

Corso di aggiornamento

**Progetto di edifici antisismici
con struttura a telaio in acciaio**

3 - Criteri di dimensionamento, analisi preliminari

Villa Redenta, Spoleto

23-24 marzo 2017

Aurelio Ghersi

Problematiche specifiche

Le strutture intelaiate in acciaio sono molto deformabili. Di conseguenza:

- La verifica per lo SLD può condizionare fortemente il dimensionamento strutturale

- Limiti per gli spostamenti allo SLD

$d_r \leq 0.005 h$ Per tamponature fragili collegate rigidamente alla struttura

$d_r \leq 0.0075 h$ Per tamponature duttili collegate rigidamente alla struttura

$d_r \leq d_{rp} \leq 0.010 h$ Per tamponature progettate in modo da non subire danni per spostamento d_{rp}

Problematiche specifiche

Le strutture intelaiate in acciaio sono molto deformabili. Di conseguenza:

- La verifica per lo SLD può condizionare fortemente il dimensionamento strutturale
- Gli effetti del secondo ordine possono influire in modo rilevante sulle sollecitazioni per SLV
 - Il rapporto θ tra carico verticale agente P e carico critico globale può essere stimato dagli spostamenti relativi d_r prodotti da forze orizzontali (taglio) V , come $\theta = \frac{P d_r}{V h}$
 - $\theta \leq 0.1 \rightarrow$ effetti del secondo ordine trascurabili
 - $0.1 \leq \theta \leq 0.2 \rightarrow$ amplificare risultati di $\frac{1}{1 - \theta}$
 - $\theta \geq 0.3 \rightarrow$ ridimensionare struttura

Problematiche specifiche

Le strutture intelaiate in acciaio sono molto deformabili. Di conseguenza:

- La verifica per lo SLD può condizionare fortemente il dimensionamento strutturale
- Gli effetti del secondo ordine possono influire in modo rilevante sulle sollecitazioni per SLV
- Il periodo proprio, e quindi gli spostamenti per SLD e soprattutto le sollecitazioni per SLV, sono fortemente dipendenti dal dimensionamento strutturale

Un primo dimensionamento

- Le indicazioni da rispettare sono molte ed occorre almeno un calcolo di massima per verificarle

Indicazioni minime, che possono servire a un dimensionamento iniziale:

- Le travi devono essere in grado di portare i carichi verticali in assenza di sisma:
 - Verifica SLU per q_{\max}
 - Verifica SLE deformazioni
- Le colonne devono essere in grado di portare un momento flettente maggiore delle travi nonché lo sforzo normale

Dimensionamento

carichi unitari, stima

		$\gamma g1$	1.3	$\gamma g2, \gamma q$	1.5			
						Totale		
Categ.		g1k	g2k	qk	$\psi2$	in assenza di sisma	in presenza di sisma	
A	solaio piano tipo	3.55		3.0	0.3	9.12	4.45	kN/m2
	solaio tipo, incid. tramezzi		0.6			0.90	0.60	kN/m2
C2	scala	4.0		4.0	0.6	11.20	6.40	kN/m2
	tamponature	6.0				7.80	6.00	kN/m
	p.p. trave	0.6				0.74	0.57	kN/m
	verde	valori di normativa						
	blu	valori stimati						

Dimensionamento - travi secondarie

carico e momento flettente

Carichi verticali											
Momenti flettenti nelle travi secondarie per effetto dei carichi verticali											
stima q											
	interasse	g1k	g2k+qk		Acciaio adottato		S235				
solaio	1.50	5.3	5.4		fy	235	MPa				
p.p. trave		0.6			E	210000	MPa				
Totale		5.9	5.4								
gd+qd	15.76	kN/m			Valori per SLU, in assenza di sisma						
stima M					limiti freccia						
q	15.76	kN/m			per g+q	L/ 250	24.0	mm			
l trave	6.00				per q	L/ 350	17.1	mm			
q l2 / 8	70.9	kNm									

Dimensionamento - travi secondarie

scelta della sezione

stima M					limiti freccia						
q	15.76	kN/m			per g+q	L/ 250	24.0	mm			
l trave	6.00				per q	L/ 350	17.1	mm			
q l2 / 8	70.9	kNm									
				Controllo freccia				Controllo momento			
				appoggiata							
		$I_x [\text{cm}^4]$	fr. g+q	freccia q			$W_{pl,x} [\text{cm}^3]$	$M_{pl} = W_{pl} f_y / \gamma_{mo} [\text{kNm}]$			
IPE 220		2772	32.74	15.65			285.4		63.9		
IPE 240		3892	23.32	11.15			366.6		82.0		
IPE 270		5790	15.68	7.49			484		108.3		

Si è scelta una sezione IPE 240 di acciaio S235

Dimensionamento - travi principali

carico e momento flettente

Carichi verticali										
Stima dei momenti flettenti nelle travi per effetto dei carichi verticali										
stima q										
	sviluppo	g1k	g2k+qk		Acciaio adottato		S275			
solaio	6.00	21.3	21.6		fy	275	MPa			
p.p. trave		0.6			E	210000	MPa			
Totale		21.9	21.6							
gd+qd	60.83	kN/m		Valori per SLU, in assenza di sisma						
stima M					limiti freccia					
q	60.83	kN/m			per g+q	L/ 250	24.0	mm		
l trave	6.00				per q	L/ 350	17.1	mm		
q l2 / 10	219.0	kNm								

Dimensionamento - travi principali

scelta della sezione

stima M					limiti freccia						
q	60.83	kN/m			per g+q	L/ 250	24.0	mm			
l trave	6.00				per q	L/ 350	17.1	mm			
q l ² / 10	219.0	kNm									
				Controllo freccia					Controllo momento		
			appoggiata		incastata						
		I_x [cm ⁴]	fr. g+q	freccia q	fr. g+q	freccia q		$W_{pl,x}$ [cm ³]	$M_{pl} = W_{pl} f_y / \gamma_{mo}$ [kNm]		
IPE 300		8356	41.80	20.77	8.36	4.15		628.4		164.6	
IPE 330		11770	29.68	14.75	5.94	2.95		804.3		210.7	
IPE 360		16270	21.47	10.67	4.29	2.13		1019		266.9	

Occorre come minimo una sezione IPE 360
di acciaio S275 (o eventualmente S235)

Nota: per garantire la gerarchia delle resistenze trave-colonna è opportuno utilizzare per le travi un acciaio meno resistente di quello delle colonne

Dimensionamento - travi principali

scelta della sezione

In condizioni sismiche:

- La trave porta carichi verticali ridotti
- Si prevede un momento massimo da carichi verticali non superiore a 120 kNm

q in condizioni sismiche		
g1k	g2k+qk	
21.3	9.0	
0.6		
21.9	9.0	
gk + ψ_2 qk	30.9	kN/m
M in condizioni sismiche		
q	30.87	kN/m
l trave	6.00	
q l ² / 10	111.1	kNm

- La trave ha quindi un buon margine per portare azione sismica

$$M_{Rd} - M_{Ed,q} = 150 \text{ kNm circa}$$

Regole di progetto specifiche per strutture intelaiate in acciaio

Verifica di resistenza delle travi

- La resistenza non deve essere ridotta dalla presenza di taglio

$$V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,Rd}$$

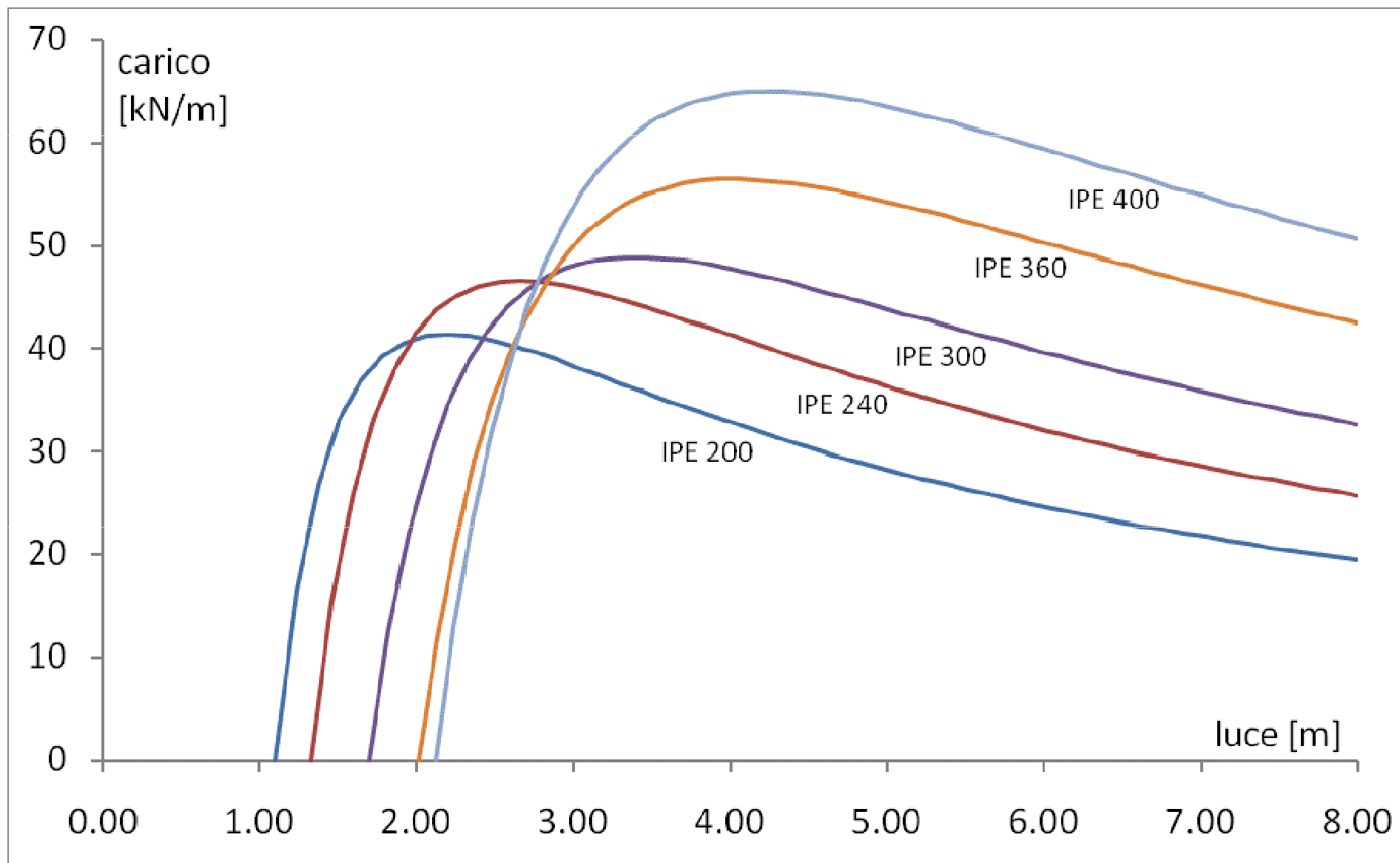
$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} = \frac{q l}{2} + \frac{2 M_{pl,Rd}}{l}$$

- Questa condizione potrebbe condizionare la scelta della sezione, in funzione del carico

$$q \leq \frac{V_{pl,Rd}}{l} - \frac{4 M_{pl,Rd}}{l^2}$$

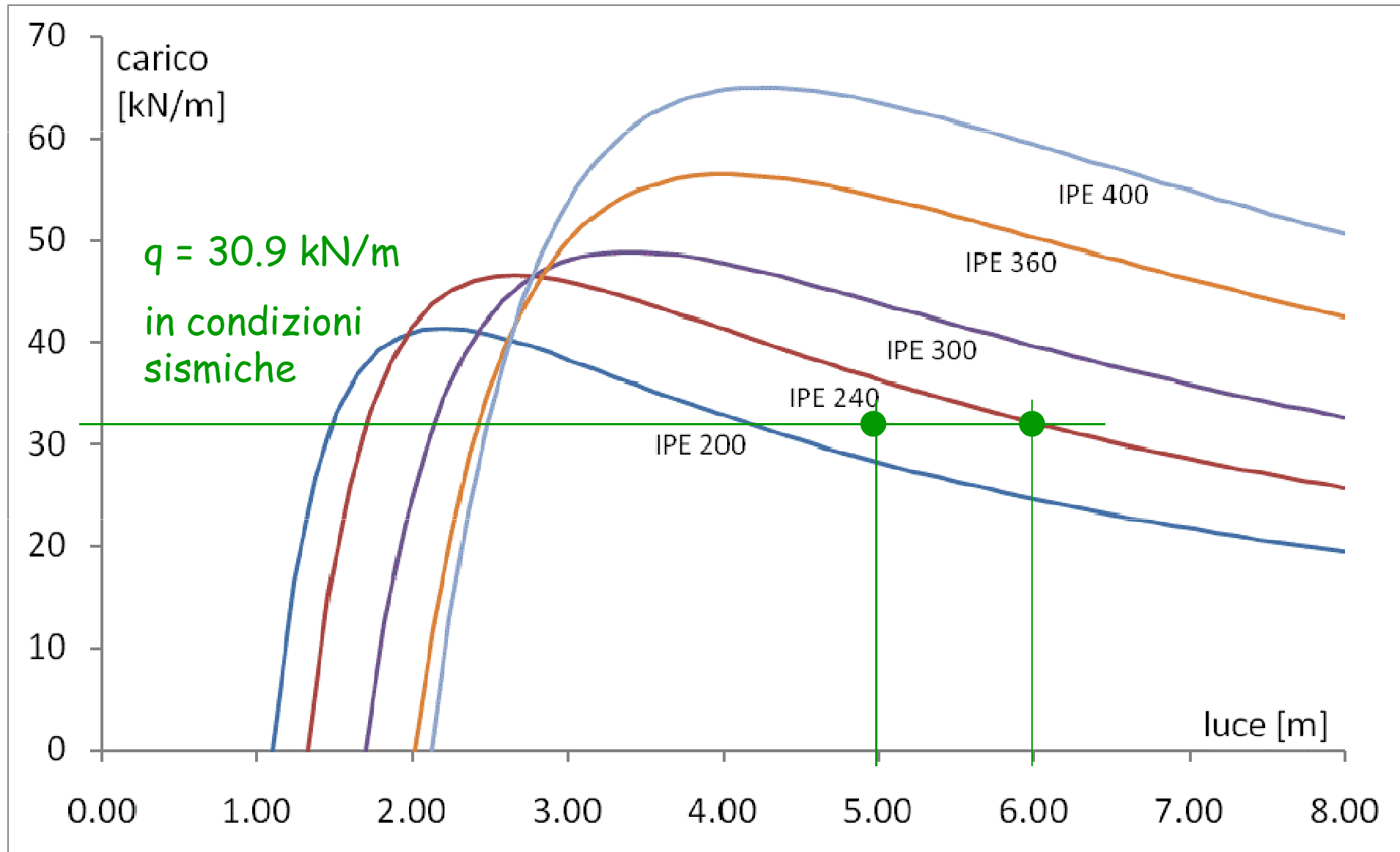
Travi principali

carico massimo in funzione della luce



Travi principali

carico massimo in funzione della luce



Dimensionamento

limiti minimi per la sezione della colonna

- Deve poter portare lo sforzo normale massimo, in assenza di sisma
- Deve avere una resistenza maggiore di quella delle travi
- In presenza di sisma è bene che lo sforzo normale sia piccolo rispetto a N_{Rd} ($0.3 \div 0.5$)
 - Lo sforzo normale riduce la duttilità
 - Lo sforzo normale riduce il momento resistente (e questo potrebbe creare problemi al rispetto della gerarchia delle resistenze trave-colonna)

Dimensionamento - colonne

limiti minimi per la sezione

- Gerarchia delle resistenze:
occorre un profilato con resistenza flessionale maggiore, quindi con un W_{pl} maggiore

Trave IPE 360: $W_{pl} = 1019 \text{ cm}^3$



- Se il limite è posto solo con riferimento al W_{max}
occorre almeno HE 240 B: $W_{pl,y} = 1053 \text{ cm}^3$
- Se il limite è posto solo con riferimento anche al W_{min} occorre almeno HE 360 B: $W_{pl,z} = 1032 \text{ cm}^3$

Forse occorre aumentare ulteriormente la sezione
perché lo sforzo normale riduce la resistenza a flessione

Dimensionamento

limiti minimi per la sezione della colonna

- Sforzo normale ed area necessaria

Centrale					Scala				
	sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma			sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma	
solaio(coeff.cont.=1,15)	47.6	476.8	240.4		solaio(coeff.cont.=1,00)	18	180.3	90.9	
scala		0.0	0.0		scala	15	181.5	105.0	
trave(coeff.cont.=1,15)	13.8	10.2	7.9		trave(coeff.cont.=1,15)	11.5	8.5	6.6	
Totale		487.0	248.3	kN	Totale		370.3	202.5	kN
	al piede	2435	1241	kN		al piede	1901	1062	kN
	A nec	93.0	47.4	cm ²		A nec	72.6	40.6	cm ²
Laterale					Angolo				
	sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma			sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma	
solaio(coeff.cont.=1,00)	18	180.3	90.9		solaio(coeff.cont.=1,00)	18	180.3	90.9	
scala		0.0	0.0		scala		0.0	0.0	
tamponature	6	46.8	36.0		tamponature	6	46.8	36.0	
trave(coeff.cont.=1,15)	9	6.7	5.1		trave(coeff.cont.=1,15)	6	4.4	3.4	
Totale		233.7	132.0	kN	Totale		231.5	130.3	kN
	al piede	1169	660	kN		al piede	1158	652	kN
	A nec	44.6	25.2	cm ²					

File Excel Dimensionamento_1, foglio Colonne

Dimensionamento

limiti minimi per la sezione della colonna

- Sforzo normale ed area necessaria

Centrale				
	sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma	
solaio(coeff.cont.=1,15)	47.6	476.8	240.4	
scala		0.0	0.0	
trave(coeff.cont.=1,15)	13.8	10.2	7.9	
Totale		487.0	248.3	kN
	al piede	2435	1241	kN
	A nec	93.0	47.4	cm ²
Laterale				
	sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma	
solaio(coeff.cont.=1,00)	18	180.3	90.9	
scala		0.0	0.0	
tamponature	6	46.8	36.0	
trave(coeff.cont.=1,15)	9	6.7	5.1	
Totale		233.7	132.0	kN
	al piede	1169	660	kN
	A nec	44.6	25.2	cm ²

L'area necessaria è stata valutata ipotizzando un acciaio S275

Può essere conveniente dimensionare le colonne pensando ad un acciaio uguale a quello delle travi e poi realizzarle (e verificarle) con un acciaio migliore

Dimensionamento

scelta della sezione della colonna

- Sforzo normale ed area necessaria
 - In assenza di sisma $A_{nec} = 93 \text{ cm}^2$
 - In presenza di sisma $A_{nec} = 47 \text{ cm}^2$
ma per lavorare a 0.3÷0.5 del massimo
 $A_{nec} = 94 \div 157 \text{ cm}^2$



Basterebbe HE 320 B: $A = 161.3 \text{ cm}^2$

Tenendo conto anche della gerarchia delle resistenze,
sembra opportuno usare almeno un HE 360 B,
ma occorrono tanti altri controlli

Dimensionamento complessivo carichi unitari

	γ_{g1}	γ_{g2}	γ_q							
	1.3	1.5	1.5							
	1	0	0							
						G_{2d+}		G_{2k+}	SLU	SLU
Elemento	G_{1k}	G_{2k}	Q_k	ψ_2	G_{1d}	Q_d	G_{1k}	$\psi_2 Q_k$	solo c.v.	sisma
Solaio del piano tipo	3.40		3.00	0.30	4.42	4.50	3.40	0.90	8.92	4.30
Incidenza tramezzi		0.60		0.30	0.00	0.90	0.00	0.60	0.90	0.60
Travi sec. IPE 240	0.15				0.20	0.00	0.15	0.00	0.20	0.15
Solaio tipo con tramezzi	3.55	0.60	3.00	0.30	4.62	5.40	3.55	1.50	10.02	5.05
Solaio di copertura	4.00		2.00	0.30	5.20	3.00	4.00	0.60	8.20	4.60
Solaio torrino scala	3.40		0.50	0	4.42	0.75	3.40	0.00	5.17	3.40
Sbalzo copertura, cornicione	3.90		0.50	0	5.07	0.75	3.90	0.00	5.82	3.90
Scala	4.00		4.00	0.60	5.20	6.00	4.00	2.40	11.20	6.40
Travi IPE 360	0.57				0.74	0.00	0.57	0.00	0.74	0.57
Pareti di tamponamento	6.00				7.80	0.00	6.00	0.00	7.80	6.00
Tramezzi	3.00				3.90	0.00	3.00	0.00	3.90	3.00
Colonne HEB 450	1.71				2.22	0.00	1.71	0.00	2.22	1.71
Colonne scala HEB 140	0.25				0.32	0.00	0.25	0.00	0.32	0.25

Dimensionamento carichi sulle travi rigorosi

RIEPILOGO	V impalcato				IV-III-II impalcato				I impalcato			
	<i>g1k</i>	<i>g2k+ψ2 qk</i>	<i>g1d + g2d+qd</i>	<i>g1k + g2k+ψ2 qk</i>	<i>g1k</i>	<i>g2k+ψ2 qk</i>	<i>g1d + g2d+qd</i>	<i>g1k + g2k+ψ2 qk</i>	<i>g1k</i>	<i>g2k+ψ2 qk</i>	<i>g1d + g2d+qd</i>	<i>g1k + g2k+ψ2 qk</i>
19-20, 20-21	6.47	0.30	10.66	6.77	7.75	0.75	12.77	8.50	7.75	0.75	12.77	8.50
21-22	21.87	7.20	47.18	29.07	17.97	7.20	41.36	25.17	17.97	7.20	41.36	25.17
22-23, 23-24	16.47	1.80	31.16	18.27	16.62	4.50	37.81	21.12	16.62	4.50	37.81	21.12
13-14, 14-15	4.57	0.60	8.94	5.17	4.12	1.50	10.76	5.62	4.12	1.50	10.76	5.62
15-16	14.57	8.40	39.94	22.97	14.57	8.40	39.94	22.97	14.57	8.40	39.94	22.97
16-17, 17-18	29.37	4.32	59.78	33.69	26.13	10.80	72.85	36.93	26.13	10.80	72.85	36.93
7-8, 8-9	4.57	0.60	8.94	5.17	4.12	1.50	10.76	5.62	4.12	1.50	10.76	5.62
9-10	12.47	1.20	19.96	13.67	8.57	1.20	14.14	9.77	8.57	1.20	14.14	9.77
10-11, 11-12	16.47	1.80	31.16	18.27	16.02	4.50	37.03	20.52	16.62	4.50	37.81	21.12
4-5, 5-6	4.57	0.60	8.94	5.17	4.12	1.50	10.76	5.62	4.12	1.50	10.76	5.62
1-2, 2-3	6.47	0.30	10.66	6.77	7.75	0.75	12.77	8.50	7.75	0.75	12.77	8.50
19-13, 13-7	16.47	1.80	31.16	18.27	16.62	4.50	37.81	21.12	16.62	4.50	37.81	21.12
7-4, 4-1	16.47	1.80	31.16	18.27	16.62	4.50	37.81	21.12	16.62	4.50	37.81	21.12
20-14, 14-8	28.17	4.14	57.32	32.31	25.07	10.35	69.85	35.42	25.07	10.35	69.85	35.42
8-5, 5-2	28.17	4.14	57.32	32.31	25.07	10.35	69.85	35.42	25.07	10.35	69.85	35.42
15-21	18.57	1.80	33.14	20.37	17.22	4.50	38.59	21.72	17.22	4.50	38.59	21.72
15-9	29.57	8.58	64.84	38.15	28.09	11.55	70.83	39.64	28.09	11.55	70.83	39.64
9-6, 6-3	16.47	1.80	31.16	18.27	12.72	2.85	26.79	15.57	12.72	2.85	26.79	15.57
22-16	10.57	1.50	18.24	12.07	9.15	1.95	17.59	11.10	9.15	1.95	17.59	11.10
16-10	18.57	6.30	40.64	24.87	17.15	6.75	39.99	23.90	17.15	6.75	39.99	23.90
23-17, 17-11	4.57	0.60	8.94	5.17	4.12	1.50	10.76	5.62	4.12	1.50	10.76	5.62
24-18, 18-12	6.47	0.30	10.66	6.77	7.75	0.75	12.77	8.50	7.75	0.75	12.77	8.50

Carichi e sforzi normali nelle colonne

Carichi e sforzi normali nelle colonne				in condizioni sismiche						
Carico al piano [kN]				Sforzo normale [kN]						
colonna	V impalcato	IV-III-II impalcato	I impalcato		colonna	V impalcato	IV impalcato	III impalcato	II impalcato	I impalcato
1	67.70	80.00	80.00		1	67.70	147.70	227.71	307.71	387.72
2	123.11	141.23	141.23		2	123.11	264.35	405.58	546.81	688.05
3	67.70	66.12	66.12		3	67.70	133.82	199.93	266.05	332.16
4	108.58	124.18	124.18		4	108.58	232.76	356.95	481.13	605.32
5	194.29	212.53	212.53		5	194.29	406.82	619.35	831.88	1044.41
6	108.58	96.41	96.41		6	108.58	204.99	301.39	397.80	494.21
7	117.71	134.75	134.75		7	117.71	252.46	387.20	521.95	656.69
8	210.45	230.24	230.24		8	210.45	440.69	670.93	901.16	1131.40
9	215.78	202.90	202.90		9	215.78	418.69	621.59	824.49	1027.40
10	156.18	149.13	150.63		10	156.18	305.31	454.44	603.57	754.20
11	108.58	121.18	124.18		11	108.58	229.76	350.95	472.13	596.32
12	67.70	78.50	80.00		12	67.70	146.20	224.71	303.21	383.22
13	126.85	145.31	145.31		13	126.85	272.16	417.46	562.77	708.07
14	226.60	247.95	247.95		14	226.60	474.55	722.50	970.45	1218.40
15	250.22	260.08	260.08		15	250.22	510.30	770.37	1030.45	1290.53
16	254.19	256.45	256.45		16	254.19	510.64	767.09	1023.54	1279.98
17	201.19	220.11	220.11		17	201.19	421.30	641.40	861.51	1081.61
18	126.56	145.02	145.02		18	126.56	271.58	416.61	561.63	706.65
19	76.84	90.56	90.56		19	76.84	167.40	257.97	348.53	439.09
20	139.27	158.94	158.94		20	139.27	298.21	457.15	616.10	775.04
21	155.81	155.29	155.29		21	155.81	311.11	466.40	621.69	776.98
22	156.28	150.73	150.73		22	156.28	307.01	457.74	608.47	759.20
23	108.58	124.18	124.18		23	108.58	232.76	356.95	481.13	605.32
24	67.70	80.00	80.00		24	67.70	147.70	227.71	307.71	387.72