



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.

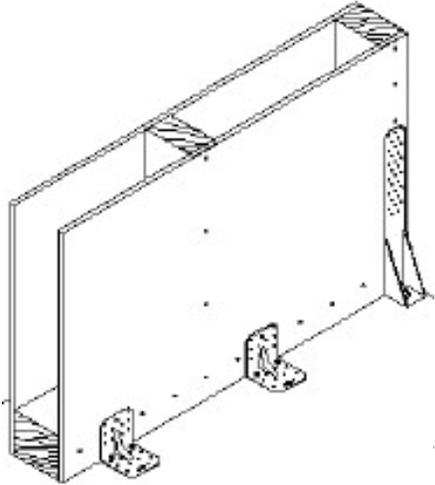
Le strutture in legno, soprattutto quelle in legno lamellare per edifici sportivi e di culto, prevedono sistemi di controvento costituiti da aste tese o compresse disposte in direzione diagonale.

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.

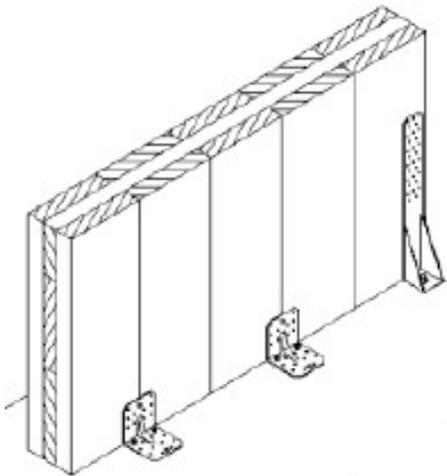
Nelle costruzioni in lamellare incrociato CLT, i pannelli stessi costituiscono gli elementi di controvento.

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

SISTEMI COSTRUTTIVI DI EDIFICI A PARETI

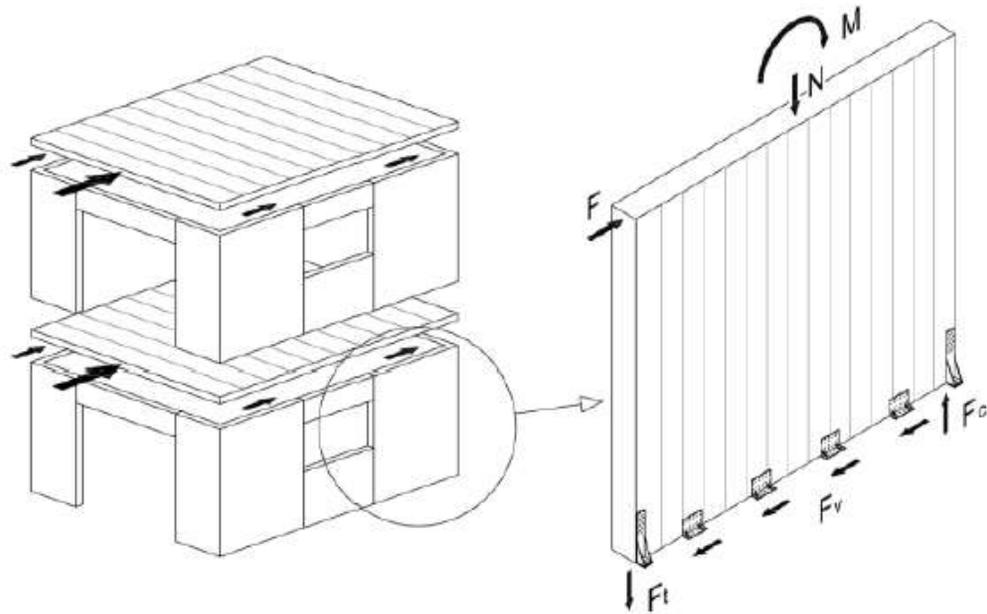


Pareti a telaio leggero e solai a travi parallele e pannello superiore per edifici a pareti (*sistema platform-frame*)

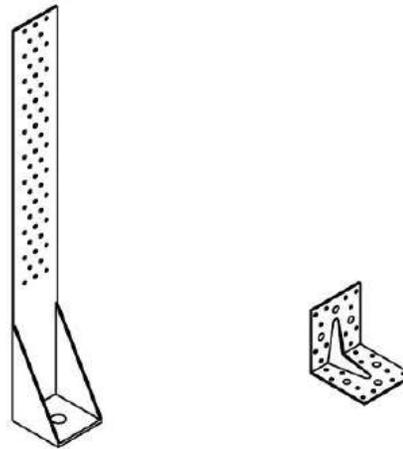


Pareti e solai in pannelli CLT per edifici a pareti (*sistema CLT*)

SISTEMI DI CONTROVENTO

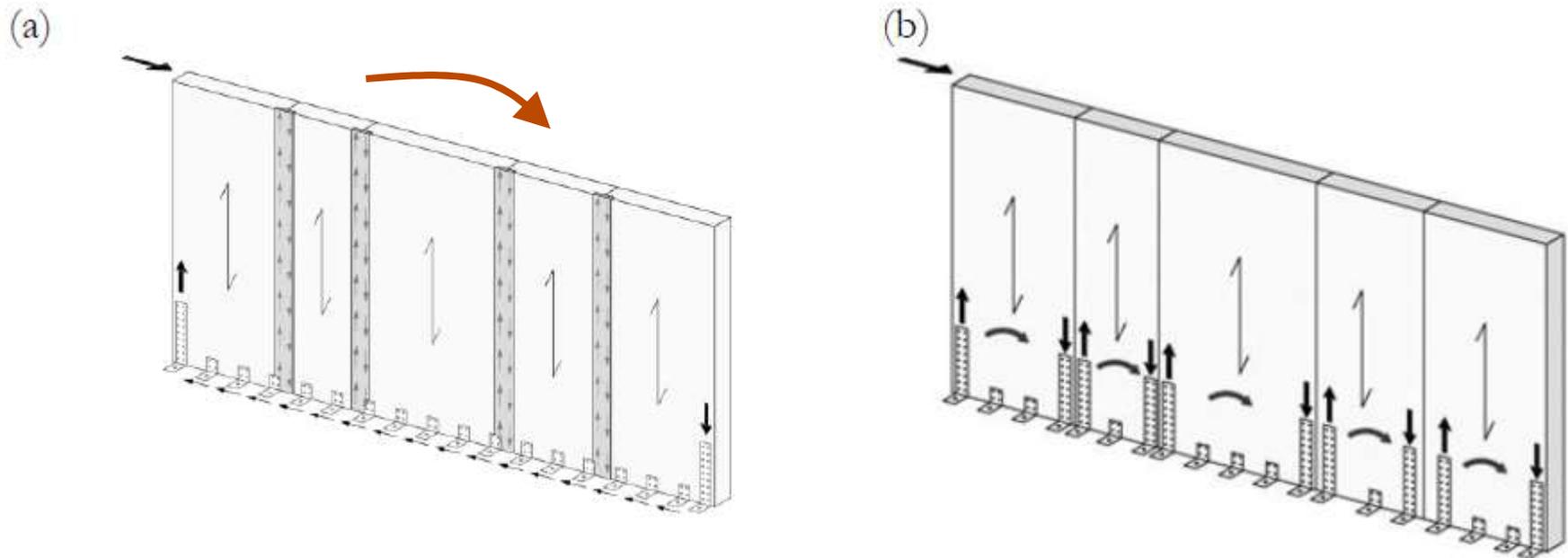


Trasmissione delle forze orizzontali mediante elementi metallici di ancoraggio a trazione (hold-down) e a taglio (angolari)



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

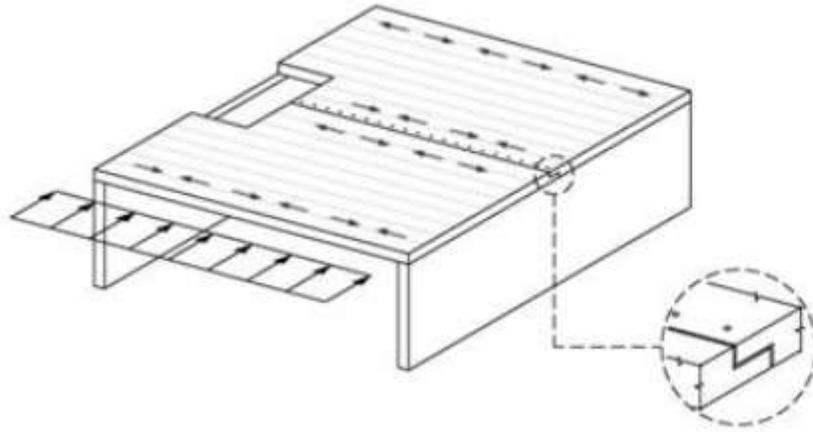
SISTEMI DI CONTROVENTO



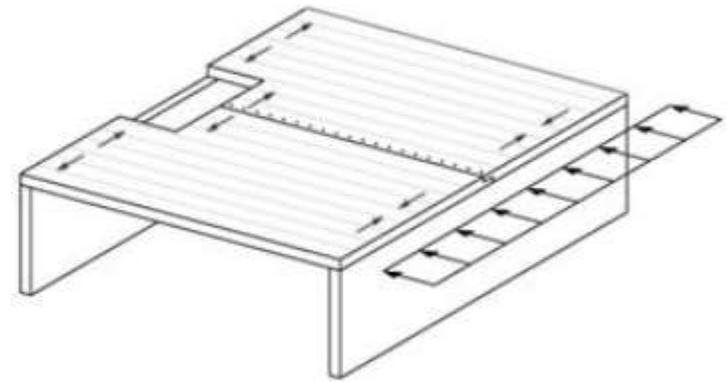
Distribuzione delle azioni interne in una parete realizzata mediante più pannelli XLAM nel caso di **presenza (a)** o **assenza di giunti verticali (b)**

SISTEMI DI CONTROVENTO

(a)



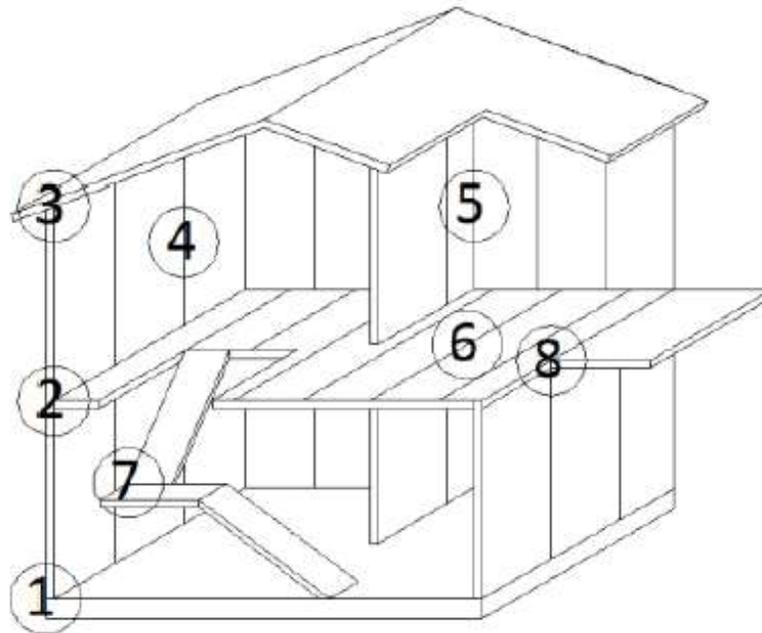
(b)



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

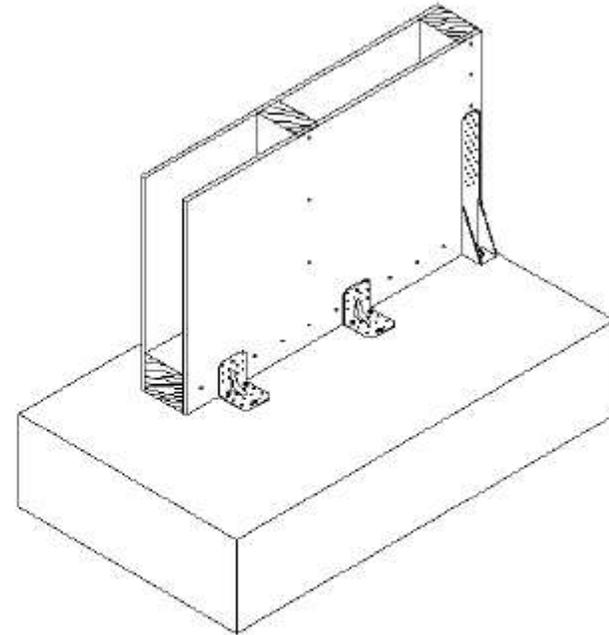
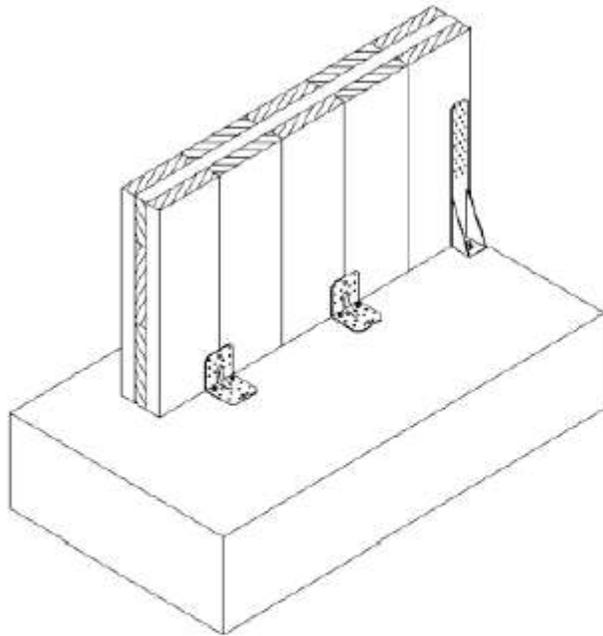
COLLEGAMENTI

- 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)



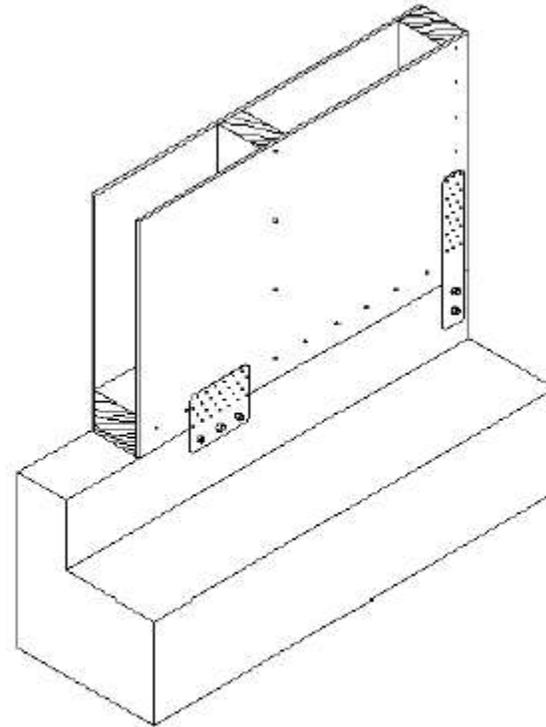
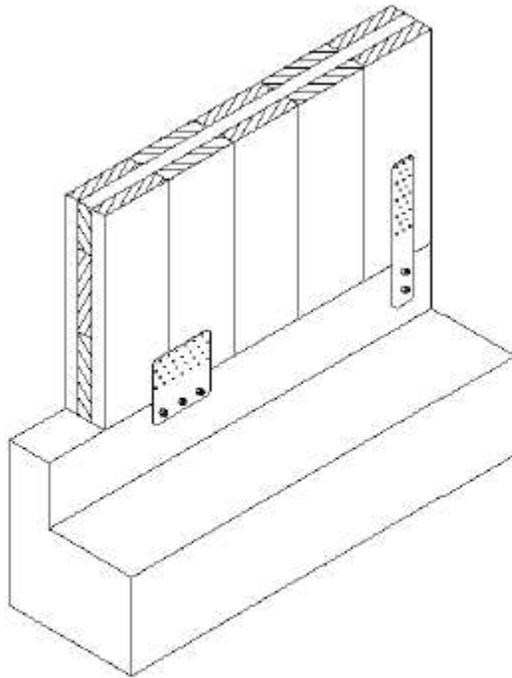
Nodi strutturali principali in un edificio in legno

COLLEGAMENTI



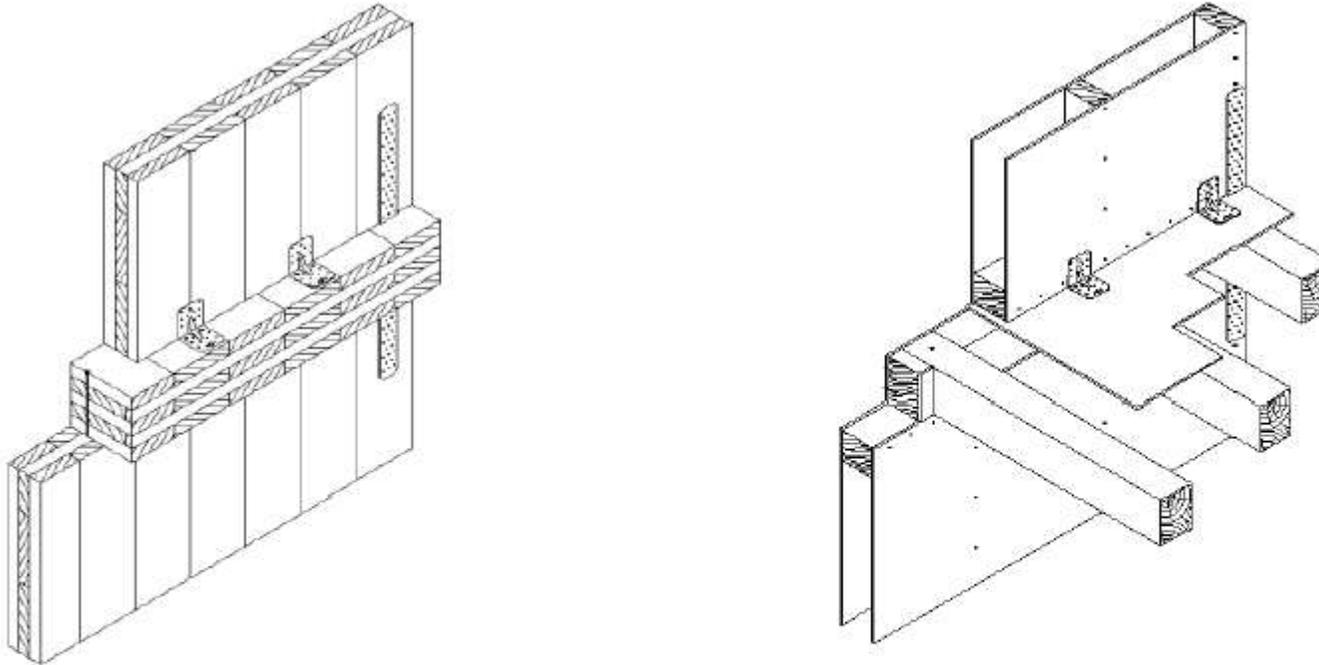
Appoggio diretto della parete in fondazione: collegamento a trazione mediante hold-down e a taglio mediante angolari metallici, rispettivamente per pannelli in XLAM e intelaiati

COLLEGAMENTI



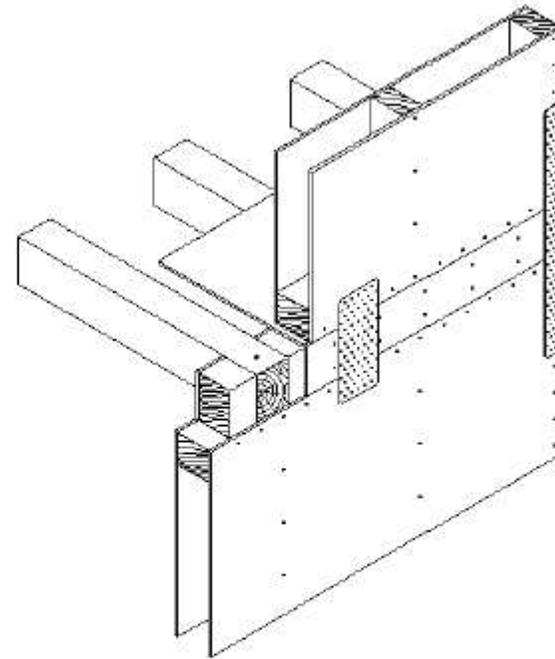
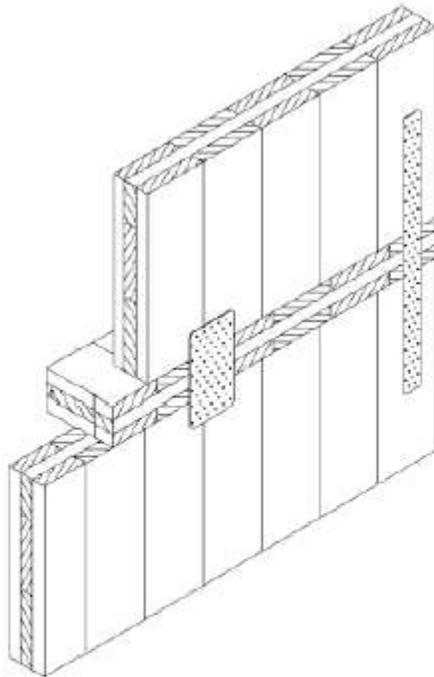
Appoggio della parete su zoccolo di fondazione: collegamento a trazione e a taglio mediante piastre forate, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

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

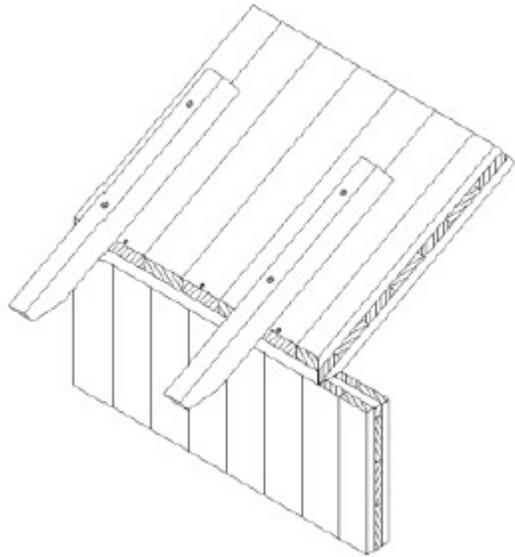
COLLEGAMENTI



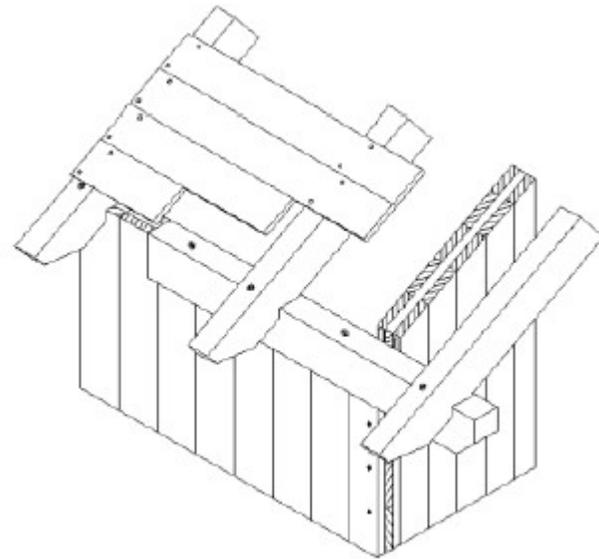
Appoggio della parete sul solaio di interpiano: collegamento a trazione mediante nastri forati, collegamento a taglio tra parete superiore e parete inferiore mediante piastre forate, collegamento a taglio tra solaio e parete inferiore mediante viti, rispettivamente per pannelli XLAM e intelaiati

COLLEGAMENTI

Edificio a pannelli XLAM



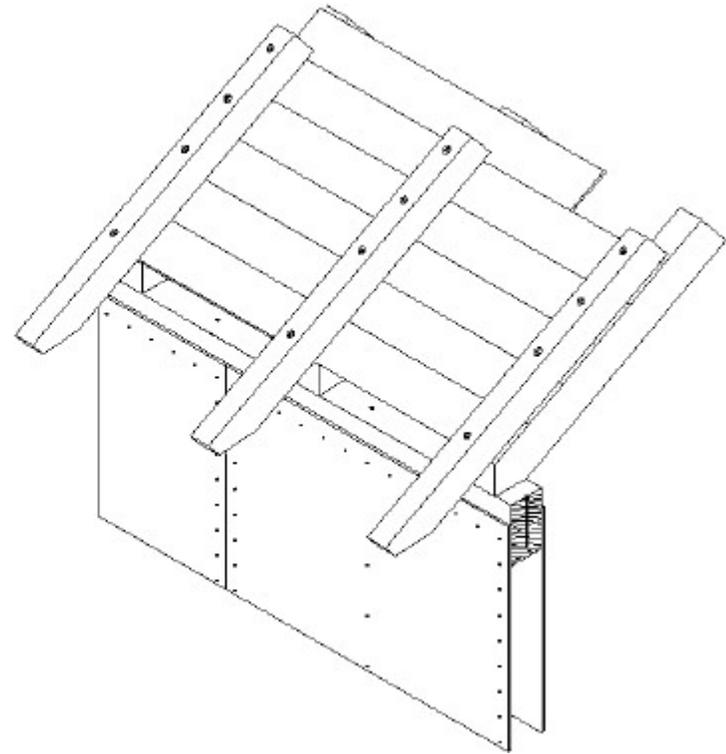
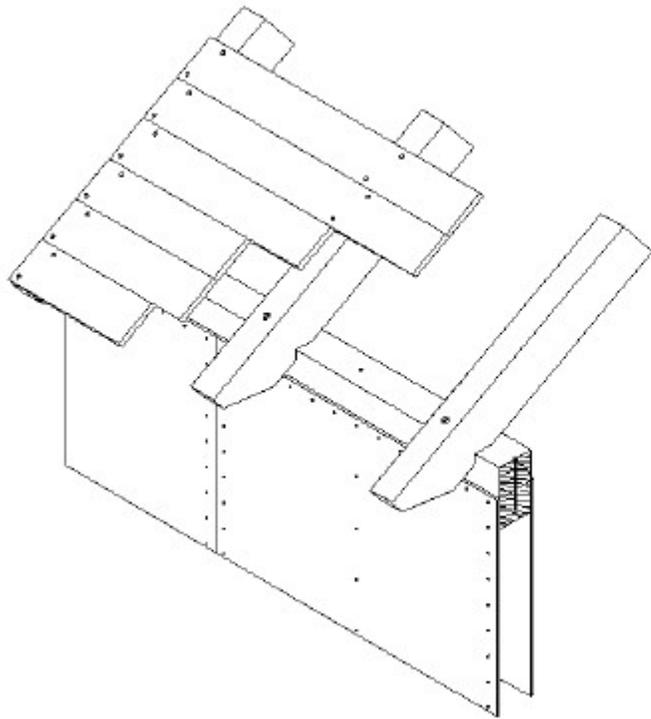
Copertura a pannelli XLAM



Copertura a travetti

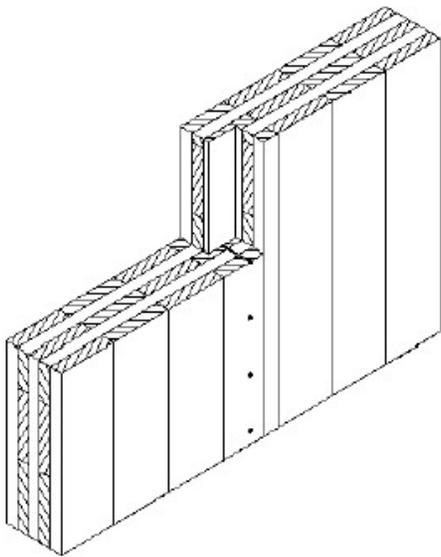
COLLEGAMENTI

Edificio a pannelli con telaio leggero

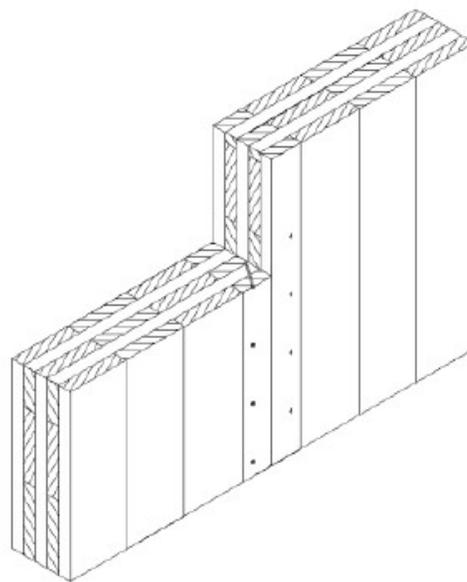


COLLEGAMENTI

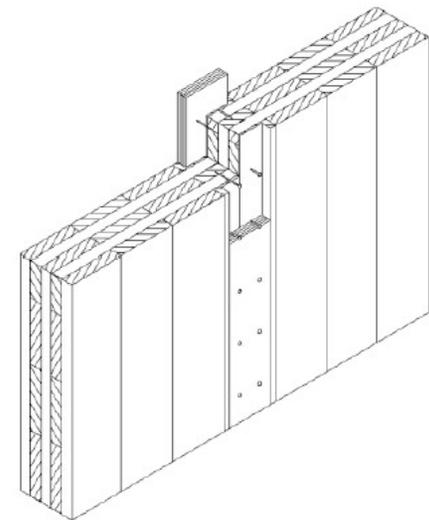
Collegamento parete-parete XLAM



Giunto a mezzo legno avvitato



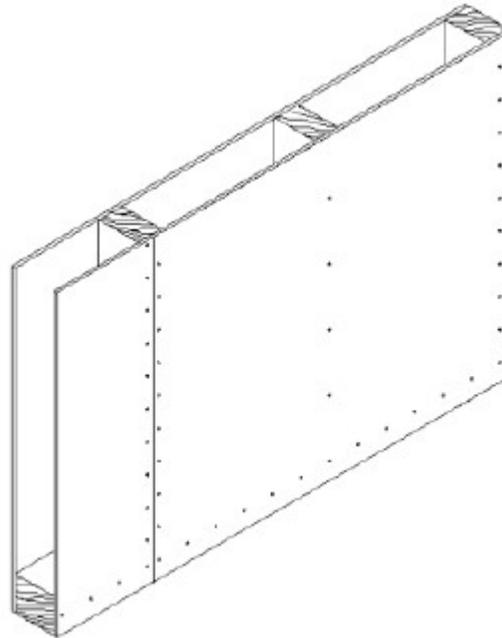
Giunto con viti incrociate



**Giunto con tavole coprigiunto
in compensato**

COLLEGAMENTI

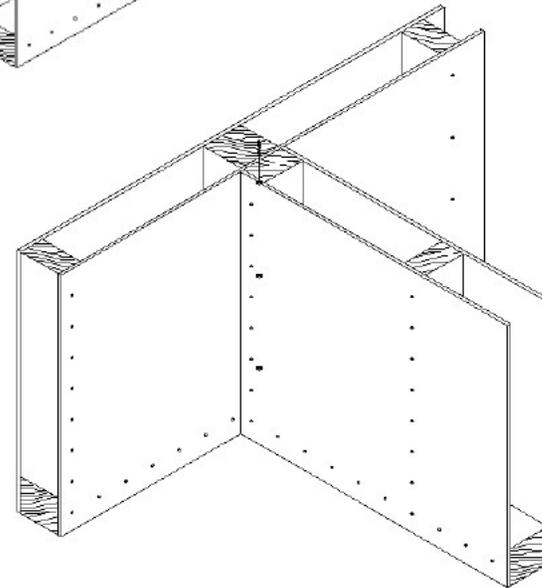
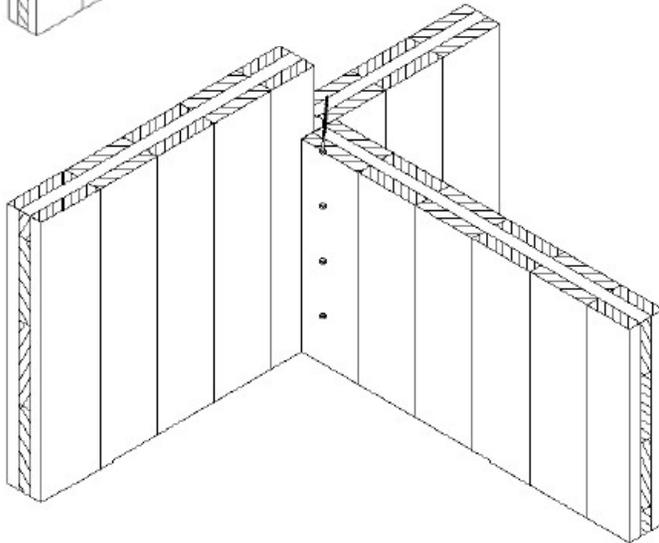
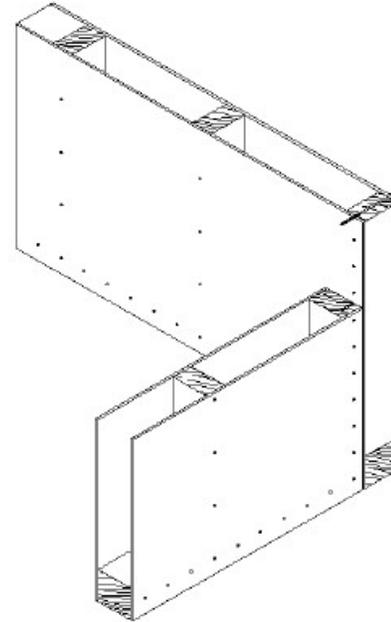
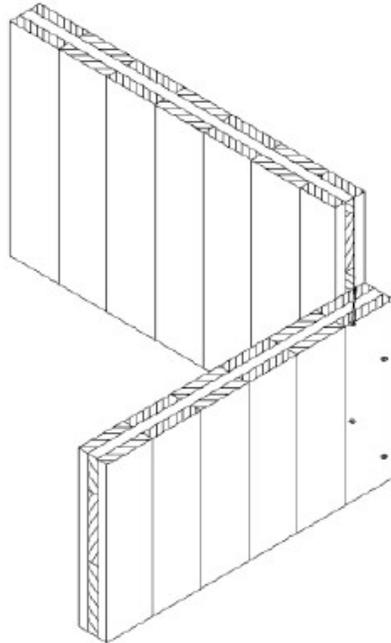
**Collegamento parete-parete telaio
leggero**



Giunto fogli di rivestimento

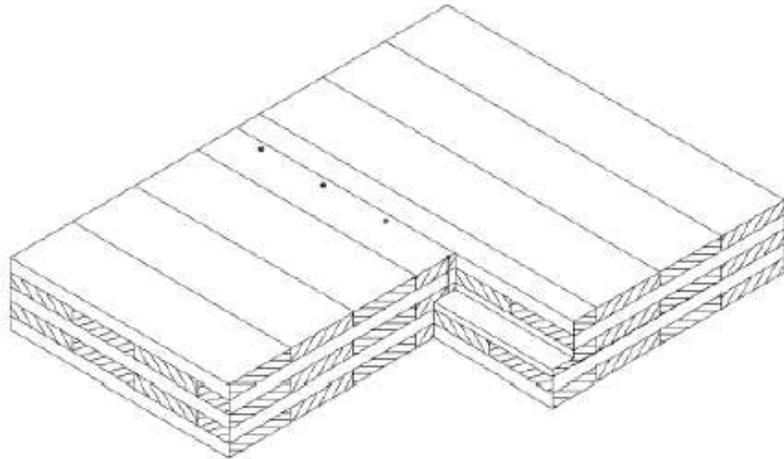
COLLEGAMENTI

Collegamento tra pareti tra loro ortogonali

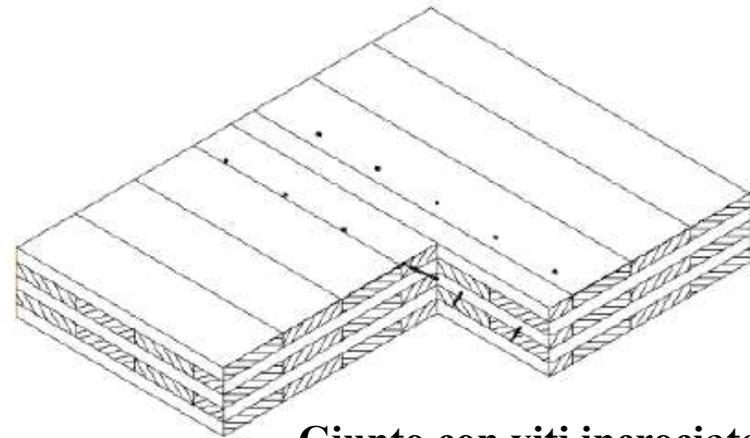


COLLEGAMENTI

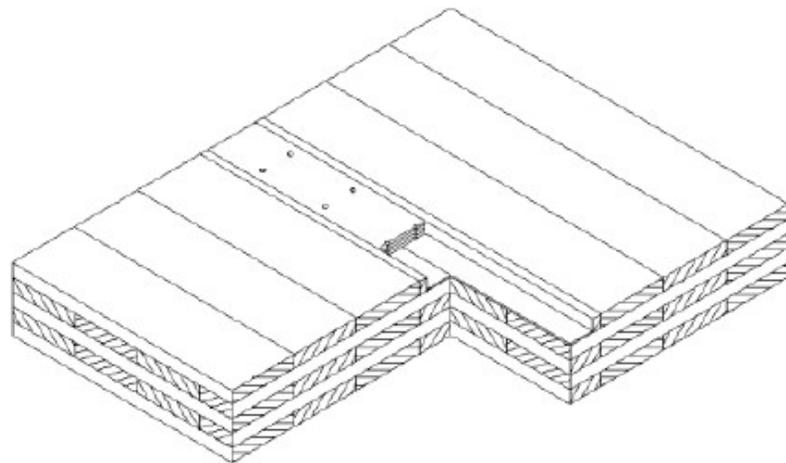
Collegamento solaio-solaio



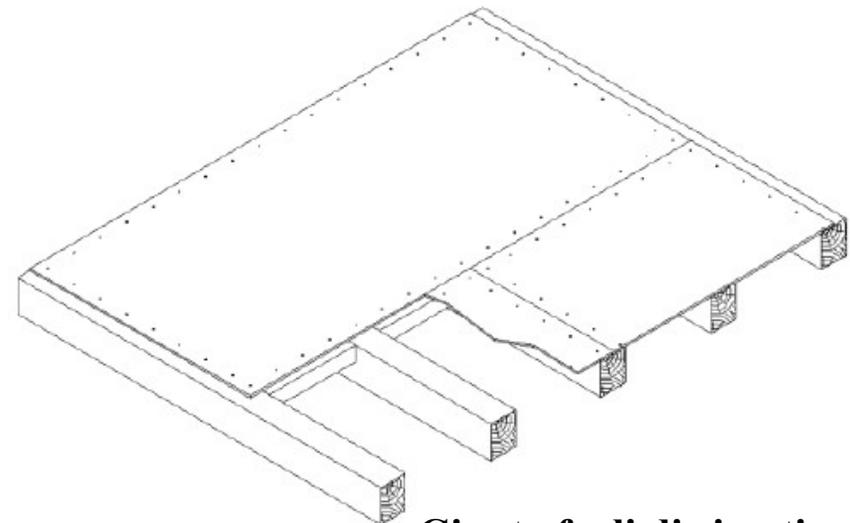
Giunto a mezzo legno avvitato



Giunto con viti incrociate



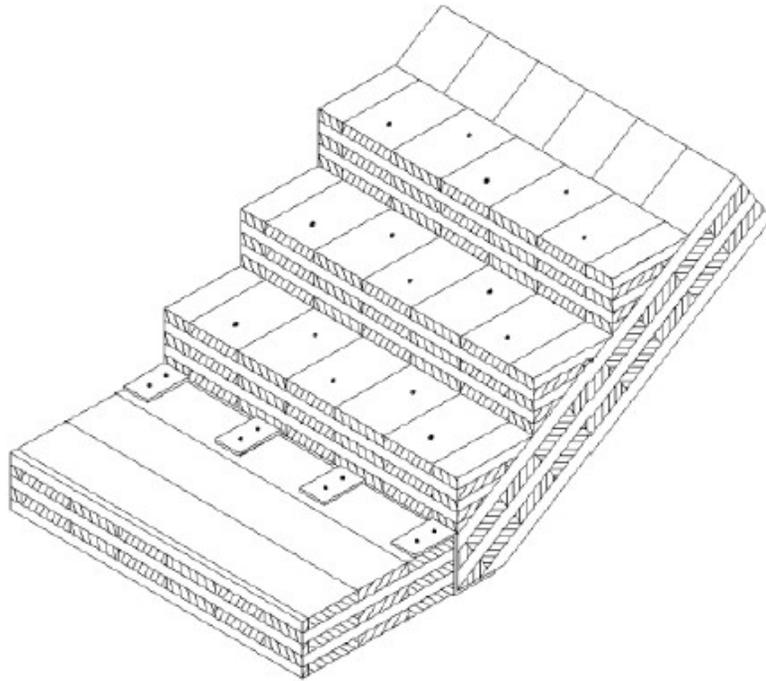
Giunto con tavole coprigiunto in compensato



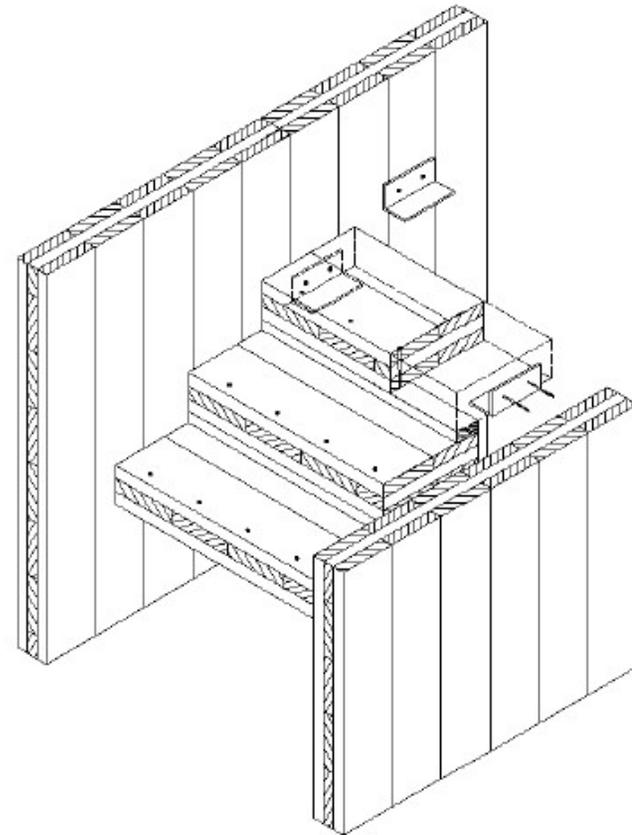
Giunto fogli di rivestimento

COLLEGAMENTI

Collegamento rampe scala con solai o pareti



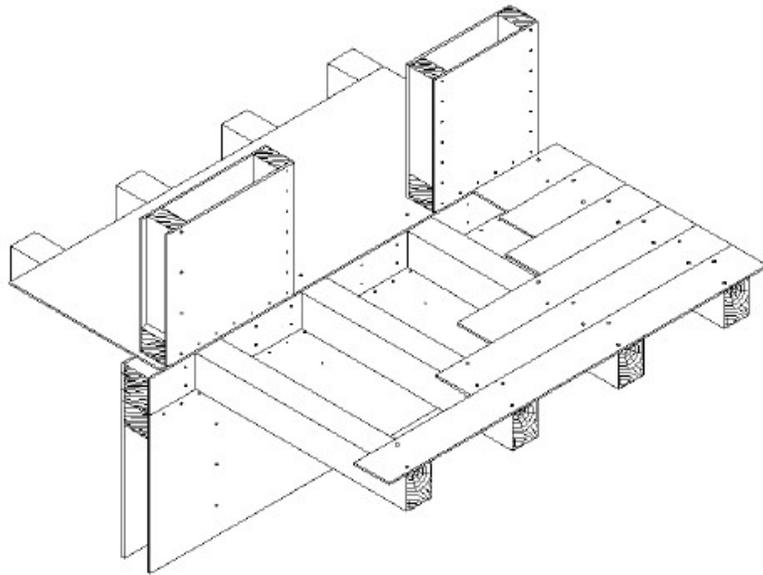
Rampa in appoggio su staffe metalliche collegate al pianerottolo.



Gradini collegati alle pareti mediante angolari metallici avvitati

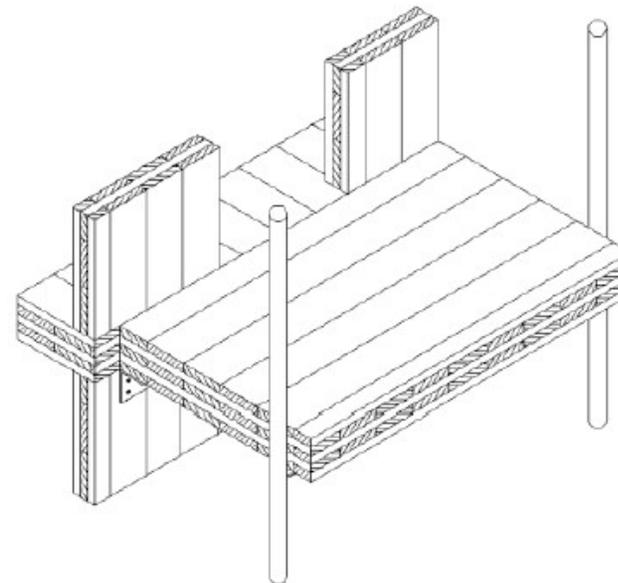
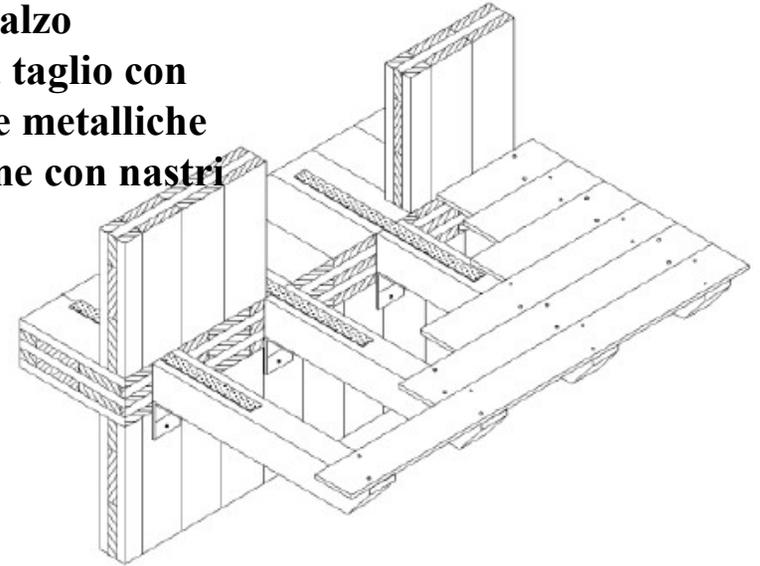
COLLEGAMENTI

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

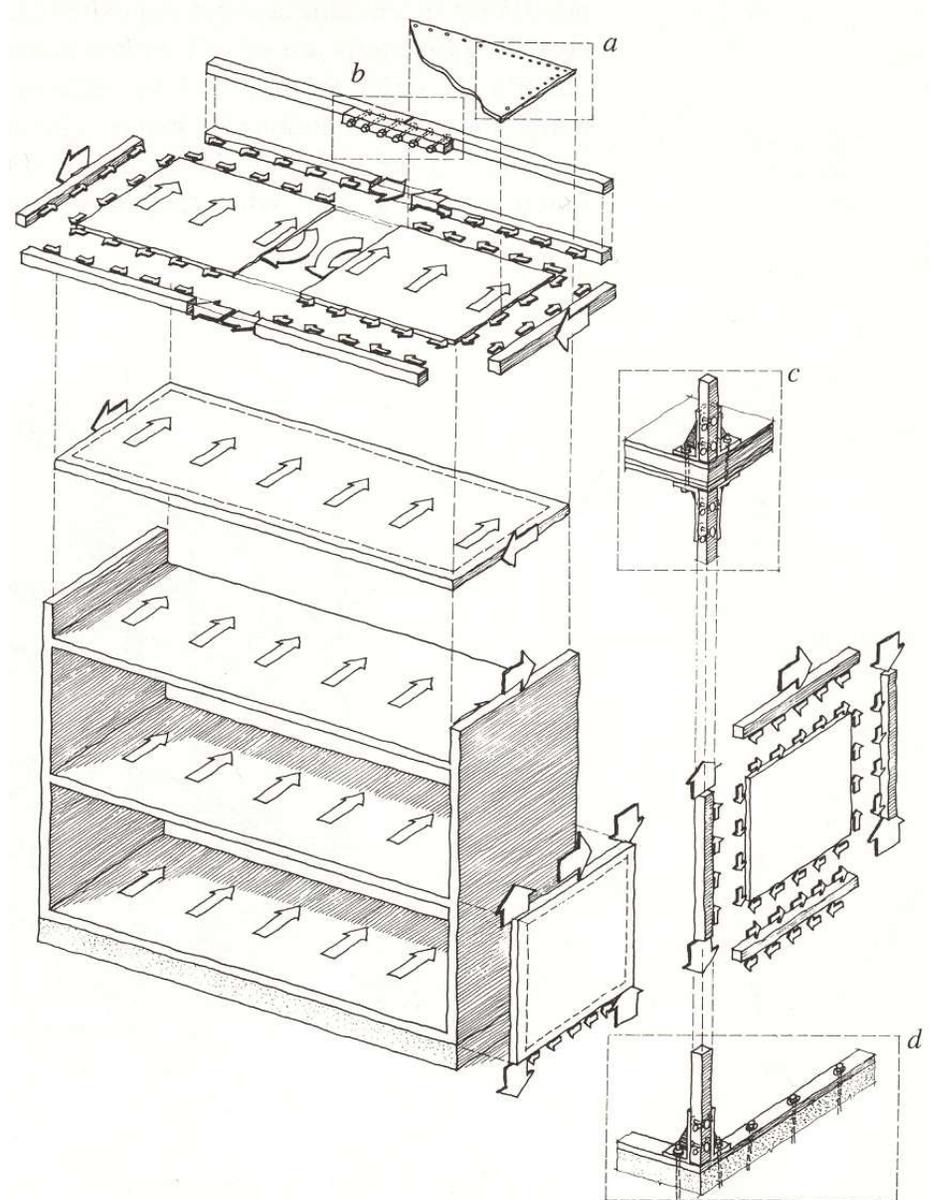
CONTROVENTI EDIFICI CON PARETI A TELAIO LEGGERO

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:

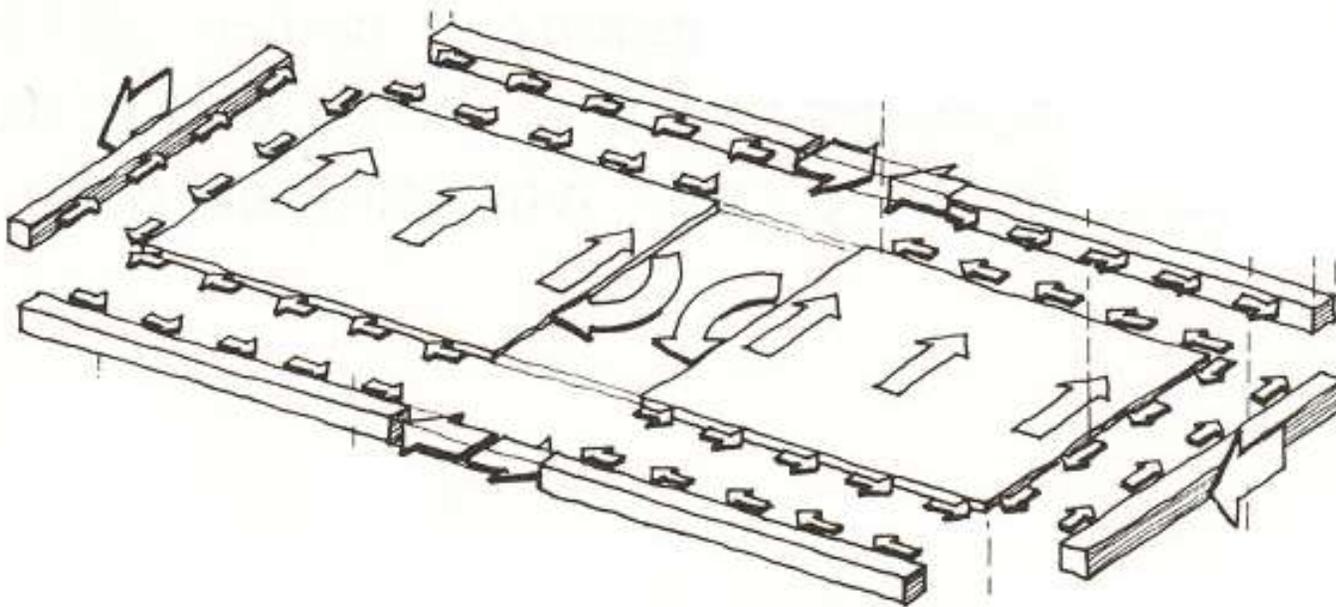
- *i solai devono essere in grado di trasferire le forze orizzontali alle pareti di taglio;*
- *le pareti devono essere in grado di trasferire le reazioni dei solai alle fondazioni.*



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

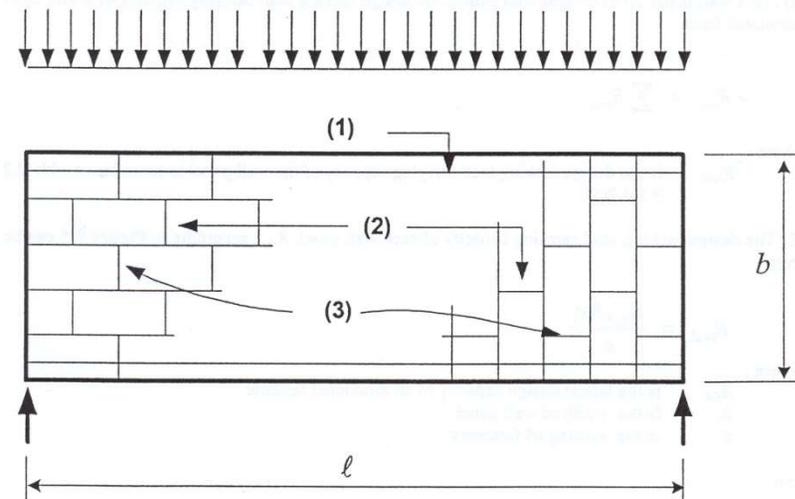
Forza nei correnti compresso e teso

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

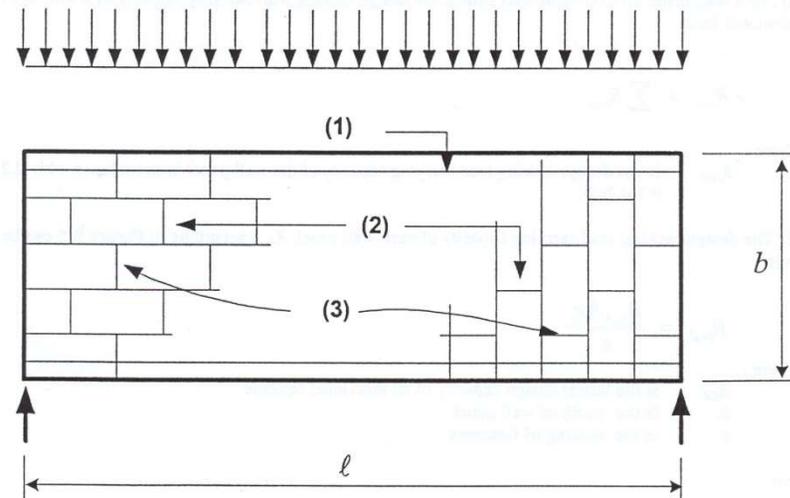
DIAFRAMMA ORIZZONTALE

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

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

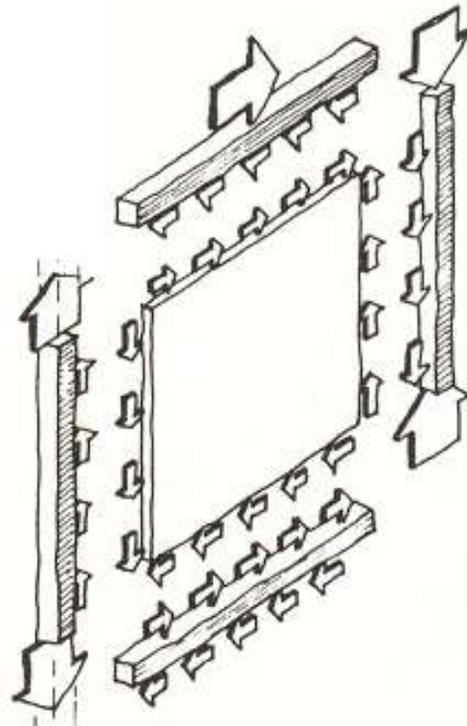
$R_{f,d}$ è la resistenza di calcolo di un connettore

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

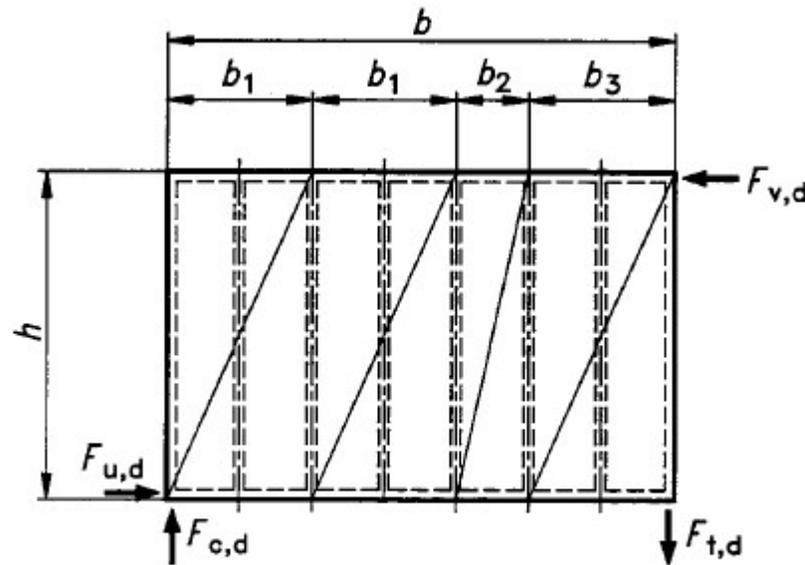
$$R_{v,d} = \sum R_{iv,d}$$

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

$R_{f,d}$ 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

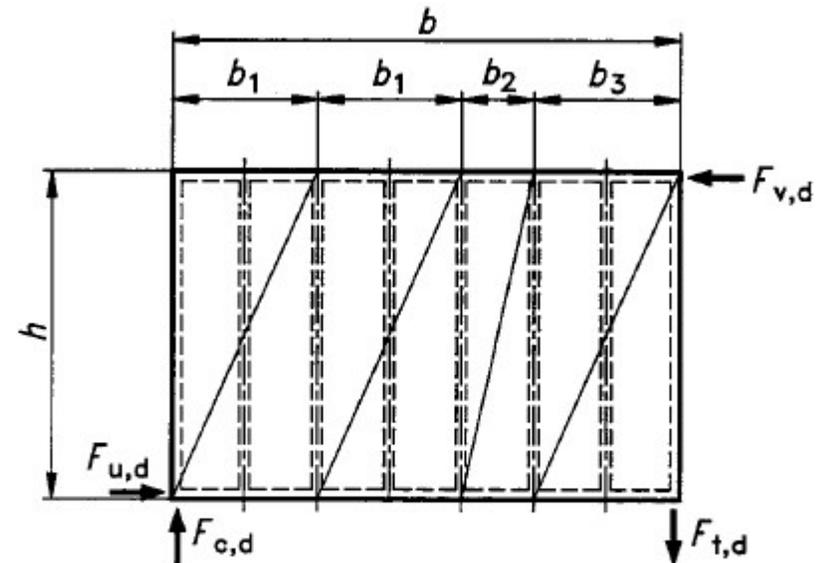
I montanti compressi devono essere dimensionati per sopportare una forza pari a:

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

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 ³]	ρ	650	600	550	500
Valori di resistenza caratteristici in [N/mm ²]					
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 ²]					
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 ²]	ρ	650	600	550	500
Valori di resistenza caratteristici in [N/mm ²]					
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 ²]					
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 ²]		ρ	650	600	550	800	750	700
Valori di resistenza in [N/mm²]								
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 rigidezza in [N/mm²]								
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
Valori di resistenza in [N/mm²]											
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)				
Valori di rigidezza in [N/mm²]											
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				
Valori di Massa volumica in [kg/m³]											
Massa volumica	ρ_k	600									

ESEMPIO CONTROVENTI

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



Calcolo azione sismica

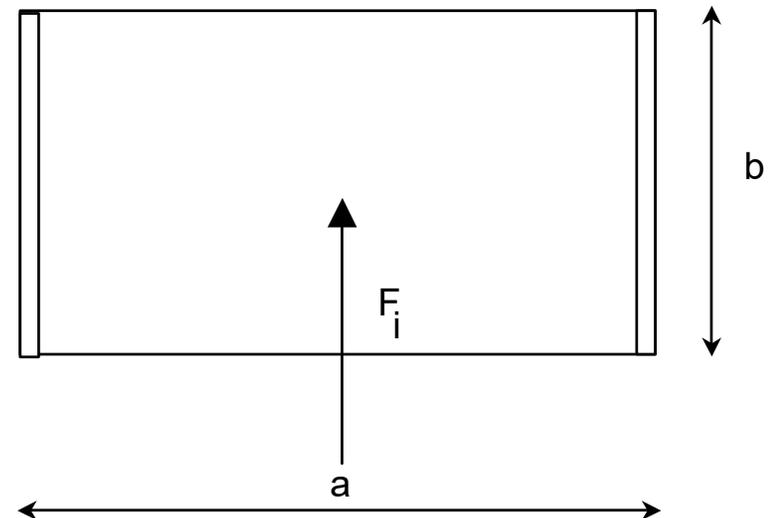
Hp. Comportamento dissipativo della struttura

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 :

$$F_h = S_d * W_T$$

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

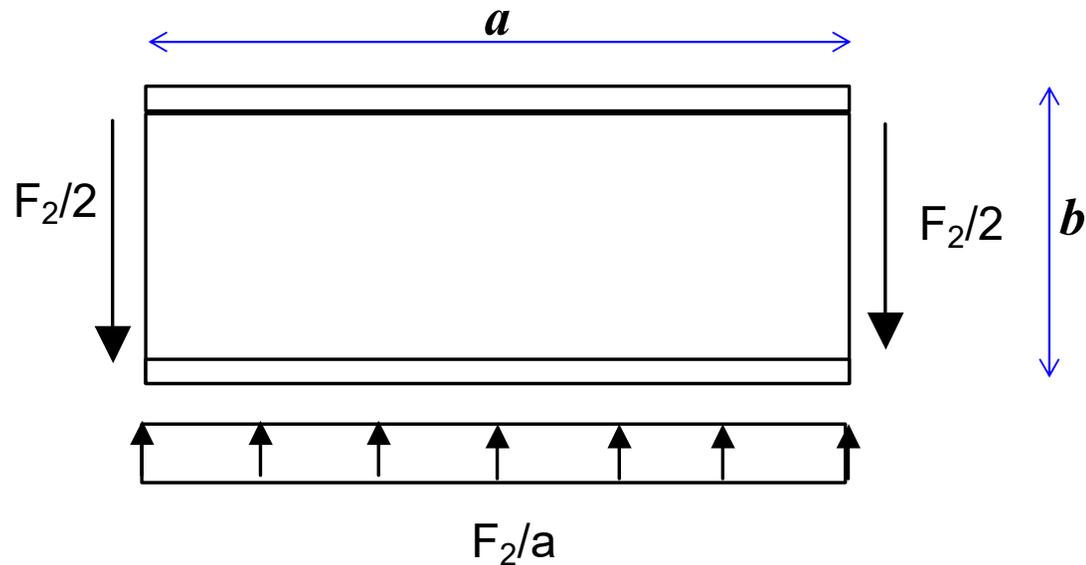
ESEMPIO CONTROVENTI

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	27.61
Liv. 1	2.7	82.80	223.56	0.44	21.74
TOTALI		135.36	507.38		49.35

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 ²
$\rho_k =$	600 kg/m ³
$\gamma_M =$	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 ²
$\rho_k =$	410 kg/m ³
$\gamma_M =$	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 ²
$\sigma_{t,0,d} = F_t / A =$		0.14 MPa

Verifica allo scorrimento

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

Unione pannelli-legno a 1 sezione resistente

Caratteristiche elemento 1

OSB

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

Caratteristiche elemento 2

Legno di abete classe C22

$t_2 =$	50 mm
$\rho_{k2} =$	340 kg/m ³
$\gamma_{M2} =$	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		
$s = R_d/v =$		0.35 m

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

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