

**Progetto del Sistema Anticaduta:
misure preventive e protettive da predisporre negli edifici per
l'accesso, il transito e l'esecuzione dei lavori di manutenzione in
quota in condizioni di sicurezza**

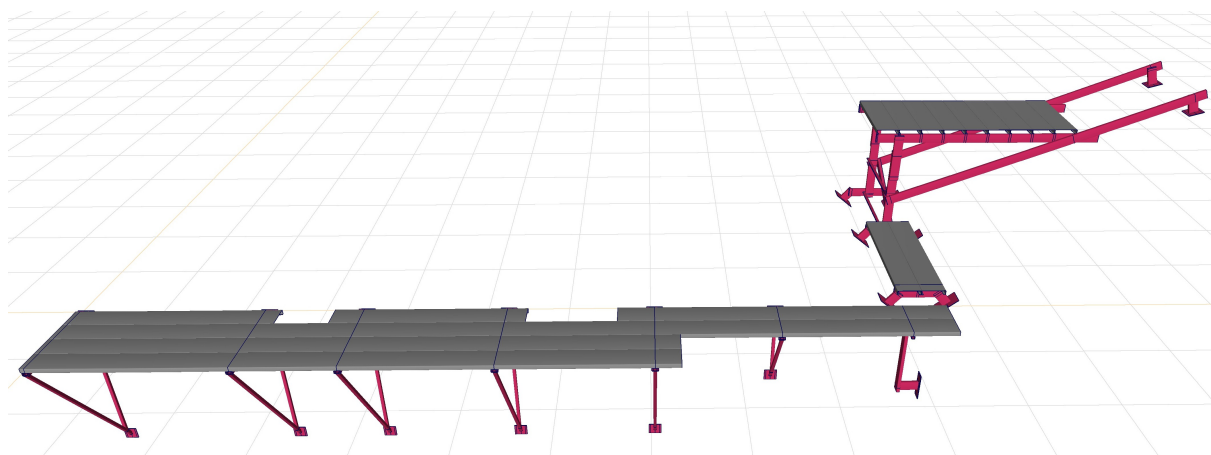
**Relazione di Calcolo
AAAA-XX-CAC-R0**

in conformità all'art. 1 della Legge Regionale del Veneto n. 4 del 16 marzo 2015
alla Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto n. 97 del 31/01/2012

Intervento: Accesso in condizioni di sicurezza ai punti di prelievo per la
verifica delle emissioni in atmosfera dei camini C1, C2 e C5

Impresa: via Padova 32, Scorzè (Ve)

La presente Relazione di Calcolo è corredata da: Relazione Tecnica AAAA-XX-RAC-R0
Disegno Esecutivo AAAA-XX-DAC-R1



Indice

1.	Premessa	Pag.	3
2.	Riferimenti legislativi e normativi	Pag.	3
3.	Descrizione	Pag.	4
4.	Caratteristiche strutturali degli elementi	Pag.	5
5.	Carichi	Pag.	6
6.	Verifiche	Pag.	8
7.	Conclusioni	Pag.	17

1. Premessa

La presente Relazione di Calcolo corredata da Disegno Esecutivo è redatta allo scopo di dimostrare la rispondenza degli elementi progettati ai requisiti di resistenza vigenti.

2. Riferimenti

Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14/01/2008
Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008)

Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 02/02/2009 n. 617
Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14/01/2008

Decreto Legislativo 09/04/ 2008 n. 81
Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007 n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

Deliberazione della Giunta Regionale del Veneto (DGRV) n. 97 del 31/01/2012
Approvazione note di indirizzo per l'applicazione dell'art. 79 bis della LR 61/85, come modificata dalla LR 42/08, aggiornamento delle istruzioni tecniche per la predisposizione delle misure preventive e protettive per l'accesso, il transito e l'esecuzione dei lavori di manutenzione in quota in condizioni di sicurezza

Norma UNI EN 1999-1-1:2014
Eurocodice 9 - Progettazione delle strutture di alluminio
Parte 1-1: Regole strutturali generali

Norma UNI EN 13374:2013
Sistemi temporanei di protezione dei bordi – Specifica di prodotto – Metodi di prova

Norma UNI EN ISO 14122-2:2016
Sicurezza del macchinario – Mezzi di accesso permanenti al macchinario – Piattaforme di lavoro e corridoi di passaggio

Norma UNI EN ISO 14122-3:2016
Sicurezza del macchinario – Mezzi di accesso permanenti al macchinario – Scale, scale a castello e parapetti

Specifica Tecnica UNI CEN/TS 1992-4-1:2009
Progettazione di attacchi da utilizzare nel calcestruzzo
Parte 4-1: Generalità

Specifica Tecnica UNI CEN/TS 1992-4-4:2009
Progettazione di attacchi da utilizzare nel calcestruzzo
Parte 4-4: Ancoraggi post installati – Ancoraggi meccanici

3. Descrizione

L'intervento prevede l'installazione di passerelle di accesso ai punti di prelievo/misura delle emissioni in atmosfera dei camini C1, C2 e C3.

Le passerelle sono state realizzate su misura secondo i requisiti della norma EN ISO 14122-2 protette lungo i bordi da parapetti EN ISO 14122-3.

La presente relazione di calcolo è volta a verificare la rispondenza delle passerelle ai requisiti di resistenza e stabilità della Norma EN ISO 14122-2.

Il parapetto è di dimensioni standard ed è certificato secondo la norma EN ISO 14122-3, non è quindi necessaria una verifica di resistenza.

Il metodo di calcolo utilizzato è quello semi-probabilistico degli stati limite.

3.1. Modello di calcolo

Il comportamento strutturale degli elementi oggetto della presente relazione è stato studiato mediante modelli tridimensionali ad elementi finiti elaborati col software di calcolo AxisVM10 (prodotto da Inter-CAD Kft. e distribuito da S.T.A. DATA srl - C.so Raffaello 12 - 10126 Torino).

L'analisi strutturale è stata condotta su modelli di parti rappresentative degli oggetti studiati. Le parti lineari sono state schematizzate da elementi monodimensionali di tipo "beam" con sezioni identiche a quelle nominali, le parti piane sono state schematizzate con elementi bidimensionali di tipo "shell" con spessori identici a quelli nominali.

Lo studio delle deformazioni, delle azioni interne e delle sollecitazioni è stato condotto secondo i casi mediante analisi elastiche lineari e non lineari.

4. Caratteristiche strutturali degli elementi

Copertura

Travi in cap con profilo a "Y" 1000 x 800 mm, spessore minimo delle in corrispondenza dei fissaggi dei montanti del parapetto 60 mm.

R_{ck}	resistenza caratteristica cubica del cap (stimata per difetto)	45 N/mm ²
f_{ck}	resistenza caratteristica cilindrica del cap (stimata per difetto)	35 N/mm ²

Parapetti passerelle

Acciaio S250 – Impalcato metallico con sezione a "C" 300x58x25x2

f_{yk}	tensione caratteristica di snervamento	250 N/mm ²
f_{tk}	tensione caratteristica di rottura	330 N/mm ²
γ_{M0}	coefficiente parziale di sicurezza	1.05

Acciaio S235 – Struttura di sostegno con sezioni quadrate 40x40x2 e rettangolari 80x40x2 e 120x40x2

f_{yk}	tensione caratteristica di snervamento	235 N/mm ²
f_{tk}	tensione caratteristica di rottura	360 N/mm ²
γ_{M0}	coefficiente parziale di sicurezza	1.05

Elementi di collegamento all'edificio

Barre filettate in acciaio zincato 4.8

$f_{ub,k}$	tensione di rottura	480 N/mm ²
γ_{M2}	coefficiente di parziali di sicurezza per le unioni (NTC 4.2.8.1.1)	1.25

5. Carichi

I carichi agenti sul parapetto si distinguono in:

- > carichi permanenti (G) relativi al peso proprio di tutti gli elementi
- > carichi variabili (Q) definiti dalla Norma EN 14122-2

5.1. Condizioni di carico

Verranno prese in considerazione le seguenti combinazioni di carico:

Combinazione fondamentale (SLU): $\gamma_G G + \gamma_Q \Sigma Q_i$

5.2. Carichi fissi (G)

I carichi fissi sono costituiti dal peso proprio della struttura metallica. Nell'ambito dello schema di calcolo ad elementi finiti, si è attribuito a ciascun elemento il peso proprio a partire dalla lunghezza, dalla sezione e dalla densità del materiale.

Per tenere conto del peso del parapetto in alluminio si assume a favore di sicurezza un coefficiente moltiplicativo di 1.50.

γ_G	coefficiente parziale di sicurezza per i carichi permanenti (struttura nota)	1.1
------------	---	-----

5.3. Carichi variabili (Q, A)

I carichi di progetto sono definiti dal punto 4.2.5 della Norma EN ISO 14122-2 nelle seguenti combinazioni di carico:

1. **SLS:**
2 kN/mq
coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_F = \gamma_Q = 1.0$
inflessione massima 1/200 luce
2. **SLS:**
1.5 kN concentrati su una superficie di 200x200 mm in posizione più sfavorevole
coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_F = \gamma_Q = 1.0$
inflessione massima 1/200 luce
3. **SLU**
2 kN/mq
coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_F = \gamma_Q = 1.5$
 $E_d < R_d$

4. SLU

1.5 kN concentrati su una superficie di 200x200 mm in posizione più sfavorevole

coefficiente parziale di sicurezza $\gamma_F = \gamma_Q = 1.5$

$E_d < R_d$

Azione del vento

L'azione del vento viene calcolata come carico orizzontale distribuito linearmente lungo gli elementi strutturali

Q_w Forza del vento lineare sugli elementi dei parapetti = $c_f q A$

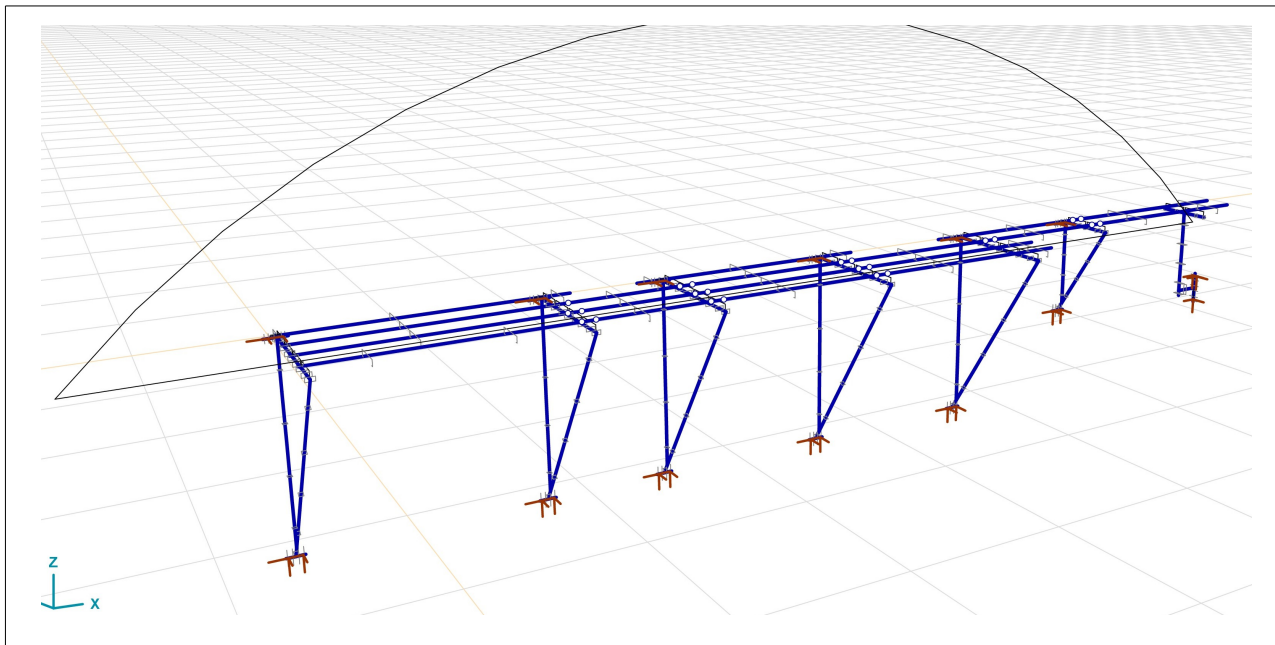
con:

c_f	coefficiente di resistenza secondo EN 1991-1-4 lastra piana (cautelativo)	1.8
q	pressione dinamica del vento in condizioni di fuori servizio	600 N/m ²
A	area di riferimento esposta al vento	
con:		
A_{str}	area degli elementi strutturali 120x40x2	0.12 m ² /m
A_{fer}	area del fermapiedi	0.15 m ² /m

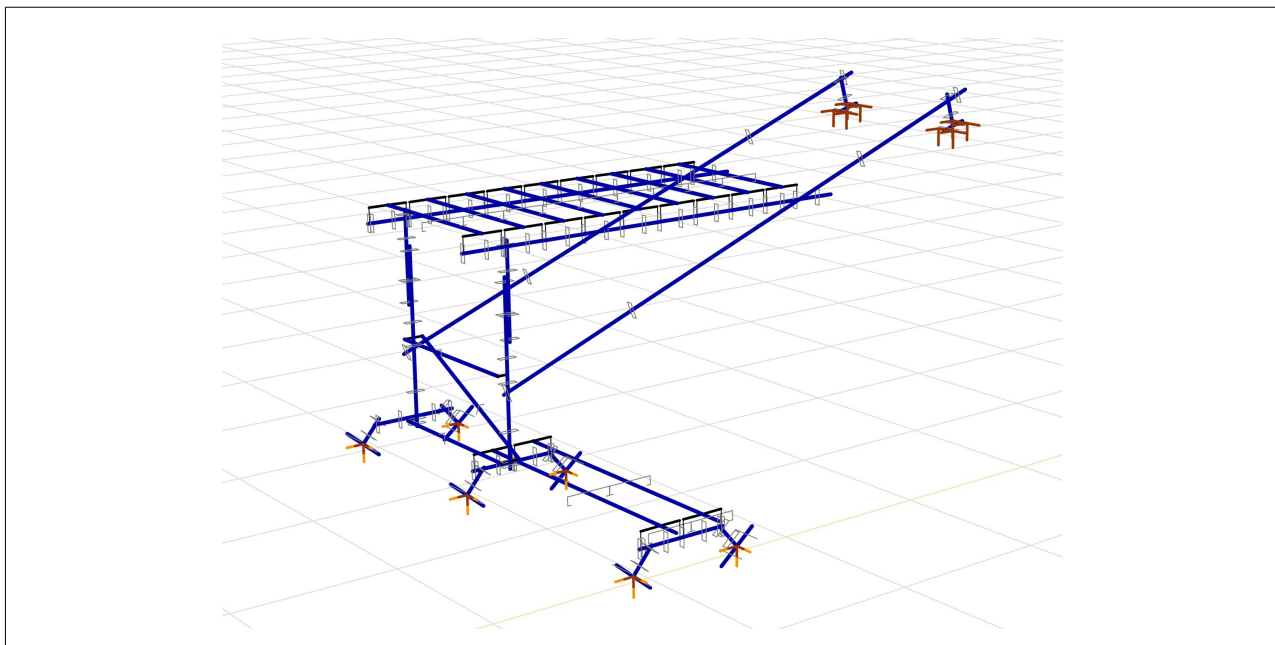
$Q_{w, str}$	carico lineare sugli elementi strutturali	130 N/m
$Q_{w, fer}$	carico lineare sul fermapiede	162 N/m

6. Verifiche

Si procede alle verifiche delle combinazioni di carico descritte nel precedente Capitolo 5.
Le verifiche sono state condotte su uno schema strutturale completo delle passerelle.



schema strutturale delle passerelle dei camini C1 e C2

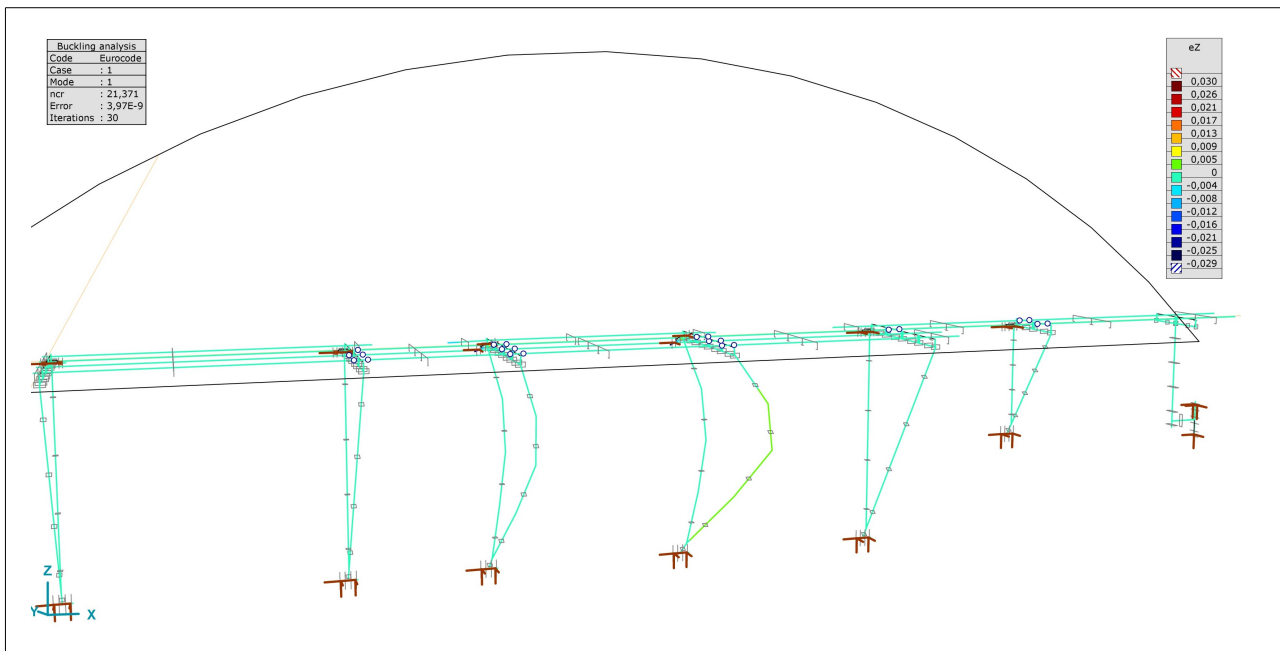


schema strutturale delle passerelle del camino C5

6.1. Passerella camini C1 e C2 – Stati limite ultimi (ULS)

La stabilità delle strutture snelle delle mensole di supporto della passerella a sbalzo è stata valutata mediante ad un'analisi di buckling valutando il primo moltiplicatore critico della combinazione di carico 1. La stabilità dovrà essere verificata a meno di un coefficiente di sicurezza di 2.50. Per definizione tale coefficiente di sicurezza è direttamente confrontabile con il primo moltiplicatore critico.

$n_{cr(1)}$ combinazione di carico 1 - primo moltiplicatore critico 21.37 > 2.50



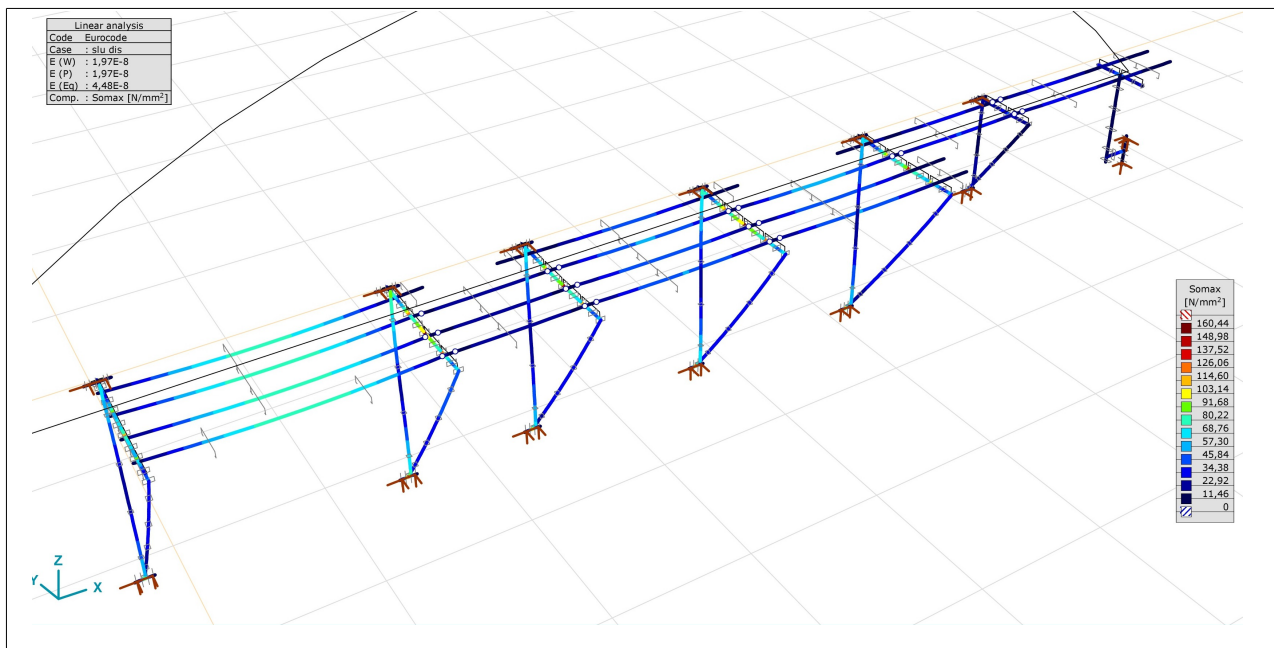
combinazione di carico 1 – analisi di buckling – primo modo di instabilità

Un'analisi elastica lineare della **combinazione di carico 2** (carico distribuito) evidenzia i seguenti valori massimi dello sforzo di Von Mises:

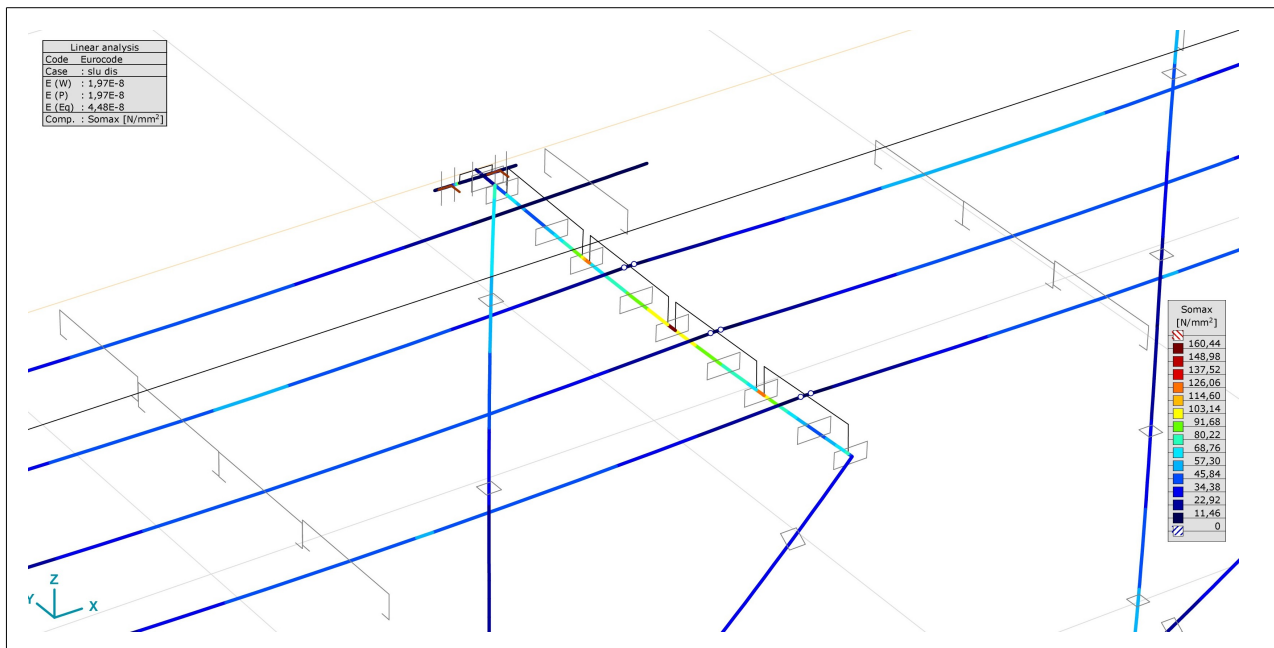
$F_{y,d,m}$	resistenza di progetto = $f_{A,o} / \gamma_{M1}$ della struttura portante	223 N/mm ²
σ_{mon}	sforzo massimo sul traverso delle 4 ^a mensola da Ovest	160.4 N/mm ²
$\sigma_{mon} / F_{y,d,m}$		0.72 < 1.00

Un'analisi elastica lineare della **combinazione di carico 3** (carico concentrato) evidenzia i seguenti valori massimi dello sforzo di Von Mises sul singolo impalcato maggiormente sollecitato (1° da Ovest):

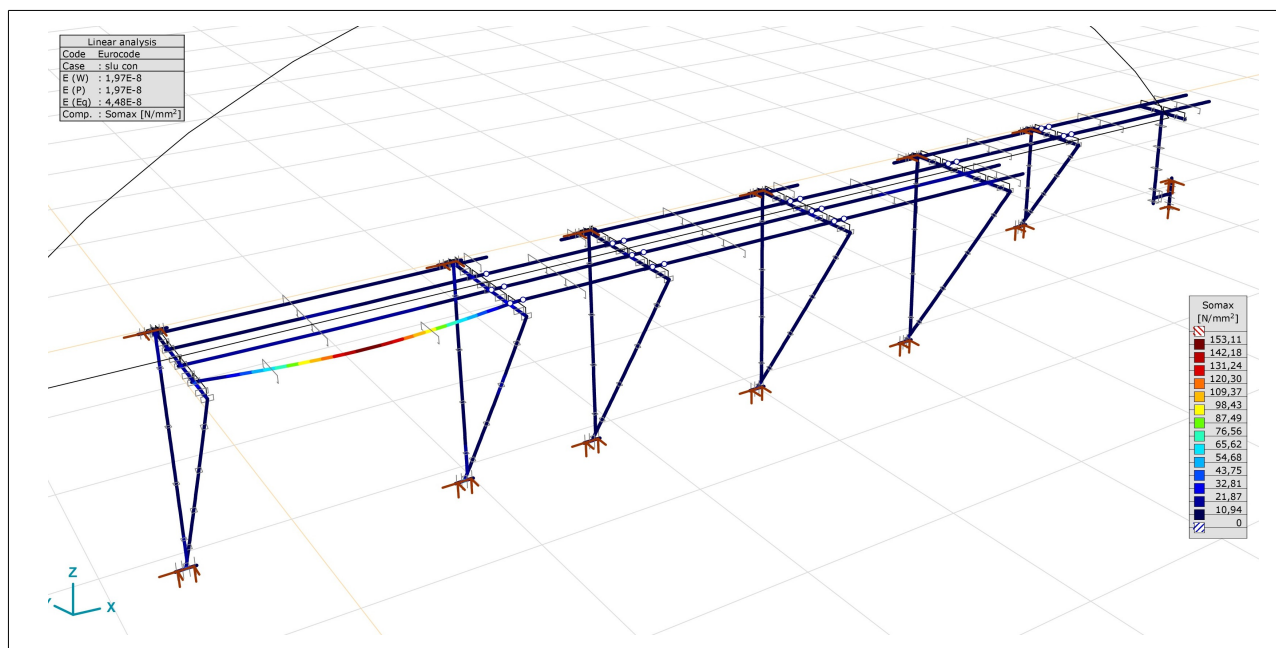
$F_{y,d,m}$	resistenza di progetto = $f_{A,o} / \gamma_{M1}$ della struttura portante	223 N/mm ²
σ_{mon}	sforzo massimo sul traverso delle 4 ^a mensola da Ovest	153.1 N/mm ²
$\sigma_{mon} / F_{y,d,m}$		0.69 < 1.00



combinazione di carico 3 – analisi elastica lineare – sforzi di Von Mises



combinazione di carico 3 – analisi elastica lineare – 4ª mensola da Ovest - sforzi di Von Mises



combinazione di carico 4 – analisi elastica lineare – sforzi di Von Mises

Ancoraggio superiore delle mensole.

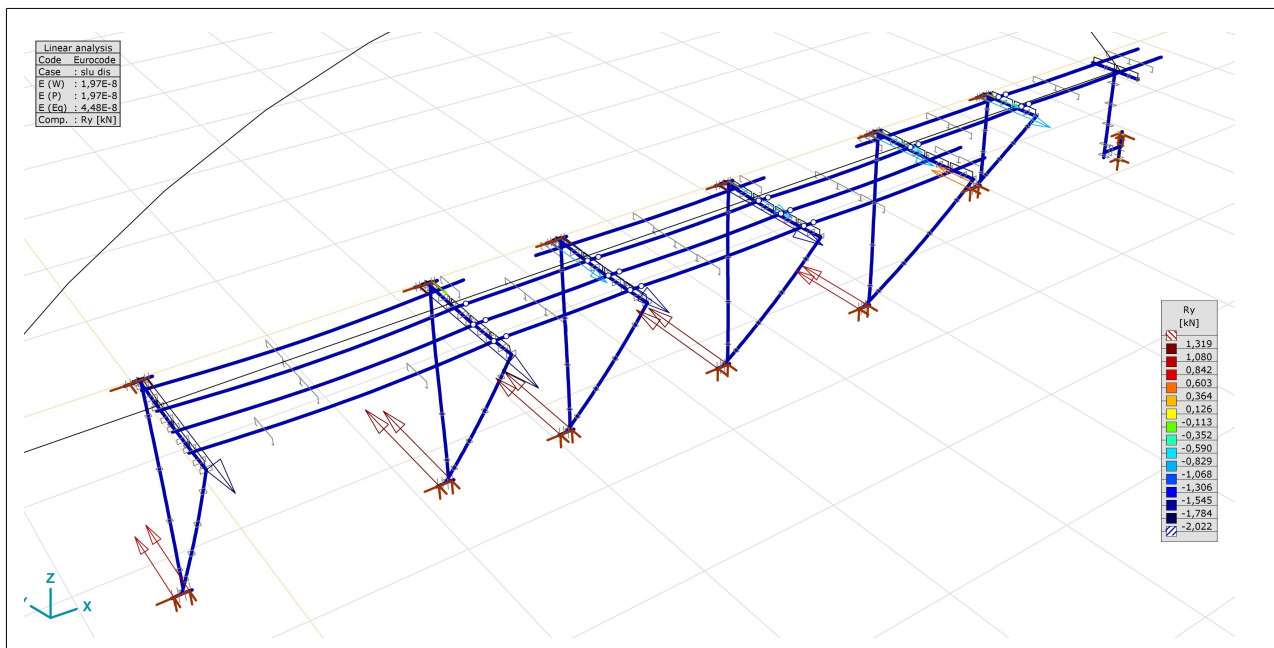
si tratta di un ancoraggio passante con barre filettate M12 e contro-piastra. A favore di sicurezza non è stata modellata una resistenza verticale, affidata interamente all'ancoraggio alla base delle mensole.

$N_{k,c}$	resistenza della barra M12 = $f_{ub,k} 62 \pi / \gamma_{M2}$	43.4 kN
N_{anc}	forza massima su un ancoraggio	2.03 kN
$N_{anc} / N_{k,c}$		0.05 < 1.00

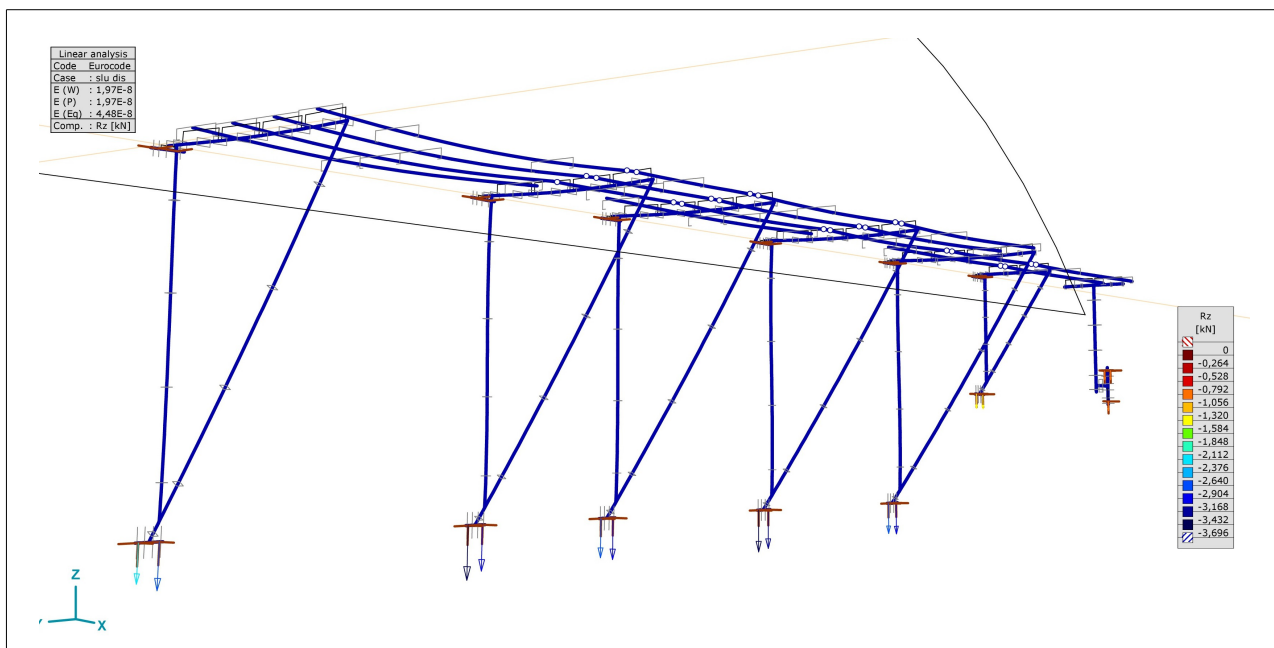
Ancoraggio inferiore delle mensole.

Si tratta di un ancoraggio con resina vinilestere. A favore di sicurezza tutto il carico verticale è stato affidato interamente all'ancoraggio inferiore.

$V_{d,v}$	resistenza di progetto a taglio dell'anc. in resina = $V_{rk,s} / \gamma_{Ms}$	16.8 kN
$V_{max,v}$	forza massima di taglio esercitata sulle viti superiori	3.70 kN
$V_{d,v} / V_{max,v}$		0.22 < 1.00



combinazione di carico 3 – analisi elastica lineare – carichi sugli ancoraggi superiori delle mensole



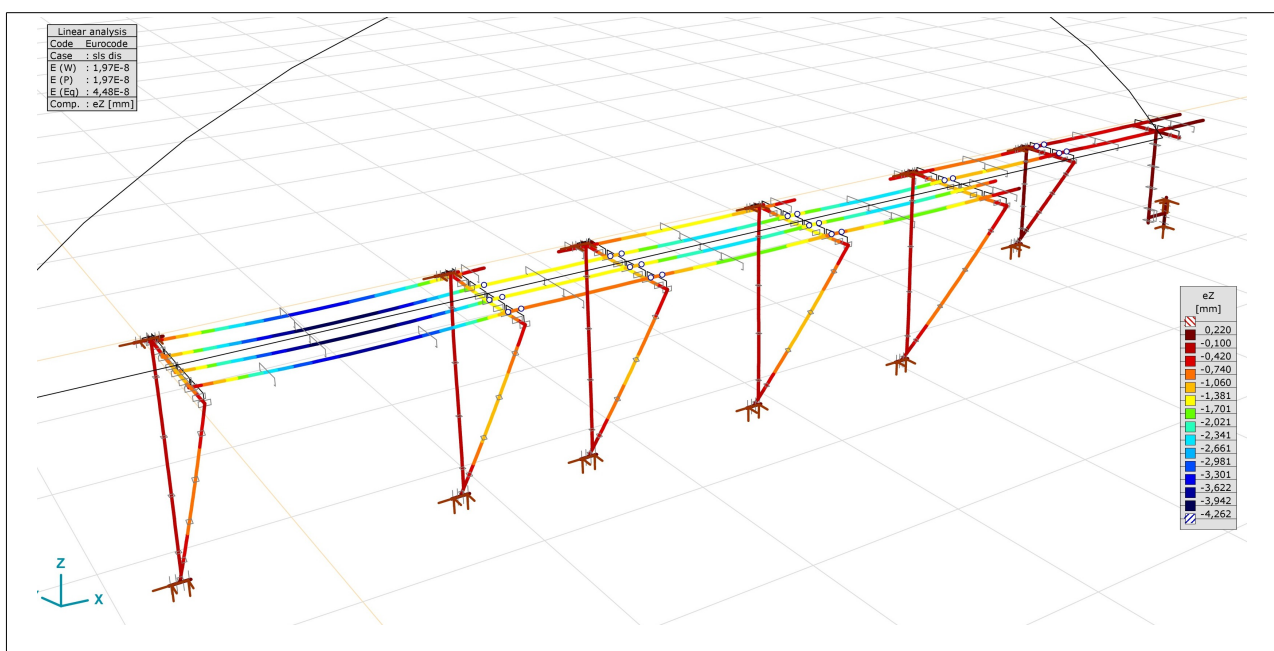
combinazione di carico 3 – analisi elastica lineare – carichi sugli ancoraggi inferiori delle mensole

6.2. Passerella camini C1 e C2 – Stati limite di servizio (SLS)

La campata di maggiore luce (2.20 m) che risulta dimensionante è la prima campata Ovest, con una deformazione ammissibile di 1/200.

Un'analisi elastica lineare della **combinazione di carico 1** (carico di servizio distribuito) evidenzia le seguenti deformazioni massime:

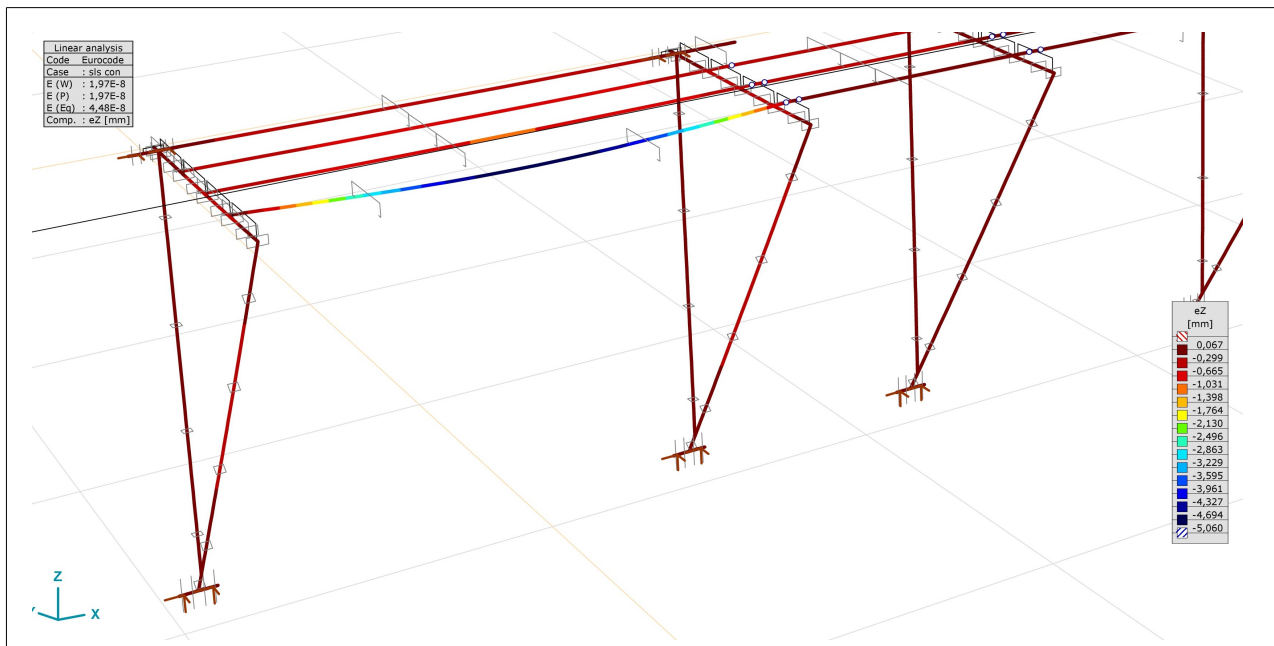
$e_{1,max}$	deformazione massima 1 ^a campata Ovest = 2200/200	11.0 mm
$e_{1,cor sup}$	deformazione massima dell'impalcato	4.3 mm
$e_{1,cor sup} / e_{1,max}$		0.39 < 1.00



combinazione di carico 1 – analisi elastica lineare – deformazioni

Un'analisi elastica lineare della **combinazione di carico 2** (carico di servizio concentrato) evidenzia le seguenti deformazioni massime:

$e_{2,max}$	deformazione massima 1 ^a campata Ovest = 2200/200	11.0 mm
$e_{2,cor sup}$	deformazione massima di un elemento di impalcato	5.1 mm
$e_{2,cor sup} / e_{2,max}$		0.46 < 1.00



combinazione di carico 2 – analisi elastica lineare – deformazioni

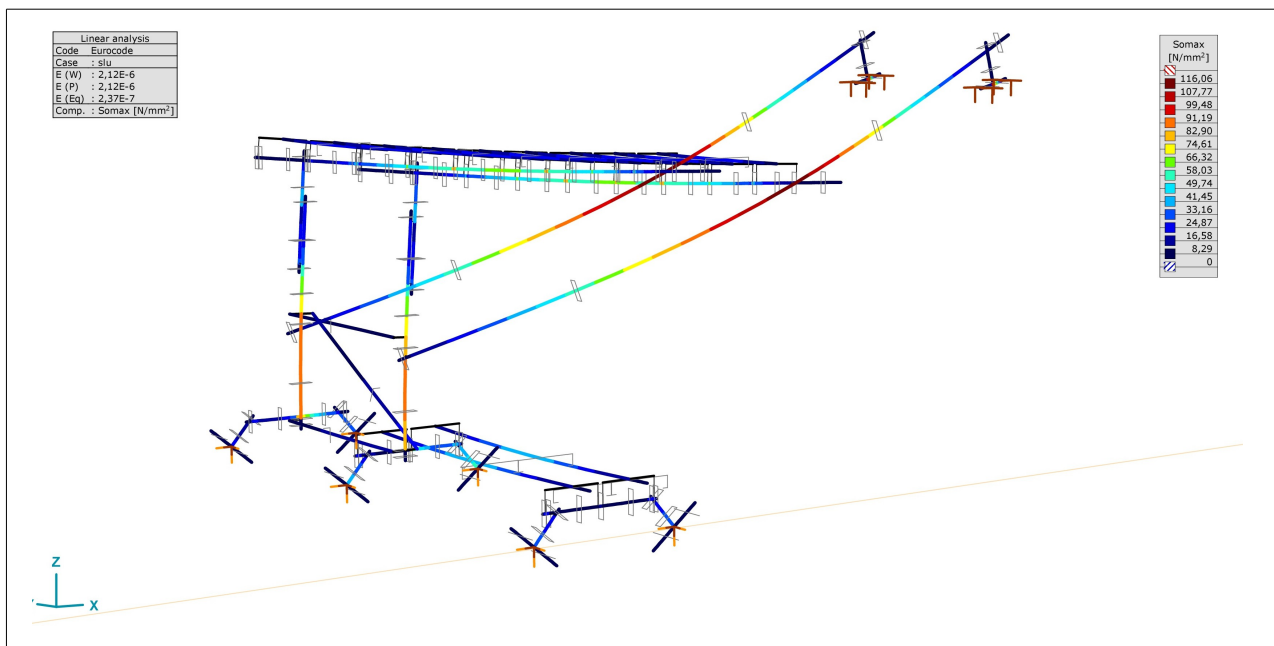
6.3. Passerella camini C5 – Stati limite ultimi (ULS)

Un'analisi elastica lineare della **combinazione di carico 3** (carico distribuito) evidenzia i seguenti valori massimi dello sforzo di Von Mises:

Montanti

$F_{y,d,m}$	resistenza di progetto = $f_{A,o} / \gamma_{M1}$ della struttura portante	223 N/mm ²
σ_{mon}	sforzo massimo sui supporti diagonali in corrispondenza del collegamento all'impalcato	116 N/mm ²
$\sigma_{mon} / F_{y,d,m}$		0.52 < 1.00

Poiché la luce dell'impalcato è inferiore alla massima luce di quello delle passerelle dei camini C1 e C2, si considera l'impalcato direttamente verificato nei confronti dei carichi concentrati.

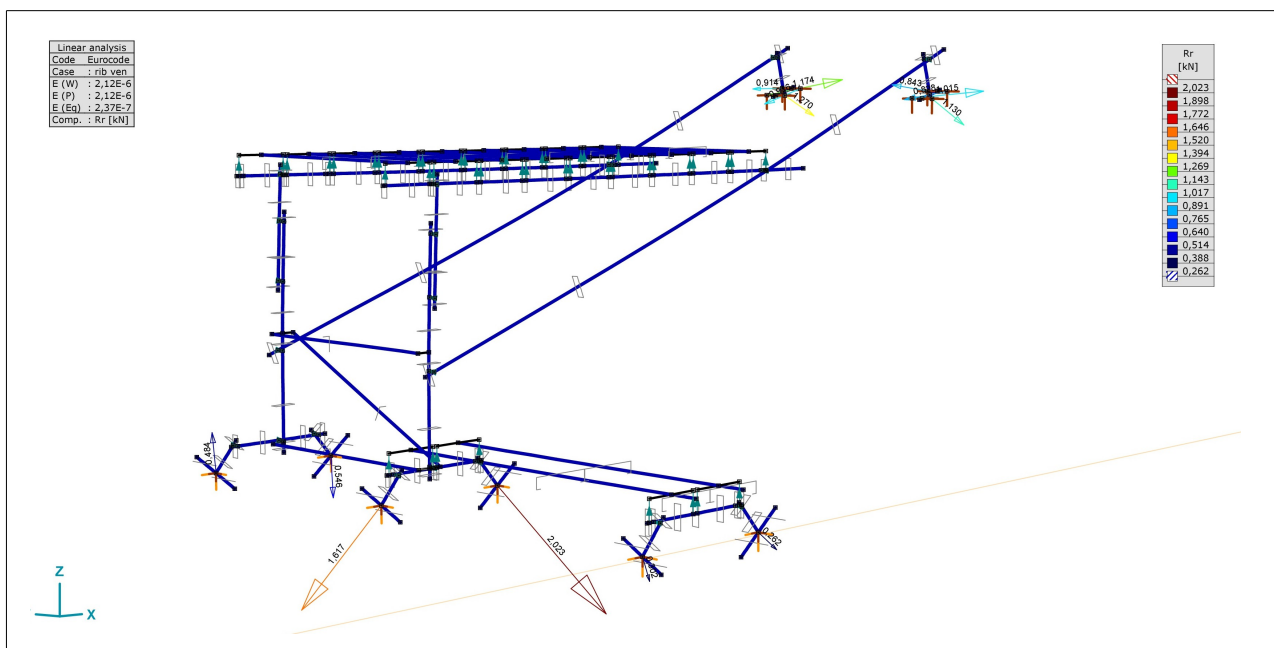


combinazione di carico 3 – analisi elastica lineare – sforzi di Von Mises

Si è inoltre valutato l'effetto di ribaltamento del vento sulla struttura semplicemente appoggiata in corrispondenza del compluvio fra le due campate a volta con vento laterale in direzione della linea di gronda.

La reazione media sugli appoggi a monte (somma dell'appoggio destro e sinistro) resta rivolta verso il basso, confermando la stabilità della struttura.

$$R_{a,m} \quad \text{reazione media dell'appoggio a monte} = .48 - .54 \quad -0.06 \text{ kN}$$



azione del vento fuori servizio – verifica di ribaltamento

7. Conclusioni

Le passerelle soddisfano i requisiti della norma EN ISI 14122-2 e sono quindi strutturalmente adeguato allo svolgimento delle operazioni previste.