

Decreto Ministeriale del 16/02/2007

Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione.

Decreto Ministeriale del 16/02/2007

Definisce le modalità di classificazione della resistenza al fuoco (prove, calcoli e tabelle) con i relativi riferimenti alle norme tecniche.

Precisa competenze e responsabilità dei diversi soggetti che intervengono nella produzione, certificazione ed il controllo di prodotti, elementi costruttivi ed opere resistenti al fuoco.

Fissa i termini di validità dei rapporti di prova già emessi.

Rende disponibile tabelle per la rapida progettazione di elementi resistenti al fuoco, che portano a soluzioni più conservative rispetto a valutazioni più approfondite (prove o calcoli).

Visto:

...
gli eurocodici
EN1991-1-2, EN1992-1-2, EN1993-1-2, EN1994-1-2, EN1995-1-2, EN1996-
1-2
recanti metodi comuni per calcolare la resistenza al fuoco dei prodotti
strutturali da costruzione;

...

Visto:

...

le norme

UNI 9502, UNI 9503, UNI 9504

recanti i procedimenti analitici per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato normale e precompresso, di acciaio e di legno;

...

Art 2. Classificazione di resistenza al fuoco

....

3. Le prestazioni di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi costruttivi possono essere determinate in base ai risultati di:

a) prove (per Prodotti ed Elementi costruttivi)

b) calcoli (per Prodotti ed Elementi costruttivi)

c) confronti con tabelle (per Elementi costruttivi)

....

Allegato C

Modalità per la classificazione in base ai risultati di calcoli

Il Decreto individua gli Eurocodici quali riferimenti per il calcolo.
Sono necessari i Parametri Definiti a livello Nazionale (NDPs) in via di pubblicazione, attesa entro il 2007.

Al momento è consentito l'impiego delle Norme UNI 9502 9503 9504.

Sistemi Protettivi

I sistemi di calcolo necessitano dei parametri termo fisici al variare della T, determinati sperimentalmente attraverso prove condotte secondo il decreto.

I valori contenuti nelle UNI, anche se non supportati sperimentalmente, possono ancora essere ancora utilizzati in attesa dell'obbligo di marcatura CE dei protettivi e non oltre 3 anni dall'entrata in vigore del decreto.

NORME UNI

- UNI 9502
- UNI 9503
- UNI 9504
- CEMENTO ARMATO
- ACCIAIO
- LEGNO

Allegato D

Modalità per la classificazione in base a confronti con tabelle

Le tabelle propongono “condizioni sufficienti” per la classificazione di resistenza al fuoco.

Fanno riferimento alla curva T-t Standard. Consentono soluzioni più conservative e quindi più costose.

Tabelle per murature

Valide se la muratura è posta tra due solai o elementi strutturali distanti al massimo 4 metri.

Tabelle per solette e solai

R valutata in riferimento all'altezza totale del solaio e all'altezza del copriferro.

E I valutate in relazione allo

spessore di materiale isolante

spessore dello strato di calcestruzzo armato

Tabelle per travi pilastri e pareti in calcestruzzo armato normale o precompresso.

Tabelle per rivestimenti di travi tiranti e colonne di acciaio.

Analoghe a quelle indicate nella Circ. 91/61.

D.4.1 La tabella seguente riporta i valori minimi (mm) dello spessore s di murature di blocchi di laterizio (escluso l'intonaco) sufficienti a garantire i requisiti EI per le classi indicate esposte su un lato che rispettano le seguenti limitazioni:

- altezza della parete fra i due solai o distanza fra due elementi di irrigidimento con equivalente funzione di vincolo dei solai non superiore a 4 m
- presenza di 10 mm di intonaco su ambedue le facce ovvero 20 mm sulla sola faccia esposta al fuoco.

Classe	Blocco con percentuale di foratura > 55 %		Blocco con percentuale di foratura < 55 %	
	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio	Intonaco normale	Intonaco protettivo antincendio
30	$s = 120$	80	100	80
60	$s = 150$	100	120	80
90	$s = 180$	120	150	100
120	$s = 200$	150	180	120
180	$s = 250$	180	200	150
240	$s = 300$	200	250	180

intonaco normale: intonaco tipo sabbia e cemento, sabbia cemento e calce, sabbia calce e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 1000 e 1400 kg/m³

Intonaco protettivo antincendio: Intonaco tipo gesso, vermiculite o argilla espansa e cemento o gesso, perlite e gesso e simili caratterizzato da una massa volumica compresa tra 600 e 1000 kg/m³

LETTERA CIRCOLARE N° 5642 DEL 31/3/2010

- **OGGETTO:** Certificazione della resistenza al fuoco di elementi costruttivi – Murature.
 - Il nuovo DM 16 febbraio 2007, che ha aggiornato la materia e recepito gli atti e le norme comunitarie connesse alla resistenza fuoco, pur stabilendo in linea generale che le prestazioni di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi possono essere determinate in base ai risultati di prove, calcoli, confronti con tabelle (articolo 2 comma 2), demanda la scelta del metodo alla esistenza di norme condivise di riferimento al fine di garantire uniformità e trasparenza negli atti nonché una più efficace azione di controllo.

LETTERA CIRCOLARE N° 5642 DEL 31/3/2010

- Si osserva a questo punto che la possibilità di utilizzo della specifica norma europea di riferimento per la progettazione ed il calcolo delle murature esposte all'incendio (EN 1996-1-2) è attualmente rimandata al momento in cui sarà disponibile l'apposita appendice nazionale (v. p.to C.4 dell'allegato C al decreto).
- Da quanto sopra esposto è facile desumere che, allo stato attuale, le uniche modalità attraverso cui è oggi possibile determinare le prestazioni di resistenza al fuoco delle murature (portanti e non) sono quelle basate sui risultati delle prove e sui confronti con tabelle, escludendo quindi ogni altra forma di certificazione.

LETTERA CIRCOLARE N° 5642 DEL 31/3/2010

- Le certificazioni di murature, basate su valutazioni analitiche, possano essere accettate, ai fini del rilascio del CPI, per le costruzioni il cui progetto è stato presentato al competente Comando provinciale dei vigili del fuoco, ai sensi dell'art. 2 del D.P.R. 12 gennaio 1998, n. 37, prima del 25 settembre 2010.
- Per i progetti presentati dopo tale data, in assenza della predetta appendice nazionale e delle necessarie indicazioni tecniche che la medesima fornirà a riguardo, saranno unicamente ammesse, per tali tipologie di elementi costruttivi, certificazioni basate su risultati di prova secondo le istruzioni contenute nel citato DM 16 febbraio 2007 o, in alternativa, su confronti con le tabelle riportate nel citato DM 16 febbraio 2007 e nella successiva Lettera Circolare n. 1968 del 15 febbraio 2008.

Lett. Circ. 1968 del 15/2/2008

Tabella aggiuntiva sulle murature REI

Muratura portante in blocchi

La seguente tabella riporta i valori minimi dello spessore s di murature portanti di blocchi (escluso l'intonaco) sufficienti a garantire i requisiti REI per le classi indicate, esposte su un lato con le seguenti limitazioni che dovranno comunque essere rispettate:

-rapporto $h/s = 20$

- $h = 8$ m

dove h è l'altezza della parete fra due solai (o elementi di irrigidimento con equivalente funzione di vincolo dei solai)

Materiale	Tipo blocco	30	60	90	120	180	240
Laterizio (*)	blocco pieno (foratura = 15%)	120	150	170	200	240	300
Laterizio (*)	blocco forato (15% < foratura = 55 %)	170	170	200	240	280	330
Calcestruzzo	blocco pieno o forato (foratura =55 %)	170	170	170	200	240	300
Calcestruzzo leggero (**)	blocco pieno o forato (foratura =55 %)	170	170	170	200	240	300
Pietra squadrata	blocco pieno (foratura = 15 %)	170	170	250	280	360	400
(*) presenza di 10 mm di intonaco su ambedue le facce ovvero di 20 mm sulla sola faccia esposta al fuoco							
(**) massa volumica netta non superiore a 1700 kg/m ³							

LETTERA CIRCOLARE N° 4638 DEL 5/4/2013

- ... **E ORA?**
- In data 27/3/2013 (S.O. n° 21 alla G.U. n° 73) è stato pubblicato il D.M. Infrastrutture e Trasporti 31/7/2012 recante “Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici.
- La successiva lettera circolare del M.I. fornisce i necessari indirizzi applicativi.

LETTERA - CIRCOLARE

OGGETTO: Pubblicazione in Gazzetta Ufficiale degli Annessi Nazionali degli Eurocodici.

Sulla Gazzetta Ufficiale n. 73 del 27 marzo 2013 (Supplemento Ordinario n. 21) è stato pubblicato il decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti 31 luglio 2012 recante "Approvazione delle Appendici nazionali recanti i parametri tecnici per l'applicazione degli Eurocodici".

Con l'entrata in vigore di tale decreto, prevista in data 11 aprile 2013, si dà completa attuazione a quanto previsto al punto C.3 dell'Allegato C al decreto del Ministro dell'Interno 16 febbraio 2007, cessando, quindi, la possibilità di impiego delle norme UNI 9502, 9503 e 9504 per il calcolo di resistenza al fuoco di elementi costruttivi rispettivamente in cemento armato, acciaio e legno.

Con l'occasione, si ribadisce quanto stabilito con circolare DCPST n. 4845 del 4/4/2011, e con successiva circolare DCPST n. 9663 del 23/7/2012, in merito alla decorrenza dei termini fissati dal DM 16/2/2007 e, quindi, l'uso delle citate norme UNI è consentito anche oltre la data di entrata in vigore del DM 31 luglio 2012 esclusivamente per le costruzioni i cui progetti o Segnalazioni Certificate di Inizio Attività (SCIA) siano stati presentati ai competenti Comandi provinciali dei vigili del fuoco prima di suddetta data.

Infine, ad integrazione della circolare DCPST n. 5642 del 31/3/2012, viste le indicazioni fornite dall'Annesso Nazionale in merito agli Allegati B e C dell'Eurocodice EN 1996 1-2 ed in attesa di nuove determinazioni sperimentali, si ritiene possibile l'applicazione del metodo semplificato di cui all'Allegato C alla EN 1996 1-2, ai fini della classificazione di resistenza al fuoco di elementi strutturali in attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco, indipendentemente dall'elemento strutturale considerato, ponendo cautelativamente pari a zero il parametro " f_{d02} " relativo alla resistenza della muratura nella zona a temperatura intermedia.

Tali valutazioni analitiche semplificate di resistenza al fuoco dovranno essere condotte tenendo conto del reale schema strutturale e della sezione effettivamente resistente.

...MA COSA SONO GLI EUROCODICI?

Gli Eurocodici sono una serie di norme europee (58 Parti) che forniscono metodi comuni per calcolare la resistenza meccanica degli elementi strutturali nei lavori di costruzione.

EN 1990 - Basis of structural design

EN 1991 - Actions on structures

EN 1992 - Design of concrete structures

EN 1993 - Design of steel structures

EN 1994 - Design of composite steel and concrete structures

EN 1995 - Design of timber structures

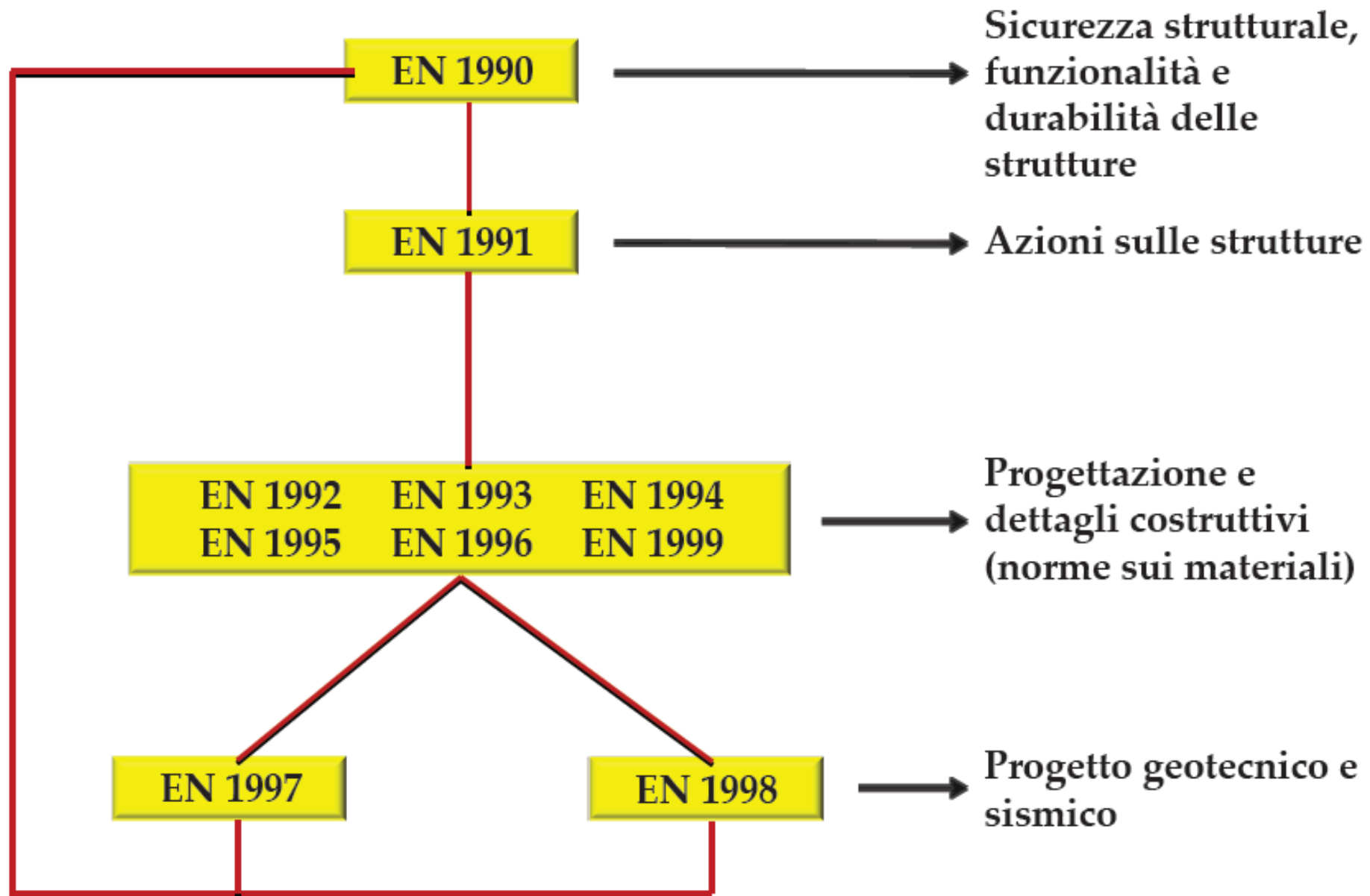
EN 1996 - Design of masonry structures

EN 1997 - Geotechnical design

EN 1998 - Design provisions for earthquake resistance of structures

EN 1999 - Design of aluminium structures

Cosa sono gli eurocodici



L'implementazione degli eurocodici

Eurocodice EN 199n-p

CEN/TC 250

Parte Normativa
(nessuna scelta)

Parte aperta a
scelte

STATI MEMBRI

Traduzione e
inserimento
nella normativa
nazionale

Scelte eseguite
nelle Appendici
Nazionali

(Nazionale) EN 199n-p

L'implementazione degli eurocodici

Per tener conto di condizioni geografiche, geologiche o climatiche particolari o di livelli speciali di tutela in vigore nel loro territorio, agli Stati membri possono essere necessari parametri di calcolo specifici.

A tal fine, gli Eurocodici contengono «parametri da specificare a livello nazionale» (NDPs) per ognuno dei quali gli Eurocodici suggeriscono un valore, un set di valori tra i quali scegliere o nessun valore.

Lo Stato membro può tuttavia adottare valori diversi da quelli suggeriti se questo è necessario per il raggiungimento di specifici obiettivi di tutela della vita umana, degli animali, delle opere e dei beni.

L'UE avvierà un confronto fra i valori adottati come NDPs dagli Stati membri al fine di perseguire la migliore armonizzazione tra gli Stati.

L'implementazione degli eurocodici

2012

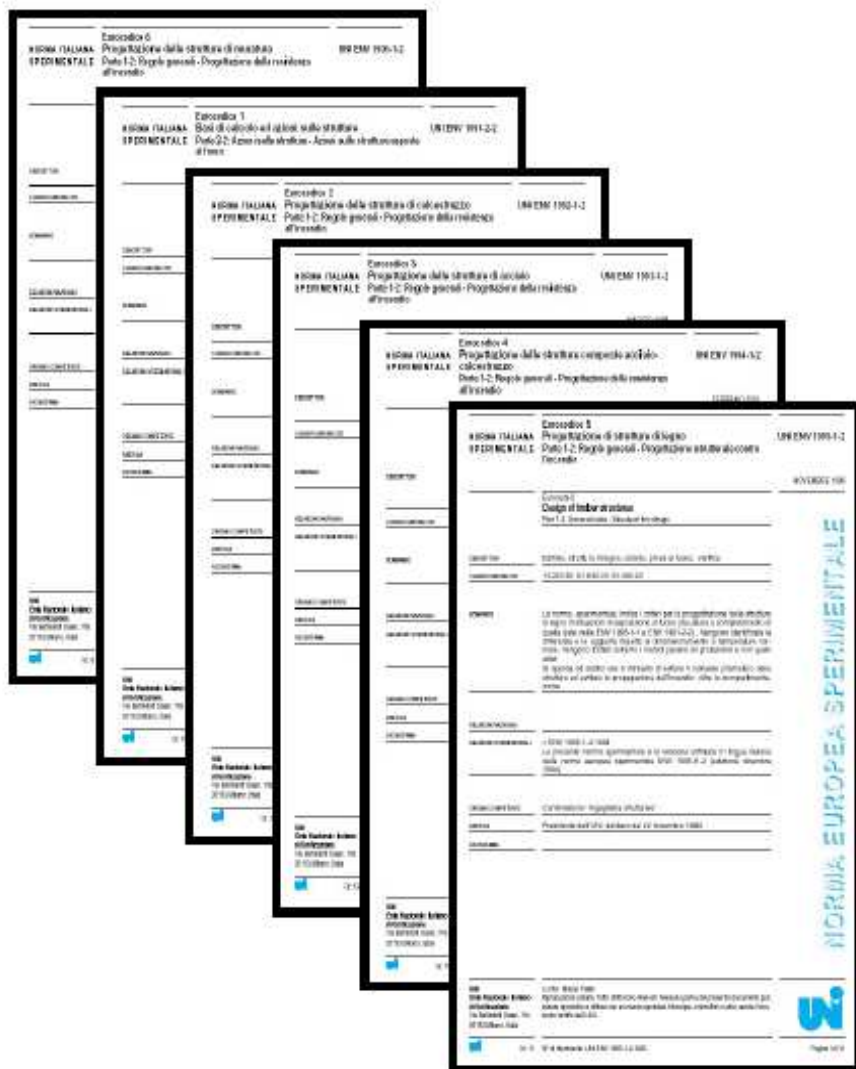
Pubblicazione delle Parti con le Appendici Nazionali

Stabilità normativa

2017

Revisione degli eurocodici (CEN/TC 250)

Le Parti fuoco degli eurocodici



✓EN 1991-1-2 «Azioni sulle strutture – Parte 1-2: Azioni sulle strutture esposte al fuoco»

✓EN 1992-1-2 «Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio»

✓EN 1993-1-2 «Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio»

✓EN 1994-1-2 «Progettazione delle strutture miste acciaio calcestruzzo – Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio»

✓EN 1995-1-2 «Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio»

✓EN 1996-1-2 «Progettazione delle strutture di muratura – Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio»

✓EN 1999-1-2 «Progettazione delle strutture di alluminio – Parte 1-2: Progettazione strutturale contro l'incendio»

Le Appendici nazionali delle Parti fuoco degli eurocodici

<u>EN 1991-1-2</u>	8	NDPs + Appendici
EN 1992-1-2	17	NDPs + Appendici
EN 1993-1-2	5	NDPs + Appendici
EN 1994-1-2	8	NDPs + Appendici
EN 1995-1-2	5	NDPs + Appendici
<u>EN 1996-1-2</u>	12	NDPs + Appendici
EN 1999-1-2	6	NDPs + Appendici
TOTALE	61	NDPs + Appendici

Le Appendici nazionali delle Parti fuoco degli eurocodici

Par.	Rif.	Parametro	EN 1996-1-2	Valore proposto come parametro nazionale (NDP)
Appendice B	Nota 4	Valori degli spessori t_F e delle lunghezze l_F dei muri	Con riferimento alle tabelle da B.1 a B.6 sopra mostrate, i valori di t_F o di l_F in mm, come appropriato, da utilizzare in uno Stato possono trovarsi nell'Appendice Nazionale.	<p>I valori delle tabelle dalla N.B.1.1 alla N.B.5.2. non sono utilizzabili.</p> <p>La classe di resistenza al fuoco da assegnare ad una parete di muratura è quella determinabile applicando il Decreto del Ministro dell'interno del 16/02/2007: "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione", la Lettera Circolare n. 1968 del 15/02/2008: "Pareti di muratura portante resistenti al fuoco" ed ulteriori atti emanati dall'autorità competente in materia.</p>

Cosa succede ora ?

Publicazione decreto di attuazione delle Appendici Nazionali



~~C.4 In attesa della pubblicazione delle appendici nazionali degli eurocodici, è possibile limitare l'impiego dei metodi di calcolo alla sola verifica della resistenza al fuoco degli elementi costruttivi portanti, con riferimento ... omississ... alle norme UNI di seguito indicate :~~

~~C.4.1 UNI 9502 «Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso»~~

~~C.4.2 UNI 9503 «Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di acciaio»~~

~~C.4.3 UNI 9504 «Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di legno»~~



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

UNI EN 1996-1-2:2005

**Eurocodice 6: Progettazione delle strutture di
muratura
Parte 1-2: Regole generali-
Progettazione strutturale contro
l'incendio**

**APPENDICE NAZIONALE ITALIANA
alla UNI EN 1996-1-2:2005**

**Parametri adottati a livello nazionale
da utilizzare per le strutture in muratura esposte
all'incendio**

APPENDICE NAZIONALE

UNI-EN1996-1-2 Eurocodice 6: Progettazione delle strutture di muratura – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio

EN 1996-1-2 Eurocode 6 : Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design

1. PREMESSA

Questa Appendice Nazionale contiene i parametri nazionali alla UNI-EN 1996-1-2 ed è stata approvata dal Consiglio Superiore dei LL.PP. in data 25/02/2011

2. INTRODUZIONE

2.1. Campo di applicazione

Questa Appendice Nazionale contiene al punto 3 le Decisioni sui Parametri Nazionali che debbono essere fissati nella UNI-EN 1996-1-2 relativamente ai seguenti paragrafi:

2.1.3(2) nota (vedi AC:2010)	2.4.2(3) nota 1	4.5(3) nota
2.2(2) nota	3.3.3.1(1) nota	Appendice B nota 1
2.3(1) nota	3.3.3.2(1) nota 2	Appendice B nota 4
2.3(2) nota	3.3.3.3(1) nota 2	Appendice C nota

Le suddette Decisioni Nazionali, relative ai paragrafi sopra citati, devono essere osservate quando si utilizza, in Italia, la UNI-EN 1996-1-2.

2.2. Documenti normativi di riferimento

La presente Appendice va tenuta presente quando si utilizzano tutti i documenti normativi che fanno esplicito riferimento alla UNI-EN1996-1-2: Eurocodice 6: Progettazione delle strutture di muratura – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l'incendio

3. DECISIONI NAZIONALI

Vengono qui di seguito riportati i parametri nazionali che si devono adottare per l'impiego dell'Eurocodice UNI-EN 1996-1-2

Paragrafo	Riferimento	Parametro nazionale - valore o prescrizione
2.1.3(2)	Nota (da AC:2010)	Non si forniscono indicazioni specifiche
2.2(2)	nota	Si adotta il valore: $c_m = 0,7$
2.3 (1)	nota	Si adotta il valore raccomandato $\gamma_{w,t} = 1,0$
2.3 (2)	nota	Si adotta il valore raccomandato $\gamma_{w,t} = 1,0$
2.4.2 (3)	nota 1	Si applica quanto stabilito nell'appendice nazionale di EN1990
3.3.3.1 (1)	nota	Quale che sia la modalità di determinazione della dilatazione termica da utilizzare all'interno di un metodo analitico è necessario comunque validare il modello con idonea sperimentazione da condurre attraverso l'esecuzione di prove standard (EN1364-1 per murature non portanti e EN1365-1 per murature portanti)
3.3.3.2 (1)	nota 2	Quale che sia la modalità di determinazione del calore specifico da utilizzare all'interno di un metodo analitico è necessario comunque validare il modello con idonea sperimentazione da condurre attraverso l'esecuzione di prove standard (EN1364-1 per murature non portanti e EN1365-1 per murature portanti)
3.3.3.3 (1)	nota 2	Quale che sia la modalità di determinazione della conducibilità termica da utilizzare all'interno di un metodo analitico è necessario comunque validare il modello con idonea sperimentazione da condurre attraverso l'esecuzione di prove standard (EN1364-1 per murature non portanti e EN1365-1 per murature portanti)
4.5(3)	nota	Non si forniscono indicazioni specifiche
Appendice B	nota 1	Non si forniscono indicazioni specifiche

Appendice B	nota 4	I valori delle tabelle dalla N.B.1.1 alla N.B.5.2, non sono utilizzabili. La classe di resistenza al fuoco da assegnare ad una parete di muratura è quella determinabile applicando il Decreto del Ministro dell'Interno 16 febbraio 2007 recante: "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione" e la Lettera Circolare n. 1968 del 15/02/2008 recante "Pareti di muratura portante resistenti al fuoco" ed ulteriori atti emanati dall'autorità competente in materia.
Appendice C	nota	Non si forniscono indicazioni specifiche
Utilizzo delle appendici informative		Le Appendici A, C, D e F mantengono il carattere informativo

APPLICAZIONE SEMPLIFICATA EUROCODICE

- Problema: classificazione della R al fuoco di murature non rientranti nella tabelle ministeriali
- Metodo semplificato riportato all'alleg. C della EN 1996 1 – 2
- Si pone il parametro $f_{dv2} = 0$
 - Tale parametro è il valore della resistenza della muratura nella zona a temperatura intermedia

Essa tratta:

- Muri interni non portanti
- Muri esterni non portanti
- Muri interni portanti con funzione separante o non separante
- Muri esterni portanti con funzione separante o non separante

La norma risolve il problema progettuale attraverso un metodo tabellare o attraverso un metodo analitico sia semplificato che avanzato. In tutti e tre gli approcci frequenti sono i richiami alla norma EN 1991-1-1 [7] che fornisce alcuni elementi essenziali per la determinazione di grandezze geometriche e meccaniche a freddo necessarie per la successiva implementazione del metodo scelto.

Nel metodo di calcolo semplificato, la capacità portante viene determinata dalle condizioni al contorno della sezione trasversale residua della muratura per stabiliti tempi di esposizione al fuoco usando il carico a temperatura ordinaria. Il metodo di calcolo semplificato è applicabile a murature e pilastri in muratura sotto esposizione standard, costruite con le seguenti combinazioni di blocchi-malta:

- A. blocchi di argilla: gruppi 1S e 1, resistenza unitaria di progetto f_b 10 – 40 N/mm², densità lorda 1000 – 2000 kg/m³, malta regolamentare;
- B. blocchi di calcio – silicato: gruppi 1S e 1, resistenza unitaria di progetto f_b 10 – 40 N/mm², densità lorda 1500 – 2000 kg/m³, malta regolamentare;
- C. blocchi di calcestruzzo con aggregati densi: gruppo 1, resistenza unitaria di progetto f_b 10 – 40 N/mm², densità lorda 1500 – 2000 kg/m³, malta regolamentare;
- D. blocchi di calcestruzzo con aggregati leggeri: gruppi 1S e 1, resistenza unitaria di progetto f_b 4 – 8 N/mm², densità lorda 600 – (pomice) 1000 kg/m³, malta leggera;
- E. blocchi di calcestruzzo autoclavato e aerato: gruppo 1, resistenza unitaria di progetto f_b 2 – 6 N/mm², densità lorda 400 – 700 kg/m³, malta regolamentare.

Nel metodo di calcolo semplificato, la relazione tra dilatazione termica e temperatura della muratura può essere considerata lineare. In questo caso la dilatazione può essere determinata tramite prove sperimentali oppure attraverso le relazioni diagrammate contenute nell'allegato D della norma.

Qui di seguito si riportano le fasi procedurali attraverso cui si articola il metodo semplificato in esame:

1. Determinazione del profilo di temperatura nella sezione trasversale, identificando la porzione della sezione strutturalmente inefficace e quella residua;
2. Calcolo della capacità portante allo stato limite ultimo (esposizione al fuoco);
3. Verifica che la capacità portante della sezione residua sia maggiore di quella derivante dalle rilevanti combinazioni di carico o azioni.

Allo stato limite relativo alla situazione di incendio, il valore di progetto del carico verticale (N_{Ed}) applicato sul muro o sul pilastro deve essere minore o uguale al valore di progetto della resistenza verticale del muro o pilastro in condizioni di incendio ($N_{Rd,fi(t)}$); ovvero:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,fi(t)} \quad (1)$$

Il valore di progetto della resistenza verticale del muro o pilastro è dato dall'espressione:

$$N_{Rd,fi(t)} = \Phi(f_{d01}A_{01} + f_{d02}A_{02}) \quad (2)$$

dove:

- Φ fattore di riduzione della capacità portante al centro dell'altezza del muro ottenuto come di seguito descritto
- $f_{d\theta_1}$ resistenza di progetto a compressione del muro in corrispondenza di una temperatura minore o uguale ad un prestabilito valore θ_1
- $f_{d\theta_2}$ resistenza di progetto a compressione del muro in corrispondenza di temperature comprese tra due prestabiliti valori θ_1 e θ_2 . Tra $f_{d\theta_1}$ e $f_{d\theta_2}$ vale la relazione $f_{d\theta_2} = c \cdot f_{d\theta_1}$ dove c è la costante ottenuta da prove di resistenza a rottura effettuate su muri ad elevate temperature già menzionata in precedenza
- A_{θ_1} area della sezione orizzontale del muro dove sono raggiunte temperature inferiori a θ_1
- A_{θ_2} area della sezione orizzontale del muro dove sono raggiunte temperature comprese tra θ_1 e θ_2

CALCOLO DI Φ

Il fattore Φ al centro dell'altezza del muro può essere determinato facendo come segue:

$$\Phi = A_1 e^{-\frac{u^2}{2}}$$

dove A_1 è un fattore che dipende dall'eccentricità del carico ed è espresso da:

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t}$$

e u è un fattore che dipende dalla snellezza della parete ed è espresso come:

$$u = \frac{\lambda - 0.063}{0.73 - 1.17 \frac{e_{mk}}{t}}$$

dove λ è la snellezza della parete ed è espressa tramite la:

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$

Il fattore Φ è univocamente determinato noti i valori dei seguenti parametri geometrici e meccanici a freddo:

- t è lo spessore reale della parete
- t_{ef} spessore effettivo della parete
- h_{ef} altezza effettiva della parete
- e_{mk} è l'eccentricità a metà altezza della parete
- f_k resistenza caratteristica a compressione della muratura
- E modulo di elasticità secante a breve termine da determinarsi tramite prove in accordo a [8]. In assenza di un valore determinato tramite prove eseguite in conformità con [8], il modulo di elasticità secante a breve termine, E , da usare nell'analisi strutturale, può essere considerato pari a $K_E f_k$.

Assumendo $K_E = 700$, si ottiene la relazione:

$$E = 700 f_k$$

e il valore di u diventa:

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 1,67}{19,3 - 31 \frac{e_{mk}}{t}}$$

CALCOLO DI t_{ef}

Lo spessore effettivo di un parete a singolo paramento, parete a doppio paramento, faced wall, shell bedded wall, e di una parete cava, come definite in [7], coincide con lo spessore reale del muro, t .

Lo spessore effettivo di una parete irrigidita tramite contrafforti si ottiene invece tramite l'equazione:

$$t_{ef} = \rho_r t \quad (9)$$

dove:

- t_{ef} spessore effettivo
- ρ_r coefficiente ottenuto dalla Tabella 1
- t spessore della parete

Tabella 1: coefficiente di spessore, ρ_r , per pareti irrigidite da contrafforti

Rapporto tra distanza contrafforti (da centro a centro) e larghezza contrafforti	Rapporto tra lo spessore del contrafforte e lo spessore reale della muratura a cui è collegato		
	1	2	3
6	1,0	1,4	2,0
10	1,0	1,2	1,4
20	1,0	1,0	1,0

NOTA: è consentita l'interpolazione lineare tra i valori dati in tabella

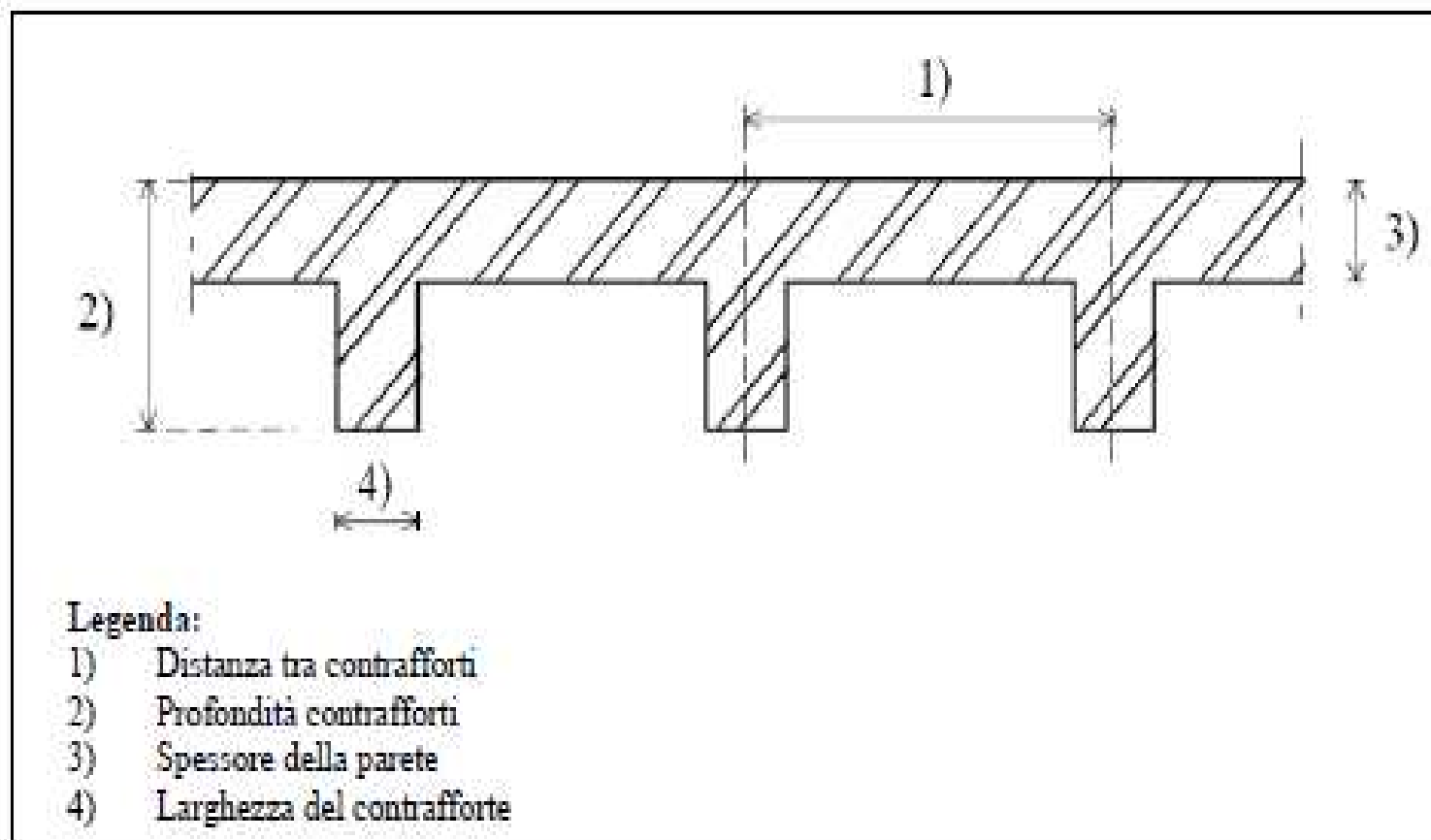


Figura 1. Vista schematica delle definizioni utilizzate in Tabella 1

CALCOLO DELL'ALTEZZA EFFETTIVA DELLA PARETE h_{ef}

Il parametro h_{ef} si calcola tramite la:

$$h_{ef} = \rho_n \cdot h \quad (11)$$

dove h è l'altezza netta della parete e ρ_n è un fattore di riduzione in cui $n = 2, 3$ o 4 in funzione del numero di lati vincolati o irrigiditi della parete.

Il fattore di riduzione ρ_n può essere determinato in base a quanto segue.

Per pareti vincolate sui lati superiore ed inferiore a solai o coperture in calcestruzzo armato che si estendono da entrambi i lati della muratura allo stesso livello, oppure a solai o coperture in calcestruzzo armato che si estendono da un solo lato ed aventi un cordolo di spessore pari almeno ai $2/3$ di quello della parete:

$$\rho_2 = 0,75 \quad (12)$$

Tuttavia, se l'eccentricità del carico all'estremità superiore della parete è superiore a $0,25$ volte lo spessore della parete si considera:

$$\rho_2 = 1,0 \quad (13)$$

Per pareti vincolate sui lati superiore ed inferiore a solai o coperture in legno che si estendono da entrambi i lati della muratura allo stesso livello, oppure a solai o coperture in legno che si estendono da un solo lato ed aventi un cordolo di spessore pari almeno ai $2/3$ di quello della parete ma non inferiore ad 85 mm:

$$\rho_2 = 1,0 \quad (14)$$

Per pareti vincolate sui lati superiore ed inferiore ed irrigidite su un lato verticale (con un lato verticale libero):

– Quando $h \leq 3,5l$

$$\rho_3 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 h}{3l} \right]^2} \rho_2 \quad (15)$$

dove ρ_2 assume il valore definito al punto a seconda dei casi sopra descritti

– Quando $h > 3,5l$

$$\rho_3 = \frac{1,5l}{h} \geq 0,3 \quad (16)$$

dove l è la lunghezza della parete

Per pareti vincolate sui lati superiore ed inferiore ed irrigidite su due lati verticali:

– Quando $h \leq 1,15l$

$$\rho_4 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 h}{l} \right]^2} \rho_2 \quad (17)$$

dove ρ_2 assume il valore definito al punto 1 o 2 a seconda dei casi ivi descritti

– Quando $h > 1,15l$

$$\rho_4 = \frac{0,5l}{h} \quad (18)$$

dove l è la lunghezza della parete

CALCOLO DELL'ECCENTRICITÀ A METÀ ALTEZZA e_{mk}

L'eccentricità a metà altezza della parete, e_{mk} , è definita secondo la formula seguente:

$$e_{mk} = e_m + e_k + e_{\Delta\theta} \geq 0,05t \quad (19)$$

dove e_m è l'eccentricità dovuta ai carichi, definita come:

$$e_m = \frac{M_{mf}}{N_{mf}} + e_{im} \pm e_j \quad (20)$$

e_k è l'eccentricità dovuta al *creep*¹, definita come

$$e_k = 0,002\phi_{\infty} \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t \cdot e_m} \quad (21)$$

e $e_{\Delta\theta}$ è l'eccentricità dovuta all'incendio, definita come

$$e_{\Delta\theta} = \frac{1}{8} h_{ef}^2 \frac{\alpha_1 (\theta_2 - 20)}{t_{pv}} \leq h_{ef} / 20 \quad (22)$$

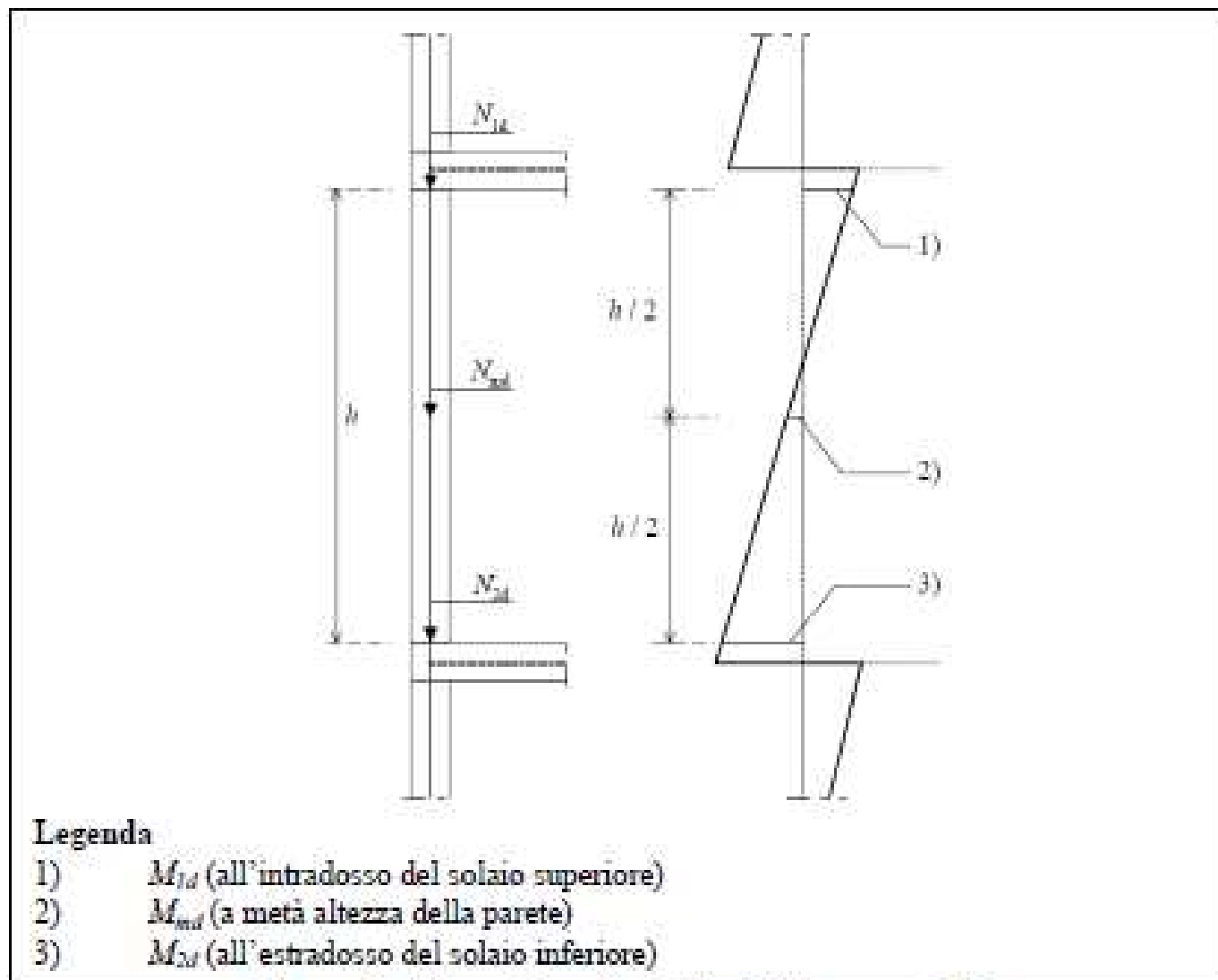


Figura 2: Momenti per il calcolo delle eccentricità

Nelle formule precedenti è stata usata la seguente simbologia

- M_{mid} valore di progetto del momento massimo a metà altezza della parete risultante dai momenti agenti sulle estremità superiore ed inferiore della parete, includendo ogni carico applicato eccentricamente rispetto alla facciata della parete.
- N_{mid} valore di progetto del carico verticale a metà altezza della parete, includendo ogni carico applicato eccentricamente rispetto alla facciata della parete.
- e_{lim} eccentricità a metà altezza della parete risultante dai carichi orizzontali (p.es. il vento)²
- e_i eccentricità iniziale, che può essere assunta pari a $h_{ef}/450$.
- ϕ_w coefficiente di *crasy* finale (cfr Tabella 2)

- α_c coefficiente di espansione termica della muratura, in accordo a [7] §3.7.4 (cfr Tabella 2)
- θ_1 temperatura al di sotto della quale si può considerare una resistenza a compressione per il materiale pari a quella a temperatura ambiente
- θ_2 temperatura al di sopra della quale si considera nulla la resistenza residua della muratura
- $t_{F,T}$ spessore della sezione trasversale la cui temperatura è compresa tra θ_1 e θ_2

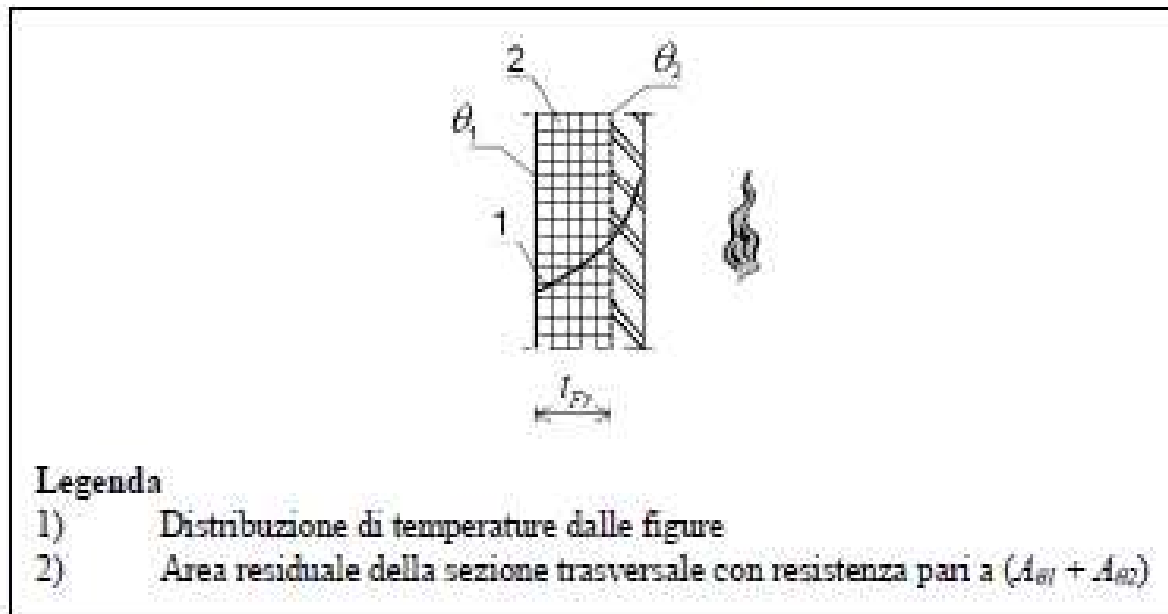


Figura 3: Sezione verticale di una muratura

La distribuzione di temperatura attraverso la sezione di una muratura e la temperatura alla quale la muratura diventa inefficace, in funzione del tempo di esposizione, dovrebbe essere ottenuta dai risultati di prove oppure tramite un *database* di risultati di prove. In assenza di risultati di prove o di un *database* si possono usare i grafici riportati in EN 1996-1-2 nell'appendice dedicata al metodo avanzato di cui si riporta a titolo di esempio il grafico di Figura 6. Per murature in calcestruzzo aerato autoclavato fare riferimento a [9].

Nella seguente tabella, tratta da [7], vengono indicati, in funzione del tipo di materiale, i valori di φ_{∞} e α_t , necessari per la determinazione di ε_t e ε_{sh} , come illustrato nelle formule precedenti.

Tabella 2: Intervalli di variabilità dei coefficienti di *creep*, espansione o contrazione dovute ad umidità, e proprietà termiche delle murature

Tipo di mattone		Coefficiente di <i>creep</i> finale φ_{∞}^a	Espansione o contrazione a lungo termine dovuta all'umidità ^b [mm/m]	Coefficiente di espansione termica, α_t , $10^{-6}/K$
Argilla		da 0,5 a 1,5	da -0,2 a 1,0	da 4 a 8
Silicato di Calcio		da 1,0 a 2,0	da -0,4 a -0,1	da 7 a 11
Calcestruzzo denso e pietra lavorata		da 1,0 a 2,0	da -0,6 a -0,1	da 6 a 12
Calcestruzzo leggero		da 1,0 a 3,0	da -1,0 a -0,2	da 6 a 12
Calcestruzzo autoclavato aerato		da 0,5 a 1,5	da -0,4 a +0,2	da 7 a 9
Pietra naturale	Magmatica	c	Da -0,4 a +0,7	da 7 a 9
	Sedimentaria			da 2 a 7
	Metamorfica			da 1 a 18

^a) Il coefficiente finale di *creep* è $\varphi_{\infty} = \varepsilon_{\infty} / \varepsilon_{el}$ dove ε_{∞} è la deformazione finale dovuta al *creep* e $\varepsilon_{el} = \sigma / E$.

La seguente tabella 3 riporta, per ciascun materiale, le temperature θ_1 e θ_2 , definite in precedenza; i coefficienti c vengono indicati in [1], in maniera simbolica in quanto, come spiegato, non sono ancora stati determinati.

Tabella 3: Valori della costante, c , e delle temperature θ_1 e θ_2 relative a materiali per murature

Mattoni e malta (superficie non protetta)	Valore della costante c	Temperatura °C	
		θ_2	θ_1
Mattoni in argilla con malta di uso generale	c_{cl}	600	100
Mattoni in calcio silicato con strato sottile di malta	c_{cl}	500	100
Mattoni in calcestruzzo leggero (pomice) con malta di uso generale	c_{la}	400	100
Mattoni in calcestruzzo denso con malta di uso generale	c_{da}	500	100
Mattoni autoclavati aerati con strato sottile di malta	c_{aac}	400	200

Le seguenti Figura 4 e Figura 5 illustrano le aree di muratura a temperature fino a θ_1 , tra θ_1 e θ_2 , e le aree a temperatura superiore a θ_2 . All'area di muratura a temperatura inferiore a θ_1 , indicata con A_1 , viene attribuita una resistenza a compressione di progetto pari a f_{cd1} , all'area avente temperatura compresa tra θ_1 e θ_2 viene attribuita una resistenza pari a f_{cd2} (si ricordi che $f_{cd2} = c \cdot f_{cd1}$) mentre all'area avente temperatura superiore a θ_2 viene attribuita una resistenza nulla.

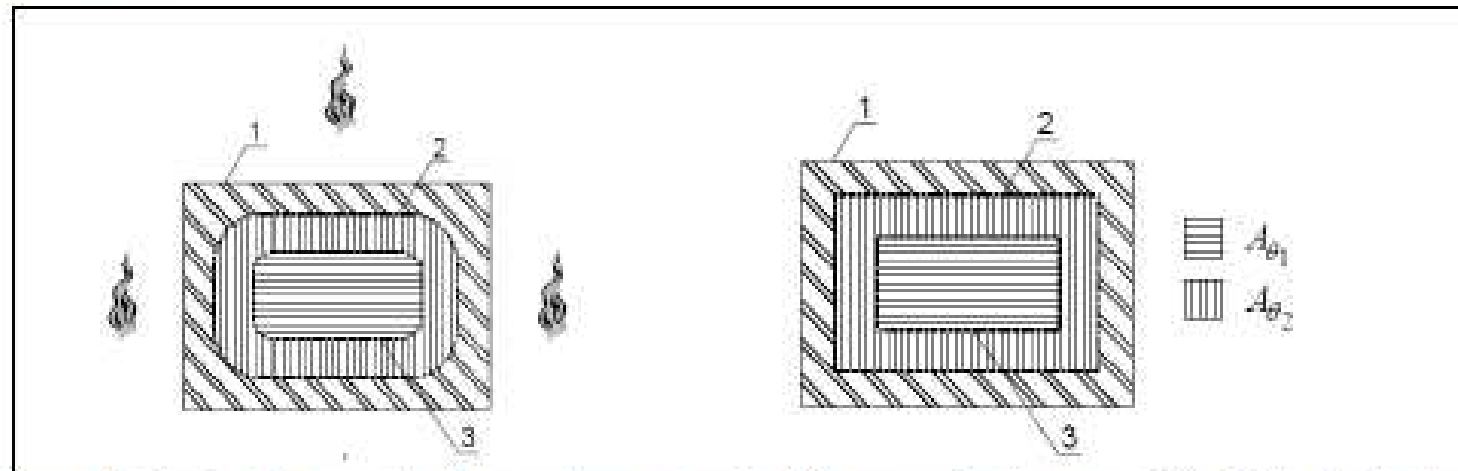


Figura 4: Sezione trasversale di una colonna esposta al fuoco con isoterme reali (a sinistra) ed isoterme reali per il calcolo semplificato (a destra)

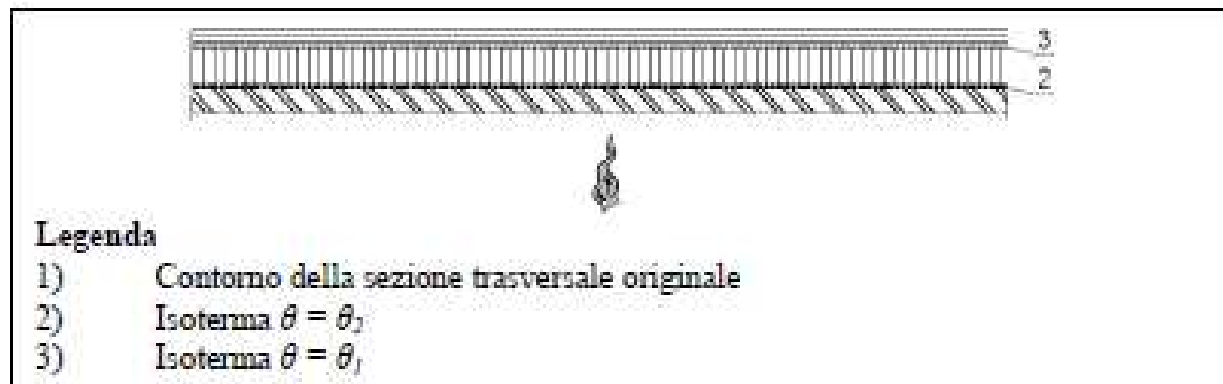


Figura 5: Sezione trasversale elemento di separazione

Nella figura seguente viene rappresentata la distribuzione di temperatura attraverso la sezione della muratura e la temperatura alla quale essa diviene strutturalmente inefficace, per una muratura in calcio silicato.

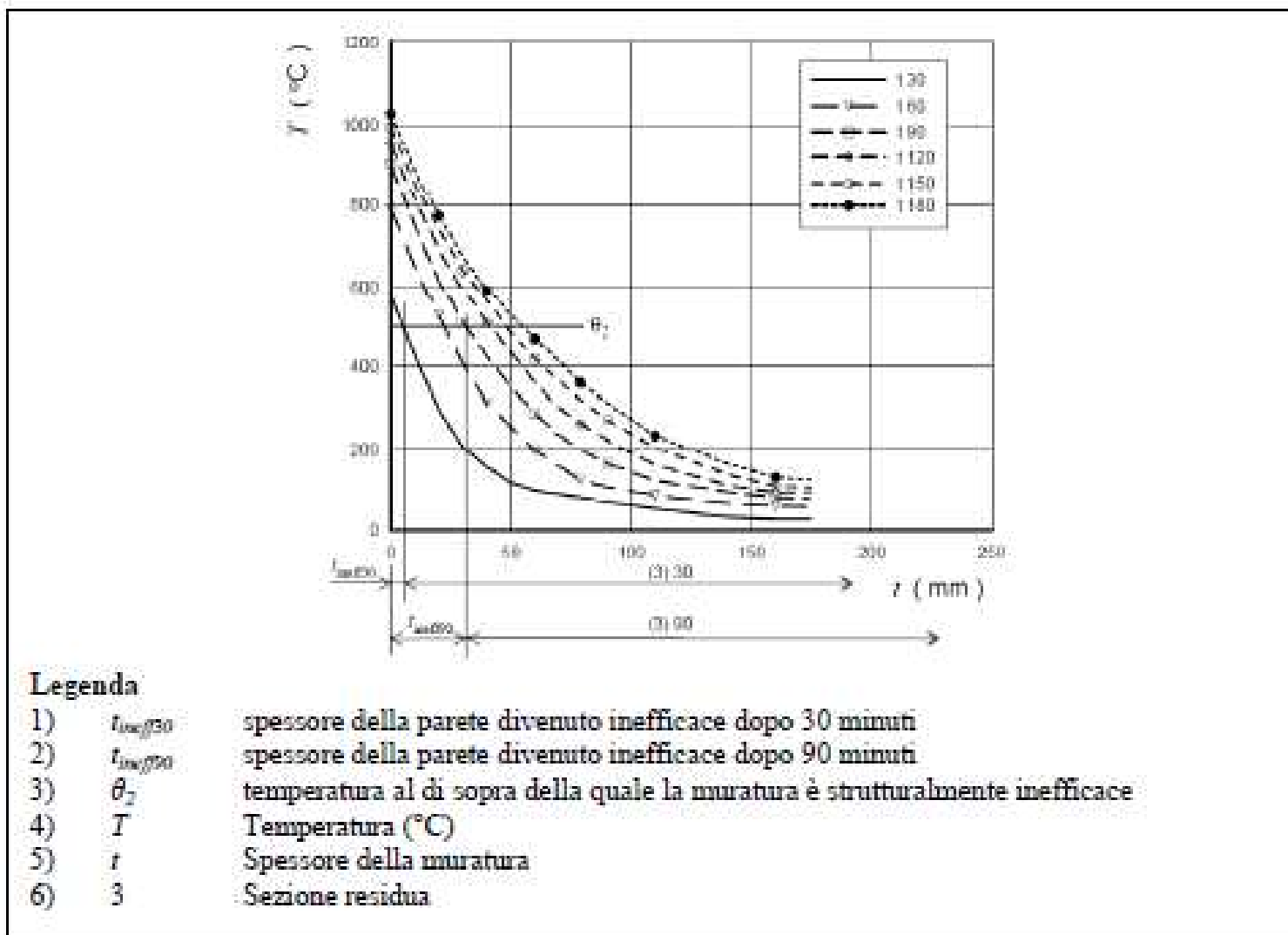


Figura 6: Muratura in calcio silicato, densità lorda 1500 – 2000 kg/m³

CALCOLO DI $(f_{\theta\theta 1} A_{\theta 1} + f_{\theta\theta 2} A_{\theta 2})$

Considerato il modo in cui sono stati definiti i coefficienti c , e cioè come rapporto tra la resistenza caratteristica a compressione del particolare materiale considerato a temperatura ambiente ($f_{d\theta}$) e quella a temperatura pari a θ_2 , come specificata in Tabella 3, è possibile esprimere la capacità portante del muro nella seguente maniera:

$$f_{d\theta 1}(A_{\theta 1} + cA_{\theta 2}) \quad (23)$$

dove per un muro a sezione costante l vale:

$$A_{\theta 2} = l \cdot t_{FR} \quad (24)$$

$$A_{\theta 1} = l \cdot (t - t_{inff} - t_{FR}) \quad (25)$$

Tale capacità portante, moltiplicata per il fattore di riduzione Φ , come espresso dalla (2), consente di calcolare la resistenza della muratura; tale resistenza, confrontata con i carichi agenti in base alla disuguaglianza (1), permette infine di effettuare la verifica della capacità portante della muratura considerata sotto l'azione incendio.

ESEMPIO

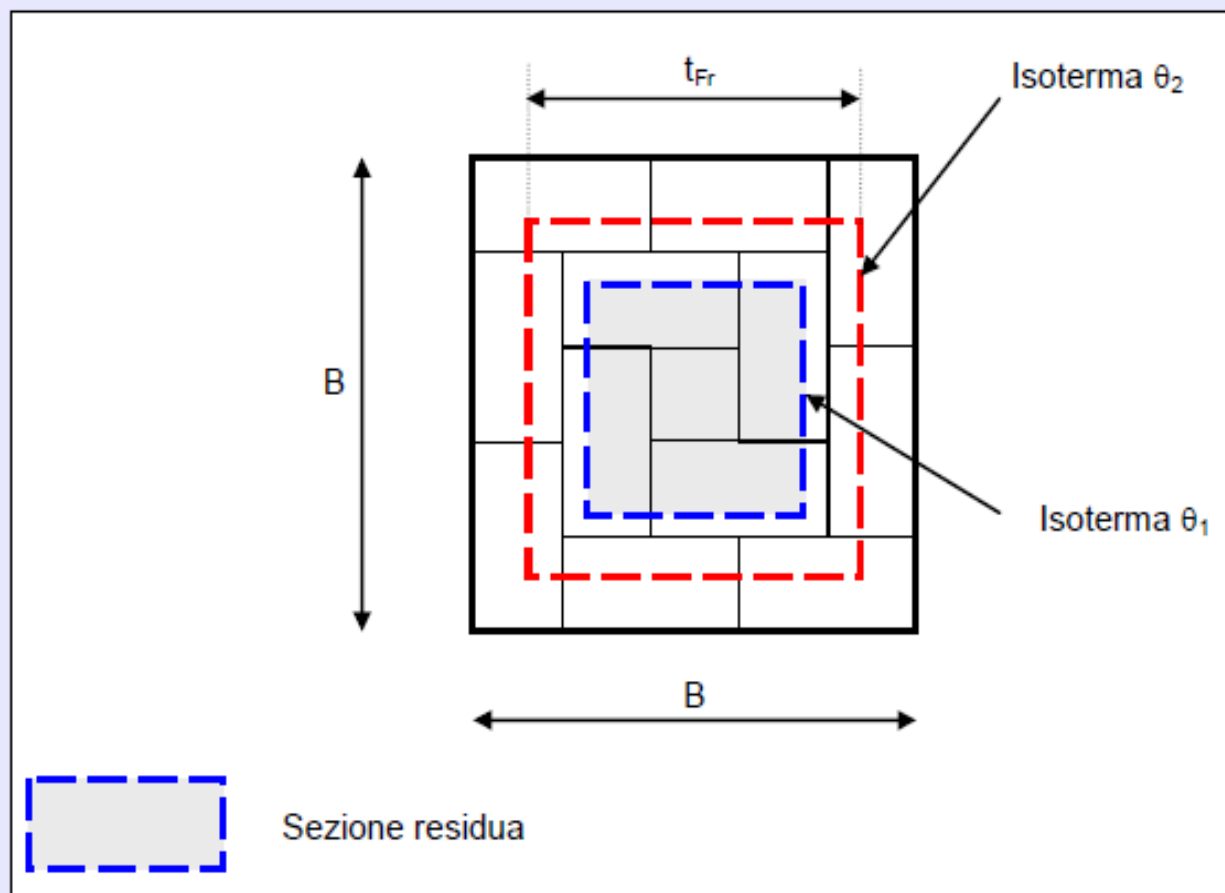
Si mappa termicamente l'elemento strutturale esposto all'incendio standard, si elimina la porzione di materiale ritenuta inefficace ai fini della resistenza e si verifica la membratura caratterizzata dalla porzione di materiale resistente con i metodi ordinari della tecnica delle costruzioni e le regole della parte generale dell'Eurocodice 6.

La resistenza al compressione di progetto per una parete o una colonna esposta all'incendio standard è data dalla seguente espressione:

$$N_{R,d,fi(\theta_i)} = \phi \cdot (f_{d,\theta_1} \cdot A_{\theta_1} + f_{d,\theta_2} \cdot A_{\theta_2})$$

θ_1 e θ_2 (con $\theta_1 < \theta_2$) sono temperature che individuano tre porzioni di sezione trasversale dell'elemento:

- il materiale a temperatura fino a θ_1 è considerato pienamente resistente
- il materiale a temperatura superiore a θ_2 è considerato inefficace
- il materiale a temperatura intermedia tra θ_1 e θ_2 è considerato parzialmente resistente (???)



Pilastro murario 50x50 cmxcm alto 3 m realizzato in blocchi di laterizio pieni ed esposto all'incendio standard sui quattro lati per 90 minuti.

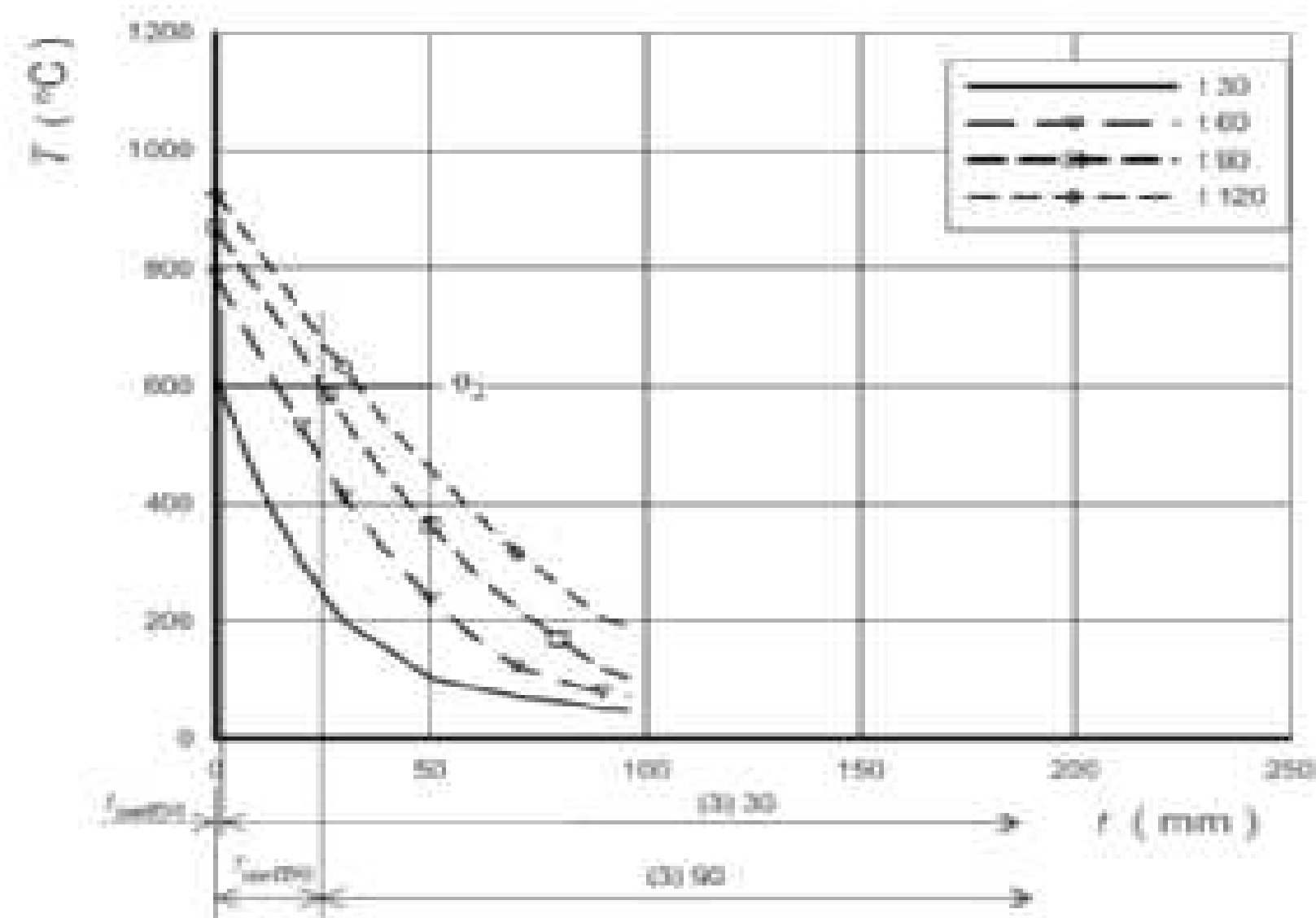
L'allegato C di EN 1996 1-2 stabilisce le seguenti due temperature limite per la muratura in esame:

$$\theta_1 = 100^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_2 = 600^{\circ}\text{C}.$$

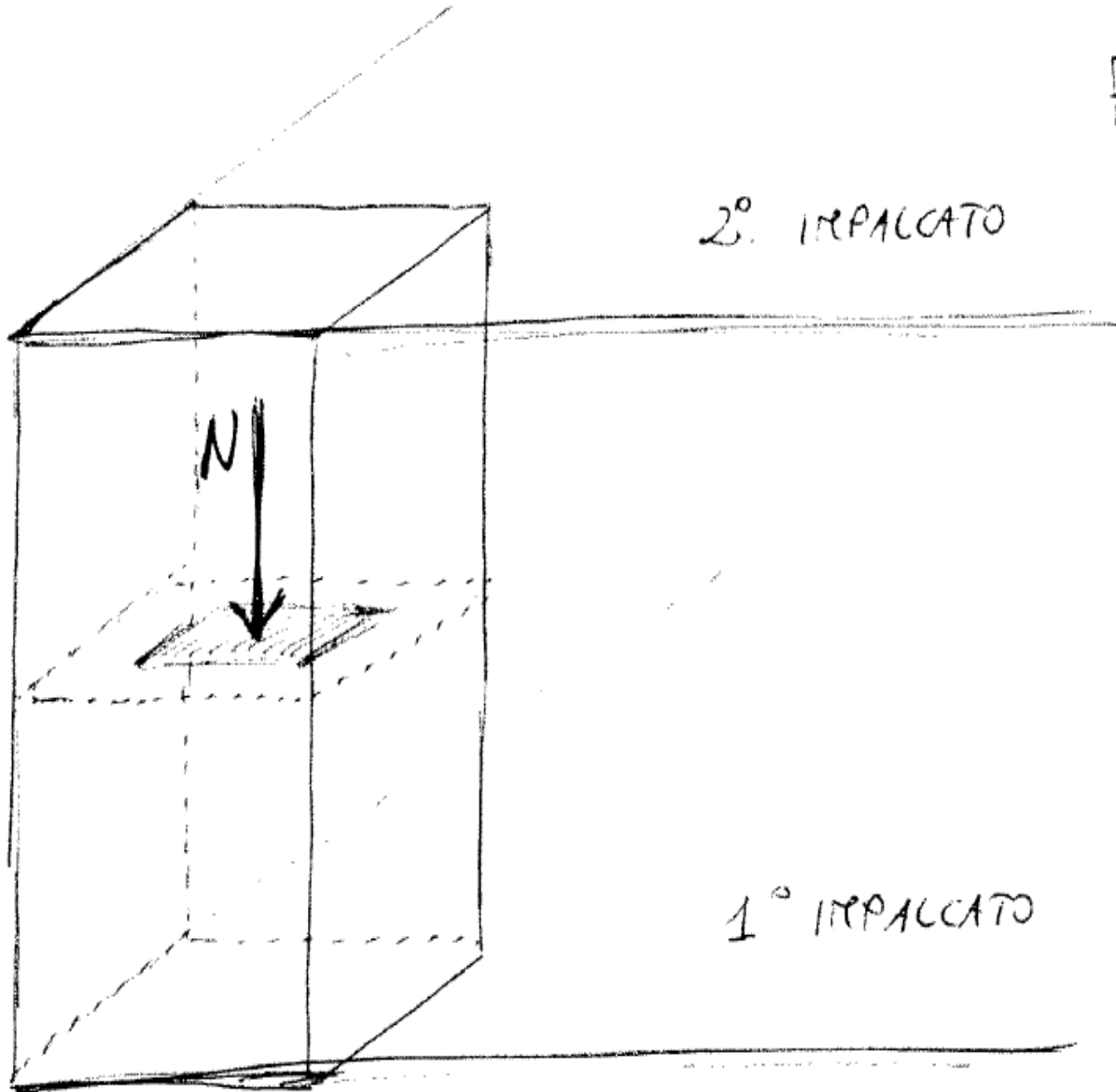
Dalla mappatura termica riportata nella figura "C3" dell'Eurocodice EN 1996 1-2, si ricava che lo spessore di muratura a temperatura superiore a 600°C è di 2,5 cm e lo spessore di muratura a temperatura superiore a 100°C è di 10,0 cm.

Per tale motivo, il lato della sezione residua di muratura da considerare nel calcolo è pari a 30 cm e t_{FR} è pari a 45 cm. L'incremento di eccentricità dei carichi è in quanto il cimento termico è simmetrico. **Si trascura il materiale oltre i 100°C**



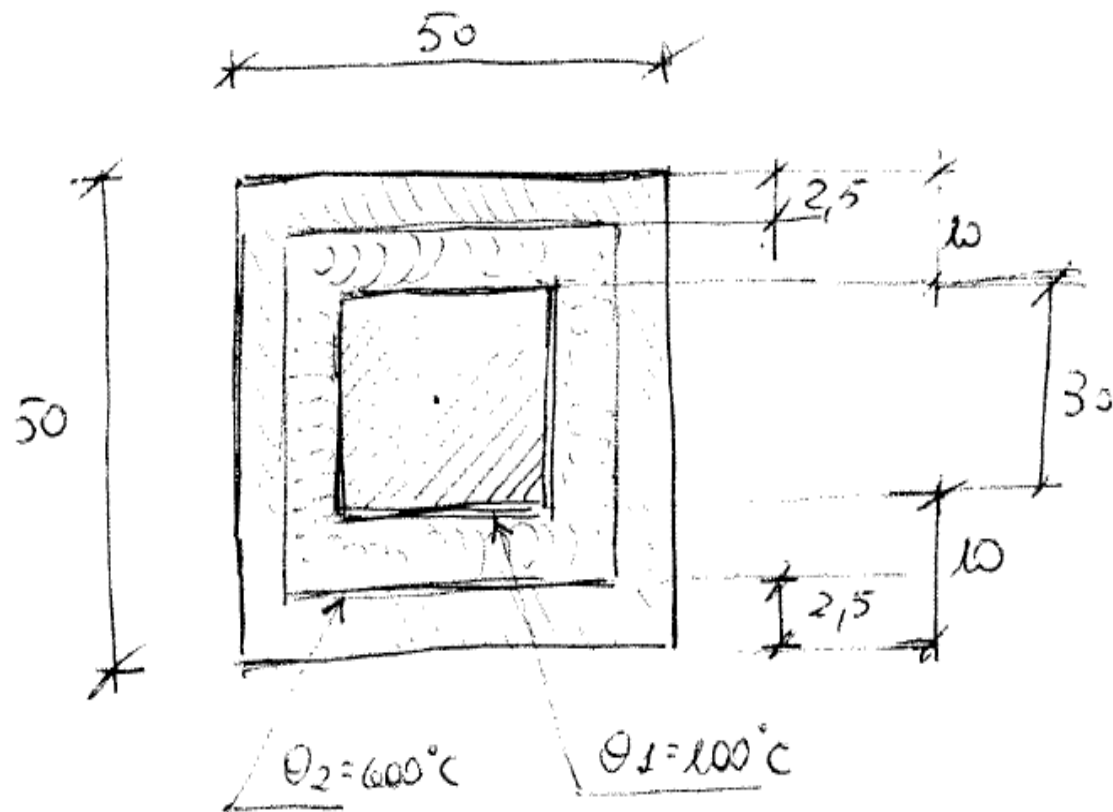
Esempio pg ①

2° IRPALCATO



1° IRPALCATO

3 m



Esposizione all'incendio

$t = 90 \text{ min}$

su 4 lati

$$A_{\text{pilastro}} = 50 \times 50 \text{ (cm)}$$

$A_{pilastro} = 50 \times 50 \text{ (cm)}$

Dal diagramma Fig. C.3(a) dell'EUROCODE EN 1996-1-2
si ricava lo spessore di muratura sottoposto a $T > \theta_1$
(mappa tecnica): $t = 10 \text{ cm (pu lato)}$
Le murature a $T > \theta_1$ E' INEFFICACE (cine. del R.I.)

Si ha allora

Esempio pag. ②

$$A_{01} = 30 \times 30 = 900 \text{ cm}^2$$

Caratteristiche meccaniche muratura (dalle NTC):

- malta cementizia M10 ($R_{\text{compres.}} = 8 \text{ N/mm}^2$)

- blocchi $f_{bk} = 15 \text{ N/mm}^2$ ($R_{\text{compres.}}$ singolo blocco)

- $f_k = 6,7 \text{ N/mm}^2$ ($R_{\text{compres.}}$ muratura)

Sarà quindi $f_{d01} = f_k = 6,7 \text{ N/mm}^2$

Dalle N.R.d, $f_i(\theta_1) = \Phi(f d \theta_1 \cdot A \theta_1 + f d \theta_2 \cdot A \theta_2)$

essendo $f d \theta_2 = 0$ (cne. del P.I.), reste de calculer solo

$$\Phi = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}}$$

Ponendo per semplicità $l_{mk} = 0$ (accennante totale), si ha

$$A_1 = 1 \Rightarrow \Phi = 1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}}$$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 1,67}{19,3 - 31 \frac{l_{mk}}{t}} = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 1,67}{19,3}$$

ovvero posto $l_{mk} = 0$

Per parete singolo/doppio paramento è $t_{ef} = t = 50 \text{ cm}$

Per parete fra selcio/salcio è $n=2$ quindi

$$h_{ef} = p_m \cdot h = p_2 \cdot h = 0,75 \cdot 3 = 2,25 \text{ m}$$

$$\mu = \frac{\frac{2,25}{0,5} - 1,67}{19,3} = 0,14$$

$$\phi = 1 \cdot e^{-\frac{0,14^2}{2}} = 0,99$$

$$N_{Rd, f(e)} = 0,99 \cdot 67 \cdot 900 = 59'697 \text{ daN} \approx 59'697 \text{ kg} = 59,697 \text{ t}$$

(al centro dell'elimo del muro)

Se $N_{Ed} \text{ (di progetto)} \leq N_{Rd, f(e)}$, la verifica è soddisfatta