

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO**IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI**

La progettazione antincendio – Applicazioni pratiche
Istituto Superiore Antincendi, Roma, 23 luglio 2019

Applicazioni del metodo analitico alla luce del codice di PI.

Seminario di Aggiornamento in Prevenzione Incendi ex D.Lgs 139/2006 e s.m.i.

Ing. Andrea Marino, PhD
andrea.marino@vigilfuoco.it

Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

2

OBIETTIVI

Si affronteranno i seguenti punti:

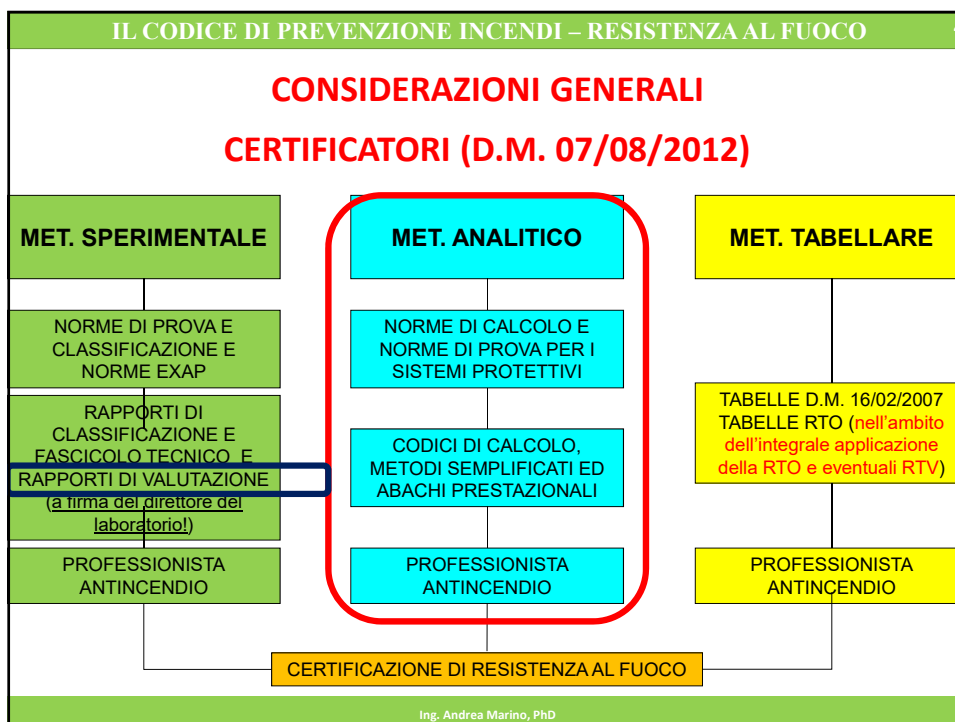
- **PREMESSA:** considerazioni generali sul metodo analitico
- **SOLUZIONI PROGETTUALI S.2:** considerazioni sulle soluzioni conformi ed alternative previste dalla misura antincendio S.2 – Resistenza al fuoco
- **ESEMPI APPLICATIVI:** metodo analitico su singolo elemento in CAP e su un'intera struttura 3D in acciaio

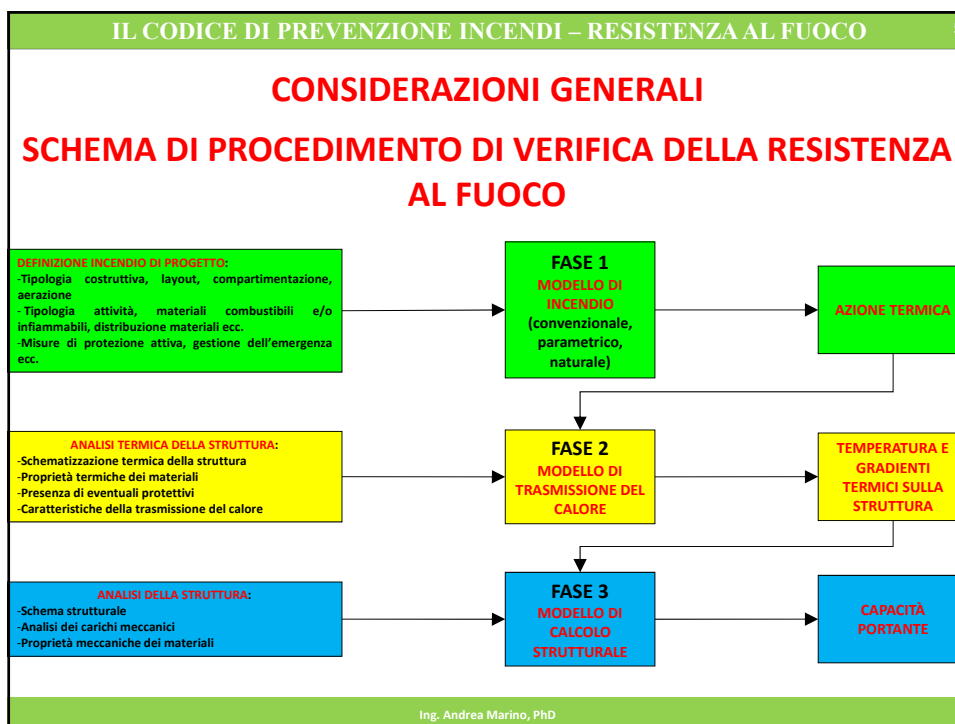
Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO 3

PREMESSA:
CONSIDERAZIONI GENERALI

Ing. Andrea Marino, PhD





IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

CONSIDERAZIONI GENERALI

COMBINAZIONE DI CARICO ECCEZIONALE: NTC 2018

3.6. AZIONI ECCEZIONALI

Le azioni eccezionali sono quelle che si presentano in occasione di eventi quali incendi, esplosioni ed urti.

E' opportuno che le costruzioni possiedano un grado adeguato di robustezza, in funzione dell'uso previsto della costruzione, individuando gli scenari di rischio e le azioni eccezionali rilevanti ai fini della sua progettazione, secondo quanto indicato al § 2.2.5.

Per le costruzioni in cui sia necessario limitare il rischio d'incendio per la salvaguardia dell'individuo e della collettività, nonché delle proprietà limitrofe e dei beni direttamente esposti al fuoco, saranno eseguite verifiche specifiche del livello di prestazione strutturale antincendio.

Le strutture devono essere altresì verificate nei confronti delle esplosioni e degli urti per verosimili scenari di rischio o su richiesta del committente.

Le azioni eccezionali considerate nel progetto saranno combinate con le altre azioni mediante la regola di combinazione eccezionale di cui al § 2.5.3.

2.5.3. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (S.L.U):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_F \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

■ ■ ■

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_k + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Ing. Andrea Marino, PhD

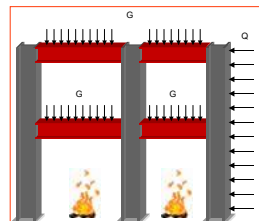
IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

7

CONSIDERAZIONI GENERALI**COMBINAZIONE DI CARICO ECCEZIONALE: NTC 2018**

Tab. 2.51 – Valori dei coefficienti di combinazione.

Categoria/Azione variabile	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti sottoposti di affollamento	0,7	0,7	0,8
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,8
Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,6	0,8
Categoria F - Rimessa, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,8
Categoria G - Rimessa, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I - Coperture praticabili	da valutare caso per caso		
Categoria K - Coperture per usi speciali (sportivi, eliporti, ...)	da valutare caso per caso		
Vento	0,8	0,3	0,0
Nieve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Nieve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,3	0,2
Variazioni termiche	0,8	0,3	0,0



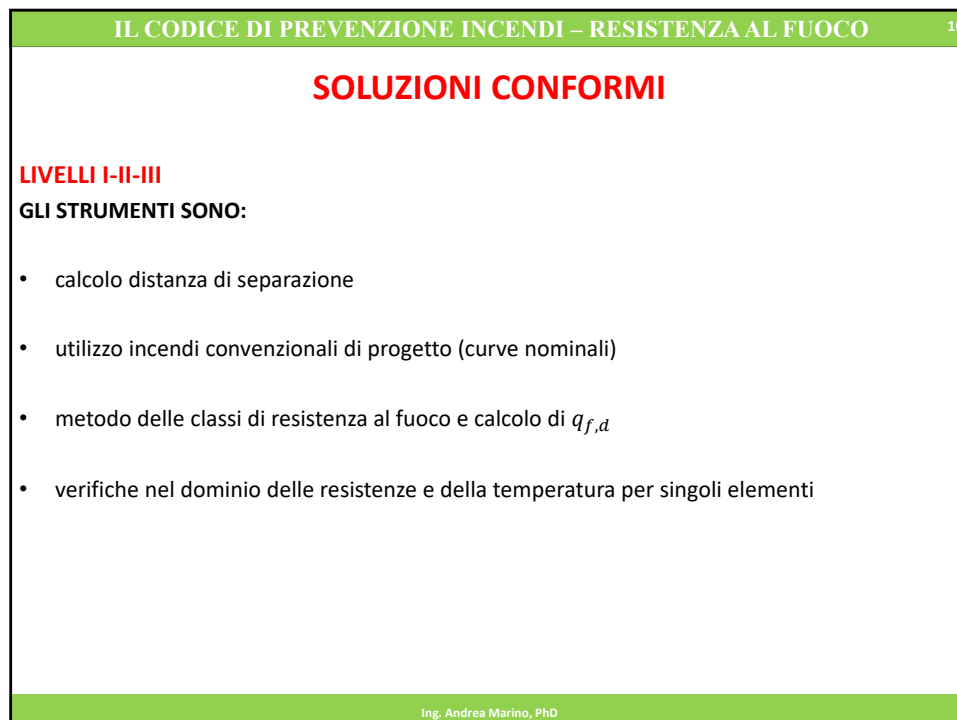
Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

8

SOLUZIONI PROGETTUALI S.2: CONFORMI ED ALTERNATIVE

Ing. Andrea Marino, PhD



IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

11

SOLUZIONI CONFORMI**LIVELLI IV-V****IN AGGIUNTA:**

- calcolo stato deformativo -> verifica compartimentazione
- giunti tra gli elementi di compartimentazione -> assecondare i movimenti
- capacità di compartimentazione -> comunicazioni con elementi a tenuta di fumo (EIS_{200}) e pareti con resistenza meccanica (M) aggiuntiva
- verifica impianti significativi -> NO soluzioni conformi
- controllo del danneggiamento di tutti gli elementi strutturali -> limiti di deformabilità imposti dalle NTC per le verifiche agli SLE.

Pertanto diventa non ingegneristicamente giustificabile utilizzare i metodi analitici diversi da quelli avanzati con cemento termico (curva naturale) ricavato da scenari di incendio di progetto FSE.

Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

12

SOLUZIONI ALTERNATIVE**LIVELLI I-II-III****GLI STRUMENTI SONO:**

- utilizzo di scenari di incendio di progetto e relative curve naturali (FSE) – vengono meno le classi di resistenza al fuoco
- calcolo non lineare (per geometria e materiali) di sottostrutture o di intere strutture nel dominio del tempo
- verifica meccanismi di collasso di sottostrutture o di intere strutture
- possibile adozione di sistemi a disponibilità superiore per la capacità di compartimentazione
- distanza di separazione calcolata con metodologie più avanzate

Ing. Andrea Marino, PhD

SOLUZIONI ALTERNATIVE

LIVELLI IV-V

IN AGGIUNTA:

- calcolo e verifica stato deformativo di sottostrutture o di intere strutture nel dominio del tempo
- verifica parametri di danneggiamento e di funzionalità stabiliti da progettista e committente

ESEMPI APPLICATIVI: SINGOLO ELEMENTO IN CAP

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

15

TEGOLO IN CAP

Si fa riferimento all'es. n. 1 del Quaderno "LA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI" pubblicato da INAIL in collaborazione con CNVVF, Università degli Studi di Roma "La Sapienza" – DICMA ed alcuni liberi professionisti.

DATI INPUT

$$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{p1k} = 1630 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yk} = 458 \text{ N/mm}^2$$

$$A_s = 2 \Phi 20$$

$$A_p = 6 \text{ trefoli } 6/10''$$

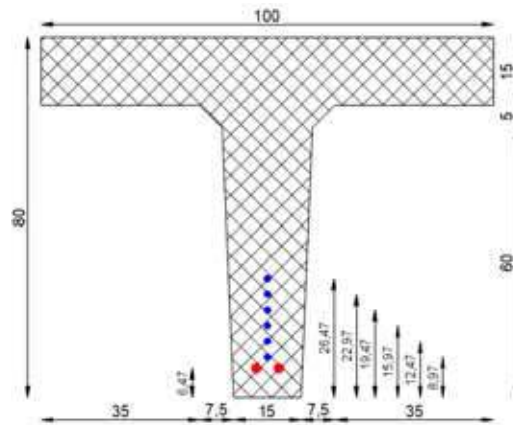
$$M_{Ed,fi} = 318 \text{ kN}$$

Geometria in figura

$$\text{A Freddo: } M_{Ed} = 464 \text{ kN}, M_{Rd} = 847 \text{ kNm}$$

RICHIESTA

R90



Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

16

TEGOLO IN CAP

RESISTENZE DI PROGETTO DEI MATERIALI IN CONDIZIONI DI INCENDIO.

$$f_{cd,fi} = \frac{0,83 \cdot R_{ck}}{\gamma_{c,fi}} = \frac{0,83 \cdot 30}{1,0} = 24,90 \text{ N/mm}^2$$

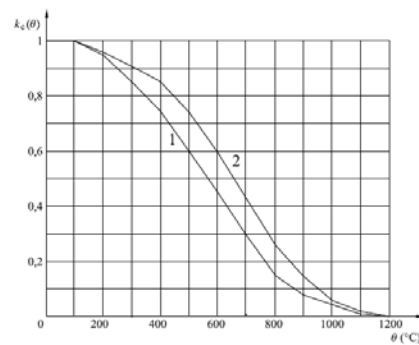
$$f_{pd,fi} = \frac{f_{p1k}}{\gamma_{p,fi}} = \frac{1630}{1,0} = 1630 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yd,fi} = \frac{f_{yk}}{\gamma_{y,fi}} = \frac{458}{1,0} = 458 \text{ N/mm}^2$$

Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**DIMINUIZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO DEL CLS IN CONDIZIONI DI INCENDIO.**

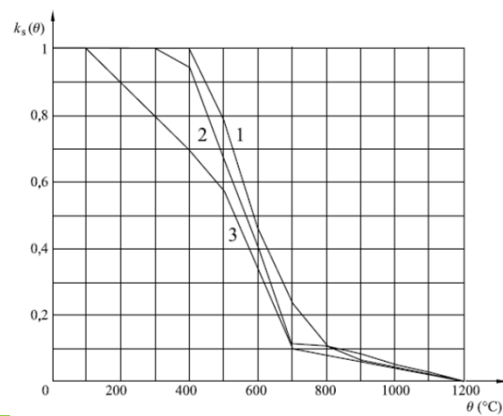
Curva 1: cls ordinario con aggregati silicei
 Curva 2: cls ordinario con aggregati calcarei



Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**DIMINUIZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO DELL'ACCIAIO IN CONDIZIONI DI INCENDIO.**

Curva 1: armatura tesa (laminata a caldo) per $\epsilon_s, f_i \geq 2\%$
 Curva 2: armatura tesa (trafilata a freddo) per $\epsilon_s, f_i \geq 2\%$
 Curva 3: armatura compressa e tesa per $\epsilon_s, f_i < 2\%$



Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

19

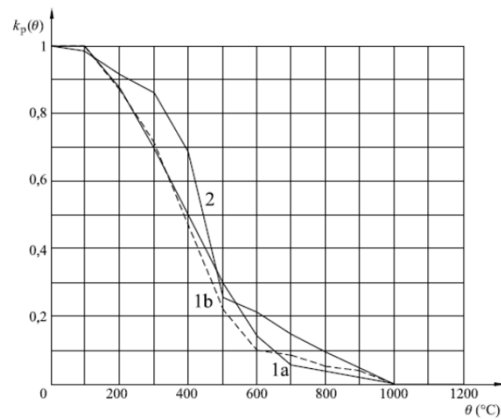
TEGOLO IN CAP

DIMINUIZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO DELL'ACCIAIO ARMONICO IN CONDIZIONI DI INCENDIO.

Curva 1a: acciaio da pretensione trafilato a freddo (filati e trefoli) (Classe A)

Curva 1b: acciaio da pretensione trafilato a freddo (filati e trefoli) (Classe B) – Prescritta da D.M. 31/07/2012

Curva 2: acciaio da pretensione bonificato e temperato (barre)



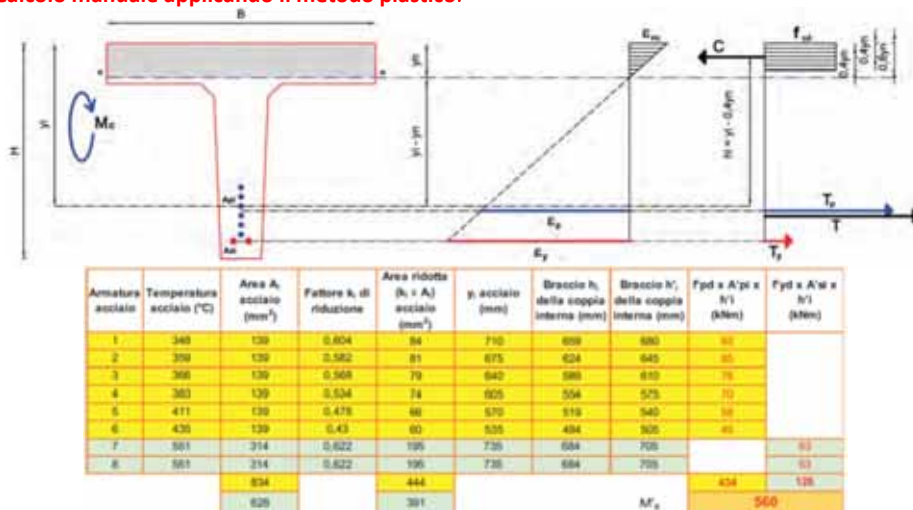
Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

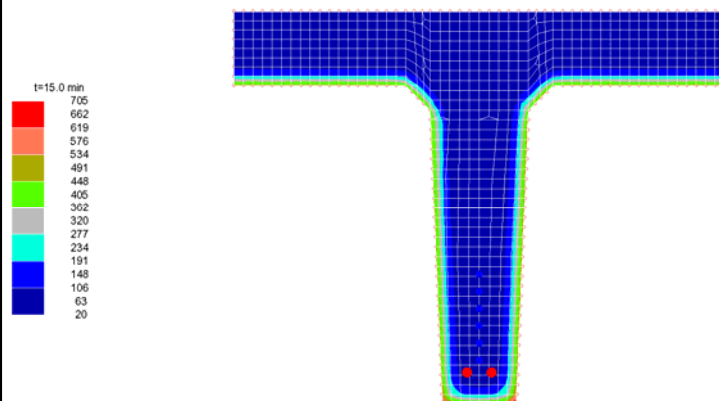
20

TEGOLO IN CAP

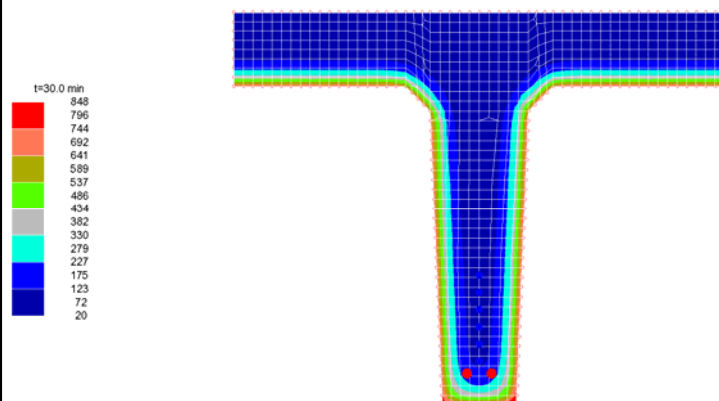
Calcolo manuale applicando il metodo plastico.



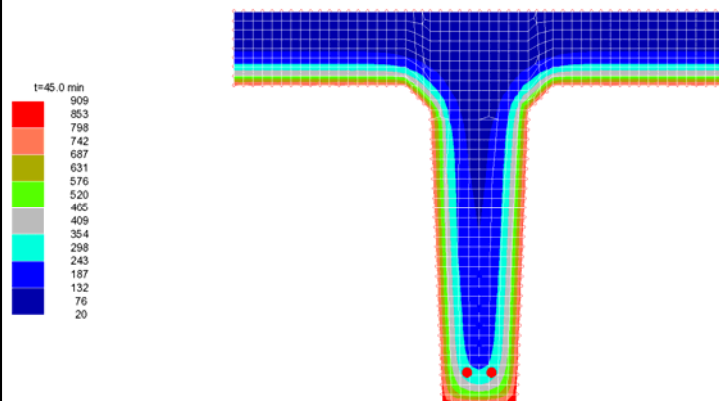
Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**ANALISI TERMICA (t=15 min).**

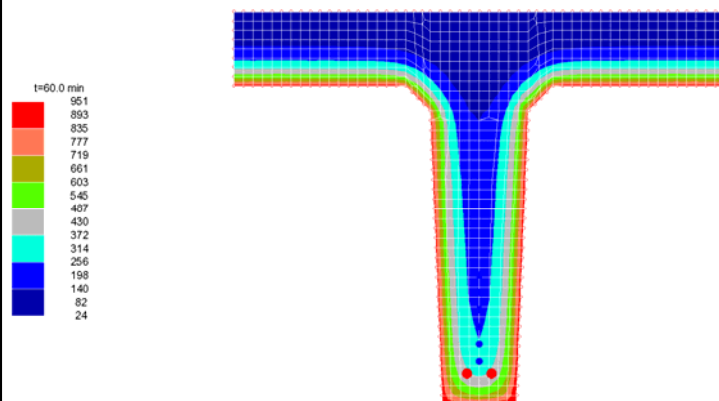
Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**ANALISI TERMICA (t=30 min).**

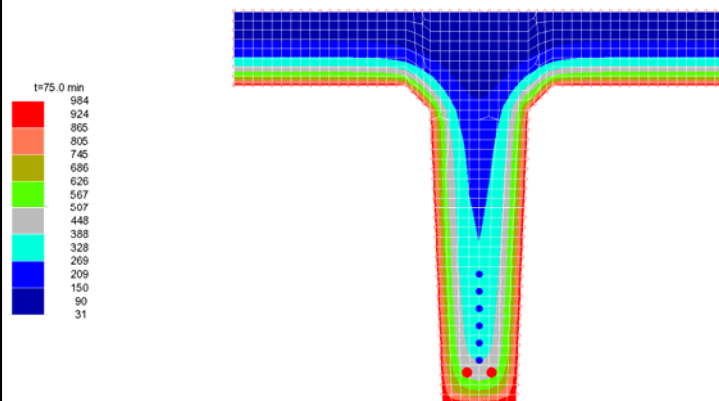
Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**ANALISI TERMICA (t=45 min).**

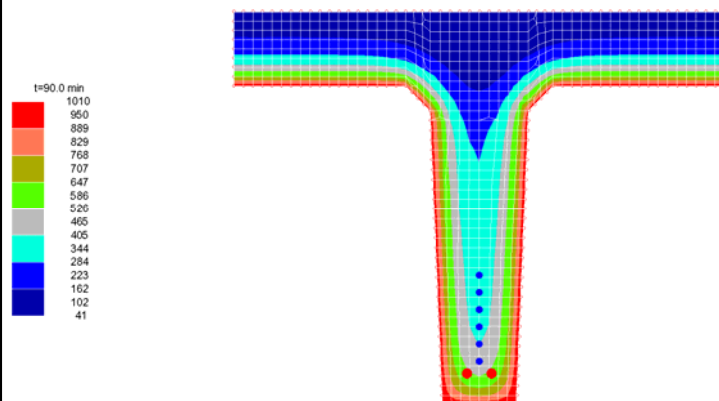
Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**ANALISI TERMICA (t=60 min).**

Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**ANALISI TERMICA (t=75 min).**

Ing. Andrea Marino, PhD

TEGOLO IN CAP**ANALISI TERMICA (t=90 min).**

Ing. Andrea Marino, PhD

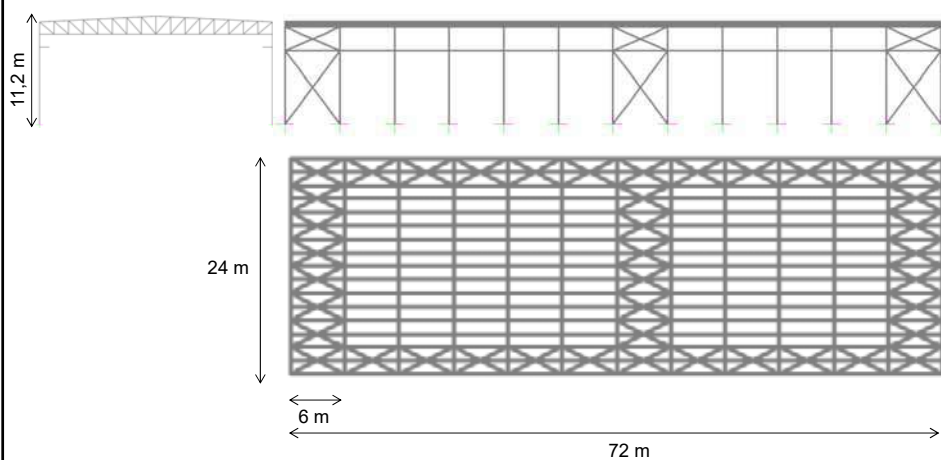
28

ESEMPI APPLICATIVI: INTERA STRUTTURA IN ACCIAIO

Ing. Andrea Marino, PhD

STRUTTURA IN ACCIAIO

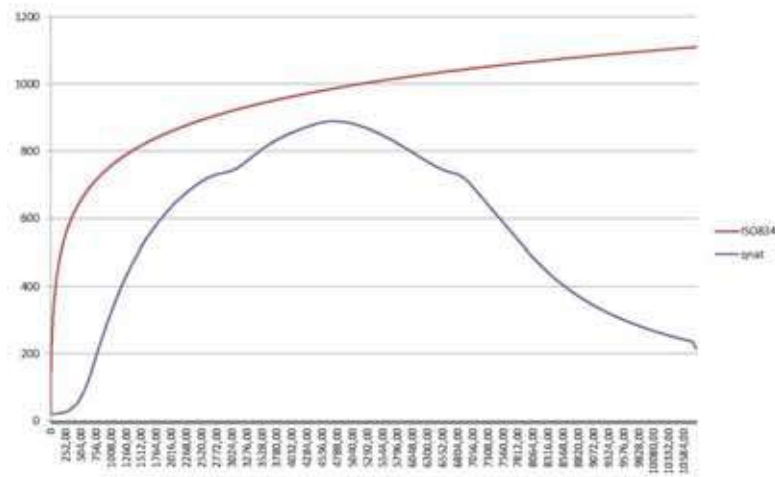
Si fa riferimento al seguente capannone.



Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

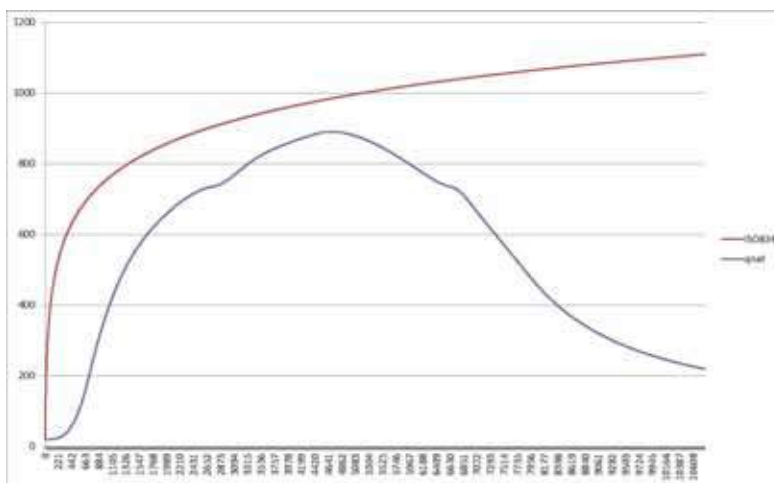
31

STRUTTURA IN ACCIAIO**CIMENTO TERMICO COLONNE – CONFRONTO CON CURVA NOMINALE ISO834.**

Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

32

STRUTTURA IN ACCIAIO**CIMENTO TERMICO TRAVATURE – CONFRONTO CON CURVA NOMINALE ISO834.**

Ing. Andrea Marino, PhD





IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

37

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- A. H. Buchanan - "Progetto delle strutture resistenti al fuoco" – ed. Italiana HOEPLI
- B. Nigro E., Cefarelli G., Pustorino S., Princi P., "Progettazione di strutture in acciaio e composte acciaio-calcestruzzo in caso di incendio", HOEPLI
- C. Purkiss J. A., "Fire safety engineering", 3^a Ed., Elsevier
- D. Drysdale D., "An introduction to fire dynamics", 2^a Ed., John Wiley & Sons
- E. Karlsson B., Quintiere J. G., "Enclosure fire dynamics", CRC Press
- F. Ponticelli L., Caciolai M., "Resistenza al fuoco delle costruzioni", UTET
- G. Piazza M., Tomasi R., Modena R., "Strutture in legno", HOEPLI
- H. Gambarova P. G., Fantilli A. P., Tattoni S., "Strutture resistenti al fuoco", EPC Editore
- I. Safir, http://www.uee.villegge.be/cms/c_2383458/fr/safir
- J. Franssen J.M., Gernay T., "Modeling structures in fire with SAFIR®: theoretical background and capabilities", Journal of Structural Fire Engineering, Vol. 8 No. 3, 2017 pp. 300-323, © Emerald Publishing Limited 2040-2317
- K. Nigro E., Ferraro A., Pustorino S., Princi P., Bontempi F., Crosti C., Ponticelli L., Mastrogiuseppe C., "Progettazione in caso di incendio delle strutture di acciaio di capannoni industriali Modellazione termo-meccanica di scenari di incendio", <http://www.promozioneacciaio.it/cms/16756-progettazione-in-caso-di-incendio-delle-strutture-di-acciaio-di-capannoni-industriali-modellazione-termo-fluidodinamica-di-scenari-di-incendio.asp>
- L. Fantilli A. P., Vallini P., Demarchis F., "I domini di interazione di archi in muratura soggetti ad elevate temperature", atti del "workshop WONDERmasonry 2009", Lacco Ameno, Ischia, 8-10 ottobre 2009
- M. Andreini M., Sassu M., "Mechanical behaviour of full unit masonry panels under fire action", Fire Safety Journal 46 (2011) 440-450, Elsevier
- N. Ponticelli L. ed al., "Prova di resistenza al fuoco su una volta a botte in muratura", DCPST
- O. Crosti C., Marino A., "Analisi strutturali con Straus7 di capannoni in acciaio in condizioni di incendio", <https://www.ingenio-web.it/19536-analisi-strutturali-con-straus7-di-capannoni-in-acciaio-in-condizioni-di-incendio>
- P. Crosti C., Marino A., "Analisi strutturali di un capannone in acciaio in condizioni di incendio", Costruzioni Metalliche set/ott 2018
- Q. Autori vari, "La Resistenza al Fuoco degli Elementi Strutturali - Focus sulla misura S.2 del Codice di prevenzione incendi – Resistenza al Fuoco", INAIL 2019
- R. Dell'Asta A., Landolfo R., Salvatore W., "Edifici monoplano in acciaio ad uso industriale", Flaccovio Editore
- S. Sigmund C., "Calcolo di elementi prefabbricati in cemento armato precompresso", Grafill
- T. <http://www.mace.manchester.ac.uk/project/research/structures/structfire/default.htm>
- U. EN 1991-1-2 e correlate
- V. EN 1992-1-2 e correlate
- W. EN 1993-1-2 e correlate
- X. EN 1994-1-2 e correlate
- Y. EN 1995-1-2 e correlate
- Z. EN 1996-1-2 e correlate
- AA. EN 1999-1-2 e correlate
- BB. D.M. 31.07.2012, "Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici"
- CC. D.M. 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"

Ing. Andrea Marino, PhD

IL CODICE DI PREVENZIONE INCENDI – RESISTENZA AL FUOCO

38

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

andrea.marino@vigilfuoco.it

Ing. Andrea Marino, PhD