

Giovanni Cerretini

Calcoli di ingegneria con Excel

PROGETTO DI ELEMENTI STRUTTURALI

- Progettazione e verifica di travi in legno
- Progettazione e verifica di travi in acciaio
- Verifica e punzonamento di strutture in cemento armato
- Progettazione e verifica di solai in latero-cemento
- Progettazione e verifica di solette composte con lamiera grecata
- Esempi applicativi

- Aggiornato alle NTC e alla Circolare n. 617/2009, Eurocodice 2, Eurocodice 3, Eurocodice 4 e CNR-DT 206/2007

SOMMARIO

1. PROGETTAZIONE E VERIFICA DI TRAVI IN LEGNO	p.	9
1.1. Normative di riferimento e bibliografia	"	9
1.2. Convenzioni utilizzate	"	9
1.2.1. Simboli	"	9
1.2.2. Acronimi	"	11
1.2.3. Unità di misura	"	12
1.3. Le travi in legno	"	12
1.4. Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008, del CNR-DT 206/2007 e dell'Eurocodice 3	"	12
1.5. Procedimento di calcolo e verifica	"	16
1.5.1. Analisi dei carichi	"	17
1.5.2. Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU	"	17
1.5.3. Verifica di resistenza a flessione allo SLU	"	19
1.5.4. Verifica di resistenza a taglio allo SLU	"	20
1.5.5. Verifica di instabilità per elementi inflessi allo SLU	"	20
1.5.6. Verifica di deformabilità per carichi verticali allo SLE	"	21
1.6. ESEMPI	"	24
1.6.1. Esempio 1 – Travetti di un solaio in legno	"	24
1.6.2. Esempio 2 – Travi principali di un solaio in legno	"	28
1.6.3. Esempio 3 – Travi della copertura	"	32
1.6.4. Esempio 4 – Verifica di copertura di una loggia	"	36
1.7. Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	39
1.7.1. Dati di input	"	39
1.7.2. Sezioni del foglio di calcolo	"	41
1.7.3. Esempi applicativi	"	43
2. PROGETTAZIONE E VERIFICA DI TRAVI IN ACCIAIO	"	50
2.1. Normative di riferimento e bibliografia	"	50
2.2. Convenzioni utilizzate	"	50
2.2.1. Simboli	"	50
2.2.2. Acronimi	"	52
2.2.3. Unità di misura	"	52
2.3. Le travi in acciaio	"	53
2.4. Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008	"	53
2.5. Procedimento di calcolo e verifica	"	55
2.5.1. Analisi dei carichi	"	56

2.5.2.	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU	p.	56
2.5.3.	Calcolo del massimo momento resistente allo SLU	"	59
2.5.4.	Verifica di resistenza per flessione allo SLU	"	59
2.5.5.	Calcolo del massimo taglio resistente allo SLU	"	60
2.5.6.	Verifica di resistenza per taglio allo SLU	"	60
2.5.7.	Calcolo della tensione ideale in contemporanea presenza di flessione e taglio allo SLU	"	60
2.5.8.	Verifica di resistenza per contemporanea presenza di taglio e flessione	"	61
2.5.9.	Calcolo degli spostamenti verticali allo SLE	"	61
2.5.10.	Verifica degli spostamenti verticali allo SLER	"	63
2.6.	ESEMPI	"	63
2.6.1.	Esempio 1 – Trave in acciaio di un soppalco	"	63
2.6.2.	Esempio 2 – Verifica di un architrave in acciaio	"	65
2.6.3.	Esempio 3 – Verifica di una trave in acciaio di un terrazzo	"	67
2.6.4.	Esempio 4 – Verifica di una trave in acciaio di una copertura	"	70
2.6.5.	Esempio 5 – Verifica di una trave in acciaio di un balcone	"	73
2.6.6.	Esempio 6 – Verifica di una trave per una copertura inclinata	"	75
2.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	78
2.7.1.	Dati di input	"	78
2.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	80
2.7.3.	Esempi applicativi	"	82
3.	VERIFICA E PUNZONAMENTO DI STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO	"	89
3.1.	Normative di riferimento e bibliografia	"	89
3.2.	Convenzioni utilizzate	"	89
3.2.1.	Simboli	"	89
3.2.2.	Acronimi	"	91
3.2.3.	Unità di misura	"	91
3.3.	Il fenomeno del punzonamento	"	91
3.4.	Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008 e dell'Eurocodice 2	"	92
3.4.1.	Limitazioni dimensionali e geometriche delle armature	"	94
3.5.	Procedimento di calcolo e verifica	"	95
3.5.1.	Identificazione dei perimetri di verifica	"	96
3.5.2.	Calcolo del taglio-punzonamento sollecitante	"	96
3.5.3.	Verifica dello spessore minimo sul perimetro u_0	"	97
3.5.4.	Verifica sul perimetro u_1	"	97
3.6.	ESEMPI	"	100
3.6.1.	Esempio 1 – Soletta con spessore insufficiente	"	100
3.6.2.	Esempio 2 – Soletta con pilastro interno	"	102
3.6.3.	Esempio 3 – Soletta con pilastro di bordo	"	104
3.6.4.	Esempio 4 – Soletta con pilastro in prossimità di un foro	"	106
3.6.5.	Esempio 5 – Soletta con armatura a taglio-punzonamento in barre sagomate	"	107

3.6.6.	Esempio 6 – Soletta con armatura a taglio-punzonamento in barre verticali	p.	111
3.6.7.	Esempio 7 – Soletta con armatura a taglio-punzonamento in barre verticali direzionate	"	114
3.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	117
3.7.1.	Dati di input	"	117
3.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	119
3.7.3.	Esempi applicativi	"	122
4.	PROGETTAZIONE E VERIFICA DI SOLAI IN LATERO-CEMENTO	"	130
4.1.	Normative di riferimento e bibliografia	"	130
4.2.	Convenzioni utilizzate	"	130
4.2.1.	Simboli	"	130
4.2.2.	Acronimi	"	132
4.2.3.	Unità di misura	"	132
4.3.	I solai in latero-cemento	"	132
4.4.	Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008	"	133
4.5.	Procedimento di calcolo e verifica	"	134
4.5.1.	Analisi dei carichi	"	134
4.5.2.	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione	"	134
4.5.3.	Verifica a flessione allo SLU ed allo SLE	"	136
4.5.4.	Verifica di resistenza a taglio	"	138
4.5.5.	Verifica di deformabilità	"	140
4.6.	ESEMPI	"	141
4.6.1.	Esempio 1 – Solaio in semplice appoggio	"	141
4.6.2.	Esempio 2 – Solaio in semplice appoggio snello	"	147
4.6.3.	Esempio 3 – Solaio su 3 appoggi	"	148
4.6.4.	Esempio 4 – Solaio su 4 appoggi	"	149
4.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	150
4.7.1.	Dati di input	"	150
4.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	152
4.7.3.	Esempi applicativi	"	155
5.	PROGETTAZIONE E VERIFICA DI SOLETTE COMPOSTE CON LAMIERA GRECATA	"	160
5.1.	Normative di riferimento e bibliografia	"	160
5.2.	Convenzioni utilizzate	"	160
5.2.1.	Simboli	"	160
5.2.2.	Acronimi	"	162
5.2.3.	Unità di misura	"	162
5.3.	Solette composte con lamiera grecata	"	162
5.4.	Indicazioni del D.M. 14 gennaio 2008 e dell'Eurocodice 4	"	162
5.5.	Procedimento di calcolo e verifica	"	164
5.5.1.	Analisi dei carichi	"	165

5.5.2.	Calcolo delle caratteristiche geometriche della sezione	p.	165
5.5.3.	Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione.....	"	166
5.5.4.	Verifica a flessione allo SLU	"	167
5.5.5.	Verifica di resistenza a taglio allo SLU	"	169
5.5.6.	Verifica di resistenza della soletta.....	"	169
5.5.7.	Verifica di deformabilità	"	171
5.6.	ESEMPI.....	"	172
5.6.1.	Esempio 1 – Soletta in semplice appoggio	"	172
5.7.	Istruzioni per l'utilizzo del foglio di calcolo	"	177
5.7.1.	Dati di input	"	177
5.7.2.	Sezioni del foglio di calcolo	"	179
5.7.3.	Esempi applicativi	"	182
6.	GUIDA AL SOFTWARE ALLEGATO	"	184
6.1.	Introduzione al software	"	184
6.2.	Requisiti minimi hardware e software.....	"	184
6.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione.....	"	184
6.4.	Procedura per l'installazione e l'attivazione del software.....	"	185

2.5.10. Verifica degli spostamenti verticali allo SLER

La verifica viene effettuata confrontando i valori degli spostamenti calcolati con i valori limite massimi indicati in Tab. 4.2.X [1] delle Norme Tecniche.

2.6. ESEMPI

2.6.1. Esempio 1 – Trave in acciaio di un soppalco

Nell'esempio che segue si ipotizza di avere un soppalco realizzato con travi in acciaio HEA 140 in acciaio S235, di luce L_L pari a 400 cm e poste ad un interasse di 120 cm.

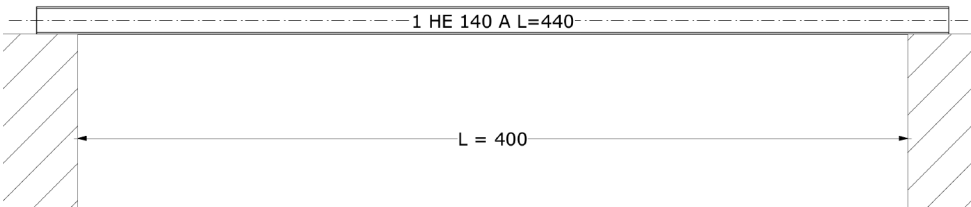


Figura 2.1. Trave in acciaio di un soppalco

Sulle travi viene disposta una lamiera grecata con getto di calcestruzzo e rete elettrosaldata con sovrastante massetto e pavimentazione.

La categoria dei carichi variabili è Cat. A – Ambienti ad uso residenziale.

Lo schema statico utilizzato per la modellazione della trave portante è quello di trave su 2 appoggi e carico uniformemente distribuito.

La luce di calcolo del soppalco è pari a $1,05 L_L$, cioè:

$$L = 1,05 \times 400 = 420 \text{ cm}$$

Analisi dei carichi

Di seguito si calcolano i carichi uniformemente distribuiti sulla trave.

Peso proprio trave		24,7	kg/m
	$G_1 =$	24,7	kg/m
Peso proprio lamiera e soletta	$188 \times 1,2 =$	225,6	kg/m
Peso proprio massetto	$100 \times 1,2 =$	120,0	kg/m
Peso proprio pavimento	$60 \times 1,2 =$	72,0	kg/m
	$G_2 =$	417,6	kg/m
Carico variabile	$200 \times 1,2 =$	240,0	kg/m
	$Q_1 =$	240,0	kg/m

Nella combinazione di carico per lo SLU il carico q distribuito totale vale:

$$q_{SLU} = (1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_1) = 1019 \text{ kg/m}$$

Nella combinazione di carico per lo SLER il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLER}} = (1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,0 \times Q_1) = 682 \text{ kg/m}$$

Il carico q distribuito per la sola componente variabile vale:

$$q_{Q1} = Q_1 = 240 \text{ kg/m}$$

➤ **Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU**

Il momento sollecitante vale:

$$M_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L^2 / 8$$

$$M_{y,\text{Ed}} = 2246 \text{ kgm}$$

Il taglio sollecitante vale:

$$V_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L / 2$$

$$V_{y,\text{Ed}} = 2140 \text{ kg}$$

➤ **Calcolo del momento resistente e verifica della flessione delle membrature**

Si calcola il valore del momento flettente resistente:

$$M_{c,y,\text{Rd}} = W_{\text{el},y} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,y,\text{Rd}} = 155000 \times 235 / 1,05 = 34690 \text{ Nm} = 3469 \text{ kgm}$$

$$M_{y,\text{Ed}} / M_{c,y,\text{Rd}} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo del taglio resistente e verifica a taglio delle membrature**

Si calcola il valore del taglio resistente:

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f = \\ &= 3140 - 2 \times 140 \times 8,5 + (5,5 + 2 \times 12) \times 8,5 = 1011 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{c,\text{Rd}} = 3^{-1/2} A_v f_{yk} / \gamma_{M0} = 130638 \text{ N} = 13064 \text{ kg}$$

$$V_{y,\text{Ed}} / V_{c,\text{Rd}} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo della deformazione verticale e verifica di deformabilità**

Il valore dello spostamento δ_2 vale:

$$\begin{aligned} \delta_2 &= 5 q_1 L^4 / (384 E J) = \\ &= 5 \times 2,40 \times 420^4 / (384 \times 2100000 \times 1033) = 0,45 \text{ cm} \end{aligned}$$

Il valore dello spostamento $\delta_{\max}$ vale:

$$\begin{aligned}\delta_{\max} &= 5 q_{\text{SLER}} L^4 / (384 E J) = \\ &= 5 \times 6,82 \times 420^4 / (384 \times 2100000 \times 1033) = 1,27 \text{ cm}\end{aligned}$$

Per soddisfare la verifica si ha:

$$\delta_2 < L / 300 = 1,40 \text{ cm}$$

$$\delta_{\max} \leq L / 250 = 1,68 \text{ cm}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

2.6.2. Esempio 2 – Verifica di un architrave in acciaio

Nell'esempio che segue si ipotizza di avere un architrave realizzato con una trave in acciaio IPE 80 in acciaio S235, inserito in una muratura di mattoni pieni dello spessore di 12 cm. L'apertura ha una luce L_L pari a 200 cm.

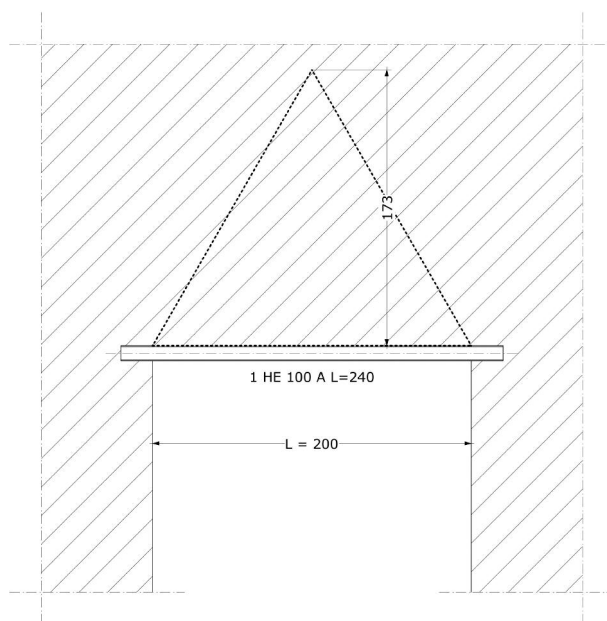


Figura 2.2. Architrave su parete portante

Sull'architrave grava esclusivamente il peso proprio della parete in quanto il solaio del piano superiore è sufficientemente distante dall'architrave. Lo schema statico utilizzato per la modellazione della trave portante è quello di trave su 2 appoggi e carico distribuito triangolare.

La luce di calcolo dell'architrave è pari a $1,05 L_L$, quindi:

$$L = 1,05 \times 200 = 210 \text{ cm}$$

➤ Analisi dei carichi

Di seguito si calcolano i carichi uniformemente distribuiti sulla trave.

Peso proprio trave		6,0	kg/m
	$G_1 =$	6,0	kg/m
Peso proprio intonaco sp = 3 cm (0,03 x 1800)	=	54,0	kg/m ²
Peso proprio parete sp = 12 cm (0,12 x 1800)	=	216,0	kg/m ²
	$g_2 =$	270,0	kg/m ²

Ipotizzando che sulla trave gravi una porzione di muratura alta 173 cm, si ha:

$$G_2 = 1800 \times (0,12 + 0,03) \times 1,73 = 467 \text{ kg/m}$$

Nella combinazione di carico per lo SLU il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLU}} = (1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_1) = 708 \text{ kg/m}$$

Nella combinazione di carico per lo SLER il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLER}} = (1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,0 \times Q_1) = 473 \text{ kg/m}$$

Il carico q distribuito per la sola componente variabile è nullo:

$$q_{Q1} = Q_1 = 0 \text{ kg/m}$$

➤ Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU

Il momento sollecitante vale:

$$M_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L^2 / 12$$

$$M_{y,\text{Ed}} = 260 \text{ kgm}$$

Il taglio sollecitante vale:

$$V_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L / 4$$

$$V_{y,\text{Ed}} = 372 \text{ kg}$$

➤ Calcolo del momento resistente e verifica della flessione delle membrature

Si calcola il valore del momento flettente resistente:

$$M_{c,y,\text{Rd}} = W_{el,y} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,y,\text{Rd}} = 20000 \times 235 / 1,05 = 4476 \text{ Nm} = 448 \text{ kgm}$$

$$M_{y,\text{Ed}} / M_{c,y,\text{Rd}} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ Calcolo del taglio resistente e verifica a taglio delle membrature

Si calcola il valore del taglio resistente:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f =$$

$$= 760 - 2 \times 46 \times 5,2 + (3,8 + 2 \times 5) \times 5,2 = 353 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 3^{-1/2} A_v f_{yk} / \gamma_{M0} = 45613 \text{ N} = 4561 \text{ kg}$$

$$V_{y,Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ Calcolo della deformazione verticale e verifica di deformabilità

Il valore dello spostamento δ_2 è nullo:

$$\delta_2 = 0$$

Il valore dello spostamento $\delta_{\max}$ è:

$$\delta_{\max} = q_{\text{SLER}} L^4 / (120 E J) =$$

$$= 4,73 \times 210^4 / (120 \times 2100000 \times 80) = 0,46 \text{ cm}$$

Per soddisfare la verifica si ha:

$$\delta_2 < L / 500 = 0,42 \text{ cm}$$

$$\delta_{\max} \leq L / 400 = 0,53 \text{ cm}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

2.6.3. Esempio 3 – Verifica di una trave in acciaio di un terrazzo

Nell'esempio che segue si ipotizza di avere un terrazzo realizzato con travi in acciaio HEA 100 in acciaio S235, di luce L_L pari a 300 cm e poste ad un interasse di 120 cm.

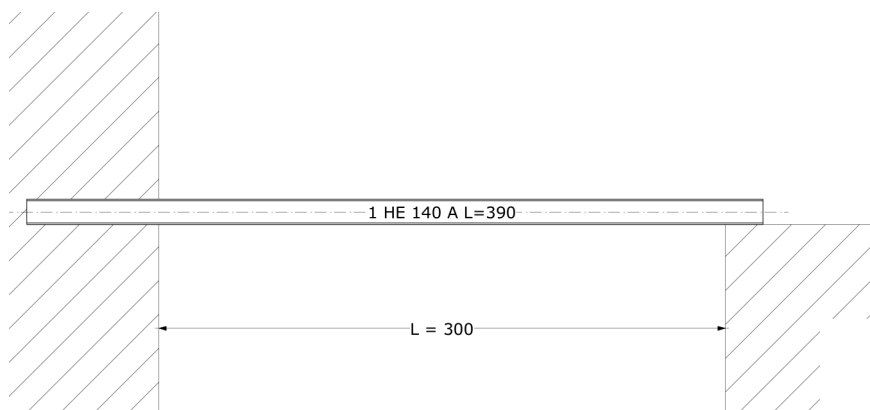


Figura 2.3. Trave in acciaio di un terrazzo

Sulle travi vengono disposti un tavellone in laterizio e una soletta in cemento armato con rete elettrosaldata e sovrastante massetto e pavimentazione.

La categoria dei carichi variabili è Cat. A – Ambienti ad uso residenziale.

Lo schema statico utilizzato per la modellazione della trave portante è quello di trave con incastro e appoggio e carico distribuito uniforme.

La luce di calcolo del terrazzo è pari a $1,05 L_L$, cioè:

$$L = 1,05 \times 300 = 315 \text{ cm}$$

➤ **Analisi dei carichi**

Di seguito si calcolano i carichi uniformemente distribuiti sulla trave.

Peso proprio trave		16,7	kg/m
	$G_1 =$	16,7	kg/m
Peso proprio tavellone	$60 \times 1,2 =$	72,0	kg/m
Peso proprio soletta armata	$2500 \times 0,05 \times 1,2 =$	150,0	kg/m
Peso proprio massetto	$100 \times 1,2 =$	120,0	kg/m
Peso proprio pavimento	$60 \times 1,2 =$	72,0	kg/m
	$G_2 =$	414,0	kg/m
Carico variabile	$200 \times 1,2 =$	240,0	kg/m
	$Q_1 =$	240,0	kg/m

Nella combinazione di carico per lo SLU il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLU}} = (1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_1) = 1003 \text{ kg/m}$$

Nella combinazione di carico per lo SLER il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLER}} = (1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,0 \times Q_1) = 671 \text{ kg/m}$$

Il carico q distribuito per la sola componente variabile vale:

$$q_{Q1} = Q_1 = 240 \text{ kg/m}$$

➤ **Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU**

Il momento sollecitante vale:

$$M_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L^2 / 8 = 1244 \text{ kgm}$$

Il taglio sollecitante vale:

$$V_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L / 1,6 = 1975 \text{ kg}$$

➤ Calcolo del momento resistente e verifica della flessione delle membrature

Si calcola il valore del momento flettente resistente:

$$M_{c,y,Rd} = W_{el,y} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,y,Rd} = 73000 \times 235 / 1,05 = 16338 \text{ Nm} = 1634 \text{ kgm}$$

$$M_{y,Ed} / M_{c,y,Rd} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ Calcolo del taglio resistente e verifica a taglio delle membrature

Si calcola il valore del taglio resistente:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f =$$

$$= 2120 - 2 \times 100 \times 8 + (5 + 2 \times 12) \times 8 = 752 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 3^{-1/2} A_v f_{yk} / \gamma_{M0} = 97171 \text{ N} = 9717 \text{ kg}$$

$$V_{y,Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ Calcolo e verifica per contemporanea presenza di flessione e taglio

Nel caso in oggetto nella sezione posizionata all'incastro agiscono contemporaneamente sia il momento che il taglio massimi; occorre allora verificare anche la resistenza considerando il contributo di entrambe le caratteristiche di sollecitazione.

La verifica per flessione e taglio viene effettuata verificando la seguente condizione:

$$\sigma_{id} = [\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{z,Ed} + 3 \tau_{Ed}^2]^{1/2} \leq f_{yk} / \gamma_{M0}$$

Nel caso in oggetto si ha:

$$f_{yk} / \gamma_{M0} = 235 / 1,05 = 224 \text{ MPa} = 2240 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{x,Ed} = M_{y,Ed} / W_{el,y} = 124400 / 73 = 1704 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{Ed} = V_{y,Ed} / A_v = 1975 / 7,52 = 263 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} = [1704^2 + 3 \times 263^2]^{1/2} = 1764 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} \leq f_{yk} / \gamma_{M0}$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ Calcolo della deformazione verticale e verifica di deformabilità

Il valore dello spostamento δ_2 è:

$$\delta_2 = 2 q_1 L^4 / (384 E J) =$$

$$= 2 \times 2,40 \times 315^4 / (384 \times 2100000 \times 349) = 0,17 \text{ cm}$$

Il valore dello spostamento $\delta_{\max}$ è:

$$\delta_{\max} = 2 q_{\text{SLER}} L^4 / (384 E J) =$$

$$= 2 \times 6,71 \times 315^4 / (384 \times 2100000 \times 349) = 0,47 \text{ cm}$$

Per soddisfare la verifica si ha:

$$\delta_2 < L / 300 = 1,05 \text{ cm}$$

$$\delta_{\max} \leq L / 250 = 1,26 \text{ cm}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

2.6.4. Esempio 4 – Verifica di una trave in acciaio di una copertura

Nell'esempio che segue si ipotizza di avere una copertura a sbalzo realizzata con travi in acciaio HEA 100 in acciaio S235, poste ad un interasse di 120 cm, di luce L_L pari a 160 cm.

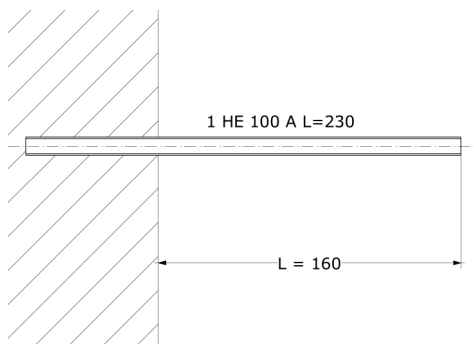


Figura 2.4. Trave in acciaio di una copertura a sbalzo

Sulle travi vengono disposti un tavellone in laterizio e una soletta in cemento armato con rete elettrosaldata e sovrastante massetto e pavimentazione.

La categoria dei carichi variabili è Cat. H1 – Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione.

Lo schema statico utilizzato per la modellazione della trave portante è quello di trave con incastro e sbalzo e carico distribuito uniforme.

La luce di calcolo dello sbalzo è pari a 1,05 L_L , cioè:

$$L = 1,05 \times 160 = 168 \text{ cm}$$

➤ Analisi dei carichi

Di seguito si calcolano i carichi uniformemente distribuiti sulla trave.

Peso proprio trave	16,7	kg/m
$G_1 =$	16,7	kg/m

Peso proprio tavellone	60 x 1,2 =	72,0	kg/m
Peso proprio soletta armata	2500 x 0,05 x 1,2 =	150,0	kg/m
Peso proprio massetto	100 x 1,2 =	120,0	kg/m
Peso proprio manto di copertura	60 x 1,2 =	72,0	kg/m
	$G_2 =$	414,0	kg/m
Carico variabile	50 x 1,2 =	60,0	kg/m
	$Q_1 =$	60,0	kg/m

Nella combinazione di carico per lo SLU il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLU}} = (1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_1) = 733 \text{ kg/m}$$

Nella combinazione di carico per lo SLER il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLER}} = (1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,0 \times Q_1) = 491 \text{ kg/m}$$

Il carico q distribuito per la sola componente variabile vale:

$$q_{Q1} = Q_1 = 60 \text{ kg/m}$$

➤ **Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU**

Il momento sollecitante vale:

$$M_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L^2 / 2$$

$$M_{y,\text{Ed}} = 1034 \text{ kgm}$$

Il taglio sollecitante vale:

$$V_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L$$

$$V_{y,\text{Ed}} = 1231 \text{ kg}$$

➤ **Calcolo del momento resistente e verifica della flessione delle membrature**

Si calcola il valore del momento flettente resistente:

$$M_{c,y,\text{Rd}} = W_{el,y} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,y,\text{Rd}} = 73000 \times 235 / 1,05 = 16338 \text{ Nm} = 1634 \text{ kgm}$$

$$M_{y,\text{Ed}} / M_{c,y,\text{Rd}} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo del taglio resistente e verifica a taglio delle membrature**

Si calcola il valore del taglio resistente:

$$A_v = A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f =$$

$$= 2120 - 2 \times 100 \times 8 + (5 + 2 \times 12) \times 8 = 752 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,Rd} = 3^{-1/2} A_v f_{yk} / \gamma_{M0} = 97171 \text{ N} = 9717 \text{ kg}$$

$$V_{y,Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo e verifica per contemporanea presenza di flessione e taglio**

Nel caso in oggetto, nella sezione posizionata all'incastro agiscono contemporaneamente sia il momento che il taglio massimi, occorre allora verificare anche la resistenza considerando il contributo di entrambe le caratteristiche di sollecitazione.

La verifica per flessione e taglio viene effettuata verificando la seguente condizione:

$$\sigma_{id} = [\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{z,Ed} + 3 \tau_{Ed}^2]^{1/2} \leq f_{yk} / \gamma_{M0}$$

Nel caso in oggetto si ha:

$$f_{yk} / \gamma_{M0} = 235 / 1,05 = 224 \text{ MPa} = 2240 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{x,Ed} = M_{y,Ed} / W_{el,y} = 103400 / 73 = 1416 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{Ed} = V_{y,Ed} / A_v = 1231 / 7,52 = 164 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} = [1416^2 + 3 \times 164^2]^{1/2} = 1444 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} \leq f_{yk} / \gamma_{M0}$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo della deformazione verticale e verifica di deformabilità**

Il valore dello spostamento δ_2 è:

$$\delta_2 = q_1 L^4 / (8 E J) =$$

$$= 0,60 \times 168^4 / (8 \times 2100000 \times 349) = 0,08 \text{ cm}$$

Il valore dello spostamento δ_{max} è:

$$\delta_{max} = q_{SLER} L^4 / (8 E J) =$$

$$= 4,91 \times 168^4 / (8 \times 2100000 \times 349) = 0,67 \text{ cm}$$

Per soddisfare la verifica si ha:

$$\delta_2 < L / 125 = 1,34 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} \leq L / 100 = 1,68 \text{ cm}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

2.6.5. Esempio 5 – Verifica di una trave in acciaio di un balcone

Nell'esempio che segue si ipotizza di avere un balcone realizzato con travi in acciaio HEA 100 in acciaio S235, poste ad un interasse di 120 cm, di luce L_L pari a 90 cm.

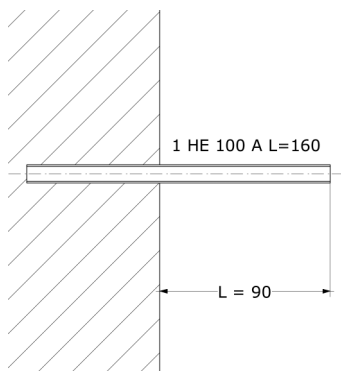


Figura 2.5. Trave in acciaio di un balcone

Sulle travi vengono disposti un tavellone in laterizio e una soletta in cemento armato con rete elettrosaldata e sovrastante massetto e pavimentazione.

La categoria dei carichi variabili è Cat. C2 – Balconi.

Sull'estremità a sbalzo deve essere applicato anche il momento M_B dovuto alla spinta orizzontale sul parapetto che vale:

$$M_B = H h = 1,2 \times 200 \times 1,1 = 264 \text{ kgm}$$

$$M_{B,SLER} = 264 \text{ kgm}$$

$$M_{B,SLU} = 1,5 \times 264 = 396 \text{ kgm}$$

Lo schema statico utilizzato per la modellazione della trave portante è quello di trave con incastrò e sbalzo con carico distribuito uniforme e momento concentrato all'estremità libera.

La luce di calcolo del balcone è pari a 1,05 L_L , cioè:

$$L = 1,05 \times 90 = 95 \text{ cm}$$

➤ Analisi dei carichi

Di seguito si calcolano i carichi uniformemente distribuiti sulla trave.

Peso proprio trave		16,7	kg/m
	$G_1 =$	16,7	kg/m
Peso proprio tavellone	$60 \times 1,2 =$	72,0	kg/m
Peso proprio soletta armata	$2500 \times 0,05 \times 1,2 =$	150,0	kg/m
Peso proprio massetto	$100 \times 1,2 =$	120,0	kg/m

Peso proprio pavimento	$60 \times 1,2 =$	72,0	kg/m
	$G_2 =$	414,0	kg/m
Carico variabile	$400 \times 1,2 =$	480,0	kg/m
	$Q_1 =$	480,0	kg/m

Nella combinazione di carico per lo SLU il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLU}} = (1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_1) = 1363 \text{ kg/m}$$

Nella combinazione di carico per lo SLER il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLER}} = (1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,0 \times Q_1) = 911 \text{ kg/m}$$

Il carico q distribuito per la sola componente variabile vale:

$$q_{Q1} = Q_1 = 480 \text{ kg/m}$$

➤ **Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU**

Il momento sollecitante vale:

$$M_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L^2 / 2 + M_{B,\text{SLU}}$$

$$M_{y,\text{Ed}} = 1011 \text{ kgm}$$

Il taglio sollecitante vale:

$$V_{y,\text{Ed}} = q_{\text{SLU}} L$$

$$V_{y,\text{Ed}} = 1295 \text{ kg}$$

➤ **Calcolo del momento resistente e verifica della flessione delle membrature**

Si calcola il valore del momento flettente resistente:

$$M_{c,y,\text{Rd}} = W_{el,y} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,y,\text{Rd}} = 73000 \times 235 / 1,05 = 16338 \text{ Nm} = 1634 \text{ kgm}$$

$$M_{y,\text{Ed}} / M_{c,y,\text{Rd}} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo del taglio resistente e verifica a taglio delle membrature**

Si calcola il valore del taglio resistente:

$$\begin{aligned} A_v &= A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f = \\ &= 2120 - 2 \times 100 \times 8 + (5 + 2 \times 12) \times 8 = 752 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$V_{c,\text{Rd}} = 3^{-1/2} A_v f_{yk} / \gamma_{M0} = 97171 \text{ N} = 9717 \text{ kg}$$

$$V_{y,Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo e verifica per contemporanea presenza di flessione e taglio**

Nel caso in oggetto, nella sezione posizionata all'incastro agiscono contemporaneamente sia il momento che il taglio massimi; occorre allora verificare anche la resistenza considerando il contributo di entrambe le caratteristiche di sollecitazione.

La verifica per flessione e taglio viene effettuata verificando la seguente condizione:

$$\sigma_{id} = [\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2]^{1/2} \leq f_{yk} / \gamma_{M0}$$

Nel caso in oggetto si ha:

$$f_{yk} / \gamma_{M0} = 235 / 1,05 = 224 \text{ MPa} = 2240 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{x,Ed} = M_{y,Ed} / W_{el,y} = 101100 / 73 = 1385 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{Ed} = V_{y,Ed} / A_v = 1717 / 7,52 = 190 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} = [1385^2 + 3 \times 190^2]^{1/2} = 1423 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{id} \leq f_{yk} / \gamma_{M0}$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ **Calcolo della deformazione verticale e verifica di deformabilità**

Il valore dello spostamento δ_2 è:

$$\begin{aligned} \delta_2 &= q_1 L^4 / (8 E J) + M_{B,SLER} L^2 / (2 E J) = \\ &= 4,80 \times 95^4 / (8 \times 2100000 \times 349) + 26400 \times 95^2 / (2 \times 2100000 \times 349) = 0,23 \text{ cm} \end{aligned}$$

Il valore dello spostamento δ_{max} è:

$$\begin{aligned} \delta_{max} &= q_{SLER} L^4 / (8 E J) + M_{B,SLER} L^2 / (2 E J) = \\ &= 9,11 \times 95^4 / (8 \times 2100000 \times 349) + 0,16 = 0,29 \text{ cm} \end{aligned}$$

Per soddisfare la verifica si ha:

$$\delta_2 < L / 125 = 0,76 \text{ cm}$$

$$\delta_{max} \leq L / 100 = 0,95 \text{ cm}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

2.6.6. Esempio 6 – Verifica di una trave per una copertura inclinata

Nell'esempio che segue si ipotizza di avere una copertura con una falda inclinata di 15° rispetto all'orizzontale realizzata con travi in acciaio HEA 100 in acciaio S235, poste ad un interasse di 150 cm, di luce L_L pari a 500 cm.

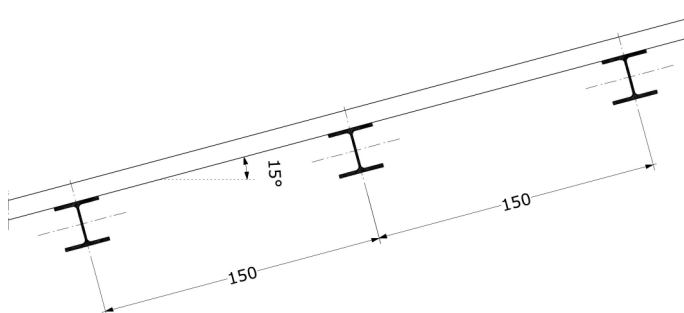


Figura 2.6. Trave in acciaio per copertura inclinata

Sulle travi viene poggiata una struttura di copertura del tipo a sandwich.

La categoria dei carichi variabili è Cat. H1 – Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione.

Lo schema statico utilizzato per la modellazione della trave portante è quello di trave semplicemente appoggiata e carico distribuito uniforme.

La luce di calcolo della copertura inclinata è pari a $1,05 L_L$, cioè:

$$L = 1,05 \times 500 = 525 \text{ cm}$$

➤ Analisi dei carichi

Di seguito si calcolano i carichi uniformemente distribuiti sulla trave.

Peso proprio trave		16,7	kg/m
	$G_1 =$	16,7	kg/m
Peso proprio copertura	$1,5 \times 25 =$	37,5	kg/m
	$G_2 =$	37,5	kg/m
Carico variabile	$1,5 \times 50 =$	75,0	kg/m
	$Q_1 =$	75,0	kg/m

Nella combinazione di carico per lo SLU il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLU}} = (1,3 \times G_1 + 1,5 \times G_2 + 1,5 \times Q_1) = 190 \text{ kg/m}$$

Nella combinazione di carico per lo SLER il carico q distribuito totale vale:

$$q_{\text{SLER}} = (1,0 \times G_1 + 1,0 \times G_2 + 1,0 \times Q_1) = 129 \text{ kg/m}$$

Il carico q distribuito per la sola componente variabile vale:

$$q_{Q1} = Q_1 = 75 \text{ kg/m}$$

➤ Calcolo delle caratteristiche di sollecitazione allo SLU

Il momento sollecitante vale:

$$M_{Ed} = q_{SLU} L^2 / 8 = 655 \text{ kgm}$$

Essendo le sezioni delle travi ruotate di un angolo $\theta = 15^\circ$ rispetto al piano orizzontale le componenti del momento nelle direzioni principali valgono:

$$M_{y,Ed} = \cos \theta q_{SLU} L^2 / 8 = 632 \text{ kgm}$$

$$M_{z,Ed} = \sin \theta q_{SLU} L^2 / 8 = 169 \text{ kgm}$$

Il taglio sollecitante vale:

$$V_{y,Ed} = q_{SLU} L / 2 = 499 \text{ kg}$$

➤ Calcolo del momento resistente e verifica della flessione delle membrane

Si calcola il valore del momento flettente resistente nelle due direzioni principali.

$$M_{c,y,Rd} = W_{el,y} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,y,Rd} = 73000 \times 235 / 1,05 = 16338 \text{ Nm} = 1634 \text{ kgm}$$

$$M_{c,z,Rd} = W_{el,z} f_{yk} / \gamma_{M0}$$

$$M_{c,z,Rd} = 27000 \times 235 / 1,05 = 6042 \text{ Nm} = 604 \text{ kgm}$$

$$\begin{aligned} & (M_{y,Ed} / M_{N,y,Rd}) + (M_{z,Ed} / M_{N,z,Rd}) = \\ & = (632 / 1634) + (169 / 604) = 0,67 \leq 1 \end{aligned}$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ Calcolo del taglio resistente e verifica a taglio delle membrane

Si calcola il valore del taglio resistente.

$$\begin{aligned} A_{v,y} &= A - 2 b t_f + (t_w + 2 r) t_f = \\ &= 2120 - 2 \times 100 \times 8 + (5 + 2 \times 12) \times 8 = 752 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{v,z} = A - A_{v,y} = 2120 - 752 = 1368 \text{ mm}^2$$

$$V_{c,y,Rd} = 3^{-1/2} A_{v,y} f_{yk} / \gamma_{M0} = 97253 \text{ N} = 9725 \text{ kg}$$

$$V_{c,z,Rd} = 3^{-1/2} A_{v,z} f_{yk} / \gamma_{M0} = 176919 \text{ N} = 17692 \text{ kg}$$

$$V_{Ed} / V_{Rd} = (V_{y,Ed} / V_{c,y,Rd}) + (V_{z,Ed} / V_{c,z,Rd}) \leq 1$$

La verifica risulta soddisfatta.

➤ Calcolo della deformazione verticale e verifica di deformabilità

Il valore dello spostamento δ_2 è:

$$\delta_2 = \{[(5 q_{Q1} \cos \theta L^4 / (384 E J_y))^2 + [5 q_{Q1} \sin \theta L^4 / (384 E J_z)]^2\}^{1/2} = \\ = (0,96 + 0,46)^{1/2} = 1,19 \text{ cm}$$

Il valore dello spostamento $\delta_{\max}$ è:

$$\delta_{\max} = \{[(5 q_{\text{SLER}} \cos \theta L^4 / (384 E J_y))^2 + [5 q_{\text{SLER}} \sin \theta L^4 / (384 E J_z)]^2\}^{1/2} = \\ = (2,82 + 1,38)^{1/2} = 2,05 \text{ cm}$$

Per soddisfare la verifica si ha:

$$\delta_2 < L / 250 = 2,10 \text{ cm}$$

$$\delta_{\max} \leq L / 200 = 2,63 \text{ cm}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

▷ 2.7. ISTRUZIONI PER L'UTILIZZO DEL FOGLIO DI CALCOLO

Il foglio di calcolo proposto serve per effettuare il dimensionamento e la verifica delle travi in acciaio, utilizzando la procedura di calcolo esposta nel Paragrafo 2.5 (vedi Figura 2.7).

2.7.1. Dati di input

Il foglio di calcolo contiene una serie di celle modificabili dall'utente, evidenziate da una sottolineatura, che costituiscono i dati di input.

I parametri che deve inserire il progettista sono:

1. Nome identificativo dell'elemento strutturale considerato;
2. Classe di resistenza dell'acciaio;
3. Coefficiente di sicurezza dei carichi permanenti non strutturali;
4. Lunghezza della trave;
5. Inclinazione della sezione rispetto all'orizzontale;
6. Interasse tra le travi o larghezza della zona di influenza;
7. Numero di profilati in acciaio costituenti la trave;
8. Tipo di profilato;
9. Carichi permanenti sulla superficie caricata;
10. Carichi variabili sulla superficie caricata;
11. Coefficiente per il calcolo del momento flettente massimo;
12. Coefficiente per il calcolo del taglio massimo;
13. Coefficiente per il contributo del momento nel caso di contemporanea presenza di flessione e taglio;
14. Coefficiente per il contributo del taglio nel caso di contemporanea presenza di flessione e taglio;
15. Coefficiente per il calcolo dello spostamento verticale;
16. Valore limite dello spostamento δ_2 ;
17. Valore limite dello spostamento $\delta_{\max}$.

Allegato di calcolo - Verifica di travi in acciaio secondo DM 14.1.2008

Pagina 1 di 1

Verifica di travi in acciaio

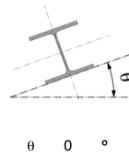
Oggetto: _____

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224$ Mpa
 $\gamma_{G2} = 1,5$ (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Caratteristiche geometriche

L	100	cm	i	100	cm
n. profilati	1		Tipo	IPE 80	
$W_y =$	20	cm ³	$J_y =$	80	cm ⁴
$W_z =$	4	cm ³	$J_z =$	8	cm ⁴
A	8	cm ²	$A_y =$	3,57	cm ²

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)**Analisi dei carichi**

Peso proprio =	6 kg/m	$G_1 =$	6,0 kg/m
Permanente	200 kg/mq	$G_2 =$	200,0 kg/m
Accidentale	200 kg/mq	$Q_1 =$	200,0 kg/m
Tot =	400 kg/mq	$Q_{SLR} =$	406,0 kg/m

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

	α	q_{SLU} (kg/m)	M_{Ed} (kg m)	$M_{y,Rd}$	$M_{Ed}/M_{y,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
Flessione Max	8	608	76	448	0,17	0,17

Verifica a taglio SLU ($V_{max} = q l / \beta$)

	β	q_{SLU} (kg/m)	V_{Ed} (kg)	$V_{y,Rd}$	$V_{Ed}/V_{y,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
Taglio Max	2	608	304	4618	0,07	0,07

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{max}, T = v_2 T_{max}$)

	v_1	M (kg m)	v_2	T (kg)	σ_{td} (MPa)
Taglio e Flessione	1,00	76	0,00	0	38

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,0130				
L / δ_2	300	$\delta_2 \leq$	0,33	cm	
L / δ_{max}	250	$\delta_{max} \leq$	0,40	cm	
$q_{G1+G2} =$	206,0	$\delta_1 =$	0,02	cm	
$q_{01} =$	200,0	$\delta_2 =$	0,02	cm	
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{tot} =$	0,03	cm	
		controflessa $\delta_c =$	0,00	cm - controflessa	
		$\delta_{max} =$	0,03	cm	



Powered by Studio Technica

Figura 2.7. Foglio di calcolo

2.7.2. Sezioni del foglio di calcolo

Il foglio di calcolo è strutturato in modo da avere 8 sezioni:

1. Oggetto;
2. Caratteristiche dei materiali;
3. Caratteristiche geometriche;
4. Analisi dei carichi;
5. Verifica a flessione;
6. Verifica a taglio;
7. Verifica a taglio e flessione;
8. Verifica di deformabilità.

Per passare da una cella di input alla successiva è sufficiente utilizzare il tasto “tabulazione”.

Tutti i valori proposti di default dal software di calcolo si riferiscono ad una trave in acciaio di classe S235, con doppio appoggio e carico uniformemente distribuito.

➤ **Oggetto**

L’oggetto ha una valenza puramente organizzativa, si può inserire un titolo per il tipo di verifica o gli estremi dell’elemento strutturale a cui ci si riferisce. Serve per individuare l’oggetto o il punto in cui si effettua la verifica e per differenziare tra loro i vari elementi strutturali verificati.

Verifica di travi in acciaio

Oggetto: _____

Figura 2.8. *Foglio di calcolo – Oggetto*

➤ **Caratteristiche dei materiali**

La sezione dedicata alle caratteristiche dei materiali è quella in cui il progettista inserisce le caratteristiche dei materiali e il foglio di calcolo effettua l’analisi delle varie grandezze necessarie nei passi successivi. In particolare si devono inserire i valori della classe di resistenza dell’acciaio e il valore del coefficiente di sicurezza per i carichi permanenti non strutturali γ_{G2} .

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224$ Mpa
 γ_{G2} 1,5 (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Figura 2.9. *Foglio di calcolo – Caratteristiche dei materiali*

➤ **Caratteristiche geometriche**

Questa sezione è dedicata alle caratteristiche geometriche della trave e alle dimensioni della superficie caricata. Si devono inserire la lunghezza di calcolo della trave, la larghezza dell’area caricata, il numero di profilati che costituiscono la trave, il tipo di profilato e l’angolo di rotazione della sezione rispetto al piano orizzontale. Il foglio di calcolo fornisce i valori dei moduli di resistenza, dei moduli di inerzia, dell’area della sezione e dell’area a taglio.

Caratteristiche geometriche

	L	cm		i	cm
n. profilati	1		Tipo	IPE 80	
$W_y =$	20	cm ³	$J_y =$	80	cm ⁴
$W_z =$	4	cm ³	$J_z =$	8	cm ⁴
$A =$	8	cm ²	$A_v =$	3,57	cm ²

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)

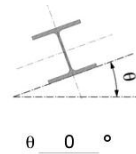


Figura 2.10. Foglio di calcolo – Caratteristiche geometriche

➤ **Analisi dei carichi**

Questa sezione serve per il calcolo delle azioni sollecitanti che agiscono sulla trave. Si devono inserire sia il valore del carico permanente non strutturale che il valore del carico variabile. Il foglio di calcolo, utilizzando il valore dell'interasse delle travi o della larghezza della superficie caricata, riporta i valori dei carichi uniformi distribuiti sulla trave.

Analisi dei carichi

Peso proprio =	6 kg/m	$G_1 =$	6,0 kg/m
Permanente	200 kg/mq	$G_2 =$	0,0 kg/m
Accidentale	200 kg/mq	$Q_1 =$	0,0 kg/m
Tot =	400 kg/mq	$q_{SLER} =$	6,0 kg/m

Figura 2.11. Foglio di calcolo – Analisi dei carichi

➤ **Verifica a flessione SLU**

Questa sezione serve per la verifica di resistenza della membratura nei confronti della sollecitazione di flessione. Si deve inserire il valore del coefficiente α che rappresenta lo schema statico utilizzato per la modellazione. Il software calcola e confronta i valori del carico uniforme distribuito sulla trave, del momento flettente sollecitante M_{Ed} , del momento flettente resistente per flessione retta $M_{y,Rd}$ e del momento resistente per flessione deviata M_{Rd} . Se la verifica non è soddisfatta l'evento viene evidenziato da una dicitura in colore rosso.

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

	α	q_{SLU} (kg/m)	M_{Ed} (kg m)	$M_{y,Rd}$	$M_{Ed}/M_{y,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
Flessione Max	8	8	0	448	0,00	0,00

Figura 2.12. Foglio di calcolo – Verifica a flessione

➤ **Verifica a taglio SLU**

In questa sezione viene effettuata la verifica a taglio della trave. Il progettista può specificare il valore del coefficiente β caratteristico dello schema statico utilizzato per la modellazione. Il software calcola e confronta i valori di V_{Ed} e V_{Rd} . Se la verifica non è soddisfatta l'evento viene evidenziato da una dicitura in colore rosso.

Verifica a taglio SLU ($V_{\max} = q l / \beta$)

	β	q_{SLU} (kg/m)	V_{Ed} (kg)	$V_{y,Rd}$	$V_{\text{Ed}}/V_{y,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
Taglio Max	2	8	0	4618	0,00	0,00

Figura 2.13. Foglio di calcolo – Verifica a taglio

✎ Verifica a flessione e taglio

In questa sezione viene effettuata la verifica per la contemporanea presenza di sollecitazioni di taglio e flessione. Il progettista deve specificare la percentuale del momento e del taglio massimi che agiscono contemporaneamente inserendo i valori dei coefficienti v_1 e v_2 .

Il software calcola e confronta il valore della tensione ideale σ_{id} . Se la verifica non è soddisfatta l'evento viene evidenziato da una dicitura in colore rosso.

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{\max}$, $T = v_2 T_{\max}$)

	v_1	M (kg m)	v_2	T (kg)	σ_{id} (MPa)
Taglio e Flessione	1,00	0	0,00	0	0

Figura 2.14. Foglio di calcolo – Verifica a taglio e flessione

✎ Verifica di deformabilità

In questa sezione viene effettuata la verifica di deformabilità. Il progettista deve specificare il coefficiente χ caratteristico dello schema statico utilizzato per la modellazione, i valori limite delle deformazioni e il valore della eventuale controfreccia applicata alla trave. I valori proposti di default dal foglio di calcolo si riferiscono alla situazione valida per generici solai. Il software calcola i valori dei carichi distribuiti per le varie combinazioni di calcolo e confronta i valori degli spostamenti verticali δ_1 , δ_2 , δ_{tot} e δ_{max} .

Se la verifica non è soddisfatta l'evento viene evidenziato da una dicitura in colore rosso.

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,0130			
L / δ_2	300		$\delta_2 \leq$	0,00 cm
L / δ_{max}	250		$\delta_{\text{max}} \leq$	0,00 cm
$q_{G1+G2} =$	6,0	$\delta_1 =$	0,00	cm
$q_{Q1} =$	0,0	$\delta_2 =$	0,00	cm
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{\text{tot}} =$	0,00	cm
		controfreccia δ_c	0,00	cm - controfreccia
		$\delta_{\text{max}} =$	0,00	cm

Figura 2.15. Foglio di calcolo – Verifica di deformazione

2.7.3. Esempi applicativi

Di seguito si riportano i fogli di calcolo relativi agli esempi del Paragrafo 2.6.

Allegato di calcolo - Verifica di travi in acciaio secondo DM 14.1.2008

Pagina 1 di 1

Verifica di travi in acciaio

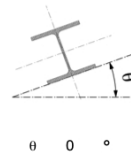
Oggetto: Esempio 1 - Trave in acciaio di un soppalco

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224$ Mpa
 $\gamma_{G2} = 1,5$ (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Caratteristiche geometriche

L	420	cm	i	120	cm
n. profilati	1		Tipo	HEA 140	
$W_y =$	155	cm ³	$J_y =$	1033	cm ⁴
$W_z =$	56	cm ³	$J_z =$	389	cm ⁴
A	31	cm ²	$A_y =$	10,11	cm ²

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)**Analisi dei carichi**

Peso proprio =	24,7	kg/m	$G_1 =$	24,7	kg/m
Permanente	348	kg/mq	$G_2 =$	417,6	kg/m
Accidentale	200	kg/mq	$Q_1 =$	240,0	kg/m
Tot =	548	kg/mq	$Q_{SLER} =$	682,3	kg/m

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

Flessione Max	α	q_{SLU} (kg/m)	M_{Ed} (kg m)	$M_{y,Rd}$	$M_{Ed}/M_{y,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
	8	1019	2246	3469	0,65	0,65

Verifica a taglio SLU ($V_{max} = q l / \beta$)

Taglio Max	β	q_{SLU} (kg/m)	V_{Ed} (kg)	$V_{y,Rd}$	$V_{Ed}/V_{y,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
	2	1019	2139	13061	0,16	0,16

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{max}, T = v_2 T_{max}$)

Taglio e Flessione	v_1	M (kg m)	v_2	T (kg)	σ_{td} (MPa)
	1,00	2246	0,00	0	145

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,0130				
L / δ_2	300	$\delta_2 \leq$	1,40	cm	
L / δ_{max}	250	$\delta_{max} \leq$	1,68	cm	
$q_{G1+G2} =$	442,3	$\delta_1 =$	0,82	cm	
$q_{01} =$	240,0	$\delta_2 =$	0,45	cm	
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{tot} =$	1,27	cm	
		controfreccia $\delta_c =$	0,00	cm - controfreccia	
		$\delta_{max} =$	1,27	cm	



Powered by Studio Technica

Figura 1.16. Foglio di calcolo dell'Esempio 1

Allegato di calcolo - Verifica di travi in acciaio secondo DM 14.1.2008

Pagina 1 di 1

Verifica di travi in acciaio

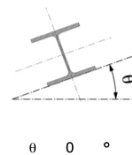
Oggetto: Esempio 2 - Verifica di un architrave in acciaio

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224 \text{ Mpa}$
 $\gamma_{G2} = 1,5$ (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Caratteristiche geometriche

L	210	cm	i	15	cm
n. profilati	1		Tipo	IPE 80	
W_v	20	cm^3	J_v	80	cm^4
W_z	4	cm^3	J_z	8	cm^4
A	8	cm^2	A_v	3,57	cm^2

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)**Analisi dei carichi**

Peso proprio =	6 kg/m	$G_1 =$	6,0 kg/m
Permanente	3114 kg/mq	$G_2 =$	467,1 kg/m
Accidentale	0 kg/mq	$Q_1 =$	0,0 kg/m
Tot =	3114 kg/mq	$Q_{SLER} =$	473,1 kg/m

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

α	$q_{SLU} \text{ (kg/m)}$	$M_{Ed} \text{ (kg m)}$	$M_{v,Rd}$	$M_{Ed}/M_{v,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
Flessione Max 12	708	260	448	0,58	0,58

Verifica a taglio SLU ($V_{max} = q l / \beta$)

β	$q_{SLU} \text{ (kg/m)}$	$V_{Ed} \text{ (kg)}$	$V_{v,Rd}$	$V_{Ed}/V_{v,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
Taglio Max 4	708	372	4618	0,08	0,08

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{max}$, $T = v_2 T_{max}$)

v_1	$M \text{ (kg m)}$	v_2	$T \text{ (kg)}$	$\sigma_{id} \text{ (MPa)}$
Taglio e Flessione 1,00	260	0,00	0	130

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,0130				
L / δ_2	300	$\delta_2 \leq$	0,70	cm	
L / δ_{max}	250	$\delta_{max} \leq$	0,84	cm	
$q_{G1+G2} =$	473,1	$\delta_1 =$	0,71	cm	
$q_{O1} =$	0,0	$\delta_2 =$	0,00	cm	
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{tot} =$	0,71	cm	
		controflessa $\delta_c =$	0,00	cm - controflessa	
		$\delta_{max} =$	0,71	cm	



Powered by Studio Technica

Figura 1.17. Foglio di calcolo dell'Esempio 2

Allegato di calcolo - Verifica di travi in acciaio secondo DM 14.1.2008

Pagina 1 di 1

Verifica di travi in acciaio

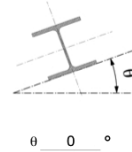
Oggetto: Esempio 3 - Verifica di una trave in acciaio di un terrazzo

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224$ Mpa
 $\gamma_{G2} = 1,5$ (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Caratteristiche geometriche

L	315	cm	i	120	cm
n. profilati	1		Tipo	HEA 100	
W_y	73	cm ³	J_y	349	cm ⁴
W_z	27	cm ³	J_z	134	cm ⁴
A	21	cm ²	A_y	7,52	cm ²

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)**Analisi dei carichi**

Peso proprio =	16,7	kg/m	$G_1 =$	16,7	kg/m
Permanente	345	kg/mq	$G_2 =$	414,0	kg/m
Accidentale	200	kg/mq	$Q_1 =$	240,0	kg/m
Tot =	545	kg/mq	$q_{SLER} =$	670,7	kg/m

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

Flessione Max	α	q_{SLU} (kg/m)	M_{Ed} (kg m)	$M_{v,Rd}$	$M_{Ed}/M_{v,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
	8	1003	1244	1634	0,76	0,76

Verifica a taglio SLU ($V_{max} = q l / \beta$)

Taglio Max	β	q_{SLU} (kg/m)	V_{Ed} (kg)	$V_{v,Rd}$	$V_{Ed}/V_{v,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
	1,6	1003	1974	9717	0,20	0,20

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{max}, T = v_2 T_{max}$)

Taglio e Flessione	v_1	M (kg m)	v_2	T (kg)	σ_{td} (MPa)
	1,00	1244	1,00	1974	176

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,0052				
L / δ_2	300	$\delta_2 \leq 1,05$ cm			
L / δ_{max}	250	$\delta_{max} \leq 1,26$ cm			
$q_{G1+G2} =$	430,7	$\delta_1 =$	0,30	cm	
$q_{01} =$	240,0	$\delta_2 =$	0,17	cm	
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{tot} =$	0,47	cm	
		controfreccia $\delta_c =$	0,00	cm - controfreccia	
		$\delta_{max} =$	0,47	cm	



Powered by Studio Technica

Figura 1.18. Foglio di calcolo dell'Esempio 3

Allegato di calcolo - Verifica di travi in acciaio secondo DM 14.1.2008

Pagina 1 di 1

Verifica di travi in acciaio

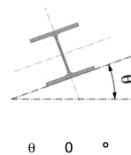
Oggetto: Esempio 4 - Verifica di una trave in acciaio di una copertura

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224 \text{ Mpa}$
 $\gamma_{G2} = 1,5$ (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Caratteristiche geometriche

L	168	cm	i	120	cm
n. profilati	1		Tipo	HEA 100	
$W_v =$	73	cm^3	$J_v =$	349	cm^4
$W_z =$	27	cm^3	$J_z =$	134	cm^4
A	21	cm^2	$A_v =$	7,52	cm^2

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)**Analisi dei carichi**

Peso proprio =	16,7	kg/m	$G_1 =$	16,7	kg/m
Permanente	345	kg/mq	$G_2 =$	414,0	kg/m
Accidentale	50	kg/mq	$Q_1 =$	60,0	kg/m
Tot =	395	kg/mq	$Q_{SLER} =$	490,7	kg/m

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

	α	$q_{SLU} \text{ (kg/m)}$	$M_{Ed} \text{ (kg m)}$	$M_{v,Rd}$	$M_{Ed}/M_{v,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
Flessione Max	2	733	1034	1634	0,63	0,63

Verifica a taglio SLU ($V_{max} = q l / \beta$)

	β	$q_{SLU} \text{ (kg/m)}$	$V_{Ed} \text{ (kg)}$	$V_{v,Rd}$	$V_{Ed}/V_{v,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
Taglio Max	1	733	1231	9717	0,13	0,13

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{max}$, $T = v_2 T_{max}$)

	v_1	$M \text{ (kg m)}$	v_2	$T \text{ (kg)}$	$\sigma_{td} \text{ (MPa)}$
Taglio e Flessione	1,00	1034	1,00	1231	144

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,1250				
L / δ_2	125	$\delta_2 \leq 1,34 \text{ cm}$			
L / δ_{max}	100	$\delta_{max} \leq 1,68 \text{ cm}$			
$q_{G1+G2} =$	430,7	$\delta_1 =$	0,59	cm	
$q_{O1} =$	60,0	$\delta_2 =$	0,08	cm	
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{tot} =$	0,67	cm	
		controflessa $\delta_c =$	0,00	cm - controflessa	
		$\delta_{max} =$	0,67	cm	



Powered by Studio Technica

Figura 1.19. Foglio di calcolo dell'Esempio 4

Allegato di calcolo - Verifica di travi in acciaio secondo DM 14.1.2008

Pagina 1 di 1

Verifica di travi in acciaio

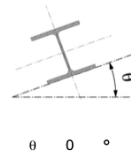
Oggetto: Esempio 5 - Verifica di una trave in acciaio di un balcone

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224$ Mpa
 $\gamma_{G2} = 1,5$ (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Caratteristiche geometriche

L	95	cm	i	120	cm
n. profilati	1		Tipo	HEA 100	
W_y	73	cm ³	J_y	349	cm ⁴
W_z	27	cm ³	J_z	134	cm ⁴
A	21	cm ²	A_y	7,52	cm ²

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)**Analisi dei carichi**

Peso proprio =	16,7	kg/m	G_1 =	16,7	kg/m
Permanente	345	kg/mq	G_2 =	414,0	kg/m
Accidentale	400	kg/mq	Q_1 =	480,0	kg/m
Tot =	745	kg/mq	q_{SLER} =	910,7	kg/m

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

	α	q_{SLU} (kg/m)	M_{Ed} (kg m)	$M_{v,Rd}$	$M_{Ed}/M_{v,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
Flessione Max	1,217	1363	1011	1634	0,62	0,62

Verifica a taglio SLU ($V_{max} = q l / \beta$)

	β	q_{SLU} (kg/m)	V_{Ed} (kg)	$V_{v,Rd}$	$V_{Ed}/V_{v,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
Taglio Max	1	1363	1295	9717	0,13	0,13

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{max}$, $T = v_2 T_{max}$)

	v_1	M (kg m)	v_2	T (kg)	σ_{td} (MPa)
Taglio e Flessione	1,00	1011	1,00	1295	142

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,3550				
L / δ_2	125	$\delta_2 \leq$	0,76	cm	
L / δ_{max}	100	$\delta_{max} \leq$	0,95	cm	
q_{G1+G2}	430,7	δ_1	0,17	cm	
q_{Q1}	480,0	δ_2	0,19	cm	
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{tot}$	0,36	cm	
		controfreccia δ_c	0,00	cm - controfreccia	
		δ_{max}	0,36	cm	



Powered by Studio Technica

Figura 1.20. Foglio di calcolo dell'Esempio 5

Allegato di calcolo - Verifica di travi in acciaio secondo DM 14.1.2008

Pagina 1 di 1

Verifica di travi in acciaio

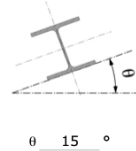
Oggetto: Esempio 6 - Verifica di una trave in acciaio per una copertura inclinata

Caratteristiche dei materiali

Acciaio : S 235 $f_{yd} = 224 \text{ Mpa}$
 $\gamma_{G2} = 1,5$ (1,5 o 1,3 vedi §2.6.1 NTC 2008 D.M. 14.01.2008)

Caratteristiche geometriche

L	525	cm	i	150	cm
n. profilati	1		Tipo	HEA 100	
$W_y =$	73	cm ³	$J_y =$	349	cm ⁴
$W_z =$	27	cm ³	$J_z =$	134	cm ⁴
A	21	cm ²	$A_v =$	7,52	cm ²

(L luce della trave; i larghezza area di influenza; α angolo di rotazione della sezione)**Analisi dei carichi**

Peso proprio =	16,7	kg/m	$G_1 =$	16,7	kg/m
Permanente	25	kg/mq	$G_2 =$	37,5	kg/m
Accidentale	50	kg/mq	$Q_1 =$	75,0	kg/m
Tot =	75	kg/mq	$q_{SLER} =$	129,2	kg/m

Verifica a flessione SLU ($M_{max} = q l^2 / \alpha$)

Flessione Max	α	q_{SLU} (kg/m)	M_{Ed} (kg m)	$M_{v,Rd}$	$M_{Ed}/M_{v,Rd}$	M_{Ed}/M_{Rd}
	8	190	656	1634	0,40	0,67

Verifica a taglio SLU ($V_{max} = q l / \beta$)

Taglio Max	β	q_{SLU} (kg/m)	V_{Ed} (kg)	$V_{v,Rd}$	$V_{Ed}/V_{v,Rd}$	V_{Ed}/V_{Rd}
	2	190	500	9717	0,05	0,06

Verifica taglio e flessione SLU ($M = v_1 M_{max}$ $T = v_2 T_{max}$)

Taglio e Flessione	v_1	M (kg m)	v_2	T (kg)	σ_{td} (MPa)
	1,00	656	0,00	0	150

Verifica deformazione SLE ($\delta = \chi q l^4 / EJ$)

χ	0,0130				
L / δ_2	250	$\delta_2 \leq 2,10$ cm			
L / δ_{max}	200	$\delta_{max} \leq 2,63$ cm			
$q_{G1+G2} =$	54,2	$\delta_1 =$	0,86	cm	
$q_{Q1} =$	75,0	$\delta_2 =$	1,19	cm	
		$\delta_1 + \delta_2 = \delta_{tot} =$	2,05	cm	
		controfreccia δ_c	0,00	cm - controfreccia	
		$\delta_{max} =$	2,05	cm	



Powered by Studio Technica

Figura 1.21. Foglio di calcolo dell'Esempio 6