

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  
11-12 maggio 2012  
Aurelio Gheresi

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

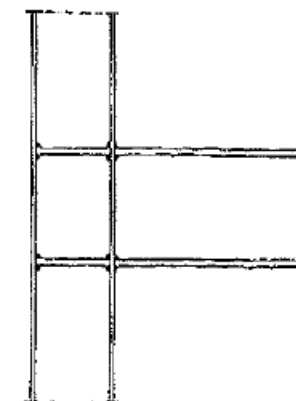
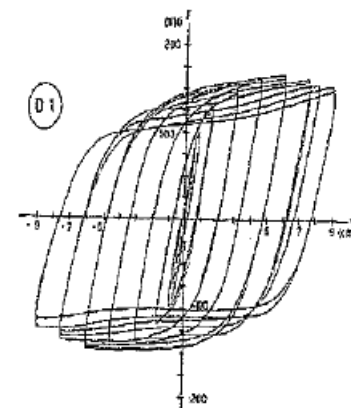
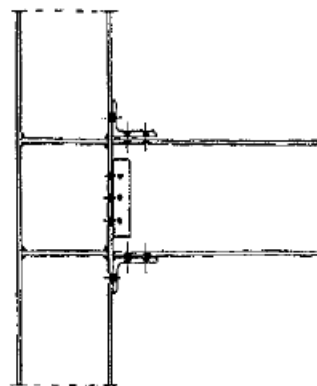
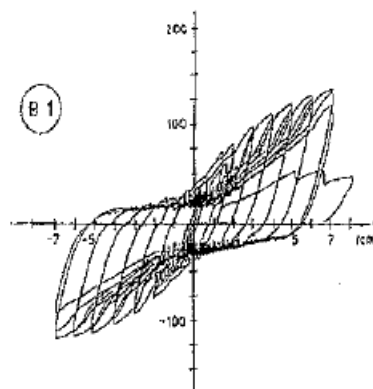
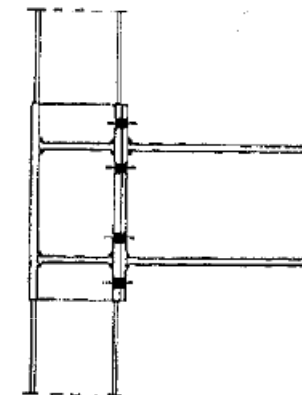
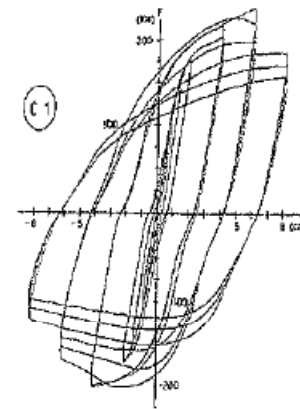
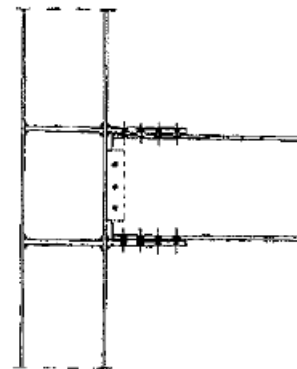
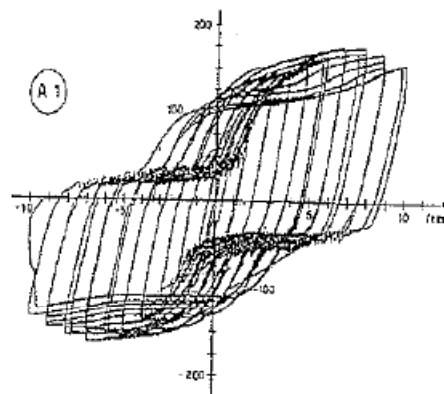


- Necessità di individuare
  - Elementi preassemblati con saldature
  - Zone da collegare mediante bullonature

Nota:

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

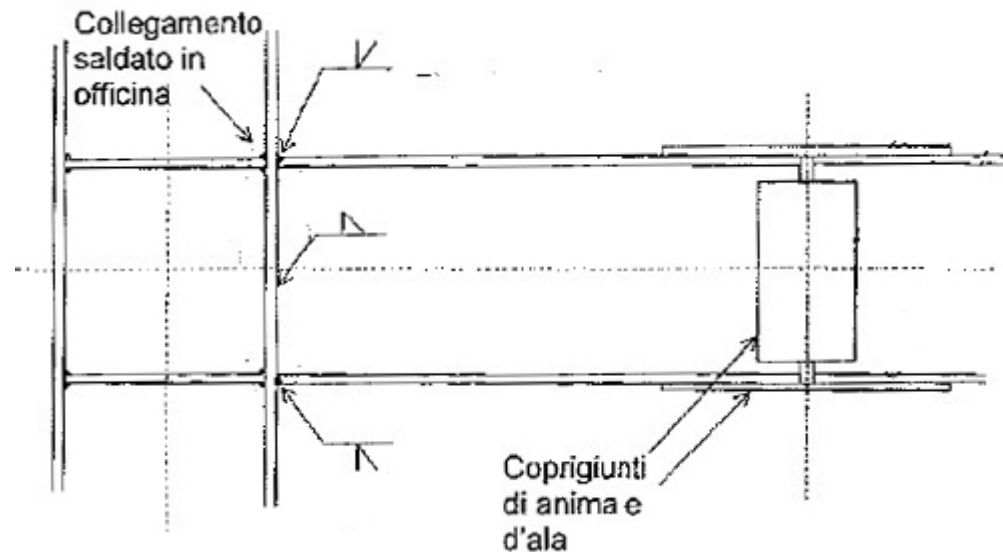
# Comportamento ciclico del nodo





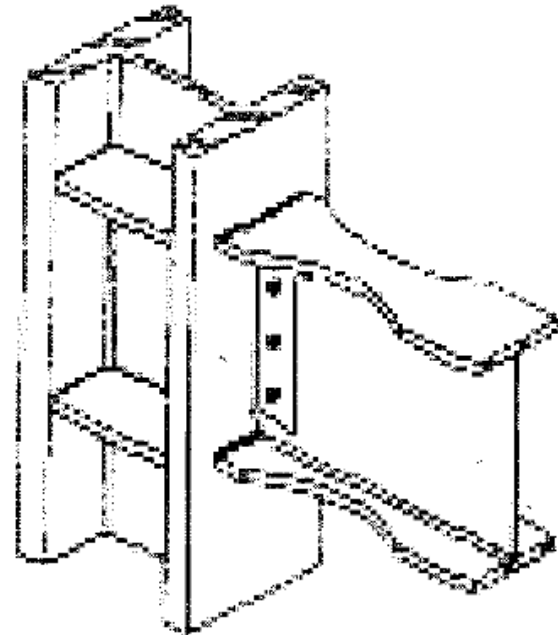
## Collegamenti: dove e come?

- 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?

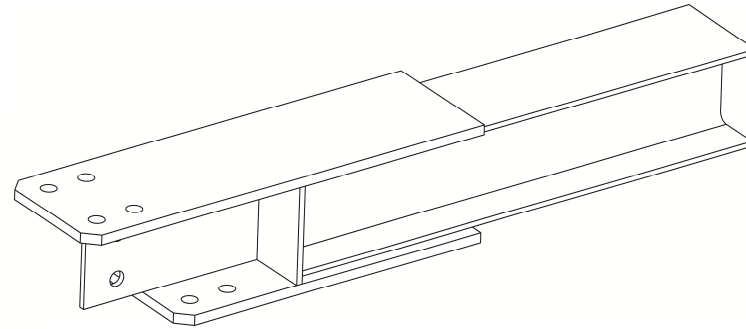
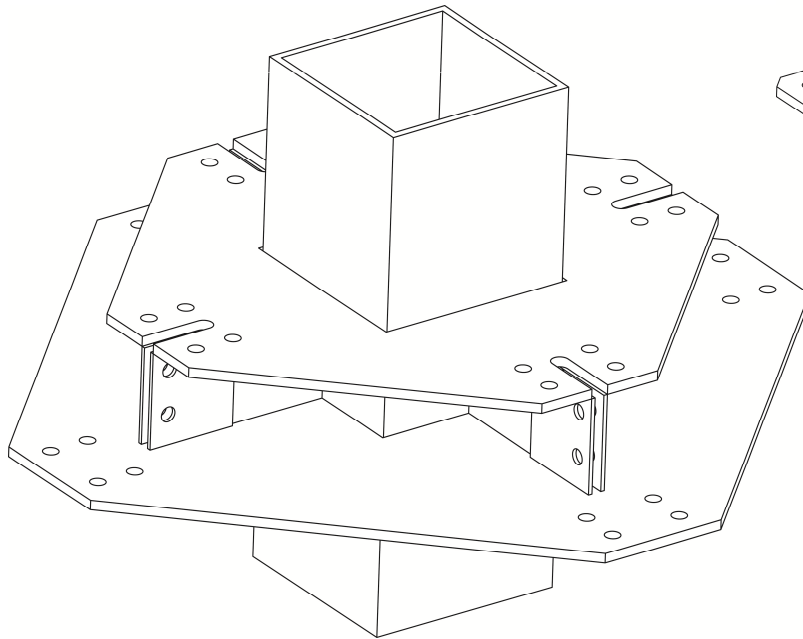
- Sarebbe preferibile realizzare il collegamento trave-colonna mediante saldature
- Si può spezzare la trave, spostando il collegamento bullonato in una zona meno sollecitata
- Per ridurre le sollecitazioni nel collegamento trave-colonna si può indebolire localmente la trave (dog bone)



# Collegamenti: dove e come?

- Altre possibilità: nodi pre-assemblati

PARTE A

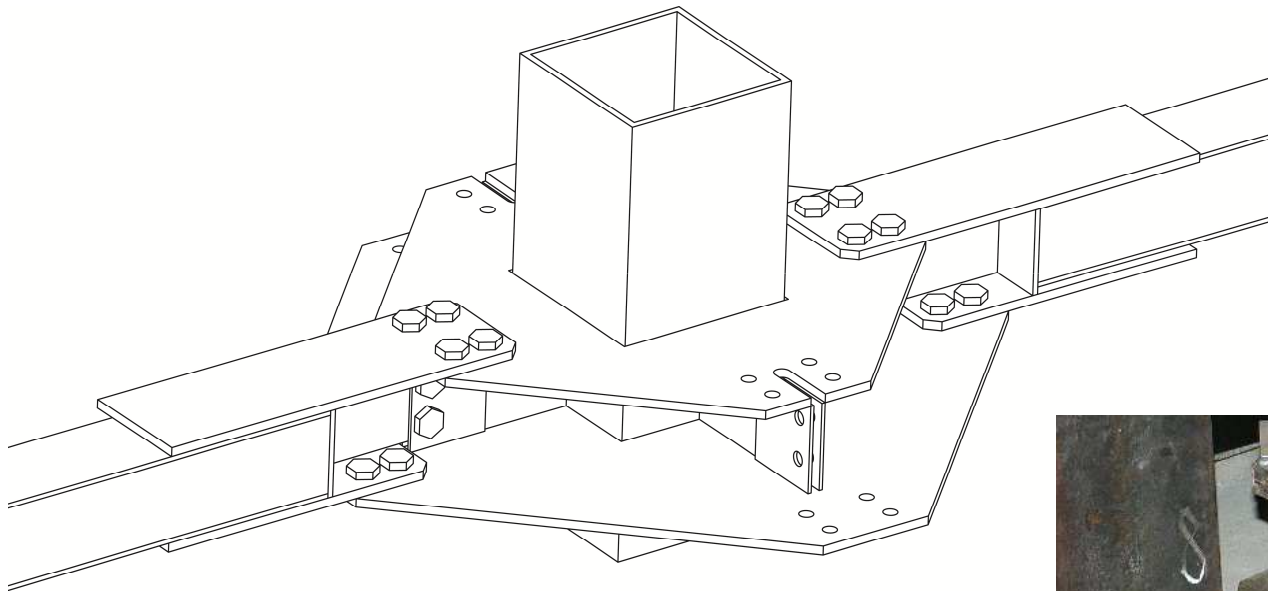


PARTE B

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?

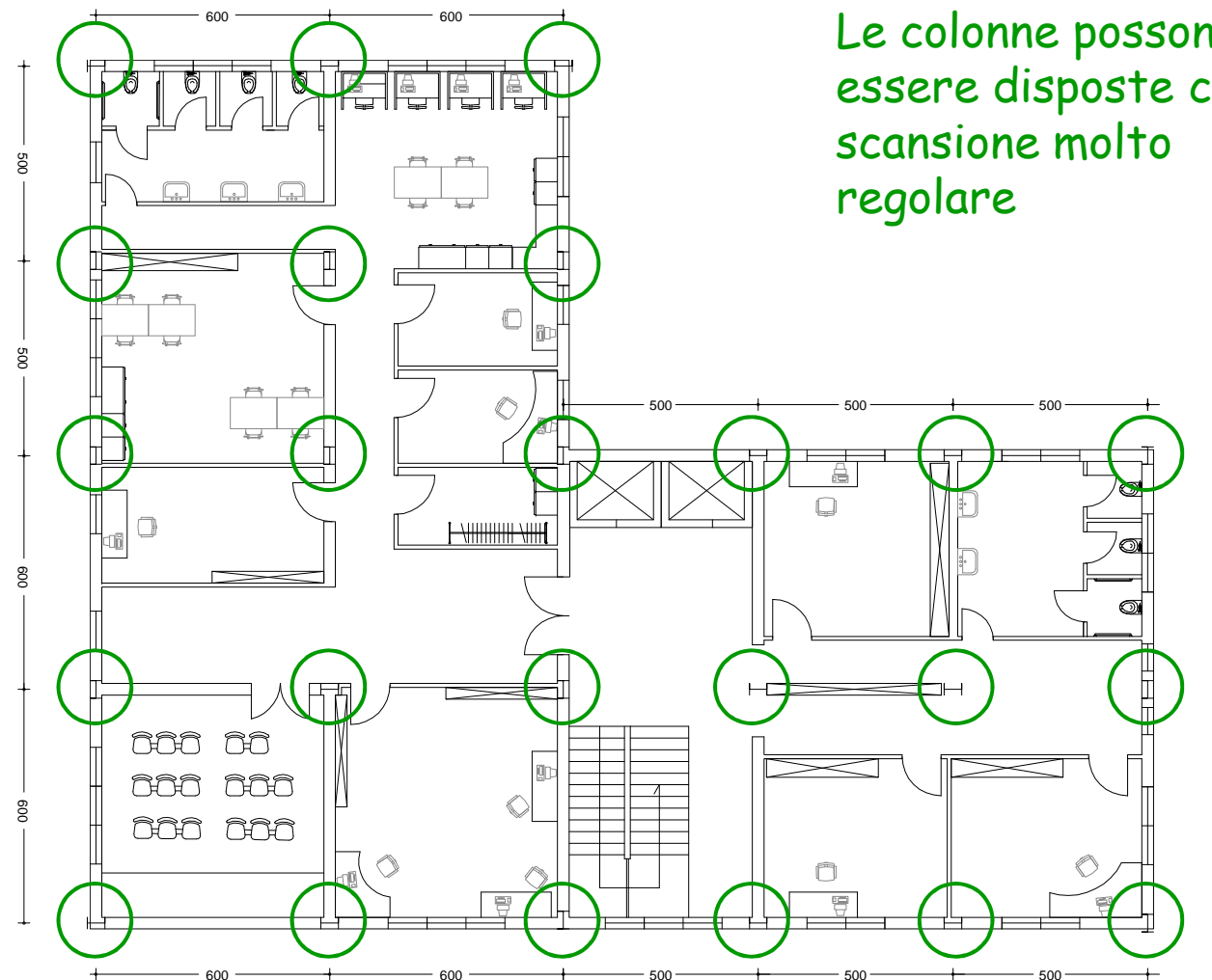
- Altre possibilità: nodi pre-assemblati



Esempio di  
realizzazione

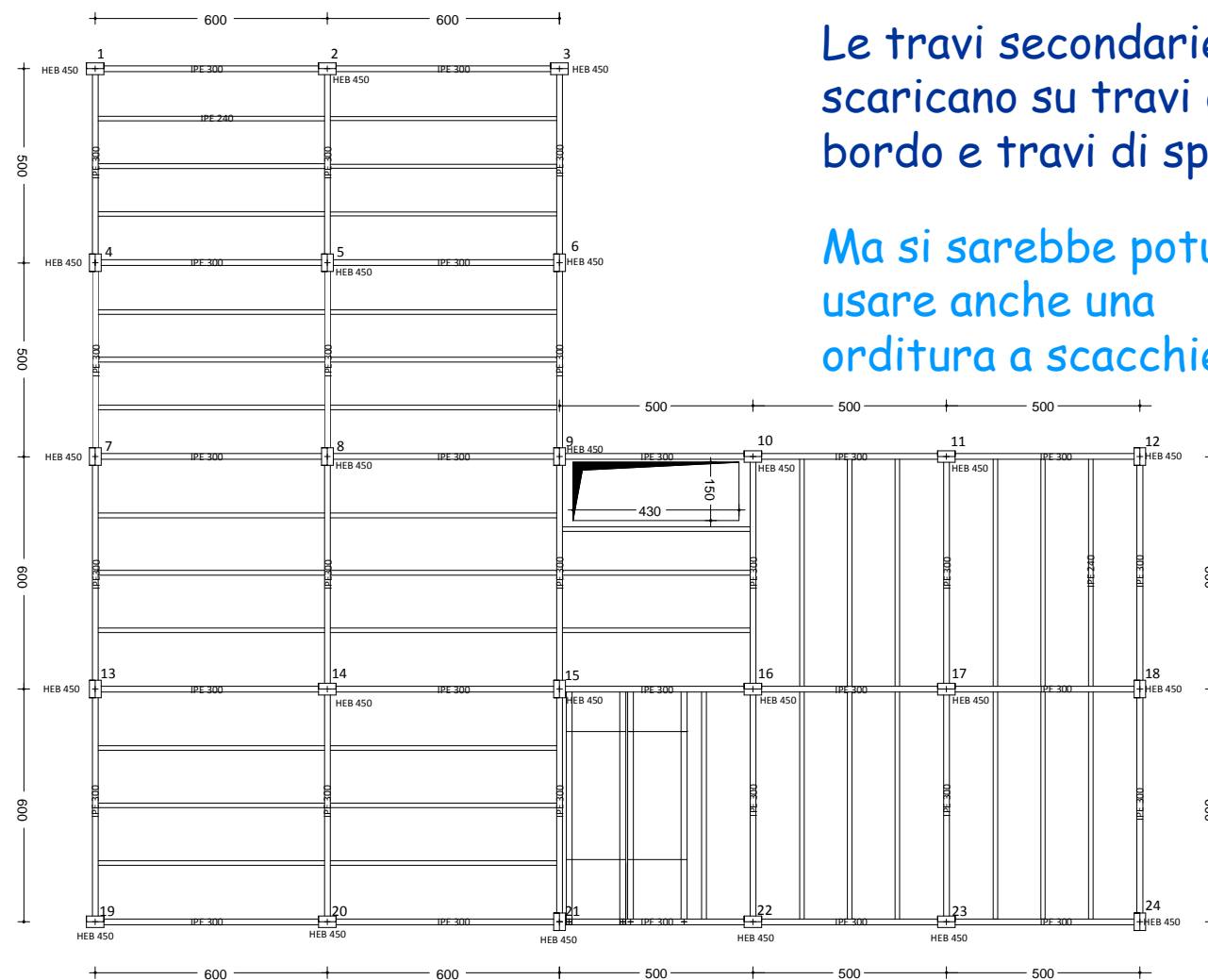


# Esempio - pianta architettonica



Le colonne possono  
essere disposte con  
scansione molto  
regolare

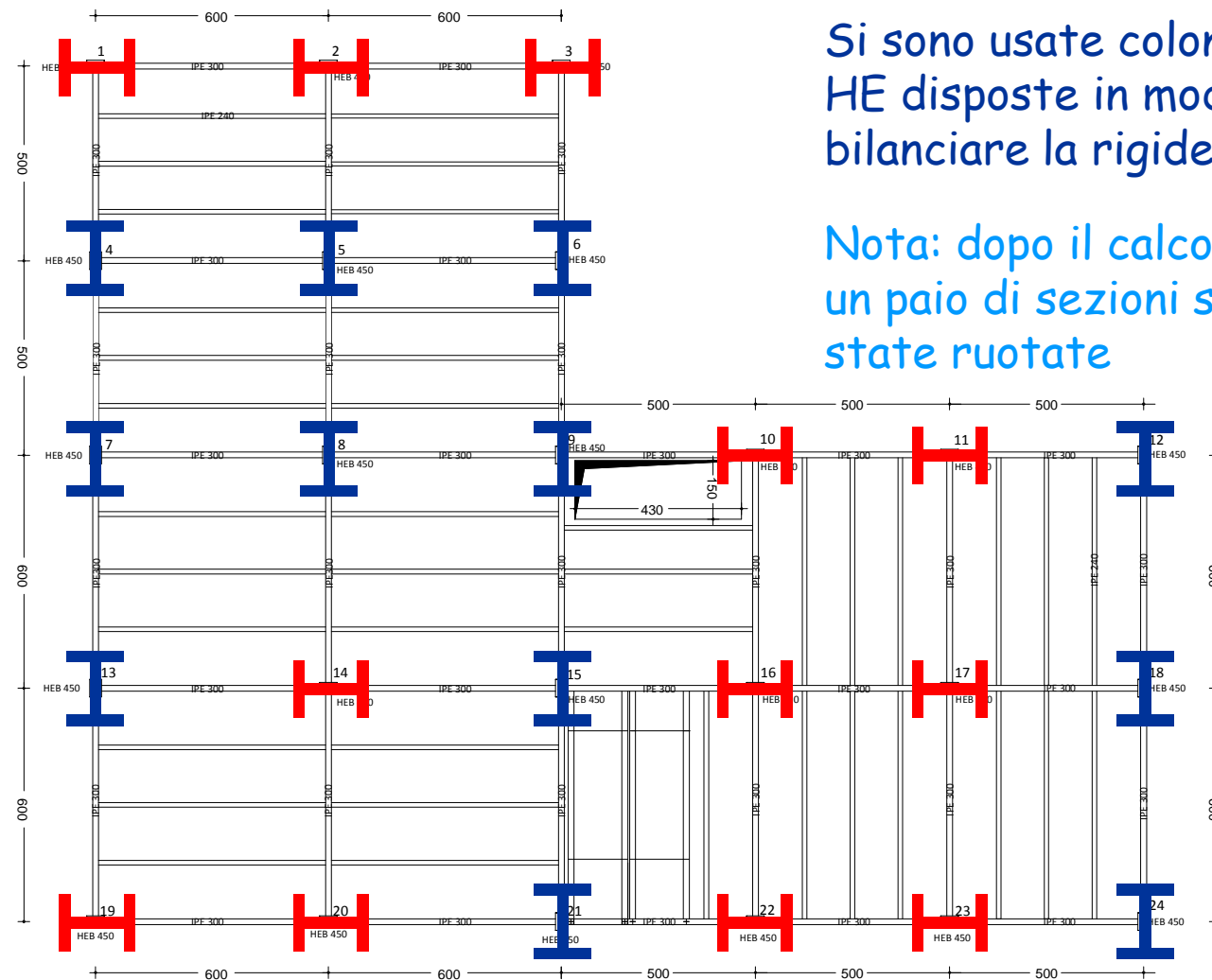
# Esempio - carpenteria



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

Ma si sarebbe potuto  
usare anche una  
orditura a scacchiera

# Esempio - carpenteria



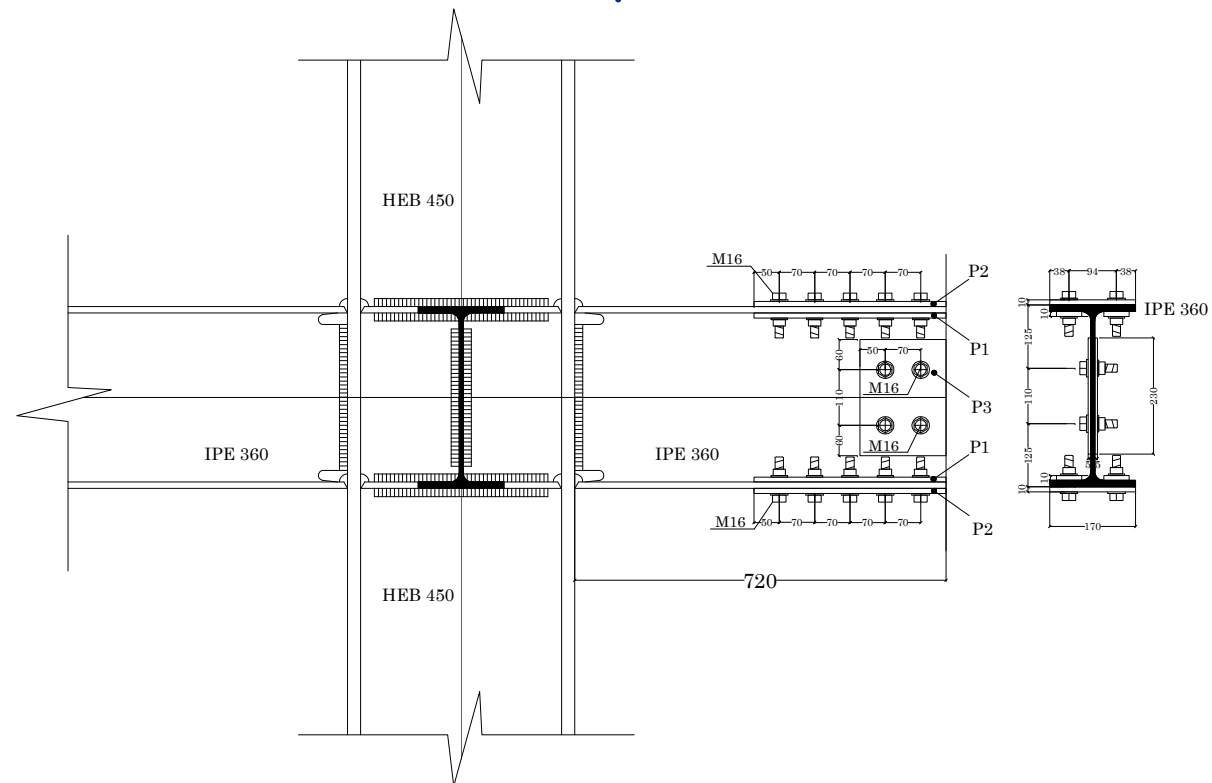
Si sono usate colonne HE disposte in modo da bilanciare la rigidezza

Nota: dopo il calcolo un paio di sezioni sono state ruotate



# 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

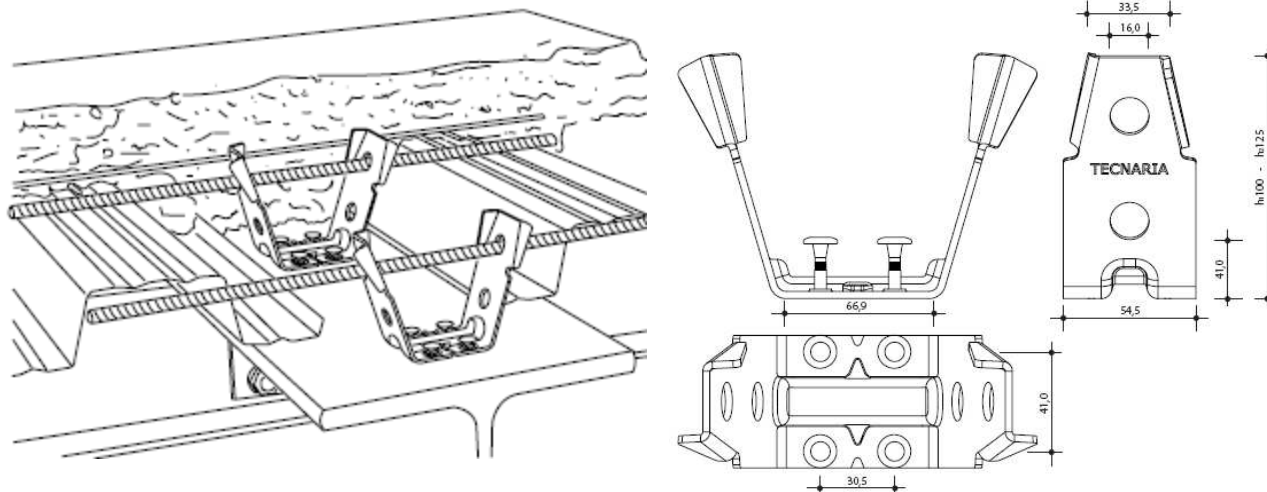


# Impalcato

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  $d_{rp}$

# 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

		$\gamma g1$	1.3	$\gamma g2, \gamma q$	1.5			
						Totale		
Categ.		g1k	g2k	qk	$\psi 2$	in assenza di sisma	in presenza di sisma	
A	solaio piano tipo	3.55		3.0	0.3	9.12	4.45	kN/m <sup>2</sup>
	solaio tipo, incid. tramezzi		0.6			0.90	0.60	kN/m <sup>2</sup>
C2	scala	4.0		4.0	0.6	11.20	6.40	kN/m <sup>2</sup>
	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 carichi sulle travi e momento flettente, stima

<b>Carichi verticali</b>									
Stima dei momenti flettenti nelle travi per effetto dei carichi verticali									
<b>stima q</b>									
	sviluppo	g1k	g2k+qk		Acciaio adottato		S275		
solaio	6.00	21.3	21.6		f <sub>y</sub>	275	MPa		
p.p. trave		0.6			E	210000	MPa		
Totale		21.9	21.6						
gd+qd	60.83	kN/m							
<b>stima M</b>					<b>limiti freccia</b>				
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 <sup>2</sup> / 10	219.0	kNm							

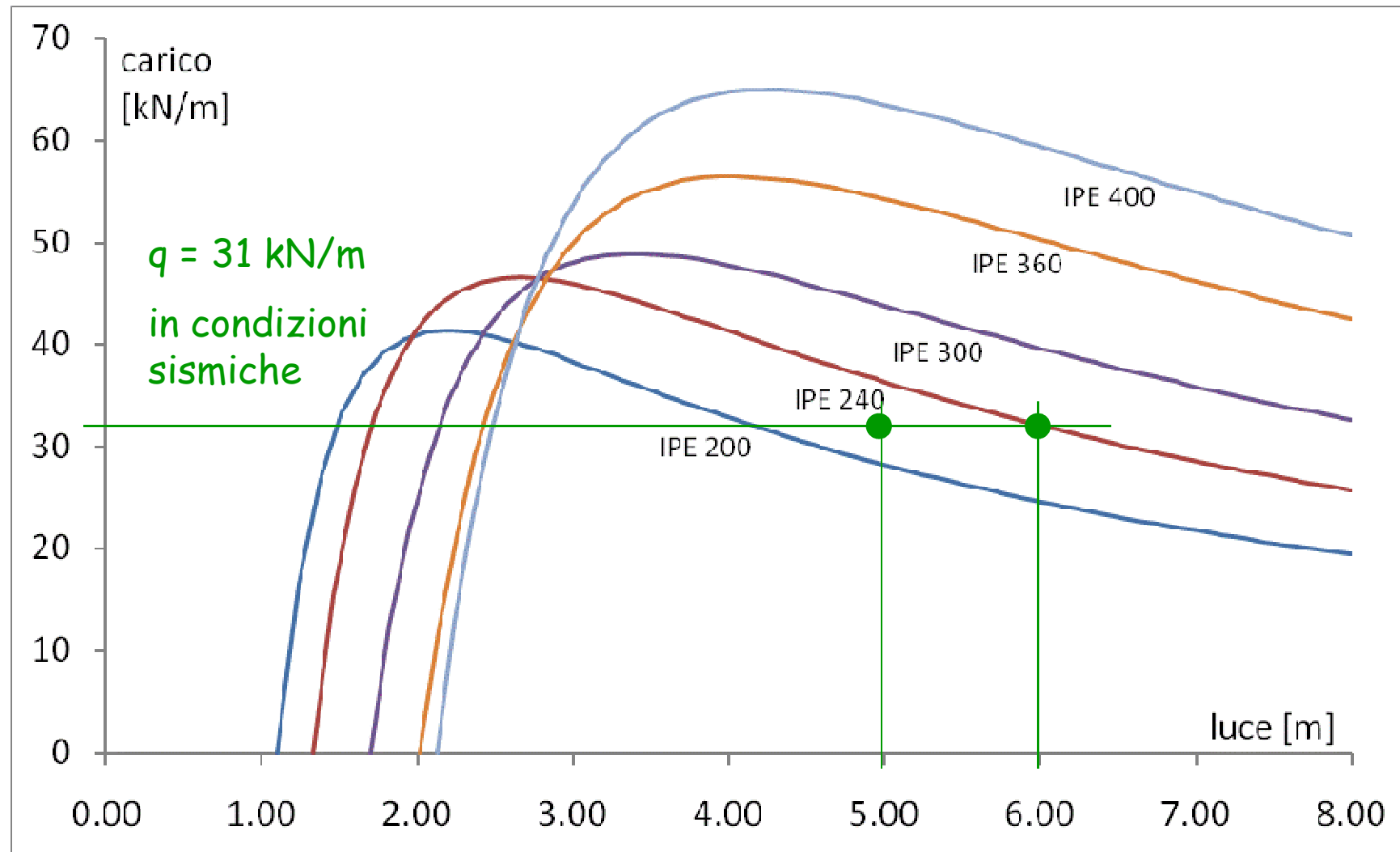
# Dimensionamento scelta della sezione della trave

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 l <sup>2</sup> / 10	219.0	kNm									
					Controllo freccia				Controllo momento		
					appoggiata		incastrata				
		$I_x$ [cm <sup>4</sup> ]	fr. g+q	freccia q	fr. g+q	freccia q		$W_{pl,x}$ [cm <sup>3</sup> ]	$M_{pl} = W_{pl} f_y / \gamma_{mo}$ [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	

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÷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.=1,15)	47.61	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	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	
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	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

	$\gamma_{g1}$	$\gamma_{g2}$	$\gamma_q$							
	1.3	1.5	1.5							
	1	0	0							
						$G_{2d+}$		$G_{2k+}$	SLU	SLU
<b>Elemento</b>	$G_{1k}$	$G_{2k}$	$Q_k$	$\psi_2$	$G_{1d}$	$Q_d$	$G_{1k}$	$\psi_2 Q_k$	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			
	$g1k$	$g2k+\psi2 \text{ qk}$	$g1d +$ $g2d+qd$	$g1k +$ $g2k+\psi2 \text{ qk}$	$g1k$	$g2k+\psi2 \text{ qk}$	$g1d +$ $g2d+qd$	$g1k +$ $g2k+\psi2 \text{ qk}$	$g1k$	$g2k+\psi2 \text{ qk}$	$g1d +$ $g2d+qd$	$g1k +$ $g2k+\psi2 \text{ qk}$
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