

1. TRAVE-02

Trave a due campate

1.1. Descrizione tecnica

1.1.1. Tipologia costruttiva

Solaio in legno di C24.
Luce libera della trave $L_1=3.000\text{m}$, $L_2=4.000\text{m}$
Sezione della trave $B \times H=75\text{mm} \times 225\text{mm}$

1.1.2. Normative di calcolo

Norme Tecniche per le Costruzioni (DM2008)
UNI EN1990-1-1:2004 Basi di calcolo
UNI EN1991-1-1:2004 Azioni sulle strutture
UNI EN1995-1-1:2009 Progettazione delle strutture di legno

1.1.3. Metodo di calcolo

Gli sforzi interni sono calcolati per le sezioni terminali e la sezione a metà luce delle travi del solaio, le deformazioni flessionali elastiche sono calcolate a metà luce, per tutte le combinazioni di carico. Tutte le verifiche previste dall'Eurocodice 5 sono eseguite allo stato limite ultimo, (UNI EN1995-1-1:2009, §6). Le deformazioni sono verificate allo stato limite di servizio secondo UNI EN1995-1-1:2009, §7.2. Per la verifica delle vibrazioni delle travi sono applicate le considerazioni del (UNI EN1995-1-1:2009, §7.3.3).

1.1.4. Proprietà dei materiali (legname) (NTC-DM2008, §4.4)

Classe del legno : C24
Classe di servizio : Classe 1, umidità $\leq 12\%$ (DM2008 §4.4.5)
Coefficiente del materiale $\gamma_M=1.50$ (DM2008 T.4.4.III)

Valori caratteristici del legname

$f_{mk} = 24.0 \text{ MPa}$, $f_{t0k} = 14.0 \text{ MPa}$, $f_{t90k} = 0.4 \text{ MPa}$
 $f_{c0k} = 21.0 \text{ MPa}$, $f_{c90k} = 2.5 \text{ MPa}$, $f_{vk} = 4.0 \text{ MPa}$
 $E_{0m} = 11000 \text{ MPa}$, $E_{005} = 7400 \text{ MPa}$, $E_{90m} = 370 \text{ MPa}$
 $G_m = 690 \text{ MPa}$, $\rho_k = 350 \text{ Kg/m}^3$

1.1.5. Caratteristiche della sezione delle travi del solaio

Sezione $B \times H=75\text{mm} \times 225\text{mm}$, $A=1.688\text{E}+004\text{mm}^2$, $I=7.119\text{E}+007\text{mm}^4$, $W=6.328\text{E}+005\text{mm}^3$

1.2. Massimi sforzi interni nella trave a flessione ($L_1=3.000\text{m}$, $L_2=4.000\text{m}$)

Peso proprio carichi $G_k = 0.500\text{kN/m}$, $\max V = 1.20 \text{ kN}$, $\max M = 0.81 \text{ kNm}$, $\max \Delta = 0.89 \text{ mm}$
Azioni carichi $Q_k = 2.000\text{kN/m}$, $\max V = 4.81 \text{ kN}$, $\max M = 3.25 \text{ kNm}$, $\max \Delta = 6.02 \text{ mm}$

1.3. Stato limite di servizio (UNI EN1995-1-1:2009, §2.2.3, §7)

Deformazione a flessione a metà trave (EC5 §7.2)

| Carico [kN/m] | u [mm] | Azione | ψ_0 | ψ_1 | ψ_2 | Kdef | |
|-----------------------------------|--------|------------|----------|----------|----------|------|------|
| (G) Proprio $G_k = 0.500$ | 0.885 | Permanente | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.60 |
| (Qf) di esercizio $Q_k = 2.000$ | 6.015 | Media | | 0.70 | 0.50 | 0.30 | 0.60 |

| Combinazione di carico | w.inst | w.fin [mm] |
|------------------------|--------|------------|
| 1 G | 0.885 | 1.417 |
| 2 Q1 | 6.015 | 7.098 |
| 3 G + Q1 | 6.900 | 8.514 |

$w_{fin,g} = w_{inst,g}(1+k_{def})$, $w_{fin,q} = w_{inst,q}(1+\psi_2 \cdot k_{def})$ (EC5 §2.2.3, Eq.2.3, Eq.2.4)

Massimi valori della freccia

w.inst = 6.900 mm, w.fin = 8.514 mm

Verifica secondo UNI EN1995-1-1:2009 §7.2, Tab.7.2Deformazioni finali

w.inst = 6.900 mm < L/300=4000/300= 13.333 mm

w.net,fin = 8.514 mm < L/250=4000/250= 16.000 mm

w.fin = 8.514 mm < L/150=4000/150= 26.667 mm

La verifica è soddisfatta

1.4. Vibrazioni (UNI EN1995-1-1:2009, §7.3.3)

Frequenze naturali di base del solaio $f = (3.14/2L^2) \sqrt{EI/M}$ (UNI EN1995-1-1:2009 §7.3.3)

L=4.000 m, E=1.100E+010 N/m², I=7.119E-005 m⁴, M=50.97 kg/m², f=12.17 Hz

f=12.17 Hz > 8 Hz. La frequenza naturale di base è accettabile

1.5. Stato limite ultimo (UNI EN1995-1-1:2009, §6)

| Carico [kN/m] | Azione | γ_g | γ_q | ψ_0 |
|--------------------------------|------------|------------|------------|----------|
| (G) Proprio Gk = 0.500 | Permanente | | 1.30 | 0.00 |
| (Qf) di esercizio Qk = 2.000 | Media | | 0.00 | 1.50 |
| | | | | 0.70 |

| L.C. | Combinazione di carichi | Classe di durata | kmod | V/Kmod | M/Kmod |
|------|--|------------------|------|--------|--------|
| 1 | $\gamma_g \cdot G$ | Permanente | 0.60 | 2.607 | 1.760 |
| 2 | $\gamma_g \cdot G + \gamma_q \cdot Qf$ | Media | 0.80 | 10.979 | 7.414 |
| | Valori massimi | | | 10.979 | 7.414 |

Taglio, Fv=8.783 kN (EC5 §6.1.7)

Sezione rettangolare, bef=0.67x75=50 mm, h=225 mm, A= 11 250 mm²

Coefficiente di correzione Kmod=0.80 (Tab.3.1), coefficiente del materiale $\gamma_M=1.50$ (Tab. 2.3)

f_{vk}=4.00 N/mm², f_{vd}=Kmod·f_{vk}/ γ_M =0.80x4.00/1.50=2.13N/mm² (EC5 Eq.2.14)

Fv=8.783 kN, r_{vd}=1.50Fv_{0d}/A_{netto}=1000x1.50x8.783/11250=1.17N/mm² < 2.13N/mm²=f_{vd} (Eq.6.13)

La verifica è soddisfatta

Flessione, Myd=5.931 kNm, Mzd=0.000 kNm (EC5 §6.1.6)

Sezione rettangolare, b=75mm, h=225mm, A=1.688E+004mm², Wy=6.328E+005mm³, Wz=2.109E+005mm³

Coefficiente di correzione Kmod=0.80 (DM2008 T.4.4.IV), coefficiente del materiale $\gamma_M=1.50$ (DM2008

f_{yk}=24.00 N/mm², f_{ymd}=Kmod·f_{yk}/ γ_M =0.80x24.00/1.50=12.80N/mm²

f_{mk}=24.00 N/mm², f_{mzd}=Kmod·f_{mk}/ γ_M =0.80x24.00/1.50=12.80N/mm²

Sezione rettangolare Km=0.70 (EC5 §6.1.6.(2))

$\sigma_{myd} = Myd/W_{my,netto} = 1E+06 \times 5.931 / 6.328E+005 = 9.37$ N/mm²

$\sigma_{mzd} = Mzd/W_{mz,netto} = 1E+06 \times 0.000 / 2.109E+005 = 0.00$ N/mm²

$\sigma_{myd} / f_{ymd} + K_{m, \sigma_{mzd}} / f_{mzd} = 0.732 + 0.000 = 0.73 < 1$ (EC5 Eq.6.11)

$K_{m, \sigma_{myd}} / f_{ymd} + \sigma_{mzd} / f_{mzd} = 0.513 + 0.000 = 0.51 < 1$ (EC5 Eq.6.12)

La verifica è soddisfatta

Stabilità laterale, Myd=5.931 kNm, Mzd=0.000 kNm (EC5 §6.3.3)

Sezione rettangolare, b=75mm, h=225mm, A=1.688E+004mm², Wy=6.328E+005mm³, Wz=2.109E+005mm³

Coefficiente di correzione Kmod=0.80 (DM2008 T.4.4.IV), coefficiente del materiale $\gamma_M=1.50$ (DM2008

f_{c0k}=21.00 N/mm², f_{c0d}=Kmod·f_{c0k}/ γ_M =0.80x21.00/1.50=11.20N/mm²

f_{yk}=24.00 N/mm², f_{ymd}=Kmod·f_{yk}/ γ_M =0.80x24.00/1.50=12.80N/mm²

f_{mk}=24.00 N/mm², f_{mzd}=Kmod·f_{mk}/ γ_M =0.80x24.00/1.50=12.80N/mm²

Sezione rettangolare Km=0.70 (EC5 §6.1.6.(2))

$\sigma_{myd} = Myd/W_{my,netto} = 1E+06 \times 5.931 / 6.328E+005 = 9.37$ N/mm²

$\sigma_{mzd} = Mzd/W_{mz,netto} = 1E+06 \times 0.000 / 2.109E+005 = 0.00$ N/mm²

Lunghezza libera di inflessione S_k

$S_{ky} = 1.00 \times 4.000 = 4.000 \text{ m} = 4000 \text{ mm}$

$S_{kz} = 0.10 \times 4.000 = 0.400 \text{ m} = 400 \text{ mm}$

Snellezza

$i_y = \sqrt{(I_y/A)} = 0.289 \times 225 = 65 \text{ mm}, \lambda_y = 4000 / 65 = 61.54$

$i_z = \sqrt{(I_z/A)} = 0.289 \times 75 = 22 \text{ mm}, \lambda_z = 400 / 22 = 18.18$

$\sigma_{m,crit} = 0.78 \cdot b^2 \cdot E_{005} / (h \cdot L_{ef}) = 0.78 \times 75^2 \times 7400 / (225 \times 3600) = 40.08 \text{ N/mm}^2 \text{ (EC5 Eq.6.32)}$

$\sigma_{m,crit} = 0.78 \cdot b^2 \cdot E_{005} / (h \cdot L_{ef}) = 0.78 \times 225^2 \times 7400 / (75 \times 400) = 9740.25 \text{ N/mm}^2 \text{ (EC5 Eq.6.32)}$

Tensioni critiche

$\sigma_{m,crity} = 40.08 \text{ N/mm}^2, \lambda_{rel,my} = \sqrt{(f_{myk} / \sigma_{m,crity})} = 0.77 \text{ (EC5 Eq.6.30)}$

$\sigma_{m,critz} = 9740.25 \text{ N/mm}^2, \lambda_{rel,mz} = \sqrt{(f_{mzk} / \sigma_{m,critz})} = 0.05 \text{ (EC5 Eq.6.30)}$

$\lambda_{rel,my} = 0.77, (0.75 < \lambda_{rel} \leq 1.40, K_{crit} = 1.56 - 0.75 \lambda_{relm}), K_{cricity} = 0.98 \text{ (EC5 Eq.6.34)}$

$\lambda_{rel,mz} = 0.05, (\lambda_{rel} \leq 0.75), K_{critz} = 1.00 \text{ (EC5 Eq.6.34)}$

$\sigma_{myd} / (K_{cricity} \cdot f_{myd}) + K_{m, \sigma_{mzd}} / (K_{critz} \cdot f_{mzd}) = 0.747 + 0.000 = 0.75 < 1 \text{ (EC5 Eq.6.33)}$

$K_{m, \sigma_{myd}} / (K_{cricity} \cdot f_{myd}) + \sigma_{mzd} / (K_{critz} \cdot f_{mzd}) = 0.523 + 0.000 = 0.52 < 1 \text{ (EC5 Eq.6.33)}$

La verifica è soddisfatta