

Corso di aggiornamento  
Progettazione strutturale e  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

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

2 - Strutture intelaiate

Spoletto  
4-5 febbraio 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

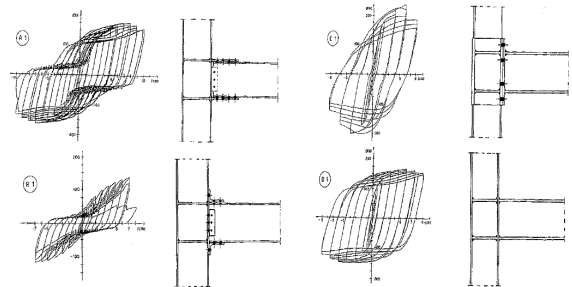


- Necessità di individuare
  - Elementi preassemblati con saldature
  - Zone da collegare mediante bullonature

Nota:

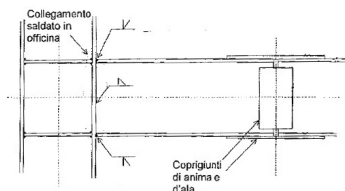
- Il comportamento ciclico del nodo è molto influenzato dalle modalità di collegamento trave-colonna

### Comportamento ciclico del nodo



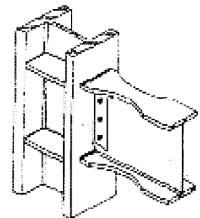
### Collegamenti: dove e come?

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

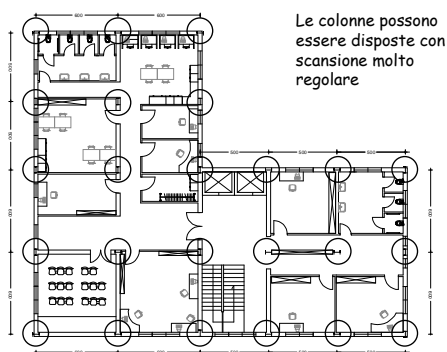


### Collegamenti: dove e come?

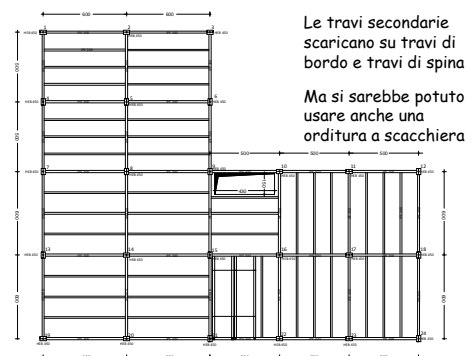
- Sarebbe preferibile realizzare il collegamento trave-colonna mediante saldature
- Si può spezzare la trave, spostando il collegamento bullonato in una zona meno sollecitata
- Per ridurre le sollecitazioni nel collegamento trave-colonna si può indebolire localmente la trave (dog bone)



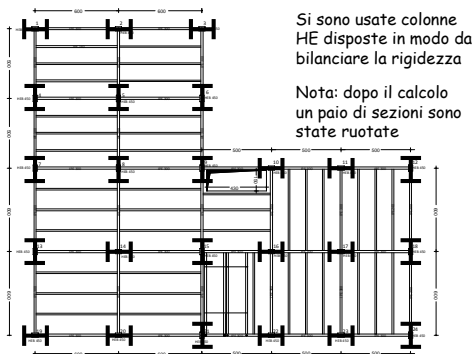
### Esempio - pianta architettonica



### Esempio - carpenteria

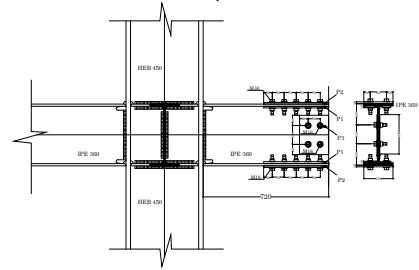


### Esempio - carpenteria



### 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

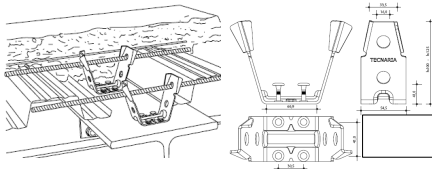


### Impalcato

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  $\theta$  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



## 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:  $W_{pl} = 12839 \text{ cm}^3$

## 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
solai (coeff. cont.=1,15)	47.61	476.8	240.4	solai (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	Totale		370.3	202.5
		kN				kN	
	al piede	2435	1241		al piede	1901	1062
A nec	93	47	cm <sup>2</sup>	A nec	73	41	cm <sup>2</sup>
Pilastro laterale				Pilastro angolo			
	sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma		sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma
solai (coeff. cont.=1,00)	18	180.3	90.9	solai (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	Totale		231.5	130.3
		kN				kN	
	al piede	1169	660		al piede	1158	652
A nec	45	25	cm <sup>2</sup>	A nec	44	25	cm <sup>2</sup>

## 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

	$\gamma_{p1}$	$\gamma_{p2}$	$\gamma_{p3}$							
	1.3	1.5	1.5							
	1	0	0							
Elemento	$G_{1k}$	$G_{2k}$	$Q_{k1}$	$V_{k1}$	$G_{1k}^*$	$Q_{k1}^*$	$G_{2k}^*$	$Q_{k2}^*$	solai c.v.	solai 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	0.20	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 torri 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	2.22				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			
	$g_{1k}$	$g_{2k}+v_2$	$g_{1d}+$	$g_{2d}+v_2$	$g_{1k}$	$g_{2k}+v_2$	$g_{1d}+$	$g_{2d}+v_2$	$g_{1k}$	$g_{2k}+v_2$	$g_{1d}+$	$g_{2d}+v_2$
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	0.40	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	16.62	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
12, 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	39.14	20.37	17.22	4.50	38.59	21.72	17.22	4.50	38.59	21.72
15.9	29.57	6.58	64.84	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
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