



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI TRIESTE



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

**Corso di  
Progetto di Strutture – Modulo 2**

**COSTRUZIONI IN LEGNO  
CONTROVENTAMENTO EDIFICI**

***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.***

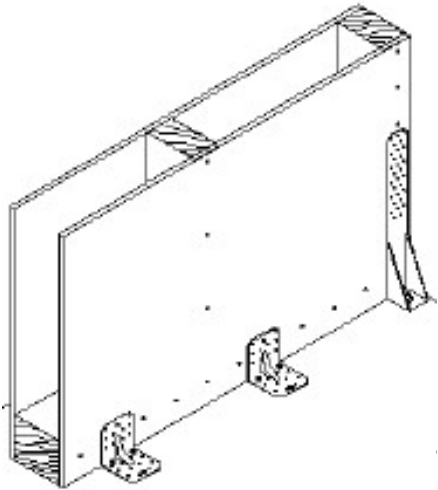
***Le strutture in legno, soprattutto quelle in legno lamellare per edifici sportivi e di culto, prevedono sistemi di controvento costituiti da aste tese o compresse disposte in direzione diagonale.***

***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.***

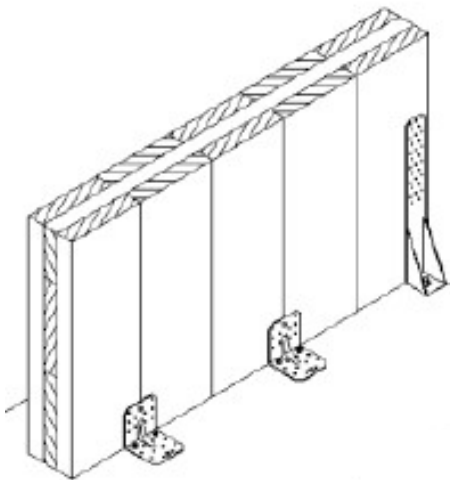
***Nelle costruzioni in lamellare incrociato CLT, i pannelli stessi costituiscono gli elementi di controvento.***

***In entrambi questi ultimi due casi sono richiesti opportuni sistemi di collegamento per far funzionare efficacemente il controventamento.***<sub>2</sub>

# SISTEMI COSTRUTTIVI DI EDIFICI A PARETI

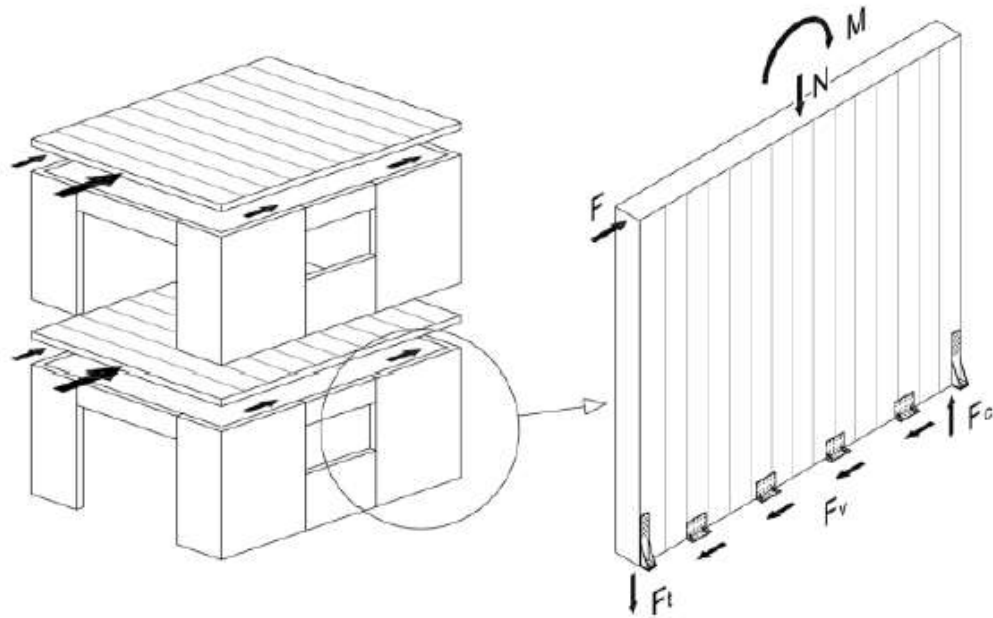


**Pareti a telaio leggero e solai a travi parallele e pannello superiore per edifici a pareti (*sistema platform-frame*)**

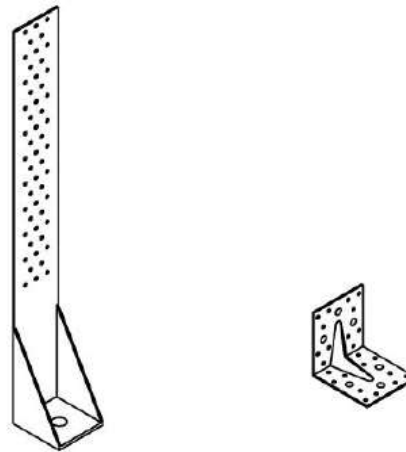


**Pareti e solai in pannelli CLT per edifici a pareti (*sistema CLT*)**

# SISTEMI DI CONTROVENTO

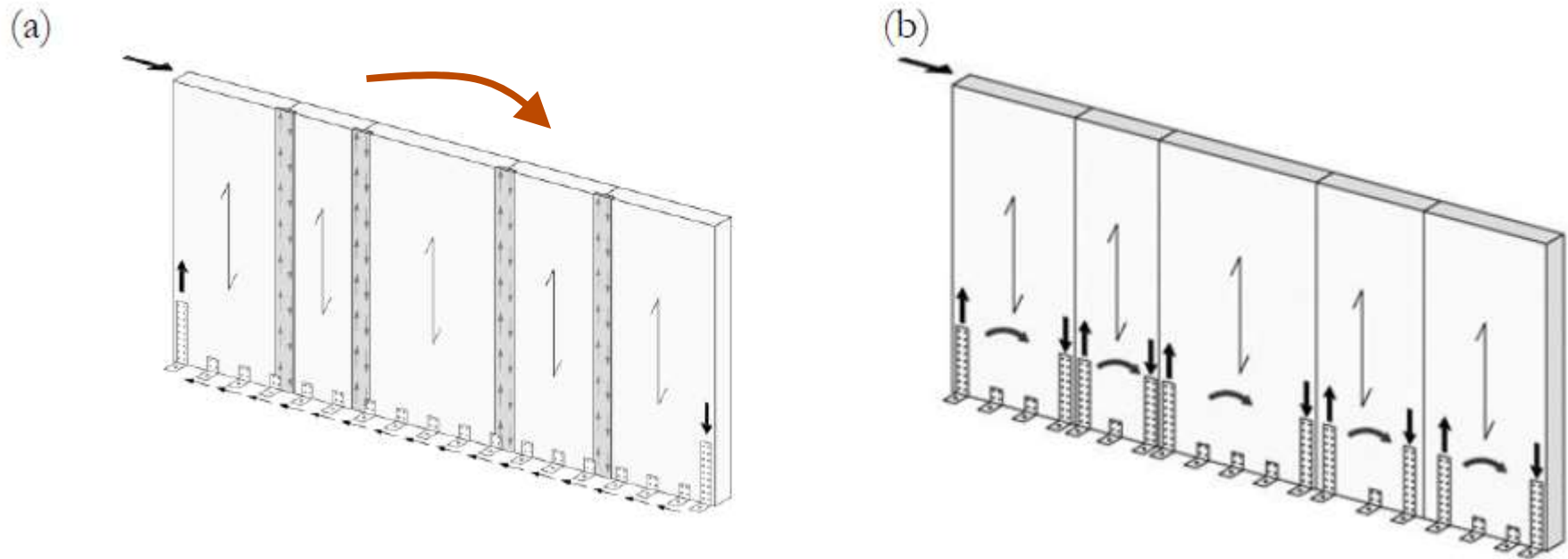


Trasmissione delle forze orizzontali mediante elementi metallici di ancoraggio a **trazione** (hold-down) e **a taglio** (angolari)



Sistemi di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)

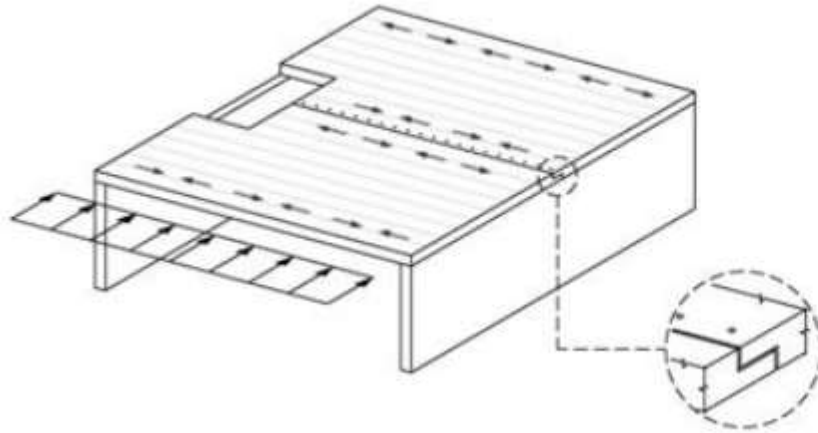
# SISTEMI DI CONTROVENTO



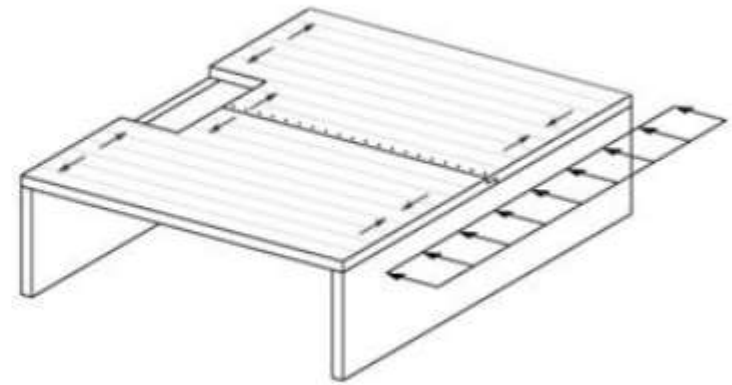
Distribuzione delle azioni interne in una parete realizzata mediante più pannelli XLAM nel caso di **presenza (a)** o **assenza di giunti verticali (b)**

# SISTEMI DI CONTROVENTO

(a)



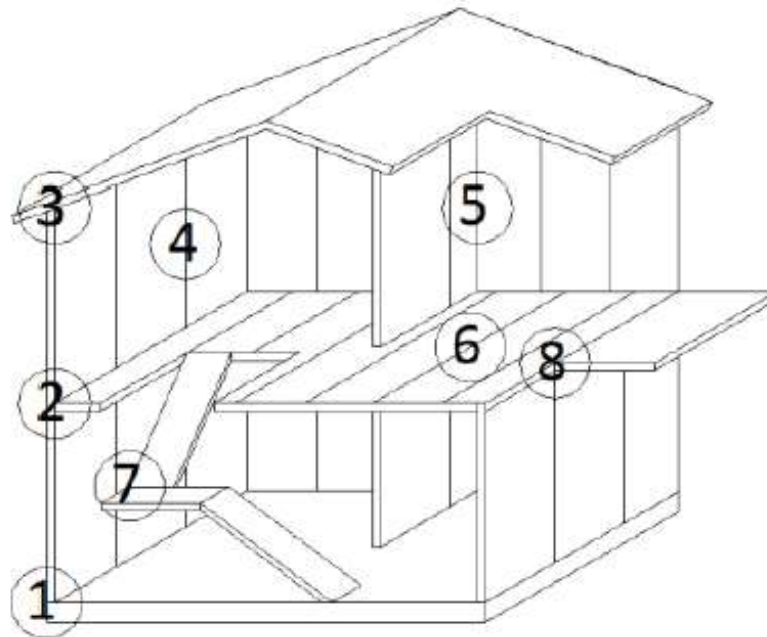
(b)



Distribuzione delle azioni interne in un diaframma realizzato con pannelli XLAM; azioni orizzontali agenti nelle due direzioni principali (a e b).

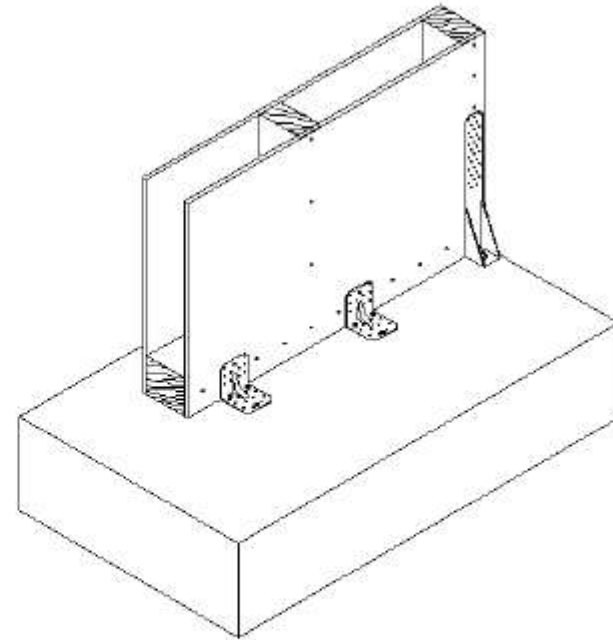
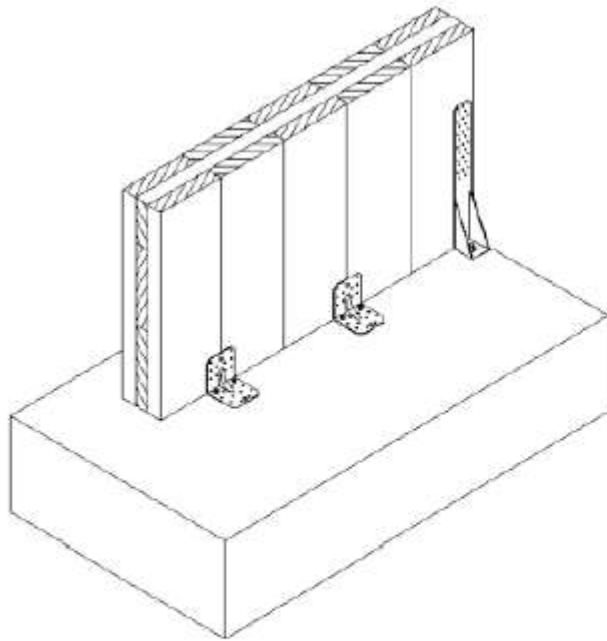
# COLLEGAMENTI

- Collegamenti tra pannelli verticali e diaframmi orizzontali (particolari 1, 2 e 3)
- Collegamenti tra pannelli verticali (particolari 4 e 5)
- Collegamenti tra pannelli orizzontali (particolare 6)
- Collegamenti relativi a scale e balconi (particolari 7 e 8)



Nodi strutturali principali in un edificio in legno

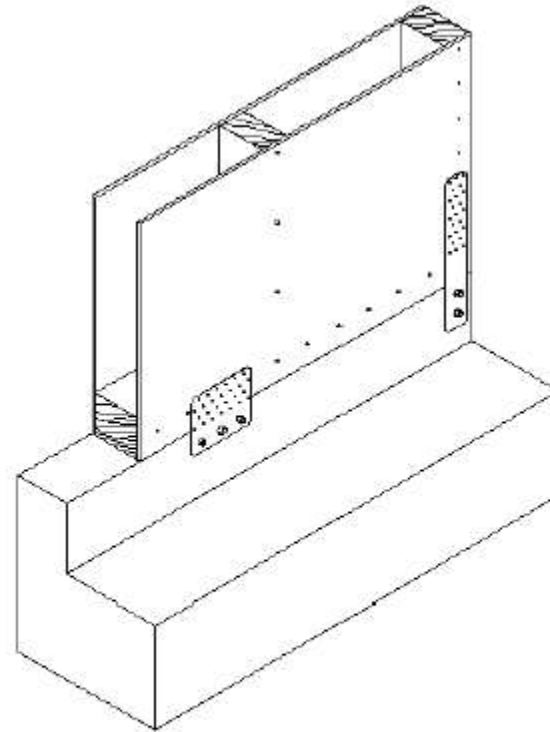
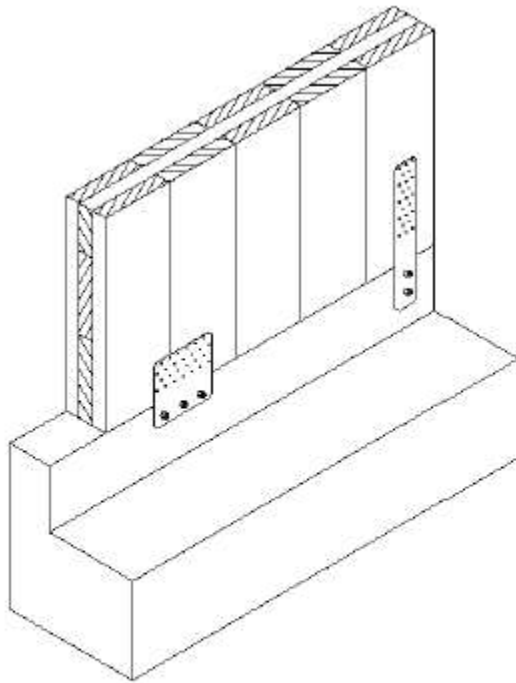
# COLLEGAMENTI



Appoggio diretto della parete in fondazione: collegamento a trazione mediante hold-down e a taglio mediante angolari metallici, rispettivamente per pannelli in XLAM e intelaiati

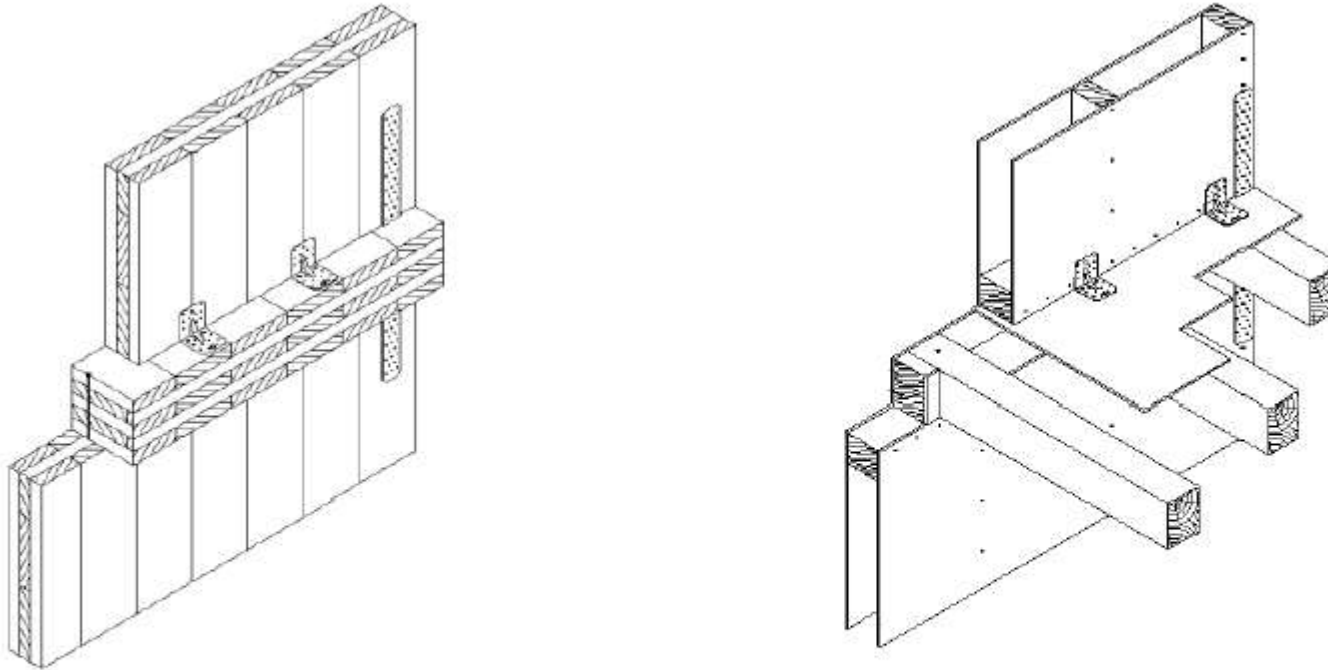


# COLLEGAMENTI



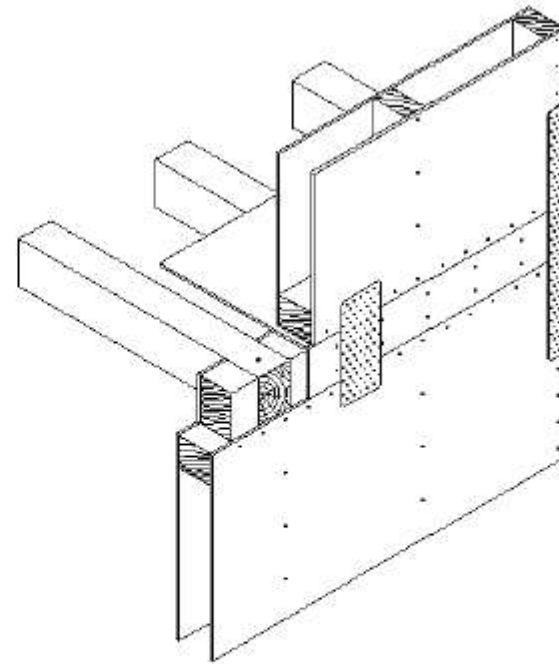
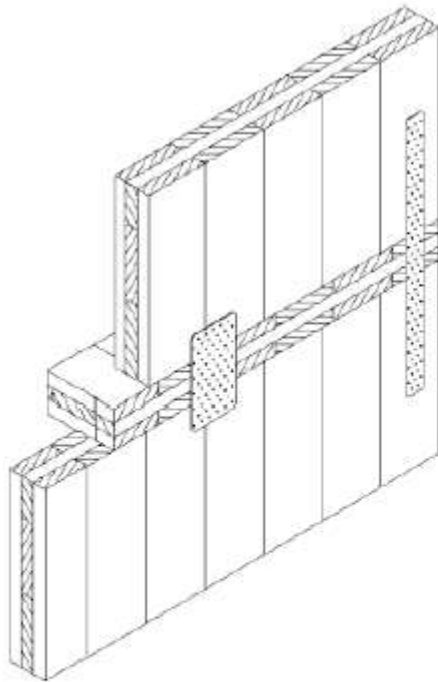
Appoggio della parete su zoccolo di fondazione: collegamento a trazione e a taglio mediante piastre forate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

# COLLEGAMENTI



Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante coppia di hold-down o nastro forato, collegamento a taglio tra parete superiore e solaio mediante angolari metallici, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

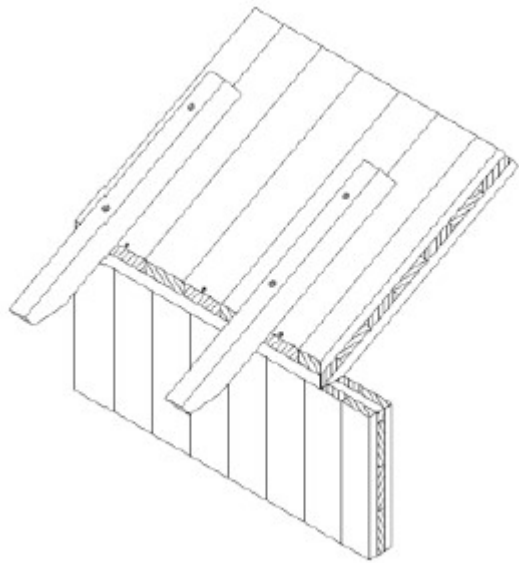
# COLLEGAMENTI



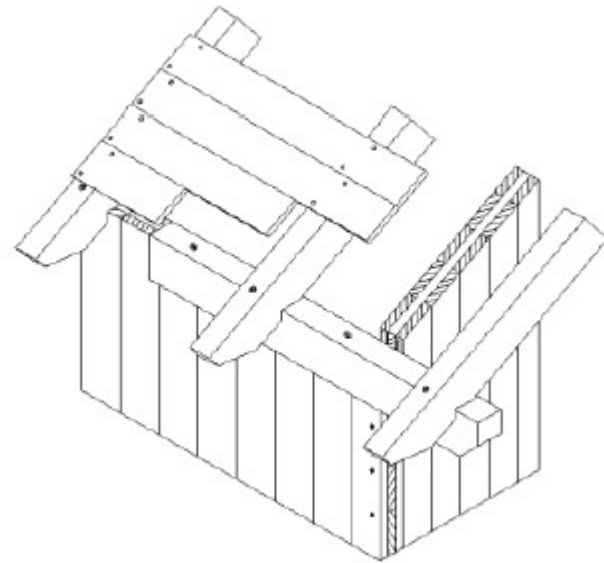
Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante nastri forati, collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore mediante piastre forate, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

# COLLEGAMENTI

## Edificio a pannelli XLAM



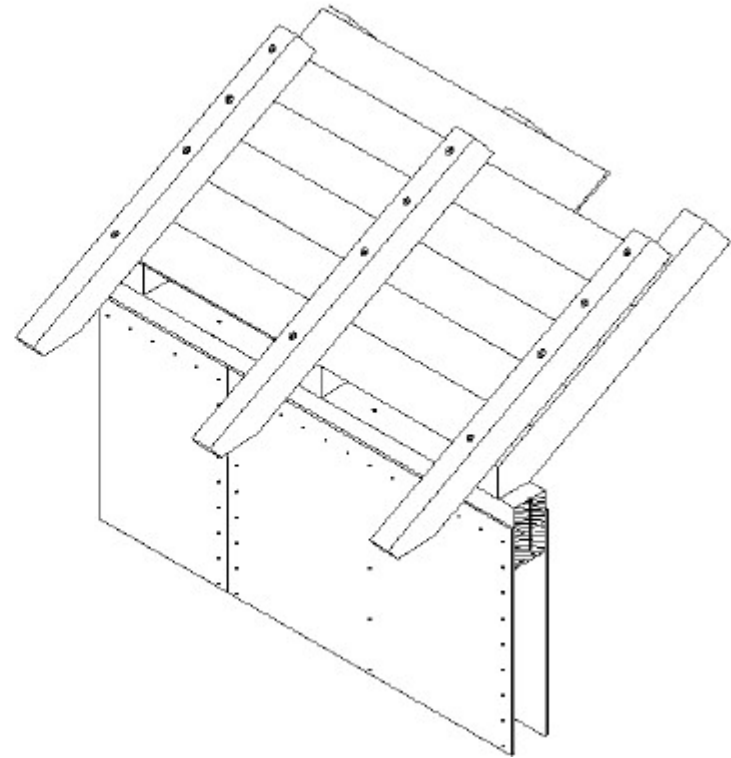
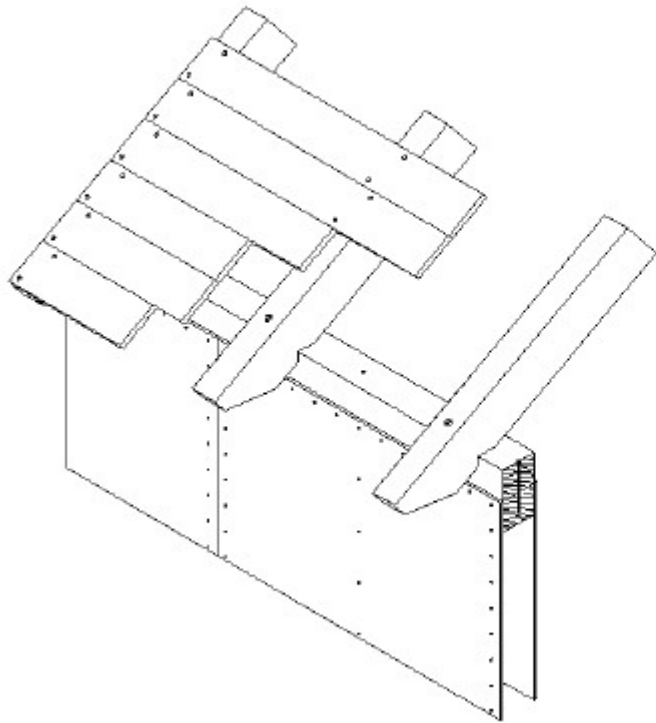
**Copertura a pannelli XLAM**



**Copertura a travetti**

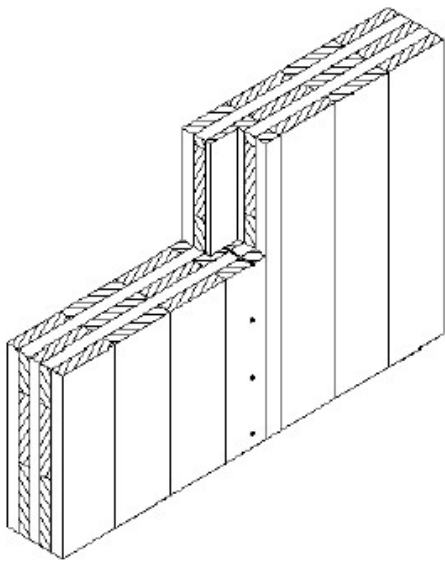
# COLLEGAMENTI

Edificio a pannelli con telaio leggero

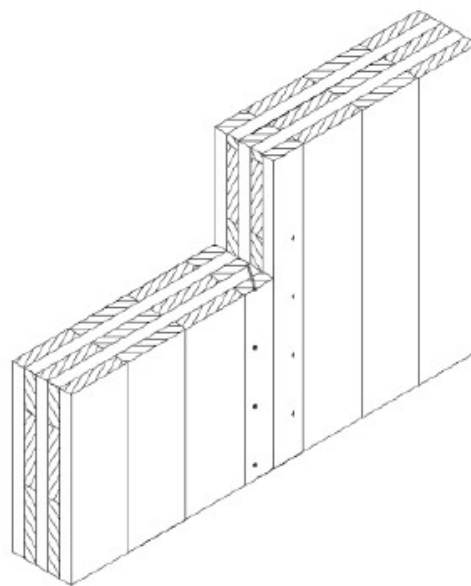


# COLLEGAMENTI

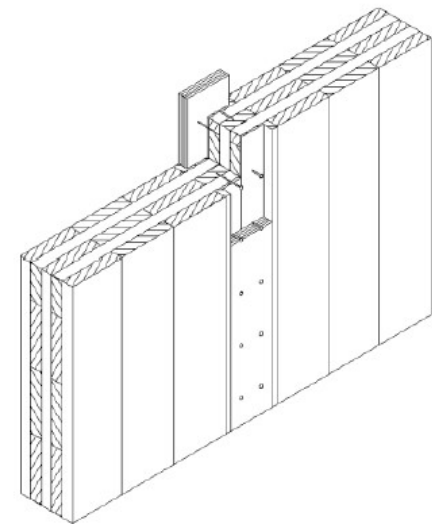
## Collegamento parete-parete XLAM



**Giunto a mezzo legno avvitato**



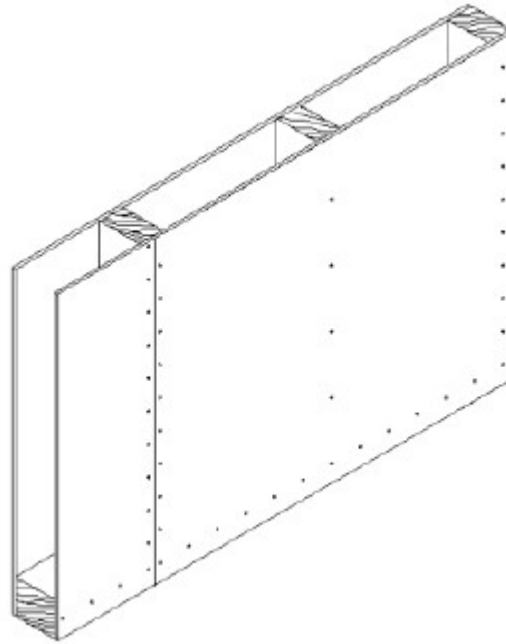
**Giunto con viti incrociate**



**Giunto con tavole coprigiunto  
in compensato**

# COLLEGAMENTI

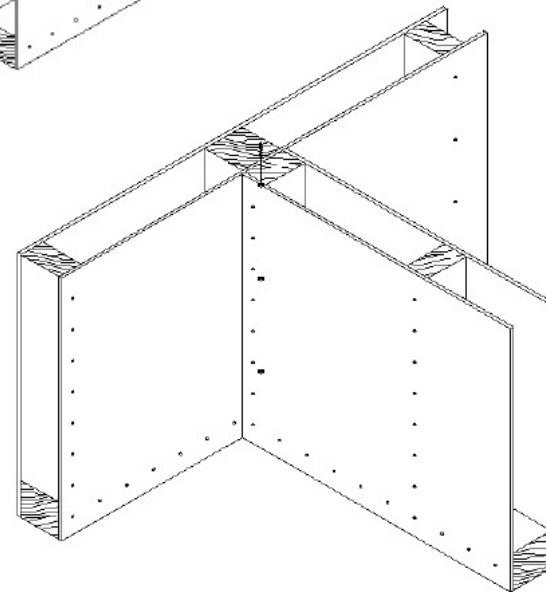
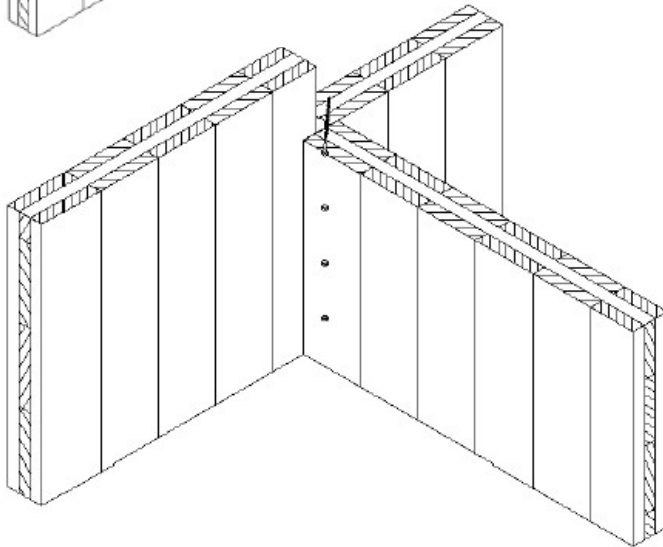
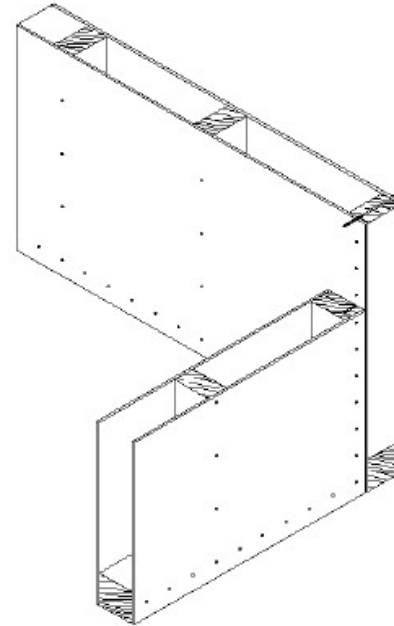
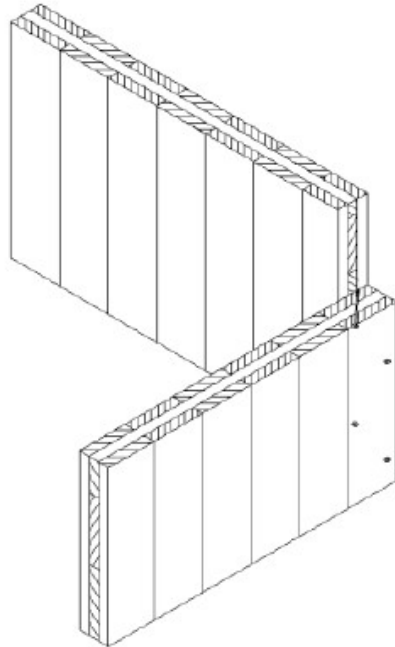
**Collegamento parete-parete telaio  
leggero**



**Giunto fogli di rivestimento**

# COLLEGAMENTI

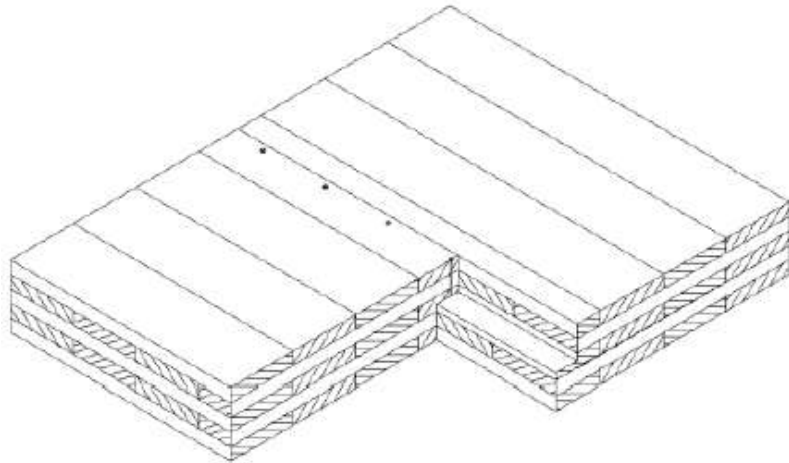
Collegamento tra pareti tra loro ortogonali



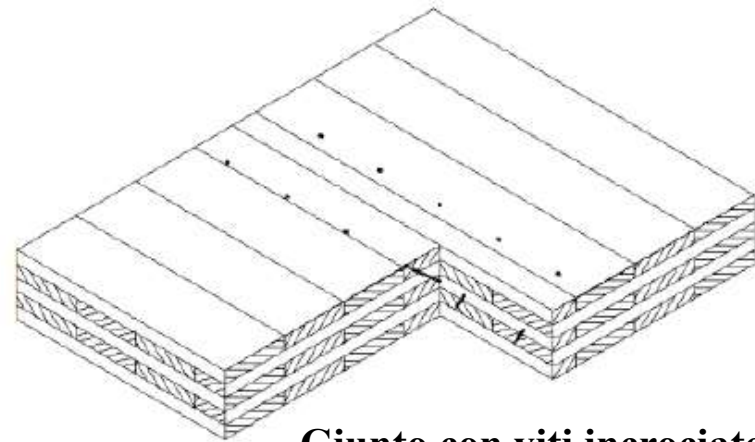


# COLLEGAMENTI

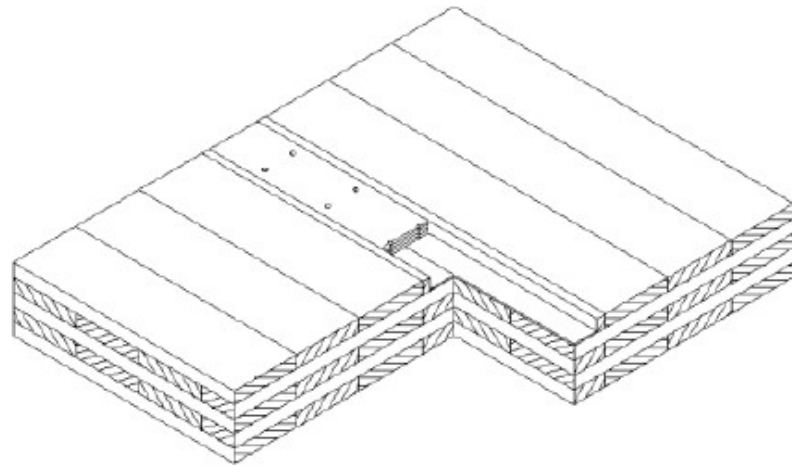
## Collegamento solaio-solaio



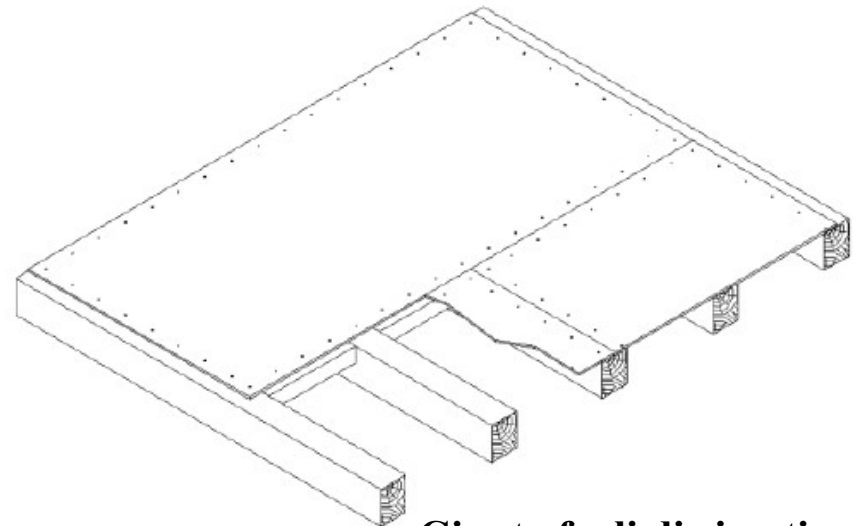
**Giunto a mezzo legno avvitato**



**Giunto con viti incrociate**



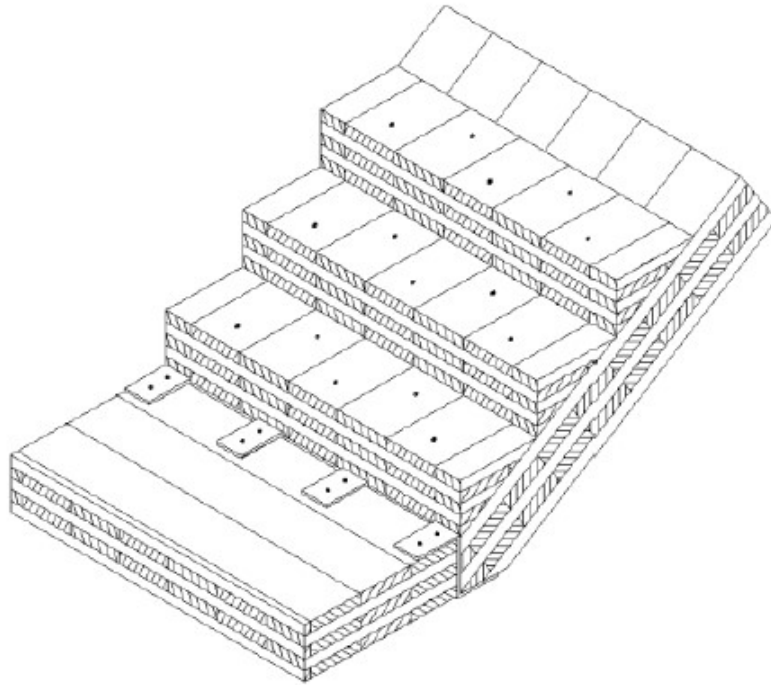
**Giunto con tavole coprigiunto in compensato**



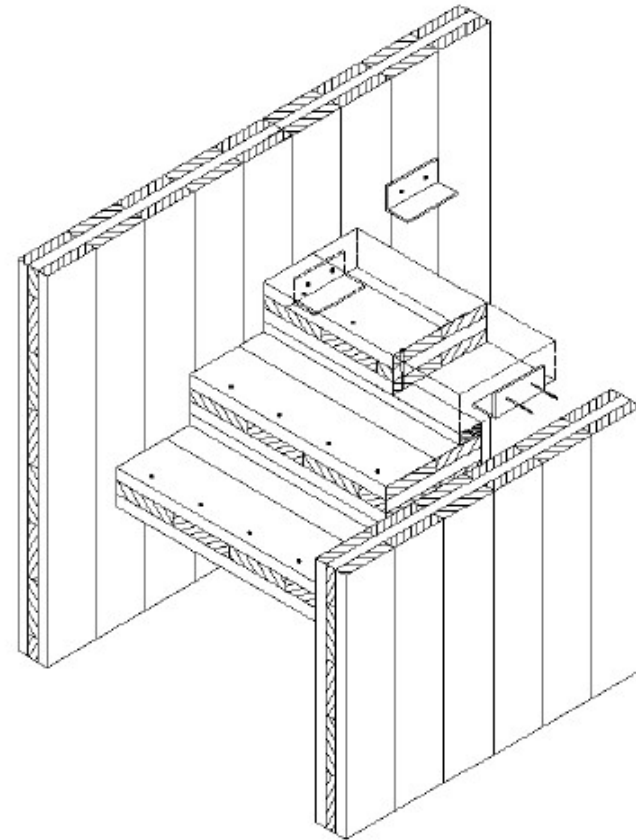
**Giunto fogli di rivestimento**

# COLLEGAMENTI

## Collegamento rampe scala con solai o pareti



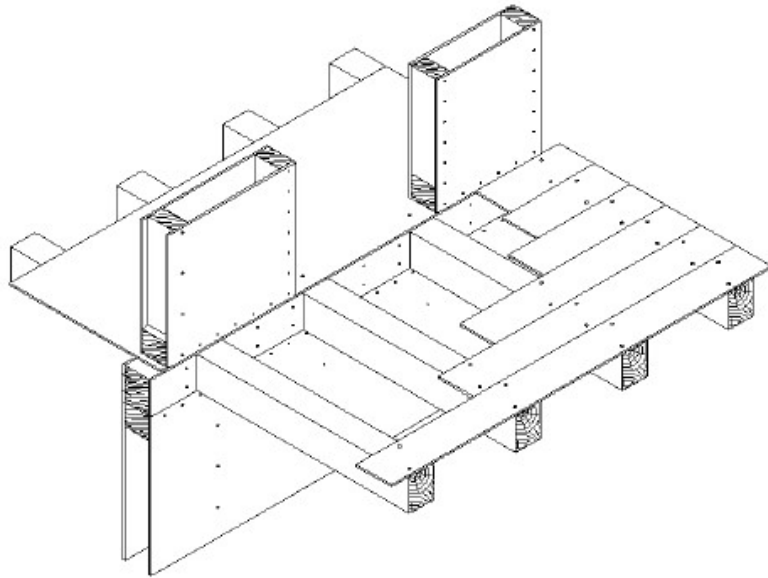
**Rampa in appoggio su staffe metalliche collegate al pianerottolo.**



**Gradini collegati alle pareti mediante angolari metalliche avvitati**

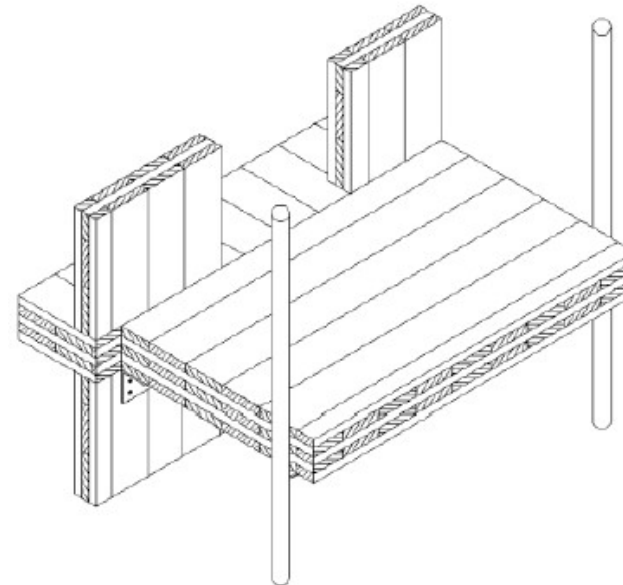
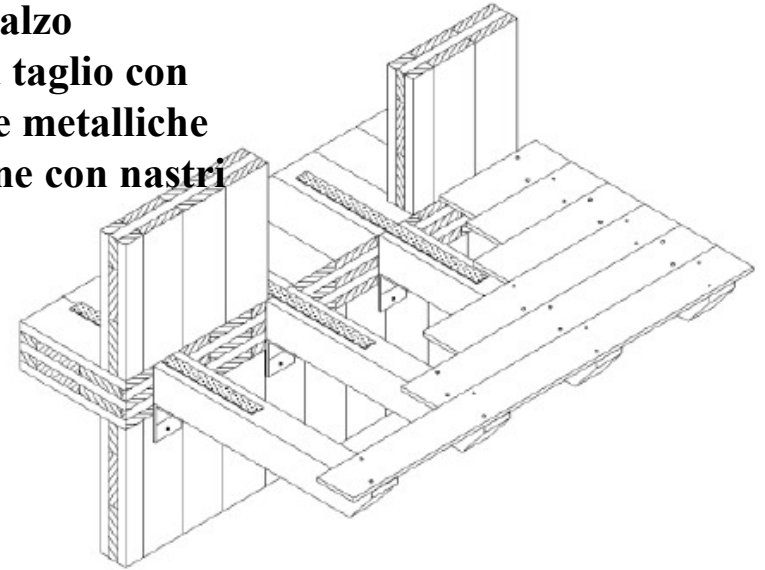
# COLLEGAMENTI

## Collegamento balconi



**Travi balcone in continuità con quelle del solaio**

**Travi a sbalzo ancorati a taglio con squadrette metalliche e a flessione con nastri forati**



**Pannello XLAM appoggiato su staffe metalliche fissate alla parete e su pilastri esterni**

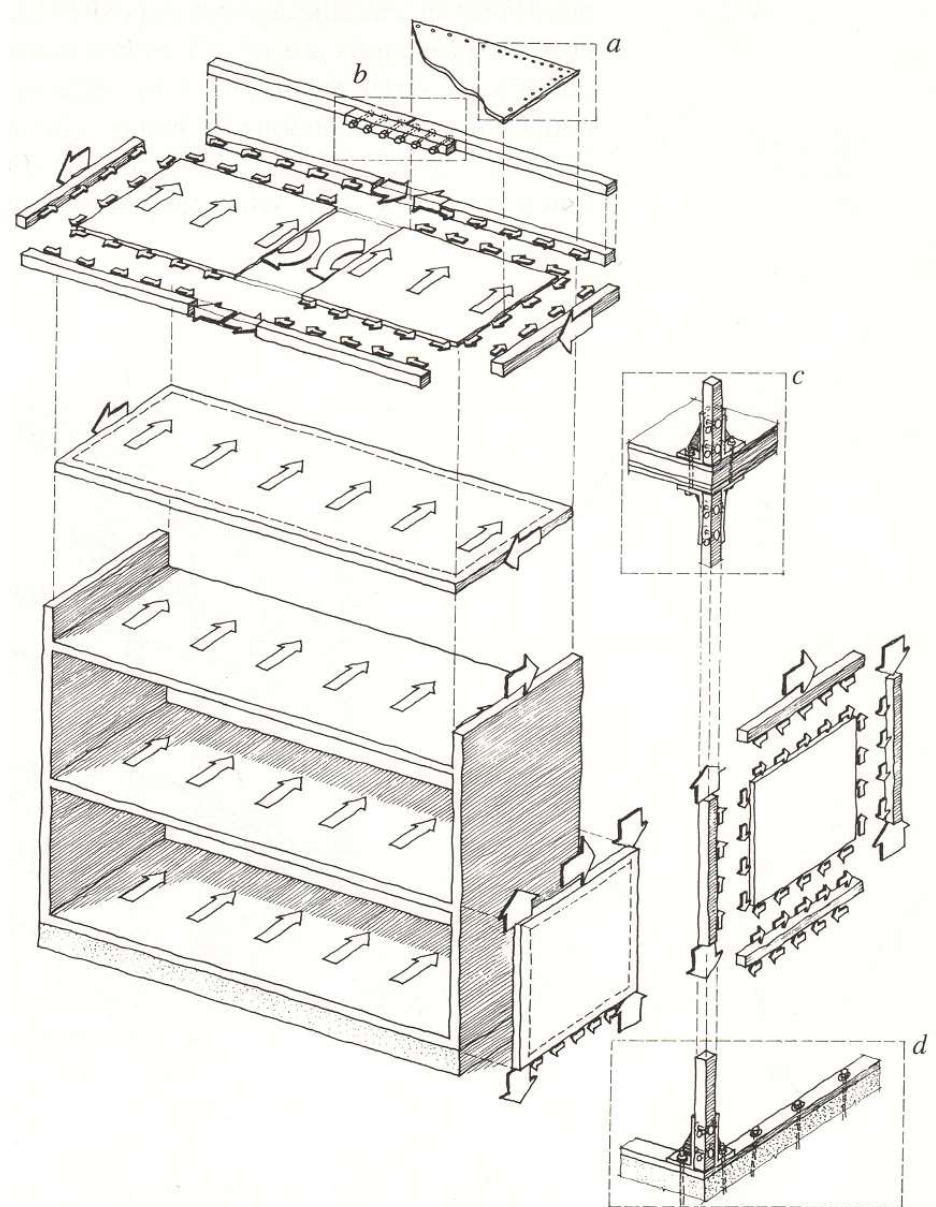
# CONTROVENTI EDIFICI CON PARETI A TELAIO LEGGERO

*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:*

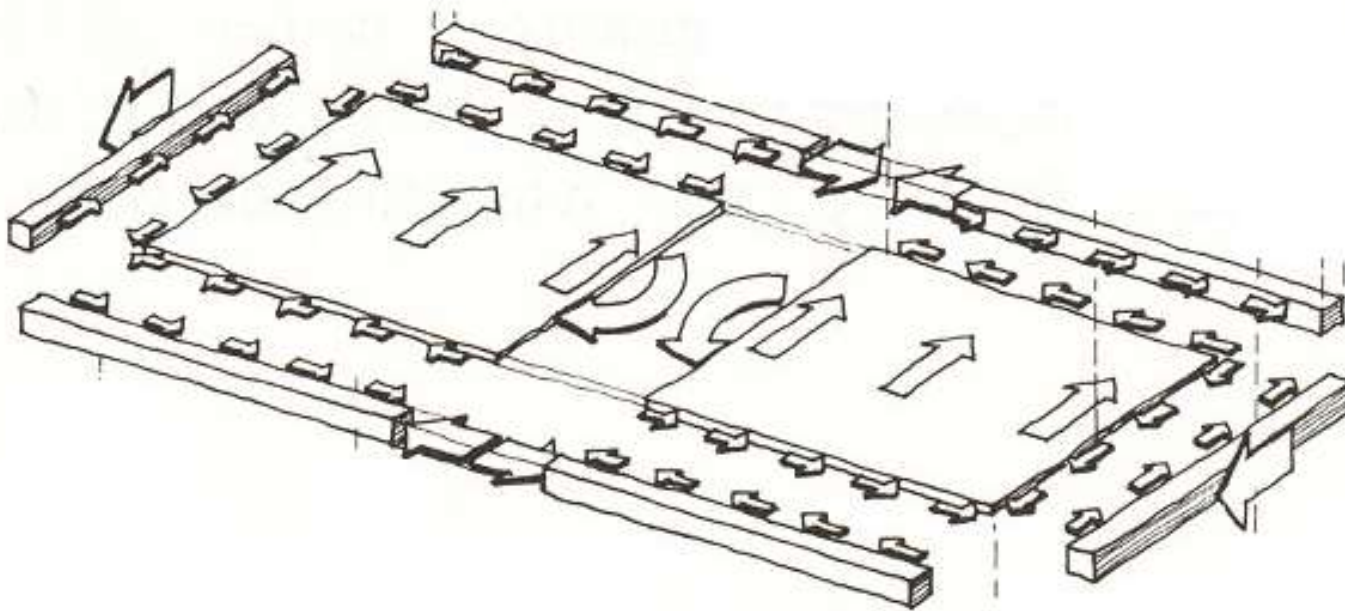
- *i solai devono essere in grado di trasferire le forze orizzontali alle pareti di taglio;*
- *le pareti devono essere in grado di trasferire le reazioni dei solai alle fondazioni.*



# 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

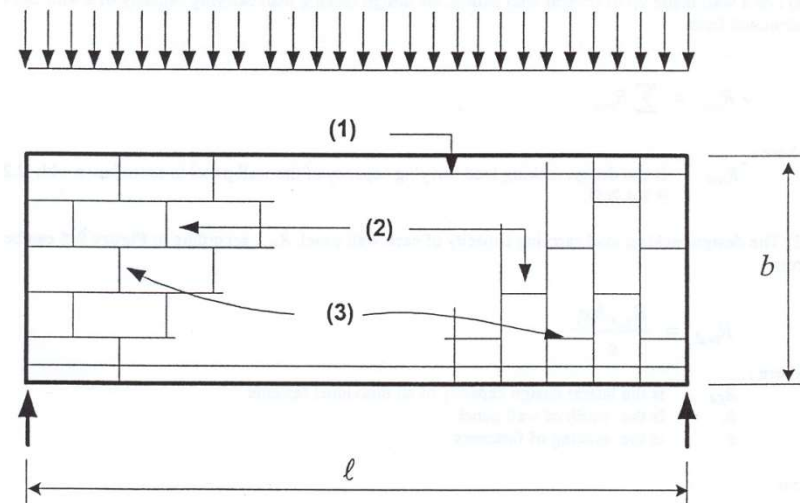
## Forza nei correnti compresso e teso

**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**

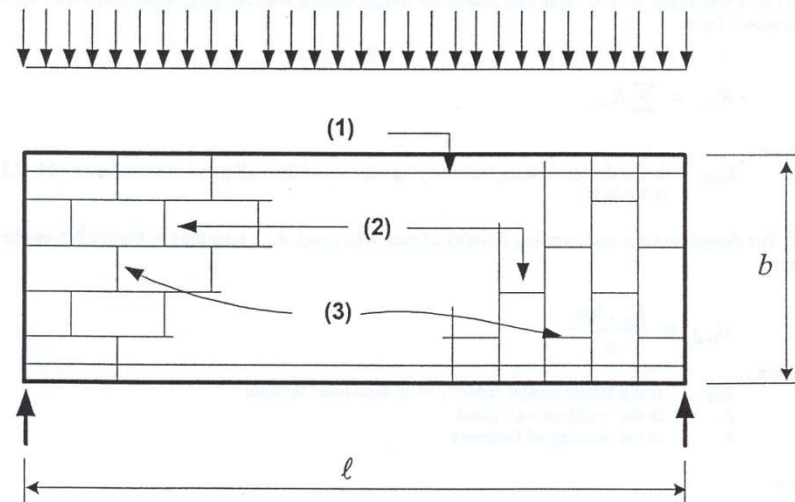
# DIAFRAMMA ORIZZONTALE

## 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**

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

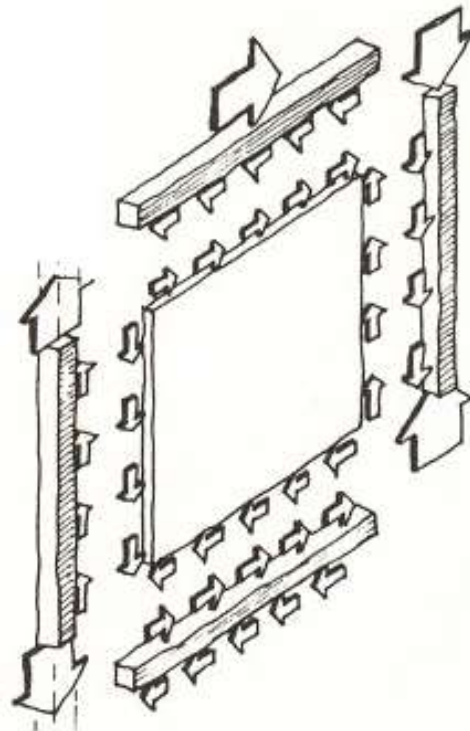
**$R_{f,d}$  è la resistenza di calcolo di un connettore**

**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 rigidità delle stesse.**

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

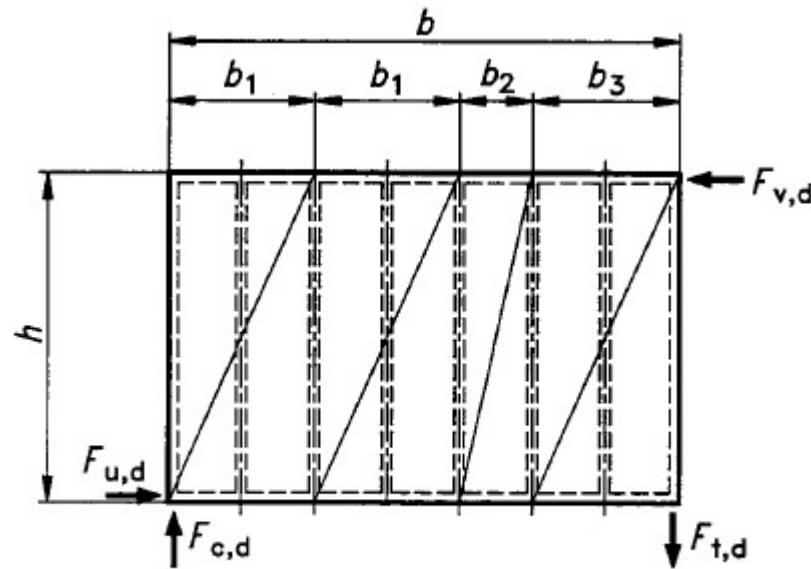
$$R_{v,d} = \sum R_{iv,d}$$

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

**$R_{f,d}$  è la resistenza di calcolo di un connettore,  $s =$  interasse conn.**

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

$$b_o = h/2$$



a) Esempio di pannello-parete

# PARETE DI TAGLIO

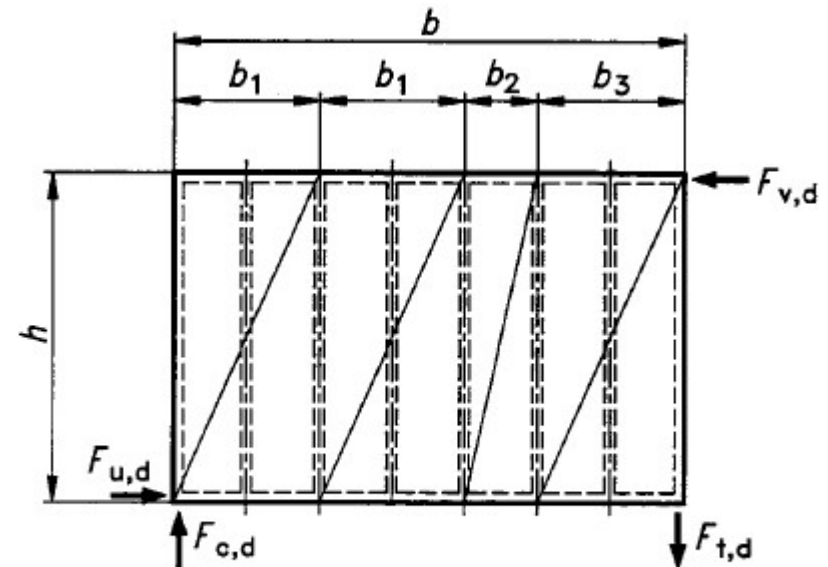
***I montanti compressi devono essere dimensionati per sopportare una forza pari a:***

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

***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 (MDF.LA)

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 rigidità medi in [N/mm <sup>2</sup> ]					
Flessione	$E_m$	3700	3000	2900	2700
Trazione e compressione	$E_t, E_c$	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 rigidezza medi in [N/mm <sup>2</sup> ]					
Flessione	$E_m$	3700	3200	3100	2800
Trazione e pressione	$E_{tr}, E_c$	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
<b>Valori di resistenza in [N/mm<sup>2</sup>]</b>								
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		
<b>Valori di rigidezza in [N/mm<sup>2</sup>]</b>								
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

Sollecitazione		parallela alla direzione di fibratura degli strati esterni					perpendicolare alla direzione di fibratura degli strati esterni				
Classe		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Valori di resistenza in [N/mm<sup>2</sup>]</b>											
Sollecitazione pannello											
Flessione	$f_{m,k}$	40	45	51	58	66	38	33	27	18	11
Taglio	$f_{v,k}$	3.5					3.5				
Sollecitazione 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>											
Sollecitazione pannello											
Modulo elasticità	$E_{mean}$	5900	6600	7400	8700	9600	4000	3800	2850	1500	650
Modulo di taglio	$G_{mean}$	400					400				
Sollecitazione 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

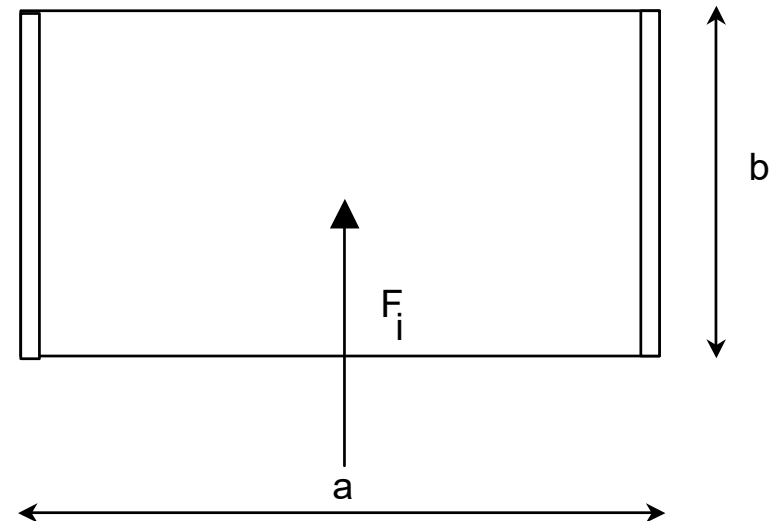
Hp. Comportamento dissipativo della struttura

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

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

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

$$W_T = \underline{\hspace{2cm}} 135.4 \text{ kN}$$



**Taglio alla Base  $F_h$ :**

$$F_h = S_d * W_T$$

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

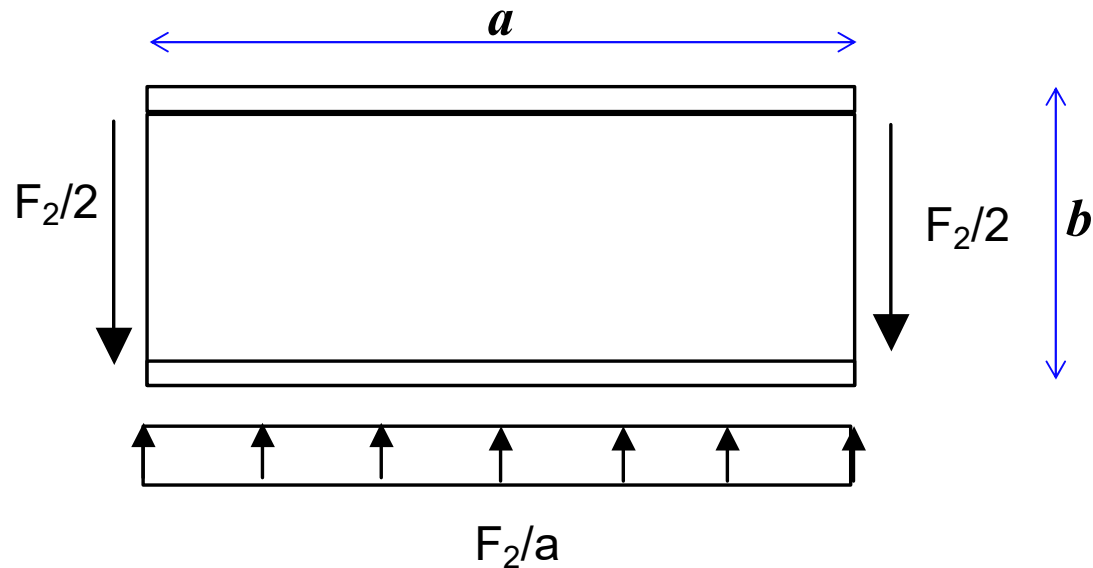
# ESEMPIO CONTROVENTI

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
$R_d=\min\{Rk_i\}k_{mod1}/\gamma_{M1}$		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

$t_1 = 15 \text{ mm}$

$\rho_{k1} = 600 \text{ kg/m}^3$

$\gamma_{M1} = 1.30$

$k_{mod1} = 1.10$

#### Caratteristiche elemento 2

Legno di abete classe C22

$t_2 = 40 \text{ mm}$

$\rho_{k2} = 340 \text{ kg/m}^3$

$\gamma_{M2} = 1.30$

$k_{mod2} = 1.10$

#### Caratteristiche chiodi

Chiodi ad aderenza migliorata

$f_{u,k} = 400 \text{ MPa}$

$d = 3 \text{ mm}$

$\gamma_s = 1.1$

# 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

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

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

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

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

Foglio su una sola faccia

5 pannelli da 1,2 m a formare la parete

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

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

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

Forza sui montanti compressi

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

Forza sui montanti tesi

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