione illustrativa, numerica e grafica in merito alle analisi termo-strutturali e agli aspetti specifici ad esse relativi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – FASE 2 – FASE 3 – I codici di calcolo eventualmente utilizzati per ciascuna delle 3 fasi sono validati allo scopo (punto 10.2 NTC 2018)?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	FASE 1 – FASE 2 – FASE 3 – Per ogni scenario d'incendio di progetto, la gestione della sicurezza antincendio tiene conto delle misure finalizzate a garantire la veridicità di quanto ipotizzato, dei requisiti ulteriori di cui al pt. M.1.8 e delle modalità di mantenimento nel tempo di quanto progettato, al fine di non rendere solo teorica la progettazione effettuata?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
4	Alla SCIA sono allegate le certificazioni di resistenza al fuoco di tutti gli elementi strutturali e di compartimentazione componenti le opere da costruzione che ospitano l'attività, comprensive degli elaborati grafici con l'individuazione della posizione di ciascuno di essi?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Il progetto strutturale, comprensivo dei calcoli di resistenza al fuoco, è stato depositato presso il soggetto individuato dalla normativa di ciascuna regione?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	Le opere da costruzione nuove o, in caso di interventi finalizzati a migliorare la loro resistenza al fuoco, quelle esistenti, che ospitano l'attività soggetta, sono state collaudate, anche con riferimento all'azione eccezionale incendio, ai sensi delle vigenti NTC 2018?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
	In definitiva, sono stati correttamente espletati gli adempimenti derivanti dall'applicazione congiunta di NTC 2018 e Codice di P.I., in merito a progettazione, esecuzione e collaudo delle opere da costruzione o di loro porzioni?	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO

5.4.2. CRITERI E FINALITÀ CHECK-LIST SOLUZIONI ALTERNATIVE

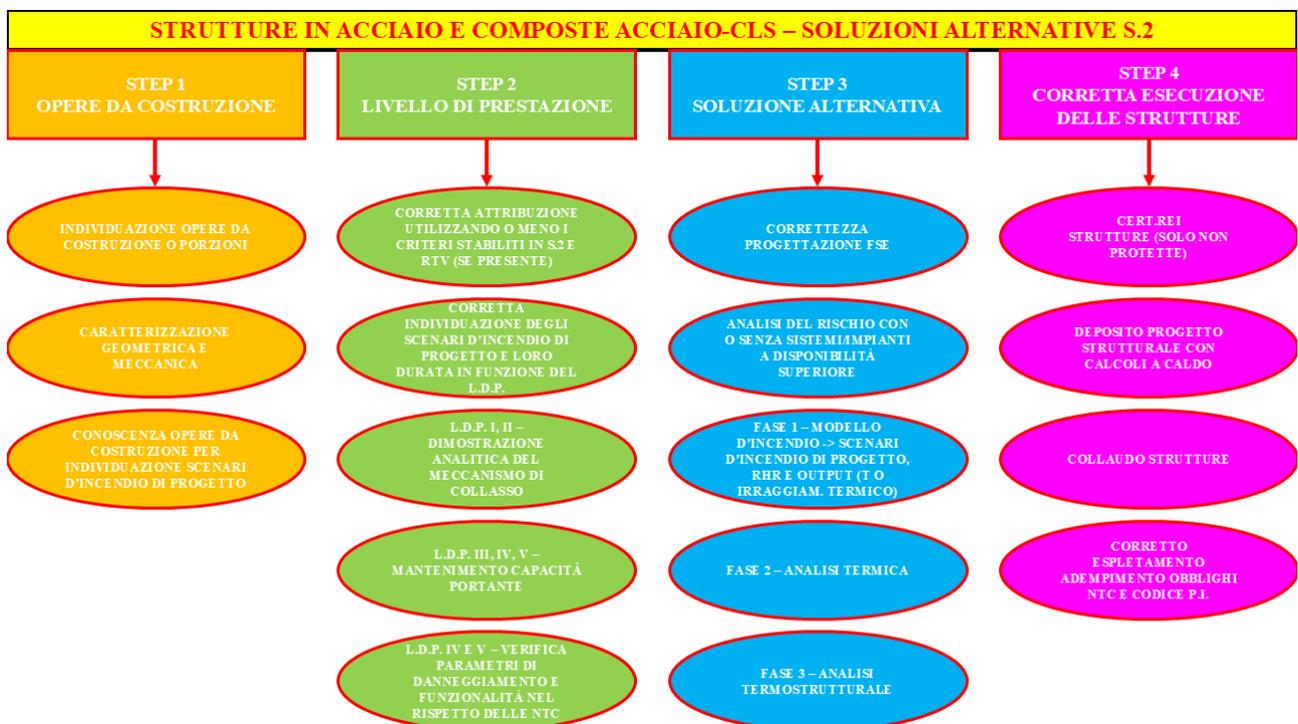
La check list è basata sul Codice di P.I., ma può essere utilizzata anche per progetti realizzati sulla base dei DD.MM. 9 marzo, 16 febbraio e 9 maggio 2007, sia nei procedimenti di valutazione progetto sia di deroga sia di SCIA, mutuando i riferimenti normativi del Codice di P.I. stesso.

Gli STEP n. 1, n. 2 e n. 3 sono legati alla fase di valutazione progetto e devono essere sempre presenti, dal momento che trattasi di soluzione alternativa; lo STEP n. 4, invece, riguarda sempre la fase di esecuzione, collaudo strutturale e presentazione SCIA antincendio.

Gli elaborati progettuali di resistenza al fuoco e quelli relativi all'esecuzione con sole soluzioni alternative per la misura antincendio S.2 del Codice di P.I. possono certamente considerarsi NON completi, NON conformi e NON esaustivi, se almeno una delle sopra elencate risposte è risultata NEGATIVA (fatte salve quelle che prospettano situazioni eventuali); in caso contrario, è ragionevole supporre che gli elaborati progettuali e quelli relativi all'esecuzione abbiano quantomeno affrontato tutti gli aspetti principali connessi con la resistenza al fuoco dell'opera/e da costruzione, o sua/e porzione/i, in cui viene esercita l'attività.

Il merito sulla correttezza o meno nell'utilizzo delle valutazioni tecniche effettuate resta in capo al progettista e/o professionista che ha curato l'esecuzione.

Si ribadisce infine che, se gli adempimenti di cui agli STEP 1, 2 e 3 sono eseguiti prima dell'inizio della costruzione, è possibile effettuare una modifica al progetto prima della realizzazione o messa in opera; in caso contrario, la loro assenza o incompletezza può determinare a posteriori un declassamento delle prestazioni della struttura portante dell'edificio.



6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ministero dell'Interno. DM 3 agosto 2015 e s.m.i., «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139»;
- [2] Nigro E., Ponticelli L., Pustorino S., Commissione per la Sicurezza delle Costruzioni di Acciaio in caso di Incendio - Fondazione Promozione Acciaio, "Istruzioni Tecniche", <https://www.promozioneacciaio.it/cms/it7565-istruzioni-tecniche-la-sicurezza-delle-strutture-di-acciaio-in-caso-di-incendio.asp>;
- [3] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. DM 17 gennaio 2018, Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- [4] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP., Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"»;
- [5] CEN (European Committee for Standardisation), 2002. Eurocode 1 Part 1-2: EN 1991-1-2, "General actions – Actions on structures exposed to fire";
- [6] CEN (European Committee for Standardisation), 2005. Eurocode 3 Part 1-2: EN 1993-1-2, "Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-2: Regole generali – progettazione strutturale contro l'incendio";
- [7] CEN (European Committee for Standardisation), 2005. Eurocode 4 Part 1-2: EN 1994-1-2, "Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo. Parte 1-2: Regole generali – progettazione strutturale contro l'incendio";
- [8] Appendici Nazionali Eurocodici, Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 31 luglio 2012, Gazzetta Ufficiale del 27 marzo 2013;
- [9] Appendici Nazionali Eurocodici, Ministero delle Infrastrutture, approvati nell'Adunanza del Consiglio dei LLPP del 26 luglio 2019.

In copertina:

KWR WATERCYCLE RESEARCH INSTITUTE, Nieuwegein - Architectenbureau cepezed @Léon van woerkom
AEROPORTO DI SHENZHEN BAO'AN. TERMINAL T3, Shenzhen - Massimiliano e Doriana Fuksas @Archivio Fuksas
EDP HEADQUARTERS, Lisbona - Aires Mateus @Aires Mateus
STAVROS NIARCHOS FOUNDATION CULTURAL CENTER, Atene - RPBW/Betaplan @Michel Denancé