

Comune di Annone Veneto
Citta Metropolitana di Venezia

Zanet  Scorzon

STUDIO DI INGEGNERIA

Via Prati Guori, 35 - 30026 Portogruaro (VE) - P.IVA 03582700278
Tel. +39-0421-72533 - mail: studio@zanetscorzon.it

Progetto per la realizzazione di un edificio polivalente
funzionale alla cucina scolastica di Annone Veneto
PROGETTO ESECUTIVO

Tav. E.23A

Relazione di resistenza al fuoco R30

Committente

| | |
|--|---|
| COMUNE DI ANNONE VENETO Piazza Vittorio Veneto 1 30020 – Annone Veneto (VE) | |
| Ubicazione: | Piazzale del Donatore 30020 – Annone Veneto (VE) |
| IL TECNICO: | Dott. Ing. Alessandro Scorzon |

Portogruaro Ottobre 2020

TAV. E.23A

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

Oggetto delle opere: **PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN EDIFICIO POLIVALENTE FUNZIONALE ALLA CUCINA SCOLASTICA DI ANNONE VENETO**
-Progetto esecutivo-

Ubicazione: Piazzale del Donatore
30020 - Annone Veneto (VE)

Committente: Comune di Annone Veneto
Piazza Vittorio Veneto, 1
30020 - Annone Veneto (VE)

CLASSI DI ESPOSIZIONE E MATERIALI DA IMPIEGARE:

| | |
|---|---|
| Classe di esposizione delle opere di fondazione secondo linee guida EN 206: | XC2 |
| Classe di esposizione delle opere di fondazione secondo linee guida EN 206: | 2/a |
| Classe di resistenza del calcestruzzo – <u>Fondazioni</u> – secondo UNI EN 206-1 2006: | C 25/30 Rapporto A/C=0.6, Dmax=25mm, consistenza S3 |
| Acciaio per c.a.: | B450C controllato in stabilimento $f_y/f_{yk} \geq 1.15$ $(f_t/f_{yk})_{medio} \leq 1.35$. |
| Cemento per c.a.: | Portland 325 in quantità maggiore di 300 Kg/mc |
| Inerti per c.a.: | Sabbia 0.40 mc e ghiaia 0.80 con percentuali e diametro conformi alle composizioni granulometriche prescritte dalla normativa: tali inerti devono essere privi di sostanze organiche o comunque dannose al conglomerato cementizio armato. |
| Acqua | Conforme a UNI EN 1008 - 2003 Limpida, dolce, priva da impurità di natura organica, e con contenuto di solfuri e cloruri inferiore a percentuali dannose |
| Additivi | Conformi a UNI 934-2 |
| Acciaio da carpenteria secondo EN10025, EN10210 e EN10219-1 | S235JR ($f_{yk} = 2350$ kg/cm ² e $f_{tk} = 3600$ kg/cm ²) S355JR ($f_{yk} = 3550$ kg/cm ² e $f_{tk} = 51000$ kg/cm ²) –piastrame e tirafondi |
| Bulloni da carpenteria conformi alle UNI EN 15048 | Vite: classe 8.8 ($f_{yb} = 6490$ kg/cm ² e $f_{tb} = 8000$ kg/cm ²) Dado: classe 8 ($f_{yb} = 6490$ kg/cm ² e $f_{tb} = 8000$ kg/cm ²) |
| Saldature conformi a UNI EN ISO3834, UNI EN ISO287-1-2011, UNI EN ISO5817, UNI EN ISO14731-ISO15607-ISO15609-1-ISO15614-1 | A cordone d'angolo 7x7mm (sezione di gola ≈ 5 mm) |
| CLASSE DI ESECUZIONE DELL'OPERA EN – 1090 -1/2 | EXC2 |

Il Direttore dei Lavori

Il Progettista delle strutture

1.1 Descrizione dell'intervento

Il capannone oggetto della seguente relazione sorge nel Comune di Annone Veneto (VE).

La progettazione strutturale sarà stata eseguita secondo le **NTC - DM 17/01/2018** e riguarda la progettazione di una tettoia in acciaio.

La sala polivalente è caratterizzata da una pianta trapezoidale inscritta in un rettangolo di dimensioni di 14.00x21.50m circa ed altezza massima di 6.20m al colmo.

La struttura è caratterizzata da 3 intelaiature principali costituite da colonne in Tubo 220x200*6.3 S235JR ad interasse 10.00m circa e relativa capriata con briglia superiore sempre in Tubo 200*100*6.3 S235JR e catena in Tubo 100*100*4.0 S235JR. Le intelaiature presentano un primo passo di 9.50m ed un secondo di 12.00m circa. Sono collegate da travi di banchina di h=1.20m con briglia superiore, inferiore e aste di parete in Tubo 200*100*5.0 S235JR sulle quali poggiano le capriate nel primo tratto con passo di 4.75m mentre nel secondo 4.03m. nel secondo tratto di 12.00m la briglia superiore prosegue con la sua pendenza fino alla linda del fabbricato esistente adibito a cucina dal quale la nostra struttura è completamente indipendente.

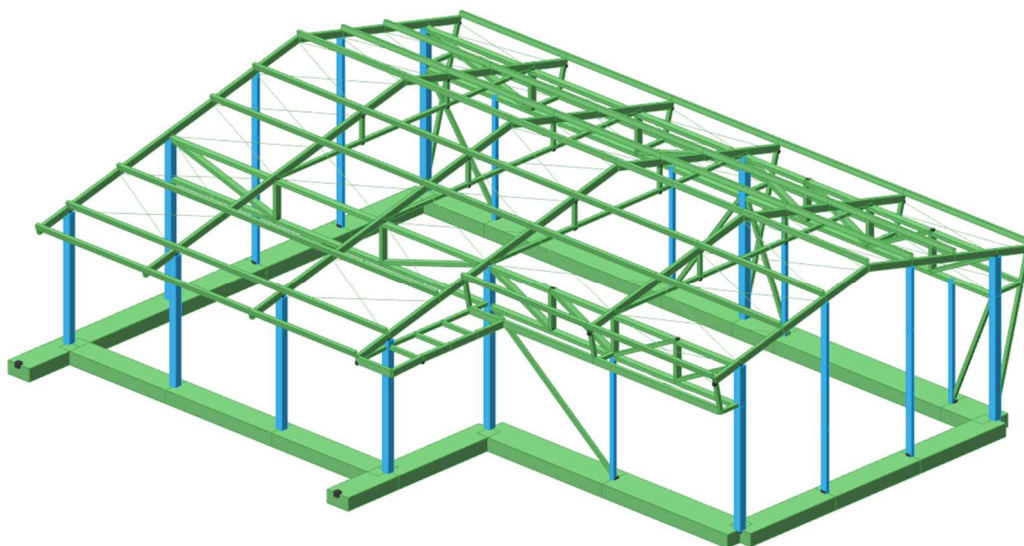
La briglia prosegue per circa 6m e quindi è stata posizionata un'ulteriore fila di colonna sempre in Tubo 220*200*6.3 a circa 4.00m da quelle principali, limitando lo sbalzo a 2.00m. Sui timpani le capriate poggiano su colonne in Tubo 200*100*5.0 S235JR.

Sul prospetto est trova posizione una copertura in polycarbonato con orditura un tubolari 120*80*4.0 a passo 1m in appoggio su travi di banchina collegate alla struttura principale.

La struttura di copertura è costituita da arcarecci in TU-150x100x3 S235JR. Si prevede inoltre la realizzazione di croci di controvento di falda tramite la posa di tondi $\phi 16$.

L'edificio in esame viene verificato e progettato assumendo, sia per gli stati limite di esercizio che per gli stati limite ultimi, un comportamento **strutturale non dissipativo. Non risulta quindi necessario assicurare alla struttura un comportamento strutturale dissipativo e duttile nei confronti dell'azione sismica e ricorrere quindi ai principi di gerarchia delle resistenze.**

Per una migliore comprensione dell'ossatura portante" si riporta lo schema del modello solido implementato nel programma di calcolo:



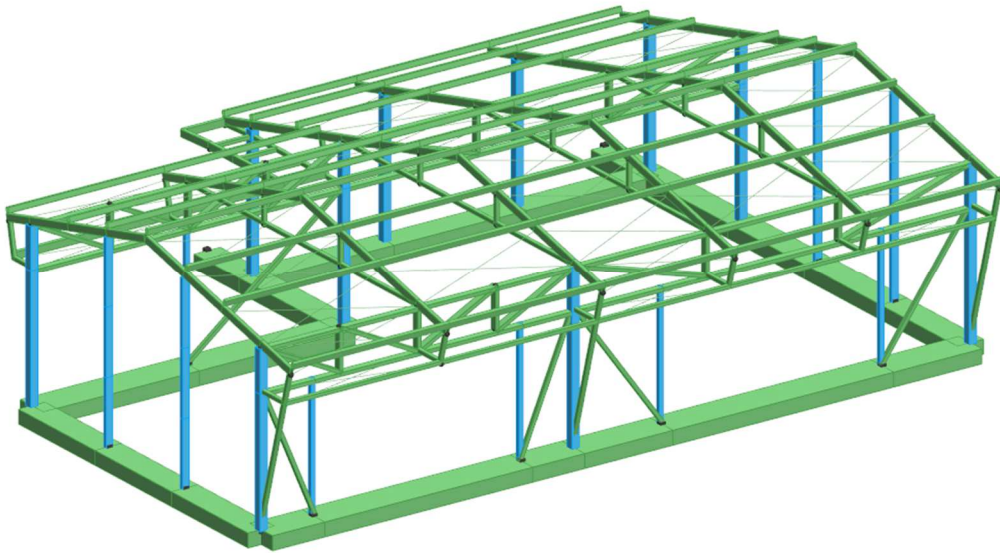
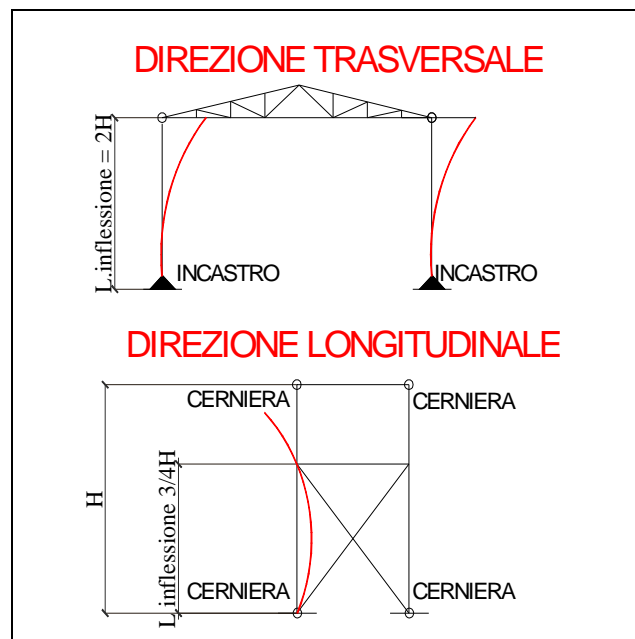


Figura 1 – modello di calcolo 3D

1.1.1 Schemi statici



1.2 Azioni sulla struttura e carichi applicati

Sulla struttura oltre al peso proprio degli elementi strutturali e non, il cui valore verrà indicato nei capitoli seguenti, agisce il carico neve, il carico da vento e l'azione sismica come definita dalle norme NTC 14 / 01 / 2008.

In particolare:

1.2.1 Peso proprio struttura

| | |
|----------------|--|
| Peso struttura | Calcolato automaticamente dal programma di calcolo |
|----------------|--|

1.2.2 Carico permanente non strutturale

1. Pannello di copertura → 12kg/mq
2. Controsoffitto/impianti → 20 kg/mq

1.2.3 Carico neve

Il carico provocato dalla neve sulla copertura è valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t$$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura ;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura che è pari a 0,8;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo, pari a 100 [kg/m²] per la zona II (Venezia);

C_E è il coefficiente di esposizione pari a 1;

C_t è il coefficiente termico pari a 1

Si fa riferimento per il carico neve ad un tempo di ritorno di 75anni, pari alla vita di riferimento della struttura $V_r = 50 \times 1.5 = 75$ anni.

C3.4.2 VALORE DI RIFERIMENTO DEL CARICO DELLA NEVE AL SUOLO

Nel passaggio dalle precedenti alle attuali NTC si conserva la suddivisione del territorio nazionale in tre zone (viene anche confermata la suddivisione della zona I in due sottozone: alpina e mediterranea) che conservano immutato sia i valori al suolo, sia l'incremento degli stessi con l'altitudine. Vengono però spostate 5 provincie dalla zona III alla zona II ed introdotte 3 provincie di nuova creazione (1 in zona I e 2 in zona II). Rispetto alle precedenti NTC nelle attuali vengono anche introdotti i periodi di ritorno da adottare per le fasi transitorie di durata compresa fra 1 e 3 mesi ovvero fra 3 mesi ed 1 anno.

Si può stimare un diverso valore di riferimento q_n , corrispondente a T_n anni di periodo di ritorno impiegando l'espressione C3.4.1.

In esse il coefficiente v di variazione della serie dei massimi annuali del carico della neve potrà essere assunto, salvo specifici studi adeguati e documentati, pari a $v = 0,6$.

$$q_{s_n} = q_{s_k} \left\{ \frac{1 - v \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - p_n)) + 0.57722]}{(1 - 2.5923v)} \right\} \quad [C3.4.1]$$

dove

q_{s_k} è il valore caratteristico del carico della neve al suolo (con un periodo di ritorno di 50 anni);

q_{s_n} è il carico della neve al suolo riferito ad un periodo di ritorno di n anni;

p_n è la probabilità annuale di superamento (approssimativamente equivalente a $1/n$, dove n è il corrispondente periodo di ritorno espresso in anni);

v è il coefficiente di variazione della serie dei massimi annuali del carico della neve, stimato per la regione considerata.

In riferimento alla figura C3.4.1n è il periodo di ritorno in anni, α_n è il rapporto $\frac{q_{s_n}}{q_{s_k}}$.

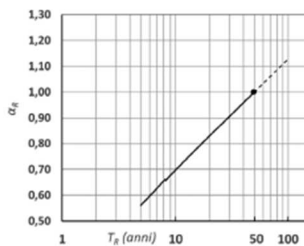


Figura C3.4.1 - Adattamento del carico della neve al suolo al variare del periodo di ritorno (coefficiente di variazione $v = 0,6$)

Estratto della Circolare Esplicativa delle NTC2018 n°7 del 21/01/2019

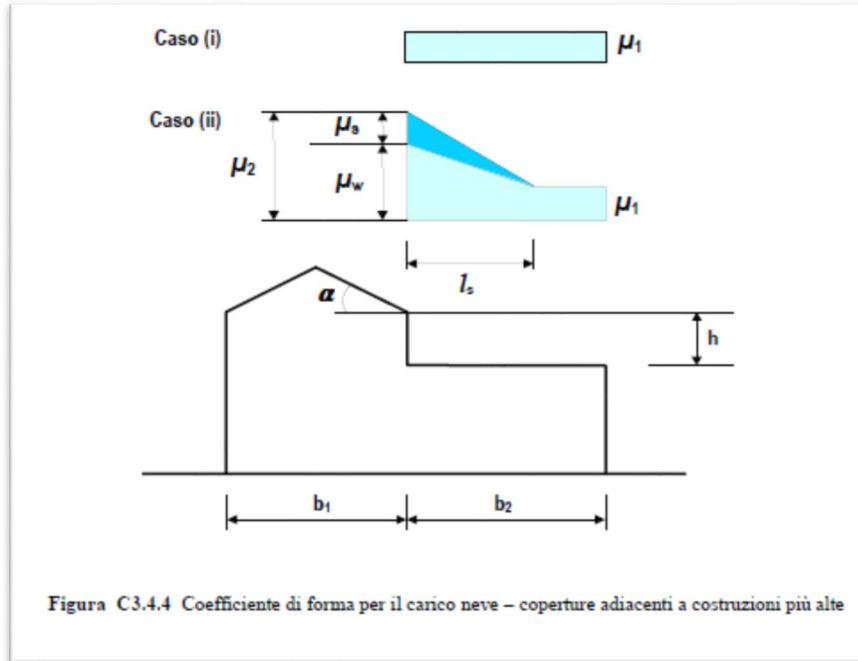
Dal grafico sopra riportato per una struttura con $V_r = 75$ anni e $v = 0.6 \rightarrow q_s = 1.075$ qsk

Quindi:

$$q_s = 0.8 \times (100 \times 1.075) \times 1 \times 1 = 86 \text{ kg/mq}$$

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

ACCUMULO NEVE SU PENSILINA IN POLICARBONATO:



I coefficienti di forma e le lunghezze di accumulo saranno prese come segue:

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

dove:

μ_s coefficiente di forma per il carico neve dovuto allo scivolamento della neve dalla copertura superiore per cui vale:

se $\alpha \leq 15^\circ$ $\mu_s = 0$ **NEL NOSTRO CASO $\alpha = 13.40^\circ$**

μ_w è il coefficiente di forma per il carico neve dovuto alla redistribuzione operata dal vento che vale:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2 * h} \leq \frac{\gamma * h}{q_{sk}} \text{ con la limitazione } 0,8 \leq \mu_w \leq 4,0 \text{ e } \gamma = 2 \text{ kN/mc}$$

$$l_s = 2 * h \text{ con la limitazione } 5 \leq l_s \leq 15m$$

Considerando un dislivello di 1.40 m ed una lunghezza di 12m del capannone adiacente, si determina un coefficiente di forma massimo in corrispondenza del dislivello:

$$\mu_w = \mu_s = 0 \rightarrow \frac{b_1 + b_2}{2 * h} \leq \frac{\gamma * h}{q_{sk}} = 200 * 1.40 / 100 = 2.80 \rightarrow \text{SI CONSIDERA UN CARICO MEDIO DI 240kg/mq}$$

1.2.4 Carico Vento

Annone Veneto (VE) → Zona 1 - Classe di rugosità C – distanza <30km dalla costa

Ne consegue : → **Categoria di esposizione del sito III**

La velocità base di riferimento v_b è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito ad un periodo di ritorno $T_R = 50$ anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche, v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_s \quad [3.3.1]$$

$v_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);

c_s è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_s = 1 \quad \text{per } a_1 \leq a_0$$

$$c_s = 1 + k_1 \left(\frac{a_1}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_1 \leq 1500 \text{ m} \quad [3.3.1.b]$$

dove:

a_0, k_1 sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);

a_1 è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

Tale zonazione non tiene conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente.

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_1

| Zona | Descrizione | $v_{b,0}$ [m/s] | a_0 [m] | k_1 |
|------|---|-----------------|-----------|-------|
| 1 | Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste) | 25 | 1000 | 0,40 |
| 2 | Emilia Romagna | 25 | 750 | 0,45 |
| 3 | Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria) | 27 | 500 | 0,37 |
| 4 | Sicilia e provincia di Reggio Calabria | 28 | 500 | 0,36 |
| 5 | Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) | 28 | 750 | 0,40 |
| 6 | Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena) | 28 | 500 | 0,36 |
| 7 | Liguria | 28 | 1000 | 0,54 |
| 8 | Provincia di Trieste | 30 | 1500 | 0,50 |
| 9 | Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto | 31 | 500 | 0,32 |

Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare, i valori della velocità base di riferimento possono essere ricavati da opportuna documentazione o da indagini statistiche adeguatamente comprovate, riferite alle condizioni locali di clima e di esposizione. Fatte salve tali valutazioni, comunque raccomandate in prossimità di vette e crinali, i valori utilizzati non dovranno essere minori di quelli previsti per 1500 m di altitudine.

Definizione della velocità di base di riferimento

La velocità di riferimento v_r è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito al periodo di ritorno di progetto T_R . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$v_r = v_b \cdot c_r \quad [3.3.2]$$

dove

v_b è la velocità base di riferimento, di cui al § 3.3.1;

c_r è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto T_R .

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione:

$$c_r = 0,75 \sqrt{1 - 0,2 \times \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \quad [3.3.3]$$

dove T_R è il periodo di ritorno espresso in anni.

Ove non specificato diversamente, si assumerà $T_R = 50$ anni, cui corrisponde $c_r = 1$. Per un'opera di nuova realizzazione in fase di costruzione o per le fasi transitorie relative ad interventi sulle costruzioni esistenti, il periodo di ritorno dell'azione potrà essere ridotto come di seguito specificato:

- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto non superiore a tre mesi, si assumerà $T_R \geq 5$ anni;
- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto compresa fra tre mesi ed un anno, si assumerà $T_R \geq 10$ anni;

Definizione della velocità di riferimento

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per la costruzione oggetto della seguente relazione, che viene definita "usuale", tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti come previsto nelle NTC.

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_r \times C_e \times C_p \times C_d$$

dove:

$c_a = 1$ (altitudine $a_s < a_0$) e $c_r = 1.024$ (costruzione con $V_r = 50 \times 1.5 = 75$ anni)

$v_r = v_b * c_r = 25 \text{ m/s} * 1.024 = 25.6 \text{ m/s}$ velocità di riferimento per $Tr = 75$ anni

$q_r = \frac{1}{2} * \rho * v_r^2 = \frac{1}{2} * 1.25 * (25 * 1.024)^2 = 40.96 \text{ kg/mq}$ è la pressione cinetica di riferimento per la zona I (Veneto) e con distanza dalla costa $> 30 \text{ km}$ e **tempo di ritorno $Tr = 75$ anni**;

c_e è il coefficiente di esposizione pari 1.82 per una categoria di esposizione III e altezza edificio 6.0m;

c_p è il coefficiente di pressione (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento che nel caso in esame viene preso pari a 1;

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali che nel caso in esame viene preso pari a 1.

Quindi:

$$p = 41 \times 1.82 \times 1 \times 1 = 75 \text{ kg/mq}$$

Per la determinazione dell'azione del vento in copertura in acciaio si fa riferimento a quanto previsto dal paragrafo C3.3.8.2 della *Circolare 21 gennaio 2019 n°7 - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018*

Coefficiente di pressione esterna

$h/d = 6/14 = 0.43$ rapporto maggiore considerato a favore di sicurezza.

Faccia sopravvento:

$h/d = 0.43$

$$c_{pe} = 0.7 + 0.1h/d = 0.74$$

$q_v = 75 \times 0.74 = 56 \text{ kg/mq}$ vento su parete sopravvento

Faccia sottovento:

$h/d = 0.43$

$$c_{pe} = -0.3 - 0.2h/d = -0.39$$

$q_v = 75 \times 0.39 = 29 \text{ kg/mq}$ vento su parete sottovento

Faccia laterale:

$h/d = 0.43$

$$c_{pe} = -0.5 - 0.8h/d = -0.84$$

$q_v = 75 \times 0.84 = 63 \text{ kg/mq}$ vento su parete laterale

Copertura (angolo di inclinazione $\alpha=13^\circ$)

Caso 1: Vento trasversale

Falda sopravvento

$$c_{pe} = \frac{\alpha}{75} = \frac{13}{75} = 0.17 \text{ compressione Tabella C3.3.V}$$

$$c_{pe} = -1.0 + (\alpha + 15)/75 = -0.63 \text{ aspirazione Tabella C3.3.V}$$

Falda sottovento

$$c_{pe} = -0.6 \text{ aspirazione Tabella C3.3.IX}$$

Caso 2: Vento longitudinale

$$c_{pe} = -0.8 - \alpha/150 = -0.88 \text{ aspirazione Tabella C3.3.X su fascia sopravvento min (14.00/2=7.00m;6m)}$$

$$c_{pe} = -0.5 \text{ aspirazione Tabella C3.3.X (su resto della copertura)}$$

Coefficiente di pressione interna

Paragrafo C3.3.8.5 della Circolare caso 2.

- 1 lato con superfici delle aperture almeno pari al doppio delle aperture sui rimanenti 3 lati $\rightarrow c_{pi} = 0.75 * c_{pe}$

1.2.5 Fuoco

Il metodo di analisi intrapreso, è quello della TEMPERATURA CRITICA:

4.2.4

Temperatura critica

P(1) In alternativa a 4.2.3, la verifica può essere ottenuta nel dominio della temperatura.

(2) Eccetto quando si considerano i criteri di deformazione la temperatura critica dell'acciaio $\theta_{a,cr}$ al tempo t può essere determinata per una distribuzione uniforme della temperatura, per ogni grado di utilizzazione μ_0 al tempo $t = 0$ utilizzando:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad [4.18]$$

(3) I valori di $\theta_{a,cr}$ per valori di μ_0 da 0,22 a 0,80 sono dati nel prospetto 4.1.

(4) Per gli elementi con sezioni trasversali di classe 1, classe 2 o classe 3 e per tutti gli elementi tesi, il grado di utilizzazione μ_0 al tempo $t = 0$ è dato da:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} \quad [4.19]$$

dove:

$R_{fi,d,0}$ è il valore di $R_{fi,d,t}$ per il tempo $t = 0$ come in 4.2.3;

$E_{fi,d}$ e $R_{fi,d,t}$ sono come definiti in 4.2.1(1).

I coeff. di combinazione $\psi_{1,i}$ con i quali si calcolerà la sollecitazione nella situazione di incendio fanno riferimento al prospetto 9.3 di EC1 è pari a:

| prospetto 9.3 Coefficienti ψ per gli edifici | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Azione | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 |
| Sovraccarichi sugli edifici ¹⁾ : | | | |
| categoria A: domestici e residenziali | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| categoria B: uffici | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| categoria C: aree di congresso | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| categoria D: aree di acquisto | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| categoria E: magazzini | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| Carichi del traffico negli edifici: | | | |
| categoria F: peso del veicolo ≤ 30 kN | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| categoria G: 30 kN < peso del veicolo ≤ 160 kN | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| categoria H: tetti | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Carichi da neve sugli edifici | 0,6 ²⁾ | 0,2 ²⁾ | 0,0 ²⁾ |
| Carichi da vento sugli edifici | 0,6 ²⁾ | 0,5 ²⁾ | 0,0 ²⁾ |
| Variazioni di temperatura (senza fuoco) negli edifici ³⁾ | 0,6 ²⁾ | 0,5 ²⁾ | 0,0 ²⁾ |
| Nota 1 - Per la combinazione di sovraccarichi per edifici multipiano, vedere ENV 1991-2-1. Nota 2 - Possono essere richieste delle modifiche per regioni geografiche differenti. Nota 3 - Vedere ENV 1991-2-5. | | | |

Nel nostro caso :

Peso proprio strutturale copertura (permanente strutturale) 40 kg/mq

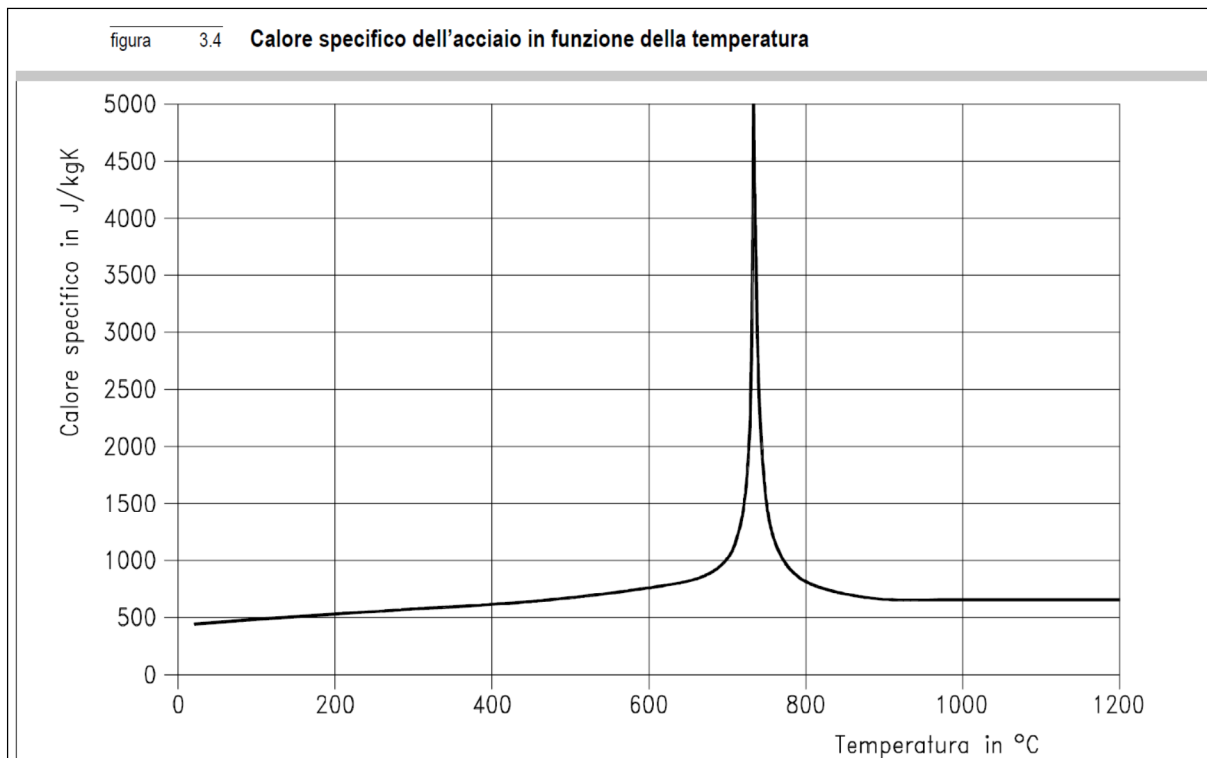
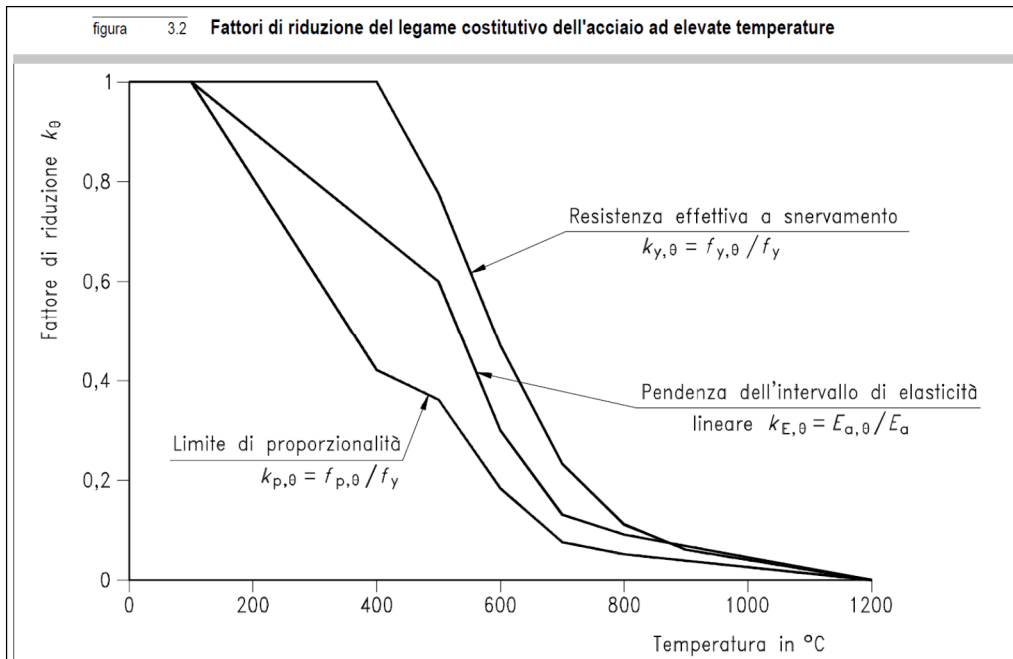
Peso proprio pannello di copertura-pannello controsoff (permanente non strutturale) 32 kg/mq

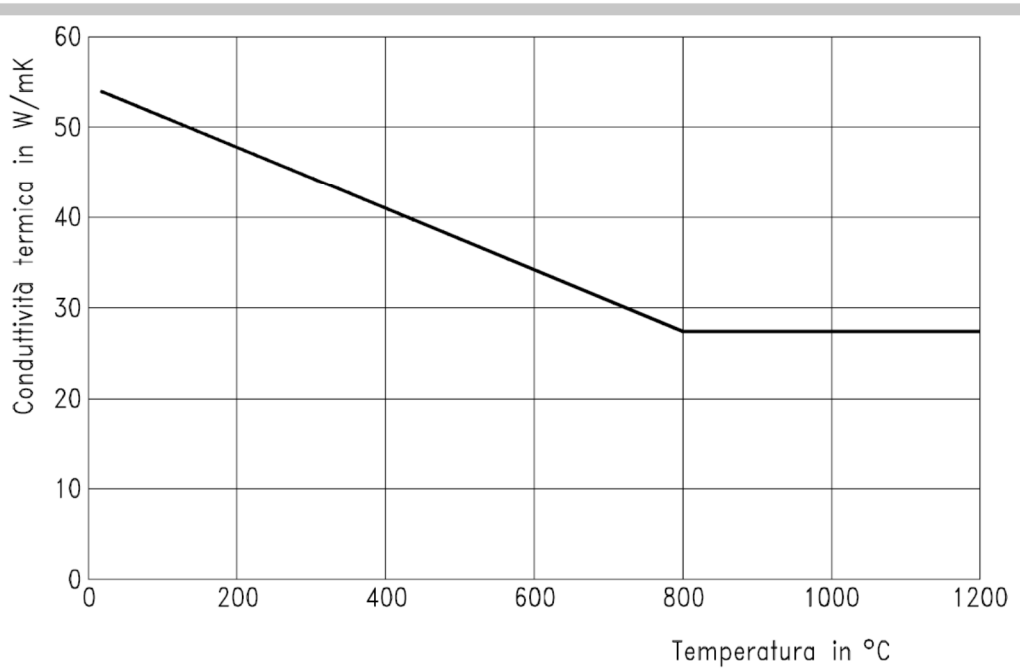
Neve (carico accidentale principale) 86 kg/mq

La combinazione eccezionale di carico utile in condizioni di incendio, è invece data da:

$$F_{fd} = \gamma_{gA} G_{k1} + \gamma_{gA} G_{k2} + \psi_{1.1} Q_{1k} = 1.00 \times 40 + 1.00 \times 32 + 0.2 \times 86 = 89 \text{ kg/mq}$$

Le proprietà di resistenza, di capacità termica e di conduttività dell'acciaio si modificano durante il variare della temperatura come rappresentato dalle figure 3.2, 3.4 e 3.5 di EC3-1-2 a seguito riportate:





La verifica procede ora secondo il criterio della “TEMPERATURA CRITICA” definito tale in quanto in funzione al grado di utilizzo (μ_0) dei vari elementi strutturali, inteso come l’impegno che ognuno di essi possiede sotto carico d’incendio, si individua dunque qual’è la temperatura limite (critica) oltre alla quale il profilo non è più in grado di soddisfare alle prestazioni strutturali e la si confronta con quella media raggiunta dal profilo al termine del periodo d’incendio richiesto. Se quest’ultima risulta inferiore alla temperatura critica allora la verifica è soddisfatta.

Pertanto sempre con riferimento all’EC3-1-2 par. 4.2.4, ho che la temperatura critica ed il grado di utilizzo, sono dati da:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{l}{0,9674 \mu_0^{3,833} - l} \right] + 482 \quad (4.22)$$

where μ_0 must not be taken less than 0,013.

NOTE : Examples for values of $\theta_{a,cr}$ for values of μ_0 from 0,22 to 0,80 are given in table 4.1.

(3) For members with Class 1, Class 2 or Class 3 cross-sections and for all tension members, the degree of utilization μ_0 at time $t = 0$ may be obtained from:

$$\mu_0 = E_{\bar{n},d} / R_{\bar{n},d,0} \quad (4.23)$$

where:

$R_{\bar{n},d,0}$ is the value of $R_{\bar{n},d,t}$ for time $t = 0$, from 4.2.3;

$E_{\bar{n},d}$ and $R_{\bar{n},d,t}$ are as defined in 4.2.1(1).

prospetto 4.1 Temperatura critica $\theta_{a,cr}$ in funzione del tasso di utilizzo μ_0

| μ_0 | $\theta_{a,cr}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}$ |
|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| 0,22 | 711 | 0,42 | 612 | 0,62 | 549 |
| 0,24 | 698 | 0,44 | 605 | 0,64 | 543 |
| 0,26 | 685 | 0,46 | 598 | 0,66 | 537 |
| 0,28 | 674 | 0,48 | 591 | 0,68 | 531 |
| 0,30 | 664 | 0,50 | 585 | 0,70 | 526 |
| 0,32 | 654 | 0,52 | 578 | 0,72 | 520 |
| 0,34 | 645 | 0,54 | 572 | 0,74 | 514 |
| 0,36 | 636 | 0,56 | 566 | 0,76 | 508 |
| 0,38 | 628 | 0,58 | 560 | 0,78 | 502 |
| 0,40 | 620 | 0,60 | 554 | 0,80 | 496 |

1.2.6 Verifica dei profili

1.2.6.1

Colonna TU-220x220x6.3 S235JR

Figura 2.17 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 1 o 2 in pressoflessione.

Figura 2.18 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 3 in pressoflessione.

TUBO

B= 220 mm

H= 220 mm 235

t= 6,3 mm 275

b= 201,1 mm 355

h= 201,1 mm

A= 5223,683 mmq

fy= 235 N/mmq

compr LATO B b/t 31,92 mm **Classe 1**

compr LATO H h/t 31,92 mm **Classe 1**

IL PROFILO E' IN CLASSE 1

| Classe | Acciaio | Lato B compresso |
|--------|---------|------------------|
| 1 | S235 | b/t ≤ 33 |
| 2 | | b/t ≤ 38 |
| 3 | | b/t ≤ 42 |
| 4 | | b/t > 42 |
| 1 | S275 | b/t ≤ 30,3 |
| 2 | | b/t ≤ 35 |
| 3 | | b/t ≤ 38,6 |
| 4 | | b/t > 38,6 |
| 1 | S355 | b/t ≤ 26,7 |
| 2 | | b/t ≤ 30,8 |
| 3 | | b/t ≤ 34 |
| 4 | | b/t > 34 |

Verifica in caso di incendio

Asta n. 17 (17 -23) Rc 22x22x0.63 P Crit. 1

- Verifica di stabilità aste presso-inflesse (C4.2.4.1.3.3.2) - CC 1 - Classe 3

Sollecitazioni: N,Ed=-5910.66 My,Ed=-298.46 Mz,Ed=-140.04

Resistenze: Nc,Rd=120527.00 My,c,Rd=8346.92 Mz,c,Rd=8346.92 L=370.00

$\alpha_{my}, \alpha_{mz}, \alpha_{LT} = 0.95, 0.95, 0.95$

$\lambda_y = 84.78$ Ncr,y=155273.00 $\lambda^*_y = 0.90$ Curva a: $\Phi_y = 0.98$ $\chi_y = 0.73$

$\lambda_z = 42.39$ Ncr,z=621092.00 $\lambda^*_z = 0.45$ Curva a: $\Phi_z = 0.63$ $\chi_z = 0.94$

Kyy, Kyz, Kzy, Kzz = 0.98, 0.96, 0.79, 0.96

Verifica YY: 0.05 + 0.04 + 0.02 = 0.10

Verifica ZZ: 0.05 + 0.03 + 0.02 = 0.09

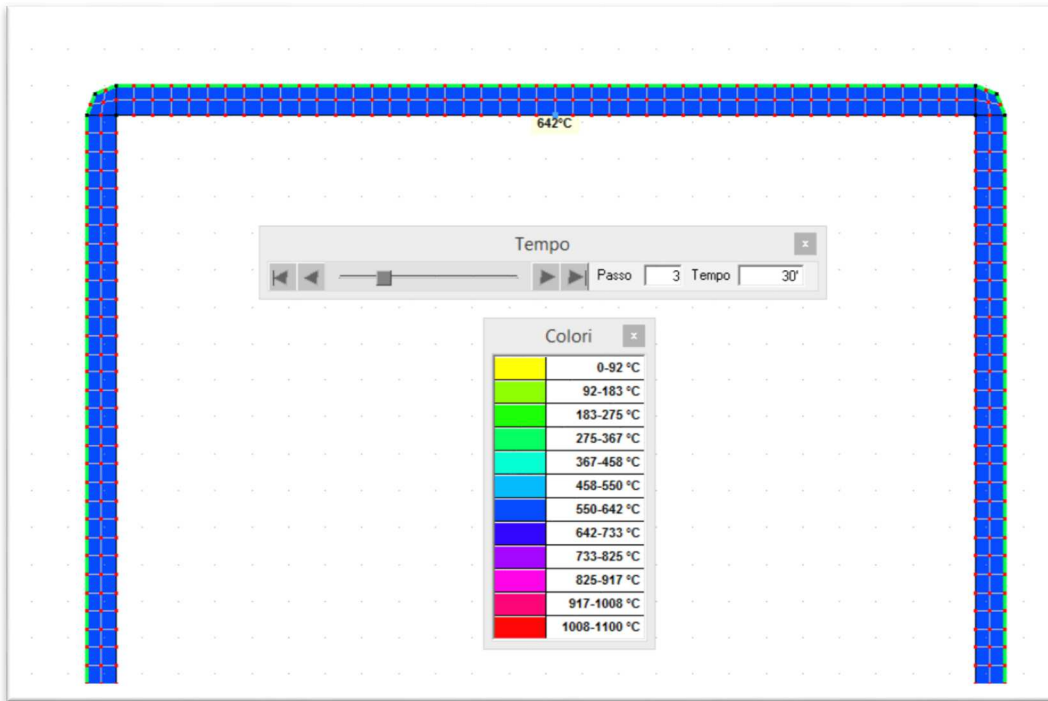
$\mu_0 = 0.1$

dove

parametro con il quale calcolo la temperatura critica del profilo tramite la precedente relazione 4.22 di norma:

$\theta_{a,cr} = 830 \text{ }^\circ\text{C}$

Sottoponendo quindi il profilo lungo il perimetro esposto, all'effetto dell'incendio tramite la curva ISO-834, in applicazione del metodo degli elementi finiti si ottiene all'istante corrispondente a 30 minuti il seguente stato termico:



$T_{max}=642^{\circ} < \text{contro } \theta_{crit}=830^{\circ}C \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$

1.2.6.2 Colonna di timpano TU-100*200*5 S235JR

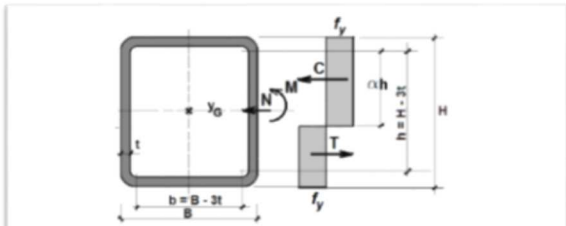


Figura 2.17 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 1 o 2 in prefflessione.

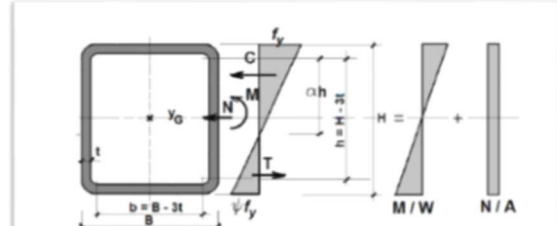


Figura 2.18 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 3 in prefflessione.

TUBO

| | | |
|-----|-----------------------|-----|
| B= | 200 mm | |
| H= | 200 mm | 235 |
| t= | 5 mm | 275 |
| b= | 185 mm | 355 |
| h= | 185 mm | |
| A= | 3783 mm ² | |
| fy= | 235 N/mm ² | |

compr LATO B b/t 37,00 mm **Classe 2**

compr LATO H h/t 37,00 mm **Classe 2**

IL PROFILO E' IN CLASSE 2

| Classe | Acciaio | Lato B compresso |
|--------|---------|------------------|
| 1 | S235 | $b/t \leq 33$ |
| 2 | | $b/t \leq 38$ |
| 3 | | $b/t \leq 42$ |
| 4 | | $b/t > 42$ |
| 1 | S275 | $b/t \leq 30,3$ |
| 2 | | $b/t \leq 35$ |
| 3 | | $b/t \leq 38,6$ |
| 4 | | $b/t \leq 38,6$ |
| 1 | S355 | $b/t \leq 26,7$ |
| 2 | | $b/t \leq 30,8$ |
| 3 | | $b/t \leq 34$ |
| 4 | | $b/t > 34$ |

Asta n. 36 (36 -4) Rc 20x10x0.5 P Crit. 1

- Verifica di stabilità aste presso-inflesse (C4.2.4.1.3.3.2) - CC 1 - Classe 3
Solicitazioni: N,Ed=-1361.02 My,Ed=14.70 Mz,Ed=-14.71
Resistenze: Nc,Rd=64904.80 My,c,Rd=2293.68 Mz,c,Rd=3407.31 L=189.78
 $\alpha_{my}, \alpha_{mz}, \alpha_{LT} = 0.95, 0.95, 0.95$
 $\lambda_y = 52.39$ Ncr,y=219029.00 $\lambda^*_y = 0.56$ Curva a: $\Phi_y = 0.69$ $\chi_y = 0.91$
 $\lambda_z = 45.15$ Ncr,z=294884.00 $\lambda^*_z = 0.48$ Curva a: $\Phi_z = 0.65$ $\chi_z = 0.93$
Kyy, Kyz, Kzy, Kzz = 0.96, 0.96, 0.77, 0.96
Verifica YY: 0.02 + 0.01 + 0.00 = 0.03
Verifica ZZ: 0.02 + 0.00 + 0.00 = 0.03

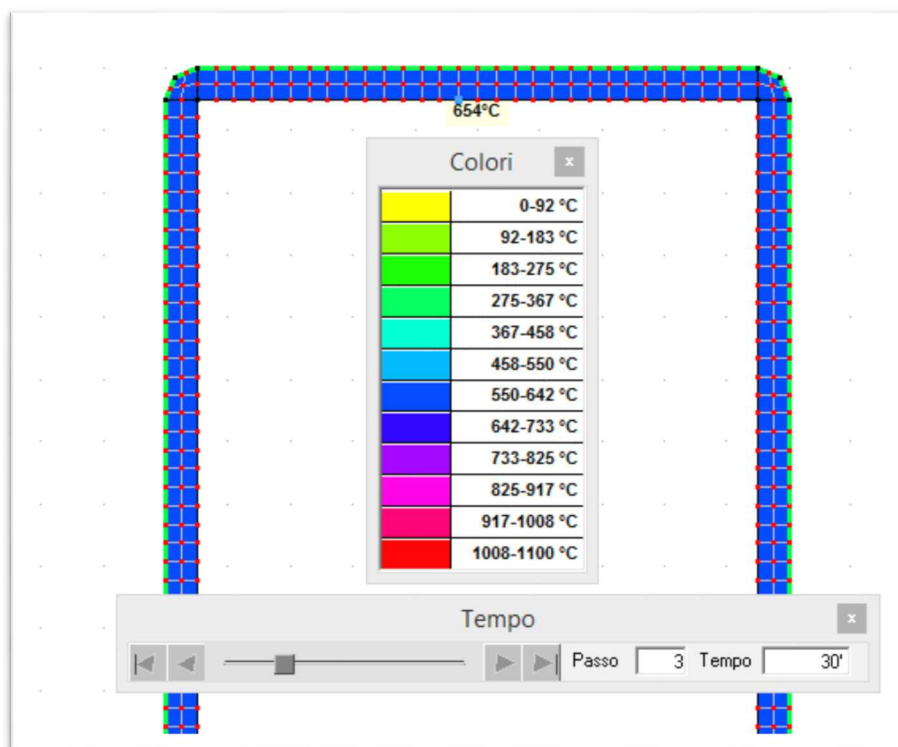
$\mu_0 = 0.03$

dove

parametro con il quale calcolo la temperatura critica del profilo tramite la precedente relazione 4.22 di norma:

$\theta_{a,cr} = 1000^\circ\text{C}$

Sottoponendo quindi il profilo lungo il perimetro esposto, all'effetto dell'incendio tramite la curva ISO-834, in applicazione del metodo degli elementi finiti si ottiene all'istante corrispondente a 30 minuti il seguente stato termico:



$T_{max}=654^\circ < \text{contro } \theta_{crit}=1000^\circ\text{C VERIFICA SODDISFATTA}$

1.2.6.3

Verifica della capriata

BRIGLIA SUPERIORE – TU-200x100x6.3 - S355JR

Asta n. 802 (708 -44) Rc 10x20x0.63 T Crit. 2

- Verifica di stabilità aste presso-inflesse (C4.2.4.1.3.3.2) - CC 1 - Classe 3

Sollecitazioni: N,Ed=-3460.68 My,Ed=793.59 Mz,Ed=-36.32
 Resistenze: Nc,Rd=81046.80 My,c,Rd=4192.67 Mz,c,Rd=2793.39 L=171.32

$\alpha_{my}, \alpha_{mz}, \alpha_{LT} = 0.95, 0.95, 0.95$

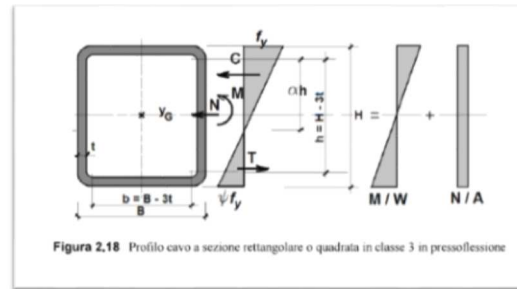
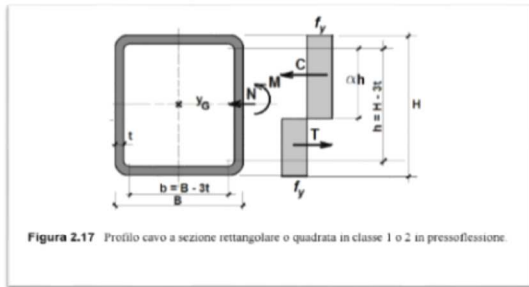
$\lambda_y = 23.82$ Ncr,y=1322830.00 $\lambda^*_y = 0.25$ Curva a: $\Phi_y = 0.54$ $\chi_y = 0.99$

$\lambda_z = 41.27$ Ncr,z=440672.00 $\lambda^*_z = 0.44$ Curva a: $\Phi_z = 0.62$ $\chi_z = 0.94$

Kyy, Kyz, Kzy, Kzz = 0.96, 0.96, 0.77, 0.96

Verifica YY: 0.04 + 0.18 + 0.01 = 0.24

Verifica ZZ: 0.04 + 0.14 + 0.01 = 0.20



TUBO

B= 200 mm
 H= 100 mm 235
 t= 6,3 mm 275
 b= 181,1 mm 355
 h= 81,1 mm
 A= 3512,603 mmq

fy= 235 N/mmq

compr LATO B b/t 28,75 mm **Classe 1**

compr LATO H h/t 12,87 mm **Classe 1**

IL PROFILO E' IN CLASSE 1

| Classe | Acciaio | Lato B compresso |
|--------|---------|------------------|
| 1 | S235 | b/t ≤ 33 |
| 2 | | b/t ≤ 38 |
| 3 | | b/t ≤ 42 |
| 4 | | b/t > 42 |
| 1 | S275 | b/t ≤ 30,3 |
| 2 | | b/t ≤ 35 |
| 3 | | b/t ≤ 38,6 |
| 4 | | b/t > 38,6 |
| 1 | S355 | b/t ≤ 26,7 |
| 2 | | b/t ≤ 30,8 |
| 3 | | b/t ≤ 34 |
| 4 | | b/t > 34 |

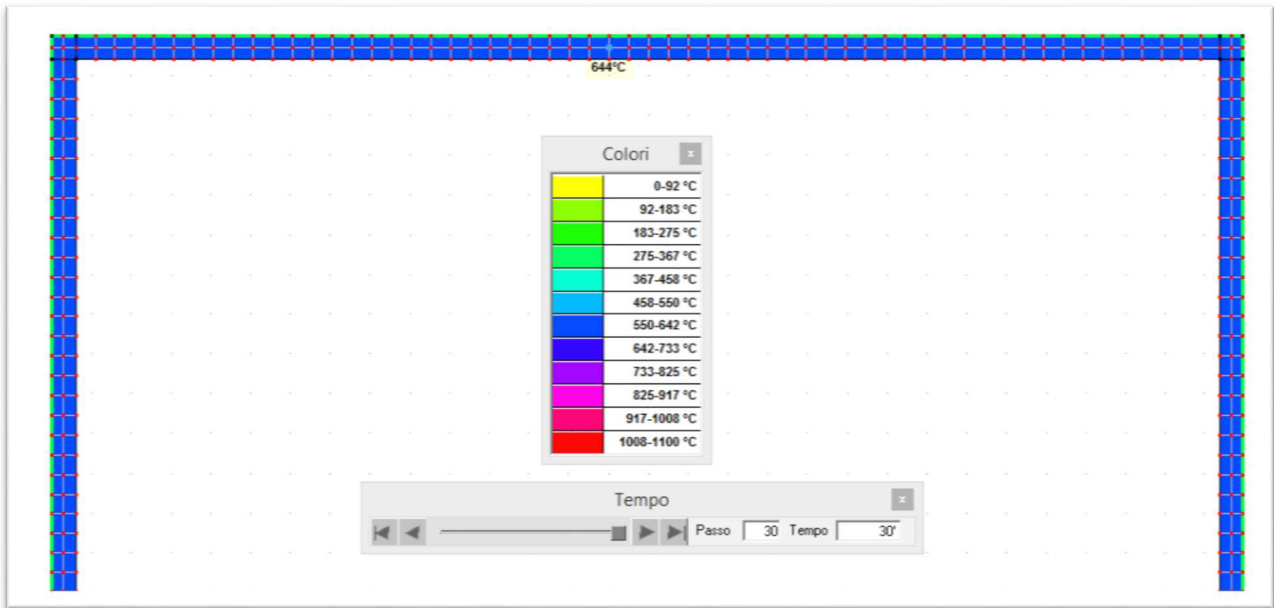
$\mu_0 = 0.30$

dove

parametro con il quale calcolo la temperatura critica del profilo tramite la precedente relazione 4.22 di norma:

$\theta_{a,cr} = 697^\circ\text{C}$

Sottoponendo quindi il profilo lungo il perimetro esposto, all'effetto dell'incendio tramite la curva ISO-834, in applicazione del metodo degli elementi finiti si ottiene all'istante corrispondente a 30 minuti il seguente stato termico:



$T_{max}=644^{\circ} < \text{contro } \theta_{crit}=697^{\circ}C \text{ VERIFICA SODDISFATTA}$

BRIGLIA INFERIORE – TU-100x100x4 – S235JR

Asta n. 703 (718 719) Rc 10x10x0.4 T Crit. 2

- Verifica in termini tensionali (4.2.5) - CC 1 X1=0.00 - Classe 3
- Sollecitazioni: $N=4092.25$ $T_z = -7.99$ $M_y = -60.36$ $T_y = 1.93$ $M_z = 1.27$ $M_x = -2.29$
- Tensioni: $\sigma_N = 266.42$ $\sigma_M = 130.39$ $\tau = 3.11$ $\sigma_{max} = 396.81$
- Tensioni: $\sigma_N = 266.42$ $\sigma_M = 2.47$ $\tau = 4.28$ $\tau_{max} = 4.28$
- Tensioni: $\sigma_N = 266.42$ $\sigma_M = 130.39$ $\tau = 3.11$ $\sigma_{TD, max} = 396.85$

Figura 2.17 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 1 o 2 in pressoflessione.

Figura 2.18 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 3 in pressoflessione.

TUBO

| | | |
|-----|-------------------------|-----|
| B= | 100 mm | 235 |
| H= | 100 mm | 275 |
| t= | 4 mm | 355 |
| b= | 88 mm | |
| h= | 88 mm | |
| A= | 1489,92 mm ² | |
| fy= | 235 N/mm ² | |

| | | | |
|--------------|-----|----------|----------|
| compr LATO B | b/t | 22,00 mm | Classe 1 |
| compr LATO H | h/t | 22,00 mm | Classe 1 |

IL PROFILO E' IN CLASSE 1

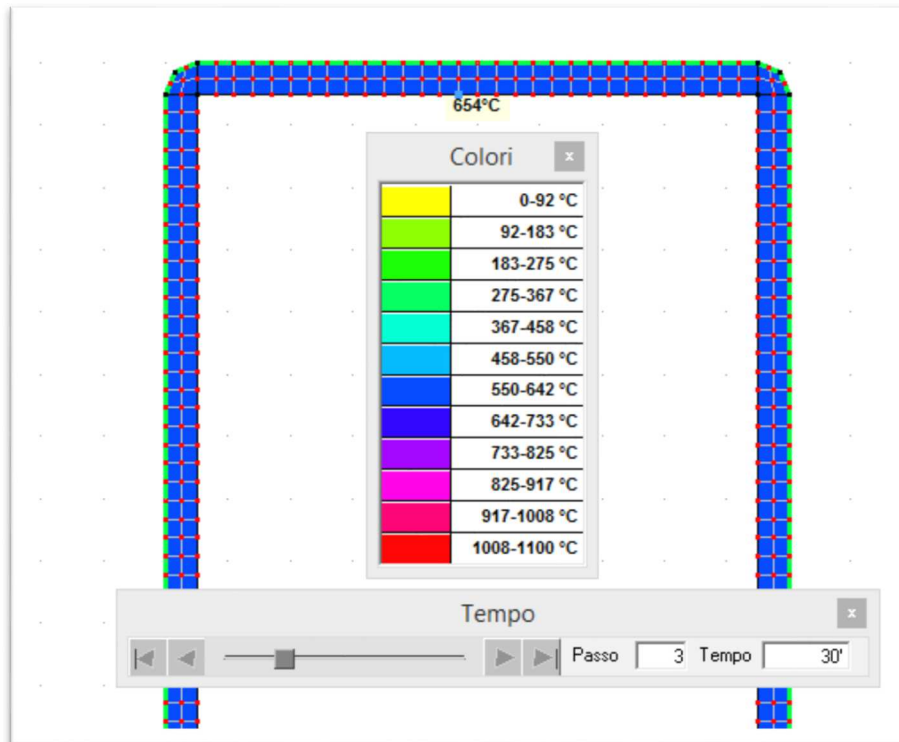
| Classe | Acciaio | Lato B compresso |
|--------|---------|------------------|
| 1 | S235 | $b/t \leq 33$ |
| 2 | | $b/t \leq 38$ |
| 3 | | $b/t \leq 42$ |
| 4 | | $b/t > 42$ |
| 1 | S275 | $b/t \leq 30,3$ |
| 2 | | $b/t \leq 35$ |
| 3 | | $b/t \leq 38,6$ |
| 4 | | $b/t > 38,6$ |
| 1 | S355 | $b/t \leq 26,7$ |
| 2 | | $b/t \leq 30,8$ |
| 3 | | $b/t \leq 34$ |
| 4 | | $b/t > 34$ |

$\mu_0 = 0.17$
dove

parametro con il quale calcolo la temperatura critica del profilo tramite la precedente relazione 4.22 di norma:

$$\theta_{a,cr} = 750^{\circ}\text{C}$$

Sotto ponendo quindi il profilo lungo il perimetro esposto, all'effetto dell'incendio tramite la curva ISO-834, in applicazione del metodo degli elementi finiti si ottiene all'istante corrispondente a 30 minuti il seguente stato termico:



$T_{max}=654^{\circ} < \text{contro } \theta_{crit}=750^{\circ}\text{C VERIFICA SODDISFATTA}$

1.2.6.4

Verifica della trave di banchina

1.2.6.4.1.1 Briglia superiore TU-100*200*5 S235JR

Asta n. 994 (727 734) Rc 20x10x0.5 T Crit. 2

- Verifica di stabilità aste presso-inflesse (C4.2.4.1.3.3.2) - CC 1 - Classe 3

Sollecitazioni: $N, Ed = -5204.42$ $M_y, Ed = 183.08$ $M_z, Ed = 2.89$

Resistenze: $N_c, Rd = 64904.80$ $M_y, c, Rd = 2293.68$ $M_z, c, Rd = 3407.31$ $L = 403.30$

$\alpha_{my}, \alpha_{mz}, \alpha_{LT} = 0.95, 0.95, 0.95$

$\lambda_y = 55.66$ $N_{cr,y} = 193998.00$ $\lambda^*_y = 0.59$ Curva a: $\Phi_y = 0.72$ $\chi_y = 0.89$

$\lambda_z = 95.94$ $N_{cr,z} = 65295.90$ $\lambda^*_z = 1.02$ Curva a: $\Phi_z = 1.11$ $\chi_z = 0.65$

$K_{yy}, K_{yz}, K_{zy}, K_{zz} = 0.98, 1.02, 0.78, 1.02$

Verifica YY: $0.09 + 0.08 + 0.00 = 0.17$

Verifica ZZ: $0.12 + 0.06 + 0.00 = 0.19$

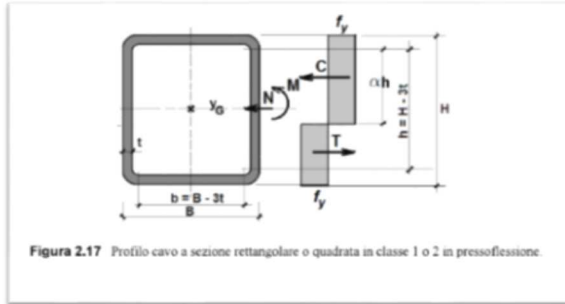


Figura 2.17 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 1 o 2 in pressoflessione.

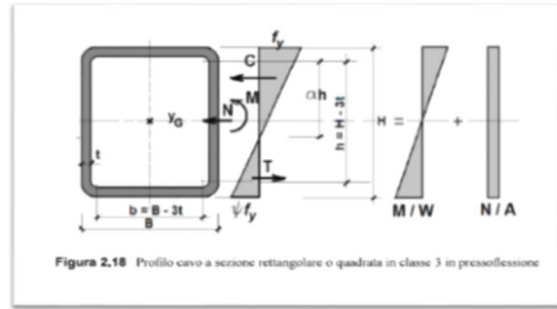


Figura 2.18 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 3 in pressoflessione.

TUBO

B= 200 mm
H= 200 mm 235
t= 5 mm 275
b= 185 mm 355
h= 185 mm
A= 3783 mmq

$f_y = 235$ N/mmq

compr LATO B b/t 37,00 mm Classe 2

compr LATO H h/t 37,00 mm Classe 2

IL PROFILO E' IN CLASSE 2

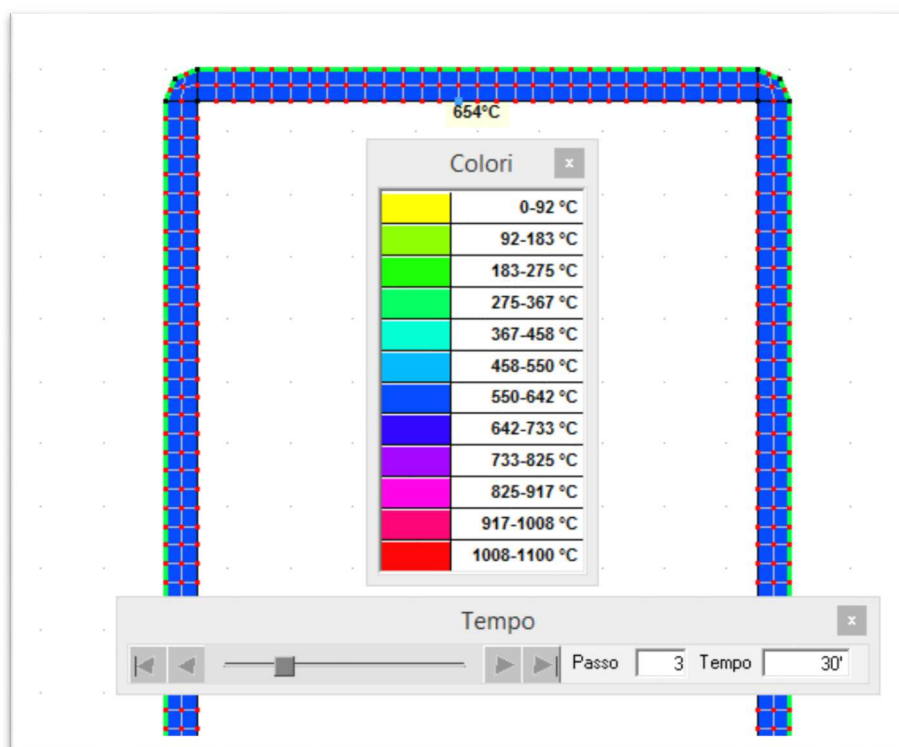
| Classe | Acciaio | Lato B compresso |
|--------|---------|------------------|
| 1 | S235 | $b/t \leq 33$ |
| 2 | | $b/t \leq 38$ |
| 3 | | $b/t \leq 42$ |
| 4 | | $b/t > 42$ |
| 1 | S275 | $b/t \leq 30,3$ |
| 2 | | $b/t \leq 35$ |
| 3 | | $b/t \leq 38,6$ |
| 4 | | $b/t > 38,6$ |
| 1 | S355 | $b/t \leq 26,7$ |
| 2 | | $b/t \leq 30,8$ |
| 3 | | $b/t \leq 34$ |
| 4 | | $b/t > 34$ |

$\mu_0 = 0.17$

dove

parametro con il quale calcolo la temperatura critica del profilo tramite la precedente relazione 4.22 di norma:

$\theta_{a,cr} = 732^\circ\text{C}$



$T_{max}=654^{\circ} < \text{contro } \theta_{crit}=732^{\circ}\text{C VERIFICA SODDISFATTA}$

La verifica delle restanti aste della trave di banchina viene omessa vista la parità del profilo ed il minor grado di utilizzo.

1.2.6.5

Arcareccio TU-150*100*3.0 S235JR – elemento in flessione

Figura 2.17 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 1 o 2 in pressoflessione.

Figura 2.18 Profilo cavo a sezione rettangolare o quadrata in classe 3 in pressoflessione

TUBO

| | | |
|-----|-------------|-----|
| B= | 100 mm | |
| H= | 150 mm | 235 |
| t= | 3 mm | 275 |
| b= | 91 mm | 355 |
| h= | 141 mm | |
| A= | 1420,08 mmq | |
| fy= | 235 N/mmq | |

| | | | | | |
|-----------|--------|-----|----------|--------|---|
| compr | LATO B | b/t | 30,33 mm | Classe | 1 |
| flessione | LATO H | h/t | 47,00 mm | Classe | 1 |

IL PROFILO E' IN CLASSE 1

2.3.2 Profili cavi a sezione rettangolare o quadrata in flessione semplice attorno all'asse maggiore d'inerzia

I profili cavi rettangolari o quadrati in flessione semplice attorno all'asse maggiore si classificano in base a quanto prescritto nella tabella 2.6. Per i simboli vedi figura 2.15.

Come logico, le prescrizioni per il lato B compresso per la flessione sono le stesse di quelle date prima per lo stesso lato in compressione semplice, il lato teso non ha prescrizioni e il lato H ha in flessione prescrizioni meno gravose che in compressione.

Adesso vediamo come calcolare le caratteristiche statiche efficaci della sezione, nel caso che essa sia in classe 4.

Tabella 2.6 Classificazione sezioni ad H in flessione

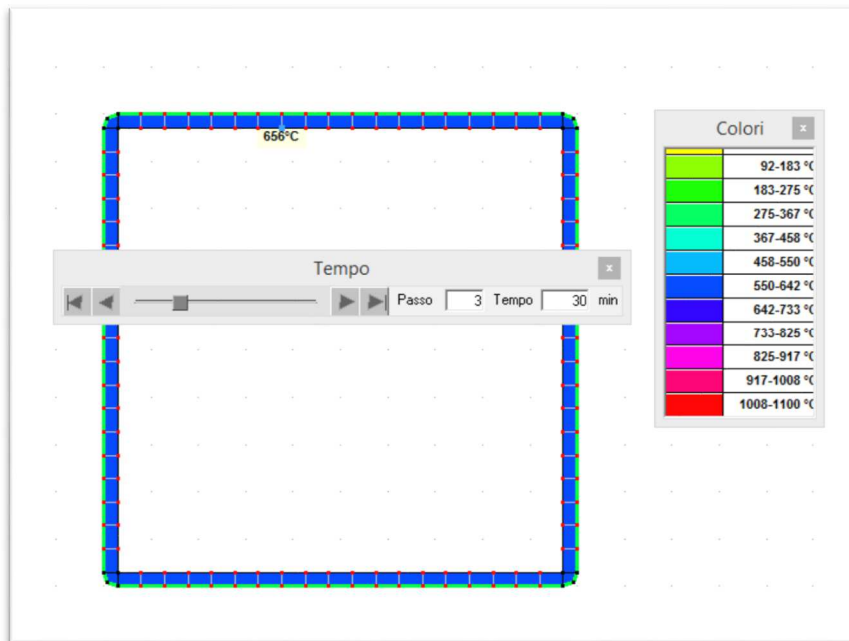
| Classe | Acciaio | Lato B compresso | Lato H inflesso |
|--------|---------|-----------------------|----------------------|
| 1 | S235 | $h_c / t_f \leq 33$ | $h_w / t_w \leq 72$ |
| 2 | | $h_c / t_f \leq 38$ | $h_w / t_w \leq 83$ |
| 3 | | $h_c / t_f \leq 42$ | $h_w / t_w \leq 124$ |
| 4 | | $h_c / t_f > 42$ | $h_w / t_w > 124$ |
| 1 | S275 | $h_c / t_f \leq 30,3$ | $h_w / t_w \leq 66$ |
| 2 | | $h_c / t_f \leq 35$ | $h_w / t_w \leq 76$ |
| 3 | | $h_c / t_f \leq 38,6$ | $h_w / t_w \leq 114$ |
| 4 | | $h_c / t_f > 38,6$ | $h_w / t_w > 114$ |
| 1 | S355 | $h_c / t_f \leq 26,7$ | $h_w / t_w \leq 58$ |
| 2 | | $h_c / t_f \leq 30,8$ | $h_w / t_w \leq 67$ |
| 3 | | $h_c / t_f \leq 34$ | $h_w / t_w \leq 100$ |
| 4 | | $h_c / t_f > 34$ | $h_w / t_w > 100$ |

$\mu_0 = 0,22$

dove

parametro con il quale calcolo la temperatura critica del profilo tramite la precedente relazione 4.22 di norma:

$\theta_{a,cr} = 710^\circ\text{C}$



$T_{med} = 656^\circ < \text{contro } \theta_{crit} = 710^\circ\text{C}$ VERIFICA SODDISFATTA

1.2.7 Informazioni sull'origine, le caratteristiche e la validazione dei codici di calcolo

tecnisoft

Strumenti solidi come i vostri progetti

Tecnisoft s.a.s. di Papi Paolo Luca & C.
Via F. Ferrucci, 203/C - 59100 Prato
Tel. 0574 583421 - Fax 0574 570157
C.F. e P.IVA 01555190972
R.E.A. C.C.I.A.A. Prato n. 421503
R.I. Prato n. 16291

AFFIDABILITA' DEL PROGRAMMA MODESt

Facendo seguito a quanto richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, la società Tecnisoft s.a.s., produttrice e distributrice del programma ModeSt, dichiara quanto segue:

Il programma ModeSt è un pre-post processore per solutori agli elementi finiti prodotti da altre società ed alle quali si rimanda per i relativi test di affidabilità. Si segnala comunque che i solutori supportati sono di riconosciuta fama nazionale e internazionale e di comprovata affidabilità (XFINEST, SAP2000) e che vengono distribuiti con i relativi test di validazione.

ModeSt contiene comunque al suo interno procedure che l'utente può attivare per il controllo di congruenza sui dati introdotti, procedure che riconoscono in automatico la presenza dei più tipici errori di modellazione.

Al termine del calcolo sono interrogabili sia numericamente che graficamente tutti i risultati, per consentire la valutazione della bontà della modellazione effettuata.

Le procedure di progettazione delle armature degli elementi in c.a. o di verifica degli elementi in acciaio, legno o muratura segnalano sempre le situazioni in cui non sono soddisfatte le condizioni di verifica previste dalla normativa ed implementate nel software. Anche in questo caso si possono effettuare controlli grafici e numerici su stati tensionali, domini di rottura, ecc.

Le procedure di progetto e verifica sono state testate con numerosi esempi reperiti in letteratura o risolti manualmente. Tali esempi sono riportati all'interno di un manuale fornito insieme al programma.

Tecnisoft s.a.s.
Il Socio Accomandatario

Tecnisoft s.a.s. - Via F. Ferrucci, 203/C - 59100 PRATO - Tel. 0574 583421 - Fax 0574 570157 - P.IVA 01555190972 - www.technisoft.it - info@technisoft.it

Verifica di un'asta in acciaio

Caratteristiche dell'asta: la sezione dell'asta è rappresentata da un profilato HEA200 di acciaio tipo S235; l'asse è orizzontale e la sezione è disposta con l'asse forte rispetto alla verticale; la lunghezza è L = 500 cm e i vincoli sono cerniera - appoggio verticale (coeff. $\beta_y = \beta_z = 1$). Nella struttura di riferimento TVDM08A1 sono state modellate 4 aste con carichi differenti.

Carichi: in funzione delle verifiche da effettuare sono stati applicati i seguenti carichi:
 asta 1 - carico assiale di trazione di 100 t;
 asta 2 - carico assiale di compressione di 50 t;
 asta 3 - peso proprio q_p + carico verticale permanente strutturale di $q_n = 0.1$ t/m + carico verticale variabile definita come "Variabili Categoria A" di $q_k = 0.5$ t/m;
 asta 4 - carichi asta 3 + carico assiale di compressione di 25 t + momento flettente rispetto all'asse debole di 1 tm + momento torcente di 0.1 tm.

File: [TestValidazione] - TVDM08A1

Calcolo teorico:

L'acciaio tipo S235 ha i seguenti parametri di progetto:

$f_{yk} = 235$ N/mm² = 2.35 t/cm² Tensione di snervamento;
 $f_{tk} = 360$ N/mm² = 3.60 t/cm² Tensione di rottura.
 $E = 21000.00$ t/cm² Modulo elastico.
 $G = 807.69$ t/cm² Modulo elastico tangenziale.
 $\rho = 7.85$ t/m³ Densità.

La sezione del profilato HEA200 ha i seguenti parametri statici:

Area = 52.98 cm² Area della sezione;
 $A_{net} = 42.39$ cm² Area netta per compressione ($A_{net} = 0.8 \cdot Area$);
 $A_{eff} = 42.39$ cm² Area effettiva per trazione ($A_{eff} = 0.8 \cdot Area$);
 $I_y = 3671.80$ cm⁴ Momento d'inerzia rispetto all'asse Y;
 $I_z = 1335.33$ cm⁴ Momento d'inerzia rispetto all'asse Z;
 $I_y = 8.32$ cm Raggio giratorio d'inerzia rispetto all'asse Y;
 $I_z = 5.02$ cm Raggio giratorio d'inerzia rispetto all'asse Z;
 $W_{ymin} = 386.51$ cm³ Modulo di resistenza minimo rispetto all'asse Y;
 $W_{zmin} = 133.53$ cm³ Modulo di resistenza minimo rispetto all'asse Z;
 $W_{y,pl,as} = 427.91$ cm³ Modulo di resistenza plastico intorno all'asse y;
 $W_{z,pl,as} = 203.73$ cm³ Modulo di resistenza plastico intorno all'asse z;
 $A_{tag,y} = 44.94$ cm² Area resistente a taglio in direz y;
 $A_{tag,z} = 15.38$ cm² Area resistente a taglio in direz z;
 $I_{p0} = 108000.00$ cm⁴ Costante di ingobbamento;
 $I_t = 17.90$ cm⁴ Momento d'inerzia torsionale;
 $b_x = 20$ cm larghezza delle ali;
 $t_x = 1$ cm spessore delle ali;
 $b_z = 17$ cm larghezza dell'anima;
 $t_z = 0.6$ cm spessore dell'anima.

Il peso proprio a metro lineare della sezione vale:

$$q_p = \rho \cdot Area = 7.85 \cdot (52.98/10000) = 0.04159 \text{ t/m}$$

Verifica a trazione (4.2.6)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 1 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

MANUALE DI VALIDAZIONE

35

$$T_{sf} = N_{Ed}/N_{t,Rd} <= 1$$

Dove la resistenza di calcolo a trazione è pari a:

$$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\}$$

In cui:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk}/\gamma_{M0} = 52.98 \cdot 2.35/1.05 = 118.58 \text{ t}$$

$$N_{u,Rd} = 0.9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}/\gamma_{M2} = 0.9 \cdot 42.39 \cdot 3.60/1.25 = 109.87 \text{ t}$$

Quindi $N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 109.87$ t, per $N_{Ed} = 100$ t, risulta:

$$T_{sf} = N_{Ed}/N_{t,Rd} = 100/109.87 = 0.91 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------------|----------------|----------|
| $N_{t,Rd}$ | 118.58 t | 118.58 t |
| $N_{u,Rd}$ | 109.87 t | 109.87 t |
| Tsf. | 0.91 | 0.91 |

Verifica a compressione (4.2.10)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 2 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

$$T_{sf} = N_{Ed}/N_{c,Rd} <= 1$$

Dove la resistenza di calcolo a compressione, per sezioni in classe 1, è pari a:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yk}/\gamma_{M0} = 52.98 \cdot 2.35/1.05 = 118.58 \text{ t}$$

Quindi per $N_{Ed} = 50$ t, risulta:

$$T_{sf} = N_{Ed}/N_{c,Rd} = 50/118.58 = 0.42 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------------|----------------|----------|
| $N_{c,Rd}$ | 118.58 t | 118.58 t |
| Tsf. | 0.42 | 0.42 |

Verifica di stabilità (4.2.4.1.3.1)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 2 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

$$T_{sf} = N_{Ed}/N_{b,Rd} <= 1$$

Dove la resistenza all'instabilità $N_{b,Rd}$ è calcolata, in relazione alle verifiche di stabilità nel piano più debole, nel caso in oggetto intorno all'asse Z locale dell'asta. Per sezioni in classe 1, con fattore di imperfezione $\alpha = 0.49$, risulta:

$$\lambda_z = \beta_z \cdot L/z = 1.500/5.02 = 99.60$$

$$N_{GEd} = E \cdot A \cdot (n/\lambda_z)^2 = 2100 \cdot 52.98 \cdot (3.14/99.60)^2 = 110.70 \text{ t}$$

$$\lambda_z = \text{radq}(A \cdot f_{yk}/N_{GEd}) = \text{radq}(52.98 \cdot 2.35/110.70) = 1.06$$

$$\Phi_z = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^{-2}] = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (1.06 - 0.2) + 1.06^2] = 1.27$$

$$\chi_z = \min\{1; 1/(\Phi_z + \text{radq}(\Phi_z^2 - \lambda_z^{-2}))\} = \min\{1; 1/(1.27 + \text{radq}(1.27^2 - 1.06^2))\} = 0.51$$

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot A \cdot f_{yk}/\gamma_{M1} = 0.51 \cdot 52.98 \cdot 2.35/1.05 = 60.47 \text{ t}$$

MANUALE DI VALIDAZIONE

36

Quindi per $N_{Ed} = 50$ t, risulta:

$$T_{sf} = N_{Ed}/N_{b,Rd} = 50/60.47 = 0.17 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------------|----------------|---------|
| $N_{b,Rd}$ | 60.47 t | 59.96 t |
| Tsf. | 0.83 | 0.83 |

Verifica a flessione (4.2.13)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 3 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

$$T_{sf} = M_{Ed}/M_{c,Rd} <= 1$$

Dove la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione risulta:

$$M_{c,Rd} = W_{y,pl,as} \cdot f_{yk}/\gamma_{M0} = 427.91 \cdot 2.35/1.05 = 957.70 \text{ tcm}$$

Il momento flettente di progetto ed il relativo tasso di sfruttamento risultano:

$$M_{Ed} = (1.3 \cdot q_p + 1.5 \cdot p_1 + 1.5 \cdot q_k) \cdot L^2/8 = (1.3 \cdot 0.04159 + 1.5 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot 0.5) \cdot 5^2/8 = (0.954067) \cdot 5^2/8 = 2.9815 \text{ tm} = 298.15 \text{ tcm}$$

$$T_{sf} = M_{Ed}/M_{c,Rd} = 298.15/957.70 = 0.31 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------------|----------------|------------|
| M_{Ed} | 298.15 tcm | 298.15 tcm |
| $M_{c,Rd}$ | 957.70 tcm | 957.70 tcm |
| Tsf. | 0.31 | 0.31 |

Verifica a taglio (4.2.17)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 3 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

$$T_{sf} = V_{Ed}/V_{c,Rd} <= 1$$

Dove la resistenza di calcolo a taglio della sezione risulta:

$$V_{c,Rd} = [A_{tag,z}/\text{radq}(3)] \cdot f_{yk}/\gamma_{M0} = (15.38/\text{radq}(3)) \cdot 2.35/1.05 = 19.88 \text{ t}$$

Il taglio di progetto ed il relativo tasso di sfruttamento risultano:

$$V_{Ed} = (1.3 \cdot q_p + 1.5 \cdot p_1 + 1.5 \cdot q_k) \cdot L/2 = (1.3 \cdot 0.04159 + 1.5 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot 0.5) \cdot 5/2 = (0.954067) \cdot 5/2 = 2.39 \text{ t}$$

$$T_{sf} = V_{Ed}/V_{c,Rd} = 2.39/19.88 = 0.12 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------------|----------------|---------|
| V_{Ed} | 2.39 t | 2.39 t |
| $V_{c,Rd}$ | 19.88 t | 19.88 t |
| Tsf. | 0.12 | 0.12 |

MANUALE DI VALIDAZIONE

37

Calcolo frecce massime

Calcolo teorico:

Il calcolo viene effettuato sull'asta 3 con i carichi risultanti dalla CC2 (SLE R), la freccia massima per carichi totali ed il rapporto della luce con la freccia valgono:

$$f_{z,tot} = (5/384) \cdot (1.0 \cdot q_p + 1.0 \cdot p_1 + 1.0 \cdot q_k) \cdot L^4 / (E \cdot J_z) = (5/384) \cdot (1.0 \cdot 0.04159 + 1.0 \cdot 0.1 + 1.0 \cdot 0.5) \cdot 5^4 / (2100 \cdot 10^4 \cdot 3671.80 \cdot 10^{-8}) = 6.77 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0.677 \text{ cm}$$

$$L/f_{z,tot} = 500/0.677 = 738$$

Mentre la freccia massima per soli carichi accidentali ed il rapporto della luce con la freccia valgono:

$$f_{z,acc} = (5/384) \cdot (1.0 \cdot q_k) \cdot L^4 / (E \cdot J_z) = (5/384) \cdot (1.0 \cdot 0.5) \cdot 5^4 / (2100 \cdot 10^4 \cdot 3671.80 \cdot 10^{-8}) = 5.28 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0.528 \text{ cm}$$

$$L/f_{z,acc} = 500/0.528 = 948$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|---------------|----------------|---------|
| $F_{z,tot}$ | 0.677 cm | 0.68 cm |
| $L/F_{z,tot}$ | 738 | 740 |
| $F_{z,acc}$ | 0.528 cm | 0.53 cm |
| $L/F_{z,acc}$ | 948 | 950 |

Verifica di stabilità aste inflesse (4.2.4.1.3.2)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 3 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

$$T_{sf} = M_{Ed}/M_{b,Rd} <= 1$$

Dove la resistenza all'instabilità $M_{b,Rd}$ è calcolata in funzione del momento critico elastico di instabilità torsionale M_{cr} (C4.2.30):

$$M_{cr} = \psi \cdot (n/L_{cr}) \cdot \text{radq}[(E \cdot J_z) \cdot (G \cdot J_t)] \cdot \text{radq}[1 + (n/L_{cr})^2 \cdot (E \cdot J_z)] / (G \cdot J_t)$$

In cui, per travi appoggiate agli estremi si pone: $\psi = 1.75$ e $L_{cr} = L = 500$ cm. $M_{cr,z}$ risulta:

$$M_{cr} = 1.75 \cdot (3.14/500) \cdot \text{radq}[(2100 \cdot 3671.80) \cdot (807.69 \cdot 17.90)] \cdot \text{radq}[1 + (3.14/500)^2 \cdot (2100 \cdot 108000)] / (807.69 \cdot 17.90) = 4668.48 \text{ tcm}$$

Considerando $\lambda_{LT,0} = 0.4$; $\beta_{LT} = 0.75$; $\alpha_{LT} = 0.34$; $k_c = 0.94$; $\beta = 0.75$, la resistenza all'instabilità $M_{b,Rd}$ è calcolata dalle seguenti relazioni:

$$\lambda_{LT} = \text{radq}(W_{y,pl,as} \cdot f_{yk}/M_{cr}) = \text{radq}(427.91 \cdot 2.35/4668.48) = 0.46$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^{-2}] = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (0.46 - 0.2) + 0.46^{-2}] = 0.59$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2.0 \cdot (\lambda_{LT} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \cdot (1 - 0.94) \cdot [1 - 2.0 \cdot (0.46 - 0.8)^2] = 0.98$$

$$\chi_{LT} = \min\{1; 1/(\Phi_{LT} + \text{radq}(\Phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^{-2}))\} = \min\{1; 1/(0.98 + \text{radq}(0.98^2 - 0.46^2))\} = \min\{1; 1/(0.98 + \text{radq}(0.59^2 - 0.75 \cdot 0.46^2))\} = 1.00$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,pl,as} \cdot f_{yk}/\gamma_{M1} = 1.00 \cdot 427.91 \cdot 2.35/1.05 = 957.70 \text{ tcm}$$

MANUALE DI VALIDAZIONE

38

Risultando il fattore di riduzione per l'instabilità flessa torsionale $\chi_{LT} = 1.00$ la resistenza all'instabilità $M_{b,Rd}$ risulta uguale la resistenza a flessione $M_{c,Rd}$ calcolata in precedenza. Il momento flettente di progetto ed il relativo tasso di sfruttamento risultano:

$$M_{Ed} = (1.3 \cdot q_p + 1.5 \cdot p_n + 1.5 \cdot q_n) \cdot L^2 / 8 = (1.3 \cdot 0.04159 + 1.5 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot 0.5) \cdot 5^2 / 8 = (0.954067) \cdot 5^2 / 8 = 2.9815 \text{ tm} = 298.15 \text{ tcm}$$

$$Tsf = M_{Ed} / M_{c,Rd} = 298.15 / 957.70 = 0.31 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------------|----------------|------------|
| M_{Ed} | 298.15 tcm | 298.15 tcm |
| $M_{c,Rd}$ | 957.70 tcm | 955.80 tcm |
| Tsf. | 0.31 | 0.31 |

Verifica a pressoflessione biassiale (4.2.39)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 4 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

$$Tsf = \max\{Tsf_n; Tsf_y; Tsf_z; Tsf_x\} < 1$$

In cui, dalla verifica a compressione risulta:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = 52.98 \cdot 2.35 / 1.05 = 118.58 \text{ t}$$

$$N_{Ed} = 25 \text{ t}$$

$$Tsf_n = N_{Ed} / N_{c,Rd} = 25 / 118.58 = 0.21$$

$$n = Tsf_n = 0.21$$

$$a = \min\{0.5; (Area - 2 \cdot b_a \cdot t_a) / Area\} = \min\{0.5; (52.98 - 2 \cdot 20 \cdot 1) / 52.98\} = 0.24$$

Dalla verifica a pressoflessione retta rispetto all'asse y risulta:

$$M_{cy,Rd} = W_{y,pl,as} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = 427.91 \cdot 2.35 / 1.05 = 957.70 \text{ tcm}$$

$$M_{Ny,Rd} = M_{cy,Rd} \cdot \min\{1; (1-n) / (1-0.5 \cdot a)\} = 957.70 \cdot \min\{1; (1-0.21) / (1-0.5 \cdot 0.24)\} = 957.70 \cdot 0.90 = 861.93 \text{ tcm}$$

$$M_{y,Ed} = (1.3 \cdot q_p + 1.5 \cdot p_n + 1.5 \cdot q_n) \cdot L^2 / 8 = (1.3 \cdot 0.04159 + 1.5 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot 0.5) \cdot 5^2 / 8 = (0.954067) \cdot 5^2 / 8 = 2.9815 \text{ tm} = 298.15 \text{ tcm}$$

$$Tsf_y = M_{y,Ed} / M_{Ny,Rd} = 298.15 / 861.93 = 0.35$$

La verifica a pressoflessione retta rispetto all'asse z, per $n < a$, risulta:

$$M_{cz,Rd} = W_{z,pl,as} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = 203.73 \cdot 2.35 / 1.05 = 455.97 \text{ tcm}$$

$$M_{z,Ed} = M_{cz,Rd} = 455.97 \text{ tcm}$$

$$M_{z,Ed} = 1 \text{ tm} = 100 \text{ tcm}$$

$$Tsf_z = M_{z,Ed} / M_{cz,Rd} = 100 / 455.97 = 0.22$$

In fine, dalla verifica a pressoflessione biassiale risulta:

$$Tsf_d = (Tsf_y)^2 + (Tsf_z)^2 = (0.35)^2 + (0.22)^2 = 0.32$$

La verifica risulta pertanto:

$$Tsf = \max\{Tsf_n; Tsf_y; Tsf_z; Tsf_x\} = \max\{0.21; 0.35; 0.22; 0.32\} = 0.35 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------|----------------|--------|
| Tsf. | 0.21 | 0.21 |

MANUALE DI VALIDAZIONE

39

| | | |
|---------|------|------|
| Tsf_y | 0.35 | 0.35 |
| Tsf_z | 0.22 | 0.22 |
| Tsf_d | 0.32 | 0.32 |
| Tsf. | 0.35 | 0.35 |

Verifica a taglio e torsione dir. Z (4.2.25)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 4 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo del seguente tasso di sfruttamento:

$$Tsf = V_{Ed} / V_{c,Rd,red} < 1$$

Dove la resistenza di calcolo a taglio della sezione, ridotta per effetto della torsione, risulta:

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \cdot \text{radq}[1 - \tau_{Ed} \cdot \text{radq}(3) \cdot \gamma_{M0} / (1.25 \cdot f_{yk})]$$

Dove la resistenza di calcolo a taglio della sezione vale:

$$V_{c,Rd} = [A_{tag,z} / \text{radq}(3)] \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = [15.38 / \text{radq}(3)] \cdot 2.35 / 1.05 = 19.88 \text{ t}$$

Essendo la sollecitazione agente pari a $M_{y,Ed} = 0.1 \text{ tm} = 10 \text{ tcm}$, la tensione tangenziale massima dovuta alla torsione (che risulta essere sulle ali) vale quindi:

$$\tau_{Ed} = M_{y,Ed} \cdot t_w / J_t = 10 \cdot 1 / 17.90 = 0.56 \text{ t/cm}^2$$

Risulta pertanto:

$$V_{c,Rd,red} = V_{c,Rd} \cdot \text{radq}[1 - \tau_{Ed} \cdot \text{radq}(3) \cdot \gamma_{M0} / (1.25 \cdot f_{yk})] = 19.88 \cdot \text{radq}[1 - 0.56 \cdot \text{radq}(3) \cdot 1.05 / (1.25 \cdot 2.35)] = 16.06 \text{ tcm}$$

Il taglio di progetto ed il relativo tasso di sfruttamento risultano:

$$V_{Ed} = (1.3 \cdot q_p + 1.5 \cdot p_n + 1.5 \cdot q_n) \cdot L / 2 = (1.3 \cdot 0.04159 + 1.5 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot 0.5) \cdot 5 / 2 = (0.954067) \cdot 5 / 2 = 2.39 \text{ t}$$

$$Tsf = V_{Ed} / V_{c,Rd,red} = 2.39 / 16.06 = 0.15 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|----------------|----------------|---------|
| V_{Ed} | 2.39 t | 2.39 t |
| $V_{c,Rd,red}$ | 16.06 t | 16.08 t |
| Tsf. | 0.15 | 0.15 |

Verifica di stabilità aste presso-inflesse (C4.2.4.1.3.3.2)

Calcolo teorico:

La verifica viene effettuata sull'asta 4 con i carichi risultanti dalla CC1 (SLU), il controllo da normativa prevede il calcolo dei seguenti tassi di sfruttamento:

$$Tsf_{yy} = (N_{Ed} / N_{zb,Rd}) + k_{yy} \cdot (M_{y,Ed} / M_{yb,Rd}) + k_{yz} \cdot (M_{z,Ed} / M_{zb,Rd}) < 1$$

$$Tsf_{zz} = (N_{Ed} / N_{yb,Rd}) + k_{zy} \cdot (M_{y,Ed} / M_{yb,Rd}) + k_{zz} \cdot (M_{z,Ed} / M_{zb,Rd}) < 1$$

Dove la resistenza all'instabilità $N_{yb,Rd}$ è calcolata, in relazione alle verifiche di stabilità nel piano XY locale, cioè intorno all'asse Z locale dell'asta. Per sezioni in classe 1, con fattore di imperfezione $\alpha = 0.49$, risulta:

$$\lambda_z = \beta_z \cdot L / I_z = 1.500 / 5.02 = 99.60$$

$$N_{c,z} = E \cdot A \cdot (n / \lambda_z)^2 = 2100 \cdot 52.98 \cdot (3.14 / 99.60)^2 = 110.70 \text{ t}$$

MANUALE DI VALIDAZIONE

40

$$\lambda_z^* = \text{radq}(A \cdot f_{yk} / N_{c,z}) = \text{radq}(52.98 \cdot 2.35 / 110.70) = 1.06$$

$$\Phi_z = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0.2) + \lambda_z^*] = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (1.06 - 0.2) + 1.06] = 1.27$$

$$\chi_z = \min\{1; 1 / [\Phi_z + \text{radq}(\Phi_z^2 - \lambda_z^*^2)]\} = \min\{1; 1 / [1.27 + \text{radq}(1.27^2 - 1.06^2)]\} = 0.51$$

$$N_{yb,Rd} = \chi_z \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{M1} = 0.51 \cdot 52.98 \cdot 2.35 / 1.05 = 60.47 \text{ t}$$

Quindi per $N_{Ed} = 25 \text{ t}$, risulta:

$$N_{Ed} / N_{yb,Rd} = 25 / 60.47 = 0.42$$

Mentre la resistenza all'instabilità $N_{zb,Rd}$ è calcolata, in relazione alle verifiche di stabilità nel piano XZ locale, cioè intorno all'asse Y locale dell'asta. Per sezioni in classe 1, con fattore di imperfezione $\alpha = 0.34$, risulta:

$$\lambda_y = \beta_y \cdot L / I_y = 1.500 / 8.32 = 60.09$$

$$N_{c,y} = E \cdot A \cdot (n / \lambda_y)^2 = 2100 \cdot 52.98 \cdot (3.14 / 60.09)^2 = 303.80 \text{ t}$$

$$\lambda_y^* = \text{radq}(A \cdot f_{yk} / N_{c,y}) = \text{radq}(52.98 \cdot 2.35 / 303.80) = 0.64$$

$$\Phi_y = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0.2) + \lambda_y^*] = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (0.64 - 0.2) + 0.64] = 0.78$$

$$\chi_y = \min\{1; 1 / [\Phi_y + \text{radq}(\Phi_y^2 - \lambda_y^*^2)]\} = \min\{1; 1 / [0.78 + \text{radq}(0.78^2 - 0.64^2)]\} = 0.82$$

$$N_{zb,Rd} = \chi_y \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{M1} = 0.82 \cdot 52.98 \cdot 2.35 / 1.05 = 97.23 \text{ t}$$

Quindi per $N_{Ed} = 25 \text{ t}$, risulta:

$$N_{Ed} / N_{zb,Rd} = 25 / 97.23 = 0.26$$

Le resistenze all'instabilità $M_{yb,Rd}$ e $M_{zb,Rd}$ sono calcolate in funzione del momento critico elastico di instabilità torsionale M_{cr} (C4.2.30):

$$M_{cr} = \psi \cdot (n / L_{cr}) \cdot \text{radq}[(E \cdot J_y) \cdot (G \cdot J_z)] \cdot \text{radq}[1 + (n / L_{cr})^2 \cdot (E \cdot J_w) / (G \cdot J_z)]$$

In cui, per travi appoggiate agli estremi si pone: $\psi = 1.75$ e $L_{cr} = L = 500 \text{ cm}$. M_{cr} . Risultato:

$$M_{cr} = 1.75 \cdot (3.14 / 500) \cdot \text{radq}[(2100 \cdot 3671.80) \cdot (807.69 \cdot 17.90)] \cdot \text{radq}[1 + (3.14 / 500)^2 \cdot (2100 \cdot 108000) / (807.69 \cdot 17.90)] = 4668.48 \text{ tcm}$$

Considerando $\lambda_{LT,0} = 0.4$; $\beta_{LT} = 0.75$; $\alpha_{LT} = 0.34$; $k_c = 0.94$, la resistenza all'instabilità $M_{yb,Rd}$ è calcolata dalle seguenti relazioni:

$$\lambda_{LT} = \text{radq}(W_{y,pl,as} \cdot f_{yk} / M_{cr}) = \text{radq}(427.91 \cdot 2.35 / 4668.48) = 0.46$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (0.46 - 0.4) + 0.75 \cdot 0.46^2] = 0.59$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2.0 \cdot (\lambda_{LT} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \cdot (1 - 0.94) \cdot [1 - 2.0 \cdot (0.46 - 0.8)^2] = 0.98$$

$$\chi_{LT} = \min\{1; (1/f) / \lambda_{LT}^2; (1/f) / [\Phi_{LT} + \text{radq}(\Phi_{LT}^2 - \beta_{LT} \cdot \lambda_{LT}^2)]\} = \min\{1; (1/0.98) / 0.46^2; (1/0.98) / [0.59 + \text{radq}(0.59^2 - 0.75 \cdot 0.46^2)]\} = \min\{1.00; 4.82; 1.00\} = 1.00$$

$$M_{yb,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{y,pl,as} \cdot f_{yk} / \gamma_{M1} = 1.00 \cdot 427.91 \cdot 2.35 / 1.05 = 957.70 \text{ tcm}$$

Il momento flettente di progetto risulta:

$$M_{y,Ed} = (1.3 \cdot q_p + 1.5 \cdot p_n + 1.5 \cdot q_n) \cdot L^2 / 8 = (1.3 \cdot 0.04159 + 1.5 \cdot 0.1 + 1.5 \cdot 0.5) \cdot 5^2 / 8 = (0.954067) \cdot 5^2 / 8 = 2.9815 \text{ tm} = 298.15 \text{ tcm}$$

Quindi:

$$M_{y,Ed} / M_{yb,Rd} = 298.15 / 957.70 = 0.31$$

Analogamente, la resistenza all'instabilità $M_{zb,Rd}$ è calcolata dalle seguenti relazioni:

$$\lambda_{LT} = \text{radq}(W_{z,pl,as} \cdot f_{yk} / M_{cr}) = \text{radq}(203.73 \cdot 2.35 / 4668.48) = 0.32$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta \cdot \lambda_{LT}^2] = 0.5 \cdot [1 + 0.34 \cdot (0.32 - 0.4) + 0.75 \cdot 0.32^2] = 0.52$$

$$f = 1 - 0.5 \cdot (1 - k_c) \cdot [1 - 2.0 \cdot (\lambda_{LT} - 0.8)^2] = 1 - 0.5 \cdot (1 - 0.94) \cdot [1 - 2.0 \cdot (0.32 - 0.8)^2] = 0.98$$

$$\chi_{LT} = \min\{1; (1/f) / \lambda_{LT}^2; (1/f) / [\Phi_{LT} + \text{radq}(\Phi_{LT}^2 - \beta_{LT} \cdot \lambda_{LT}^2)]\} = \min\{1; (1/0.98) / 0.32^2; (1/0.98) / [0.52 + \text{radq}(0.52^2 - 0.75 \cdot 0.32^2)]\} = \min\{1.00; 9.96; 1.06\} = 1.00$$

$$M_{zb,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{z,pl,as} \cdot f_{yk} / \gamma_{M1} = 1.00 \cdot 203.73 \cdot 2.35 / 1.05 = 455.97 \text{ tcm}$$

MANUALE DI VALIDAZIONE

4

Quindi per $M_{z,Ed} = 100 \text{ tcm}$, risulta:

$$M_{z,Ed} / M_{zb,Rd} = 100 / 455.97 = 0.22$$

Per le sollecitazioni agenti i coefficienti correttivi del momento flettente per la verifica di stabilità a presso-flessione deviata valgono: $\alpha_{my} = 0.95$; $\alpha_{mz} = 0.95$. Per sezioni in classe 1 ed elementi con modesta deformabilità torsionale i coefficienti di interazione per la verifica di stabilità a pressoflessione valgono:

$$k_{yy} = \alpha_{my} \cdot (1 + a_y \cdot b_y)$$

$$a_y = \min\{0.80; \lambda_y^* - 0.2\} = \min\{0.80; 0.64 - 0.2\} = 0.44$$

$$b_y = N_{Ed} / N_{zb,Rd} = 25 / 97.23 = 0.26$$

$$k_{yy} = \alpha_{my} \cdot (1 + a_y \cdot b_y) = 0.95 \cdot (1 + 0.44 \cdot 0.26) = 1.06$$

$$k_{zy} = 0.6 \cdot k_{yy} = 0.6 \cdot 1.06 = 0.63$$

$$k_{zz} = \alpha_{mz} \cdot (1 + a_z \cdot b_z)$$

$$a_z = \min\{1.40; 2 \cdot \lambda_z^* - 0.6\} = \min\{1.40; 2 \cdot 1.06 - 0.6\} = 1.40$$

$$b_z = N_{Ed} / N_{yb,Rd} = 25 / 60.47 = 0.42$$

$$k_{zz} = \alpha_{mz} \cdot (1 + a_z \cdot b_z) = 0.95 \cdot (1 + 1.4 \cdot 0.42) = 1.50$$

$$k_{yz} = 0.6 \cdot k_{zz} = 0.6 \cdot 1.06 = 0.90$$

I tassi di sfruttamento risultano:

$$Tsf_{yy} = (N_{Ed} / N_{zb,Rd}) + k_{yy} \cdot (M_{y,Ed} / M_{yb,Rd}) + k_{yz} \cdot (M_{z,Ed} / M_{zb,Rd}) = 0.26 + 1.06 \cdot 0.31 + 0.90 \cdot 0.22 = 0.26 + 0.33 + 0.20 = 0.79 < 1$$

$$Tsf_{zz} = (N_{Ed} / N_{yb,Rd}) + k_{zy} \cdot (M_{y,Ed} / M_{yb,Rd}) + k_{zz} \cdot (M_{z,Ed} / M_{zb,Rd}) = 0.42 + 0.63 \cdot 0.31 + 1.50 \cdot 0.22 = 0.42 + 0.20 + 0.33 = 0.95 < 1$$

Risultati:

| | Valore teorico | ModeSt |
|------------|----------------|--------|
| Tsf_{yy} | 0.79 | 0.79 |
| Tsf_{zz} | 0.95 | 0.95 |

MANUALE DI VALIDAZIONE

4

Affidabilità del codice di calcolo XFINEST

Facendo seguito a quanto previsto nel paragrafo "Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo" delle "Norme tecniche per le Costruzioni", si precisa che la documentazione a corredo del software richiesta dalla norma citata è contenuta nei seguenti documenti in formato PDF compresi nell'installazione di Xfinest:

Manuale Utente

Oltre alla descrizione del formato dei dati di input e di output del programma, sono riportate le caratteristiche di tutti i tipi di elementi finiti implementati e degli algoritmi implementati (ad es. la bibliografia del singolo elemento finito riporta il testo/articolo contenente la formulazione su cui quest'ultimo si basa).

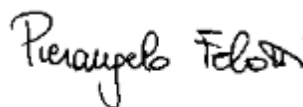
Manuale Teorico

Contiene una descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi implementati nel codice di calcolo.

Manuale di Validazione

Per tutti gli elementi finiti e per gli algoritmi implementati sono riportati dei casi prova commentati con il confronto fra i risultati forniti dal programma e i valori teorici (se non disponibili viene riportato il confronto con valori in letteratura, ottenuti sperimentalmente e/o con altri codici di calcolo). Tutti i file di input dei casi prova sono compresi nell'installazione del programma.

CeAS Centro di Analisi Strutturale s.r.l.



d:\felotti\xfinest\manuale\dichiarazione affidabilità xfinest.doc

PROGETTAZIONE, DIREZIONE LAVORI, CALCOLO STRUTTURALE
E SVILUPPO SOFTWARE NELL'INGEGNERIA CIVILE E GEOTECNICA
VIALE GIUSTINIANO 10 20129 MILANO TEL. +39 02 2020221 FAX +39 02 29512533
VIA GARIBALDI 24 24100 BERGAMO TEL. +39 035 236719 FAX +39 035 4228549
C.F.-P.IVA-C.G.I.A.A. MI REG. IMPRESE SEZ. ORD.: 05961800157 REA.1052750 CAP. SOC. EURO 10400,00
E-MAIL: ceas@ceas.it

SOMMARIO

| | |
|---|----|
| <i>1.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</i> | 3 |
| 1.1.1 Schemi statici..... | 4 |
| <i>1.2 AZIONI SULLA STRUTTURA E CARICHI APPLICATI</i> | 5 |
| 1.2.1 Peso proprio struttura..... | 5 |
| 1.2.2 Carico permanente non strutturale..... | 5 |
| 1.2.3 Carico neve..... | 5 |
| 1.2.4 Carico Vento..... | 7 |
| 1.2.5 Fuoco..... | 9 |
| 1.2.6 Verifica dei profili..... | 13 |
| 1.2.6.1 Colonna TU-220x220x6.3 S235JR..... | 13 |
| 1.2.6.2 Colonna di timpano TU-100*200*5 S235JR..... | 14 |
| 1.2.6.3 Verifica della capriata..... | 16 |
| 1.2.6.4 Verifica della trave di banchina..... | 19 |
| 1.2.6.5 Arcareccio TU-150*100*3.0 S235JR – elemento in flessione..... | 21 |
| 1.2.7 Informazioni sull'origine, le caratteristiche e la validazione dei codici di calcolo..... | 22 |