

RELAZIONE DI CALCOLO

Comune di MERATE (LC)

**Realizzazione coperture piscina, zona fitness e zona hall
in legno lamellare**

INDICE

1) NORMATIVE DI RIFERIMENTO	3
2) MATERIALI UTILIZZATI	4
3) RESISTENZE DEI MATERIALI	4
4) ANALISI DEI CARICHI	5
5) COMBINAZIONI DEI CARICHI	7
6) CLASSI DI DURATA DEL CARICO E CLASSE DI SERVIZIO	9
7) VERIFICHE COPERTURA PISCINA	10
7.1) ARCARECCI	10
7.2) TRAVI PRINCIPALI	17
7.3) PILASTRINI	23
8) VERIFICHE COPERTURA FITNESS	26
8.1) ARCARECCI	26
8.2) TRAVI PRINCIPALI	28
9) VERIFICHE COPERTURA HALL	30
9.1) ARCARECCI	30
9.2) TRAVI PRINCIPALI	34

1) NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Si fa riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 14 gennaio 2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 - Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- Euro codice 5 – Progettazione delle strutture in legno – Parte 1-1: Regole generali – Regole comuni e regole per gli edifici (UNI EN 1995-1-1:2009 Italian Ediz. 03-2009)
- Euro codice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-2: Regole generali – Progettazione strutturale contro l’incendio (UNI EN 1995-1-2:2005 Italian Ediz. 01-2005)

In riferimento a quest’ultima e alle verifiche di Classe di Resistenza al Fuoco R60, viene utilizzato il metodo semplificato della sezione trasversale efficace, in cui la capacità portante viene calcolata per la sezione efficace sotto l’ipotesi che le proprietà di resistenza e rigidezza non vengano ridotte dall’incendio. Invece, la perdita di resistenza e rigidezza viene compensata adottando una profondità di carbonizzazione maggiorata.

Per l’esposizione all’incendio normalizzato la profondità di carbonizzazione deve essere calcolata come:

$$d_{\text{char}} = \beta_0 t$$

con

- β_0 velocità di carbonizzazione per legno lamellare di conifere con massa volumica caratteristica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ pari a 0,7 mm/min.
- t tempo di resistenza al fuoco richiesto nel caso di esposizione ad incendio normalizzato

La maggiorazione sopra indicata è data dalla modifica della formula secondo:

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char}} + k_0 d_0$$

con

- d_{char} secondo l’equazione di cui sopra
- $d_0 = 7 \text{ mm}$
- $k_0 = 1,0$

La resistenza ed il modulo di elasticità di progetto della sezione efficace è opportuno siano adottati conformemente alle seguenti equazioni con $k_{\text{mod,fi}} = 1,0$:

$$f_{\text{fi,d}} = k_{\text{mod,fi}} k_{\text{fi}} f_k / \gamma_{\text{M,fi}}$$

$$E_{\text{fi,d}} = k_{\text{mod,fi}} k_{\text{fi}} E_{\text{K,05}} / \gamma_{\text{M,fi}}$$

con f_k resistenza caratteristica a temperatura normale

$k_{\text{fi}} = 1,15$ per legno lamellare incollato

$\gamma_{\text{M,fi}} = 1,0$

$k_{\text{mod,fi}}$ sostituisce k_{mod}

Per quanto riguarda i carichi cui assoggettare la struttura così rimasta, si fa riferimento alla combinazione eccezionale al punto 2.5.3 del D.M. 2008:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} \dots \quad (2.5.6)$$

per i cui simboli e valori si rimanda allo stesso Decreto.

Con ψ_{21} e $\psi_{22} = 0$ occorre quindi fare riferimento per le verifiche ai soli pesi propri in gioco.

2) MATERIALI UTILIZZATI

- legno lamellare di abete rosso classi GL32c (BS16) e GL24h (BS11) per orditure primaria e secondaria secondo UNI EN 1194
- acciaio S235 per eventuali piastre
- bullonerie classi 4.6 e 8.8

3) RESISTENZE DEI MATERIALI

Per il legno lamellare si assumono le seguenti resistenze caratteristiche di riferimento:

		<u>GL24h</u>	<u>GL32c</u>
- flessione parallela alle fibre	f_{mk}	24 N/mm ²	32 N/mm ²
- compressione parallela alle fibre	f_{c0k}	24 N/mm ²	26,5 N/mm ²
- trazione perpendicolare alle fibre	f_{t90k}	0,40 N/mm ²	0,45 N/mm ²
- trazione parallela alle fibre	f_{t0k}	16,5 N/mm ²	19,5 N/mm ²
- compressione trasversale	f_{c90k}	2,7 N/mm ²	3,0 N/mm ²
- taglio trasversale	f_{vk}	2,7 N/mm ²	3,2 N/mm ²

Si assumono inoltre per il legno lamellare:

		<u>GL24h</u>	<u>GL32c</u>
- modulo $E_{//}$	E_{0mean}	11600 N/mm ²	13700 N/mm ²
- modulo $E_{//}$	$E_{0,05}$	9400 N/mm ²	11100 N/mm ²
- modulo E_{\perp}	E_{90mean}	390 N/mm ²	420 N/mm ²
- modulo a torsione G	G_{mean}	720 N/mm ²	780 N/mm ²

Per l'acciaio di carpenteria S235 si assumono le seguenti tensioni di snervamento e rottura:

- di snervamento $f_{yk} = 235 \text{ N/mm}^2$
- di rottura $f_{tb} = 360 \text{ N/mm}^2$

Per la bulloneria classe 4.6 si assumono le seguenti tensioni di snervamento e rottura:

- di snervamento $f_{yb} = 240 \text{ N/mm}^2$
- di rottura $f_{tb} = 400 \text{ N/mm}^2$

Per la bulloneria classe 8.8 si assumono le seguenti tensioni di snervamento e rottura:

- di snervamento $f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$
- di rottura $f_{tb} = 800 \text{ N/mm}^2$

4) ANALISI DEI CARICHI

NEVE (zona I – Alpina – Provincia di Lecco)

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

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

con

$$q_{sk} = 1,39[1+(270/728)^2] = 1,58 \text{ kN/m}^2 = 1580 \text{ N/m}^2 \quad (\text{h.s.l.m.} = 270 \text{ m} > 200 \text{ m})$$

q_s carico neve sulla copertura

q_{sk} valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo per un periodo di ritorno di 50 anni

μ_i coefficienti di forma per il carico neve per coperture a una falda:

- caso di neve depositata in assenza di vento

$$\mu_i = \mu_1 = 0,80 \rightarrow 1,58 \times 0,80 = 1,26 \text{ kN/m}^2 \approx 1,30 \text{ kN/m}^2 = 1300 \text{ N/m}^2 = 130 \text{ kg/m}^2$$

C_E coefficiente di esposizione

il coefficiente di esposizione C_E può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono indicati nella tabella 3.4.I. del D.M. 08 che qui si riassume:

<i>Topografia</i>	<i>Descrizione</i>	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento...	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti.	1,1

Se non diversamente indicato, si assumerà $C_E = 1$.

C_t coefficiente termico

il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura.

In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t = 1$.

PESI PROPRI E PERMANENTI

<u>Pacchetto di copertura</u>	60 kg/m ²	600 N/m ²
<u>Incidenza arcarecci</u>	10/15 kg/m ²	100/150 N/m ²
<u>Peso proprio struttura</u>	considerato separatamente	

5) COMBINAZIONI DEI CARICHI

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

Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \dots \quad (2.5.1)$$

Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \dots \quad (2.5.2)$$

con

- G_1 peso proprio di tutti gli elementi strutturali
- G_2 peso proprio di tutti gli elementi non strutturali
- Q_{k1} azione variabile principale (ad es. neve)
- Q_{k2} azione variabile secondaria (ad es. vento)

Tabella 2.5.I - Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti industriali	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m.s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m.s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

AZIONI NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura, valutando gli effetti delle combinazioni di carico precedentemente definite.

STATI LIMITE ULTIMI

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido: **EQU**
- lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione: **STR**
- lo stato limite di resistenza del terreno: **GEO**

La seguente tabella 2.6.I del D.M. 08 fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi, salvo quanto diversamente previsto nei capitoli successivi delle presenti norme.

Per le verifiche nei confronti dello stato limite ultimo come corpo rigido (EQU) si utilizzano i coefficienti parziali γ_f relativi alle azioni riportati nella colonna EQU della tabella sopra citata.

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO) si possono adottare, in alternativa, due diversi approcci progettuali.

Nell'*Approccio 1* si impiegano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale del sistema (R). Nella *Combinazione 1* dell'*Approccio 1*, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_f riportati nella colonna A1 della tabella sopracitata. Nella *Combinazione 2* dell'*Approccio 1*, si impiegano invece i coefficienti riportati nella colonna A2.

Nell'*Approccio 2* si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali definiti per le azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_f riportati nella colonna A1.

Nei calcoli eseguiti viene adottato l'*Approccio 2*.

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente		A1	A2
		γ_f	EQU	STR	GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Nella tabella precedente il significato dei simboli è il seguente:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi strutturali
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili

6) CLASSI DI DURATA DEL CARICO E CLASSE DI SERVIZIO (§4.4.4 D.M. 08)

- pesi propri e permanenti → Permanente
- neve → Breve durata
- vento → Istantaneo
- sisma → Istantaneo

- Classe di servizio (§4.4.5 D.M. 08) → 2

Nota: l'umidità relativa dell'aria all'interno della piscina dovrebbe essere di norma contenuta al 65% da un opportuno sistema di condizionamento e ventilazione; tuttavia, a favore di sicurezza, si assume comunque la Classe di servizio 2.

Tali parametri concorrono nella definizione del k_{mod} , coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri delle resistenza, sia della durata del carico, sia dell'umidità della struttura. Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico, si dovrà scegliere un valore di k_{mod} che corrisponde all'azione di minor durata. Si opta quindi per un valor medio di $k_{mod} = 0,9$ in ottemperanza alla tabella 4.4.IV del D.M. 08.

Tali parametri concorrono infine alla definizione del k_{def} , coefficiente correttivo che tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale e che viene assunto pari a 0,8 in ottemperanza alla tabella 4.4.V del D.M. 08.

Coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale da D.M. 08 → $\gamma_m = 1,45$ 1. lamellare
 $\gamma_m = 1,50$ connessioni

7) VERIFICHE COPERTURA PISCINA

7.1) ARCARECCI

ARCARECCI sez. 16x24 cm GL24h tipo 1

Schema statico:

Luce campata	5,80 m
Sbalzi di gronda	/
Pendenza	/
Area di influenza	1,50 m

α 0

classe di servizio 2

b	0,16	m	base elemento
h	0,24	m	altezza elemento
L	5,80	m	luce di calcolo
i	1,50	m	interasse o area di influenza

g	600	N/m ²	carico permanente
q	1300	N/m ²	carico accidentale (neve)

g _k	1073	N/m	
q _k	1950	N/m	
p _k	3023	N/m	carico distribuito caratteristico
p _d	4320	N/m	carico distribuito di progetto

M _{yd}	18164	Nm				
W _y	1536	cm ³	f _{md}	f _{mk}	k _{mod}	γ
σ	11,8	N/mm ²	14,9	24,0	0,90	1,45
	0,79	< 1				

f _{inst}	2,1	cm	freccia di calcolo (accettabile)
f _{lim}	1,9	cm	L/300
I	18432	cm ⁴	
E _{0mean}	11600	N/mm ²	

f _{fin}	1,3	cm	
f _{lim}	2,3	cm	L/250
Ψ _{2i}	0,0		

k_{def}	0,8			
V_k	8766	N		reazione caratteristica
V_d	12527	N		reazione di progetto
taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,3	N/mm ²	1,7	2,7
	0,19	< 1		

Conessioni

A scelta:

- 2 coppie viti WT-T 8,2x300 mm di Rothoblaas per ogni attacco (totale 8 viti per arcareccio)
- Staffa alu midi 120 di Rothoblaas (22 chiodi Anker 4x60 mm, 3 perni ø12x130 mm)
- Tasca su trave principale profondità 35 mm

Per gli arcarecci con luce 4,40 m circa (2 campate), può essere utilizzata anche solo 1 coppia (2 viti WT per attacco, totale 4 pezzi ad arcareccio) per ogni attacco.

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

			α	0		
classe di servizio			2			
b	0,06	m				base elemento
h	0,19	m				altezza elemento
L	5,80	m				luce di calcolo
i	1,50	m				interasse o area di influenza
g	300	N/m ²				carico permanente
q	0	N/m ²				carico accidentale (neve)
g_k	501	N/m				
q_k	0	N/m				
p_k	501	N/m				carico distribuito caratteristico
p_d	652	N/m				carico distribuito di progetto
M_{yd}	2740	Nm				
W_y	361	cm ³	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ
σ	7,6	N/mm ²	27,6	24,0	1,15	1,00
	0,28	< 1				

V_k	1454	N	reazione caratteristica
V_d	1890	N	reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,2	N/mm ²	3,1	2,7
	0,05	< 1		

ARCARECCI sez. 16x32 cm GL24h tipo 2

Schema statico:

Luce campata	7,75 m
Sbalzi di gronda	/
Pendenza	/
Area di influenza	1,50 m

α 0

classe di servizio 2

b	0,16	m	base elemento
h	0,32	m	altezza elemento
L	7,75	m	luce di calcolo
i	1,50	m	interasse o area di influenza

g	600	N/m ²	carico permanente
q	1300	N/m ²	carico accidentale (neve)

g_k	1130	N/m	
q_k	1950	N/m	
p_k	3080	N/m	carico distribuito caratteristico
p_d	4395	N/m	carico distribuito di progetto

M_{yd}	32993	Nm				
W_y	2731	cm ³	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ
σ	12,1	N/mm ²	14,9	24,0	0,90	1,45
	0,81	< 1				

f_{inst}	2,9	cm	freccia di calcolo (accettabile)
f_{lim}	2,6	cm	L/300
I	43691	cm ⁴	
E_{0mean}	11600	N/mm ²	

f_{fin}	1,9	cm		
f_{lim}	3,1	cm	L/250	
Ψ_{2i}	0,0			
k_{def}	0,8			
V_k	11937	N	reazione caratteristica	
V_d	17029	N	reazione di progetto	
taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,3	N/mm ²	1,7	2,7
	0,20	< 1		

Conessioni

A scelta:

- 2 coppie viti VGZ 9x400 mm di Rothoblaas per ogni attacco (totale 8 viti per arcareccio)
- Staffa alu midi 160 di Rothoblaas (30 chiodi Anker 4x60 mm, 4 perni ø12x130 mm)

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

			α	0
classe di servizio			2	
b	0,06	m	base elemento	
h	0,27	m	altezza elemento	
L	7,75	m	luce di calcolo	
i	1,50	m	interasse o area di influenza	
g	300	N/m ²	carico permanente	
q	0	N/m ²	carico accidentale (neve)	
g_k	523	N/m		
q_k	0	N/m		
p_k	523	N/m	carico distribuito caratteristico	
p_d	680	N/m	carico distribuito di progetto	
M_{yd}	5104	Nm		
W_y	729	cm ³	f_{md}	f_{mk}
			k_{mod}	γ

σ	7,0 0,25	N/mm ² < 1	27,6	24,0	1,15	1,00
----------	-------------	--------------------------	------	------	------	------

V_k	2026	N				reazione caratteristica
-------	------	---	--	--	--	-------------------------

V_d	2634	N				reazione di progetto
-------	------	---	--	--	--	----------------------

taglio

			f_{vd}	f_{vk}		
τ	0,2 0,05	N/mm ² < 1	3,1	2,7		

ARCARECCI sez. 16x24 cm GL24h tipo 3

Schema statico:

Luce campata 1,55 m
 Sbalzi di gronda 2,30 m
 Pendenza /
 Area di influenza 1,50 m

Carichi distribuiti:

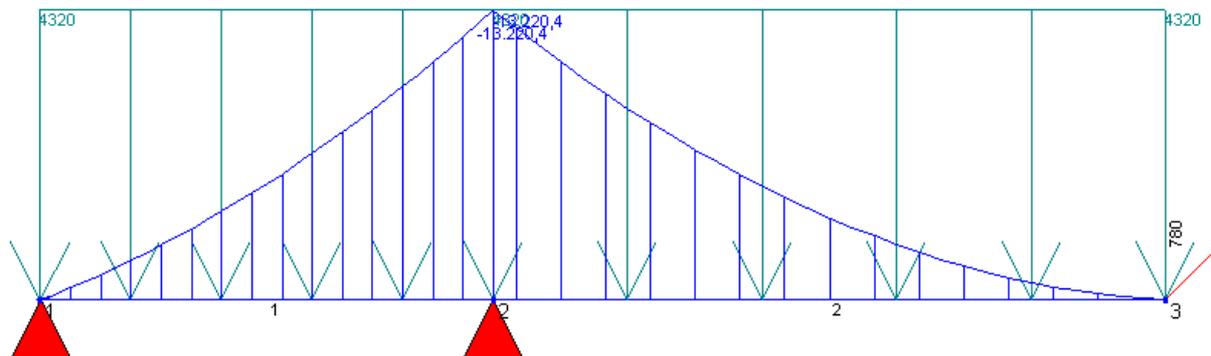
$p_k = 3023 \text{ N/m}$ (pag. 10)

$p_d = 4320 \text{ N/m}$ (pag. 10)

viene infine considerato un carico in punta dato dalla mantovana di chiusura in legno lamellare e dal suo rivestimento quantificato in:

$V_k = 600 \text{ N}$

$V_d = 780 \text{ N}$



$M_{yd \text{ max (negativo sull'appoggio)}} = 13220 \text{ Nm}$ da analisi con software di calcolo

$W_{y16x24} = bh^2/6 = 16x24^2/6 = 1536 \text{ cm}^3$

$\sigma_{myd} = M_{yd \text{ max}}/W_{y16x24} = 13220 \text{ Nm}/1536 \text{ cm}^3 = 8,6 \text{ N/mm}^2$

$f_{myd} = 0,9/1,45 \times f_{mk} = 0,9/1,45 \times 24 \text{ N/mm}^2 = 14,9 \text{ N/mm}^2$

verifica $8,6/14,9 = 0,58 < 1$

Verifica deformazionale – Stato limite di esercizio

$f_{inst \text{ punta}} = 1,0 \text{ cm} < L/150 = 230/150 = 1,5 \text{ cm}$ da analisi con software di calcolo

$I_{y16x24} = bh^3/12 = 16x24^3/12 = 36864 \text{ cm}^4$

Reazioni vincolari caratteristiche

$$V_{1yk} = - 3706 \text{ N}$$

$$V_{2yk} = 15945 \text{ N}$$

da analisi con software di calcolo

da analisi con software di calcolo

Reazioni vincolari di progetto

$$V_{1yd} = - 5181 \text{ N}$$

$$V_{2yd} = 22593 \text{ N}$$

da analisi con software di calcolo

da analisi con software di calcolo

7.2) TRAVI PRINCIPALI

TRAVI sez. 20x124 cm GL32c tipo 1

Schema statico:

Luce campata	16,75 m
Sbalzi di gronda	non considerati a favore di sicurezza
Pendenza	trascurabile
Area di influenza	7,00 m

α 0

classe di servizio 2

b	0,20	m	base elemento
h	1,24	m	altezza elemento
L	16,75	m	luce di calcolo
i	7,00	m	interasse o area di influenza

g	750	N/m ²	carico permanente
q	1300	N/m ²	carico accidentale (neve)

g _k	6366	N/m	
q _k	9100	N/m	
p _k	15466	N/m	carico distribuito caratteristico
p _d	21926	N/m	carico distribuito di progetto

M _{yd}	768945	Nm				
W _y	51253	cm ³	f _{md}	f _{mk}	k _{mod}	γ
σ	15,0	N/mm ²	19,9	32,0	0,90	1,45
	0,76	< 1				

f_{inst} 3,6 cm freccia di calcolo

f_{lim} 5,6 cm L/300

I 3177707 cm⁴

E_{0mean} 13700 N/mm²

f_{fin} 2,7 cm

f_{lim} 6,7 cm L/250

Ψ_{2i} 0,0

k_{def} 0,8

V_k	129528	N	reazione caratteristica
V_d	183629	N	reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,7	N/mm ²	2,0	3,2
	0,37	< 1		

Verifica compressione trasversale all'appoggio

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} f_{c90d}$$

$$\sigma_{c90d} = 183629 \text{ N}/200 \times 550 \text{ mm}^2 = 1,7 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c90} = 1,50$$

$$f_{c90d} = 0,9/1,45 \times f_{c90k} = 0,9/1,45 \times 3,0 \text{ N/mm}^2 = 1,86 \text{ N/mm}^2$$

$$1,7 \text{ N/mm}^2 < 1,50 \times 1,86 = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Si verifica anche la situazione statica di trave con medesima luce ma influenza differente (6,30 m) in quanto presenta un appoggio ridotto a 30 cm ($V_d = 166481 \text{ N}$):

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} f_{c90d}$$

$$\sigma_{c90d} = 166481 \text{ N}/200 \times 300 \text{ mm}^2 = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c90} = 1,50$$

$$f_{c90d} = 0,9/1,45 \times f_{c90k} = 0,9/1,45 \times 3,0 \text{ N/mm}^2 = 1,86 \text{ N/mm}^2$$

$$2,8 \text{ N/mm}^2 \leq 1,50 \times 1,86 = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Verifica instabilità corrente compresso

$$\sigma_{\text{crit}} = 0,78b^2 E_{0,05} / h l_{ef} = (0,78 \times 20^2 / 124 \times 518) \times 11100 \text{ N/mm}^2 = 54 \text{ N/mm}^2$$

con $l_{ef} = 0,9 \times 300 + 2 \times 124 = 518 \text{ cm}$ (ritegni a passo max 300 cm)

$$\lambda_{\text{relm}} = \text{radq}(32/54) = 0,77$$

$$k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \times 0,77 = 0,98$$

$$\sigma_{\text{md}} = 15 \text{ N/mm}^2 < 0,98 f_{\text{md}} = 0,98 \times 19,9 = 19,5 \text{ N/mm}^2$$

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

	α	0	
classe di servizio	2		
b	0,10	m	base elemento
h	1,19	m	altezza elemento
L	16,75	m	luce di calcolo
i	7,00	m	interasse o area di influenza
g	400	N/m ²	carico permanente

q	0	N/m ²	carico accidentale (neve)			
g _k	3336	N/m				
q _k	0	N/m				
p _k	3336	N/m	carico distribuito caratteristico			
p _d	4336	N/m	carico distribuito di progetto			
M _{yd}	152070	Nm				
W _y	23602	cm ³	f _{md}	f _{mk}	k _{mod}	γ
σ	6,4	N/mm ²	36,8	32,0	1,15	1,00
	0,18	< 1				
V _k	27935	N	reazione caratteristica			
V _d	36315	N	reazione di progetto			
taglio			f _{vd}	f _{vk}		
τ	0,3	N/mm ²	3,7	3,2		
	0,08	< 1				

TRAVI sez. 20x124 cm GL32c tipo 2

Schema statico:

Luce campata 19,45 m
 Sbalzi di gronda non considerati a favore di sicurezza
 Pendenza trascurabile
 Area di influenza 5,10 m

α 0

classe di servizio 2

b 0,20 m base elemento
 h 1,24 m altezza elemento
 L 19,45 m luce di calcolo
 i 5,10 m interasse o area di influenza

g 750 N/m² carico permanente
 q 1300 N/m² carico accidentale (neve)

g_k 4941 N/m
 q_k 6630 N/m
 p_k 11571 N/m carico distribuito caratteristico
 p_d 16368 N/m carico distribuito di progetto

M_{yd} 774021 Nm
 W_y 51253 cm³ f_{md} f_{mk} k_{mod} γ
 σ 15,1 N/mm² 19,9 32,0 0,90 1,45
 0,76 < 1

f_{inst} 5,0 cm freccia di calcolo

f_{lim} 6,5 cm L/300

I 3177707 cm⁴

E_{0mean} 13700 N/mm²

f_{fin} 3,8 cm

f_{lim} 7,8 cm L/250

Ψ_{2i} 0,0

k_{def} 0,8

V_k	112528	N	reazione caratteristica
V_d	159182	N	reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,6	N/mm ²	2,0	3,2
	0,32	< 1		

Verifica compressione trasversale all'appoggio

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} f_{c90d}$$

$$\sigma_{c90d} = 159182 \text{ N}/200 \times 300 \text{ mm}^2 = 2,6 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{c90} = 1,50$$

$$f_{c90d} = 0,9/1,45 \times f_{c90k} = 0,9/1,45 \times 3,0 \text{ N/mm}^2 = 1,86 \text{ N/mm}^2$$

$$2,6 \text{ N/mm}^2 < 1,50 \times 1,86 = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Verifica instabilità corrente compresso

$$\sigma_{\text{crit}} = 0,78 b^2 E_{0,05} / h l_{ef} = (0,78 \times 20^2 / 124 \times 518) \times 11100 \text{ N/mm}^2 = 54 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{con } l_{ef} = 0,9 \times 300 + 2 \times 124 = 518 \text{ cm} \quad (\text{ritegni a passo max } 300 \text{ cm})$$

$$\lambda_{\text{reln}} = \text{rad} q(32/54) = 0,77$$

$$k_{\text{crit}} = 1,56 - 0,75 \times 0,77 = 0,98$$

$$\sigma_{\text{md}} = 15,1 \text{ N/mm}^2 < 0,98 f_{\text{md}} = 0,98 \times 19,9 = 19,5 \text{ N/mm}^2$$

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

α 0

classe di servizio 2

b	0,10	m	base elemento
h	1,19	m	altezza elemento
L	19,45	m	luce di calcolo
i	5,10	m	interasse o area di influenza
g	400	N/m ²	carico permanente
q	0	N/m ²	carico accidentale (neve)
g_k	2576	N/m	
q_k	0	N/m	
p_k	2576	N/m	carico distribuito caratteristico
p_d	3348	N/m	carico distribuito di progetto

M_{yd}	158327	Nm					
W_y	23602	cm^3	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ	
σ	6,7 0,18	N/mm^2 < 1	36,8	32,0	1,15	1,00	
V_k	25047	N					reazione caratteristica
V_d	32561	N					reazione di progetto
taglio			f_{vd}	f_{vk}			
τ	0,3 0,07	N/mm^2 < 1	3,7	3,2			

7.3) PILASTRINI

PILASTRINI sez. 16x20 cm GL24h

Schema statico:

Lunghezza di libera inflessione 4,60 m

Seguono due verifiche degli elementi in esame a pressoflessione con instabilità, la prima senza vento, la seconda con vento, laddove l'influenza dello stesso è stata computata secondo normativa come:

$$p = q_b c_e c_p = 391 \text{ N/m}^2 \times 1,71 \times 1,00 \times 1,5 \text{ m} \approx 1000 \text{ N/m} = 100 \text{ kg/m}$$

Verifica a pressoflessione

$$(\sigma_{c0d}/f_{c0d})^2 + \sigma_{myd}/f_{myd} \leq 1$$

f_{c0k}	24 N/mm ²
f_{myk}	24 N/mm ²
k_{mod}	0,9
γ_m	1,45
f_{c0d}	14,9 N/mm ²
f_{myd}	14,9 N/mm ²
$\sigma_{c0d} = N_d/A$	0,71 N/mm ²
N_d	22593 N
b	160 mm
h	200 mm
σ_{myd}	0,00 N/mm ²
W_y	1067 cm ³
$M_{yd} = p_{yd} \times l^2 / 8$	0 kgm
l	4,60 m
$p_{yd} = \gamma_g g_k + \gamma_q q_k$	0 kg/m
γ_g	1,30
γ_q	1,50
g_k	0 kg/m
q_k	0 kg/m

$$0,002 < 1$$

Verifica di instabilità

$$\sigma_{c0d}/k_{cy} f_{c0d} + \sigma_{myd}/f_{myd} \leq 1$$

$$L_0 \quad 460 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c0d}/k_{cz} f_{c0d} + k_m \sigma_{myd}/f_{myd} \leq 1$$

$$E_{0,05} \quad 9400 \text{ N/mm}^2$$

λ_y	80
i_y	5,8 cm
λ_{rely}	1,28
k_y	1,37
k_{cy}	0,54
λ_z	99

i_z	4,6 cm
λ_{relz}	1,60
k_z	1,85
k_{cz}	0,36

$$0,088 < 1$$

$$0,131 < 1$$

Verifica deformazionale

$f = 5p_{yk}l^4/384EI$	0,0 cm	$< 1/200 =$	2,3 cm
p_{yk}	0 kg/m		
I	10667 cm ⁴		
E	116000 kg/cm ²		

Verifica a pressoflessione

$$(\sigma_{c0d}/f_{c0d})^2 + \sigma_{myd}/f_{myd} \leq 1$$

f_{c0k}	24 N/mm ²
f_{myk}	24 N/mm ²
k_{mod}	1,0
γ_m	1,45
f_{c0d}	16,6 N/mm ²
f_{myd}	16,6 N/mm ²
$\sigma_{c0d} = N_d/A$	0,71 N/mm ²
N_d	22593 N
b	160 mm
h	200 mm
σ_{myd}	2,23 N/mm ²
W_y	1067 cm ³
$M_{yd} = p_{yd}xl^2/8$	238 kgm
l	4,60 m
$p_{yd} = \gamma_g g_k + \gamma_q q_k$	90 kg/m
γ_g	1,30
γ_q	0,90
g_k	0 kg/m
q_k	100 kg/m

$$0,137 < 1$$

Verifica di instabilità

$$\sigma_{c0d}/k_{cy}f_{c0d} + \sigma_{myd}/f_{myd} \leq 1$$

$$L_0 \quad 460 \text{ cm}$$

$$\sigma_{c0d}/k_{cz}f_{c0d} + k_m\sigma_{myd}/f_{myd} \leq 1$$

$$E_{0,05} \quad 9400 \text{ N/mm}^2$$

λ_y	80
i_y	5,8 cm
λ_{rely}	1,28

ing. Daniele COLLEONI
 via Lecchetto 11A
 24030 Carvico (BG)
 035/4360532
 333/5285935
 Ordine Ingegneri Bergamo n° 2690
 ing.danielecolleoni@gmail.com

RELAZIONE DI CALCOLO

Comune di MERATE (LC)

k_y	1,37
k_{cy}	0,54
λ_z	99
i_z	4,6 cm
λ_{relz}	1,60
k_z	1,85
k_{cz}	0,36

0,214 < 1

0,212 < 1

Verifica deformazionale

$f = 5p_{yk}l^4/384EI$	0,5 cm	< 1/200 =	2,3 cm
p_{yk}	100 kg/m		
I	10667 cm ⁴		
E	116000 kg/cm ²		

8) VERIFICHE COPERTURA FITNESS

8.1) ARCARECCI

ARCARECCI sez. 16x20 cm GL24h

Schema statico:

Luce campata	4,80 m
Sbalzi di gronda	/
Pendenza	/
Area di influenza	1,50 m

α 0

classe di servizio 2

b	0,16	m	base elemento
h	0,20	m	altezza elemento
L	4,80	m	luce di calcolo
i	1,50	m	interasse o area di influenza

g	600	N/m ²	carico permanente
q	1300	N/m ²	carico accidentale (neve)

g _k	1044	N/m	
q _k	1950	N/m	
p _k	2994	N/m	carico distribuito caratteristico
p _d	4282	N/m	carico distribuito di progetto

M _{yd}	12333	Nm				
W _y	1067	cm ³	f _{md}	f _{mk}	k _{mod}	γ
σ	11,6	N/mm ²	14,9	24,0	0,90	1,45
	0,78	< 1				

f _{inst}	1,7	cm	freccia di calcolo
f _{lim}	1,6	cm	L/300
I	10667	cm ⁴	
E _{0mean}	11600	N/mm ²	

f _{fin}	1,0	cm	
f _{lim}	1,9	cm	L/250
Ψ _{2i}	0,0		

k_{def}	0,8			
V_k	7186	N		reazione caratteristica
V_d	10277	N		reazione di progetto
taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,3	N/mm ²	1,7	2,7
	0,19	< 1		

Connessioni

- 2 coppie viti WT-T 8,2x245 mm di Rothoblaas per ogni attacco (totale 8 viti per arcareccio)

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

			α	0		
classe di servizio			2			
b	0,06	m				base elemento
h	0,15	m				altezza elemento
L	4,80	m				luce di calcolo
i	1,50	m				interasse o area di influenza
g	300	N/m ²				carico permanente
q	0	N/m ²				carico accidentale (neve)
g_k	491	N/m				
q_k	0	N/m				
p_k	491	N/m				carico distribuito caratteristico
p_d	638	N/m				carico distribuito di progetto
M_{yd}	1836	Nm				
W_y	225	cm ³	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ
σ	8,2	N/mm ²	27,6	24,0	1,15	1,00
	0,30	< 1				
V_k	1177	N				reazione caratteristica
V_d	1530	N				reazione di progetto
taglio			f_{vd}	f_{vk}		
τ	0,2	N/mm ²	3,1	2,7		
	0,05	< 1				

8.2) TRAVI PRINCIPALI

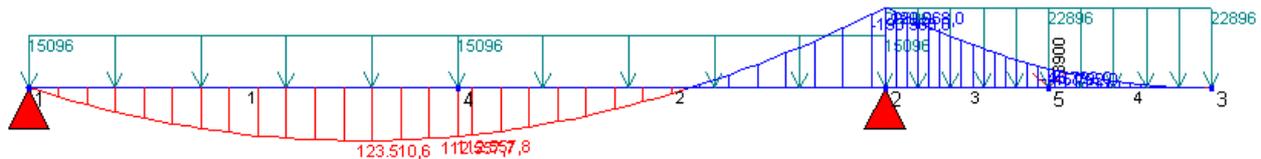
TRAVI sez. 20x68 cm GL24h

Schema statico:

Luce campata	10,50 m
Sbalzo di gronda	4,00 m
Pendenza	trascurabile
Area di influenza	5,00 m

Carichi distribuiti e concentrati:

p_k	= 10612 N/m	in campata
p_d	= 15096 N/m	in campata
p'_k	= 16612 N/m	sullo sbalzo con contributo per sospensione macchinari
p'_d	= 22896 N/m	sullo sbalzo con contributo per sospensione macchinari
V_k	= 3000 N	concentrato in mezzeria dello sbalzo
V_d	= 3900 N	concentrato in mezzeria dello sbalzo



$M_{yd \max}$ (negativo sull'appoggio) = 190968 Nm

$W_{y20x68} = bh^2/6 = 20 \times 68^2 / 6 = 15413 \text{ cm}^3$

$\sigma_{myd} = M_{yd \max} / W_{y20x68} = 190968 \text{ Nm} / 15413 \text{ cm}^3 = 12,3 \text{ N/mm}^2$

$f_{myd} = 0,9 / 1,45 \times f_{mk} = 0,9 / 1,45 \times 24 \text{ N/mm}^2 = 14,9 \text{ N/mm}^2$

verifica $12,3 / 14,9 = 0,82 < 1$

da analisi con software di calcolo

Verifica deformazionale – Stato limite di esercizio

$f_{inst\ mezzaeria\ campata} = 1,2\ cm < L/300 = 450/300 = 1,5\ cm$ da analisi con software di calcolo
 $I_{y12x16} = bh^3/12 = 12x16^3/12 = 4096\ cm^4$

Reazioni vincolari caratteristiche

$V_{1yk} = 42485\ N$ da analisi con software di calcolo
 $V_{2yk} = 138389\ N$ da analisi con software di calcolo

Reazioni vincolari di progetto

$V_{1yd} = 61067\ N$ da analisi con software di calcolo
 $V_{2yd} = 192925\ N$ da analisi con software di calcolo

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

			α	0		
classe di servizio			2			
b	0,10	m			base elemento	
h	0,63	m			altezza elemento	
L	10,50	m			luce di calcolo	
i	5,00	m			interasse o area di influenza	
g	400	N/m ²			carico permanente	
q	0	N/m ²			carico accidentale (neve)	
g_k	2284	N/m				
q_k	0	N/m				
p_k	2284	N/m			carico distribuito caratteristico	
p_d	2969	N/m			carico distribuito di progetto	
M_{yd}	40910	Nm				
W_y	6615	cm ³	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ
σ	6,2	N/mm ²	27,6	24,0	1,15	1,00
	0,22	< 1				
V_k	11988	N			reazione caratteristica	
V_d	15585	N			reazione di progetto	
taglio			f_{vd}	f_{vk}		
τ	0,2	N/mm ²	3,1	2,7		
	0,08	< 1				

9) VERIFICHE COPERTURA HALL

9.1) ARCARECCI

ARCARECCI sez. 14x20 cm GL24h tipo 1

Schema statico:

Luce campata	4,50 m
Sbalzi di gronda	/
Pendenza	/
Area di influenza	1,50 m

α 0

classe di servizio 2

b	0,14	m	base elemento
h	0,20	m	altezza elemento
L	4,50	m	luce di calcolo
i	1,40	m	interasse o area di influenza

g	600	N/m ²	carico permanente
q	1300	N/m ²	carico accidentale (neve)

g _k	966	N/m	
q _k	1820	N/m	
p _k	2786	N/m	carico distribuito caratteristico
p _d	3986	N/m	carico distribuito di progetto

M_{yd} 10089 Nm

W _y	933	cm ³	f _{md}	f _{mk}	k _{mod}	γ
σ	10,8	N/mm ²	14,9	24,0	0,90	1,45
	0,73	< 1				

f_{inst} 1,4 cm freccia di calcolo

f_{lim} 1,5 cm L/300

I 9333 cm⁴

E_{0mean} 11600 N/mm²

f_{fin} 0,9 cm

f_{lim} 1,8 cm L/250

Ψ_{2i} 0,0

k_{def}	0,8			
V_k	6269	N		reazione caratteristica
V_d	8968	N		reazione di progetto
taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,3	N/mm ²	1,7	2,7
	0,19	< 1		

Connessioni

- Code di rondine

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

			α	0			
classe di servizio			2				
b	0,04	m					base elemento
h	0,15	m					altezza elemento
L	4,50	m					luce di calcolo
i	1,40	m					interasse o area di influenza
g	300	N/m ²					carico permanente
q	0	N/m ²					carico accidentale (neve)
g_k	447	N/m					
q_k	0	N/m					
p_k	447	N/m					carico distribuito caratteristico
p_d	581	N/m					carico distribuito di progetto
M_{yd}	1471	Nm					
W_y	150	cm ³	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ	
σ	9,8	N/mm ²	27,6	24,0	1,15	1,00	
	0,36	< 1					
V_k	1006	N					reazione caratteristica
V_d	1307	N					reazione di progetto
taglio			f_{vd}	f_{vk}			
τ	0,2	N/mm ²	3,1	2,7			
	0,07	< 1					

ARCARECCI sez. 14x20 cm GL24h tipo 2

Schema statico:

Luce campata 5,17 m
 Sbalzi di gronda /
 Pendenza /
 Area di influenza 1,00 m

α 0

classe di servizio 2

b 0,14 m base elemento
 h 0,20 m altezza elemento
 L 5,17 m luce di calcolo
 i 1,00 m interasse o area di influenza

g 600 N/m² carico permanente
 q 1300 N/m² carico accidentale (neve)

g_k 726 N/m
 q_k 1300 N/m
 p_k 2026 N/m carico distribuito caratteristico
 p_d 2894 N/m carico distribuito di progetto

M_{yd} 9669 Nm
 W_y 933 cm³ f_{md} f_{mk} k_{mod} γ
 σ 10,4 N/mm² 14,9 24,0 0,90 1,45
 0,70 < 1

f_{inst} 1,7 cm freccia di calcolo
 f_{lim} 1,7 cm L/300
 I 9333 cm⁴
 E_{0mean} 11600 N/mm²

f_{fin} 1,1 cm
 f_{lim} 2,1 cm L/250
 Ψ_{2i} 0,0
 k_{def} 0,8

V_k 5237 N reazione caratteristica

V_d 7480 N reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,3	N/mm ²	1,7	2,7
	0,16	< 1		

Connessioni

- Code di rondine
- Staffa alu midi 120 di Rothoblaas su cls (4 barre $\varnothing 8 \times 110$ mm con resina, 3 perni $\varnothing 12 \times 130$)

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

α 0

classe di servizio 2

b	0,04	m	base elemento
h	0,15	m	altezza elemento
L	5,17	m	luce di calcolo
i	1,00	m	interasse o area di influenza

g	300	N/m ²	carico permanente
q	0	N/m ²	carico accidentale (neve)

g_k	327	N/m	
q_k	0	N/m	
p_k	327	N/m	carico distribuito caratteristico
p_d	425	N/m	carico distribuito di progetto

M_{yd}	1420	Nm				
W_y	150	cm ³	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ
σ	9,5	N/mm ²	27,6	24,0	1,15	1,00
	0,34	< 1				

V_k	845	N	reazione caratteristica
V_d	1099	N	reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,2	N/mm ²	3,1	2,7
	0,06	< 1		

9.2) TRAVI PRINCIPALI

TRAVI sez. 20x44 cm GL24h

Schema statico:

Luce campata	7,20 m
Sbalzi di gronda	/
Pendenza	/
Area di influenza	4,50 m

α 0

classe di servizio 2

b	0,20	m	base elemento
h	0,44	m	altezza elemento
L	7,20	m	luce di calcolo
i	4,50	m	interasse o area di influenza

g	700	N/m ²	carico permanente
q	1300	N/m ²	carico accidentale (neve)

g _k	3546	N/m	
q _k	5850	N/m	
p _k	9396	N/m	carico distribuito caratteristico
p _d	13385	N/m	carico distribuito di progetto

M _{yd}	86734	Nm				
W _y	6453	cm ³	f _{md}	f _{mk}	k _{mod}	γ
σ	13,4	N/mm ²	14,9	24,0	0,90	1,45
	0,90	< 1				

f_{inst} 2,0 cm freccia di calcolo

f_{lim} 2,4 cm L/300

I 141973 cm⁴

E_{0mean} 11600 N/mm²

f_{fin} 1,4 cm

f_{lim} 2,9 cm L/250

Ψ_{2i} 0,0

k_{def} 0,8

V_k	33826	N	reazione caratteristica
V_d	48185	N	reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,5	N/mm ²	1,7	2,7
	0,33	< 1		

Verifica Classe di Resistenza al fuoco R60

α 0

classe di servizio 2

b	0,10	m	base elemento
h	0,39	m	altezza elemento
L	7,20	m	luce di calcolo
i	4,50	m	interasse o area di influenza

g	400	N/m ²	carico permanente
q	0	N/m ²	carico accidentale (neve)

g_k	1976	N/m	
q_k	0	N/m	
p_k	1976	N/m	carico distribuito caratteristico
p_d	2568	N/m	carico distribuito di progetto

M_{yd}	16642	Nm				
W_y	2535	cm ³	f_{md}	f_{mk}	k_{mod}	γ
σ	6,6	N/mm ²	27,6	24,0	1,15	1,00
	0,24	< 1				

V_k	7112	N	reazione caratteristica
V_d	9245	N	reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,2	N/mm ²	3,1	2,7
	0,08	< 1		

V_d 21658 N reazione di progetto

taglio			f_{vd}	f_{vk}
τ	0,3	N/mm ²	1,7	2,7
	0,16	< 1		

Conessioni

- Staffa alu midi 240 di Rothoblaas (46 chiodi Anker 4x60 mm, 6 perni $\varnothing 12 \times 170$ mm)

Nota

L'abbondanza del risultato di verifica di quest'ultimo elemento ne giustifica l'appoggio della facciata in policarbonato, peraltro estremamente leggera.



ing. Daniele COLLEONI