



Comune di Tolentino

PROVINCIA DI MACERATA



OGGETTO : RICOSTRUZIONE PUBBLICA – SISMA 2016 – OCSR 27/2017 – MISURE IN MATERIA DI RIPARAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO PUBBLICO SUSCETTIBILE DI DESTINAZIONE ABITATIVA – OPERE DI RISTRUTTURAZIONE EDIFICIO “EX SCUOLA PATERNO” PER REALIZZAZIONE ALLOGGI ERP

COMMITTENTE : COMUNE DI TOLENTINO

TAVOLA :

10

PROGETTISTI INCARICATI :

Ing. HENRY GULLINI

Via A. Grandi n. 16 - Tel. 3476545020

62029 TOLENTINO (MC)

c.f. GLL HRY 78A09 L191G

e - mail: henrygullini@gmail.com

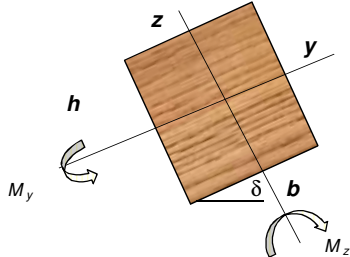
TIMBRO E FIRMA

PROGETTO E VERIFICA TRAVATURE IN LEGNO
PROGETTO E VERIFICA SOLAI
PROGETTO E VERIFICA SCALA

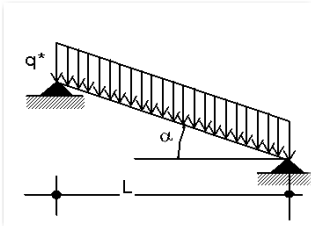
SCALA : -

DATA : 14 Nov. 2017

Verifica trave in legno con vincoli flessionali di semplice appoggio



$\delta = 14^\circ$ inclinazione sezione rispetto all'orizzontale
 lunghezza trave $L = 1,00$ m
 lunghezza di calcolo trave $L_c = 1,00$ m ☐ $L_c = L \cdot 1,05$ FALSC
 interasse travi $i = 1,30$ m
 $\alpha = 0^\circ$ inclinazione asta rispetto all'orizzontale



DIMENSIONI SEZIONE

☒ sezione trasversale rettangolare

VERO

$k_m = 0,70$

Base $b = 100$ cm (parall. a y)
 Altezza $h = 3,3$ cm (parall. a z)

Area sezione trasversale asta	$A =$	330 cm ²
Momento di inerzia I_y	$I_y = b h^3 / 12 =$	299 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse y	$W_y = I_y / (h/2) =$	182 cm ³
Raggio di inerzia i_y	$i_y = (I_y / A)^{0,5} =$	0,95 cm
Momento di inerzia I_z	$I_z = h b^3 / 12 =$	275 000 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse z	$W_z = I_z / (b/2) =$	5 500 cm ³
Raggio di inerzia i_z	$i_z = (I_z / A)^{0,5} =$	28,87 cm

Momento di inerzia torsionale $I_{tor} = h b^3 / (3(1 + 0,6 b/h)) = 57 346$ cm⁴ per sezione rettangolare

Classe di servizio 1	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno
Classe di servizio 2	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno
Classe di servizio 3	E' caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2

Classe di servizio **2** la classe di servizio tipica per un elemento di legno di un tetto al chiuso è 1, di una tettoia aperta è 2

Classe di durata del carico		Durata del carico
Permanente	Peso proprio e carichi non rimovibili	più di 10 anni
Lunga durata	Permanenti suscettibili di cambiamenti e carichi variabili relativi a magazzini e depositi	6 mesi - 10 anni
Media durata	Carichi variabili degli edifici ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	la NEVE, a meno di zone particolari	meno di una settimana
Istantaneo		--

N.B. Il carico da **neve** è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito

N.B. 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 minore durata

Classe di durata del carico

Breve durata

4

$k_{mod} = 0,90$

Legname di Conifera o Pioppo

Legname

4

$f_{m,K} =$	200 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione
$K_h =$	1,30	coeff. moltiplicativo di $f_{m,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{m,K} =$	260 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione per la sezione in oggetto

$f_{t,0,K} =$	120 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alle fibre
$K_h =$	1,00	coeff. moltiplicativo di $f_{t,0,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{t,0,K} =$	120 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione per la sezione in oggetto

$f_{c,0,K} =$	190 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,K} =$	22 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean} =$	95 000 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$E_{0,05} =$	64 000 daN/cm ²	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre
$G_{mean} =$	5 900 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$G_{0,05} = E_{0,05} G_{mean} / E_{0,mean} =$	3 975 daN/cm ²	
$\rho_k =$	330 daN/m ³	massa volumica caratteristica
$\rho_{mean} =$	390 daN/m ³	massa volumica media
$\gamma_M =$	1,5	Coeff. di sicurezza materiale
$f_{m,d} =$	156 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a flessione (tenuto conto anche di K_h)
$f_{t,0,d} =$	72 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a trazione in direzione parallela alle fibre
$f_{c,0,d} =$	114 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,d} =$	13,2 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a taglio

	componente perpendicolare all'asse della trave	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse z	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse y	componente parallela all'asse della trave	γ_G, γ_Q SLU	ψ_0
G1: Peso Proprio (daN/mq)	10	10	10	2	0	1,3
G2: Permanenti (daN/mq)	130	130	126	31	0	1,3
Q1: Variabili (daN/mq)	140	140	136	34	0	1,5
Q2: Neve (daN/mq)		0	0	0	0	1,5
Q3: VENTO v (daN/mq)		0	0	0	0	1,5

SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,z}$ =	daN/mq	m		
	380	1,30	= 494 daN/ml	comb. 1
	176	1,30	= 229 daN/ml	comb. 2
	176	1,30	= 229 daN/ml	comb. 3
SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,y}$ =	95	1,30	= 123 daN/ml	comb. 1
	44	1,30	= 57 daN/ml	comb. 2
SLU carico parallelo all'asse della trave = q_{parall} =	0	1,30	= 0 daN/ml	comb. 1
	0	1,30	= 0 daN/ml	comb. 2

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Sollecitazioni allo SLU

Numero di vincoli per carico assiale (1 o 2)	1
$N_{max} = q_{parall} \max (L_c / \cos \alpha) / 1 =$	0 daN
$\sigma_{c,0,d} = N / A =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a N	$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 =$ 0,0
$M_{y,max} = q_{perp,z} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	6 179 daN cm
$\sigma_{m,y,d} = M_y / W_y =$	34 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_y	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$ 0,2
$M_{z,max} = q_{perp,y} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	1 541 daN cm
$\sigma_{m,z,d} = M_z / W_z =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_z	$\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$ 0,0

Somma dei livelli relativi di tensione

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,2 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,2 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE CON INSTABILITA' ASSIALE E FLESSO-TORSIONALE

Sollecitazioni allo SLU

INSTABILITA' ASSIALE

Lunghezza dell'asta $L_c = 100$ cm

Nel caso in oggetto i vincoli delle estremità sono i seguenti:

asta con due cerniere
asta con due incastri
mensola incastrata ad un estremo

$\beta = 1,00$ ●
 $\beta = 0,75$ ○
 $\beta = 2,00$ ○

$L_o = \beta L_c = 100$ cm Lunghezza libera di inflessione

☒ trave vincolata superiormente dai travetti o dal tavolato

VERO

raggio di inerzia $i = 0,95$ cm

$\lambda = L_o / i = 105$ snellezza dell'asta

tensione critica a compressione

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E / \lambda^2 = 57 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa a compressione

$$\lambda_{rel,c} = (f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit})^{0,5} = 1,45$$

$$k = 0,5 [1 + 0,2 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 1,66 \text{ legno massiccio}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,1 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 1,60 \text{ legno lamellare}$$

In questo caso il legno è **massiccio** per cui $k = 1,66$

$k_{crit,c} = 1,00$ se $\lambda_{rel,c} \leq 0,3$

$$k_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}] = 0,40 \text{ se } \lambda_{rel,c} > 0,3$$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a compressione

$k_{crit,c} = 0,40$

INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

distanza tra i ritegni torsionali

$l_{LT} = 100$ cm

semplice appoggio

○ $n = 1,00$ momento flettente costante sul tratto L
● $n = 0,90$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata in mezzzeria

incastro ad un estremo (mensola)

○ $n = 0,50$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata all'estremo libero

lunghezza efficace $l_{eff} = n l_{LT} = 90$ cm

tensione critica per flessione

$$M_{y,crit} = \pi (E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor})^{0,5} / l_{eff} = 69\,879\,392 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 385\,010 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa per flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = 0,03$$

$k_{crit,m} = 1,00$

se $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,54$$

se $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 1480,81$$

se $\lambda_{rel,m} > 1,4$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a flessione-torsione

$k_{crit,m} = 1,00$

Somma dei livelli relativi di tensione

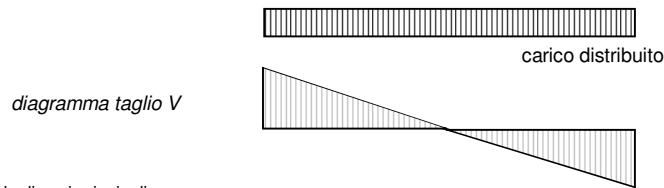
$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,2 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,2 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

Nel caso di flessione agente in un solo piano (xz) si può utilizzare, in alternativa:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + (\sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d})^2 = 0,0 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A TAGLIO DELLA TRAVE - SLU



Taglio massimo lungo le due direzioni degli assi principali

$$V_z = q_{\text{perp},z} L_c / 2 = 247 \text{ daN}$$

$$V_y = q_{\text{perp},y} L_c / 2 = 62 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 1,1 < 13,2 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 0,3 < 13,2 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$(\tau_{y,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 = 0,01 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

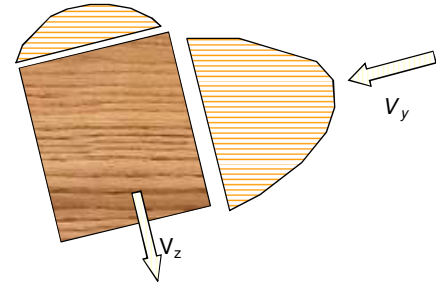


diagramma tensioni tangenziali dovute alle componenti del taglio verticale V_{Ed}

VERIFICA A DEFORMAZIONE - SLE

Il calcolo della freccia massima viene effettuato con la formula $u = (5/384) q l^4 / (EI)$ valida per travi semplicemente appoggiate

Abbassamento massimo della sezione in mezzera sotto carico (u)
valori degli abbassamenti istantanei:

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **permanenti**, con il valore della comb. di carico **RARA o QUASI PERMANENTE (G)**, $u_{1,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z1} = (5 / 384) G_z L_c^4 / (EI_y) = 0,08 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y1} = (5 / 384) G_y L_c^4 / (EI_z) = 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta ai permanenti } u_{1,inst} = \text{Rad}Q (u_{z1}^2 + u_{y1}^2) = 0,08 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **RARA (Q)**, $u_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) = 0,08 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) = 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u_{2,inst} = \text{Rad}Q (u_{z2}^2 + u_{y2}^2) = 0,08 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **QUASI PERMANENTE (Q)**, $u'_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u'_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) = 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u'_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) = 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u'_{2,inst} = \text{Rad}Q (u'_{z2}^2 + u'_{y2}^2) = 0,00 \text{ cm}$$

Valore di k_{def}

il valore di k_{def} dipende dalla classe di servizio:

classe di servizio	k_{def}
1	0,6
2	0,8
3	2

per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0

$$\text{in questo caso } k_{def} = 0,8 + 0,0 = 0,8$$

CALCOLO ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO PERMANENTE

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} (1 + k_{def}) = 0,15 \text{ cm}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO ISTANTANEO PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,inst} < Lc / 300$$

$$Lc / 300 = \quad \mathbf{0,33} \quad \text{cm}$$

$$u_{2,inst} = \quad 0,08 \quad \text{cm} \quad \quad \mathbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,fin} < Lc / 200$$

$$Lc / 200 = \quad \mathbf{0,50} \quad \text{cm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} + u'_{2,inst} k_{def} = \quad 0,08 \quad \text{cm} \quad \quad \mathbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO TOTALE

$$u_{net,fin} < Lc / 250$$

$$Lc / 250 = \quad \mathbf{0,40} \quad \text{cm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = \quad 0,23 \quad \text{cm} \quad \quad \mathbf{OK}$$

Verifica trave in legno con vincoli flessionali di semplice appoggio

$\delta = 0^\circ$ inclinazione sezione rispetto all'orizzontale
 lunghezza trave $L = 4,20$ m
 lunghezza di calcolo trave $L_c = 4,20$ m ☐ $L_c = L \cdot 1,05$ FALSC
 interasse travi $i = 1,00$ m
 $\alpha = 14^\circ$ inclinazione asta rispetto all'orizzontale

DIMENSIONI SEZIONE

☒ sezione trasversale rettangolare VERO $k_m = 0,70$

Base $b = 16$ cm (parall. a y)
 Altezza $h = 20$ cm (parall. a z)

Area sezione trasversale asta	$A =$	320 cm ²
Momento di inerzia I_y	$I_y = b h^3 / 12 =$	10 667 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse y	$W_y = I_y / (h/2) =$	1 067 cm ³
Raggio di inerzia i_y	$i_y = (I_y / A)^{0,5} =$	5,77 cm
Momento di inerzia I_z	$I_z = h b^3 / 12 =$	6 827 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse z	$W_z = I_z / (b/2) =$	853 cm ³
Raggio di inerzia i_z	$i_z = (I_z / A)^{0,5} =$	4,62 cm

Momento di inerzia torsionale $I_{tor} = h b^3 / (3(1 + 0,6 b/h)) = 18 450$ cm⁴ per sezione rettangolare

Classe di servizio 1	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno
Classe di servizio 2	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno
Classe di servizio 3	E' caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2

Classe di servizio **2** la classe di servizio tipica per un elemento di legno di un tetto al chiuso è 1, di una tettoia aperta è 2

Classe di durata del carico		Durata del carico
Permanente	Peso proprio e carichi non rimovibili	più di 10 anni
Lunga durata	Permanenti suscettibili di cambiamenti e carichi variabili relativi a magazzini e depositi	6 mesi - 10 anni
Media durata	Carichi variabili degli edifici ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	la NEVE, a meno di zone particolari	meno di una settimana
Istantaneo		--

N.B. Il carico da **neve** è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito

N.B. 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 minore durata**

Classe di durata del carico Breve durata ▼ 4

$k_{mod} = 0,90$

Legno Lamellare

19

$f_{m,K} =$	240 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{m,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{m,K} =$	264 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione per la sezione in oggetto

$f_{t,0,K} =$	165 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alle fibre
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{t,0,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{t,0,K} =$	182 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione per la sezione in oggetto

$f_{c,0,K} =$	240 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,K} =$	27 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean} =$	116 000 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$E_{0,05} =$	94 000 daN/cm ²	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre
$G_{mean} =$	7 200 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$G_{0,05} = E_{0,05} G_{mean} / E_{0,mean} =$	5 834 daN/cm ²	
$\rho_k =$	380 daN/m ³	massa volumica caratteristica
$\rho_{mean} =$	380 daN/m ³	massa volumica media
$\gamma_M =$	1,45	Coeff. di sicurezza materiale
$f_{m,d} =$	164 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a flessione (tenuto conto anche di K_h)
$f_{t,0,d} =$	113 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a trazione in direzione parallela alle fibre
$f_{c,0,d} =$	149 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,d} =$	16,8 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a taglio

	componente perpendicolare all'asse della trave	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse z	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse y	componente e parallela all'asse della trave	γ_G, γ_Q	SLU	Ψ_0
G1: Peso Proprio (daN/mq)	12	12	12	0	3	1,3	
G2: Permanenti (daN/mq)	130	126	126	0	31	1,3	
Q1: Variabili (daN/mq)	140	136	136	0	34	1,5	0,0
Q2: Neve (daN/mq)		0	0	0	0	1,5	0,5
Q3: VENTO v (daN/mq)		0	0	0		1,5	0,6

SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,z} =$	daN/mq	m		
	383	1,00	= 383 daN/ml	comb. 1
	179	1,00	= 179 daN/ml	comb. 2
	179	1,00	= 179 daN/ml	comb. 3
SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,y} =$	0	1,00	= 0 daN/ml	comb. 1
	0	1,00	= 0 daN/ml	comb. 2
SLU carico parallelo all'asse della trave = $q_{parall} =$	96	1,00	= 96 daN/ml	comb. 1
	45	1,00	= 45 daN/ml	comb. 2

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Sollecitazioni allo SLU

Numero di vincoli per carico assiale (1 o 2)	1
$N_{max} = q_{parall} \max (Lc / \cos \alpha) / 1 =$	413 daN
$\sigma_{c,0,d} = N / A =$	1 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a N	$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 =$ 0,0
$M_{y,max} = q_{perp,z} \max ((Lc / \cos \alpha)^2) / 8 =$	89 720 daN cm
$\sigma_{m,y,d} = M_y / W_y =$	84 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_y	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$ 0,5
$M_{z,max} = q_{perp,y} \max ((Lc / \cos \alpha)^2) / 8 =$	0 daN cm
$\sigma_{m,z,d} = M_z / W_z =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_z	$\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$ 0,0

Somma dei livelli relativi di tensione

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} =$$

0,5 ≤ 1; **VERIFICATO**

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} =$$

0,4 ≤ 1; **VERIFICATO**

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE CON INSTABILITA' ASSIALE E FLESSO-TORSIONALE

Sollecitazioni allo SLU

INSTABILITA' ASSIALE

Lunghezza dell'asta $L_c = 420$ cm

Nel caso in oggetto i vincoli delle estremità sono i seguenti:

asta con due cerniere
asta con due incastri
mensola incastrata ad un estremo

$\beta = 1,00$ ●
 $\beta = 0,75$ ○
 $\beta = 2,00$ ○

$$L_o = \beta L_c = 420 \text{ cm}$$

Lunghezza libera di inflessione

☒ trave vincolata superiormente dai travetti o dal tavolato

VERO

raggio di inerzia $i = 5,77$ cm

$$\lambda = L_o / i = 73 \text{ snellezza dell'asta}$$

tensione critica a compressione

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E / \lambda^2 = 175 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa a compressione

$$\lambda_{rel,c} = (f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit})^{0,5} = 0,97$$

$$k = 0,5 [1 + 0,2 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 1,04 \text{ legno massiccio}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,1 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 1,00 \text{ legno lamellare}$$

In questo caso il legno è **lamellare** per cui $k = 1,00$

$$k_{crit,c} = 1,00 \text{ se } \lambda_{rel,c} \leq 0,3$$

$$k_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}] = 0,79 \text{ se } \lambda_{rel,c} > 0,3$$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a compressione

$$k_{crit,c} = 0,79$$

INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

distanza tra i ritegni torsionali

$$l_{LT} = 420 \text{ cm}$$

semplice appoggio

○ $n = 1,00$ momento flettente costante sul tratto L
● $n = 0,90$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata in mezzzeria

incastro ad un estremo (mensola)

○ $n = 0,50$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata all'estremo libero

$$l_{eff} = n l_{LT} = 378 \text{ cm}$$

tensione critica per flessione

$$M_{y,crit} = \pi (E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor})^{0,5} / l_{eff} = 2 183 287 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 2 047 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa per flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = 0,36$$

$$k_{crit,m} = 1,00$$

se $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,29$$

se $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 7,75$$

se $\lambda_{rel,m} > 1,4$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a flessione-torsione

$$k_{crit,m} = 1,00$$

Somma dei livelli relativi di tensione

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$$

0,5 ≤ 1; **VERIFICATO**

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$$

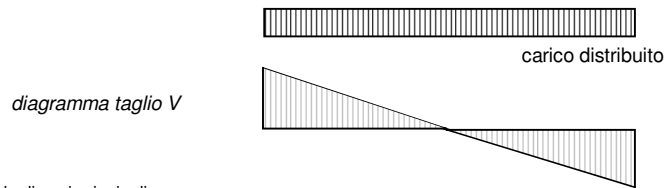
0,4 ≤ 1; **VERIFICATO**

Nel caso di flessione agente in un solo piano (xz) si può utilizzare, in alternativa:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + (\sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d})^2 =$$

0,3 ≤ 1; **VERIFICATO**

VERIFICA A TAGLIO DELLA TRAVE - SLU



Taglio massimo lungo le due direzioni degli assi principali

$$V_z = q_{\text{perp},z} L_c / 2 = 804 \text{ daN}$$

$$V_y = q_{\text{perp},y} L_c / 2 = 0 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 3,8 < 16,8 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 0,0 < 16,8 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$(\tau_{y,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 = 0,05 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

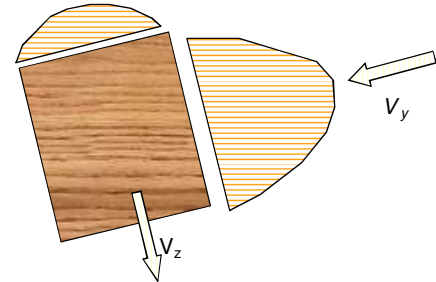


diagramma tensioni tangenziali
dovute alle componenti del taglio verticale V_{Ed}

VERIFICA A DEFORMAZIONE - SLE

Il calcolo della freccia massima viene effettuato con la formula $u = (5/384) q l^4 / (EI)$ valida per travi semplicemente appoggiate

Abbassamento massimo della sezione in mezzera sotto carico (u)
valori degli abbassamenti istantanei:

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **permanenti**, con il valore della comb. di carico **RARA o QUASI PERMANENTE (G)**, $u_{1,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z1} = (5 / 384) G_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,45 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y1} = (5 / 384) G_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta ai permanenti } u_{1,inst} = \text{Rad}Q(u_{z1}^2 + u_{y1}^2) = 0,45 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **RARA (Q)**, $u_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,44 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u_{2,inst} = \text{Rad}Q(u_{z2}^2 + u_{y2}^2) = 0,44 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **QUASI PERMANENTE (Q)**, $u'_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u'_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u'_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u'_{2,inst} = \text{Rad}Q(u'_{z2}^2 + u'_{y2}^2) = 0,00 \text{ cm}$$

Valore di k_{def}

il valore di k_{def} dipende dalla classe di servizio:

classe di servizio	k_{def}
1	0,6
2	0,8
3	2

per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0

$$\text{in questo caso } k_{def} = 0,8 + 0,0 = 0,8$$

CALCOLO ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO PERMANENTE

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} (1 + k_{def}) = 0,81 \text{ cm}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO ISTANTANEO PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,inst} < Lc / 300$$

$$Lc / 300 = 1,40 \text{ cm}$$

$$u_{2,inst} = 0,44 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,fin} < Lc / 200$$

$$Lc / 200 = 2,10 \text{ cm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} + u'_{2,inst} k_{def} = 0,44 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

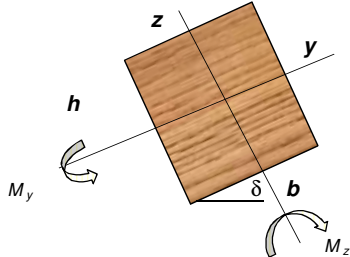
VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO TOTALE

$$u_{net,fin} < Lc / 250$$

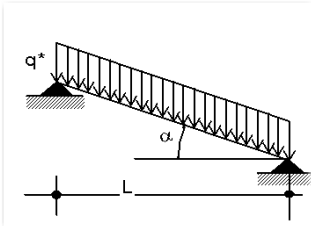
$$Lc / 250 = 1,68 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 1,26 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

Verifica trave in legno con vincoli flessionali di semplice appoggio



$\delta = 14^\circ$ inclinazione sezione rispetto all'orizzontale
 lunghezza trave $L = 3,30$ m
 lunghezza di calcolo trave $L_c = 3,30$ m ☐ $L_c = L \cdot 1,05$ FALSO
 interasse travi $i = 2,60$ m
 $\alpha = 0^\circ$ inclinazione asta rispetto all'orizzontale



DIMENSIONI SEZIONE

☒ sezione trasversale rettangolare

VERO

$k_m = 0,70$

Base $b = 16$ cm (parall. a y)
 Altezza $h = 20$ cm (parall. a z)

Area sezione trasversale asta	$A =$	320 cm ²
Momento di inerzia I_y	$I_y = b h^3 / 12 =$	10 667 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse y	$W_y = I_y / (h/2) =$	1 067 cm ³
Raggio di inerzia i_y	$i_y = (I_y / A)^{0,5} =$	5,77 cm
Momento di inerzia I_z	$I_z = h b^3 / 12 =$	6 827 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse z	$W_z = I_z / (b/2) =$	853 cm ³
Raggio di inerzia i_z	$i_z = (I_z / A)^{0,5} =$	4,62 cm

Momento di inerzia torsionale $I_{tor} = h b^3 / (3(1 + 0,6 b/h)) = 18 450$ cm⁴ per sezione rettangolare

Classe di servizio 1	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno
Classe di servizio 2	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno
Classe di servizio 3	E' caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2

Classe di servizio **2** la classe di servizio tipica per un elemento di legno di un tetto al chiuso è 1, di una tettoia aperta è 2

Classe di durata del carico		Durata del carico
Permanente	Peso proprio e carichi non rimovibili	più di 10 anni
Lunga durata	Permanenti suscettibili di cambiamenti e carichi variabili relativi a magazzini e depositi	6 mesi - 10 anni
Media durata	Carichi variabili degli edifici ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	la NEVE, a meno di zone particolari	meno di una settimana
Istantaneo		--

N.B. Il carico da **neve** è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito

N.B. 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 minore durata

Classe di durata del carico

Breve durata

4

$k_{mod} = 0,90$

Legno Lamellare

CLASSE DI DURATA

21

$f_{m,K} =$	320 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{m,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{m,K} =$	352 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione per la sezione in oggetto

$f_{t,0,K} =$	225 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alle fibre
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{t,0,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{t,0,K} =$	248 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione per la sezione in oggetto

$f_{c,0,K} =$	290 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,K} =$	38 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean} =$	137 000 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$E_{0,05} =$	111 000 daN/cm ²	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre
$G_{mean} =$	8 500 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$G_{0,05} = E_{0,05} G_{mean} / E_{0,mean} =$	6 887 daN/cm ²	
$\rho_k =$	430 daN/m ³	massa volumica caratteristica
$\rho_{mean} =$	430 daN/m ³	massa volumica media
$\gamma_M =$	1,45	Coeff. di sicurezza materiale
$f_{m,d} =$	218 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a flessione (tenuto conto anche di K_h)
$f_{t,0,d} =$	154 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a trazione in direzione parallela alle fibre
$f_{c,0,d} =$	180 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,d} =$	23,6 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a taglio

	componente perpendicolare all'asse della trave	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse z	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse y	componente parallela all'asse della trave	γ_G, γ_Q	SLU	Ψ_0
G1: Peso Proprio (daN/mq)	5	5	5	1	0	1,3	
G2: Permanenti (daN/mq)	130	130	126	31	0	1,3	
Q1: Variabili (daN/mq)	140	140	136	34	0	1,5	0,0
Q2: Neve (daN/mq)		0	0	0	0	1,5	0,5
Q3: VENTO v (daN/mq)		0	0	0	0	1,5	0,6

SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,z}$ =	daN/mq	m		
	374	2,60	= 973 daN/ml	comb. 1
	171	2,60	= 444 daN/ml	comb. 2
	171	2,60	= 444 daN/ml	comb. 3
SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,y}$ =	93	2,60	= 243 daN/ml	comb. 1
	43	2,60	= 111 daN/ml	comb. 2
SLU carico parallelo all'asse della trave = q_{parall} =	0	2,60	= 0 daN/ml	comb. 1
	0	2,60	= 0 daN/ml	comb. 2

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Sollecitazioni allo SLU

Numero di vincoli per carico assiale (1 o 2)	1
$N_{max} = q_{parall} \max (L_c / \cos \alpha) / 1 =$	0 daN
$\sigma_{c,0,d} = N / A =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a N	$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 =$ 0,0
$M_{y,max} = q_{perp,z} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	132 516 daN cm
$\sigma_{m,y,d} = M_y / W_y =$	124 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_y	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$ 0,6
$M_{z,max} = q_{perp,y} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	33 040 daN cm
$\sigma_{m,z,d} = M_z / W_z =$	39 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_z	$\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$ 0,2

Somma dei livelli relativi di tensione

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} =$$

0,7 ≤ 1; **VERIFICATO**

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} =$$

0,6 ≤ 1; **VERIFICATO**

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE CON INSTABILITA' ASSIALE E FLESSO-TORSIONALE

Sollecitazioni allo SLU

INSTABILITA' ASSIALE

Lunghezza dell'asta $L_c = 330$ cm

Nel caso in oggetto i vincoli delle estremità sono i seguenti:

asta con due cerniere
asta con due incastri
mensola incastrata ad un estremo

$\beta = 1,00$ ●
 $\beta = 0,75$ ○
 $\beta = 2,00$ ○

$$L_o = \beta L_c = 330 \text{ cm}$$

Lunghezza libera di inflessione

☒ trave vincolata superiormente dai travetti o dal tavolato

VERO

raggio di inerzia $i = 5,77$ cm

$$\lambda = L_o / i = 57 \text{ snellezza dell'asta}$$

tensione critica a compressione

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E / \lambda^2 = 335 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa a compressione

$$\lambda_{rel,c} = (f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit})^{0,5} = 0,82$$

$$k = 0,5 [1 + 0,2 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,89 \text{ legno massiccio}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,1 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,86 \text{ legno lamellare}$$

In questo caso il legno è **lamellare** per cui $k = 0,86$

$$k_{crit,c} = 1,00 \text{ se } \lambda_{rel,c} \leq 0,3$$

$$k_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}] = 0,89 \text{ se } \lambda_{rel,c} > 0,3$$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a compressione

$$k_{crit,c} = 0,89$$

INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

distanza tra i ritegni torsionali

$$l_{LT} = 330 \text{ cm}$$

semplice appoggio

○ $n = 1,00$ momento flettente costante sul tratto L
● $n = 0,90$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata in mezzera

incastro ad un estremo (mensola)

○ $n = 0,50$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata all'estremo libero

$$l_{eff} = n l_{LT} = 297 \text{ cm}$$

tensione critica per flessione

$$M_{y,crit} = \pi (E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor})^{0,5} / l_{eff} = 3 280 599 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 3 076 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa per flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = 0,34$$

$$k_{crit,m} = 1,00$$

se $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,31$$

se $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 8,74$$

se $\lambda_{rel,m} > 1,4$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a flessione-torsione

$$k_{crit,m} = 1,00$$

Somma dei livelli relativi di tensione

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$$

0,7 ≤ 1; **VERIFICATO**

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$$

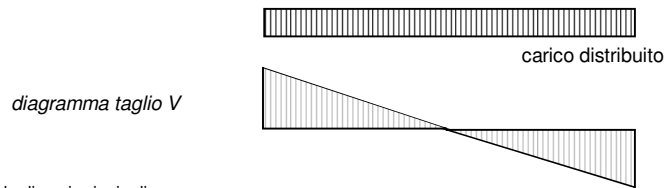
0,6 ≤ 1; **VERIFICATO**

Nel caso di flessione agente in un solo piano (xz) si può utilizzare, in alternativa:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + (\sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d})^2 =$$

0,3 ≤ 1; **VERIFICATO**

VERIFICA A TAGLIO DELLA TRAVE - SLU



Taglio massimo lungo le due direzioni degli assi principali

$$V_z = q_{\text{perp},z} L_c / 2 = 1\,606 \text{ daN}$$

$$V_y = q_{\text{perp},y} L_c / 2 = 400 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 7,5 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 1,9 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$(\tau_{y,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 = 0,11 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

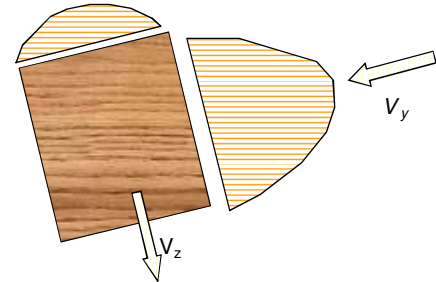


diagramma tensioni tangenziali
dovute alle componenti del taglio verticale V_{Ed}

VERIFICA A DEFORMAZIONE - SLE

Il calcolo della freccia massima viene effettuato con la formula $u = (5/384) q l^4 / (EI)$ valida per travi semplicemente appoggiate

Abbassamento massimo della sezione in mezzera sotto carico (u)
valori degli abbassamenti istantanei:

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **permanenti**, con il valore della comb. di carico **RARA o QUASI PERMANENTE (G)**, $u_{1,inst}$

$$f_z: u_{z1} = (5 / 384) G_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,36 \text{ cm}$$

$$f_y: u_{y1} = (5 / 384) G_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,14 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta ai permanenti } u_{1,inst} = \text{Rad}Q(u_{z1}^2 + u_{y1}^2) = 0,39 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **RARA (Q)**, $u_{2,inst}$

$$f_z: u_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,37 \text{ cm}$$

$$f_y: u_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,15 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u_{2,inst} = \text{Rad}Q(u_{z2}^2 + u_{y2}^2) = 0,40 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **QUASI PERMANENTE (Q)**, $u'_{2,inst}$

$$f_z: u'_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$f_y: u'_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u'_{2,inst} = \text{Rad}Q(u'_{z2}^2 + u'_{y2}^2) = 0,00 \text{ cm}$$

Valore di k_{def}

il valore di k_{def} dipende dalla classe di servizio:

classe di servizio	k_{def}
1	0,6
2	0,8
3	2

per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0

$$\text{in questo caso } k_{def} = 0,8 + 0,0 = 0,8$$

CALCOLO ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO PERMANENTE

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} (1 + k_{def}) = 0,70 \text{ cm}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO ISTANTANEO PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,inst} < Lc / 300$$

$$Lc / 300 = 1,10 \text{ cm}$$

$$u_{2,inst} = 0,40 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,fin} < Lc / 200$$

$$Lc / 200 = 1,65 \text{ cm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} + u'_{2,inst} k_{def} = 0,40 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

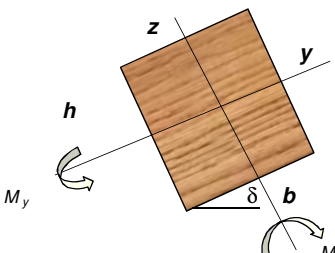
VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO TOTALE

$$u_{net,fin} < Lc / 250$$

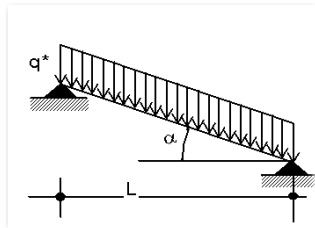
$$Lc / 250 = 1,32 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 1,10 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Verifica trave in legno con vincoli flessionali di semplice appoggio



$\delta = 0^\circ$ inclinazione sezione rispetto all'orizzontale
 lunghezza trave $L = 5,10$ m
 lunghezza di calcolo trave $L_c = 5,10$ m ☐ $L_c = L \cdot 1,05$ FALSO
 interasse travi $i = 2,50$ m
 $\alpha = 14^\circ$ inclinazione asta rispetto all'orizzontale



DIMENSIONI SEZIONE

☒ sezione trasversale rettangolare

VERO

$k_m = 0,70$

Base $b = 20$ cm (parall. a y)
 Altezza $h = 28$ cm (parall. a z)

Area sezione trasversale asta	$A =$	560 cm ²
Momento di inerzia I_y	$I_y = b h^3 / 12 =$	36 587 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse y	$W_y = I_y / (h/2) =$	2 613 cm ³
Raggio di inerzia i_y	$i_y = (I_y / A)^{0,5} =$	8,08 cm
Momento di inerzia I_z	$I_z = h b^3 / 12 =$	18 667 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse z	$W_z = I_z / (b/2) =$	1 867 cm ³
Raggio di inerzia i_z	$i_z = (I_z / A)^{0,5} =$	5,77 cm

Momento di inerzia torsionale $I_{tor} = h b^3 / (3(1 + 0,6 b/h)) = 52 267$ cm⁴ per sezione rettangolare

Classe di servizio 1	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno
Classe di servizio 2	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno
Classe di servizio 3	E' caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2

Classe di servizio **2** la classe di servizio tipica per un elemento di legno di un tetto al chiuso è 1, di una tettoia aperta è 2

Classe di durata del carico		Durata del carico
Permanente	Peso proprio e carichi non rimovibili	più di 10 anni
Lunga durata	Permanenti suscettibili di cambiamenti e carichi variabili relativi a magazzini e depositi	6 mesi - 10 anni
Media durata	Carichi variabili degli edifici ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	la NEVE, a meno di zone particolari	meno di una settimana
Istantaneo		--

N.B. Il carico da **neve** è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito

N.B. 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 minore durata

Classe di durata del carico

Breve durata

4

$k_{mod} = 0,90$

Legno Lamellare

21

$f_{m,K} =$	320 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione
$K_h =$	1,08	coeff. moltiplicativo di $f_{m,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{m,K} =$	345 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione per la sezione in oggetto

$f_{t,0,K} =$	225 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alle fibre
$K_h =$	1,08	coeff. moltiplicativo di $f_{t,0,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{t,0,K} =$	243 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione per la sezione in oggetto

$f_{c,0,K} =$	290 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,K} =$	38 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean} =$	137 000 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$E_{0,05} =$	111 000 daN/cm ²	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre
$G_{mean} =$	8 500 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$G_{0,05} = E_{0,05} G_{mean} / E_{0,mean} =$	6 887 daN/cm ²	
$\rho_k =$	430 daN/m ³	massa volumica caratteristica
$\rho_{mean} =$	430 daN/m ³	massa volumica media
$\gamma_M =$	1,45	Coeff. di sicurezza materiale
$f_{m,d} =$	214 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a flessione (tenuto conto anche di K_h)
$f_{t,0,d} =$	151 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a trazione in direzione parallela alle fibre
$f_{c,0,d} =$	180 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,d} =$	23,6 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a taglio

	componente perpendicolare all'asse della trave	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse z	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse y	componente e parallela all'asse della trave	γ_G, γ_Q	SLU	Ψ_0
G1: Peso Proprio (daN/mq)	10	9	9	0	2	1,3	
G2: Permanenti (daN/mq)	130	126	126	0	31	1,3	
Q1: Variabili (daN/mq)	140	136	136	0	34	1,5	0,0
Q2: Neve (daN/mq)		0	0	0	0	1,5	0,5
Q3: VENTO v (daN/mq)		0	0	0		1,5	0,6

SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,z} =$	daN/mq	m		
	380	2,50	= 950 daN/ml	comb. 1
	176	2,50	= 440 daN/ml	comb. 2
	176	2,50	= 440 daN/ml	comb. 3
SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,y} =$	0	2,50	= 0 daN/ml	comb. 1
	0	2,50	= 0 daN/ml	comb. 2
SLU carico parallelo all'asse della trave = $q_{parall} =$	95	2,50	= 237 daN/ml	comb. 1
	44	2,50	= 110 daN/ml	comb. 2

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Sollecitazioni allo SLU

Numero di vincoli per carico assiale (1 o 2)	1
$N_{max} = q_{parall} \max (L_c / \cos \alpha) / 1 =$	1 245 daN
$\sigma_{c,0,d} = N / A =$	2 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a N	$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 =$ 0,0
$M_{y,max} = q_{perp,z} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	327 976 daN cm
$\sigma_{m,y,d} = M_y / W_y =$	126 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_y	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$ 0,6
$M_{z,max} = q_{perp,y} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	0 daN cm
$\sigma_{m,z,d} = M_z / W_z =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_z	$\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$ 0,0

Somma dei livelli relativi di tensione

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,6 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,4 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE CON INSTABILITA' ASSIALE E FLESSO-TORSIONALE

Sollecitazioni allo SLU

INSTABILITA' ASSIALE

Lunghezza dell'asta $L_c = 510$ cm

Nel caso in oggetto i vincoli delle estremità sono i seguenti:

asta con due cerniere
asta con due incastri
mensola incastrata ad un estremo

$\beta = 1,00$ ●
 $\beta = 0,75$ ○
 $\beta = 2,00$ ○

$L_o = \beta L_c = 510$ cm

Lunghezza libera di inflessione

☒ trave vincolata superiormente dai travetti o dal tavolato

VERO

raggio di inerzia $i = 8,08$ cm

$\lambda = L_o / i = 63$ snellezza dell'asta

tensione critica a compressione

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E / \lambda^2 = 275 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa a compressione

$$\lambda_{rel,c} = (f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit})^{0,5} = 0,90$$

$$k = 0,5 [1 + 0,2 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,97 \text{ legno massiccio}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,1 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,94 \text{ legno lamellare}$$

In questo caso il legno è **lamellare** per cui $k = 0,94$

$k_{crit,c} = 1,00$ se $\lambda_{rel,c} \leq 0,3$

$$k_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}] = 0,84 \text{ se } \lambda_{rel,c} > 0,3$$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a compressione

$k_{crit,c} = 0,84$

INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

distanza tra i ritegni torsionali

$l_{LT} = 510$ cm

semplice appoggio

○ $n = 1,00$ momento flettente costante sul tratto L
● $n = 0,90$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata in mezzzeria

incastro ad un estremo (mensola)

○ $n = 0,50$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata all'estremo libero

lunghezza efficace $l_{eff} = n l_{LT} = 459$ cm

tensione critica per flessione

$$M_{y,crit} = \pi (E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor})^{0,5} / l_{eff} = 5\,907\,924 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 2\,261 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa per flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = 0,39$$

$k_{crit,m} = 1,00$

se $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,27$$

se $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 6,55$$

se $\lambda_{rel,m} > 1,4$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a flessio-torsione

$k_{crit,m} = 1,00$

Somma dei livelli relativi di tensione

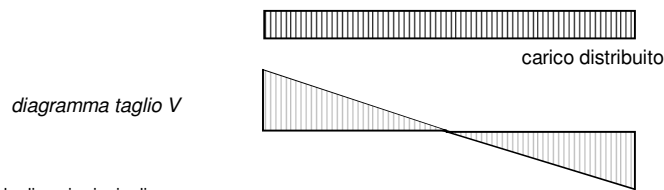
$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,6 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,4 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

Nel caso di flessione agente in un solo piano (xz) si può utilizzare, in alternativa:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + (\sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d})^2 = 0,4 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A TAGLIO DELLA TRAVE - SLU



Taglio massimo lungo le due direzioni degli assi principali

$$V_z = q_{\text{perp},z} L_c / 2 = 2\,422 \text{ daN}$$

$$V_y = q_{\text{perp},y} L_c / 2 = 0 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 6,5 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 0,0 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$(\tau_{y,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 = 0,08 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

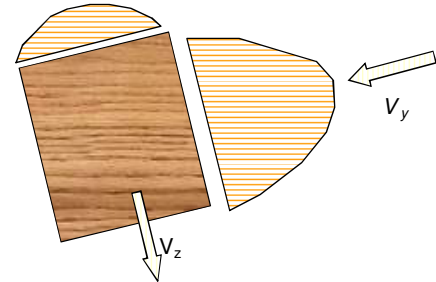


diagramma tensioni tangenziali
dovute alle componenti del taglio verticale V_{Ed}

VERIFICA A DEFORMAZIONE - SLE

Il calcolo della freccia massima viene effettuato con la formula $u = (5/384) q l^4 / (EI)$ valida per travi semplicemente appoggiate

Abbassamento massimo della sezione in mezzera sotto carico (u)
valori degli abbassamenti istantanei:

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **permanenti**, con il valore della comb. di carico **RARA o QUASI PERMANENTE (G)**, $u_{1,inst}$

$$f_z: u_{z1} = (5 / 384) G_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,60 \text{ cm}$$

$$f_y: u_{y1} = (5 / 384) G_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta ai permanenti } u_{1,inst} = \text{Rad}Q (u_{z1}^2 + u_{y1}^2) = 0,60 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **RARA (Q)**, $u_{2,inst}$

$$f_z: u_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,60 \text{ cm}$$

$$f_y: u_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u_{2,inst} = \text{Rad}Q (u_{z2}^2 + u_{y2}^2) = 0,60 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **QUASI PERMANENTE (Q)**, $u'_{2,inst}$

$$f_z: u'_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$f_y: u'_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u'_{2,inst} = \text{Rad}Q (u'_{z2}^2 + u'_{y2}^2) = 0,00 \text{ cm}$$

Valore di k_{def}

il valore di k_{def} dipende dalla classe di servizio:

classe di servizio	k_{def}
1	0,6
2	0,8
3	2

per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0

$$\text{in questo caso } k_{def} = 0,8 + 0,0 = 0,8$$

CALCOLO ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO PERMANENTE

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} (1 + k_{def}) = 1,07 \text{ cm}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO ISTANTANEO PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,inst} < Lc / 300$$

$$Lc / 300 = 1,70 \text{ cm}$$

$$u_{2,inst} = 0,60 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,fin} < Lc / 200$$

$$Lc / 200 = 2,55 \text{ cm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} + u'_{2,inst} k_{def} = 0,60 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

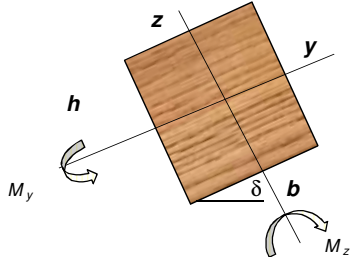
VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO TOTALE

$$u_{net,fin} < Lc / 250$$

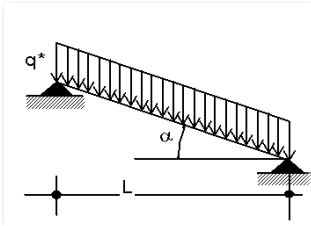
$$Lc / 250 = 2,04 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 1,67 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

Verifica trave in legno con vincoli flessionali di semplice appoggio



$\delta = 14^\circ$ inclinazione sezione rispetto all'orizzontale
 lunghezza trave $L = 3,00$ m
 lunghezza di calcolo trave $L_c = 3,15$ m ☒ $L_c = L \cdot 1,05$ VERO
 interasse travi $i = 3,00$ m
 $\alpha = 0^\circ$ inclinazione asta rispetto all'orizzontale



DIMENSIONI SEZIONE

☒ sezione trasversale rettangolare VERO $k_m = 0,70$

Base $b = 16$ cm (parall. a y)
 Altezza $h = 20$ cm (parall. a z)

Area sezione trasversale asta	$A =$	320 cm ²
Momento di inerzia I_y	$I_y = b h^3 / 12 =$	10 667 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse y	$W_y = I_y / (h/2) =$	1 067 cm ³
Raggio di inerzia i_y	$i_y = (I_y / A)^{0,5} =$	5,77 cm
Momento di inerzia I_z	$I_z = h b^3 / 12 =$	6 827 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse z	$W_z = I_z / (b/2) =$	853 cm ³
Raggio di inerzia i_z	$i_z = (I_z / A)^{0,5} =$	4,62 cm

Momento di inerzia torsionale $I_{tor} = h b^3 / (3(1 + 0,6 b/h)) = 18 450$ cm⁴ per sezione rettangolare

Classe di servizio 1	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno
Classe di servizio 2	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno
Classe di servizio 3	E' caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2

Classe di servizio **2** la classe di servizio tipica per un elemento di legno di un tetto al chiuso è 1, di una tettoia aperta è 2

Classe di durata del carico		Durata del carico
Permanente	Peso proprio e carichi non rimovibili	più di 10 anni
Lunga durata	Permanenti suscettibili di cambiamenti e carichi variabili relativi a magazzini e depositi	6 mesi - 10 anni
Media durata	Carichi variabili degli edifici ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	la NEVE, a meno di zone particolari	meno di una settimana
Istantaneo		--

N.B. Il carico da **neve** è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito

N.B. 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 minore durata**

Classe di durata del carico **4**
 $k_{mod} = 0,90$

Legno Lamellare

19

$f_{m,K} =$	240 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{m,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{m,K} =$	264 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione per la sezione in oggetto

$f_{t,0,K} =$	165 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alle fibre
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{t,0,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{t,0,K} =$	182 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione per la sezione in oggetto

$f_{c,0,K} =$	240 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,K} =$	27 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean} =$	116 000 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$E_{0,05} =$	94 000 daN/cm ²	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre
$G_{mean} =$	7 200 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$G_{0,05} = E_{0,05} G_{mean} / E_{0,mean} =$	5 834 daN/cm ²	
$\rho_k =$	380 daN/m ³	massa volumica caratteristica
$\rho_{mean} =$	380 daN/m ³	massa volumica media
$\gamma_M =$	1,45	Coeff. di sicurezza materiale
$f_{m,d} =$	164 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a flessione (tenuto conto anche di K_h)
$f_{t,0,d} =$	113 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a trazione in direzione parallela alle fibre
$f_{c,0,d} =$	149 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,d} =$	16,8 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a taglio

	componente perpendicolare all'asse della trave	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse z	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse y	componente parallela all'asse della trave	γ_G, γ_Q	SLU	Ψ_0
G1: Peso Proprio (daN/mq)	4	4	4	1	0	1,3	
G2: Permanenti (daN/mq)	130	130	126	31	0	1,3	
Q1: Variabili (daN/mq)	140	140	136	34	0	1,5	0,0
Q2: Neve (daN/mq)		0	0	0	0	1,5	0,5
Q3: VENTO v (daN/mq)		0	0	0	0	1,5	0,6

SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,z} =$	daN/mq	m		
	373	3,00	= 1119 daN/ml	comb. 1
	169	3,00	= 507 daN/ml	comb. 2
	169	3,00	= 507 daN/ml	comb. 3
SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,y} =$	93	3,00	= 279 daN/ml	comb. 1
	42	3,00	= 126 daN/ml	comb. 2
SLU carico parallelo all'asse della trave = $q_{parall} =$	0	3,00	= 0 daN/ml	comb. 1
	0	3,00	= 0 daN/ml	comb. 2

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Sollecitazioni allo SLU

Numero di vincoli per carico assiale (1 o 2)	1
$N_{max} = q_{parall} \max (L_c / \cos \alpha) / 1 =$	0 daN
$\sigma_{c,0,d} = N / A =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a N	$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 =$ 0,0
$M_{y,max} = q_{perp,z} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	138 737 daN cm
$\sigma_{m,y,d} = M_y / W_y =$	130 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_y	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$ 0,8
$M_{z,max} = q_{perp,y} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	34 591 daN cm
$\sigma_{m,z,d} = M_z / W_z =$	41 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_z	$\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$ 0,2

Somma dei livelli relativi di tensione

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 1,0 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,8 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE CON INSTABILITA' ASSIALE E FLESSO-TORSIONALE

Sollecitazioni allo SLU

INSTABILITA' ASSIALE

Lunghezza dell'asta $L_c = 315$ cm

Nel caso in oggetto i vincoli delle estremità sono i seguenti:

asta con due cerniere
asta con due incastri
mensola incastrata ad un estremo

$\beta = 1,00$ ●
 $\beta = 0,75$ ○
 $\beta = 2,00$ ○

$L_o = \beta L_c = 315$ cm

Lunghezza libera di inflessione

☒ trave vincolata superiormente dai travetti o dal tavolato

VERO

raggio di inerzia $i = 5,77$ cm

$\lambda = L_o / i = 55$ snellezza dell'asta

tensione critica a compressione

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E / \lambda^2 = 312 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa a compressione

$$\lambda_{rel,c} = (f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit})^{0,5} = 0,73$$

$$k = 0,5 [1 + 0,2 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,81 \text{ legno massiccio}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,1 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,79 \text{ legno lamellare}$$

In questo caso il legno è **lamellare** per cui $k = 0,79$

$$k_{crit,c} = 1,00 \text{ se } \lambda_{rel,c} \leq 0,3$$

$$k_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}] = 0,92 \text{ se } \lambda_{rel,c} > 0,3$$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a compressione

$$k_{crit,c} = 0,92$$

INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

distanza tra i ritegni torsionali

$l_{LT} = 315$ cm

semplice appoggio

○ $n = 1,00$ momento flettente costante sul tratto L
● $n = 0,90$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata in mezzzeria

incastro ad un estremo (mensola)

○ $n = 0,50$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata all'estremo libero

lunghezza efficace $l_{eff} = n l_{LT} = 284$ cm

tensione critica per flessione

$$M_{y,crit} = \pi (E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor})^{0,5} / l_{eff} = 2\,911\,049 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 2\,729 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa per flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = 0,31$$

$$k_{crit,m} = 1,00$$

se $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,33$$

se $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 10,34$$

se $\lambda_{rel,m} > 1,4$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a flessione-torsione

$$k_{crit,m} = 1,00$$

Somma dei livelli relativi di tensione

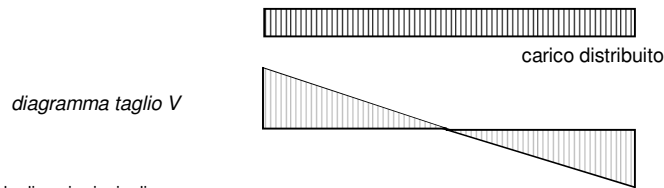
$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 1,0 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,8 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

Nel caso di flessione agente in un solo piano (xz) si può utilizzare, in alternativa:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + (\sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d})^2 = 0,6 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A TAGLIO DELLA TRAVE - SLU



Taglio massimo lungo le due direzioni degli assi principali

$$V_z = q_{\text{perp},z} L_c / 2 = 1\,762 \text{ daN}$$

$$V_y = q_{\text{perp},y} L_c / 2 = 439 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 8,3 < 16,8 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 2,1 < 16,8 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$(\tau_{y,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 = 0,26 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

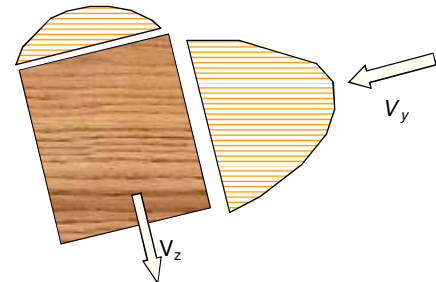


diagramma tensioni tangenziali
dovute alle componenti del taglio verticale V_{Ed}

VERIFICA A DEFORMAZIONE - SLE

Il calcolo della freccia massima viene effettuato con la formula $u = (5/384) q l^4 / (EI)$ valida per travi semplicemente appoggiate

Abbassamento massimo della sezione in mezzera sotto carico (u)
valori degli abbassamenti istantanei:

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **permanenti**, con il valore della comb. di carico **RARA o QUASI PERMANENTE (G)**, $u_{1,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z1} = (5 / 384) G_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,40 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y1} = (5 / 384) G_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,16 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta ai permanenti } u_{1,inst} = \text{Rad}Q(u_{z1}^2 + u_{y1}^2) = 0,43 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **RARA (Q)**, $u_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,42 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,16 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u_{2,inst} = \text{Rad}Q(u_{z2}^2 + u_{y2}^2) = 0,45 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **QUASI PERMANENTE (Q)**, $u'_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u'_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u'_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u'_{2,inst} = \text{Rad}Q(u'_{z2}^2 + u'_{y2}^2) = 0,00 \text{ cm}$$

Valore di k_{def}

il valore di k_{def} dipende dalla classe di servizio:

classe di servizio	k_{def}
1	0,6
2	0,8
3	2

per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0

$$\text{in questo caso } k_{def} = 0,8 + 0,0 = 0,8$$

CALCOLO ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO PERMANENTE

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} (1 + k_{def}) = 0,78 \text{ cm}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO ISTANTANEO PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,inst} < Lc / 300$$

$$Lc / 300 = 1,05 \text{ cm}$$

$$u_{2,inst} = 0,45 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,fin} < Lc / 200$$

$$Lc / 200 = 1,58 \text{ cm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} + u'_{2,inst} k_{def} = 0,45 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO TOTALE

$$u_{net,fin} < Lc / 250$$

$$Lc / 250 = 1,26 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 1,23 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

Verifica trave in legno con vincoli flessionali di semplice appoggio

$\delta = 0^\circ$ inclinazione sezione rispetto all'orizzontale
 lunghezza trave $L = 4,20$ m
 lunghezza di calcolo trave $L_c = 4,20$ m ☐ $L_c = L * 1,05$ FALSO
 interasse travi $i = 2,50$ m
 $\alpha = 14^\circ$ inclinazione asta rispetto all'orizzontale

DIMENSIONI SEZIONE

☒ sezione trasversale rettangolare VERO $k_m = 0,70$

Base $b = 20$ cm (parall. a y)
 Altezza $h = 24$ cm (parall. a z)

Area sezione trasversale asta	$A =$	480 cm ²
Momento di inerzia I_y	$I_y = b h^3 / 12 =$	23 040 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse y	$W_y = I_y / (h/2) =$	1 920 cm ³
Raggio di inerzia i_y	$i_y = (I_y / A)^{0,5} =$	6,93 cm
Momento di inerzia I_z	$I_z = h b^3 / 12 =$	16 000 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse z	$W_z = I_z / (b/2) =$	1 600 cm ³
Raggio di inerzia i_z	$i_z = (I_z / A)^{0,5} =$	5,77 cm

Momento di inerzia torsionale $I_{tor} = h b^3 / (3(1 + 0,6 b/h)) = 42 667$ cm⁴ per sezione rettangolare

Classe di servizio 1	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno
Classe di servizio 2	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno
Classe di servizio 3	E' caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2

Classe di servizio **2** la classe di servizio tipica per un elemento di legno di un tetto al chiuso è 1, di una tettoia aperta è 2

Classe di durata del carico		Durata del carico
Permanente	Peso proprio e carichi non rimovibili	più di 10 anni
Lunga durata	Permanenti suscettibili di cambiamenti e carichi variabili relativi a magazzini e depositi	6 mesi - 10 anni
Media durata	Carichi variabili degli edifici ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	la NEVE, a meno di zone particolari	meno di una settimana
Istantaneo		--

N.B. Il carico da **neve** è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito

N.B. 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 minore durata**

Classe di durata del carico 4

$k_{mod} = 0,90$

Legno Lamellare

21

$f_{m,K} =$	320 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{m,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{m,K} =$	351 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione per la sezione in oggetto

$f_{t,0,K} =$	225 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alle fibre
$K_h =$	1,10	coeff. moltiplicativo di $f_{t,0,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{t,0,K} =$	247 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione per la sezione in oggetto

$f_{c,0,K} =$	290 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,K} =$	38 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean} =$	137 000 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$E_{0,05} =$	111 000 daN/cm ²	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre
$G_{mean} =$	8 500 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$G_{0,05} = E_{0,05} G_{mean} / E_{0,mean} =$	6 887 daN/cm ²	
$\rho_k =$	430 daN/m ³	massa volumica caratteristica
$\rho_{mean} =$	430 daN/m ³	massa volumica media
$\gamma_M =$	1,45	Coeff. di sicurezza materiale
$f_{m,d} =$	218 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a flessione (tenuto conto anche di K_h)
$f_{t,0,d} =$	153 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a trazione in direzione parallela alle fibre
$f_{c,0,d} =$	180 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,d} =$	23,6 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a taglio

	componente perpendicolare all'asse della trave	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse z	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse y	componente e parallela all'asse della trave	γ_G, γ_Q	SLU	Ψ_0
G1: Peso Proprio (daN/mq)	8	8	8	0	2	1,3	
G2: Permanenti (daN/mq)	130	126	126	0	31	1,3	
Q1: Variabili (daN/mq)	140	136	136	0	34	1,5	0,0
Q2: Neve (daN/mq)		0	0	0	0	1,5	0,5
Q3: VENTO v (daN/mq)			0			1,5	0,6

SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,z} =$	daN/mq	m		
	378	2,50	= 945 daN/ml	comb. 1
	174	2,50	= 436 daN/ml	comb. 2
	174	2,50	= 436 daN/ml	comb. 3
SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,y} =$	0	2,50	= 0 daN/ml	comb. 1
	0	2,50	= 0 daN/ml	comb. 2
SLU carico parallelo all'asse della trave = $q_{parall} =$	94	2,50	= 236 daN/ml	comb. 1
	43	2,50	= 109 daN/ml	comb. 2

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Sollecitazioni allo SLU

Numero di vincoli per carico assiale (1 o 2)	1
$N_{max} = q_{parall} \max (L_c / \cos \alpha) / 1 =$	1 020 daN
$\sigma_{c,0,d} = N / A =$	2 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a N	$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 =$ 0,0
$M_{y,max} = q_{perp,z} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	221 417 daN cm
$\sigma_{m,y,d} = M_y / W_y =$	115 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_y	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$ 0,5
$M_{z,max} = q_{perp,y} \max ((L_c / \cos \alpha)^2) / 8 =$	0 daN cm
$\sigma_{m,z,d} = M_z / W_z =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_z	$\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$ 0,0

Somma dei livelli relativi di tensione

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,5 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,4 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE CON INSTABILITA' ASSIALE E FLESSO-TORSIONALE

Sollecitazioni allo SLU

INSTABILITA' ASSIALE

Lunghezza dell'asta $L_c = 420$ cm

Nel caso in oggetto i vincoli delle estremità sono i seguenti:

asta con due cerniere
asta con due incastri
mensola incastrata ad un estremo

$\beta = 1,00$ ●
 $\beta = 0,75$ ○
 $\beta = 2,00$ ○

$L_o = \beta L_c = 420$ cm Lunghezza libera di inflessione

☒ trave vincolata superiormente dai travetti o dal tavolato

VERO

raggio di inerzia $i = 6,93$ cm

$\lambda = L_o / i = 61$ snellezza dell'asta

tensione critica a compressione

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E / \lambda^2 = 298 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa a compressione

$$\lambda_{rel,c} = (f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit})^{0,5} = 0,87$$

$$k = 0,5 [1 + 0,2 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,93 \text{ legno massiccio}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,1 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 0,91 \text{ legno lamellare}$$

In questo caso il legno è **lamellare** per cui $k = 0,91$

$$k_{crit,c} = 1,00 \text{ se } \lambda_{rel,c} \leq 0,3$$

$$k_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}] = 0,86 \text{ se } \lambda_{rel,c} > 0,3$$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a compressione

$$k_{crit,c} = 0,86$$

INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

distanza tra i ritegni torsionali $l_{LT} = 420$ cm

semplice appoggio

○ $n = 1,00$ momento flettente costante sul tratto L
● $n = 0,90$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata in mezzzeria

incastro ad un estremo (mensola)

○ $n = 0,50$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata all'estremo libero

lunghezza efficace $l_{eff} = n l_{LT} = 378$ cm

tensione critica per flessione

$$M_{y,crit} = \pi (E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor})^{0,5} / l_{eff} = 6\,000\,872 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 3\,125 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa per flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = 0,33$$

$$k_{crit,m} = 1,00$$

se $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,31$$

se $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 8,91$$

se $\lambda_{rel,m} > 1,4$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a flessione-torsione

$$k_{crit,m} = 1,00$$

Somma dei livelli relativi di tensione

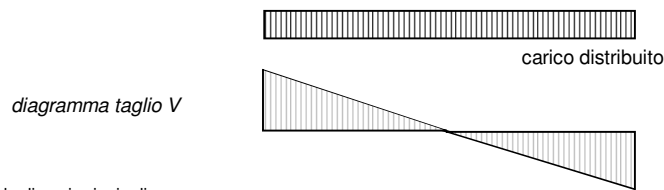
$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,5 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,4 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

Nel caso di flessione agente in un solo piano (xz) si può utilizzare, in alternativa:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + (\sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d})^2 = 0,3 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A TAGLIO DELLA TRAVE - SLU



Taglio massimo lungo le due direzioni degli assi principali

$$V_z = q_{\text{perp},z} L_c / 2 = 1\,985 \text{ daN}$$

$$V_y = q_{\text{perp},y} L_c / 2 = 0 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 6,2 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 0,0 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$(\tau_{y,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 = 0,07 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

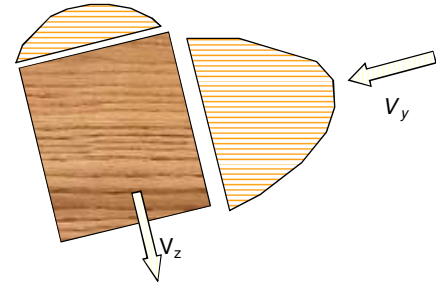


diagramma tensioni tangenziali
dovute alle componenti del taglio verticale V_{Ed}

VERIFICA A DEFORMAZIONE - SLE

Il calcolo della freccia massima viene effettuato con la formula $u = (5/384) q l^4 / (EI)$ valida per travi semplicemente appoggiate

Abbassamento massimo della sezione in mezzera sotto carico (u)
valori degli abbassamenti istantanei:

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **permanenti**, con il valore della comb. di carico **RARA o QUASI PERMANENTE (G)**, $u_{1,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z1} = (5 / 384) G_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,43 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y1} = (5 / 384) G_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta ai permanenti } u_{1,inst} = \text{Rad}Q(u_{z1}^2 + u_{y1}^2) = 0,43 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **RARA (Q)**, $u_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,44 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u_{2,inst} = \text{Rad}Q(u_{z2}^2 + u_{y2}^2) = 0,44 \text{ cm}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **QUASI PERMANENTE (Q)**, $u'_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u'_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u'_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u'_{2,inst} = \text{Rad}Q(u'_{z2}^2 + u'_{y2}^2) = 0,00 \text{ cm}$$

Valore di k_{def}

il valore di k_{def} dipende dalla classe di servizio:

classe di servizio	k_{def}
1	0,6
2	0,8
3	2

per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0

$$\text{in questo caso } k_{def} = 0,8 + 0,0 = 0,8$$

CALCOLO ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO PERMANENTE

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} (1 + k_{def}) = 0,77 \text{ cm}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO ISTANTANEO PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,inst} < Lc / 300$$

$$Lc / 300 = 1,40 \text{ cm}$$

$$u_{2,inst} = 0,44 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,fin} < Lc / 200$$

$$Lc / 200 = 2,10 \text{ cm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} + u'_{2,inst} k_{def} = 0,44 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

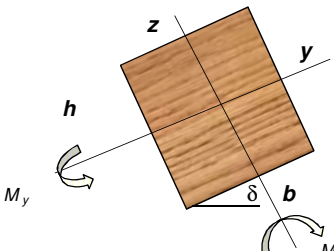
VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO TOTALE

$$u_{net,fin} < Lc / 250$$

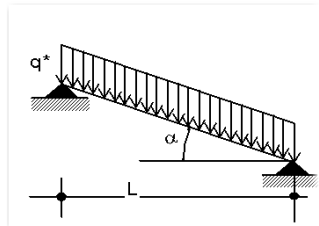
$$Lc / 250 = 1,68 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 1,21 \text{ cm} \quad \text{OK}$$

Verifica trave in legno con vincoli flessionali di semplice appoggio



$\delta = 0^\circ$ inclinazione sezione rispetto all'orizzontale
 lunghezza trave $L = 6,50$ m
 lunghezza di calcolo trave $L_c = 6,50$ m ☐ $L_c = L \cdot 1,05$ FALSO
 interasse travi $i = 2,50$ m
 $\alpha = 14^\circ$ inclinazione asta rispetto all'orizzontale



DIMENSIONI SEZIONE

☒ sezione trasversale rettangolare

VERO

$k_m = 0,70$

Base $b = 24$ cm (parall. a y)
 Altezza $h = 32$ cm (parall. a z)

Area sezione trasversale asta	$A =$	768 cm ²
Momento di inerzia I_y	$I_y = b h^3 / 12 =$	65 536 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse y	$W_y = I_y / (h/2) =$	4 096 cm ³
Raggio di inerzia i_y	$i_y = (I_y / A)^{0,5} =$	9,24 cm
Momento di inerzia I_z	$I_z = h b^3 / 12 =$	36 864 cm ⁴
Modulo di resistenza risp. asse z	$W_z = I_z / (b/2) =$	3 072 cm ³
Raggio di inerzia i_z	$i_z = (I_z / A)^{0,5} =$	6,93 cm

Momento di inerzia torsionale $I_{tor} = h b^3 / (3(1 + 0,6 b/h)) = 101 694$ cm⁴ per sezione rettangolare

Classe di servizio 1	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno
Classe di servizio 2	E' caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20° e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno
Classe di servizio 3	E' caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2

Classe di servizio **2** la classe di servizio tipica per un elemento di legno di un tetto al chiuso è 1, di una tettoia aperta è 2

Classe di durata del carico		Durata del carico
Permanente	Peso proprio e carichi non rimovibili	più di 10 anni
Lunga durata	Permanenti suscettibili di cambiamenti e carichi variabili relativi a magazzini e depositi	6 mesi - 10 anni
Media durata	Carichi variabili degli edifici ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	la NEVE, a meno di zone particolari	meno di una settimana
Istantaneo		--

N.B. Il carico da **neve** è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito

N.B. 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 minore durata

Classe di durata del carico

Breve durata

4

$k_{mod} = 0,90$

Legno Lamellare

21

$f_{m,K} =$	320 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione
$K_h =$	1,06	coeff. moltiplicativo di $f_{m,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{m,K} =$	341 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a flessione per la sezione in oggetto

$f_{t,0,K} =$	225 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alle fibre
$K_h =$	1,06	coeff. moltiplicativo di $f_{t,0,K}$ per elementi con $h < 15$ cm per legno massiccio e $h < 60$ cm per legno lamellare incollato
$f_{t,0,K} =$	240 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a trazione per la sezione in oggetto

$f_{c,0,K} =$	290 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,K} =$	38 daN/cm ²	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean} =$	137 000 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$E_{0,05} =$	111 000 daN/cm ²	modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre
$G_{mean} =$	8 500 daN/cm ²	modulo elastico medio parallelo alle fibre
$G_{0,05} = E_{0,05} G_{mean} / E_{0,mean} =$	6 887 daN/cm ²	
$\rho_k =$	430 daN/m ³	massa volumica caratteristica
$\rho_{mean} =$	430 daN/m ³	massa volumica media
$\gamma_M =$	1,45	Coeff. di sicurezza materiale
$f_{m,d} =$	212 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a flessione (tenuto conto anche di K_h)
$f_{t,0,d} =$	149 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a trazione in direzione parallela alle fibre
$f_{c,0,d} =$	180 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alle fibre
$f_{v,d} =$	23,6 daN/cm ²	Resistenza di calcolo a taglio

	componente perpendicolare all'asse della trave	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse z	componente perpendicolare all'asse della trave, parallela all'asse y	componente e parallela all'asse della trave	$\gamma_G \cdot \gamma_Q$ SLU	ψ_0
G1: Peso Proprio (daN/mq)	13	13	13	0	3	1,3
G2: Permanenti (daN/mq)	130	126	126	0	31	1,3
Q1: Variabili (daN/mq)	140	136	136	0	34	1,5
Q2: Neve (daN/mq)		0	0	0	0	1,5
Q3: VENTO v (daN/mq)		0	0	0	0	1,5

SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,z}$ =	daN/mq	m		
	384	2,50	= 961 daN/ml	comb. 1
	181	2,50	= 452 daN/ml	comb. 2
	181	2,50	= 452 daN/ml	comb. 3
SLU carico perpendicolare all'asse della trave = $q_{perp,y}$ =	0	2,50	= 0 daN/ml	comb. 1
	0	2,50	= 0 daN/ml	comb. 2
SLU carico parallelo all'asse della trave = q_{parall} =	96	2,50	= 240 daN/ml	comb. 1
	45	2,50	= 113 daN/ml	comb. 2

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE

Sollecitazioni allo SLU

Numero di vincoli per carico assiale (1 o 2)	1
$N_{max} = q_{parall} \max (Lc / \cos \alpha) / 1 =$	1 605 daN
$\sigma_{c,0,d} = N / A =$	2 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a N	$(\sigma_{c,0,d} / f_{c,0,d})^2 =$ 0,0
$M_{y,max} = q_{perp,z} \max ((Lc / \cos \alpha)^2) / 8 =$	539 085 daN cm
$\sigma_{m,y,d} = M_y / W_y =$	132 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_y	$\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d} =$ 0,6
$M_{z,max} = q_{perp,y} \max ((Lc / \cos \alpha)^2) / 8 =$	0 daN cm
$\sigma_{m,z,d} = M_z / W_z =$	0 daN/cm ²
livello relativo di tensione dovuto a M_z	$\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} =$ 0,0

Somma dei livelli relativi di tensione

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,6 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$(\sigma_{c,0,d}/f_{c,0,d})^2 + k_m \sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d}/f_{m,z,d} = 0,4 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A PRESSOFLESSIONE CON INSTABILITA' ASSIALE E FLESSO-TORSIONALE

Sollecitazioni allo SLU

INSTABILITA' ASSIALE

Lunghezza dell'asta $L_c = 650$ cm

Nel caso in oggetto i vincoli delle estremità sono i seguenti:

asta con due cerniere
asta con due incastri
mensola incastrata ad un estremo

$\beta = 1,00$ ●
 $\beta = 0,75$ ○
 $\beta = 2,00$ ○

$L_o = \beta L_c = 650$ cm Lunghezza libera di inflessione

☒ trave vincolata superiormente dai travetti o dal tavolato

VERO

raggio di inerzia $i = 9,24$ cm

$\lambda = L_o / i = 70$ snellezza dell'asta

tensione critica a compressione

$$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E / \lambda^2 = 221 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa a compressione

$$\lambda_{rel,c} = (f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit})^{0,5} = 1,01$$

$$k = 0,5 [1 + 0,2 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 1,08 \text{ legno massiccio}$$

$$k = 0,5 [1 + 0,1 (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2] = 1,04 \text{ legno lamellare}$$

In questo caso il legno è **lamellare** per cui $k = 1,04$

$$k_{crit,c} = 1,00 \text{ se } \lambda_{rel,c} \leq 0,3$$

$$k_{crit,c} = 1 / [k + (k^2 - \lambda_{rel,c}^2)^{0,5}] = 0,76 \text{ se } \lambda_{rel,c} > 0,3$$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a compressione

$$k_{crit,c} = 0,76$$

INSTABILITA' FLESSO-TORSIONALE

distanza tra i ritegni torsionali $l_{LT} = 650$ cm

semplice appoggio

○ $n = 1,00$ momento flettente costante sul tratto L
● $n = 0,90$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata in mezzzeria

incastro ad un estremo (mensola)

○ $n = 0,50$ carico uniformemente distribuito
○ $n = 0,80$ forza concentrata all'estremo libero

lunghezza efficace $l_{eff} = n l_{LT} = 585$ cm

tensione critica per flessione

$$M_{y,crit} = \pi (E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor})^{0,5} / l_{eff} = 9\,086\,453 \text{ daN cm}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit} / W_y = 2\,218 \text{ daN/cm}^2$$

snellezza relativa per flessione

$$\lambda_{rel,m} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{0,5} = 0,39$$

$$k_{crit,m} = 1,00$$

se $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} = 1,27$$

se $0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 = 6,51$$

se $\lambda_{rel,m} > 1,4$

coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità a flessio-torsione

$$k_{crit,m} = 1,00$$

Somma dei livelli relativi di tensione

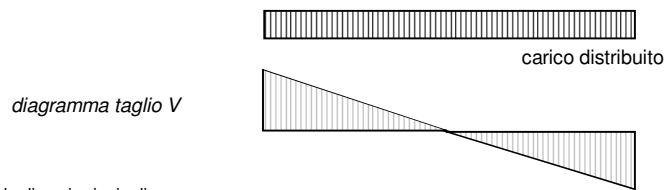
$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + k_m \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,6 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + k_m \sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d} = 0,5 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

Nel caso di flessione agente in un solo piano (xz) si può utilizzare, in alternativa:

$$\sigma_{c,0,d} / k_{crit,c} f_{c,0,d} + (\sigma_{m,y,d} / k_{crit,m} f_{m,y,d})^2 = 0,4 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

VERIFICA A TAGLIO DELLA TRAVE - SLU



Taglio massimo lungo le due direzioni degli assi principali

$$V_z = q_{\text{perp},z} L_c / 2 = 3\,123 \text{ daN}$$

$$V_y = q_{\text{perp},y} L_c / 2 = 0 \text{ daN}$$

Si calcolano le tensioni massime sollecitanti indotte dalle due componenti del taglio

$$\tau_{z,d} = 1,5 V_z / A = 6,1 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$\tau_{y,d} = 1,5 V_y / A = 0,0 < 23,6 \text{ daN / cmq; VERIFICATO}$$

$$(\tau_{y,d} / f_{v,d})^2 + (\tau_{z,d} / f_{v,d})^2 = 0,07 \leq 1; \text{ VERIFICATO}$$

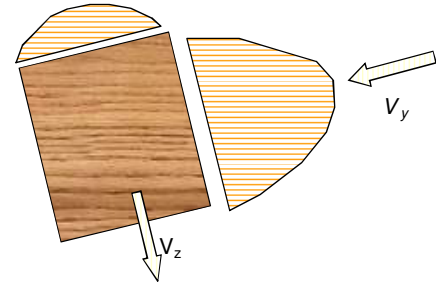


diagramma tensioni tangenziali
dovute alle componenti del taglio verticale V_{Ed}

VERIFICA A DEFORMAZIONE - SLE

Il calcolo della freccia massima viene effettuato con la formula $u = (5/384) q l^4 / (EI)$ valida per travi semplicemente appoggiate

Abbassamento massimo della sezione in mezzera sotto carico (u)
valori degli abbassamenti istantanei:

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **permanenti**, con il valore della comb. di carico **RARA o QUASI PERMANENTE (G)**, $u_{1,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z1} = (5 / 384) G_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,90 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y1} = (5 / 384) G_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta ai permanenti } u_{1,inst} = \text{Rad}Q(u_{z1}^2 + u_{y1}^2) = \mathbf{0,90 \text{ cm}}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **RARA (Q)**, $u_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,88 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u_{2,inst} = \text{Rad}Q(u_{z2}^2 + u_{y2}^2) = \mathbf{0,88 \text{ cm}}$$

freccia **istantanea** dovuta ai carichi **accidentali**, con il valore della comb. di carico **QUASI PERMANENTE (Q)**, $u'_{2,inst}$

$$\text{freccia nel piano } z: f_z; u'_{z2} = (5 / 384) Q_z L_c^4 / (EI_y) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia nel piano della falda } f_y; u'_{y2} = (5 / 384) Q_y L_c^4 / (EI_z) \quad 0,00 \text{ cm}$$

$$\text{freccia istantanea dovuta agli accidentali } u'_{2,inst} = \text{Rad}Q(u'_{z2}^2 + u'_{y2}^2) = \mathbf{0,00 \text{ cm}}$$

Valore di k_{def}

il valore di k_{def} dipende dalla classe di servizio:

classe di servizio	k_{def}
1	0,6
2	0,8
3	2

per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0

$$\text{in questo caso } k_{def} = 0,8 + 0,0 = \mathbf{0,8}$$

CALCOLO ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO PERMANENTE

$$u_{1,fin} = u_{1,inst} (1 + k_{def}) = \mathbf{1,62 \text{ cm}}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO ISTANTANEO PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,inst} < Lc / 300$$

$$Lc / 300 = 2,17 \text{ cm}$$

$$u_{2,inst} = 0,88 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO ACCIDENTALE

$$u_{2,fin} < Lc / 200$$

$$Lc / 200 = 3,25 \text{ cm}$$

$$u_{2,fin} = u_{2,inst} + u'_{2,inst} k_{def} = 0,88 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

VERIFICA ABBASSAMENTO FINALE PER CARICO TOTALE

$$u_{net,fin} < Lc / 250$$

$$Lc / 250 = 2,60 \text{ cm}$$

$$u_{net,fin} = u_{1,fin} + u_{2,fin} = 2,50 \text{ cm} \quad \textbf{OK}$$

Solai misti legno-calcestruzzo con connettori a piolo e ramponi

Verifiche agli Stati Limite secondo

il D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni"

ed EN 1995-1-1:2009: "Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno"

Progetto : Solaio misto legno-calcestruzzo

_____ DATI _____

Solaio a semplice orditura con assito carotato

_____ GEOMETRIA _____

Spessore soletta: 5 cm

Spessore assito/pianelle/tavelle: 3.3 cm

Spessore isolante: 0 cm

Peso specifico assito/pianelle/tavelle: 6.00 kN/m³

Peso specifico isolante: 0.50 kN/m³

- Interasse travi: 100 cm

Base travi: 20 cm

Altezza travi: 24 cm

Luce travi: 455 cm

- Rapporto Luce/Freccia amm. tempo Zero: L/500

Rapporto Luce/Freccia amm. tempo Inf.: L/350

_____ CARICHI _____

- Portati per metro quadrato

Sottofondo: 1.50 kN/m²

Pavimento: 0.40 kN/m²

Tramezzi: 1.50 kN/m²

Altri: 0.00 kN/m²

Totale permanenti strutturali: 1.76 kN/m²

Totale permanenti non strutturali: 3.40 kN/m²

Totale accidentali: 2.00 kN/m²

- Totali per metro lineare

Totali SLE: 7.16 kN/m

Totali SLU: 10.39 kN/m

___ MATERIALI ___

- Legno - Tipo : EN C18

Resistenza a flessione caratteristica $f_{m,k} = 18.0 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a trazione caratteristica $f_{t,0,k} = 11.0 \text{ N/mm}^2$

Resistenza a taglio caratteristica $f_{v,k} = 2.00 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità medio $E_{0,m} = 9000 \text{ N/mm}^2$

Peso specifico medio $r_m = 3.8 \text{ kN/m}^3$

Coeff. modificazione azioni accidentali $K_{mod} = 0.80$

Fattore di deformazione $K_{def} = 0.60$

Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$

- Classe calcestruzzo: C25/30 - Rck30

Resistenza caratteristica cilindrica $f_{c,k} = 25.0 \text{ N/mm}^2$

Modulo elasticità $E = 30500 \text{ N/mm}^2$

Peso specifico $r = 25.0 \text{ kN/m}^3$

Coefficiente di viscosità $F = 3.00$

Coefficiente di sicurezza $g_m = 1.50$

- Connettore: Tecnaria CTL MAXI 12/ 70 posato su trave

Resistenza caratteristica connettore $F_k = 24250 \text{ N}$

Rigidezza connettore in esercizio $K_{ser} = 17200 \text{ N/mm}$

Rigidezza connettore ultima $K_u = 7410 \text{ N/mm}$

- Altri parametri

Coefficiente parziale carichi permanenti strutturali $g_{G,1} = 1.30$

Coefficiente parziale carichi permanenti non strutturali $g_{G,2} = 1.50$

Coefficiente parziale carichi accidentali $g_Q = 1.50$

Coefficiente carichi quasi permanenti $\gamma_2 = 0.30$

Spessore tavole contenimento: 2.0 cm

RISULTATI

Connettori a piolo e ramponi Tecnaria CTL MAXI 12/ 70

posati su trave con assito carotato

Connettori a spaziatura variabile

- ai quarti estremi della trave: 19.4 cm

- nella metà centrale della trave: 38.8 cm

Numero di connettori per trave: 19

VERIFICHE

- larghezza soletta collaborante: 100 cm

___ STATO LIMITE ULTIMO ___

momento massimo: 26.89 kNm

taglio massimo: 23.64 kN

- a tempo zero

CLS - tensione max: $6.26 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$

CLS - tensione min: -3.75 N/mm^2

LEGNO - tensoflessione: $0.96 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $0.52 \text{ N/mm}^2 \leq 1.07 \text{ N/mm}^2$

CONN. - taglio: $10728 \text{ N} \leq 12933 \text{ N}$

- a tempo infinito

CLS - tensione max: $4.28 \text{ N/mm}^2 \leq 14.17 \text{ N/mm}^2$

CLS - tensione min: -1.72 N/mm^2

LEGNO - tensoflessione: $1.00 \leq 1.00$

LEGNO - taglio: $0.54 \text{ N/mm}^2 \leq 1.07 \text{ N/mm}^2$

CONN. - taglio: 10931 N <= 12933 N

___ STATO LIMITE DI ESERCIZIO ___

- a tempo zero

EJ: 5660410623068 Nmm²

freccia massima a tempo zero: 7.06 mm <= 9.10 mm

- a tempo infinito

EJ: 3745066690237 Nmm²

freccia max a tempo infinito: 10.67 mm <= 13.00 mm

_____ AVVERTENZE _____

- Inserire una rete elettrosaldata almeno diametro 6mm maglia 20x20cm per i solai

a semplice orditura oppure diametro 8mm maglia 20x20cm per quelli

a doppia orditura.

- Sovrapporre i fogli di rete elettrosaldata di almeno una maglia.

- Tenere la rete elettrosaldata sollevata dal piano durante il getto.

- Puntellare efficacemente il solaio prima del getto e mantenere i puntelli fino

a completa maturazione del calcestruzzo.

- Verificare a parte la soletta di calcestruzzo o gli eventuali travetti

in flessione fra due travi.

- La quantità di armatura (rete ed eventuali ulteriori barre ortogonali alle travi)

dipende dalla verifica della soletta in flessione fra due travi.

- Si consiglia di collegare la soletta alle murature perimetrali mediante

perforazioni armate.

- Eseguire sempre preforo diametro 8mm per le viti del connettore MAXI,

oppure diametro 5mm per le viti del connettore BASE nei seguenti casi:

- connettore posato su latifoglia o travi antiche;

- larghezza di trave inferiore a 12cm;

- distanza tra i connettori inferiore a 15cm.
- Disporre i connettori su più file se la spaziatura tra i connettori risulta inferiore a 7 cm
- In caso di uso di isolante sotto la soletta è necessario in corrispondenza delle travi interrompere l'isolante per una larghezza superiore al massimo fra: 10cm, due volte l'altezza del raccordo in calcestruzzo, la larghezza della trave e affiancare ai connettori almeno due barre diametro 8mm correnti.

TRAVE APOGGIATA IN ACCIAIO

Normativa di riferimento:

DM 14/02/2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni e Circolare n. 617/2009

ANALISI DEI CARICHI

PESO PROPRIO (G1)

tipologia carico in base alla destinazione d'uso	incidenza Peso Proprio a mq	
Piatto 300*8	=	31,4 DaN/mq
sommano	=	31,4 DaN/mq

CARICHI PERMANENTI (G2)

denominazione strato	densità kg/mc		spessore cm		carico a mq	
		X		=		DaN/mq
PESO PROPRIO		X		=	40	DaN/mq
RIVESTIMENTO		X		=	40	DaN/mq
		X		=		DaN/m
		X		=		DaN/mq
		X		=		DaN/mq
		X		=		DaN/mq
sommano				=	80	DaN/mq

CARICHI DI ESERCIZIO (Q)

Cat.	tipologia carico in base alla destinazione d'uso		q _k	
	ACCIDENTALE	=	400	DaN/mq
		=		DaN/mq

NTC 3.1.II

NTC 3.4

↑
NTC tabella 2.5.I

Q _{esercizio 1}	=	400,00
Q _{esercizio 2}	=	

individuazione del carico di esercizio principale e secondario per l'ottimizzazione delle combinazioni di carico

COMBINAZIONI DEI CARICHI

NTC 2.5.3

WARNING: si considera solo lo stato limite ultimo di resistenza della struttura STR, in quanto è l'unico "interessante" per gli elementi strutturali oggetto del calcolo

la verifica allo SLE per combinazione RARA comporta anche la verifica per le altre combinazioni allo SLE, in quanto quella rara presenta coefficienti moltiplicativi del carico sempre maggiori

γ_{G1}	=	1,3	NTC tabella 2.6.1
γ_{G2}	=	1,5	NTC tabella 2.6.1
γ_{Qi}	=	1,5	NTC tabella 2.6.1
ψ_{0i}	=	0,7	NTC tabella 2.5.1

COMBO FONDAMENTALE (SLU)	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$ (2.5.1)
$\gamma_{G1} \cdot G_{\text{peso proprio}} + \gamma_{G2} \cdot G_{\text{permanente}} + \gamma_{Q1} \cdot Q_{\text{esercizio 1}} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{\text{esercizio 2}}$	= 761 DaN/mq
COMBO CARATTERISTICA RARA (SLE)	$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$ (2.5.2)
$G_{\text{peso proprio}} + G_{\text{permanente}} + Q_{\text{esercizio 1}} + \psi_{02} \cdot Q_{\text{esercizio 2}}$	= 511 DaN/mq

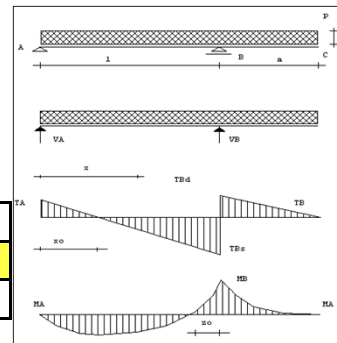
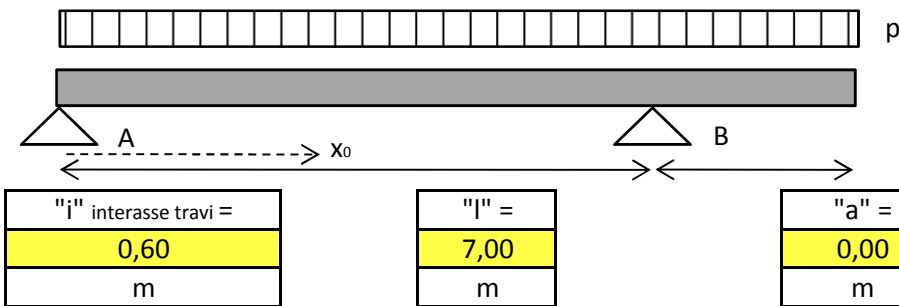
sono state ottimizzate le combinazioni di carico al fine di ridurne al minimo il numero

quelle significative sono quella Fondamentale per gli SLU con Q_{esercizio 1} il massimo tra gli Q_{esercizio}

e quella Caratteristica Rara per gli SLE di deformabilità

GEOMETRIA e CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

schema generico trave su due appoggi con sbalzo

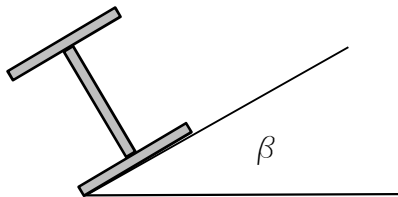


carico a ml sulla trave

p

COMBO FONDAMENTALE (SLU)	456	Da/m
COMBO CARATTERISTICA RARA (SLE)	307	Da/m

	SLU	SLE	
$V_A = V_B = l \times p$	1598	644	DaN
	0	0	DaN
M_{max}	1957	1316	DaN*m
	0	0	DaN*m

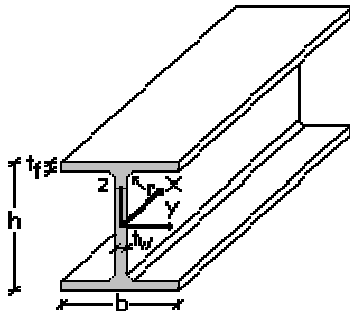


$\beta =$	0	gradi
	0,0000	rad

	SLU	SLE	
$M_x = M_{max} * \cos\beta$	1957	1316	DaN*m
$M_y = M_{max} * \sin\beta$	0	0	DaN*m
$T_x = V_{max} * \cos\beta$	1598	644	DaN
$T_y = V_{max} * \sin\beta$	0	0	DaN

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE TRAVE

PROFILO:	tipo	UPN 160
h	300,00	mm
b	8,00	mm
S _a (spessore anima)	8,00	mm
e (spessore ali)	0,00	mm
A _{sezione}	24,00	cmq
peso	18,84	kg/m
J _x	1800,00	cm ⁴
J _y	1,28	cm ⁴
W _x	120,00	cm ³
W _y	3,20	cm ³
r (r raccordo anima-ali)	0,00	mm



CARATTERISTICHE DEL MATERIALE

tipo acciaio:

S 275 (ex Fe430)	f _{yk}	275	N/mm ²
	f _{tk}	430	N/mm ²

NTC 11.3.4.1

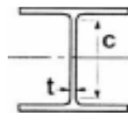
Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta		
Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale	
	t ≤ 40 mm	
	f _{yk} [N/mm ²]	f _{tk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2		
S 235	235	360
S 275	275	430
S 355	355	510
S 450	440	550

modulo elastico	E	210000	N/mm ²
modulo elasticità trasversale	G	80769	N/mm ²
coeff. Poisson	ν	0,3	
densità	ρ	7850	kg/m ³

DETERMINAZIONE DELLA CLASSE

$$\varepsilon = (235/f_{yk})^{0.5} = 0,92$$

NTC tabella 4.2.1



c	300	mm
t	8	mm

c/t	37,50	mm
-----	-------	----

c/t < 72ε	67,48	classe 1
c/t < 83ε	76,73	classe 2
c/t < 124ε	114,6	classe 3
c/t > 124ε		classe 4

classe 1

VERIFICHE SLU

resistenza di calcolo	$R_d = R_k / \gamma_M$	R_k resistenza caratteristica; γ_M fattore parziale
	$\gamma_M =$	1,05

NTC tabella 4.2.V

FLESSIONE BIASSIALE

NTC 4.2.4.1.2

Per le sezioni ad I o ad H di classe 1 e 2 doppiamente simmetriche, soggette a presso o tenso flessione biassiale, la condizione di resistenza può essere valutata come:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^2 \leq 1, \quad (4.2.39)$$

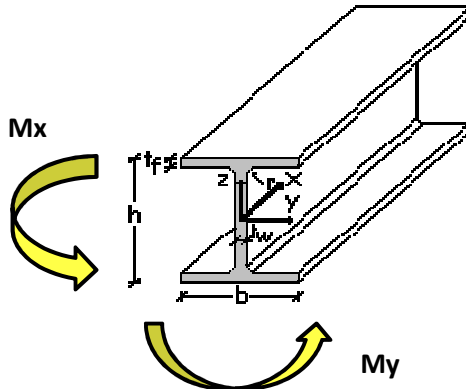
con $n \geq 0,2$ essendo $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$. Nel caso in cui $n < 0,2$, e comunque per sezioni generiche di classe 1 e 2, la verifica può essere condotta cautelativamente controllando che:

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right) + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right) \leq 1. \quad (4.2.40)$$

WARNING: da qui in poi il foglio di calcolo resta valido nei soli casi di:

- sezioni a IPE o HE
- NO sforzo assiale
- classi 1 o 2

$M_{y,Ed}$	momento flettente di calcolo			corrispondente a M_y
$M_{N,y,Rd}$	mom. resistente nel piano dell'anima	=	$M_{pl,y,Rd}$ per $N=0$	corrispondente a M_{Ry}
$M_{z,Ed}$	momento flettente di calcolo			corrispondente a M_x
$M_{N,z,Rd}$	mom. resistente nel piano delle ali	=	$M_{pl,z,Rd}$ per $N=0$	corrispondente a M_{Rx}



$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2;} \quad (4.2.13)$$

	N*mm	DaN*m
$M_{pl,y,Rd} = M_{Ry}$	838095	84
$M_{pl,z,Rd} = M_{Rx}$	31428571	3143

VERIFICA FLESSIONE	$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right) + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right) \leq 1.$	$\left(\frac{0}{84} \right) + \left(\frac{1957}{3143} \right) = 0,62$	
			<1 verificato

TAGLIO

NTC 4.2.4.1.2

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1, \quad (4.2.17)$$

dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}, \quad (4.2.18)$$

dove A_v è l'area resistente a taglio.

Per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima si può assumere

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f; \quad (4.2.19)$$

A è l'area lorda della sezione del profilo,

b è la larghezza delle ali per i profilati e la larghezza per le sezioni cave,

h_w è l'altezza dell'anima,

h è l'altezza delle sezioni cave,

r è il raggio di raccordo tra anima ed ala,

t_f è lo spessore delle ali,

t_w è lo spessore dell'anima.

WARNING: quando si è in presenza di flessione deviata, si ha taglio sia nel piano dell'anima, sia in quello delle ali. Nel foglio di calcolo si verifica il taglio nel piano dell'anima, prendendo come valore cautelativo il taglio massimo

$A_v =$	2464	mm ²
---------	------	-----------------

se si stanno verificando sezioni a C, U, T, cave, o a I e H caricate a taglio lungo le ali, modificare il calcolo di A_v

	N	DaN
$V_{c,Rd} =$	372583	37258

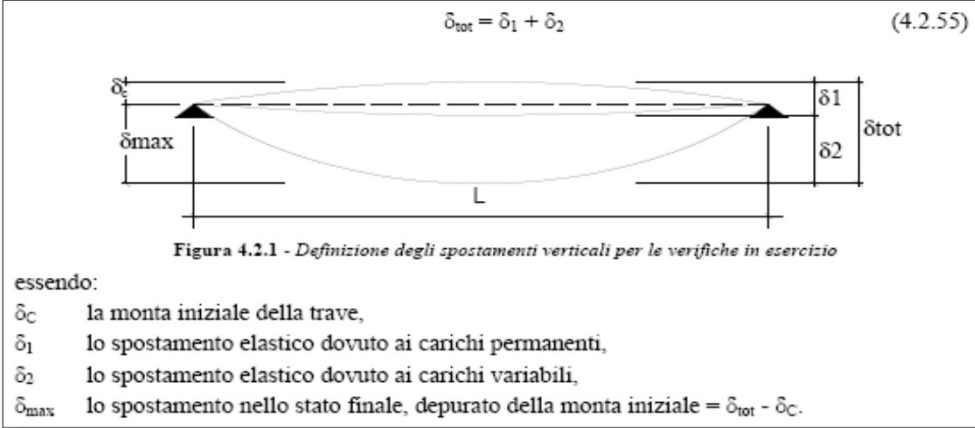
VERIFICA TAGLIO	$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$	$\left(\frac{1598}{37258} \right) = 0,04$
		<1 verificato

VERIFICHE SLE

NTC 4.2.4.2

SPOSTAMENTI VERTICALI (DEFORMABILITA')

NTC 4.2.4.2.1



WARNING: modificare le celle dell'abbassamento massimo ammissibile a seconda del caso (solaio, copertura, ecc...) analizzato in base alla tabella 4.2.X delle NTC

Tabella 4.2.X Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

WARNING - APPROSSIMAZIONE:

* il foglio calcola l'inflessione considerando la trave nel caso di flessione retta

** il foglio calcola l'inflessione di una trave tra due appoggi, trascurando lo sbalzo

VERIFICA DEFORMABILITA'	"p" di riferimento		DaN/m			δ_{limite}	(mm)
	$\delta_{max} = 5/384 (P \cdot l^4)/(EJ)$	p SLE	307	δ_{max}	25,38 mm	1/250	35,00
	verificato						
	$\delta_2 = 5/384 (q \cdot l^4)/(EJ)$	p esercizio	240	δ_2	19,85 mm	1/250	28,00
	verificato						