VERIFICA DI RESISTENZA AL FUOCO DI PARETE IN MURATURA SECONDO EN 1996-1-2 (EUROCODICE 6)

Dott. Ing. Alberto Cavazzuti

INTRODUZIONE ALL'EUROCODICE 6

L'EUROCODICE 6 (O EN-1996) TRATTA ESCLUSIVAMENTE DI PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN MURATURA E SI COMPONE DELLE SEGUENTI PARTI:

> EN 1996 PARTE 1-1: REGOLE GENERALI PER MURATURA SEMPLICE ED ARMATA.

> EN 1996 PARTE 1-2: REGOLE GENERALI PER LA RESISTENZA ALL'INCENDIO.

> EN 1996 PARTE 2: CONSIDERAZIONI PROGETTUALI, SELEZIONE DEI MATERIALI E REGOLE ESECUTIVE.

> EN 1996 PARTE 3: METODI DI CALCOLO SEMPLIFICATO PER MURATURA SEMPLICE.

INCENDIO COME CARICO DI PROGETTO

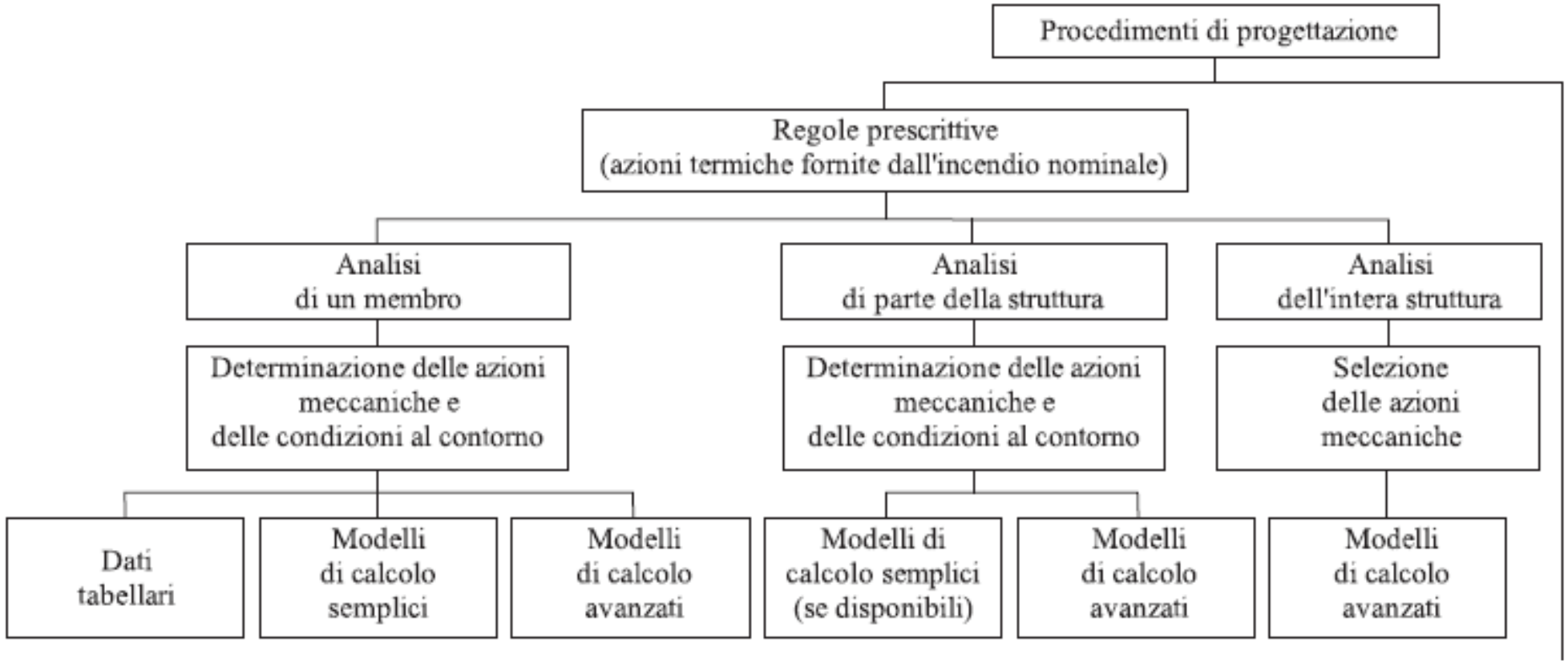
LA PARTE 1-2 PRENDE IN ESAME ASPETTI SPECIFICI DI SOLA PROTEZIONE PASSIVA NEI CONFRONTI DELL'EVENTO ACCIDENTALE INCENDIO

L'EVENTO INCENDIO STRUTTURALMENTE RAPPRESENTA UN POSSIBILE "CARICO" PER L'EDIFICIO, CON LA DIFFERENZA CHE È CAPACE DI MODIFICARE RESISTENZA E PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI

DUE PROCEDIMENTI ALTERNATIVI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PRESTAZIONE ADEGUATA:

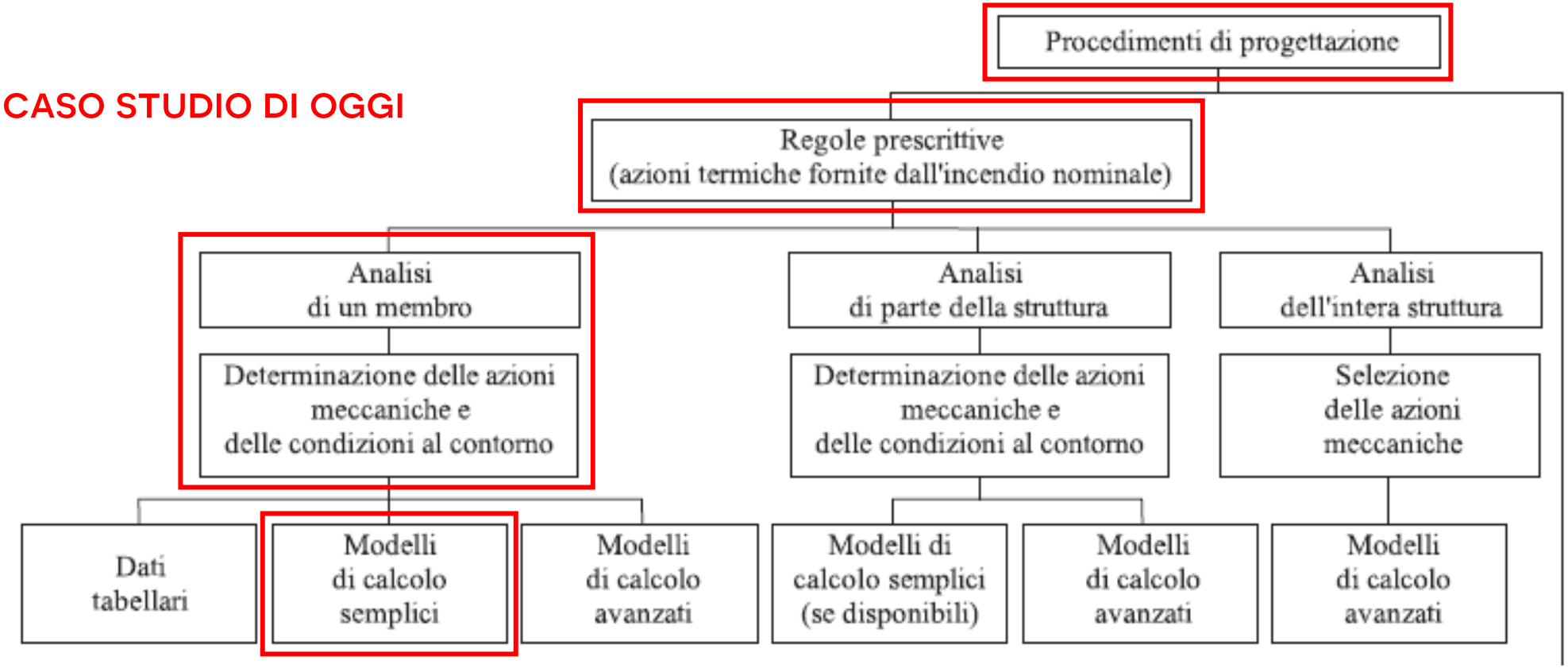
1. APPROCCIO PRESCRITTIVO (AZIONI TERMICHE DEDOTTE DA INCENDIO NOMINALE)
2. APPROCCIO PRESTAZIONALE (AZIONI TERMICHE VALUTATE CON PARAMETRI FISICI E CHIMICI)

INCENDIO COME CARICO DI PROGETTO

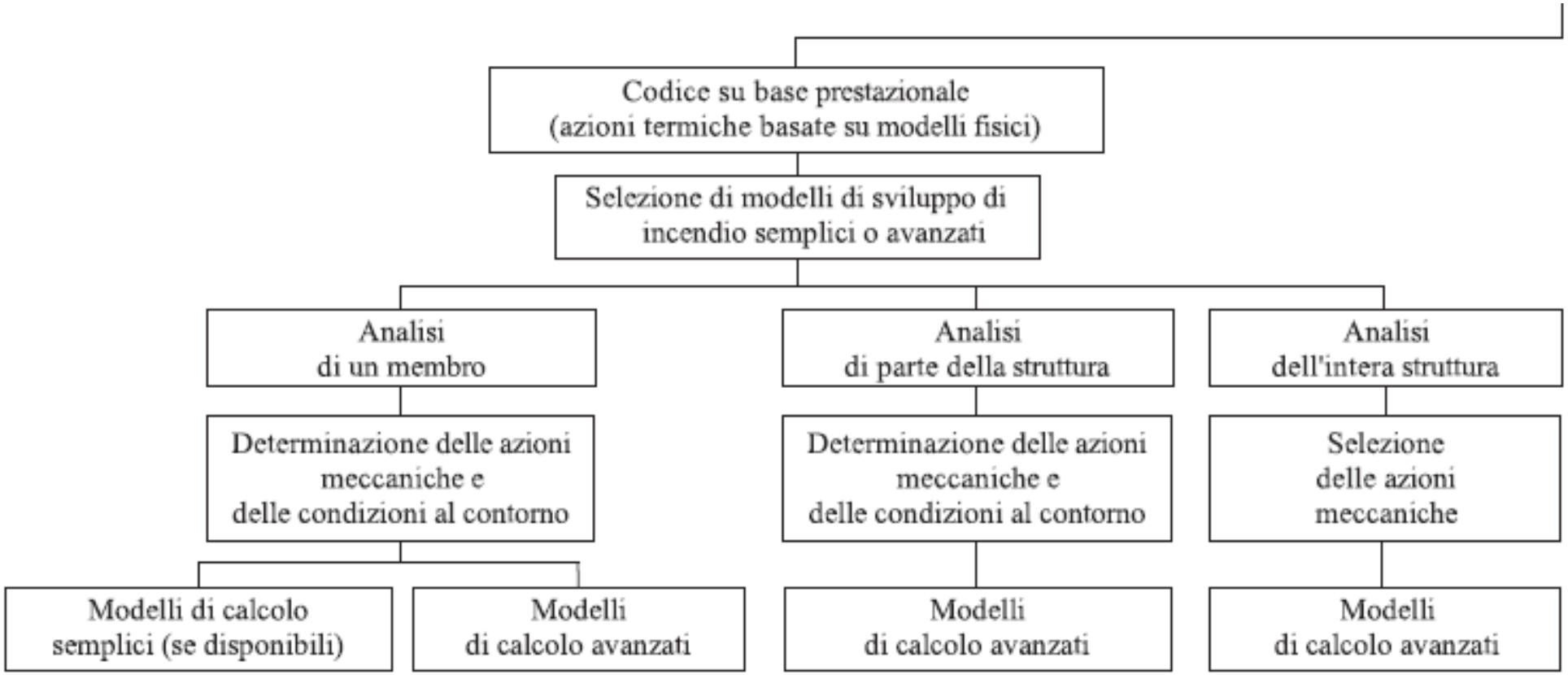


INCENDIO COME CARICO DI PROGETTO

CASO STUDIO DI OGGI



INCENDIO COME CARICO DI PROGETTO



REGOLE GENERALI DI PROGETTO

SIA CHE SI ADOTTI UN APPROCCIO PRESCRITTIVO O UN APPROCCIO PRESTAZIONALE, LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE ESPOSTE ALL'INCENDIO INSISTE ESSENZIALMENTE SUL GARANTIRE DUE REQUISITI PRESTAZIONALI:

- **ADEGUATA CAPACITÀ PORTANTE**: MANTENIMENTO DELLA FUNZIONE PORTANTE DURANTE L'ESPOSIZIONE ALL'INCENDIO
- **LIMITATA PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO**: MANTENIMENTO DELLA FUNZIONE SEPARANTE DURANTE L'ESPOSIZIONE DELL'INCENDIO

A SECONDA DELLA FUNZIONE DEI SINGOLI ELEMENTI PUÒ ESSERE NECESSARIO GARANTIRE SOLO UNO DEI DUE REQUISITI, OPPURE ENTRAMBI.

APPROCCIO PRESCRITTIVO: R,E,I,M

PER L'ESPOSIZIONE ALL'INCENDIO NOMINALE (APPROCCIO PRESCRITTIVO), GLI ELEMENTI DEVONO ESSERE CONFORMI AI CRITERI R, E, I E M, IN RELAZIONE ALLA LORO FUNZIONE.

R: RESISTENZA MECCANICA

E: INTEGRITÀ

I: ISOLAMENTO

M: RESISTENZA AD IMPATTI MECCANICI

APPROCCIO PRESCRITTIVO: R,E,I,M

PER L'ESPOSIZIONE ALL'INCENDIO NOMINALE (APPROCCIO PRESCRITTIVO), GLI ELEMENTI DEVONO ESSERE CONFORMI AI CRITERI R, E, I E M, IN RELAZIONE ALLA LORO FUNZIONE.

MURO SOLO PORTANTE	R
MURO SOLO DI SEPARAZIONE	EI
MURO DI SEPARAZIONE PORTANTE	REI
MURO DI SEPARAZIONE PORTANTE, RESISTENTE AGLI URTI MECCANICI	REI-M
MURO DI SEPARAZIONE, RESISTENTE AGLI URTI MECCANICI	EI-M

APPROCCIO PRESTAZIONALE

PER L'ESPOSIZIONE ALL'INCENDIO PARAMETRICO (APPROCCIO PRESTAZIONALE):

- LA FUNZIONE PORTANTE VIENE ASSICURATA SE NON SI VERIFICA IL COLLASSO PER LA COMPLETA DURATA DELL'INCENDIO, INCLUSA LA FASE DI ESTINZIONE, OPPURE PER UN PERIODO DI TEMPO RICHIESTO
- LA FUNZIONE SEPARANTE, RELATIVAMENTE AL SOLO ISOLAMENTO, VIENE ASSICURATA QUANDO SONO SODDISFATTI I SEGUENTI CRITERI:
    1) ALL'ISTANTE IN CUI SI HA IL MASSIMO DELLA CURVA TEMPO-TEMPERATURA, INCREMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA SULL'INTERA SUPERFICIE NON ESPOSTA NON SUPERA I 140K E L'INCREMENTO DELLA TEMPERATURA MASSIMA NON SUPERA I 180K
    2) PER IL PERIODO DI TEMPO RICHIESTO, INCREMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA SULL'INTERA SUPERFICIE NON ESPOSTA NON SUPERA I 140K E L'INCREMENTO DELLA TEMPERATURA MASSIMA NON SUPERA I 180K

PRINCIPIO GENERALE DI ANALISI E VERIFICA

IN GENERALE, SI DEVE VERIFICARE CHE PER LA PERTINENTE DURATA DI ESPOSIZIONE ALL'INCENDIO:

$$E_{fi,t,d} \leq R_{fi,t,d}$$

DOVE:

$E_{fi,d}$ È IL VALORE DI PROGETTO DEGLI EFFETTI PERTINENTI ALLE AZIONI IN CASO DI INCENDIO AL TEMPO t

$R_{fi,t,d}$ È IL VALORE DI PROGETTO DELLA RESISTENZA IN CASO DI INCENDIO AL TEMPO t

ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

LA VERIFICA TRAMITE CALCOLO DIRETTO SEMPLIFICATO AVVIENE VALUTANDO SE LA DISUGUAGLIANZA SEGUENTE RISULTA SODDISFATTA O MENO:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,fi\vartheta 2}$$

DOVE:

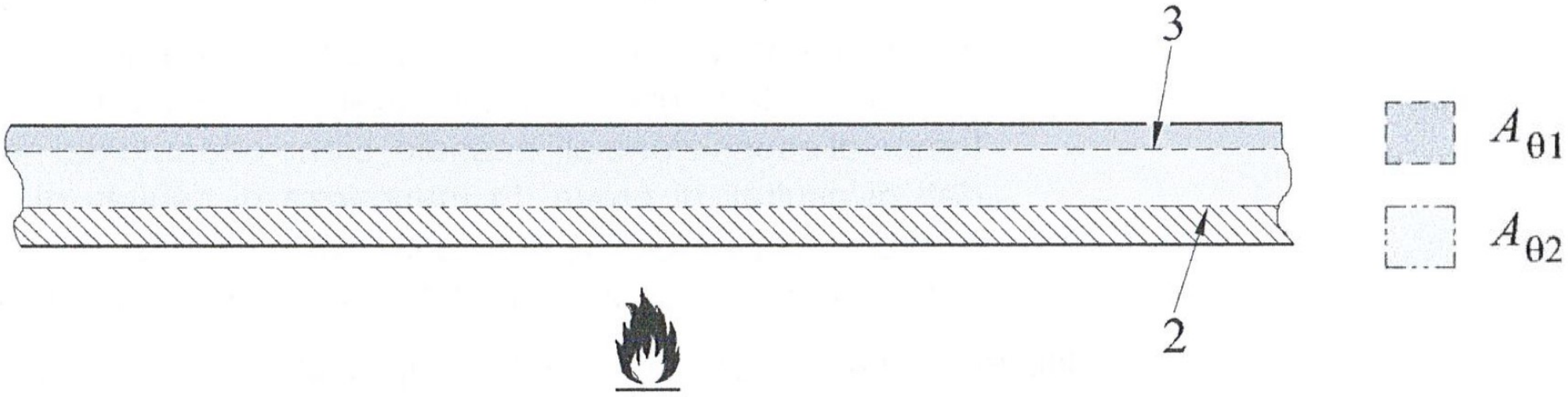
N_{Ed} È IL VALORE DEL CARICO ASSIALE SOLLECITANTE

$N_{Rd,fi\vartheta 2}$ È LO SFORZO NORMALE RESISTENTE

ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

LA PROCEDURA DI VERIFICA PREVEDE I SEGUENTI PASSI:

1) DETERMINAZIONE DEL PROFILO DELLE TEMPERATURE NELLA SEZIONE TRASVERSALE

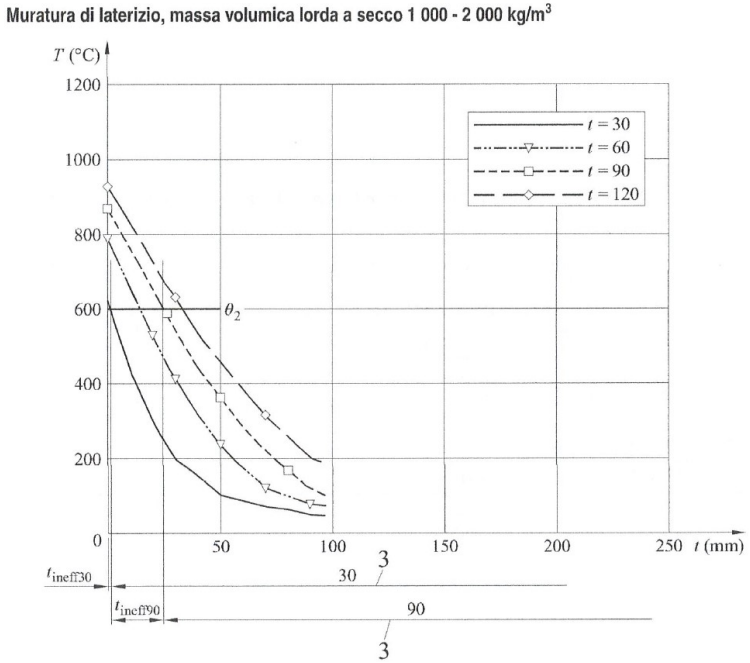


ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

LA PROCEDURA DI VERIFICA PREVEDE I SEGUENTI PASSI:

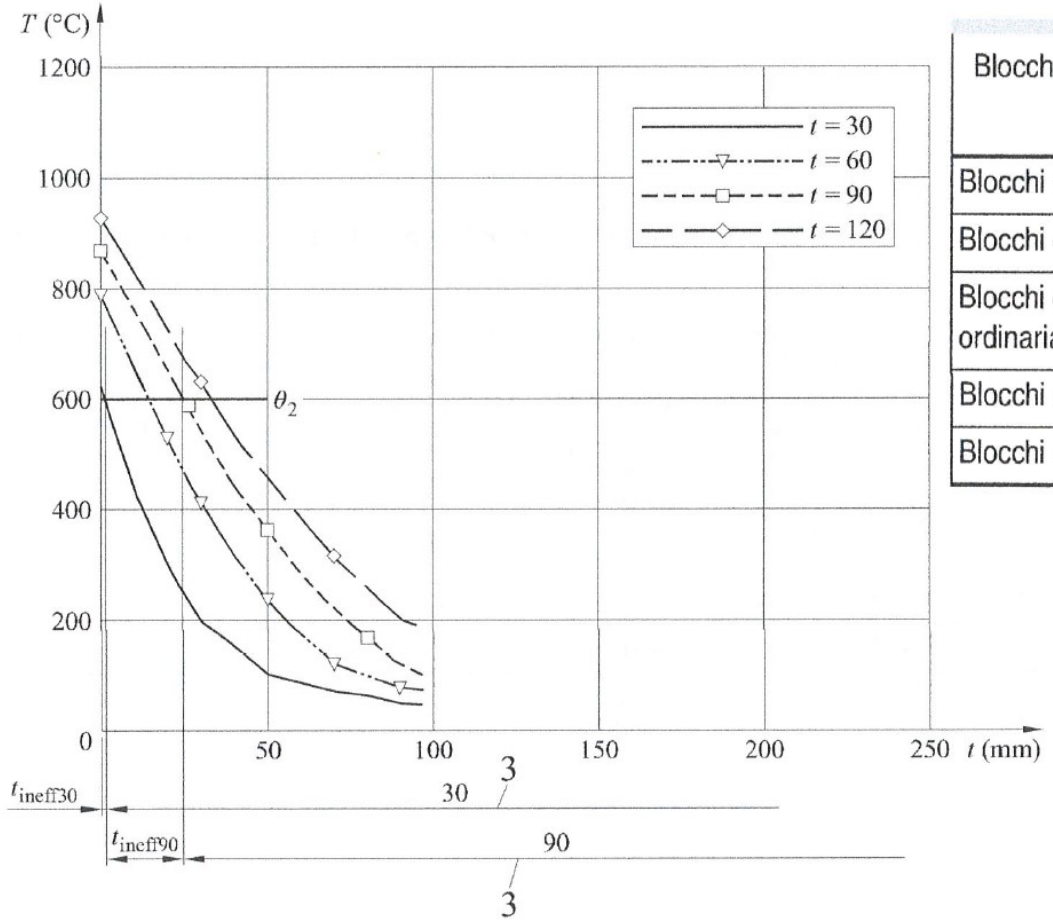
1) DETERMINAZIONE DEL PROFILO DELLE TEMPERATURE NELLA SEZIONE TRASVERSALE

2) VALUTAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA, NELLA SEZIONE TRASVERSALE



ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

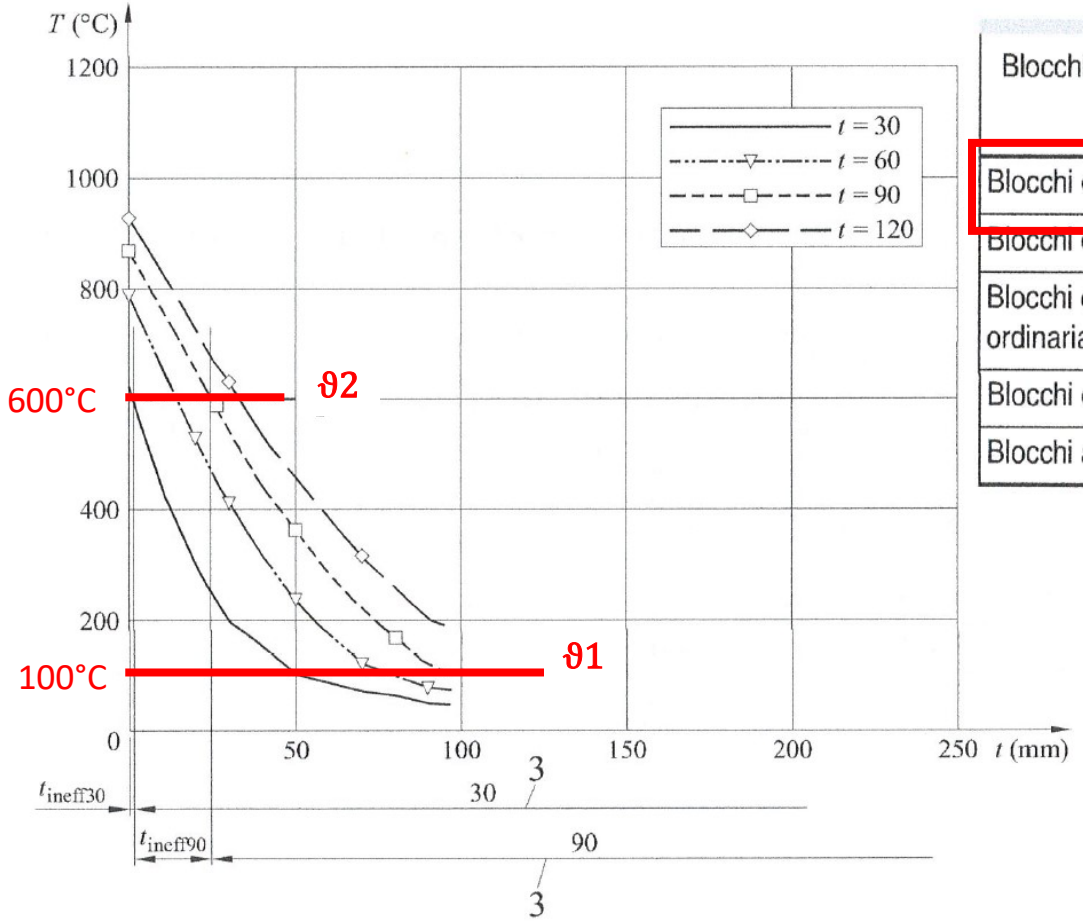
Muratura di laterizio, massa volumica lorda a secco 1 000 - 2 000 kg/m³



Blocchi per muratura e malta (superficie non protetta) secondo il punto 1.1 (2)	Temperatura °C	
	θ_2	θ_1
Blocchi di laterizio con malta ordinaria	600	100
Blocchi di silicato di calcio con malta per strato sottile	500	100
Blocchi con aggregati leggeri (pomice) con malta ordinaria	400	100
Blocchi con aggregati pesanti con malta ordinaria	500	100
Blocchi aerati autoclavati con malta per strato sottile	700	200

ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

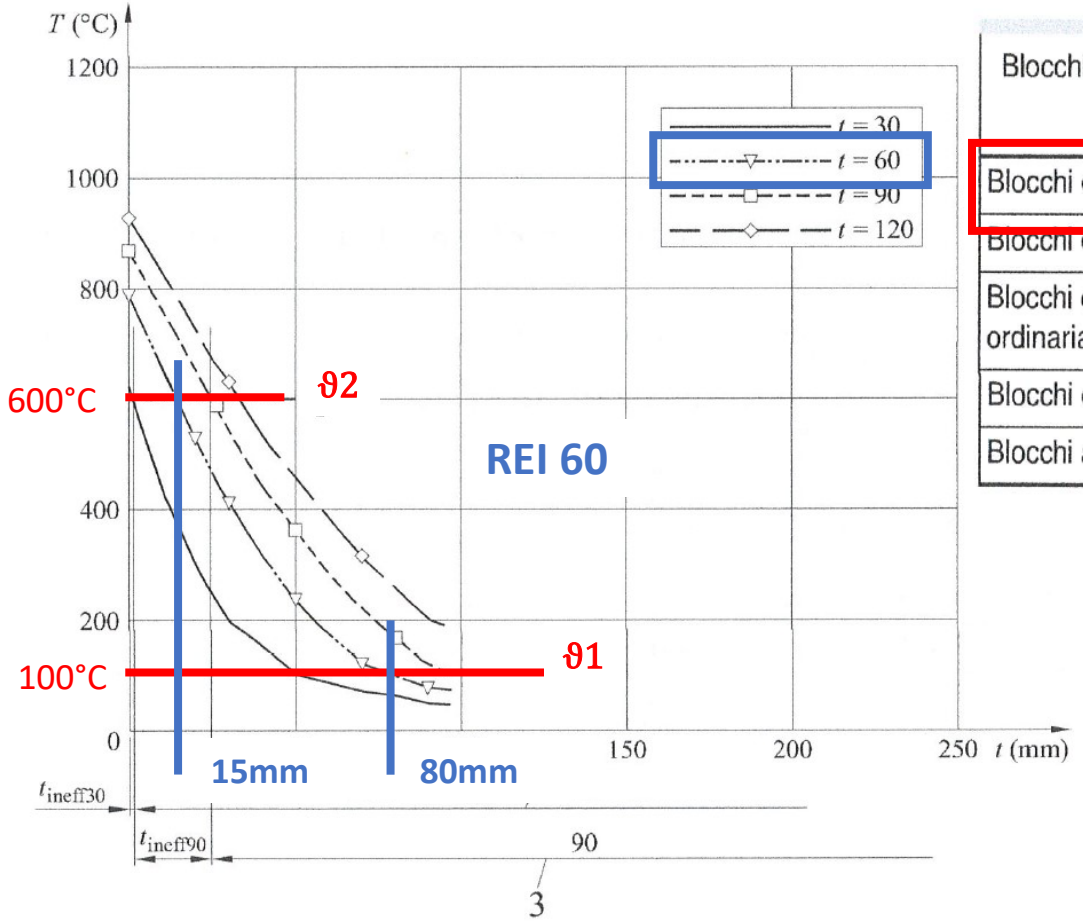
Muratura di laterizio, massa volumica lorda a secco 1 000 - 2 000 kg/m³



Blocchi per muratura e malta (superficie non protetta) secondo il punto 1.1 (2)	Temperatura °C	
	θ_2	θ_1
Blocchi di laterizio con malta ordinaria	600	100
Blocchi di silicato di calcio con malta per strato sottile	500	100
Blocchi con aggregati leggeri (pomice) con malta ordinaria	400	100
Blocchi con aggregati pesanti con malta ordinaria	500	100
Blocchi aerati autoclavati con malta per strato sottile	700	200

ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

Muratura di laterizio, massa volumica lorda a secco 1 000 - 2 000 kg/m³



Blocchi per muratura e malta (superficie non protetta) secondo il punto 1.1 (2)	Temperatura °C	
	θ_2	θ_1
Blocchi di laterizio con malta ordinaria	600	100
Blocchi di silicato di calcio con malta per strato sottile	500	100
Blocchi con aggregati leggeri (pomice) con malta ordinaria	400	100
Blocchi con aggregati pesanti con malta ordinaria	500	100
Blocchi aerati autoclavati con malta per strato sottile	700	200

ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

LA PROCEDURA DI VERIFICA PREVEDE I SEGUENTI PASSI:

1) DETERMINAZIONE DEL PROFILO DELLE TEMPERATURE NELLA SEZIONE TRASVERSALE

2) VALUTAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA, NELLA SEZIONE TRASVERSALE

3) CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DELLA SEZIONE RESIDUA

$$N_{Rd,fi\vartheta 2} = \Phi\,(f_{d\vartheta 1}\,A_{\vartheta 1} + f_{d\vartheta 2}\,A_{\vartheta 2})$$

ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

$N_{Rd,fi\vartheta 2}$ È LO SFORZO NORMALE RESISTENTE DATO DALLA SEGUENTE ESPRESSIONE:

$$N_{Rd,fi\vartheta 2} = \Phi\,(f_{d\vartheta 1}\,A_{\vartheta 1} + f_{d\vartheta 2}\,A_{\vartheta 2})$$

DOVE:

Φ È UN COEFFICIENTE RIDUTTIVO STRETTAMENTE LEGATO ALL'ECCENTRICITÀ DEL CARICO AGENTE SULLA DELLA PARETE

$f_{d\vartheta 1}$ E $f_{d\vartheta 2}$ SONO LE RESISTENZE A COMPRESSIONE DEL MATERIALE AD UNA TEMPERATURA RISPETTIVAMENTE INFERIORE A $\vartheta 1$ E $\vartheta 2$

$A_{\vartheta 1}$ È L'AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE AVENTE TEMPERATURA SUPERIORE A $\vartheta 1$

$A_{\vartheta 2}$ È L'AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE AVENTE TEMPERATURA COMPRESA TRA $\vartheta 1$ E $\vartheta 2$

ANALISI E VERIFICA CON CALCOLO SEMPLIFICATO

LA PROCEDURA DI VERIFICA PREVEDE I SEGUENTI PASSI:

1) DETERMINAZIONE DEL PROFILO DELLE TEMPERATURE NELLA SEZIONE TRASVERSALE

2) VALUTAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA, NELLA SEZIONE TRASVERSALE

3) CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ALLO STATO LIMITE ULTIMO DELLA SEZIONE RESIDUA

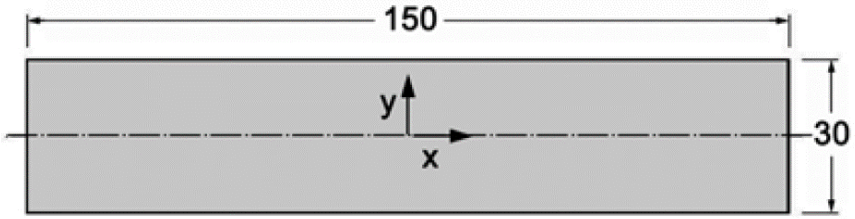
4) VERIFICA CHE LA CAPACITÀ PORTANTE CALCOLATA SIA SUPERIORE A QUELLA RICHIESTA

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,fi\vartheta 2}$$

ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA

DATI INPUT

- PARETE DI LATERIZIO H=3,50M, L=1,50M, S=0,30M
- PROPRIETÀ MECCANICHE MURATURA
- AZIONI CARATTERISTICHE AGENTI SULLA PARETE



Proprietà meccanica	Valore
Densità ρ	1000 kg/m^3
Conducibilità λ_a	0.42 W/m°C
Calore specifico c_a	564 J/kg°C
Tensione ultima di calcolo f_u (f_d)	38.5 daN/cm^2

Descrizione	Sforzo Normale Caratteristico N_k [kN/cm]	Momento Flettente Caratteristico $M_{x,k}$ [kN·cm/cm]
Peso proprio degli elementi strutturali G_1	4.00	4.00
Peso proprio degli elementi non strutturali G_2	1.50	3.00
Sovraccarico variabile (Cat. C) Q_k	1.50	3.00

ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA

PROCEDIMENTO DI VERIFICA CON IL METODO SEMPLIFICATO

1) STIMA DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLO SLU PER COMB. ECCEZIONALE (NTC 2018)

$$N_{ed} = G_1 + G_2 + \psi_{21} Q_1$$

$$\mathbf{N_{ed}} = (4{,}0 + 1{,}5 + 0{,}6 \cdot 1{,}5) \cdot 150 = \mathbf{960\ kN = 96000\ daN}$$

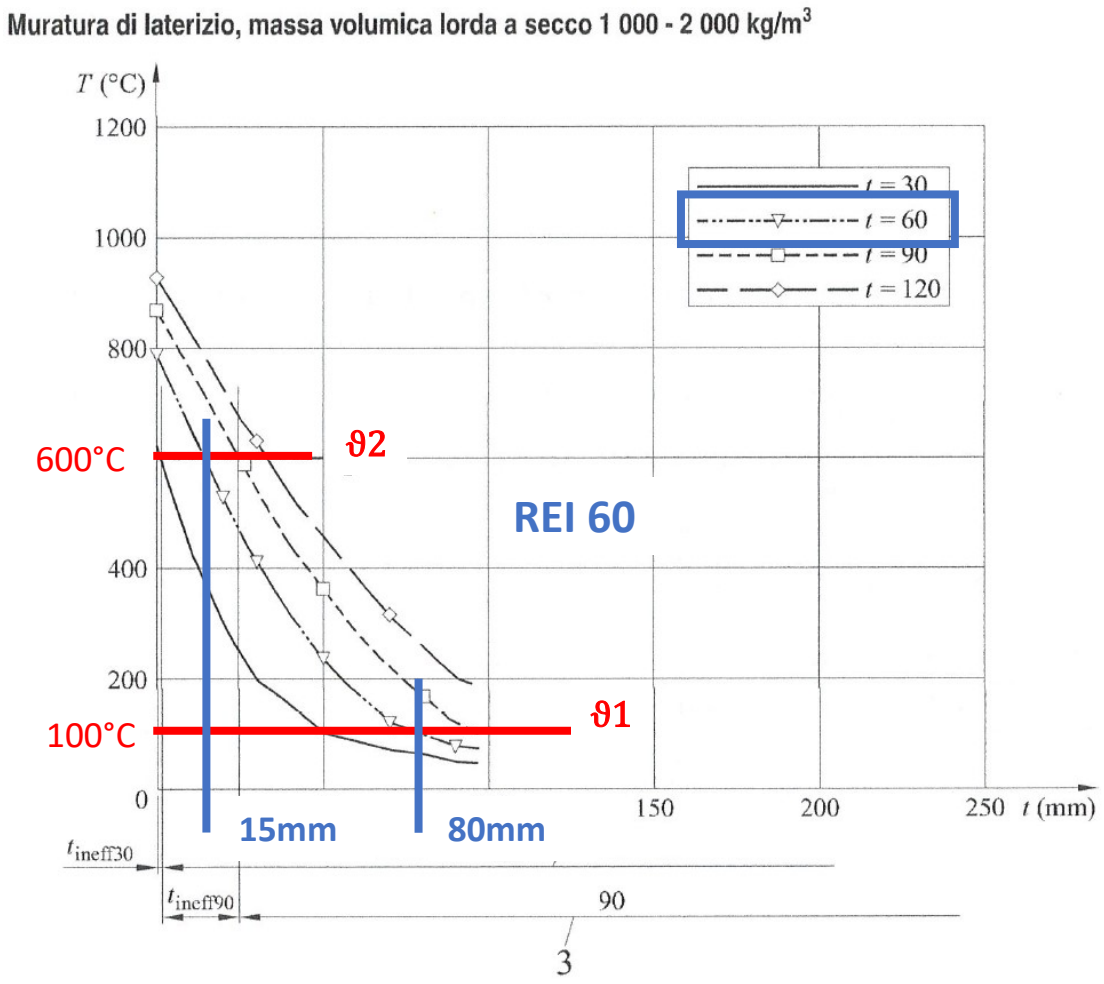
ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA

PROCEDIMENTO DI VERIFICA CON IL METODO SEMPLIFICATO

1) STIMA DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLO SLU PER COMB. ECCEZIONALE (NTC 2018)

2) DETERMINAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA

ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA



ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA

PROCEDIMENTO DI VERIFICA CON IL METODO SEMPLIFICATO

1) STIMA DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLO SLU PER COMB. ECCEZIONALE (NTC 2018)

2) DETERMINAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA

$t_{ineff60}$ = 15mm = 1,5cm

$t_{\vartheta 2}$ = 80 - 15 = 65mm = 6,5cm ⟶ $\mathbf{A_{\vartheta 2}}$ = 6,5 * 150 = $\mathbf{975cm^2}$

$t_{\vartheta 1}$ = 300 - 80 = 220mm = 22cm ⟶ $\mathbf{A_{\vartheta 1}}$ = 22 * 150 = $\mathbf{3300cm^2}$

ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA

PROCEDIMENTO DI VERIFICA CON IL METODO SEMPLIFICATO

1) STIMA DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLO SLU PER COMB. ECCEZIONALE (NTC 2018)

2) DETERMINAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA

3) VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA MURATURA ALLE TEMP $\vartheta 1$ E $\vartheta 2$

POSTO CHE:

$f_{d\vartheta 1} = f_d$ (ovvero, al di sotto di $\vartheta 1$, la resistenza è il 100% di quella in cond. standard)

$f_{d\vartheta 2} = c \cdot f_{d\vartheta 1}$ (dove c rappresenta una costante che la Lettera Circolare del Ministero dell'Intero del 05 Aprile 2013 prot. 4638 ha indicato di considerare cautelativamente pari a 0)

$$\mathbf{f_{d\vartheta 1} = f_d = 38{,}5\ daN/cm^2}$$

$$\mathbf{f_{d\vartheta 2} = c \cdot f_{d\vartheta 1} = 0 \cdot f_{d\vartheta 1} = 0}$$

ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA

PROCEDIMENTO DI VERIFICA CON IL METODO SEMPLIFICATO

1) STIMA DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLO SLU PER COMB. ECCEZIONALE (NTC 2018)

2) DETERMINAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA

3) VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA MURATURA ALLE TEMP $\vartheta 1$ E $\vartheta 2$

4) VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO DELLA MURATURA

$$N_{Rd,fi\vartheta 2} = \Phi\,(f_{d\vartheta 1}\,A_{\vartheta 1} + f_{d\vartheta 2}\,A_{\vartheta 2})$$

POSTO, $\Phi = 0{,}87$

$$\mathbf{N_{Rd,fi\vartheta 2}} = 0{,}87 \cdot (38{,}5 \cdot 3300 + 0 \cdot 975) = \mathbf{110533\ daN}$$

ESEMPIO APPLICATIVO: PARETE PORTANTE SCUOLA

PROCEDIMENTO DI VERIFICA CON IL METODO SEMPLIFICATO

1) STIMA DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO ALLO SLU PER COMB. ECCEZIONALE (NTC 2018)

2) DETERMINAZIONE DELLA PORZIONE INEFFICACE E DI QUELLA RESIDUA

3) VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA MURATURA ALLE TEMP $\vartheta 1$ E $\vartheta 2$

4) VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA DI PROGETTO DELLA MURATURA

5) CONFRONTO TRA RESISTENZA E SOLLECITAZIONE DI PROGETTO

$$N_{Ed} \leq N_{Rd,fi\vartheta 2}$$

96000 daN ≤ 110533 daN OK!

CONCLUSIONI

1) METODO PER CERTI VERSI APPROSSIMATIVO SOPRATTUTTO VISTA LA MANCANZA DI UN'APPENDICE NAZIONALE CHE CONSENTA UNA CORRETTA VALUTAZIONE DI $f_{d\vartheta 2}$

2) VERIFICA CHE SI RIDUCE AD UNA MERO CONFRONTO TRA AZIONE STATICA STANDARD E RESISTENZA ASSOCIATA AD UNA SEZIONE RIDOTTA

3) PROCEDIMENTO UTILE ANCHE PER UNA VALUTAZIONE DI MASSIMA DEL PARAMETRO DI ISOLAMENTO I DELLA PARETE: SE L'ISOTERMA $\vartheta 1$ INFATTI È RICOMPRESA ALL'INTERNO DELLO SPESSORE DELLA PARETE SIGNIFICA CHE AL TEMPO t (NEL NOSTRO CASO 60 MINUTI) LA SUPERFICIE NON ESPOSTA È CERTAMENTE CARATTERIZZATA DA UNA TEMPERATURA INFERIORE A 100°C.

GRAZIE