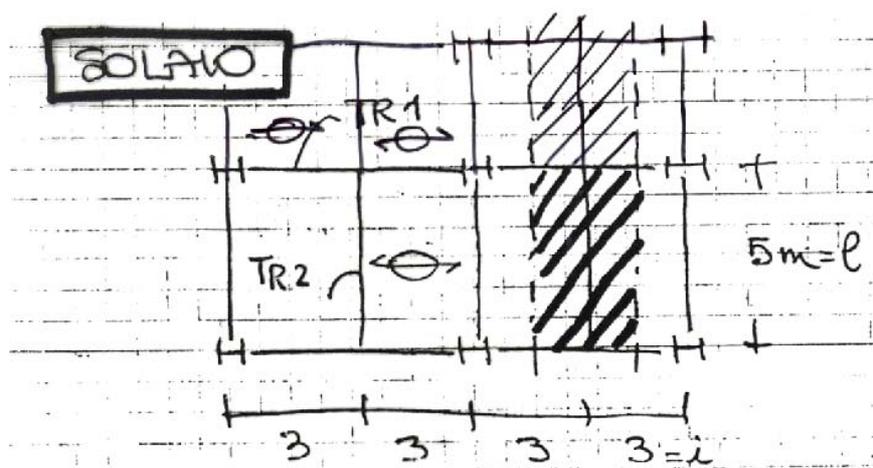


## Progetto di elementi strutturali per solaio:

### trave secondaria, trave principale, giunto trave secondaria-principale, giunto trave-trave

La seguente esercitazione ha come scopo la progettazione di una trave principale e di una trave secondaria ad essa collegata che sorreggono un solaio (in lamiera grecata+soletta in cls) in un edificio di civile abitazione. Lo schema della disposizione delle travi è indicato nel seguente grafico.



Nell'ambito di tale esercitazione non verrà analizzata la struttura mista lamiera grecata-soletta in cls ma solamente gli elementi trave.

Si utilizzerà come materiale acciaio del tipo Fe 360 con  $f_d = 235 \text{ N/mm}^2$ .

Seguendo lo schema progettuale si percorrono i seguenti passi:

#### **Trave secondaria**

- **Analisi dei carichi**

Si individuano i carichi permanenti come proposto dalla Normativa (Circolare Ministeriale 4/7/1996)

Pesi pavimentazione	0.4 kN/m <sup>2</sup>
Peso sottofondo	0.4 kN/m <sup>2</sup>
Lamiera grecata e rete elettrosaldata	0.3 kN/m <sup>2</sup>
Cls leggero	0.8 kN/m <sup>2</sup>
Soffitto ignifugo	0.3 kN/m <sup>2</sup>
Impianti	0.2 kN/m <sup>2</sup>
Pareti interne (tramezze)	0.6 kN/m <sup>2</sup>
<b>TOTALE PESI</b>	<b>G<sub>k</sub> = 3.0 kN/m<sup>2</sup></b>

Ad essi va ad aggiungersi un peso forfettario della trave secondaria di  $0.4 \text{ kN/m} = Q_{pp \text{ trave } 2}$  e secondo quanto previsto nella Circolare 4/7/1996 un sovraccarico  $q_k$

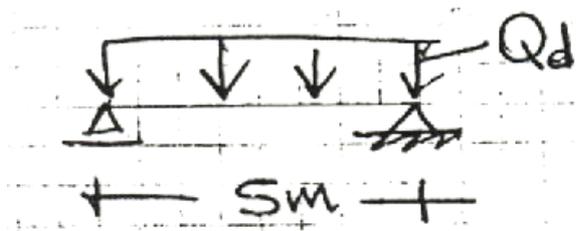
Prospetto 5.1.

*Sovraccarichi variabili per edifici*

Cat.	TIPO DI LOCALE	Verticali ripartiti $\text{kN/m}^2$	Verticali concentrati $\text{kN}$	Orizzontali lineari $\text{kN/m}$
1	Ambienti non suscettibili di affollamento (locali abitazione e relativi servizi, alberghi, uffici non aperti al pubblico) e relativi terrazzi a livello praticabili	2,00	2,00	1,00

• **Schema statico e caratteristiche di sollecitazione**

Secondo l'orditura individuata nel grafico indicato in precedenza, per la trave secondaria si ipotizza uno schema del tipo trave semplicemente appoggiata alle travi principali.



Data la semplicità dello schema il carico agente sarà dato dalla seguente combinazione dei carichi agli SLU che tiene conto di un'area di carico pari all'area di influenza delle travi secondarie data dall'interasse  $i$  tra le stesse e dalla loro lunghezza  $l$ :

$$Q_d = 1,4 \cdot (g_k \cdot i + Q_{pp\text{trave}2}) + 1,5 \cdot q_k \cdot i = 1,4 \cdot (3000 \cdot 3 + 400) + 1,5 \cdot 2000 \cdot 3 \cong 22160 \frac{N}{m}$$

Essendo:

$i = 3\text{m}$  l'interasse tra le travi secondarie

Da questo si ricavano immediatamente le seguenti sollecitazioni:

$$T_{\max} = \frac{Q_d \cdot l}{2} = \frac{22160 \cdot 5}{2} = 55400 N$$

$$M_{\max} = \frac{Q_d \cdot l^2}{8} = \frac{22160 \cdot 5^2}{8} = 69250 Nm = 69250000 Nmm$$

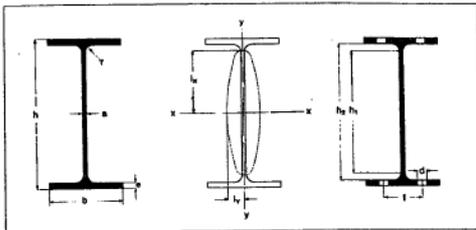
Essendo:

$l = 5\text{m}$  la lunghezza della trave secondaria

Si opera in conseguenza un predimensionamento dell'elemento resistente: solitamente nelle per gli elementi prevalentemente inflessi si utilizzano profili IPE che sfruttano bene l'inerzia della sezione per contrastare le tensioni dovute al momento flettente.

In questo caso utilizzando la formula inversa  $W_x = \frac{M_x}{f_d} = \frac{69250000}{235} \cong 295000mm^3 = 295cm^3$  si

trova il minimo modulo di resistenza necessario e si entra nel profilarlo e si sceglie la IPE 240



TRAVI IPE  
UNI 5398-64

A = sezione del profilo (A\*, A\*\* = sezione depurata dei fori)  
 p = peso di un metro di barra  
 U = superficie del contorno per un metro di barra  
 J = momento d'inerzia  
 W = modulo di resistenza (W', W'' per sezione depurata dei fori)  
 I =  $\sqrt{J/A}$  = raggio d'inerzia  
 S<sub>x</sub> = momento statico di mezza sezione  
 e<sub>x</sub> =  $\frac{J_x}{S_x}$  = distanza tra i centri di trazione e di compressione

desi- gnazione profilo	dimensioni							A cm <sup>2</sup>	p kg/m	U m <sup>2</sup> /m
	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	h <sub>1</sub> mm	h <sub>2</sub> mm			
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	59,6	69,6	7,84	6,00	0,328
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	74,6	88,6	10,3	8,10	0,400
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93,4	107,4	13,2	10,4	0,475
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112,2	126,2	16,4	12,9	0,551
IPE 160	160	82	5	7,4	9	127,2	145,2	20,1	15,8	0,623
IPE 180	180	91	5,3	8	9	146	164	23,9	18,8	0,698
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	183	28,5	22,4	0,768
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	177,6	201,6	33,4	26,2	0,848
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190,4	220,4	39,1	30,7	0,922
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	219,6	249,6	45,9	36,1	1,04

valori statici relativi agli assi xx-yy										(*) foratura sullo c/c						desi- gnazione profilo
J <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	e <sub>x</sub> cm	d mm	f mm	su 1 ala		su 2 ali				
										A'	W' <sub>x</sub>	A''	W'' <sub>x</sub>			
80,1	20,0	3,34	8,49	3,69	1,05	11,6	6,90							IPE 80		
171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	19,7	8,48							IPE 100		
318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	30,4	10,5							IPE 120		
341	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	44,2	12,3	11	40	14,9	60,8	13,4	58,0	IPE 140		
369	101	6,58	66,3	16,7	1,84	61,9	14,0	11	45	18,5	88,3	16,8	84,9	IPE 160		
1317	146	7,42	101	22,2	2,05	83,2	15,8	13	50	21,8	117	19,7	112	IPE 180		
1943	194	8,26	142	28,5	2,24	110	17,6	13	56	26,3	159	24,1	154	IPE 200		
2772	252	9,11	205	37,3	2,48	143	19,4	15	60	30,6	204	27,9	196	IPE 220		
3892	324	9,97	284	47,3	2,69	183	21,2	15	67	36,2	268	33,2	259	IPE 240		
5790	429	11,2	420	62,2	3,02	242	23,9	19	75	42,0	345	38,1	332	IPE 270		

• Verifiche S.L.U.

La trave è sollecitata a flessione e a taglio che sono massimi rispettivamente in mezzzeria e all'appoggio.

Si devono verificare pertanto in ambedue le sezioni e inoltre in sezioni intermedie dove sono presenti sia l'una che l'altra sollecitazione. In questa esercitazione, a favore di sicurezza si combinano (tramite la formulazione di Von Mises) i valori massimi di tensione normale e tangenziale, sebbene agenti in sezioni differenti della trave.

Flessione

La trave è sollecitata in mezzzeria da un momento flettente pari a 62950000 Nmm. La verifica seguendo quanto previsto dalla C.N.R.10011 è data da:

6.5.1. Flessione semplice

Quando il momento flettente agisce in un piano principale d'inerzia della sezione lo sforzo normale  $\sigma_M$  può essere valutato mediante la formula:

$$\sigma_M = \frac{M}{\psi W}$$

- dove: M è il valore del momento flettente;  
 W è il modulo resistente elastico della sezione netta (vedere 5.3.5);  
 $\psi \geq 1$  è un coefficiente di parziale adattamento plastico (vedere 6.5.3).

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} = -\frac{62950000}{324000} \cong 214 \frac{N}{mm^2} \leq f_d = 235 \frac{N}{mm^2} \quad \text{verificato}$$

### Taglio

Secondo quanto previsto dalla Norma deve essere:

#### 6.4. Taglio e torsione

Gli sforzi tangenziali  $\tau$  sono generati nella sezione dalle componenti di sollecitazione taglianti o torcenti. In ogni caso deve risultare:

$$\tau \leq f_d / \sqrt{3} \quad \text{stati limite}$$

$$\tau \leq \frac{\sigma_{adm}}{\sqrt{3}} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

Nell'analisi delle sollecitazioni tangenziali si dovrebbe ricorrere all'analisi proposta da Jourawsky; nella pratica progettuale in realtà si fa assorbire la sollecitazione di taglio alla sola anima della sezione IPE, restando comunque a favore di sicurezza:

$$\tau = \frac{T}{h \cdot a} = \frac{55400}{220,4 \cdot 6,2} \cong 40 \frac{N}{mm^2} \leq \frac{f_d}{\sqrt{3}} \cong 138 \frac{N}{mm^2} \quad \text{verificato}$$

### Flessione e taglio

La verifica seguendo quanto previsto dalla C.N.R.10011 è data da:

#### 6.7. Stati pluriassiali

Per gli stati di sforzo piani, i soli per i quali si possono dare valide indicazioni, si deve verificare che risulti:

$$\sigma_{id} \leq f_d \quad \text{stati limite}$$

$$\sigma_{id} \leq \sigma_{adm} \quad \text{tensioni ammissibili}$$

essendo nel riferimento generico:

$$\sigma_{id} = \pm \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$$

e nel riferimento principale:

$$\sigma_{id} = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

In particolare per  $\sigma_y = 0$  (per esempio nella sollecitazione di flessione accompagnata da taglio):

$$\sigma_{id} = \pm \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \tau_{xy}^2}$$

Utilizzando la formulazione di Von Mises:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{214^2 + 3 \cdot 40^2} = 224 \frac{N}{mm^2} \leq f_d = 235 \frac{N}{mm^2} \quad \text{verificato}$$

**N.B.:** nella verifica non si è tenuto conto dell'eventuale presenza di fori dovuti alla bullonatura con la trave principale. Tale analisi sarà condotta nel seguito in sede di progettazione del giunto.

- **Verifiche S.L.E.**

Nella progettazione di un elemento di questo tipo è obbligatorio condurre un'analisi anche agli stati limite di esercizio per verificare che la deformabilità dell'elemento non danneggi gli elementi portati o possa essere problematica per vivibilità della struttura.

Seguendo quanto proposto in Normativa:

**3.2.3.2. Stati limite di esercizio**

Si dovrà verificare che siano rispettate le limitazioni di cui al punto 4.2, per le combinazioni di cui al punto 3.2.1, assumendo  $\gamma_g = \gamma_q = 1$ , applicando ai valori caratteristici delle azioni variabili adeguati coefficienti riduttivi e assumendo  $\gamma_m = 1$ .

Si va a verificare che la freccia massima in mezzeria non superi il valore  $l/400$  come indicato:

**4.2. Limiti di deformabilità**

**4.2.1. Limiti agli spostamenti**

- 4.2.1.1. Le frecce degli elementi delle strutture edilizie devono essere contenute quanto è necessario perché non ne derivino danni alle opere complementari in genere ed in particolare alle murature di tamponamento ed ai relativi intonaci. Indicativamente devono almeno essere rispettati i limiti seguenti.
  - Per le travi dei solai la freccia dovuta al solo sovraccarico non deve superare  $1/400$  della luce.
  - Per le travi caricate direttamente o indirettamente da muri o da pilastri, la freccia totale, dovuta al carico permanente ed al sovraccarico, non deve superare  $1/500$  della luce. Tale limitazione vale anche per travi caricate da tramezzi qualora non si adottino provvedimenti cautelativi per limitare il pericolo di danneggiamento e fessurazione dei tramezzi stessi. Per gli sbalzi si possono assumere le limitazioni di cui sopra con riferimento a una luce pari a due volte la lunghezza dello sbalzo.
  - Per gli arcarecci e gli elementi inflessi dell'orditura minuta delle coperture, la freccia totale, dovuta al carico permanente ed al sovraccarico, non deve superare  $1/200$  della luce.

Utilizzando la teoria della linea elastica si ottiene che:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{dSLE} \cdot l^4}{E \cdot J} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6 \cdot 5000^4}{210000 \cdot 38420000} \cong 6mm \leq \frac{l}{400} \cong 12,5mm \quad \text{verificato}$$

Dove:

$Q_{dSLE} = \gamma_q \cdot q_k \cdot i = 1.0 \cdot 2000 \cdot 3 = 6000N/m$  è il sovraccarico calcolato con i coefficienti agli S.L.E.

In generale comunque è opportuno inserire delle controfrecce ai carichi permanenti (ove possibile) per limitare ulteriormente le deformazioni.

$$f' = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q'_{dSLE} \cdot l^4}{E \cdot J} = \frac{5}{384} \cdot \frac{9.4 \cdot 5000^4}{210000 \cdot 38420000} \cong 8.4mm$$

Dove:

$Q'_{dSLE} = \gamma_g \cdot (g_k \cdot i + Q_{pp \text{ trave } 2}) = 1.0 \cdot (3000 \cdot 3 + 400) = 9400N/m$  è il carico permanente calcolato con i coefficienti agli S.L.E.

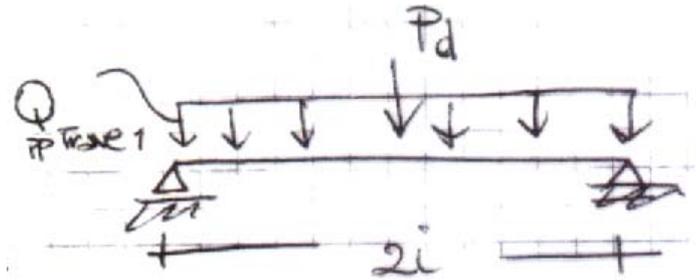
## Trave principale

- Analisi dei carichi**

I carichi che gravano sulla trave principale di luce  $2i$  sono: il peso proprio della stessa, individuato in  $0.70 \text{ kN/m} = Q_{pp \text{ trave } 1}$ , ed il carico concentrato in mezzeria dovuto alle due travi secondarie che si appoggiano ad essa.

- Schema statico e caratteristiche di sollecitazione**

Secondo l'orditura individuata nel grafico indicato in precedenza si ipotizza anche in questo caso uno schema del tipo trave incernierata alle colonne.



Il carico concentrato dato dalle due travi secondarie sarà pari a:

$$P_d = \frac{l}{2} \cdot Q_d + \frac{l}{2} \cdot Q_d = \frac{5}{2} \cdot 22160 + \frac{5}{2} \cdot 22160 \cong 110000 \text{ N}$$

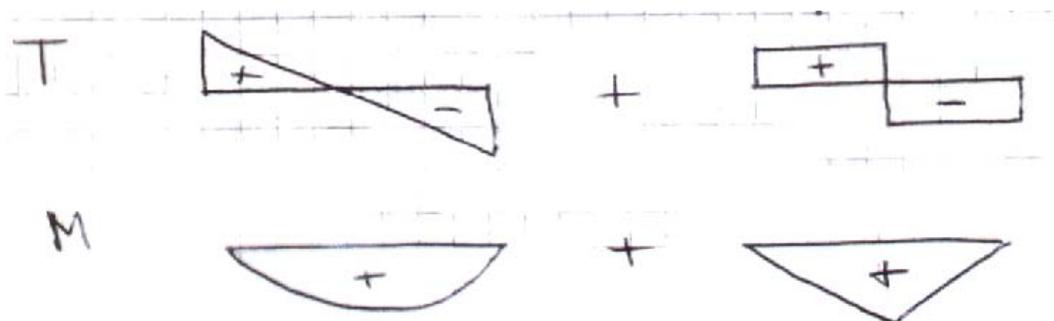
Essendo:

$Q_d = 22160 \text{ N/m}$  il carico lineare di progetto gravante sulla trave secondaria

Il carico di progetto per il peso proprio della trave principale sarà:

$$1.4 Q_{pp \text{ trave } 1} = 1,4 \cdot 700 \cong 980 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Da questo si ricavano immediatamente le seguenti sollecitazioni secondo lo schema:



I valori massimi sono:

$$T_{\max} = \frac{1.4Q_{pp\text{trave}} \cdot (2 \cdot i)}{2} + \frac{P_d}{2} = \frac{980 \cdot (2 \cdot 3)}{2} + \frac{110000}{2} = 58340 \text{ N (appoggi)}$$

$$M_{\max} = \frac{1.4Q_{pp\text{trave}} \cdot (2 \cdot i)^2}{8} + \frac{P_d \cdot (2 \cdot i)}{4} = \frac{980 \cdot (2 \cdot 3)^2}{8} + \frac{110000 \cdot (2 \cdot 3)}{4} = 170600 \text{ Nm} = 170600000 \text{ Nmm (mezzeria)}$$

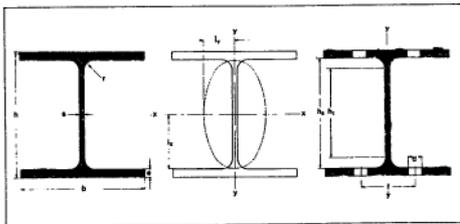
Essendo:

$2i = 6 \text{ m}$  la lunghezza della trave principale

Si opera in analogia a quanto fatto con la trave secondaria un predimensionamento dell'elemento: si utilizza un profilo HEA.

In questo caso utilizzando la formula inversa  $W_x = \frac{M_x}{f_d} = \frac{170600000}{235} \cong 726000 \text{ mm}^3 = 726 \text{ cm}^3$

si trova il minimo modulo di resistenza necessario. Dati i valori in profilario, si sceglie la HEA 260.



TRAVI HE ad all larghe parallele UNI 5397-64

A = sezione del profilo (A\* = sezione depurata dei fori)  
 p = peso di un metro di barra  
 U = superficie del contorno per un metro di barra  
 J = momento d'inerzia  
 W = modulo di resistenza (W\*, W\* per sezione depurata dei fori)  
 $I = \sqrt{J/A}$  = raggio d'inerzia  
 S<sub>x</sub> = momento statico di mezza sezione  
 $s_x = \frac{J_x}{S_x}$  = distanza tra i centri di trazione e di compressione

designazione profilo (*)	dimensioni							A cm <sup>2</sup>	p kg/m	U m <sup>2</sup> /m
	h mm	b mm	a mm	e mm	r mm	h <sub>1</sub> mm	h <sub>2</sub> mm			
HE 100 A	96	100	5	8	12	56	80	21,2	16,7	0,561
HE 100 B	100	100	6	10	12	56	80	26,0	20,4	0,567
HE 100 M	120	106	12	20	12	56	80	53,2	41,8	0,619
HE 120 A	114	120	5	8	12	74	98	25,3	19,9	0,677
HE 120 B	120	120	6,5	11	12	74	98	34,0	26,7	0,686
HE 120 M	140	126	12,5	21	12	74	98	66,4	52,1	0,738
HE 140 A	133	140	5,5	8,5	12	92	116	31,4	24,7	0,794
HE 140 B	140	140	7	12	12	92	116	43,0	33,7	0,805
HE 140 M	160	146	13	22	12	92	116	80,6	63,2	0,857
HE 160 A	152	160	6	9	15	104	134	38,8	30,4	0,906
HE 160 B	160	160	8	13	15	104	134	54,3	42,6	0,918
HE 160 M	180	166	14	23	15	104	134	97,1	76,2	0,970
HE 180 A	171	180	6	9,5	15	122	152	45,3	35,5	1,02
HE 180 B	180	180	8,5	14	15	122	152	65,3	51,2	1,04
HE 180 M	200	186	14,5	24	15	122	152	113	88,9	1,09
HE 200 A	190	200	6,5	10	18	134	170	53,8	42,3	1,14
HE 200 B	200	200	9	15	18	134	170	78,1	61,3	1,15
HE 200 M	220	206	15	25	18	134	170	131	103	1,20
HE 220 A	210	220	7	11	18	152	188	64,3	50,5	1,25
HE 220 B	220	220	9,5	16	18	152	188	91,0	71,5	1,27
HE 220 M	240	226	15,5	26	18	152	188	149	117	1,32
HE 240 A	230	240	7,5	12	21	164	206	76,8	60,3	1,37
HE 240 B	240	240	10	17	21	164	206	106	83,2	1,38
HE 240 M	270	248	18	32	21	164	206	200	157	1,46
HE 260 A	250	260	7,5	12,5	24	177	225	86,8	68,2	1,48
HE 260 B	260	260	10	17,5	24	177	225	118	93,0	1,50
HE 260 M	280	266	16,5	27	24	177	225	178	139	1,55

valori statici relativi agli assi xx-yy											(*) foratura sulle ali				designazione profilo (*)
J <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x</sub> cm	J <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> cm	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	s <sub>x</sub> cm	d mm	f mm	su 1 ala	su 2 ali	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>		
349	73	4,06	134	27	2,51	41,5	8,41	13	35	19,1	37,6	17,0	72,7		
450	90	4,16	167	33	2,53	52,1	8,64	13	35	23,4	71,1	20,8	68,8		
1143	190	4,63	399	75	2,74	118	9,69	13	65	48,0	152	42,8	147		
606	106	4,89	231	38	3,02	59,7	10,2	17	65	22,6	82,1	19,9	79,3		
864	144	5,04	318	53	3,06	82,6	10,5	17	65	30,3	111	26,5	107		
2018	288	5,51	703	112	3,25	175	11,5	17	70	66,3	228	52,1	215		
1053	155	5,73	389	56	3,52	86,7	11,9	21	75	27,8	118	24,2	114		
1309	216	5,93	550	79	3,58	123	12,3	21	75	37,9	162	32,9	156		
3291	411	6,39	1144	157	3,77	247	13,3	21	80	71,4	314	61,1	300		
1673	220	6,57	616	77	3,98	123	13,6	23	85	34,7	170	30,5	164		
2492	311	6,78	889	111	4,05	177	14,1	23	85	48,3	239	42,3	230		
5098	566	7,25	1759	212	4,26	337	15,1	23	90	86,5	438	75,9	420		
2510	294	7,45	925	103	4,32	162	15,5	28	95	40,0	220	34,7	212		
3631	426	7,66	1363	151	4,37	241	15,9	28	95	57,5	317	49,6	305		
7483	748	8,13	2580	277	4,77	442	16,9	28	100	99,9	563	86,4	539		
3692	389	8,28	1336	134	4,98	215	17,2	31	105	47,6	293	41,4	283		
5696	570	8,54	2003	200	5,07	321	17,7	31	105	68,8	426	59,5	410		
10642	967	9,00	3651	354	5,27	567	18,7	31	115	116	728	100	698		
5410	515	9,17	1955	178	5,51	284	19,0	31	110	57,5	398	50,7	386		
8091	736	9,43	2843	258	5,59	414	19,4	31	110	81,1	566	71,1	547		
14605	1220	9,89	5012	444	5,79	710	20,6	31	115	133	942	117	908		
7763	675	10,1	2769	231	6,00	372	20,9	31	115	69,4	535	61,9	521		
11259	938	10,3	3923	327	6,08	527	21,4	31	115	95,5	741	84,9	719		
24289	1800	11,0	8153	637	6,39	1058	22,9	31	125	180	1428	160	1380		
10455	836	11,0	3668	282	6,50	460	22,7	31	120	79,0	677	71,3	641		

• **Verifiche S.L.U.**

La trave è sollecitata a flessione e a taglio. I valori massimi delle tensioni normali e tangenziali sono rispettivamente nella sezione in mezzeria e sugli appoggi.

In ambedue le sezioni ed inoltre in sezioni intermedie, dove siano presenti sia tensione normale che tangenziale, si deve verificare che lo stato tensionale sia compatibile con i

**valori di resistenza di progetto. In questa esercitazione, a favore di sicurezza si combinano i valori massimi di tensione normale e tangenziale, sebbene agenti in sezioni differenti della trave.**

Si procede pertanto ad una verifica dello stato pluriassiale di tensione come monoassiale equivalente (**tramite la formulazione di Von Mises**).

### Flessione e taglio

La verifica seguendo quanto previsto dalla C.N.R.10011.

Assumendo anche in questo caso che la tensione tangenziale sia assorbita dalla sola anima della trave si ha:

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M}{W}\right)^2 + 3\left(\frac{T}{h \cdot a}\right)^2} \cong \sqrt{\left(\frac{170600000}{836000}\right)^2 + 3\left(\frac{58340}{225 \cdot 7,5}\right)^2} \cong 213 \frac{N}{mm^2} \leq f_d = 235 \frac{N}{mm^2}$$

**verificato**

**N.B.:** nella verifica non si è tenuto conto dell'eventuale presenza di fori dovuti alla bullonatura con la trave principale. Tale analisi sarà condotta nel seguito in sede di progettazione del giunto.

### • **Verifiche S.L.E.**

Analogamente a quanto fatto per la trave secondaria si conduce un'analisi agli stati limite di esercizio.

Si verifica che la freccia massima (in mezzzeria) legata a carichi accidentali non superi il valore  $l/400$  come indicato al punto 4.2 del CNR 10011.

Si calcola il contributo dei carichi accidentali, ottenendo la freccia massima utilizzando la teoria della linea elastica:

$$f = \frac{1}{48} \cdot \frac{P'_d \cdot (2 \cdot i)^3}{E \cdot J} = \frac{1}{48} \cdot \frac{30000 \cdot 6000^3}{210000 \cdot 104550000} \cong 6.2 \text{mm} \leq \frac{2i}{400} = 15 \text{mm} \quad \text{verificato}$$

Dove:

$P'_d = \gamma_q (q_k i) l = 1.0 \cdot 6000 \cdot 5 = 30000 \text{N}$  è il contributo di carico concentrato dovuto ai carichi accidentali delle travi secondarie che si appoggiano sulla principale, calcolato con i coefficienti agli S.L.E.

In generale comunque è opportuno inserire delle controfrecce ai carichi permanenti (ove possibile) per limitare le deformazioni.

La freccia legata ai carichi permanenti risulta:

$$f' = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q''_{dSLE} \cdot (2 \cdot i)^4}{E \cdot J} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P''_d \cdot (2 \cdot i)^3}{E \cdot J} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,7 \cdot 6000^4}{210000 \cdot 104550000} +$$

$$+ \frac{1}{48} \cdot \frac{47000 \cdot 6000^3}{210000 \cdot 104550000} \cong 10,2 \text{ mm}$$

Dove:

$Q''_{dSLE} = \gamma_g (Q_{pp \text{ trave } 1}) = 1,0 \cdot (700) = 700 \text{ N/m}$  è il carico di progetto per il peso proprio della trave principale calcolato con i coefficienti agli S.L.E.

$P''_d = \gamma_g (g_k \cdot i + Q_{pp \text{ trave } 2}) \cdot l = 1,0 \cdot (3000 \cdot 3 + 400) \cdot 5 = 47000 \text{ N}$  è il contributo di carico concentrato dovuto ai carichi permanenti delle travi secondarie che si appoggiano sulla principale, calcolato con i coefficienti agli S.L.E.

Si osserva che è possibile assegnare alla trave principale una controfreccia (10mm) per i carichi permanenti.