

Comune di Soiano del Lago (BS)

Via Amedeo Ciucani, 5 25080 Soiano del Lago (BS)

STUDIO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

INCARICO RELATIVO ALL'AFFIDAMENTO DEL SERVIZIO TECNICO DI PROGETTAZIONE
DELL'AMPLIAMENTO DELLA SCUOLA DELL'INFANZIA DON EUGENIO BIASI IN VIA TREVISAGO
di cui alla determinazione n.102/2024

CUP D68H25000530006

CIG B3FD04D5F7

RUP Geom. Fabrizio Cecchin

Progetto finanziato dall'Unione Europea – Next Generation EU – Finanziato dal “Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)

Missione 4: Istruzione e ricerca

Componente 1: Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle università

Investimento 1.1: Piano per asili nido e scuole dell'infanzia e servizi di educazione e cura per la prima infanzia

Progettista:

Arch. Giorgio Vezzoli

Iscritto all'ordine degli Architetti, Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori della Provincia Di Brescia al numero 2287



Via del Risorgimento n. 27 – 25127 Brescia (BS)

architecture@giorgiovezzoli.it

giorgio.vezzoli@archiworldpec.it

Indice

1. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	3
1.1 Descrizione dell'intervento	3
1.2 Descrizione del sistema strutturale del nuovo blocco	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E MATERIALI	5
2.1 Normativa	5
3. COPRIFERRI MINIMI DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE	6
3.1 Durabilità.....	7
4. ANALISI DEI CARICHI	9
4.1 Carichi permanenti portati	9
4.1.1 Copertura	9
4.2 Carichi variabili –	10
4.2.1 Destinazione d'uso.....	10
4.2.2 Carico neve	10
4.2.3 Azione del vento	11
4.2.4 Parametri per il calcolo sismico	15
5. CRITERI GENERALI DELLA MODELLAZIONE	16
5.1 Strumenti di modellazione	16
5.2 Criteri di modellazione	16
5.3 Metodo di verifica	17
5.4 Resistenza di calcolo dei materiali.....	18
5.5 Azioni di calcolo e combinazioni.....	18
5.6 Stratigrafie e caratteristiche meccaniche.....	19
6. ANALISI DEL NUOVO FABBRICATO	20
6.1 Modellazione.....	20
6.2 Controlli preliminari	23
6.1 Controlli manuali sull'ordine di grandezza dell'output della modellazione	23
6.2 Tipologia di analisi effettuata	25

6.3 Coefficienti di combinazione	28
6.4 Spettri di risposta.....	29
6.5 Modi di vibrare principali.....	32
6.6 VERIFICHE.....	33
6.6.1 Verifica trave di fondazione	33
6.6.2 Verifica solaio XLAM	36
6.6.3 Verifica parete in xlam	42
7. DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ DEI PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI	50
7.1 Programma di calcolo strutturale Sismicad 13	50

1. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

1.1 Descrizione dell'intervento

Il progetto architettonico alla base della progettazione strutturale prevede la realizzazione di un ampliamento edilizio organizzato su una superficie complessiva pari a circa **250 m²**, inscrivibile in prima analisi, in una geometria rettangolare di dimensioni pari a **12X23 m**.

Nello specifico, l'organizzazione volumetrica del compendio risulta caratterizzata da un blocco che si innalza per un solo piano fuori terra e che viene realizzato a lato dell'asilo esistente.

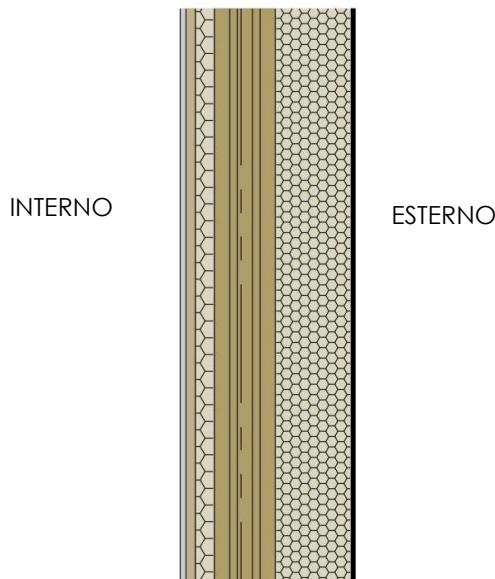
Sulla base della geometria assegnata, l'intero corpo viene strutturalmente separato dall'esistente tramite un giunto sismico, al fine di governare al meglio e con la necessaria ragionevolezza tecnica, la regolarità della costruzione oltre agli effetti deformativi termici e sismici che caratterizzano il comportamento generale dell'opera. Il giunto viene opportunamente dimensionato per evitare il martellamento tra costruzioni contigue.

La creazione dei giunti fra i corpi di fabbrica permette pertanto la trattazione separata del problema strutturale.

La suddivisione dei corpi di fabbrica è riportata nell'immagine seguente (in rosso: nuovo fabbricato; in blu: edificio esistente):



È opportuno precisare come l'intervento edilizio sia caratterizzato dal diffuso utilizzo sul perimetro esterno dal sistema costruttivo in XLAM. Di seguito si riporta la stratigrafia tipologica delle pareti perimetrali del blocco A:



La monoliticità di tale tecnologia si configura gioco forza come un elemento significativo nelle scelte strutturali adottate nell'organizzazione del comportamento dei corpi.

1.2 Descrizione del sistema strutturale del nuovo blocco

Il nuovo blocco si sviluppa a lato dell'asilo esistente e si prevede organizzato secondo un sistema portante verticale composto da pareti in xlam perimetrali ed interne, a meno della zona in comune con il fabbricato esistente. Qui si è scelto un sistema trave colonna ed un tamponamento non strutturale. La copertura è realizzata tramite solaio xlam per garantire il comportamento scatolare e la rigidità nel piano.

Dal punto di vista vibrazionale l'input sismico è stato imposto a partire dal piano terra (quota +181 m).

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E MATERIALI

2.1 Normativa

- [1] **D.P.R. 380/2001 (come modificato dal D.Lgs. 301/2002)** "Testo unico edilizia";
- [2] **G.U. n. 245 del 20 ottobre 2001** "Supplemento Ordinario n. 239 (Rettifica G.U. n. 47 del 25 febbraio 2002) e G.U. n. 16 del 21 gennaio 2003";
- [3] **D.M. 17 gennaio 2018** "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"
- [4] **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7** "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018
- [5] **Delibera della Giunta provinciale n. 27** dell'11 gennaio 2008 "Direttiva per l'applicazione dopo l'1/1/2008 delle Norme tecniche per le costruzioni";
- [6] **D.M. 03/08/2015** "Codice di previsione incendi";
- [7] **Decreto Ministeriale Min. LL. PP. 09/01/1996** "Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- [8] **Decreto Ministeriale Min. LL. PP 16/01/1996** "Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";
- [9] **Circolare Min. LL. PP 04/07/1996** "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi";
- [10] **Circolare Min. LL. PP 15/10/1996 n.252** "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D.M. 9 gennaio 1996";
- [11] **UNI-EN 1992-1-1 2005 Eurocodice 2** "Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici";
- [12] **UNI EN 1995-1-1:2005 Eurocodice 5** "Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici";
- [13] **UNI EN 1998-1:2005 Eurocodice 8** "Design of structures for earthquake resistance -Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings".

3. COPRIFERRI MINIMI DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE

Per la definizione del copriferro adottato nelle calcolazioni è stato valutato sulla base dell'approccio multidisciplinare richiesto dalle normative rispetto al comportamento della struttura dal punto di vista dei seguenti aspetti:

- 1- Durabilità
- 2- Resistenza al fuoco

Le valutazioni computazionali eseguite sono state impostate pertanto rispettando i copriferri necessari alla durabilità in **condizioni ambientali ordinarie** (come secondo tabelle 4.1.III del DM 17/01/2018 e C4.1.IV della circolare del 21/01/2018) e resistenza al fuoco delle nuove strutture pari a **R 60**.

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella C4.1.IV - Copriferri minimi in mm

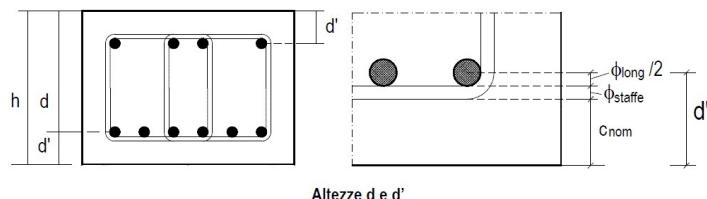
			barre da c.a. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p. elementi a piastra		cavi da c.a.p. altri elementi	
C_{min}	C_0	ambiente	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

La classe di resistenza minima C_{min} indicata in tabella deve comunque intendersi riferita alla pertinente classe di esposizione di cui alla UNI EN 206:2016 richiamata nella Tabella 4.1.III delle NTC.

I copriferri indicati nella circolare del DM 17/01/2018 indicano il ricoprimento di calcestruzzo misurato dal bordo del calcestruzzo al filo esterno delle barre, come mostrato nella figura seguente.

$$C_{nom} = \max (C_{min,b}, C_{min,dur}) + 10 \text{ (mm)} \geq 20 \text{ mm}$$

$$C_{min,b} = \phi \sqrt{n_b} \quad n_b \text{ numero di barre di un eventuale gruppo di barre; per barra singola } n_b = 1.$$



Altezze d e d'

Per quanto riguarda tutti gli elementi metallici strutturali, la resistenza al fuoco viene garantita mediante l'applicazione di opportune vernici intumescenti.

3.1 Durabilità

Il coprifero nominale di progetto è dato dalla seguente espressione:

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$$

Dove:

C_{nom} = valore nominale di progetto

C_{min} = valore minimo del copri ferro

ΔC_{dev} = tolleranza di esecuzione relativa al copri ferro (assunto di norma pari a 10mm)

Il valore minimo del copri ferro è dato da:

$$C_{\text{min}} = \text{MAX} (C_{\text{min},b}; C_{\text{min},\text{dur}}; 10 \text{ mm})$$

Dove:

$C_{\text{min},b}$ = copri ferro minimo necessario per l'aderenza delle armature (da assumersi pari al diametro della barra stessa)

$C_{\text{min},\text{dur}}$ = copri ferro minimo correlato alle condizioni ambientali (durabilità)

La dimensione minima da assumere per il copri ferro in relazione alle condizioni ambientali ($C_{\text{min},\text{dur}}$), sono funzione della classe strutturale e della classe ambientale e vengono ricavate dalla tabella 4.4N dell'Eurocodice 2 di seguito riportata:

Classe Strutturale	Classi di esposizione ambientale						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Seguendo la norma UNI-EN 1992-1-1, la classe di esposizione degli elementi strutturali dell'intera costruzione è la XC1 per gli elementi interni e la XC2 per gli elementi fondazionali e controterra.

Per una vita nominale (V_n) della struttura pari a 50 anni viene ricavata, in corrispondenza della classe strutturale S4, il copri ferro nominale ($C_{\text{min},\text{dur}}$).

Per la determinazione della classe strutturale si può fare riferimento alla tabella 4.3 N dell'eurocodice di seguito riportata:

Tabella 4.3 N - Determinazione Classe Strutturale							
Criteri	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Vita di progetto di 100 anni	Incrementa la classe di 2						
Classe di resistenza	$\geq C30/37$ riduci la classe di 1	$\geq C30/37$ riduci la classe di 1	$\geq C35/45$ riduci la classe di 1	$\geq C40/50$ riduci la classe di 1	$\geq C40/50$ riduci la classe di 1	$\geq C40/50$ riduci la classe di 1	$\geq C45/55$ riduci la classe di 1
Parti con geometria a piastra	riduci la classe di 1						
Speciali controlli di qualità sui calcestruzzi	riduci la classe di 1						

Si riporta di seguito il coprifero minimo dei principali elementi strutturali, calcolati dal punto di vista della durabilità:

Elemento	Classe di esposizione	Classe di calcestruzzo minima	Classe strutturale	Durabilità + Tolleranza di posa $c_{min} + \Delta c_{dev}$ (mm)	Coprifero adottato (mm)
Fondazioni	XC2	C28/35	S4	25+10=35	40

4. ANALISI DEI CARICHI

A livello di carichi permanenti agenti sono stati considerati il peso proprio delle strutture portanti, il valore di carico permanente portato valutato sulla base delle stratigrafie indicate nel progetto architettonico, incrementato a favore di sicurezza.

Per quanto riguarda i carichi accidentali sono stati assunti i valori indicati nella tabella 3.1.II della NTC 2018.

4.1 Carichi permanenti portati

Segue in forma tabellare l'analisi dei carichi permanenti portati g_{2k} :

4.1.1 Copertura

Stratigrafia	Base (m)	Spessore / altezza (m)	Interasse (m)	Peso specifico (kN/m ³)	Peso per unità di superficie (kN/m ²)
Telo filtrante + pannello di accumulo + stuoia protettiva + guaina impermeabilizzante	-	-	-	-	0.15
Isolante pendenziatore	-	0.2	-	1.10	0.22
Pannelli fotovoltaici	-	-	-	-	0.30
Controsoffitto	-	-	-	-	0.50
Total arrotondato					1.2

A favore di sicurezza, in questa fase progettuale si è considerato un peso pari a 1,5 kN/mq.

- Piano terra

Stratigrafia	Base (m)	Spessore / altezza (m)	Interasse (m)	Peso specifico (kN/m ³)	Peso per unità di superficie (kN/m ²)
Finitura superiore in gres	-	-	-	-	0.40
Massetto autolivellante	-	0.05	-	20.00	1.00
Pavimento radiante	-	0.045	-	-	0.20
Massetto alleggerito	-	-	-	-	1.25
Isolante	-	0.15	-	1	0.15
Pareti divisorie interne	-	-	-	-	0.80
Total arrotond					3.80

4.2 Carichi variabili -

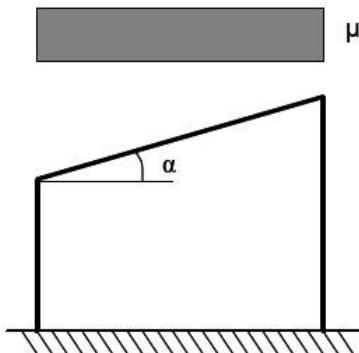
4.2.1 Destinazione d'uso

La destinazione d'uso dei locali scolastici è assunta pari a **3,00 kN/m²** – Cat. C1 (Tab. 3.1.II delle NTC 17/01/2018). Sulla copertura si prevede la destinazione dedicata alla sola manutenzione.

Le categorie di utilizzo sono riassunte nella seguente tabella, in conformità alla tabella 3.1.II del DM 17/01/2018.

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	q_k [kN/m]
C1	Scuole-ristoranti-ricevimento	3,00	3,00	1,00
H1	Coperture accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00

4.2.2 Carico neve



Regione:	Lombardia/Brescia
Ubicazione:	Zona I - Alpina
Quota sito s.l.m.m. as:	181 m
Topografia:	Normale
Coefficiente di esposizione CE:	1.00
Coefficiente termico Ct:	1.00
qsk (neve al suolo - TR=100anni):	1.50 kN/m ²
Angolo falda sull'orizzontale:	0°
Coefficiente di forma μ_1:	0.80
Carico neve su falda:	$q = 1.20 \text{ kN/m}^2$

4.2.3 Azione del vento

La pressione cinetica del vento è stata calcolata seguendo quanto riportato nella CNR-DT 207 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = qr \cdot ce \cdot cp \cdot cd$$

dove:

$$qr = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Vr^2 = 391 \text{ N/m}^2 \quad \text{Pressione cinetica di riferimento}$$

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

$$qr \quad 391 \text{ N/m}^2$$

$$\rho \quad 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$Vr = Vb \times cr = 25.00 \times 1.00 = 25 \text{ m/s} \quad \text{Velocità di riferimento}$$

VELOCITA' DI RIFERIMENTO

$$Vb \quad 25 \text{ m/s}$$

$$Tr \quad 50$$

$$Cr \quad 1,00$$

$$Vr \quad 25 \text{ m/s}$$

$$\text{ZONA} \quad 1$$

$$\text{CLASSE RUGOSITA'} \quad C$$

$$\text{CATEGORIA DI ESPOSIZIONE} \quad II$$

$$Vb = Vb,0 \times ca = 25 \text{ m/s} \quad \text{Velocità base di riferimento}$$

VELOCITA' BASE DI RIFERIMENTO

$$Vb,0 \quad 25 \text{ m/s}$$

$$Ca \quad 1$$

$$Vb \quad 25 \text{ m/s}$$

$$as \quad 181 \text{ m}$$

$$a0 \quad 1000 \text{ m}$$

$$ce(z) = kr^2 \cdot ct \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + ct \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{Coefficiente di esposizione}$$

COEFFICINETE DI ESPOSIZIONE

Ce	1,71
Kr	0,2
Ct	1
Z	4
Z0	0,1

Cpe = 0,7+0,1xH/D coefficiente di pressione per facce sopravento in edifici a pianta rettangolare

COEFFICIENTE DI PRESSIONE ESTERNA

Cpe	0,73
H	4
D	12

Da CNR/DT 207 R1/2018 possiamo dedurre il coefficiente di pressione interna che è in questo caso pari a cpi = 0,75*cpe = 0,55

Tabella G.IX – Coefficienti di pressione interna per edifici con una superficie dominante (per valori intermedi della superficie dominante è consentita l'interpolazione lineare)

Area delle aperture sulla superficie dominante pari ad almeno il doppio dell'area delle aperture sulle altre superfici	$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe}$
Area delle aperture sulla superficie dominante pari ad almeno il triplo dell'area delle aperture sulle altre superfici	$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe}$

COEFFICIENTE DI PRESSIONE INTERNA

$$Cpi = -0,75 * Cpe = -0,55$$

L'azione statica equivalente maggiore da applicare sulla struttura in fase di progetto è risultata pari a:

$$p = qr \cdot ce \cdot (Cpe - Cpi) \cdot cd = 900 \text{ N/m}^2$$

**AZIONE STATICÀ
EQUIVALENTE**

P 850 N/m²

qr	391 N/m ²
ce	1,71
Cpe	0,73
Cpi	0,54
cd	1

Di seguito si riportano i parametri e le tabelle di riferimento utilizzate per l'individuazione del posto e della pressione cinetica di riferimento del vento:

Tabella 3.1 – Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 e k_a per le diverse zone italiane.

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ (m/s)	a_0 (m)	k_a
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Tabella 3.II – Valori dei parametri k_r , z_0 , e z_{\min} per le diverse categorie di esposizione.

Categorie di esposizione del sito	k_r	z_0 (m)	z_{\min} (m)
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

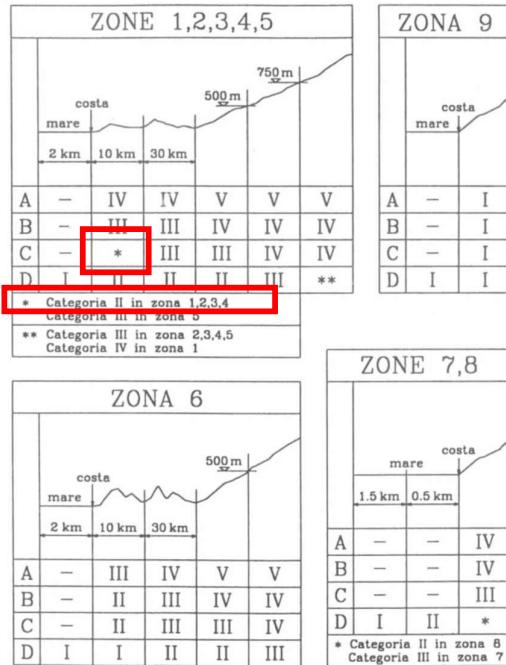


Figura 3.3 – Criterio di assegnazione della categoria di esposizione per le diverse zone italiane.

Tabella 3.III - Classi di rugosità del terreno.

Classi di rugosità	Descrizione
A	Area urbana, in cui almeno il 15% della superficie del terreno sia coperto da edifici la cui altezza media supera i 15 m
B	Area urbana (non di classe A), suburbana, industriale o boschiva
C	Area con ostacoli diffusi (quali alberi, case, muri, recinzioni,); aree con rugosità non riconducibile alle Classi A, B, D.
D	<ul style="list-style-type: none"> a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla riva) b) Lago (con larghezza pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla riva) c) Area priva di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

4.2.4 Parametri per il calcolo sismico

La posizione geografica dell'edificio è di seguito individuata:

latitudine 45.535370

longitudine 10.516424

Seguono i parametri sismici relativi al sito in questione.

Tipo di costruzione		3 - Costruzioni con livelli di prestazioni elevati				
Vn		Default (100)				
Classe d'uso		III				
Località:	Brescia, Soiano Del Lago, Soiano Latitudine ED50 45,5354° (45° 32' 7") Longitudine ED50 10,5164° (10° 30' 59") Altitudine s.l.m. 184,41 m					Dettagli...
Vr		Default (150)				
Stato limite	Pvr(%)	Tr(anni)	Ag/g	Fo	Tc*(s)	
SLO	Default (81)	90	Default (0.0773)	Default (2.486)	Default (0.25)	
SLD	Default (63)	151	Default (0.0991)	Default (2.48)	Default (0.255)	
SLV	Default (10)	1424	Default (0.2352)	Default (2.473)	Default (0.284)	
SLC	Default (5)	2475	Default (0.2854)	Default (2.443)	Default (0.29)	

I parametri utilizzati per il calcolo degli spettri di risposta sismici sono pertanto i seguenti:

V_N = 100 anni

Classe di utilizzo: III,

C_u = 1,5

Sottosuolo: Tipo C

Cat. Topografica: T1

Il fattore di comportamento assunto per la definizione degli spettri di progetto è pari a 2.5 per pannelli di parete incollati a strati incrociati.

5. CRITERI GENERALI DELLA MODELLAZIONE

Nel presente paragrafo si riportano i principali criteri utilizzati in fase di modellazione per i corpi d'opera in progetto.

5.1 Strumenti di modellazione

Il calcolo preliminare degli elementi strutturali è stato condotto sia tramite calcoli manuali e microsoft excel, sia con l'ausilio di programmi agli elementi finiti. In particolare, le analisi FEM sono state condotte utilizzando i seguenti strumenti di modellazione e verifica:

- Modellazione generale per le verifiche normative statico-sismiche:
 - o Concrete SismiCad 13
- Analisi delle opere geotecniche di fondazione:
 - o Califfo

Il ricorso alla modellazione complessiva ha permesso di analizzare i fattori dimensionanti delle opere strutturali, funzionale alla completa definizione del livello di progettazione richiesto.

Il lavoro è stato pertanto impostato sulla determinazione dell'organizzazione strutturale necessaria a garantire il corretto e ponderato governo dei carichi nel rispetto delle geometrie architettoniche, edilizie e tecnologiche che compongono l'opera.

Il modello realizzato ha pertanto permesso di ottenere una completa valutazione della proposta strutturale, sia per quanto riguarda le verifiche di resistenza e di deformazione, sia per quanto concerne il rispetto delle molteplici prescrizioni normative richieste dalla norma.

Nei paragrafi seguenti verranno pertanto esposti in via preordinata i criteri di modellazione di tutto il corpo di fabbrica e, a seguire, saranno presentati i principali risultati ottenuti in fase di verifica.

5.2 Criteri di modellazione

Si riportano di seguito i principali criteri utilizzati nella modellazione e nella verifica delle strutture:

- L'approccio utilizzato per l'analisi di ciascun corpo prevede come primo passo l'analisi e la verifica delle strutture considerando gli elementi sismo resistenti incastriati alla base, mentre gli elementi verticali secondari, la cui rigidezza e resistenza alle azioni orizzontali viene trascurata in quanto inferiore al 15% dell'analogo contributo degli elementi primari (paragrafo 7.2.3 DM 17/01/2018), vengono modellati come elementi incernierati alle estremità e non partecipano in termini di rigidezza al comportamento sismico globale;
- La costruzione è stata progettata in accordo con quanto riportato al paragrafo 7.2.2 del DM 17/01/2018 assumendo un comportamento strutturale non dissipativo;

- Per la verifica degli elementi strutturali è stata svolta una analisi lineare dinamica (analisi modale) andando a considerare tutti i modi di vibrazione che costituiscono un contributo significativo alla risposta dinamica della struttura.
- La quota dello zero sismico viene presa in corrispondenza dell'estradosso fondazionale di ogni singolo corpo;
- Il dimensionamento delle strutture di fondazione e la verifica di sicurezza del complesso fondazione-terreno sono state condotte come specificato nel paragrafo 7.2.5 del DM 17/01/2018 considerando come azioni in fondazione quelle derivanti dagli elementi sovrastanti nell'ipotesi di comportamento strutturale non dissipativo;
- Per meglio apprezzare il comportamento dell'insieme fondazioni-terreno, l'analisi fondazionale è eseguita assumendo un comportamento del terreno elasto-plastico in modo tale che non vi siano zone di terreno che reagiscano a trazione;

5.3 Metodo di verifica

Il dimensionamento e le verifiche delle strutture sia in campo statico che sismico vengono eseguite con le modalità previste dal D.M. 17/01/18 considerando il metodo degli stati limite.

Il calcolo delle sollecitazioni sulla struttura e il dimensionamento delle varie sezioni caratteristiche sono stati condotti con i metodi della Scienza e della Tecnica delle Costruzioni.

L'analisi strutturale adottata è di norma nell'ambito della teoria elastica lineare che ben rappresenta il comportamento globale dell'intera struttura.

Secondo il principio della verifica agli stati limite le strutture devono essere verificate sia in condizioni di carico prossimo a quello di rottura (Verifiche agli Stati Limite Ultimi), sia per livelli di carico di utilizzo (Verifiche agli Stati Limite di Esercizio).

Rispetto agli SLU devono essere verificate: la rottura per sollecitazioni normali, di taglio o di torsione, l'instabilità dell'equilibrio globale e locale.

Rispetto agli SLE devono essere limitate le estensioni delle fessurazioni, la deformabilità strutturale e il regime tensionale di esercizio.

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si utilizza il metodo semiprobabilistico agli stati limite, basato sull'utilizzo di coefficienti parziali di sicurezza applicati ai valori caratteristici delle resistenze dei materiali R_{ki} e delle azioni agenti sulle strutture E_{ki} . Operando in tal modo si ottengono generalmente valori delle azioni maggiorate (E_d) e valori di resistenza ridotti (R_d) e pertanto nelle verifiche globali è possibile fare riferimento a coefficienti di sicurezza unitari dovendo essere:

$$R_d \geq E_d$$

5.4 Resistenza di calcolo dei materiali

Le resistenze di calcolo si ottengono in genere dalle resistenze caratteristiche dei materiali dividendole per il coefficiente di sicurezza sul materiale γ_M .

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

5.5 Azioni di calcolo e combinazioni

Sia l'analisi statica che sismica tengono conto della scarsa probabilità che le azioni esercitino i loro effetti simultaneamente con la massima intensità. Di conseguenza ai fini delle verifiche agli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni (D.M. 17/01/18 § 2.5.3):

Combinazione fondamentale (SLU)

$$gG_1 \times G_1 + gG_2 \times G_2 + gp \times P + gQ_1 \times Q_{k1} + gQ_2 \times Y_{02} \times Q_{k2} + gQ_3 \times Y_{03} \times Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

Combinazione caratteristica (SLE rara)

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + Y_{02} \times Q_{k2} + Y_{03} \times Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

Combinazione frequente (SLE freq.)

$$G_1 + G_2 + P + Y_{11} \times Q_{k1} + Y_{22} \times Q_{k2} + Y_{23} \times Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

Combinazione quasi permanente (SLE q.p.)

$$G_1 + G_2 + P + Y_{21} \times Q_{k1} + Y_{22} \times Q_{k2} + Y_{23} \times Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

Combinazione sismica

$$E + G_1 + G_2 + P + Y_{21} \times Q_{k1} + Y_{22} \times Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

Combinazione eccezionale

$$G_1 + G_2 + P + Ad + Y_{21} \times Q_{k1} + Y_{22} \times Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Dove i coefficienti parziali delle azioni g assumono i seguenti valori a seconda delle tipologie di carico considerate (D.M. 17/01/18 tabella 2.6.I):

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_Q	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Categoria/Azione variabile		Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A	Ambienti ad uso residenziale	0.7	0.5	0.3
Categoria B	Uffici	0.7	0.5	0.3
Categoria C	Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.7	0.6
Categoria D	Ambienti ad uso commerciale	0.7	0.7	0.6
Categoria E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1.0	0.9	0.8
Categoria F	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Categoria G	Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0.7	0.5	0.3
Categoria H	Coperture	0.0	0.0	0.0
Vento		0.6	0.2	0.0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)		0.5	0.2	0.0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)		0.7	0.5	0.2
Variazioni Termiche		0.6	0.5	0.0

5.6 Stratigrafie e caratteristiche meccaniche

Di seguito si riporta il modello geotecnico semplificato della stratigrafia estratto dalla relazione geologica – geotecnica redatta dallo studio tecnico geologico Dr. Carlo Fasser, settembre 2025.

Il terreno in esame è inizialmente costituito da argille limose passanti a ghiaie con ciottoli in matrice argilloso limosa presente in percentuale variabile e generalmente in diminuzione con la profondità.

- $\gamma = 19$ kN/ m³
- $\phi = 31^\circ$
- $C_u = 0$ kPa
- $E = 34.000$ kPa

Dalla relazione geologica il terreno è classificato come segue:

- **CATEGORIA SOTTOSUOLO:** C
- **CATEGORIA TOPOGRAFICA:** T1

Coefficiente di Winkler medio cautelativo $k_r = 80$ N/cm³.

Si riporta qui di seguito la stima della capacità portante del terreno dalla relazione geologica:

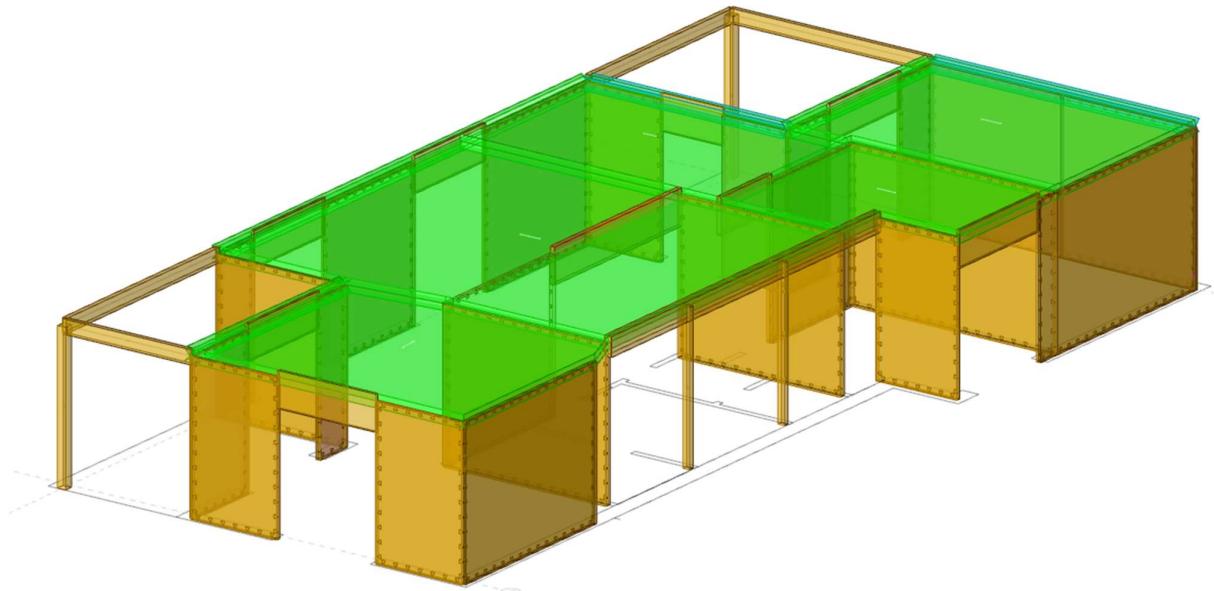
Fondazioni continue ($L \geq 5B$)	M1	M2
$B = 0,80 \text{ m}$	$5,7 \text{ Kg/cm}^2 = 559 \text{ kPa}$	$2,9 \text{ Kg/cm}^2 = 284 \text{ kPa}$
$B = 1,00 \text{ m}$	$6,1 \text{ Kg/cm}^2 = 598 \text{ kPa}$	$3,1 \text{ Kg/cm}^2 = 304 \text{ kPa}$
$B = 1,20 \text{ m}$	$6,5 \text{ Kg/cm}^2 = 637 \text{ kPa}$	$3,3 \text{ Kg/cm}^2 = 323 \text{ kPa}$

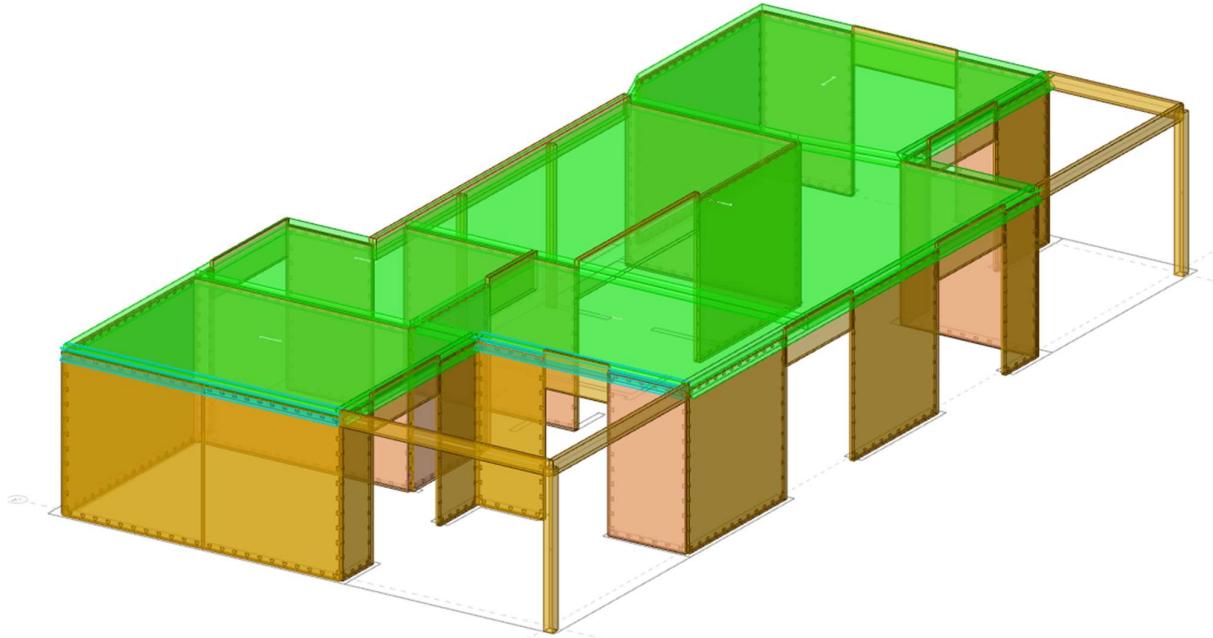
Fondazioni isolate (plinti $B=L$)	M1	M2
$B = 1,50 \text{ m}$	$6,8 \text{ Kg/cm}^2 = 667 \text{ kPa}$	$3,5 \text{ Kg/cm}^2 = 343 \text{ kPa}$
$B = 2,00 \text{ m}$	$7,8 \text{ Kg/cm}^2 = 765 \text{ kPa}$	$4,0 \text{ Kg/cm}^2 = 392 \text{ kPa}$
$B = 2,50 \text{ m}$	$8,7 \text{ Kg/cm}^2 = 853 \text{ kPa}$	$4,4 \text{ Kg/cm}^2 = 431 \text{ kPa}$

6. ANALISI DEL NUOVO FABBRICATO

6.1 Modellazione

Il modello tridimensionale è rappresentato nella figura seguente.





CARATTERIZZAZIONE GENERALE DEL COMPORTAMENTO STRUTTURALE:

Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni.

Travi e colonne in legno lamellare, collegati mediante chiodi, viti, bulloni.

CARATTERIZZAZIONE GENERALE DELLA MODELLAZIONE AGLI ELEMENTI FINITI:

- **QUOTA ZERO SISMICO:** + 181 m (estradosso nuova fondazione)
 - **FATTORE DI COMPORTAMENTO UTILIZZATO:** $1 \leq q_{ND} = 2/3 \cdot q_{CD}^{''B''} \leq 1,5$ (struttura non dissipativa)
- Dunque, per strutture a pareti in xlam $2/3 \cdot q_{CD}^{''B''} = 1.67 \rightarrow q_{ND} = 1.5$

Classe di duttilità	Non dissipativa
Regolarità in pianta	<input type="checkbox"/>
Regolarità in elevazione	<input type="checkbox"/>
□ Edificio C.A.	
Tipologia C.A.	Strutture a telaio $q_0=3.0*\alpha_u/\alpha_1$
α_u/α_1 C.A.	Strutture a telaio di un piano $\alpha_u/\alpha_1=(1.0+1.1)/2$
Kw	0.5
□ Edificio acciaio	
Tipologia acciaio	a) Strutture intelaiate $q_0=4.0$
α_u/α_1 acciaio	
□ Edificio muratura	
Tipologia muratura	Costruzioni di muratura ordinaria $q_0=1.75*\alpha_u/\alpha_1$
✓ Edificio legno	
Tipologia legno	Pannelli di parete incollati a strati incrociati, collegati

Tipo di analisi	Lineare dinamica
Rotazione del sisma	deg 0
Quota dello '0' sismico	cm 0
Considera sisma Z	Solo se $A_g \geq 0.15$ g, conformemente a §3.2.3.1
Smorzamento viscoso (%)	% Default (5)
Limite spostamenti interpiano SLD	Default (0.005)
Fattore di comportamento per sisma SLD X	Default (1.33)
Fattore di comportamento per sisma SLD Y	Default (1.33)
Fattore di comportamento per sisma SLD Z	Default (1)
Fattore di comportamento per sisma SLV X	Default (1.33)
Fattore di comportamento per sisma SLV Y	Default (1.33)
Fattore di comportamento per sisma SLV Z	Default (1)
Stato limite sismico analizzato in caso di isolatori a pendolo	SLV
Parametri per combinazioni di default	
Moltiplicatore sisma X per combinazioni di default	Default (1)
Moltiplicatore sisma Y per combinazioni di default	Default (1)
Ometti G2 per combinazioni di default	<input type="checkbox"/>

- **ELEMENTI FINITI IMPIEGATI:**

- o Pilastri: BEAM
- o pareti: SHELL 3 o 4 NODI
- o Travi: BEAM
- o Solai: MEMBRANA

- **VINCOLI INTERNI E RELEASE:** Cerniere agli estremi delle colonne e delle travi
- **VINCOLI ESTERNI:** Cerniere rigide a terra poste a tutti i nodi delle pareti
- **QUOTE DI RIFERIMENTO (Z):** **+181 m** ESTRADOSSO SOLAIO STRUTTURALE (zero sismico)
+184.5 m NODI ESTRADOSSO SOLAIO DI COPERTURA

6.2 Controlli preliminari

A seguito della modellazione numerica agli elementi finiti, sono state condotte una serie di Verifiche preliminari strutturali e sulla modellazione numerica. Nell'immagine seguente si riporta la schermata con le verifiche e i controlli effettuati.

- ▲ Valutazione T1 da analisi modale
 - ✓ T1,x = 0.03234 s, T1,y = 0.0349 s.
- ▲ Massa partecipanti
 - ▲ ✓ massa partecipante in condizione Sisma X SLV 100%
 - massa partecipante in condizione Sisma Y SLV 100%
- ▲ Valutazione effetti secondo ordine
 - ✓ Rispettata verifica [7.3.3] § 7.3.1 D.M. 17-01-18 (theta massimo [0] < 0.1)

La formula da normativa restituisce un periodo di $T = 0.085 \cdot 3.5^{3/4} = 0.22$ s che è prossimo al valore precedente (il valore da software risulta inferiore perché struttura incastrata alla base).

6.1 Controlli manuali sull'ordine di grandezza dell'output della modellazione

In maniera semplificata la massa totale agente a livello di copertura si può calcolare come $(G1+G2) \cdot \text{superficie copertura} + \text{metà peso delle pareti} \sim 530$ kN

In Sismicad questa viene visualizzata in $M = \text{Forza}/\text{gravità}$ risultando:

Masse di piano

Quota: quota, livello o falda, a cui compete la massa risultante.

Massa X: massa per la componente di spostamento lungo l'asse X. [kN/(m/s²)]

Massa Y: massa per la componente di spostamento lungo l'asse Y. [kN/(m/s²)]

Quota	Massa X	Massa Y
copertura	51.322	51.322

Considerando il periodo calcolato al paragrafo precedente possiamo dedurre l'accelerazione adimensionale dallo spettro di risposta allo SLV, pari a (in questo caso simile in X e Y poiché i periodi sono simili): $a_{g,SLV} (T=0.03s)/g = 0.3$

Le forze alla base risultano dunque (aggiunge la massa delle pareti) pari a $F = m \cdot a = 530 \text{ kN} * 0.3 = 160 \text{ kN}$

Infatti dal software si ottiene un valore molto prossimo:

Equilibrio globale forze

Contributo: Nome attribuito al sistema risultante.

Fx: Componente X di forza del sistema risultante. [kN]

Fy: Componente Y di forza del sistema risultante. [kN]

Fz: Componente Z di forza del sistema risultante. [kN]

Bilancio in condizione di carico: Sisma X SLV

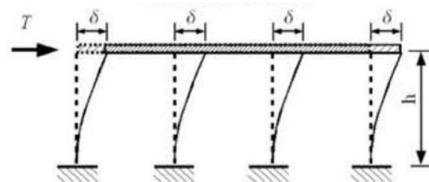
Contributo	Fx	Fy
Forze applicate	139.16542	0
Reazioni	-139.16542	0
P-Delta	0	0
Totale	0	0

Bilancio in condizione di carico: Sisma Y SLV

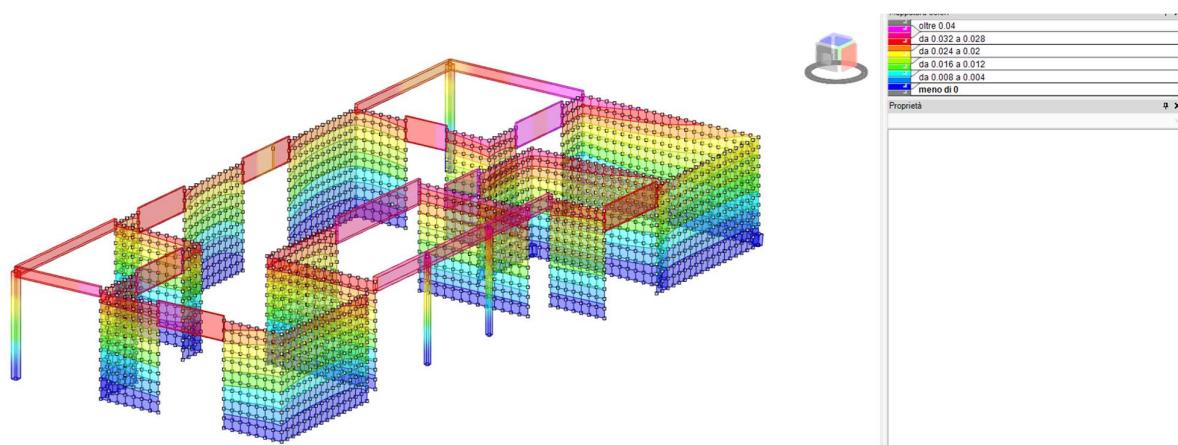
Contributo	Fx	Fy
Forze applicate	0	140.90962
Reazioni	0	-140.90962
P-Delta	0	0
Totale	0	0

L'ultima verifica consiste nel verificare l'ordine di grandezza dello spostamento allo SLD, considerando $a_{g,SLD} (T=0.03s)/g = 0.102 \rightarrow F \sim 55 \text{ kN}$

Una stima della rigidezza e dello spostamento del sistema nelle due direzioni può essere fatta considerando i muri senza la loro eccentricità rispetto al centro di rigidezza ed un modello di calcolo a mensola per i setti, con una inerzia pari ad un pannello pieno di spessore pari alla somma degli strati verticali ($20+20+20=60 \text{ mm}$) ed un modulo elastico $E = 11500 \text{ MPa}$. Questo fornisce una rigidezza in X di circa $\sim 1500 \text{ kN/mm}$ ed una rigidezza in Y di $\sim 300 \text{ kN/mm}$. Dividendo la forza derivante dal sisma per questi valori si ottiene uno spostamento in testa alle pareti di circa 0.01 mm



Lo spostamento massimo misurato tramite Sismicad allo SLD è pari a 0.03 mm, come si evince dalla figura successiva, la massa delle pareti è stata concentrata in copertura a favore di sicurezza:



L'analisi modale conferma che per un edificio di questa tipologia gli effetti traslazionali e locali sono preponderanti rispetto agli effetti torsionali.

6.2 Tipologia di analisi effettuata

Al fine di poter apprezzare al meglio il comportamento strutturale dell'opera per il blocco in esame è stata condotta una **analisi lineare dinamica modale**.

Si riportano di seguito tutte le famiglie di combinazioni di carico statiche e dinamiche applicate alla struttura:

Definizioni dei carichi

Condizioni Concentrati Lineari Superficiali Termici Potenziali Combinabilità per default Combinazioni

Famiglia "SLU"

Nuovo Elimina Importa Default

OK Annulla Applica

	Descrizione	Pesi strutturali	Permanenti portati	Vento	Neve	Variabile H	ΔT
► 1	1	1	0,8	0	0	0	0
2	2	1	0,8	0	0	1,5	0
3	3	1	0,8	0	0,75	1,5	0
4	4	1	0,8	0	1,5	0	0
5	5	1	0,8	0,9	0	1,5	0
6	6	1	0,8	0,9	0,75	1,5	0
7	7	1	0,8	0,9	1,5	0	0
8	8	1	0,8	1,5	0	0	0
9	9	1	0,8	1,5	0,75	0	0
10	10	1	1,5	0	0	0	0
11	11	1	1,5	0	0	1,5	0
12	12	1	1,5	0	0,75	1,5	0
13	13	1	1,5	0	1,5	0	0
14	14	1	1,5	0,9	0	1,5	0
15	15	1	1,5	0,9	0,75	1,5	0
16	16	1	1,5	0,9	1,5	0	0
17	17	1	1,5	1,5	0	0	0
18	18	1	1,5	1,5	0,75	0	0
19	19	1,3	0,8	0	0	0	0
20	20	1,3	0,8	0	0	1,5	0
21	21	1,3	0,8	0	0,75	1,5	0
22	22	1,3	0,8	0	1,5	0	0
23	23	1,3	0,8	0,9	0	1,5	0
24	24	1,3	0,8	0,9	0,75	1,5	0
25	25	1,3	0,8	0,9	1,5	0	0
26	26	1,3	0,8	1,5	0	0	0
27	27	1,3	0,8	1,5	0,75	0	0
28	28	1,3	1,5	0	0	0	0
29	29	1,3	1,5	0	0	1,5	0
30	30	1,3	1,5	0	0,75	1,5	0
31	31	1,3	1,5	0	1,5	0	0
32	32	1,3	1,5	0,9	0	1,5	0
33	33	1,3	1,5	0,9	0,75	1,5	0
34	34	1,3	1,5	0,9	1,5	0	0
35	35	1,3	1,5	1,5	0	0	0
36	36	1,3	1,5	1,5	0,75	0	0

Famiglia "SLE rara"

	Descrizione	Pesi strutturali	Permanent portati	Vento	Neve	Variabile H	ΔT
► 1	1	1	1	0	0	0	0
2	2	1	1	0	0	1	0
3	3	1	1	0	0,5	1	0
4	4	1	1	0	1	0	0
5	5	1	1	0,6	0	1	0
6	6	1	1	0,6	0,5	1	0
7	7	1	1	0,6	1	0	0
8	8	1	1	1	0	0	0
9	9	1	1	1	0,5	0	0

Famiglia "SLE frequente"

	Descrizione	Pesi strutturali	Permanent portati	Vento	Neve	Variabile H	ΔT
► 1	1	1	1	0	0	0	0
2	2	1	1	0	0,2	0	0
3	3	1	1	0,2	0	0	0

Famiglia "SLE quasi permanente"

	Descrizione	Pesi strutturali	Permanent portati	Vento	Neve	Variabile H	ΔT
► 1	1	1	1	0	0	0	0

Famiglia "SLD"

	Descrizione	Pesi strutturali	Permanent portati	Vento	Neve	Variabile H	ΔT	Sisma X SLD	Sisma Y SLD	Sisma Z SLD	E
► 1	1	1	1	0	0	0	0	-1	-0,3	0	
2	2	1	1	0	0	0	0	-1	-0,3	0	
3	3	1	1	0	0	0	0	-1	0,3	0	
4	4	1	1	0	0	0	0	-1	0,3	0	
5	5	1	1	0	0	0	0	-0,3	-1	0	
6	6	1	1	0	0	0	0	-0,3	-1	0	
7	7	1	1	0	0	0	0	-0,3	1	0	
8	8	1	1	0	0	0	0	-0,3	1	0	
9	9	1	1	0	0	0	0	0,3	-1	0	
10	10	1	1	0	0	0	0	0,3	-1	0	
11	11	1	1	0	0	0	0	0,3	1	0	
12	12	1	1	0	0	0	0	0,3	1	0	
13	13	1	1	0	0	0	0	1	-0,3	0	
14	14	1	1	0	0	0	0	1	-0,3	0	
15	15	1	1	0	0	0	0	1	0,3	0	
16	16	1	1	0	0	0	0	1	0,3	0	

Famiglia "SLV"													
	Descrizione	Pesi strutturali	Permanenti portati	Vento	Neve	Variabile H	ΔT	Sisma X SLV	Sisma Y SLV	Sisma Z SLV	E	Nuovo	Elimina
► 1	1	1	1	0	0	0	0	0	-1	-0,3	0		
2	2	1	1	0	0	0	0	0	-1	-0,3	0		
3	3	1	1	0	0	0	0	0	-1	0,3	0		
4	4	1	1	0	0	0	0	0	-1	0,3	0		
5	5	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	-1	0		
6	6	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	-1	0		
7	7	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	1	0		
8	8	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	1	0		
9	9	1	1	0	0	0	0	0	0,3	-1	0		
10	10	1	1	0	0	0	0	0	0,3	-1	0		
11	11	1	1	0	0	0	0	0	0,3	1	0		
12	12	1	1	0	0	0	0	0	0,3	1	0		
13	13	1	1	0	0	0	0	0	1	-0,3	0		
14	14	1	1	0	0	0	0	0	1	-0,3	0		
15	15	1	1	0	0	0	0	0	1	0,3	0		
16	16	1	1	0	0	0	0	0	1	0,3	0		

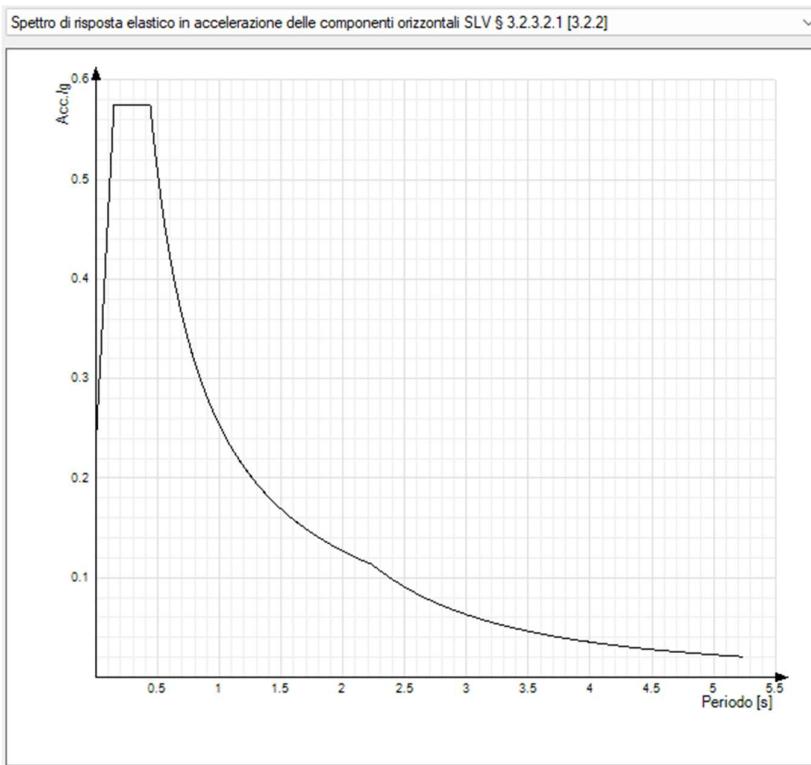
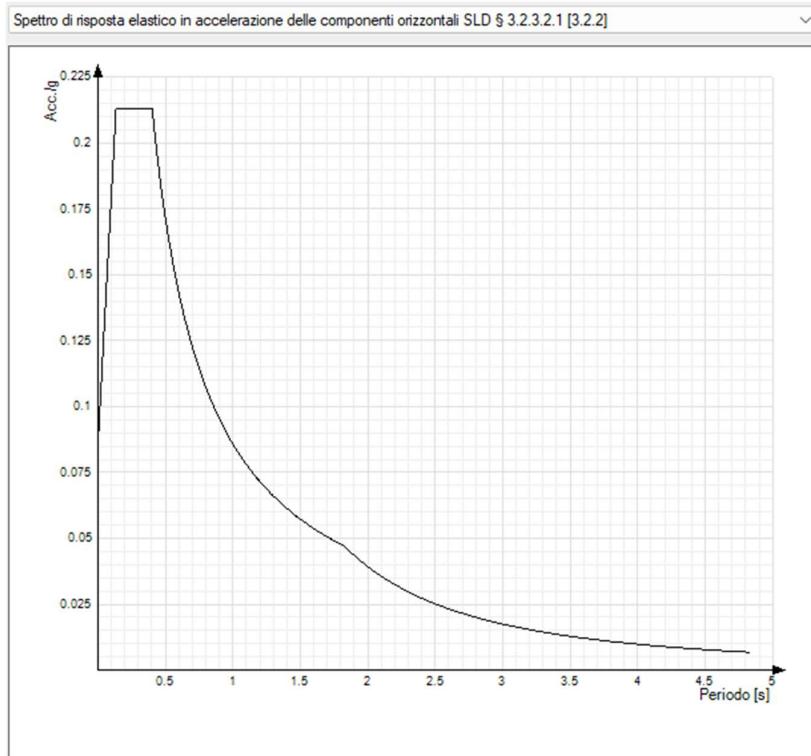
6.3 Coefficienti di combinazione

I coefficienti di combinazione utilizzati sono i seguenti:

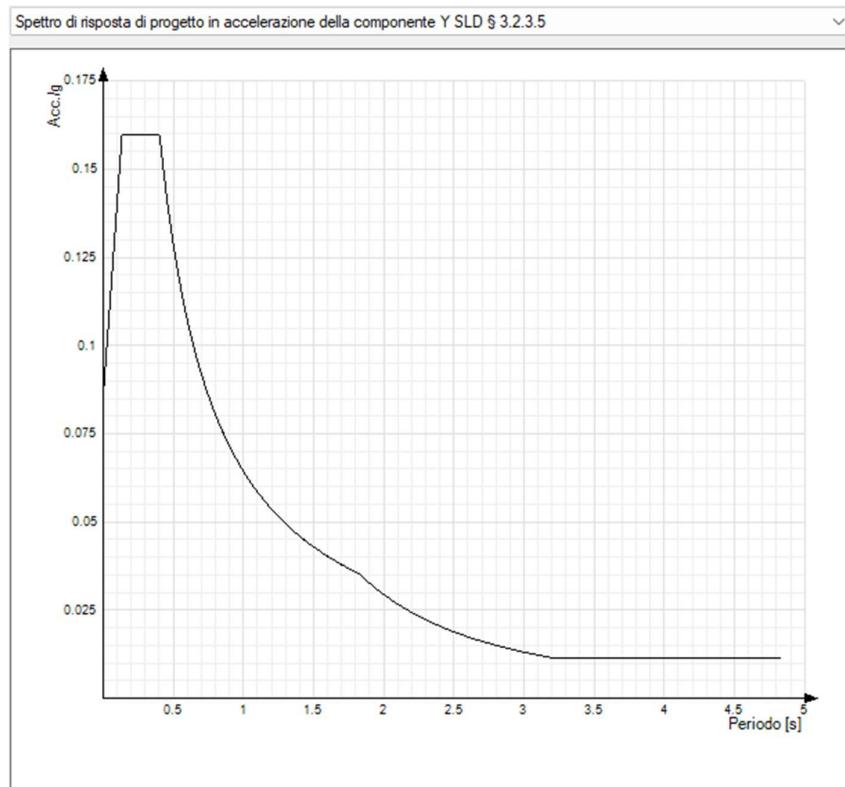
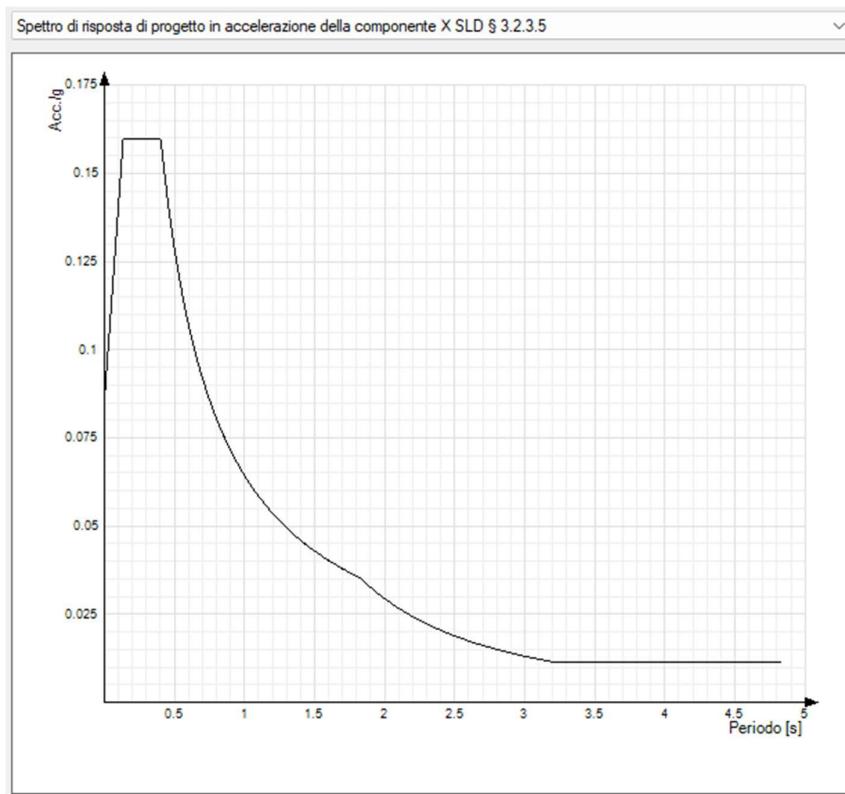
	Descrizione	Durata	ψ_0	ψ_1	ψ_2	Con segno		Nuovo	Elimina
► 1	Pesi strutturali	Permanente							
2	Permanenti portati	Permanente							
3	Vento	Istantanea	0,6	0,2	0				
4	Neve	Breve	0,5	0,2	0				
5	Variabile H	Breve	0	0	0				

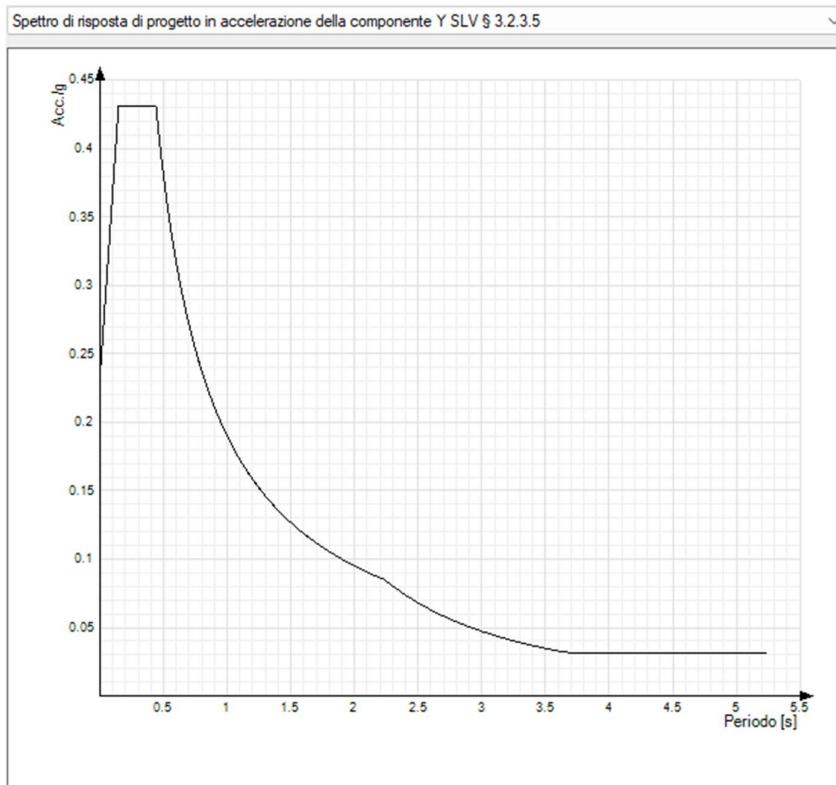
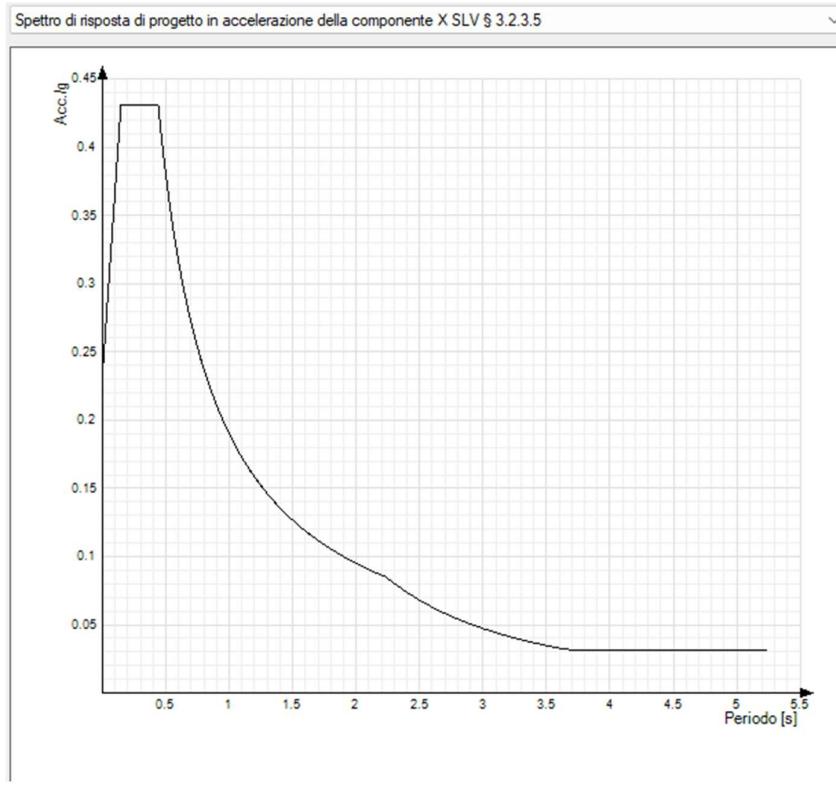
6.4 Spettri di risposta

- Spettri di risposta elasticici



- Spettri di risposta di progetto





6.5 Modi di vibrare principali

Di seguito si riportano tutti i modi di vibrare più rilevanti per la struttura in esame:

Totale masse partecipanti:

Traslazione X: 0.999999

Traslazione Y: 1

Traslazione Z: 0

Rotazione X: 1

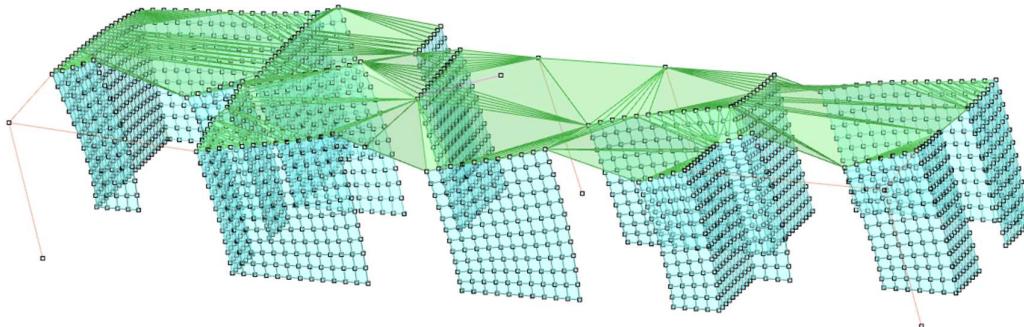
Rotazione Y: 0.999999

Rotazione Z: 0.999748

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y	Massa Z	Massa rot. X	Massa rot. Y	Massa rot. Z	Massa ex	Massa ey
1	0.034897428	0.013224357	0.561636058	0	0.561636058	0.013224357	0.013154711	0.013224357	0.561636058
2	0.032335771	0.816386609	0.007350069	0	0.007350069	0.816386609	0.166521663	0.816386609	0.007350069
3	0.025764037	0.097715161	0.014168028	0	0.014168028	0.097715161	0.614519844	0.097715161	0.014168028
4	0.017563784	0.0511688	0.001192864	0	0.001192864	0.0511688	0.157372023	0.0511688	0.001192864
5	0.014377528	0.001973588	0.008334595	0	0.008334595	0.001973588	0.004836339	0.001973588	0.008334595
6	0.013971188	0.014012585	0.004359167	0	0.004359167	0.014012585	0.036876071	0.014012585	0.004359167
7	0.01168606	0.002425849	0.001130058	0	0.001130058	0.002425849	0.002507533	0.002425849	0.001130058
8	0.009853073	0.001251286	0.000318546	0	0.000318546	0.001251286	0.000753099	0.001251286	0.000318546
9	0.009227216	0.000389624	0.000079687	0	0.000079687	0.000389624	0.000561738	0.000389624	0.000079687
10	0.008909677	0.000388463	0.000064607	0	0.000064607	0.000388463	0.000443705	0.000388463	0.000064607
11	0.008022406	0.000367998	0.000009454	0	0.000009454	0.000367998	0.000550323	0.000367998	0.000009454
12	0.007812224	0.000014032	0.000455395	0	0.000455395	0.000014032	0.000231177	0.000014032	0.000455395

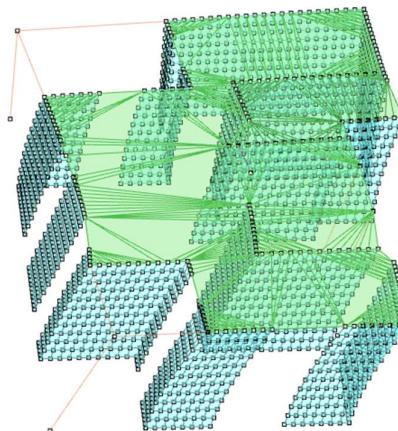
- Modo di vibrare principale in direzione Y:

- o Periodo T=0.0349



- Modo di vibrare principale in direzione X:

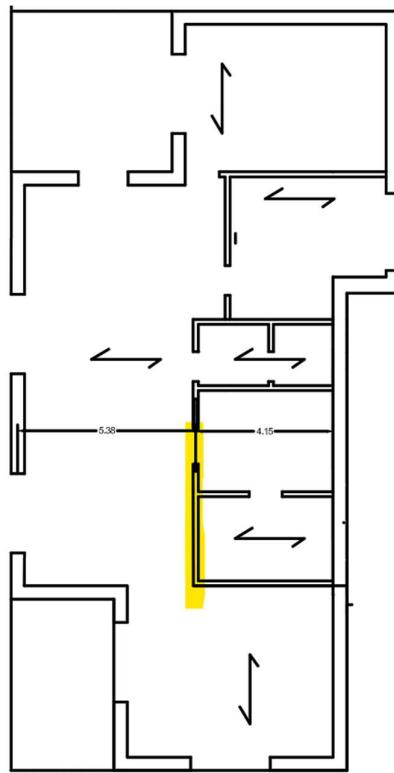
- o Periodo T=0.0323



6.6 VERIFICHE

6.6.1 Verifica trave di fondazione

La struttura di fondazione è costituita da travi rovesce sotto le rispettive pareti portanti in xlam, come indicato nei dettagli costruttivi. La capacità portante è qui di seguito analizzata a favore di sicurezza, massimizzando le forze allo stato limite ultimo per la parete più caricata indicata nella figura seguente:

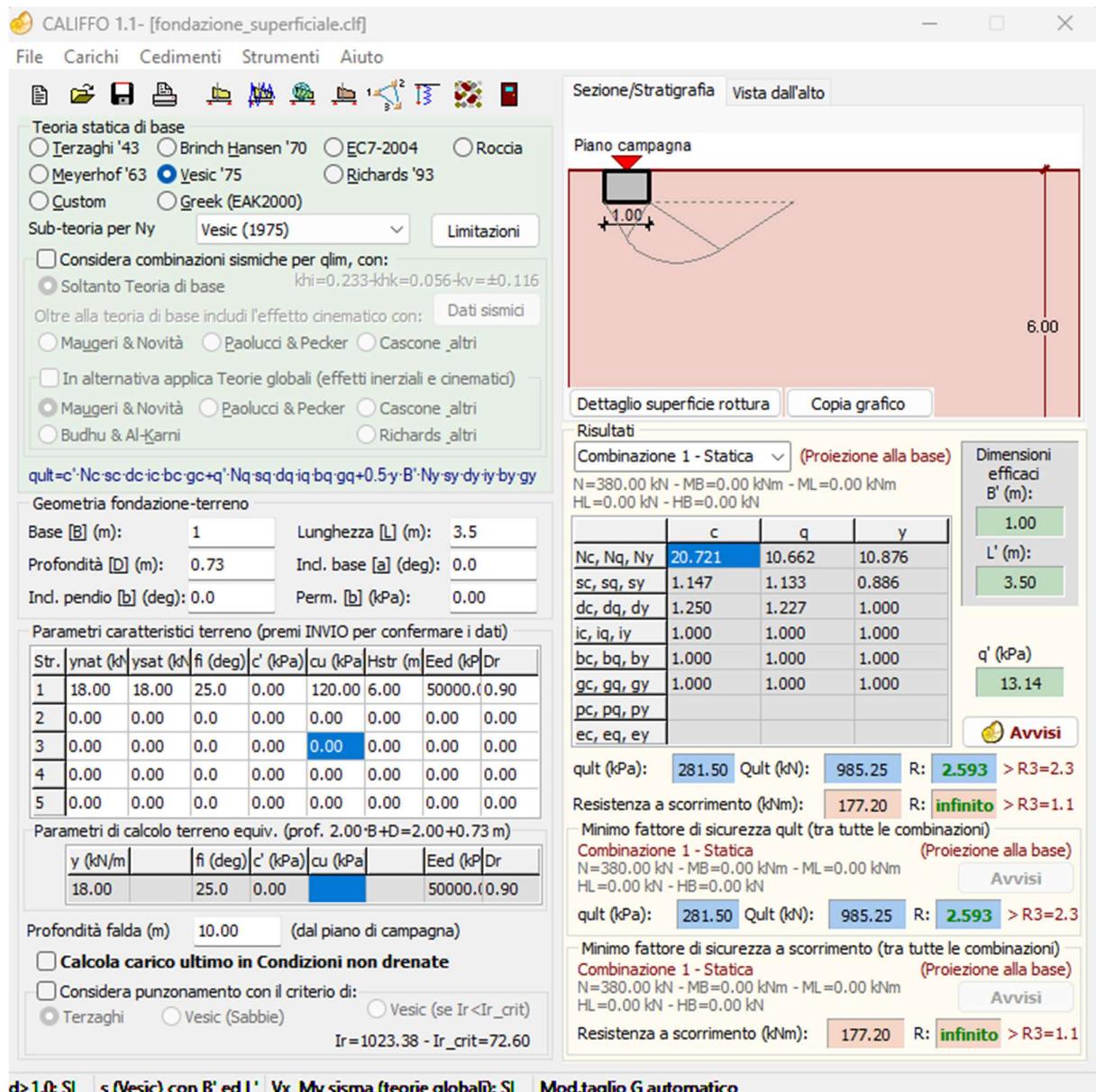


La larghezza di influenza per la parete viene calcolata considerando il solaio continuo sulle due campate massimizzando così la reazione vincolare sulla parete.

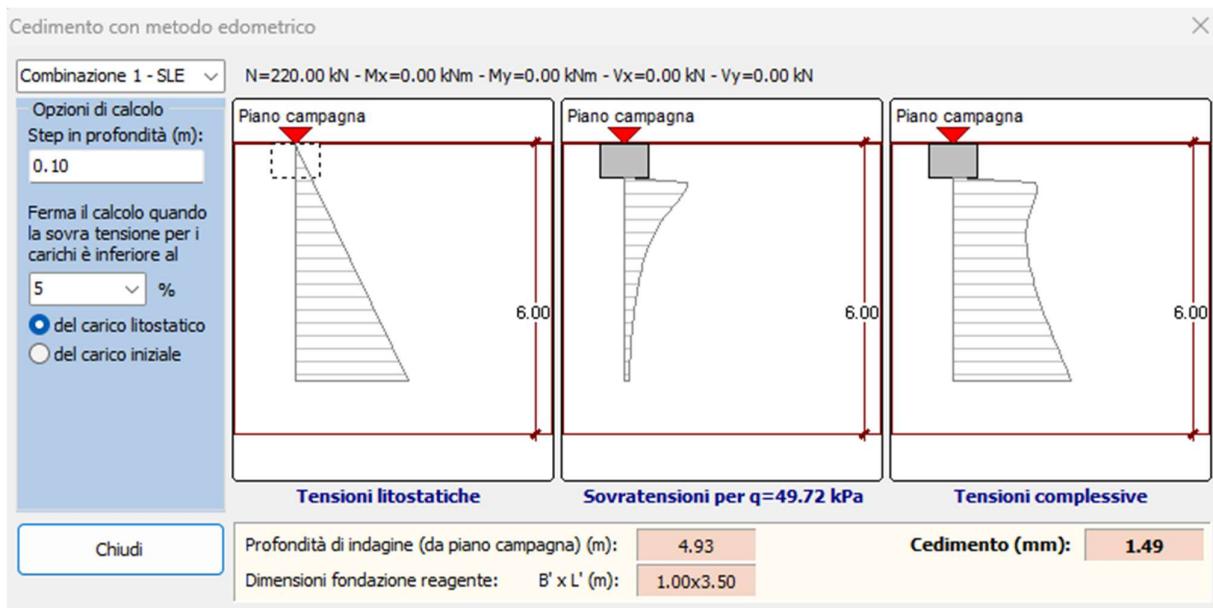
Il peso della fondazione pari a 12 kN/m è stato considerato ed aggiunto al carico assiale totale (combinazione SLU: $1.3G1+1.5G2+1.5Q+1.5Qs*0.5+1.5Qw*0.6$) pari a 380 kN applicati su una trave rovescia di lunghezza pari a 3.5 m.

Le forze orizzontali fuori piano non sono state considerate perché riprese dalle altre pareti parallele alla forza sismica considerata.

Utilizzando la teoria di Vesic ed ipotizzando a favore di sicurezza un terreno non coesivo di tipo argilloso si ottiene una capacità portante pari a $Q_{ULT} = 985$ kN. Questo corrisponde ad una pressione resistente di $q_{ULT} = 0.28$ Mpa:



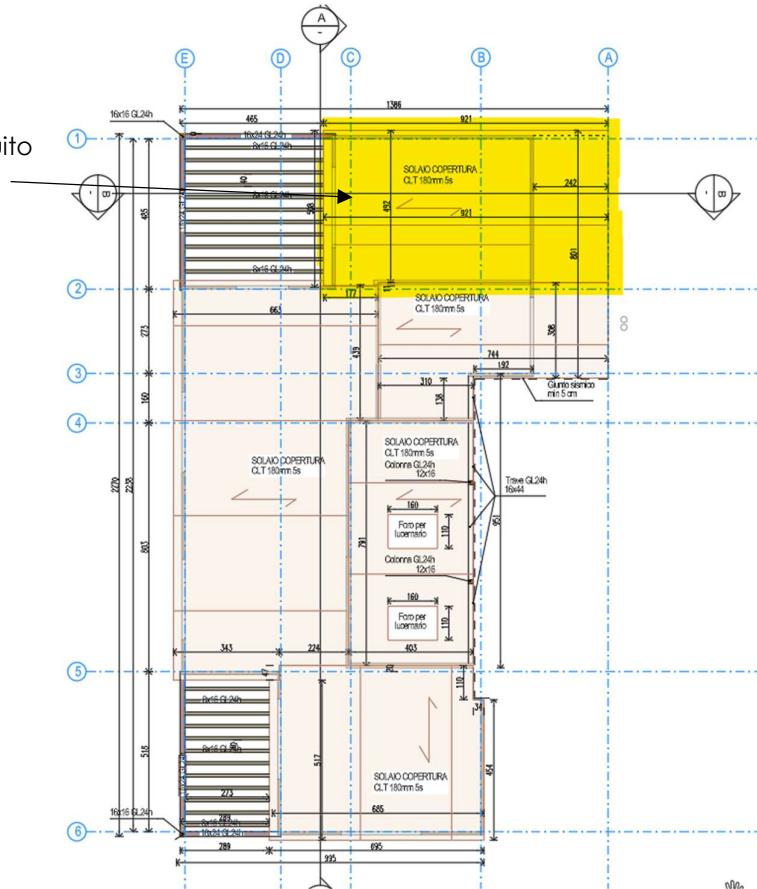
Il cedimento edometrico calcolato in condizioni di esercizio (SLE rara, $N = 220$ kN) è pari a 1,5 mm :



Anche applicandolo ad una delle due estremità della fondazione si otterebbe un rapporto pari a $1.5/3500 = 0.0004$ che è inferiore di un ordine di grandezza ai limiti proposti per questa tipologia di strutture ($\beta_{\max} = 1/250 = 0.004$).

6.6.2 Verifica solaio XLAM

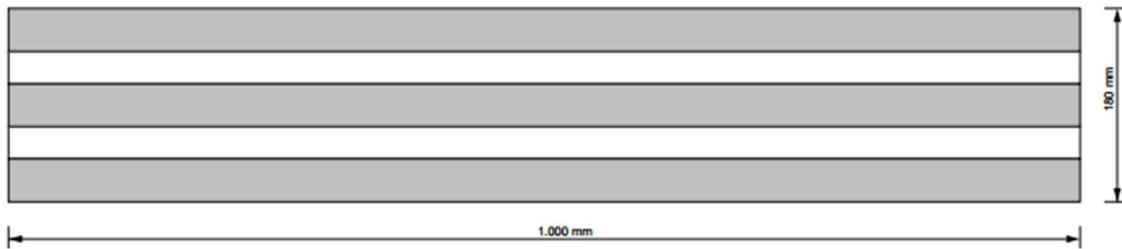
Solaio a sbalzo di seguito verificato



3 Sezione

Prodotto XLAM del produttore KLH: 180mm 5s DL

5 strati (altezza: 180 mm)



SOLAIO 40-30-40-30-40 180mm 5s

3.2 Parametri del materiale

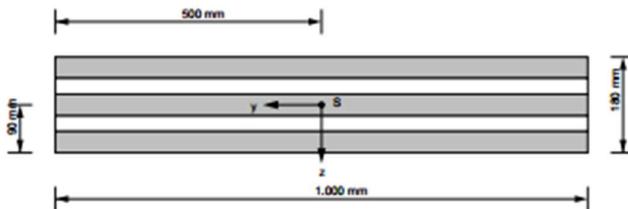
Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_M = 1,25$

Coefficiente di sistema per XLAM $k_{sys} = 1,1$

Parametri del materiale per	C24-KLH
resistenza a flessione [N/mm ²]	$k_{sys} \cdot 24,0$
resistenza a trazione parallela [N/mm ²]	16,5
resistenza a trazione perpendicolare [N/mm ²]	0,12
resistenza a compressione parallela [N/mm ²]	24,0
resistenza a compressione perpendicolare [N/mm ²]	2,7
resistenza a taglio [N/mm ²]	2,7
resistenza a taglio trasversale [N/mm ²]	1,2
modulo di elasticità parallela [N/mm ²]	12.000,0
5%-frattile del modulo di elasticità parallela [N/mm ²]	10.000,0
modulo di elasticità perpendicolare [N/mm ²]	0,0
modulo di taglio [N/mm ²]	690,0
modulo di taglio trasversale [N/mm ²]	50,0
densità [kg/m ³]	350,0
valore medio densità [kg/m ³]	420,0

3.3 Valori sezionali

EA_{ef}	1,44E9 N
EI_{ef}	4,896E12 N·mm ²
GA_{ef}	1,623E7 N



4 Carichi

Campata	$g_{0,k}$	$g_{1,k}$	q_k	Categoria	s_k	Altitudine/Regione	w_k
1	0,7416 kN/m	1,5 kN/m ²	0,5 kN/m ²	B	1,2kN/m ²	<1000m	0,9 kN/m ²
2	0,7416 kN/m	1 kN/m ²	0,5 kN/m ²	B	1,2kN/m ²	<1000m	0,9 kN/m ²

Coefficiente di sicurezza parziale:

$\gamma_G = 1,35$

$\gamma_Q = 1,5$

Posizione del carico:

Peso proprio: globale

Carichi permanenti: globale

Carico variabili: per campata

Neve: per campata

Vento: globale

Combinazioni:

Coefficienti dei carichi: secondo EN

Combinazione di carichi riaprtiti e carichi concentrati:

q_k e Q_k sono considerati come un gruppo di casi di carico

s e S sono considerati come un gruppo di casi di carico

w_k e W_k sono considerati come un gruppo di casi di carico

5 Indicazioni sull'incendio

Durata dell'incendio: 60 minuti

Iato espanso al fuoco: sotto

Strati distaccati considerati

$k_{fire} = 1,15$

d_0 secondo EN 1995-1-2:2011

$d_0 = 7$ mm

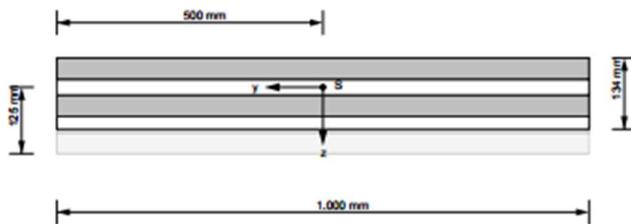
Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_{M,fi} = 1,0$

Velocità di combustione $\beta_n = 0,65$ mm/min

Spessore minimo dello strato residuo $t_{fi,min} = 6$ mm

5.1 Valori sezionali per il caso d'incendio

EA _{ef}	9,6E8 N
EI _{ef}	1,304E12 N·mm ²
GA _{ef}	9,255E6 N



6 Indicazioni sulle vibrazioni

Nessuna indicazione disponibile

7 Risultati

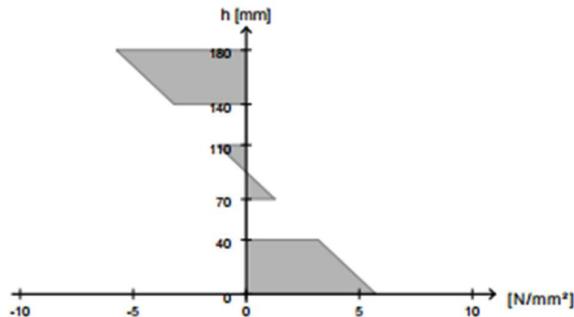
Verifica secondo le norme di riferimento: EN 1995-1-1:2009, ON B 1995-1-1/NA:2014-11-15

Procedura di calcolo ipotizzata: Timoshenko

7.1 SLU

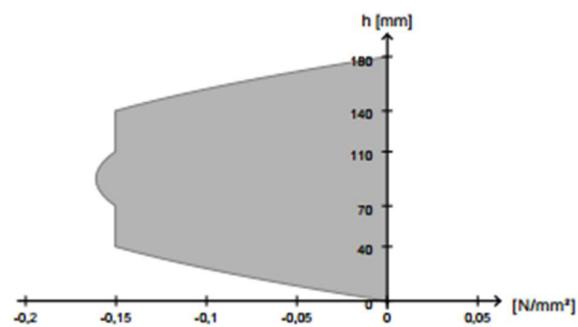
7.1.1 Flessione

Grado di sfruttamento	27,2 %
k _{mod}	1,0
con x	3,15 m
E _k	8
Combinazione base	1,35*g _{0,k} + 1,35*g _{1,k} + 1,50*1,00*s + 1,50*0,70*q _k + 1,50*0,60*w _k
M _{y,d}	26,015 kN·m
σ _{max,d}	5,739 N/mm ²



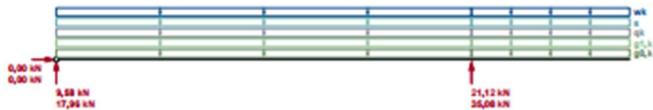
7.1.2 Taglio

Grado di sfruttamento	15,7 %
k_{mod}	1,0
con x	6,3 m
E_k	8
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot s + 1,50 \cdot 0,70 \cdot q_k + 1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$
$V_{z,d}$	-21,916 kN
$\tau_{r,d}$	0,15 N/mm ²



7.1.3 Pressione di contatto

Grado di sfruttamento	10,6 %
k_{mod}	1,0
$k_{c,90}$	1,54
con x	6,3 m
E_k	8
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot s + 1,50 \cdot 0,70 \cdot q_k + 1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$



7.2 SLE

7.2.1 Freccia

Valori limite secondo EN 1995-1-1

Deformazione iniziale w_{inst} t = 0: l/300 (-12,9 mm, 80,4 %)

Deformazione finale $w_{net,fin}$ t = inf: l/250 (23,1 mm, 91,7 %)

Deformazione finale w_{fin} t = inf: l/150 (23,1 mm, 55,0 %)

Valori limite secondo ON B 1995-1-1/NA:2014-11-15

Deformazione iniziale w_{inst} t = 0: l/300 (-12,9 mm, 80,4 %)

Deformazione finale $w_{net,fin}$ t = inf: l/250 (15,2 mm, 60,3 %)

Deformazione finale w_{fin} t = inf: l/150 (23,1 mm, 55,0 %)

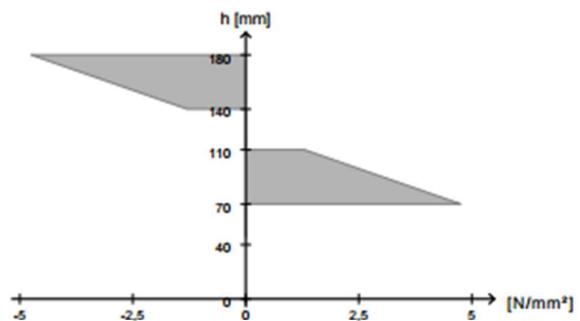
Grado di sfruttamento	91,7 %
w_{max}	23,1 mm
k_{def}	0,85
con x	3,15 m
E_k	37
Deformazione finale $w_{net,fin}$ t = inf	(l/250)



7.3 Stato limite ultimo per il caso incendio

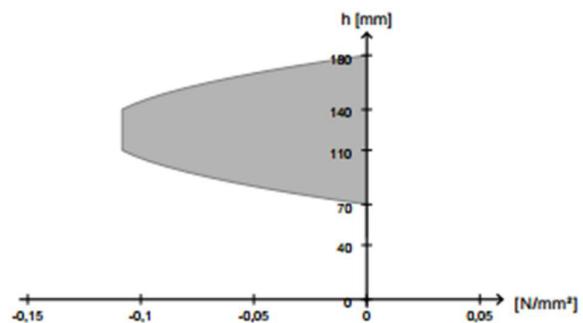
7.3.1 Flessione

Grado di sfruttamento	15,6 %
k_{mod}	1,0
con x	2,52 m
E_k	28
Combinazione eccezionale	$g_{0,k} + g_{1,k} + 0,30 \cdot q_k$

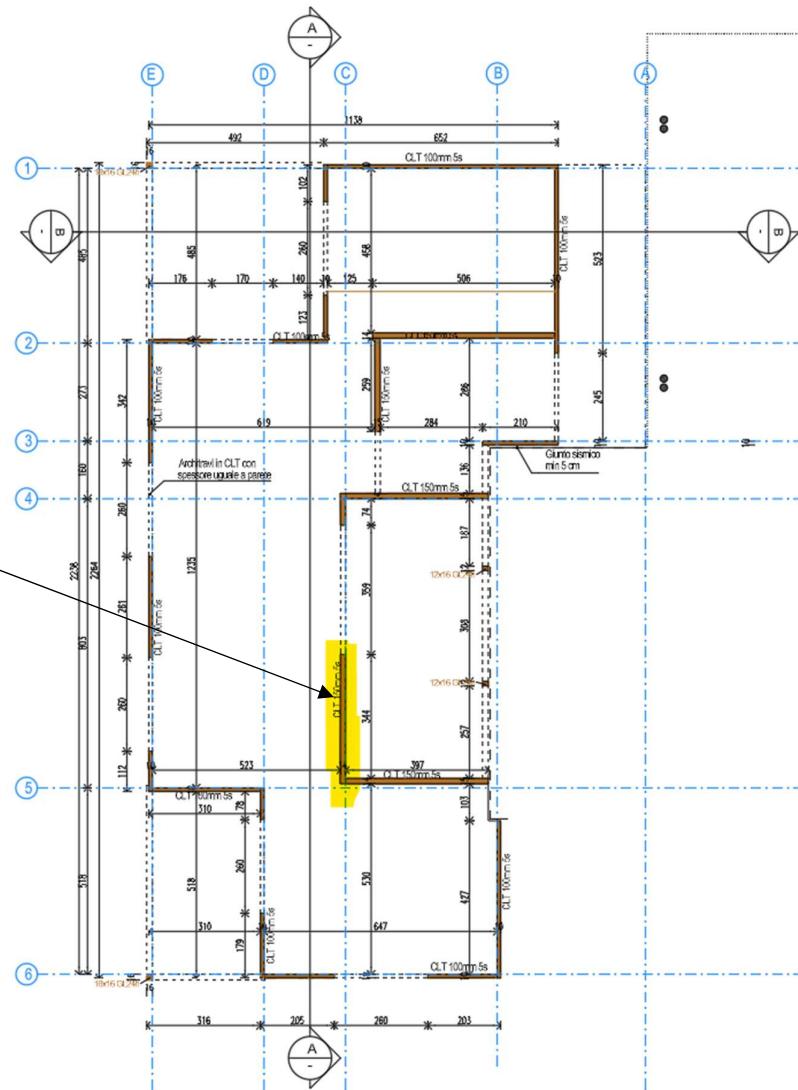


7.3.2 Taglio

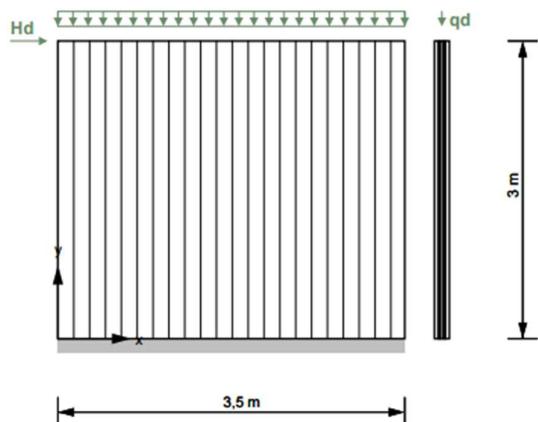
Grado di sfruttamento	7,8 %
k_{mod}	1,0
con x	6,3 m
E_k	28
Combinazione eccezionale	$g_{0,k} + g_{1,k} + 0,30 \cdot q_k$



6.6.3 Verifica parete in xlam



Parete di seguito verificata



1.1 Dimensioni della parete

Altezza: 3 m

Lunghezza: 3,5 m

1.2 Condizioni di appoggio

sopra: articolato

in basso: articolato

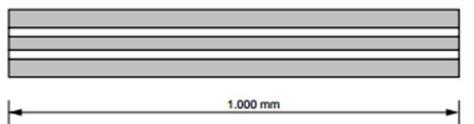
sinistra: libero

1.3 Sezione trasversale

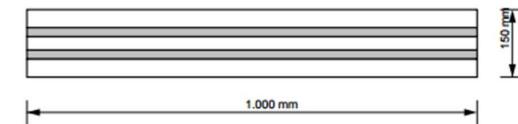
Prodotto XLAM del produttore Hasslacher: BSP 150 5s

5 strati (altezza: 150 mm)

Sezione orizzontale



Sezione verticale



1.3.1 Stratigrafia

Lamella	Altezza	Orientazione	Materiale
# 1	40 mm	90	CL26E11.8-HASSLACHER-ETA-2020
# 2	20 mm	0	CL26E11.8-HASSLACHER-ETA-2020

# 3	30 mm	90	CL26E11.8-HASSLACHER-ETA-2020
# 4	20 mm	0	CL26E11.8-HASSLACHER-ETA-2020
# 5	40 mm	90	CL26E11.8-HASSLACHER-ETA-2020

Orientazione 0 = strato nella direzione della lunghezza della parete; Orientazione 90 = strato nella direzione della altezza della parete

1.3.2 Parametri del materiale

Parametri del materiale per	CL26E11.8-HASSLACHER-ETA-2020
resistenza a flessione [N/mm ²]	1 / k_{sys} · 26,4
resistenza a trazione parallela [N/mm ²]	14,0
resistenza a trazione perpendicolare [N/mm ²]	0,12
resistenza a compressione parallela [N/mm ²]	21,0
resistenza a compressione perpendicolare [N/mm ²]	3,0 *)
resistenza a taglio [N/mm ²]	4,0
resistenza a taglio trasversale [N/mm ²]	1,5
modulo di elasticità parallela [N/mm ²]	11.800,0
5%-frattile del modulo di elasticità parallela [N/mm ²]	9.833,0
modulo di elasticità perpendicolare [N/mm ²]	370,0 (0,0)
modulo di taglio [N/mm ²]	690,0
modulo di taglio trasversale [N/mm ²]	80,0 *)
rigidezza a taglio della lastra [N/mm ²]	5,0
rigidezza torsionale [N/mm ²]	2,5
*) valori discostanti dall'ETA	

1.3.3 Valori sezionali

Sezione orizzontale	
$K_{CLT,y}$	3,008E6 N·m
$S_{CLT,y}$	2,265E7 N/m
D_y	1,298E9 N/m
S_{xy}	6,983E7 N/m
$z_{S,x}$	0,075 m
$z_{S,y}$	0,075 m

Sezione verticale	
75 mm	250 mm

Durata dell'incendio: 60 minuti
 lati esposti al fuoco: rechts und links
 Impiego di una colla resistente al fuoco
 Senza interstizi o con incollatura laterale delle lamelle
 $k_{fire} = 1,15$
 d_0 secondo EN 1995-1-2:2011
 $d_0 = 7 \text{ mm}$
 Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_{M,fi} = 1,0$
 Velocità di combustione $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$
 Velocità di combustione a partire dal secondo strato $\beta_0 = 0,80 \text{ mm/min}$
 Spessore minimo dello strato residuo $t_{fi,min} = 3 \text{ mm}$

2.1 Valori sezionali per il caso d'incendio



3 Situazione di carico e coefficienti di calcolo

Forza verticale	$q_d = 24,3 \text{ kN/m}$
	$e_{qd} = 0,0 \text{ m}$
	Percentuale $g_d = 100,0 \%$
	$\xi = 0,85$
Forza orizzontale	$H_d = 45,0 \text{ kN}$
	$\Delta y_{Hd} = 0,0 \text{ m}$
Vento	$q_{\perp,d} = 0,0 \text{ kN/m}^2$
Coefficiente di correzione	$k_{mod} = 1,1$
Coefficiente di sicurezza parziale	$\gamma_M = 1,45$
Coefficiente di sistema	$k_{sys} = 1,1$

3.1 Situazione di carico e coefficienti di calcolo in caso d'incendio

Forza verticale	$q_d = 11,2 \text{ kN/m}$
	$e_{qd} = 0,0 \text{ m}$
	Percentuale $g_d = 100,0 \%$
	$\xi = 0,85$

Forza orizzontale	$H_d = 0,0 \text{ kN}$
	$\Delta y_{Hd} = 0,0 \text{ m}$
Coefficiente di correzione	$k_{mod,fi} = 1,0$
Coefficiente di sicurezza parziale	$\gamma_{M,fi} = 1,0$

4 Opzioni di calcolo

4.1 Collegamento con la platea

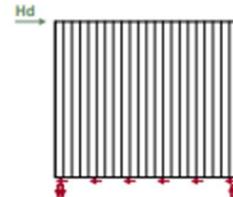
Modello per H_d : Trazione, compressione concentrati | taglio distribuito

Lunghezza d'introduzione della forza di compressione:
0,1 m

Lunghezza d'introduzione della forza di trazione: 0,1 m

Distanza dal bordo: 0,1 m

Distanza dalla risultante Trazione / Compressione: 3,35 m

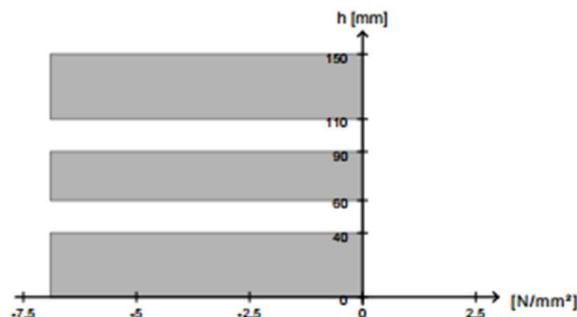


5 Risultati

5.1 SLU

5.1.1 Flessione con forza assiale m_y+n_y

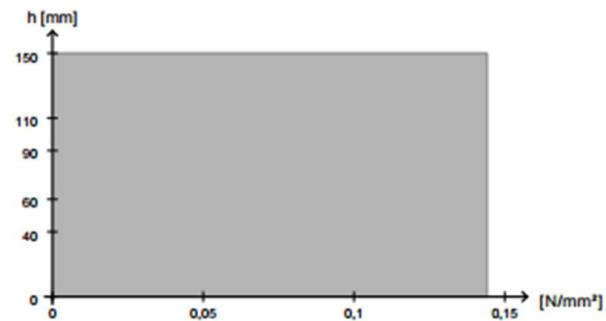
Grado di sfruttamento	43,3 %
k_{mod}	1,1
con $x \mid y =$	3,5 m 0,0 m
Combinazione base	$\xi g_d + H_d + q_{\perp,d}$



5.1.2 Forza di taglio n_{xy}

5.1.2.1 Taglio lordo

Grado di sfruttamento	4,8 %
k_{mod}	1,1
con $x y =$	1,75 m 0,0 m
Combinazione base	$q_d + H_d + q_{\perp,d}$
Fattore di riduzione per gli strati superiori	0,5
Spessore del pannello ridotto	110,0 mm

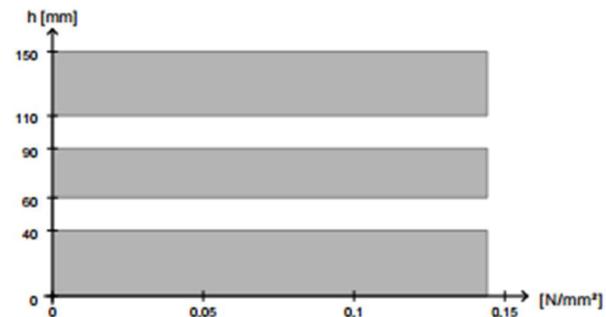


5.1.2.2 Taglio netto

Grado di sfruttamento	8,7 %
k_{mod}	1,1
con $x y =$	1,75 m 0,0 m
Combinazione base	$q_d + H_d + q_{\perp,d}$

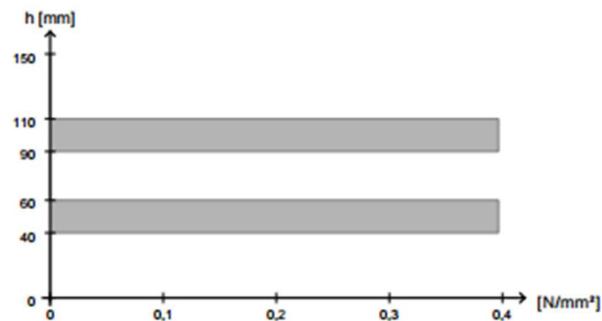
Taglio netto L

Grado di sfruttamento	3,8 %
k_{mod}	1,1
con $x y =$	1,75 m 0,0 m
Combinazione base	$q_d + H_d + q_{\perp,d}$
$t_{fail,L}$	50,0 mm
$k_{f,v,net,k,L}$	1,0



Taglio netto T

Grado di sfruttamento	8,7 %
k_{mod}	1,1
con $x \mid y =$	1,75 m 0,0 m
Combinazione base	$q_d + H_d + q_{\perp,d}$
$t_{fail,T}$	20,0 mm
$k_{f,v,net,k,T}$	1,2

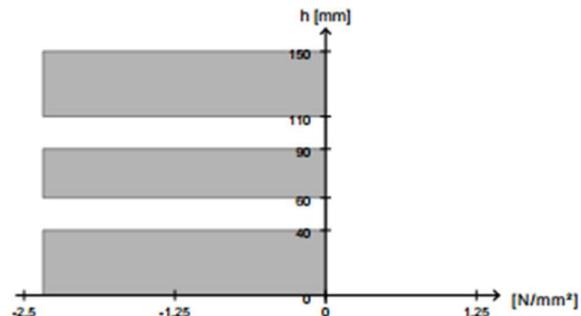


5.1.2.3 Torsione

Grado di sfruttamento	7,8 %
k_{mod}	1,1
con $x \mid y =$	1,75 m 0,0 m
Combinazione base	$q_d + H_d + q_{\perp,d}$

5.1.3 Stabilità

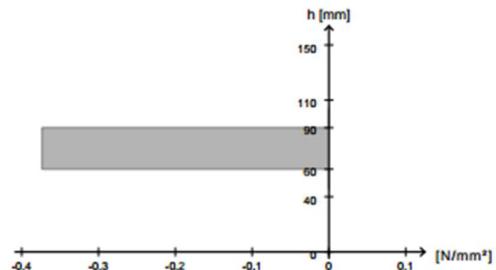
Grado di sfruttamento	18,8 %
k_{mod}	1,1
con $x \mid y =$	3,5 m 1,5 m
Combinazione base	$\xi g_d + H_d + q_{\perp,d}$
Lunghezza di libera inflessione	3,0 m
β_c	0,1
Fattore k_{05}	0,833
k_c (taglio flessibile)	0,78
w_{ef}	0,39 m



5.2 Stato limite ultimo per il caso incendio

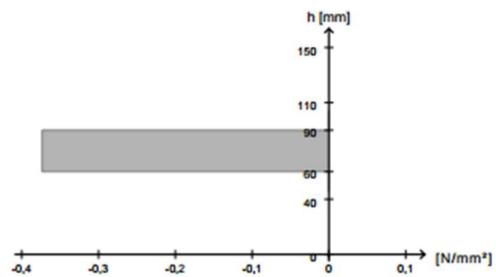
5.2.1 Flessione con forza assiale $my+ny$

Grado di sfruttamento	1,5 %
k_{mod}	1,0
con $x y =$	3,5 m 1,5 m
Combinazione eccezionale	$q_{d,fi} + H_{d,fi} + q_{\perp,d,fi}$



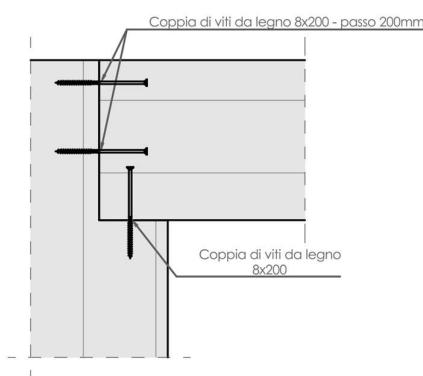
5.2.2 Stabilità

Grado di sfruttamento	41,0 %
k_{mod}	1,0
con $x y =$	3,5 m 1,5 m
Combinazione eccezionale	$q_{d,fi} + H_{d,fi} + q_{\perp,d,fi}$
Lunghezza di libera inflessione	3,0 m
β_c	0,1
Fattore k_{05}	0,833
$k_{incendio}$ (taglio flessibile)	0,04
w_{ef}	0,481 m



Il carico verticale in prossimità delle aperture viene trasferito per contatto tramite degli architravi in XLAM. Lo sbandamento laterale viene impedito tramite alcune viti di fissaggio come da figura seguente:

CONNESSIONE ARCHITRAVI in XLAM e LAMELLARE
Sezione verticale
Scala 1:10



7. DICHIARAZIONE DI CONFORMITÀ DEI PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

7.1 Programma di calcolo strutturale Sismicad 13

Si tratta di un programma di calcolo strutturale che nella versione più estesa è dedicato al progetto e verifica degli elementi in cemento armato, acciaio, muratura e legno di opere civili. Il programma utilizza come analizzatore e solutore del modello strutturale un proprio solutore agli elementi finiti tridimensionale fornito col pacchetto. Il programma è sostanzialmente diviso in tre moduli: un pre processore che consente l'introduzione della geometria e dei carichi e crea il file dati di input al solutore; il solutore agli elementi finiti; un post processore che a soluzione avvenuta elabora i risultati eseguendo il progetto e la verifica delle membrature e producendo i grafici ed i tabulati di output.

Specifiche tecniche:

- Denominazione del software: Sismicad 13
- Produttore del software: Concrete
- Concrete srl, via della Pieve, 19, 35121 PADOVA – Italy
- <http://www.concrete.it>
- Rivenditore: CONCRETE SRL - Via della Pieve 19 - 35121 Padova - tel.049-8754720
- Versione: 13
- Identificatore licenza: SW-9285169
- Intestatario della licenza: Eng Group s.r.l. - Via Desert, 2 - Trento
- Versione regolarmente licenziata

In applicazione di quanto richiesto al punto 10.2. del D.M. 17-01-18 si riportano a titolo esemplificativo il riepilogo dei risultati ottenuti dall'analisi di una travata in C.A. eseguita mediante l'utilizzo di Sismicad confrontandoli con il metodo analitico.

	Sismicad	Analitico	Scarto
Verifica di resistenza	-690201 daN*cm	-690500 daN*cm	0.02%
sigmaC rara	69.7 daN/cm ²	69.6 daN/cm ²	0.14%
sigmaF rara	2710 daN/cm ²	2705 daN/cm ²	0.18 %
sigmaC quasi perm.	58.9 daN/cm ²	58.9 daN/cm ²	0 %
VRd	5690 daN	5692.1 daN	0.03%
VRsd	34692 daN	34795 daN	0.03%
VRcd	35410 daN	35428 daN	0.05%
Tger+	5722 daN	5721 daN	0.02%
Tger-	-595 daN	-596 daN	0.17%
Wd rara	0.0178 cm	0.0178 cm	0%
Wd quasi permanente	0.016 cm	0.016 cm	0%

Altri esempi sono confrontati con semplici calcolazioni svolte direttamente negli esempi forniti nell'installazione del software.