

Corso di aggiornamento
Progetto di strutture antisismiche
con pareti in c.a. ed in acciaio

**Problemi specifici nel progetto
di strutture antisismiche in acciaio**

2 - Strutture intelaiate

Imola
23-25 giugno 2011
Aurelio Ghersi

**Strutture intelaiate in acciaio:
impostazione della struttura**

**Impostazione della carpenteria
sezioni e collegamenti**

Scelte preliminari:

- Posizione delle colonne e orditura delle travi
- Tipo di sezione per le colonne
HE (più diffuse) oppure scatolari ?
- Orientamento delle colonne (se HE)
- Collegamento trave-colonna

Tipo di sezione per le colonne

- Con rigidezza e resistenza uguali nei due piani



scatolare
(quadrato)

buon comportamento
problemi di collegamento



coppia di
profili HE

buon comportamento
profilo da realizzare ad hoc

- Con rigidezza e resistenza diverse nei due piani



profilo HE

molto diffuso in Italia
problemi legati alla differenza
di resistenza nei due piani

Collegamenti

- Se la sezione della colonna ha rigidezza e resistenza uguali nei due piani

È opportuno realizzare un collegamento incastro in entrambi i piani

- Se la sezione della colonna ha rigidezza e resistenza diverse nei due piani

Si possono prevedere collegamenti differenziati (incastro/cerniera) nei due piani

Telai con colonne di sezione HE

- Tutti collegamenti incastro
 - Utile per limitare le frecce da carichi verticali nelle travi
 - Possibili problemi per la gerarchia delle resistenze
 - Le colonne lato debole danno comunque un contributo all'assorbimento del sisma, anche se modesto
- Incastro nel piano rigido - cerniera nell'altro
 - Più semplice da realizzare
 - Possibili problemi per le frecce da carichi verticali
 - Si rinuncia al contributo delle colonne lato debole, che però è modesto

Collegamenti: dove e come?

- In Italia non si usano strutture interamente saldate in opera

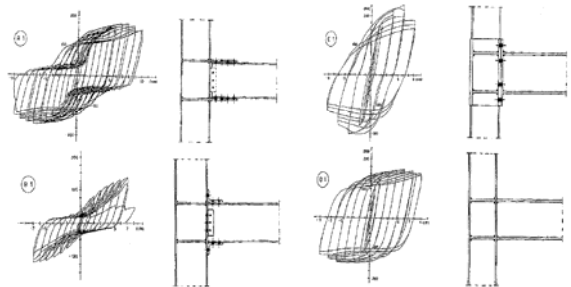


- Necessità di individuare
 - Elementi preassemblati con saldature
 - Zone da collegare mediante bullonature

Nota:

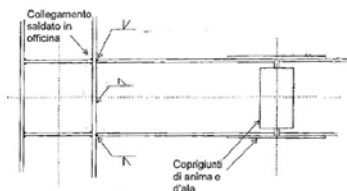
- Il comportamento ciclico del nodo è molto influenzato dalle modalità di collegamento trave-colonna

Comportamento ciclico del nodo



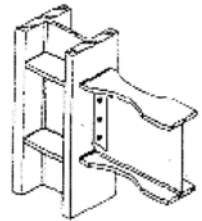
Collegamenti: dove e come?

- Sarebbe preferibile realizzare il collegamento trave-colonna mediante saldature
- Si può spezzare la trave, spostando il collegamento bullonato in una zona meno sollecitata

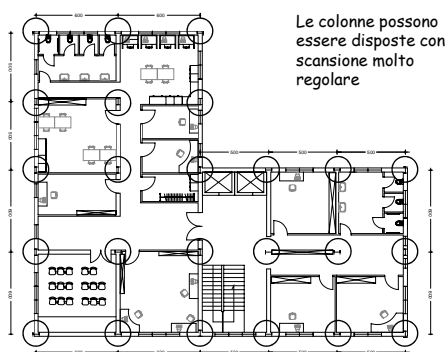


Collegamenti: dove e come?

- Sarebbe preferibile realizzare il collegamento trave-colonna mediante saldature
- Si può spezzare la trave, spostando il collegamento bullonato in una zona meno sollecitata
- Per ridurre le sollecitazioni nel collegamento trave-colonna si può indebolire localmente la trave (dog bone)

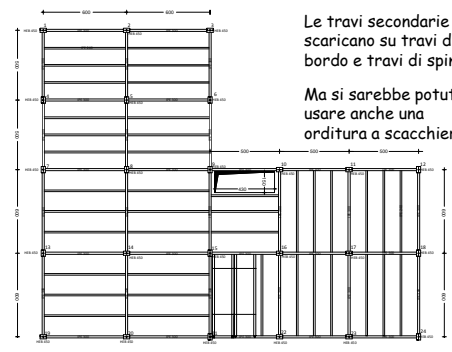


Esempio - pianta architettonica



Le colonne possono essere disposte con scansione molto regolare

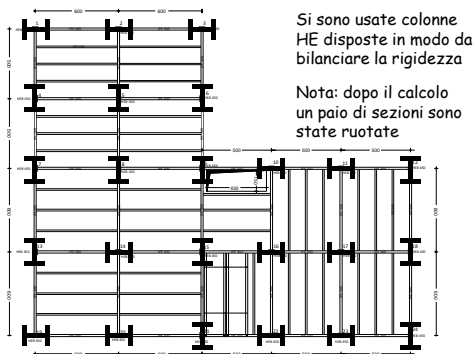
Esempio - carpenteria



Le travi secondarie scaricano su travi di bordo e travi di spina

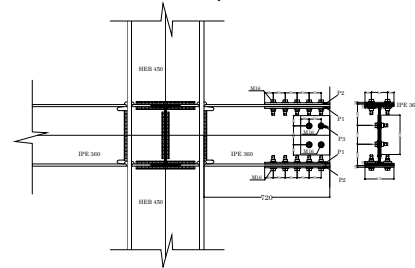
Ma si sarebbe potuto usare anche una orditura a scacchiera

Esempio - carpenteria



Esempio - collegamenti

- Si è scelta la soluzione con tutti nodi incastro
- Si sono previsti spezzoni di trave saldati alla colonna, da bullonare in opera al resto della trave

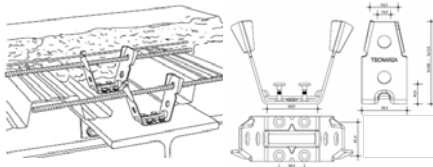


Impalcato

Per realizzare un impalcato sufficientemente rigido:

- Controventi di piano in acciaio oppure
- Solaio in lamiera grecata con soletta di almeno 4 cm armata con rete in acciaio e con connettori

Si è scelta questa seconda via



Strutture intelaiate in acciaio:

criteri di dimensionamento

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 tamponamenti collegati rigidamente alla struttura
 - $d_r \leq d_{rp} \leq 0.010 h$ Per tamponamenti progettati in modo da non subire danni per spostamento d_{rp}

NTC08, punto 7.3.7.2

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

NTC08, punto 7.3.1

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

		g1	1.3	g2, q	1.5		
						Totale	
		g1k	g2k	qk	v/2	in assenza di sisma	in presenza di sisma
Categ.							
A	solaio piano tipo	3.55		3.0	0.3	9.12	4.45
	solaio tipo, incid. tramezzi		0.6			0.90	0.60
C2	scala	4.0		4.0	0.6	11.20	6.40
	tamponature	6.0				7.80	6.00
	p.p. trave	0.6				0.74	0.57
verde	valori di normativa						
blu	valori stimati						

Dimensionamento carichi sulle travi e momento flettente, stima

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		f _y	275	MPa
p.p. trave		0.6			F	210000	MPa
Totale		21.9	21.6				
gd+qd	60.83	kN/m					
stima M							
q	60.83	kN/m			limiti freccia		
l trave	6.00				per g+q	L/ 250	24.0 mm
q l2 / 10	219.0	kNm			per q	L/ 350	17.1 mm

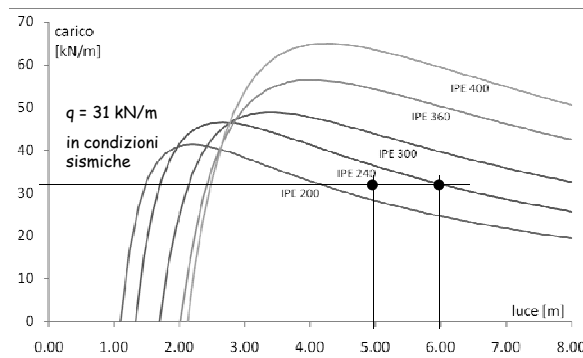
Dimensionamento scelta della sezione della trave

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							
Controllo freccia					Controllo momento				
		appoggiata		incastata					
		I _x [cm ⁴]	fr. g+q	freccia q	fr. g+q	freccia q	W _{pl,y} [cm ³]	M _{pl,y} [kNm]	f _y / γ _{m2} [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	

Si è scelta una sezione IPE 360 di acciaio S275

(forse bastava anche un acciaio S235)

Un controllo: carico massimo in funzione della luce



Dimensionamento scelta della sezione della colonna

- Occorre un profilato con resistenza flessionale maggiore, quindi con un W_{pl} maggiore
- Deve poter portare lo sforzo normale massimo, in assenza di sisma
- In presenza di sisma è bene che lo sforzo normale sia piccolo rispetto a N_{Rd} ($0.3 \div 0.5$)
- Trave IPE 360: $W_{pl} = 1019 \text{ cm}^3$



Basterebbe HEB 260: $W_{pl} = 1283 \text{ cm}^3$

Dimensionamento scelta della sezione della colonna

- Sforzo normale ed area necessaria (acciaio S275)

Pilastro centrale				Pilastro scala			
	sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma		sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma
solaio/coeff. cont. x1,15)	47.61	476.8	240.4	solaio/coeff. cont. x1,00)	18	180.3	90.9
scala	0.0	0.0	0.0	scala	15	181.5	105.0
travicoeff. cont. x1,15)	13.8	138.2	7.9	travicoeff. cont. x1,15)	11.5	8.5	8.6
Totale		487.0	248.3	Totale		370.3	203.5
			kN				kN
	al piede	2435	1241		al piede	1901	1062
A nec	93	47	cm ²	A nec	73	41	cm ²
Pilastro laterale				Pilastro angolo			
	sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma		sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma
solaio/coeff. cont. x1,00)	18	180.3	90.9	solaio/coeff. cont. x1,00)	18	180.3	90.9
scala	0.0	0.0	0.0	scala	0.0	0.0	0.0
tampognature	6	46.8	36.0	tampognature	6	46.8	36.0
travicoeff. cont. x1,15)	9	6.7	5.1	travicoeff. cont. x1,15)	6	4.4	3.4
Totale		233.7	132.0	Totale		231.5	130.3
			kN				kN
	al piede	1169	660		al piede	1158	652
A nec	48	25	cm ²	A nec	44	25	cm ²

Dimensionamento scelta della sezione della colonna

- Sforzo normale ed area necessaria (acciaio S275)
 - In assenza di sisma $A_{nec} = 93 \text{ cm}^2$
 - In presenza di sisma $A_{nec} = 47 \text{ cm}^2$
- ma per lavorare a $0.3 \div 0.5$ del massimo
- $A_{nec} = 94 \div 157 \text{ cm}^2$



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

Ma occorrono tanti altri controlli

Dimensionamento carichi unitari rigorosi

	γ_{gt}	γ_{p1}	γ_{p2}							
	1.3	1.5	1.5							
	1	0	0							
Elemento	G_{k1}	G_{k2}	Q_{k1}	Q_{k2}	G_{k1}^*	G_{k2}^*	Q_{k1}^*	Q_{k2}^*	auto c.	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	16.00				7.80	0.00	8.00	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

REPERIOLOGO	V impalcato				IV-III-II impalcato				I impalcato			
	g_{k1}	$g_{k2}^* u_2^*$	$g_{k1}^* + g_{k2}^* u_2^*$	$g_{k1}^* + g_{k2}^* u_2^*$	g_{k1}	$g_{k2}^* u_2^*$	$g_{k1}^* + g_{k2}^* u_2^*$	$g_{k1}^* + g_{k2}^* u_2^*$	g_{k1}	$g_{k2}^* u_2^*$	$g_{k1}^* + g_{k2}^* u_2^*$	$g_{k1}^* + g_{k2}^* u_2^*$
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	0.40	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	72.65	36.93	26.13	10.80	72.65	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	16.62	4.50	37.81	21.12	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
10-13, 13-17	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	66.84	38.15	26.09	11.55	70.83	39.64	26.09	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
14-18, 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