

**Università di Trieste**  
**Dipartimento di Ingegneria e Architettura**

**Corso di**  
**Costruzioni in Legno**  
**a.a. 2018-2019**

**SISTEMI DI CONTROVENTO**

***Prof. Ing. Natalino Gattesco***

## **SISTEMI DI CONTROVENTO**

*Tutte le costruzioni civili sono soggette oltre ai carichi verticali dovuti al peso proprio ed ai sovraccarichi anche ad azioni orizzontali dovute al vento o al sisma. Di conseguenza è necessario prevedere opportuni sistemi di controvento atti a sopportare tali azioni orizzontali.*

*Le strutture in legno, soprattutto quelle in legno lamellare per edifici sportivi e di culto, prevedono sistemi di controvento costituiti da aste tese o compresse disposte in direzione diagonale.*

*Le strutture intelaiate in legno usate prevalentemente nell'edilizia residenziale sono frequentemente controventate mediante pannelli in compensato o pannelli di scaglie di legno orientate OSB (Oriented Strand Boards). Questo sistema consente, quindi, di sfruttare il materiale di tamponamento per controventare l'edificio.*

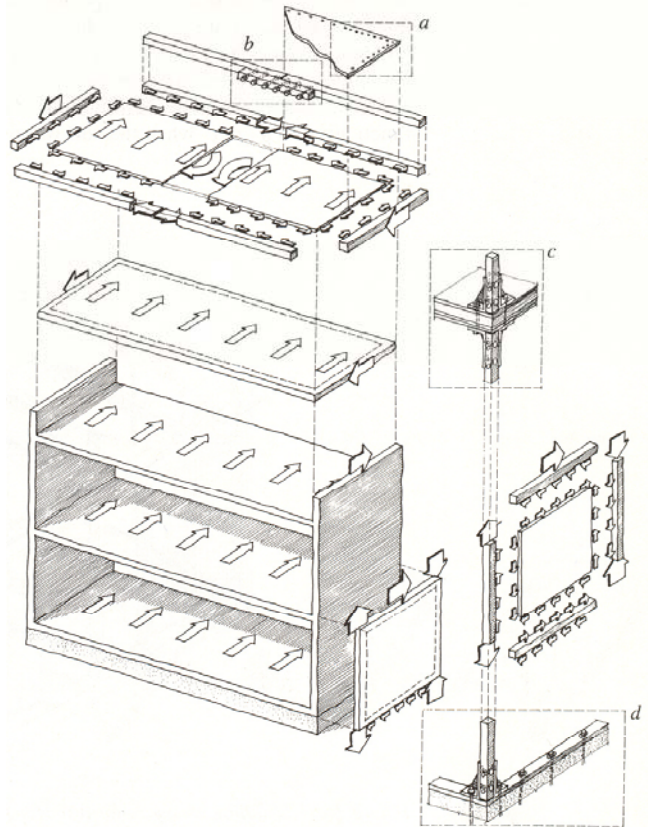
## SISTEMI DI CONTROVENTO

*In particolare un edificio soggetto all'azione del vento prevede pressioni e depressioni sulle pareti e sulla copertura.*

*Tali pressioni aggiungono sollecitazioni flessionali (fuori piano) ai singoli elementi.*

*Ma gli elementi devono possedere un'adeguata capacità a sopportare azioni agenti nel proprio piano:*

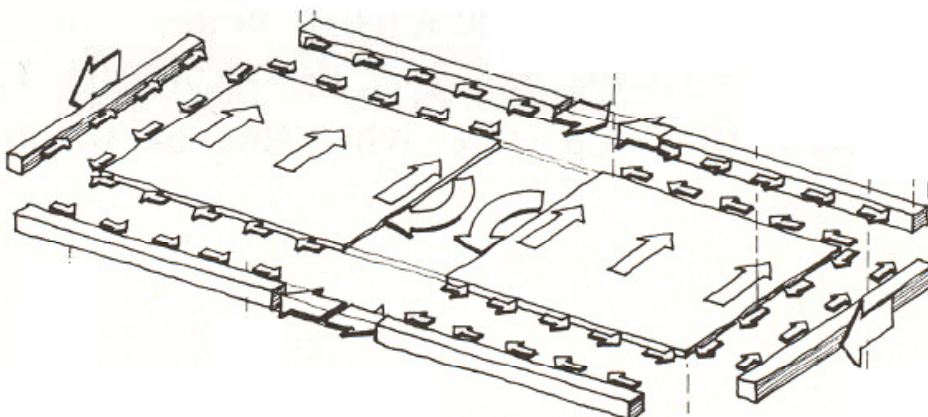
- *i solai devono essere in grado di trasferire le forze orizzontali alle pareti di taglio;*
- *le pareti devono essere in grado di trasferire le reazioni dei solai alle fondazioni.*



## DIAFRAMMA ORIZZONTALE

*Gli elementi impegnati sono:*

- *corrente compresso*
- *corrente teso*
- *pannelli sottoposti a sforzo tagliante*
- *unione dei pannelli con i correnti longitudinali e trasversali*



# DIAFRAMMA ORIZZONTALE

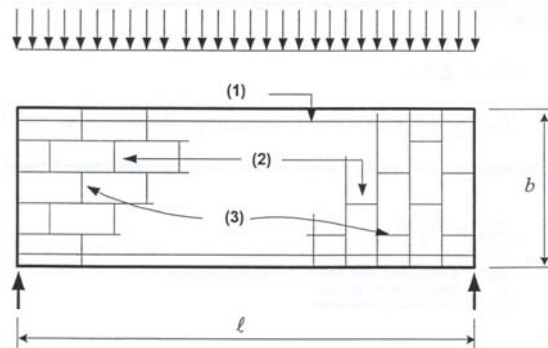
## Forza nei correnti compresso e teso

L'azione orizzontale viene considerata come una forza uniformemente distribuita che agisce sul diaframma, che funziona come trave alta.

$$F_{c,d} = F_{t,d} = \frac{M_{max,d}}{b}$$

$M_{max,d}$  è il momento massimo

$b$  è l'altezza del diaframma



## Forza di scorrimento all'interfaccia tra i correnti ed il pannello

$$q_{f,d} = \frac{F_{v,d}}{b_c}$$

$F_{v,d}$  è il taglio massimo

$b_c$  è la distanza tra i baricentri dei correnti

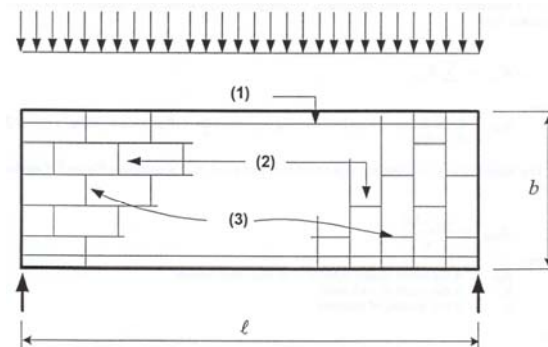
# DIAFRAMMA ORIZZONTALE

## Forza di scorrimento massima nel pannello

Il pannello deve essere in grado di trasferire il taglio alle pareti di taglio per cui deve sopportare la forza di scorrimento

$$v_d = \frac{F_{v,d}}{b}$$

$F_{v,d}$  è il taglio massimo



## Verifica delle unioni con connettori meccanici a taglio

Il passo dei connettori deve soddisfare la relazione

$$s = \frac{R_{f,d}}{v_d}$$

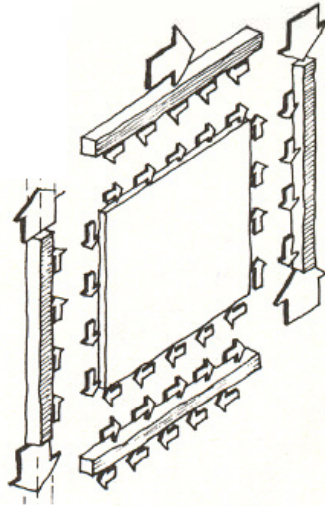
$R_{f,d}$  è la resistenza di calcolo di un connettore

In prossimità dei bordi del pannello si può considerare una capacità portante per i connettori amplificata del 20%.

## PARETE DI TAGLIO

Gli elementi impegnati sono:

- corrente verticale compresso
- corrente verticale teso
- pannelli sottoposti a forza tagliante
- unione dei pannelli con i correnti verticali e orizzontali



## PARETE DI TAGLIO

Si determina la forza orizzontale relativa ad ogni parete operando la ripartizione dell'intera forza orizzontale fra le varie pareti di taglio proporzionalmente alle rigidezze delle stesse.

La capacità portante della parete di taglio è data dalla somma delle resistenze dei singoli pannelli che compongono la parete

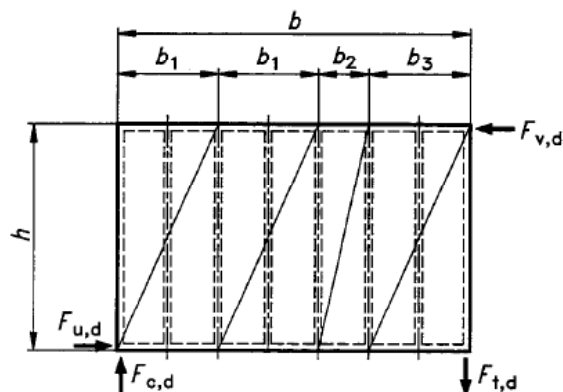
$$R_{v,d} = \sum R_{iv,d}$$

$$R_{iv,d} = \frac{R_{f,d} b_i c_i}{s}$$

$R_{f,d}$  è la resistenza di calcolo di un connettore

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{per } b_i \geq \frac{h}{2} \\ \frac{b_i}{b_o} & \text{per } b_i < \frac{h}{2} \end{cases}$$

$$b_o = h/2$$



a) Esempio di pannello-parete

## PARETE DI TAGLIO

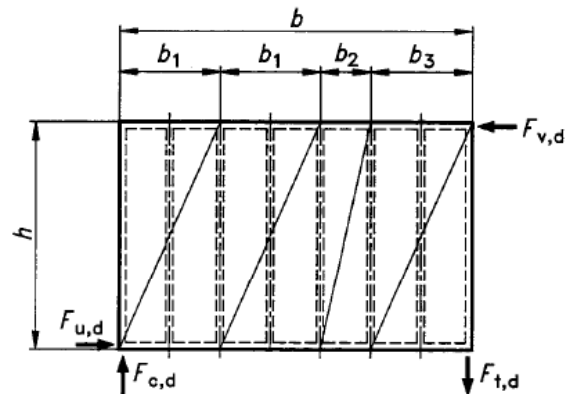
I montanti compressi devono essere dimensionati per sopportare una forza pari a:

$$F_{c,d} = \begin{cases} 0.67 F_{v,d} h/b & \text{per fogli su entrambe le facce} \\ 0.75 F_{v,d} h/b & \text{per fogli su una sola faccia} \end{cases}$$

I montanti tesi devono essere dimensionati per sopportare una forza pari

$$F_{t,d} = \frac{F_{v,d} h}{b}$$

Le unioni del pannello con la fondazione devono essere in grado di trasferire l'intera azione tagliante alla base del pannello.



a) Esempio di pannello-parete

## Caratteristiche meccaniche pannelli a densità media MDF

Pannelli di fibra secondo EN 622-5: Pannelli di fibra a media densità – Pannelli per impieghi portanti per applicazioni in ambienti asciutti (MDFLA)

Spessore $t_{nom}$ in [mm]		> 1,8 a 12	> 12 a 19	> 19 a 30	> 30
Massa volumica caratteristica in [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho$	650	600	550	500
Valori di resistenza caratteristici in [N/mm <sup>2</sup> ]					
Flessione	$f_m$	21.0	21.0	21.0	19.0
Trazione	$f_t$	13.0	12.5	12.0	10.0
Pressione	$f_c$	13.0	12.5	12.0	10.0
Taglio trasversale al piano del pannello	$f_v$	6.5	6.5	6.5	5.0
Valori di rigidezza medi in [N/mm <sup>2</sup> ]					
Flessione	$E_m$	3700	3000	2900	2700
Trazione e compressione	$E_{tr}, E_c$	2900	2700	2000	1600
Taglio trasversale	$G_v$	800	800	800	600

## Caratteristiche meccaniche pannelli a densità media MDF

Pannelli di fibra secondo EN 622-5: Pannelli di fibra a media densità – Pannelli per impieghi portanti per applicazioni in ambienti umidi (MDF.HLS)

Spessore $t_{nom}$ in [mm]		> 1,8 a 12	> 12 a 19	> 19 a 30	> 30
Massa volumica caratteristica in [kg/m <sup>2</sup> ]	$\rho$	650	600	550	500
Valori di resistenza caratteristici in [N/mm <sup>2</sup> ]					
Flessione	$f_m$	22.0	22.0	21.0	18.0
Trazione	$f_t$	18.0	16.5	16.0	13.0
Pressione	$f_c$	18.0	16.5	16.0	13.0
Taglio trasversale al piano del pannello	$f_v$	8.5	8.5	8.5	7.0
Valori di rigidità medi in [N/mm <sup>2</sup> ]					
Flessione	$E_m$	3700	3200	3100	2800
Trazione e pressione	$E_t, E_c$	3100	2800	2700	2400
Taglio trasversale	$G_v$	1000	1000	1000	800

## Caratteristiche meccaniche pannelli di scaglie OSB

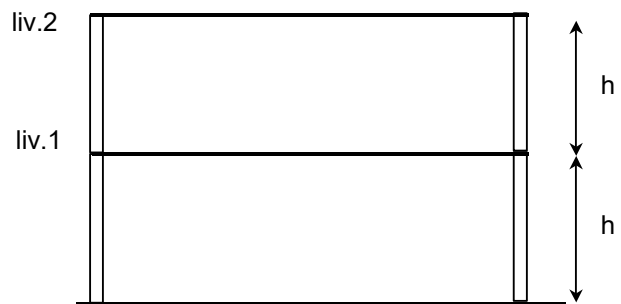
Spessore $t_{nom}$ in [mm]			>8 a 10	>10 a 18	>18 a 25	>8 a 10	>10 a 18	>18 a 25
Massa volumica caratteristica in [kg/m <sup>2</sup> ]	$\rho$		650	600	550	800	750	700
Valori di resistenza in [N/mm <sup>2</sup> ]								
Sollecitazione pannello								
Flessione	$f_{m,k}$	0	15.0	13.0	12.0	18.7	16.6	14.6
		90	7.5	6.5	6.0	9.4	8.3	7.3
Taglio trasversale al piano del pannello	$f_{v,k}$	0	1.6			2.0		
		90	0.8			1.0		
Sollecitazione lastra								
Flessione	$f_{m,k}$	0	11.4	10.0	8.4	14.4	12.6	10.6
		90	5.7	5.0	4.2	7.2	6.3	5.3
Trazione	$f_{t,k}$	0	10.0	9.0	8.0	12.6	11.4	10.0
		90	5.0	4.5	4.0	6.3	5.7	5.0
Compressione	$f_{c,k}$	0	12.0	11.0	10.0	15.0	13.8	12.6
		90	6.0	5.5	5.0	7.5	6.9	6.3
Taglio (flessione tangenz.)	$f_{v,k}$	0	7.2			9.0		
		90	3.6			4.5		
Valori di rigidità in [N/mm <sup>2</sup> ]								
Sollecitazione pannello								
Modulo di elasticità	$E_{mean}$	0	3750	3300	2800	4700	4200	3500
		90	1850	1650	1400	2350	2100	1750
Modulo di taglio	$G_{mean}$	0	200			250		
		90	100			125		
Sollecitazione lastra								
Modulo di elasticità	$E_{mean}$	0	2200	2000	1700	2760	2500	2100
		90	1100	1000	850	1380	1250	1050
Modulo di taglio	$G_{mean}$	0	1100	1000	850	1400	1260	1100
		90	550	500	430	700	630	550

# Caratteristiche meccaniche pannelli di compensato

Solllecitazione	parallela alla direzione di fibratura degli strati esterni					perpendicolare alla direzione di fibratura degli strati esterni					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Classe											
<b>Valori di resistenza in [N/mm<sup>2</sup>]</b>											
Solllecitazione pannello											
Flessione	$f_{m,k}$	40	45	51	58	66	38	33	27	18	11
Taglio	$f_{v,k}$	3.5					3.5				
Solllecitazione lastra											
Flessione	$f_{m,k}$	29	36	36	43	36	31	29	24	20	24
Trazione	$f_{t,k}$	29	36	36	43	36	31	29	24	20	24
Compressione	$f_{c,k}$	21	26	26	31	26	22	21	17	14	17
Taglio	$f_{v,k}^{2)}$	11 (8)					11 (8)				
<b>Valori di rigidezza in [N/mm<sup>2</sup>]</b>											
Solllecitazione pannello											
Modulo elasticità	$E_{mean}$	5900	6600	7400	8700	9600	4000	3800	2850	1500	650
Modulo di taglio	$G_{mean}$	400					400				
Solllecitazione lastra											
Modulo elasticità	$E_{mean}$	4400	5500	5500	6600	5500	4700	4400	3650	3000	3700
Modulo di taglio	$G_{mean}$	700					700				
<b>Valori di Massa volumica in [kg/m<sup>3</sup>]</b>											
Massa volumica	$\rho_k$	600									

## ESEMPIO CONTROVENTI

a =	6 m
b =	6 m
h =	2.7 m
$g_{liv1}$ =	2 kN/m <sup>2</sup>
$q_{liv1}$ =	2 kN/m <sup>2</sup>
$g_{liv2}$ =	1.2 kN/m <sup>2</sup>
$q_{liv2} = q_{neve}$ =	1.3 kN/m <sup>2</sup>
Classe di servizio:	II



Calcolo azione sismica

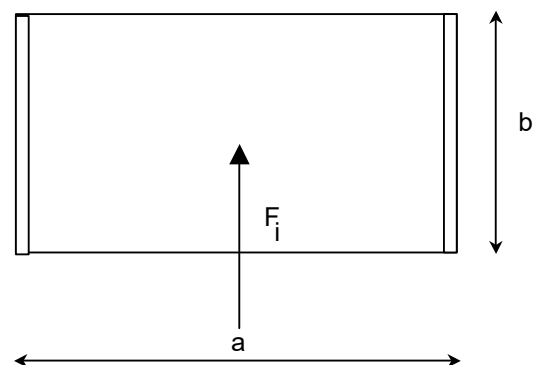
Hp. Comportamento dissipativo della struttura

Zona:	I
$a_g/g$	0.35 g
Cat. Suolo:	C
S =	1.25
q =	3
$S_d = a_g S_{2,5}/q =$	0.365 g

$$W_1 = (g_{liv1} + 0,3 * 0,5 q_{liv1}) ab = 82.8 \text{ kN}$$

$$W_2 = (g_{liv2} + 0,2 * 1 q_{liv2}) ab = 52.6 \text{ kN}$$

$$W_T = 135.4 \text{ kN}$$



**Taglio alla Base  $F_h$ :**

$$F_h = S_d * W_T$$

$$F_h = 49.4 \text{ kN}$$

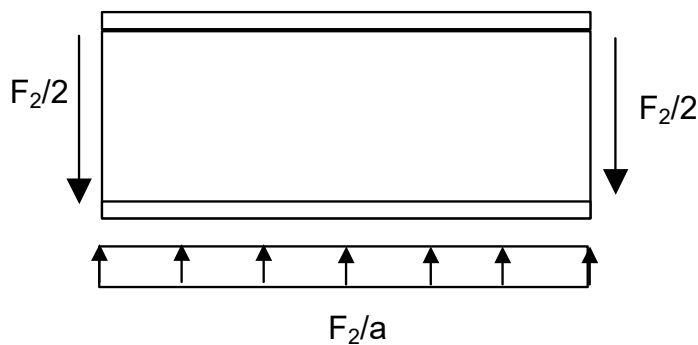
## ESEMPIO CONTROVENTI

Forze  $F_i$  ai diversi livelli:

$$F_i = F_h(z_i W_i) / (\sum z_i W_i)$$

	$z_i$	$W_i$	$z_i W_i$	$F_i/F_h$	$F_i$
	[m]	[kN]	[kNm]	[-]	[kN]
Liv. 2	5.4	52.56	283.82	0.56	<b>27.61</b>
Liv. 1	2.7	82.80	223.56	0.44	<b>21.74</b>
TOTALI		135.36	507.38		<b>49.35</b>

Verifica del diaframma orizzontale del livello 2



$$F_t = F_c = F_2 a / 8 / b = 3.45 \text{ kN}$$

## ESEMPIO CONTROVENTI

### Caratteristiche materiale pannello

OSB - Oriented Strand Board

$f_{m,k} =$	13.0 MPa
$f_{c,0,k} =$	11.0 MPa
$f_{t,0,k} =$	9.0 MPa
$f_{c,90,k} =$	5.5 MPa
$f_{v,k} =$	3.6 MPa
$E_{0,m} =$	3300 MPa
$E_{90,k} =$	1650 MPa
$G_m =$	200 MPa
$G_{90,m} =$	100 kg/m <sup>2</sup>
$\rho_k =$	600 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_M =$	1.30 -

### Caratteristiche materiale correnti

Legno di abete classe C22

$f_{m,k} =$	22.0 MPa
$f_{c,0,k} =$	20.0 MPa
$f_{t,0,k} =$	13.0 MPa
$f_{c,90,k} =$	5.1 MPa
$f_{v,k} =$	2.4 MPa
$E_{0,m} =$	10000 MPa
$E_{0,k} =$	6700 MPa
$G_m =$	630 MPa
$\rho_m =$	340 kg/m <sup>2</sup>
$\rho_k =$	410 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_M =$	1.30 -



## ESEMPIO CONTROVENTI

### Verifica correnti teso e compresso

$k_{mod} =$	(Carico istantaneo)	1.1
$f_{t,0,d} = k_{mod} f_{t,0,k} / \gamma_M =$		7.6 MPa
$A = 120 * 200$		24000 mm <sup>2</sup>
$\sigma_{t,0,d} = F_t / A =$		0.14 MPa

### Verifica allo scorrimento

$v = F_2 / b =$	4.60 kN/m
$\tau = v / t_1$	<b>0.26 MPa</b> $< k_{mod1} f_{v,k} / \gamma_{M1}$

### Unione pannelli-legno a 1 sezione resistente

#### Caratteristiche elemento 1

OSB

$t_1 =$	18 mm
$\rho_{k1} =$	600 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_{M1} =$	1.30 -
$k_{mod1} =$	1.10

#### Caratteristiche elemento 2

Legno di abete classe C22

$t_2 =$	50 mm
$\rho_{k2} =$	340 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_{M2} =$	1.30 -
$k_{mod2} =$	1.10

#### Caratteristiche viti

Classe:	4.8
$f_{u,k} =$	400 MPa
$d_{ef} =$	5 mm
$\gamma_s =$	1.1

## ESEMPIO CONTROVENTI

### Verifica resistenza unione

$f_{h,1,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_{k1} =$	46.7 MPa
$f_{h,2,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_{k2} =$	27.6 MPa
$M_{y,k} = 0.24 f_{u,k} d^{2,7} =$	7404 Nmm
$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k} =$	0.590
$R_{k1} =$	(ovalizzazione elem. 1) 4.21 kN
$R_{k2} =$	(ovalizzazione elem. 2) 6.89 kN
$R_{k3} =$	(rotazione rigida vite) 2.54 kN
$R_{k4} =$	(cerniera pastica elem. 1) 1.60 kN
$R_{k5} =$	(cerniera pastica elem. 2) 2.64 kN
$R_{k6} =$	(due cerniere plastiche) 1.76 kN
$R_d = \min\{R_{k_i}\} k_{mod1} / \gamma_{M1}$	1.35 kN
Fattore di amplificazione 1,2	
$R_{singola\ vite} =$	1.62 kN
Passo delle viti	
$s = R_d / v =$	<b>0.35 m</b>

# ESEMPIO CONTROVENTI

## Verifica del diaframma verticale

### Unione pannelli-legno a 1 sezione resistente

#### Caratteristiche elemento 1

OSB

$t_1 =$	15 mm
$\rho_{k1} =$	600 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_{M1} =$	1.30 -
$k_{mod1} =$	1.10

#### Caratteristiche elemento 2

Legno di abete classe C22

$t_2 =$	40 mm
$\rho_{k2} =$	340 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_{M2} =$	1.30 -
$k_{mod2} =$	1.10

#### Caratteristiche chiodi

Chiodi ad aderenza migliorata

$f_{u,k} =$	400 MPa
$d =$	3 mm
$\gamma_s =$	1.1

# ESEMPIO CONTROVENTI

## Verifica resistenza unione

$f_{h,0,k,1} = 0,0082(d)^{-0,3} \rho_{k1} =$		35.4 MPa
$f_{h,0,k,2} = 0,0082(d)^{-0,3} \rho_{k2} =$		20.1 MPa
$M_{y,k} = 180 f_{u,k} d^{2,6} / 600 =$		2088 Nmm
$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k} =$		0.567
$R_{k1} =$	(ovalizzazione elem. 1)	1.59 kN
$R_{k2} =$	(ovalizzazione elem. 2)	2.41 kN
$R_{k3} =$	(rotazione rigida vite)	0.90 kN
$R_{k4} =$	(cerniera pastica elem. 1)	0.59 kN
$R_{k5} =$	(cerniera pastica elem. 2)	0.93 kN
$R_{k6} =$	(due cerniere plastiche)	0.85 kN
$R_d = \min \{R_{ki}\} k_{mod1} / \gamma_{M1}$		0.50 kN
Fattore di amplificazione 1,2		
$R_{\text{singolo chiodo}} = R_{fd} =$		0.60 kN

## ESEMPIO CONTROVENTI

$$R_{fd} = \mathbf{0.60 \text{ kN}}$$

$$b_1 = 1.2 \text{ m}$$

$$b = 1.2 \text{ m}$$

$$s = \mathbf{0.14 \text{ m}}$$

Foglio su una sola faccia

5 pannelli da 1,2 m a formare la parete

$$R_{v,d} = \Sigma R_{fd} b_i/s = 25.5 \text{ kN}$$

$$F_{sd} = (F_1 + F_2)/2 = 24.7 \text{ kN}$$

$$F_{sd} / R_{v,d} = \mathbf{0.97 \text{ kN}}$$

Forza sui montanti compressi

$$F_{sd} = 0,75 R_{v,d} h/b = 8.6 \text{ kN}$$

Forza sui montanti tesi

$$F_{sd} = R_{v,d} h/b = 11.5 \text{ kN}$$