

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

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

2 - Strutture intelaiate

Spoleto  
11-12 maggio 2012  
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

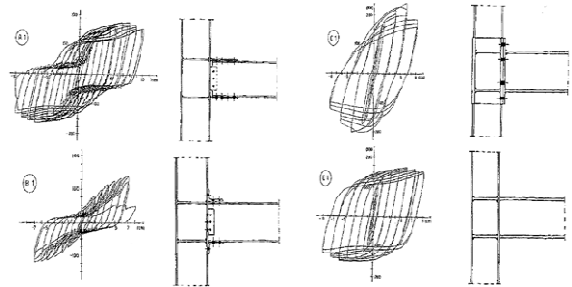


- Necessità di individuare
  - Elementi preassemblati con saldature
  - Zone da collegare mediante bullonature

#### Nota:

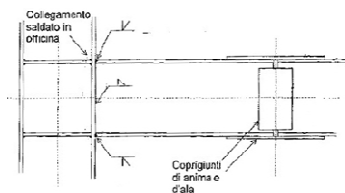
- Il comportamento ciclico del nodo è molto influenzato dalle modalità di collegamento trave-colonna

### Comportamento ciclico del nodo



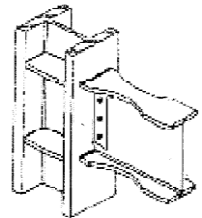
### Collegamenti: dove e come?

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



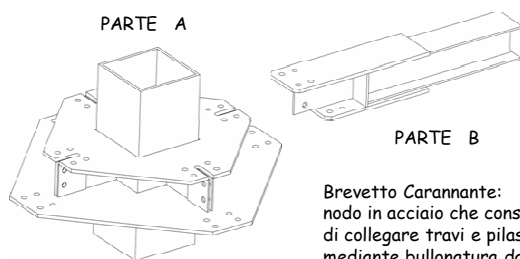
### Collegamenti: dove e come?

- 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)



### Collegamenti: dove e come?

- Altre possibilità: nodi pre-assemblati



Brevetto Carannante:  
nodo in acciaio che consente di collegare travi e pilastri mediante bullonatura da realizzare in opera

### Collegamenti: dove e come?

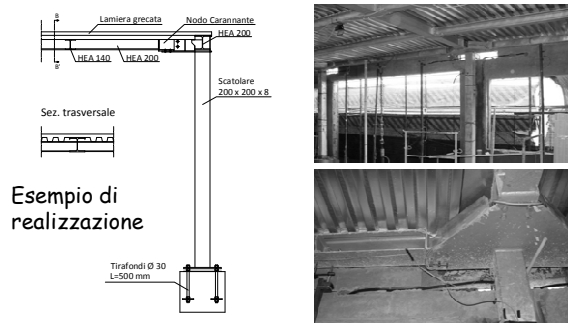
- Altre possibilità: nodi pre-assemblati



Il nodo realizza un collegamento a completo ripristino di resistenza, che consente la plasticizzazione dell'estremo della trave

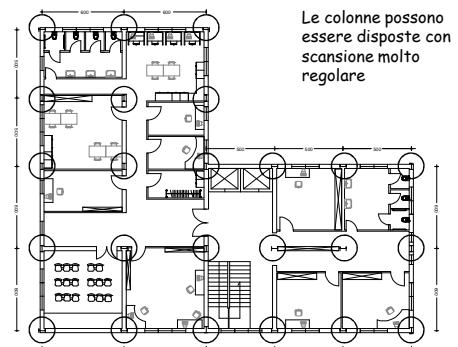
## Collegamenti: dove e come?

- Altre possibilità: nodi pre-assemblati

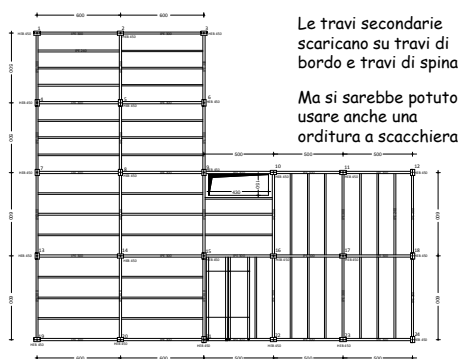


Esempio di realizzazione

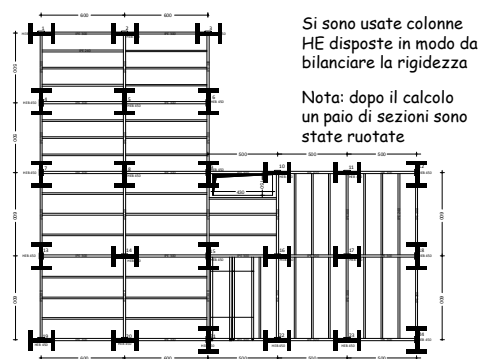
## Esempio - pianta architettonica



## Esempio - carpenteria

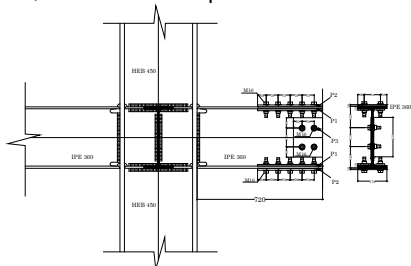


## Esempio - carpenteria



## 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

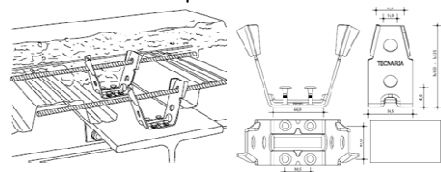


## Impalcato

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

## 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, qg	1.5		
						Totale	
						In assenza di sisma	In presenza di sisma
Categ.		g1k	g2k	qk	v2		
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
	verce	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	
soloio	8.00	21.3	f <sub>y</sub>	275	MPa
p.a. trave		0.6	E	210000	MPa
Totale		21.9			
gd+qd	60.83	kN/m			
stima M					
q	60.83	kN/m	limiti freccia		
l trave	8.00		per g+q	L/ 250	24.0 mm
q12 / 10	219.0	kNm	per q	L/ 350	17.1 mm

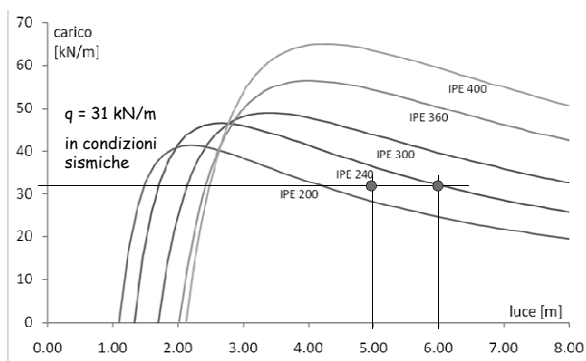
## Dimensionamento scelta della sezione della trave

stima M		limiti freccia					
q	60.83	kN/m		per g+q	L/ 250	24.0	mm
l trave	8.00			per q	L/ 350	17.1	mm
q12 / 10	219.0	kNm					
Controllo freccia				Controllo momento			
appoggiata				incastrata			
	l <sub>y</sub> [cm <sup>4</sup> ]	fr. g+q	freccia q	fr. g+q	freccia q	W <sub>pl,y</sub> [cm <sup>3</sup> ]	M <sub>Ed</sub> =W <sub>pl,y</sub> f <sub>y</sub> / γ <sub>m</sub> [kNm]
ioe 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	10.57	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 scalo			
sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma		sviluppo	in assenza di sisma	in presenza di sisma	
solai/coeff.coef.=1.00	47.61	476.8	240.4	solai/coeff.coef.=1.00	18	180.3	90.5
scale	0.0	0.0		scale	15	181.5	165.0
trave/coef.coef.=1.15	11.9	116.2	7.5	trave/coef.coef.=1.15	11.5	8.0	8.0
Totale		487.0	248.3	Totale		370.3	202.5
			kN				kN
al piede	2430	1241	kN	al piede	1391	1392	kN
A <sub>nec</sub>	99	47	cm <sup>2</sup>	A <sub>nec</sub>	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.coef.=1.00	18	180.3	90.9	solai/coeff.coef.=1.00	18	180.3	90.5
scale	0.0	0.0		scale	0.0	0.0	
tangenti/coef.coef.=1.15	5	46.8	36.0	tangenti/coef.coef.=1.15	6	46.8	35.0
trave/coef.coef.=1.15	9	6.7	3.1	trave/coef.coef.=1.15	6	4.8	3.4
Totale		233.7	132.0	Totale		231.3	130.3
			kN				kN
al piede	1169	460	kN	al piede	1158	452	kN
A <sub>nec</sub>	45	25	cm <sup>2</sup>	A <sub>nec</sub>	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

	ig1	ig2	ic						
	1.3	1.5	1.5						
	1	0	0						
Elemento	G <sub>1k</sub>	G <sub>2k</sub>	Q <sub>k</sub>	ψ <sub>1</sub>	G <sub>1d</sub>	Q <sub>d</sub>	G <sub>1d</sub>	ψ <sub>1</sub> Q <sub>d</sub>	SLU
Solaio del piano tipo	3.40		3.00	0.30	4.42	4.50	3.40	3.90	8.92
Incidenza tramezzi		0.60		0.30	0.00	0.80	0.00	3.60	0.90
Travi sec. IPE 240	0.15				0.20	0.00	0.15	0.00	0.20
Solaio tipo con tramezzi	3.55	0.60	3.00	0.30	4.62	5.40	3.55	3.90	12.02
Solaio di copertura	4.00		3.00	0.30	5.20	3.00	4.00	3.60	8.20
Solaio torretta	3.40		0.20	0.30	4.42	0.75	3.40	0.00	5.17
Sbalzo coartato, cornice	3.90		0.50	0.30	5.07	0.75	3.90	0.00	5.82
Scala	4.00		4.00	0.60	5.20	6.00	4.00	2.40	11.20
Travi IPE 160	0.57				0.74	0.00	0.57	0.00	0.74
Pareti di tamponamento	6.00				7.00	0.00	6.00	0.00	7.80
Tramezzi	3.00				3.90	0.00	3.00	0.00	3.90
Cornice HEB 450	1.71				2.22	0.00	1.71	0.00	2.22
Cornice scala HEB 140	0.25				0.32	0.00	0.25	0.00	0.32

## Dimensionamento carichi sulle travi rigorosi

Riepilogo	V impalcato				IV III II impalcato				I impalcato			
	g <sub>1d</sub>	g <sub>2d</sub> +ψ <sub>2</sub> Q <sub>d</sub>	g <sub>1d</sub>	g <sub>2d</sub> +ψ <sub>2</sub> Q <sub>d</sub>	g <sub>1d</sub>	g <sub>2d</sub> +ψ <sub>2</sub> Q <sub>d</sub>	g <sub>1d</sub>	g <sub>2d</sub> +ψ <sub>2</sub> Q <sub>d</sub>	g <sub>1d</sub>	g <sub>2d</sub> +ψ <sub>2</sub> Q <sub>d</sub>	g <sub>1d</sub>	g <sub>2d</sub> +ψ <sub>2</sub> Q <sub>d</sub>
19.20, 20.21	6.47	0.30	18.65	6.77	7.75	0.75	12.77	8.50	7.75	0.75	12.77	8.50
21.22	16.67	7.20	41.12	36.07	17.67	7.20	41.24	36.17	17.67	7.20	41.24	36.17
22.23, 23.24	15.47	1.80	31.15	18.27	16.02	4.30	37.61	20.52	16.02	4.30	37.61	20.52
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	20.27	4.12	54.79	22.69	20.12	10.30	75.61	24.93	20.12	10.30	75.61	24.93
7.4, 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	12.67	4.20	18.99	14.67	13.57	1.20	20.14	9.77	13.57	1.20	20.14	9.77
10.11, 11.12	15.47	1.80	31.15	18.27	16.02	4.30	37.61	20.52	16.02	4.30	37.61	20.52
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
12.13	4.47	0.30	18.65	6.77	7.75	0.75	12.77	8.50	7.75	0.75	12.77	8.50
19.12, 13.1	15.47	1.80	31.15	18.27	16.02	4.30	37.61	20.52	16.02	4.30	37.61	20.52
7.4, 4.1	15.47	1.80	31.15	18.27	16.02	4.30	37.61	20.52	16.02	4.30	37.61	20.52
20.14, 14.1	23.17	4.14	57.31	32.31	23.07	10.15	69.85	35.42	23.07	10.15	69.85	35.42
8.5, 5.2	23.17	4.14	57.31	32.31	23.07	10.15	69.85	35.42	23.07	10.15	69.85	35.42
15.21	18.67	5.80	31.11	20.37	17.20	4.50	38.89	21.72	17.20	4.50	38.89	21.72
15.9	23.17	8.26	64.84	38.13	23.09	11.33	70.83	39.64	23.09	11.33	70.83	39.64
9.4, 6.3	15.47	1.80	31.15	18.27	12.72	2.85	26.79	15.57	12.72	2.85	26.79	15.57
22.16	13.57	1.50	18.24	12.07	13.15	1.50	17.59	11.10	13.15	1.50	17.59	11.10
16.16	13.57	6.20	49.61	24.67	12.15	6.75	39.69	23.90	12.15	6.75	39.69	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
24.16, 18.12	6.47	0.30	18.65	6.77	7.75	0.75	12.77	8.50	7.75	0.75	12.77	8.50