

COMMITTENTE	FORZE OPERATIVE NORD 7° REPARTO INFRASTRUTTURE FIRENZE			
SOGGETTO REALIZZATORE	<div>S2R S.r.l.</div> <div><div>Spin off dell'Università degli Studi di Firenze Sede: Viale Giovanni Amendola, 24 50121 Firenze - Italia info@s2r-sismosafe.it - s2r.pec@dnmail.it - tel: 055 471460 UNI EN ISO 9001:2015 - UNI EN ISO 14001:2015 - UNI EN ISO 45001:2018</div></div>			
PROGETTO	FIRENZE Caserma PEROTTI Servizio di progettazione definitiva, esecutiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione per i lavori di realizzazione nuova palazzina ad uso asilo nido in sostituzione della palazzina mensa unificata. E.F. 2021. Lettera Ordinativo n. 3LA080/2020 del 08/06/2021. CIG 861246816E  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
UBICAZIONE	REGIONE	PROVINCIA	COMUNE	COORDINATE GEO.
	Toscana	Firenze	Firenze	43.7735°N 11.3003°E
ELABORATO	<b>PROGETTO STRUTTURALE</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO</b> codice elaborato: C2133_PD_ST_RC_rev02			
PROGETTISTI GENERALI E DIRETTORI TECNICI	PROG. E D.T.		D.T.	
	Ing. Ph.D. Andrea Borghini		Ing. Ph.D. Emanuele Del Monte  Prof. Ing. Andrea Vignoli	
ALTRI PROGETTISTI	Prog. architettonica: Arch. Francesco Vannucci Prog. strutturale: Ing. Michele Fredducci Prog. impiantistica: Ing. Stefano Ciabattini (ESAERG srl) Ing. Nicola Carboni (ESAERG srl) Prog. antincendio: Ing. Stefano Ciabattini (ESAERG srl)			
COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE E SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE	C.S.P.	SUPP. PROG.		
	Ing. Vidan Ilic	Ing. Ph.D. Alberto Ciavattone Ing. Matteo Blascone		
NOTE				

Rev.	Data	Redatto	Verificato	Approvato
00	29/10/2021	M.Fredducci	A. Ciavattone	A. Borghini
01	12/09/2022	M.Fredducci	A. Ciavattone	A. Borghini
02	05/04/2023	M.Fredducci	A. Ciavattone	A. Borghini



**INDICE:**

<b>1</b>	<b>Relazione tecnica generale.....</b>	<b>5</b>
1.1	Sistema costruttivo adottato .....	5
1.2	Sistema in elevazione .....	5
1.3	Fondazioni .....	6
1.4	Opere esterne .....	6
1.5	Normativa di riferimento .....	7
1.6	Documentazione geologica acquisita .....	7
<b>2</b>	<b>Relazione sui materiali impiegati.....</b>	<b>8</b>
2.1	Calcestruzzo per c.a. ....	8
2.2	Acciaio per c.a. ....	8
2.3	Legno per X-Lam .....	9
2.4	Legno lamellare .....	10
2.5	Bulloni, tirafondi e barre filettate .....	10
2.6	Elementi di collegamento per pannelli X-Lam .....	11
2.6.1	Ancorante chimico .....	11
<b>3</b>	<b>Relazione geotecnica.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Relazione sulle fondazioni.....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Relazione di calcolo.....</b>	<b>18</b>
5.1	Analisi dei carichi .....	18
5.1.1	Azioni permanenti .....	18
5.1.2	Azioni variabili .....	19
5.1.3	Azione sismica .....	23
5.2	Modellazione .....	26
5.2.1	Assegnazione dei carichi .....	28
5.2.2	Giudizio motivato di accettabilità dei risultati .....	29
5.3	Analisi strutturale e verifiche di sicurezza .....	30
5.3.1	Verifica del solaio di copertura (SLU + SLE) .....	31
5.3.2	Verifica per carichi gravitazionali - SLU .....	32
5.3.3	Verifica per carichi gravitazionali - SLE .....	34
5.3.4	Verifica per azioni sismiche - SLV .....	35
5.3.5	Verifica dei collegamenti SLU-SLV .....	36
5.3.6	Verifica per azioni sismiche - SLO e SLD .....	37
5.4	Verifica opere esterne .....	39
5.4.1	Premessa .....	39
5.4.2	Metodo di calcolo .....	39
5.4.3	Verifiche su nuovo muro lato NORD e lato EST .....	40
5.4.4	Verifiche su muro esistente lato OVEST .....	44



## **1 Relazione tecnica generale**

Nel presente capitolo si riporta la progettazione strutturale relativa all'edificio destinato ad asilo nido, da realizzarsi all'interno della Caserma Perotti di Firenze, ubicata in Via del Gignoro, in sostituzione di una palazzina destinata a mensa; il fabbricato in oggetto è da realizzare con struttura in cemento armato per quanto riguarda il sistema di fondazione, e con struttura a pannelli X-Lam in legno per quanto riguarda le opere in elevazione.

### **1.1 Sistema costruttivo adottato**

Per la realizzazione della parte in elevazione del fabbricato è stato adottato il sistema costruttivo X-Lam, il quale prevede in generale l'impiego di pannelli in legno sia come elementi portanti verticali, sia come orizzontamenti di calpestio e di copertura, eventualmente combinato con elementi strutturali lineari quali pilastri e travi in legno lamellare. Il pannello del sistema X-Lam è composto da strati sovrapposti di tavole in legno massiccio (minimo 3 strati), incollati uno sull'altro con andamento incrociato; viene prefabbricato in stabilimento mediante taglio computerizzato con macchine a controllo numerico e inviato in cantiere pronto per il montaggio. Tale sistema consente di realizzare una struttura a comportamento scatolare, in cui pareti e impalcati sono formati da diaframmi rigidi e resistenti, solidarizzati tra loro mediante collegamenti meccanici in acciaio. Le pareti possono essere costituite da un singolo pannello, già dotato di aperture per eventuali porte e finestre, oppure da più pannelli tra loro giuntati: tale scelta è dipendente anche dalle dimensioni massime producibili e trasportabili (solitamente intorno ai 3.0 m di larghezza e 12.0 m di lunghezza). I solai sono generalmente costituiti da strisce di pannelli giuntati orizzontalmente tra loro e collegati alle pareti sottostanti sempre tramite collegamenti meccanici in acciaio.

### **1.2 Sistema in elevazione**

L'edificio in oggetto è strutturalmente indipendente ed ha pianta rettangolare di lati 23.00 m x 16.00 m, al netto di un volume destinato a deposito passeggini, in corrispondenza dell'ingresso principale, di dimensioni 3.65 m x 4.30 m, aperto lateralmente ma coperto. Sui due fronti paralleli alla Via del Gignoro è presente una loggia di dimensioni pari a circa 10.00 m x 2.00 m.

La copertura è a capanna, con due falde inclinate e linea di colmo parallela alla Via del Gignoro; la copertura aggetta in gronda per una profondità di 85 cm.

Le strutture portanti verticali del fabbricato in oggetto sono costituite da pareti composte di pannelli X-Lam da 140 mm a 5 strati, ad eccezione delle pareti che compongono il volume minore in corrispondenza dell'ingresso, di

spessore 100 mm a 5 strati. I pilastri delle logge e le relative travi sono in legno lamellare.

Il solaio dell'impalcato di copertura è realizzata con pannelli affiancati in X-Lam 180 mm a 5 strati; l'aggetto di gronda è realizzato con pannello in X-Lam di spessore 57 mm, collegato con viti al pannello del solaio di copertura.

Tutti gli elementi strutturali in elevazione dell'edificio sono collegati fra loro e alle strutture di fondazione con elementi meccanici di collegamento la cui configurazione è riportata negli elaborati grafici di progetto.

Si anticipa già in questa fase che, relativamente alla sicurezza antincendio, la struttura risulta totalmente protetta da opportuni sistemi e non sono quindi necessarie verifiche di resistenza al fuoco degli elementi strutturali.

### **1.3 Fondazioni**

Il sistema di fondazione dell'edificio è costituito da una platea in cemento armato gettato in opera, di spessore 25 cm, su strato di regolarizzazione in calcestruzzo magro di spessore 20 cm. La platea è irrigidita da nervature di altezza 65 cm e spessore 25 cm, disposte prevalentemente in corrispondenza delle pareti portanti della struttura in elevazione. Sulla platea sono disposti casseri a perdere in materiale plastico di altezza 60 cm, sui quali è gettata una soletta in cemento armato, di spessore 5 cm. In corrispondenza delle nervature è prevista la realizzazione di cordoli di sopralzo (cordolo "radice") di altezza 27 cm e spessore 14 cm, sui quali viene impostata la parete in X-Lam della sovrastruttura. Per l'armatura della platea, delle nervature e della soletta si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

### **1.4 Opere esterne**

Nell'ottica di realizzare la divisione del lotto del nuovo asilo rispetto alla restante area della Caserma Perotti, come indicato dalla Committenza, risulta necessario realizzare un nuovo muro di altezza fuori terra pari a 2.5 m, con ulteriore 1.0 m di recinzione soprastante.

Tale muro verrà realizzato sia parallelamente a Via del Gignoro, separando il lotto dell'asilo dalla viabilità interna della Caserma Perotti, che ortogonale a questo, andando a separare la porzione carrabile progettata a servizio dell'asilo dalla zona prospiciente il prospetto laterale della Palazzina di Comando esistente.

Si sceglie di realizzare un muro in cemento armato, con ciabatta di fondazione idonea a soddisfare i requisiti di sicurezza sia dal punto di vista geotecnico che strutturale, garantendo il soddisfacimento di tutte le verifiche, con particolare riferimento alla verifica a ribaltamento dello stesso sotto azioni orizzontali quali vento o sisma.

Per quanto riguarda il muro di cinta esistente lato via del Gignoro, è stato previsto un rinforzo diffuso mediante applicazione di intonaco armato su

entrambe le superfici della parete muraria, oltre alla realizzazione di due cordoli in c.a. i cui intradossi sono posti ad almeno 50 cm di profondità dall'attuale piano di campagna. Per garantire gli accessi lato strada (accesso carrabile ed accesso pedonale), è necessario eseguire due demolizioni localizzate dell'attuale muro di cinta del lotto della Caserma Perotti, nelle posizioni indicate negli elaborati grafici. Col fine di ripristinare la continuità strutturale del muro e garantire così la sicurezza sia degli occupanti del lotto asilo che dei passanti sul marciapiede esterno al lotto della Caserma, risulta necessario realizzare un rinforzo in cemento armato, costituito da pilastri strutturalmente connessi (tramite opportune connessioni) alle murature esistenti, oltre a fondazione di collegamento tra i pilastri appena citati. Si rimanda agli elaborati grafici per maggiori dettagli circa le opere appena descritte.

### **1.5 Normativa di riferimento**

Il progetto in oggetto è stato redatto in accordo con la seguente normativa:

- [1] - Legge 05/11/1971 n°1086 recante "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- [2] - Legge 02/02/1974 n°64 recante " Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- [3] - D.M. 17/01/2018 recante "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- [4] - Circolare 21/01/2019 n°7 recante " Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018";
- [5] - CNR-DT206/2018 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno".

### **1.6 Documentazione geologica acquisita**

Per la corretta definizione dell'azione sismica da adottare per la progettazione strutturale, e per le verifiche geotecniche da eseguirsi sul terreno di fondazione, sono state acquisite le necessarie informazioni di carattere geologico; in particolare è stato fatto riferimento alla "Relazione geologica e sismica", redatta dal Dott. Geol. Fausto Capacci in data Settembre 2022. In tale documento sono presenti le risultanze dell'indagine geognostica realizzata durante tale fase di lavoro, così composta:

- n.3 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- n.1 prova penetrometrica statica CPT;
- n.1 indagine sismica a stazione singola (HVSR).

Queste indagini sono state finalizzate ad estendere e dettagliare le conoscenze di base disponibili nell'area, fornite dalla Committenza.

Per la definizione dell'azione sismica è stato inoltre fatto riferimento alla relazione "Analisi risposta sismica locale - RSL", redatta dal Dott. Geol. Fausto Capacci in data Febbraio 2023.

## 2 Relazione sui materiali impiegati

Nei paragrafi che seguono si riportano le caratteristiche dei materiali di uso strutturale impiegati nel progetto in oggetto.

### 2.1 Calcestruzzo per c.a.

Per quanto riguarda lo strato di allettamento sotto la platea si adotta calcestruzzo della classe di resistenza C12/15, le cui caratteristiche di resistenza sono riportate nella tabella seguente.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO DA CEMENTO ARMATO	
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	12 N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a compressione cubica	15 N/mm <sup>2</sup>

Per quanto riguarda la platea di fondazione e le nervature in cemento armato si adotta calcestruzzo della classe di resistenza C25/30, le cui caratteristiche di resistenza sono riportate nella tabella seguente.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEL CALCESTRUZZO DA CEMENTO ARMATO	
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	25 N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a compressione cubica	30 N/mm <sup>2</sup>

### 2.2 Acciaio per c.a.

Per quanto riguarda l'acciaio da impiegare per strutture in cemento armato si adotta acciaio di tipo B450C, le cui caratteristiche di resistenza sono riportate nella tabella seguente.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DELL'ACCIAIO DA CEMENTO ARMATO	
tensione caratteristica di snervamento	450 N/mm <sup>2</sup>
tensione caratteristica di rottura	540 N/mm <sup>2</sup>
modulo elastico	206000 N/mm <sup>2</sup>



### 2.3 Legno per X-Lam

Le pareti portanti verticali e gli orizzontamenti di copertura saranno realizzati con pannelli XLAM di abete rosso di classe di resistenza minima C24, le cui caratteristiche di resistenza e rigidezza sono riportate nella tabella seguente. Per la determinazione del peso proprio dei pannelli strutturali si considera un peso specifico di 5.00 kN/m<sup>3</sup>.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEL LEGNO PER X-LAM	
resistenza a flessione parallela alla fibratura	24.0 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione parallela alla fibratura	14.0 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura	0.4 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a compressione parallela alla fibratura	21.0 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura	2.5 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a taglio parallela alla fibratura	2.5 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a taglio perpendicolare alla fibratura	0.7 N/mm <sup>2</sup>
modulo di elasticità parallelo alla fibratura	11000 N/mm <sup>2</sup>
modulo di elasticità perpendicolare alla fibratura	370 N/mm <sup>2</sup>
modulo di taglio parallelo alla fibratura	690 N/mm <sup>2</sup>
modulo di taglio perpendicolare alla fibratura	50 N/mm <sup>2</sup>

## 2.4 Legno lamellare

I pilastri e le travi saranno realizzati con legno lamellare incollato di abete di classe GL24h secondo UNI EN 14080, le cui caratteristiche di resistenza e rigidezza sono riportate nella tabella seguente.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEL LEGNO LAMELLARE	
resistenza a flessione parallela alla fibratura	24.0 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione parallela alla fibratura	19.2 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione perpendicolare alla fibratura	0.5 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a compressione parallela alla fibratura	24.0 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a compressione perpendicolare alla fibratura	2.5 N/mm <sup>2</sup>
resistenza a taglio	3.5 N/mm <sup>2</sup>
modulo di elasticità parallelo alla fibratura	11500 N/mm <sup>2</sup>
modulo di elasticità perpendicolare alla fibratura	250 N/mm <sup>2</sup>
modulo di taglio	650 N/mm <sup>2</sup>

## 2.5 Bulloni, tirafondi e barre filettate

Si prevede l'utilizzo di bulloni e barre filettate classe 8.8, accoppiati a dadi classe 8.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DI BULLONI	
tensione caratteristica di snervamento	640 N/mm <sup>2</sup>
tensione caratteristica di rottura	800 N/mm <sup>2</sup>

## 2.6 Elementi di collegamento per pannelli X-Lam

Come elementi di connessione tra i pannelli X-Lam si utilizzano i seguenti:

- Piastra angolare a trazione(holdown) WHT620 Rothoblaas o equivalente
- Piastra a taglio TCP200 Rothoblaas o equivalente
- Piastra angolare WBO100 Rothoblaas o equivalente
- Piastra angolare TTN240 Rothoblaas o equivalente
- Chiodi LBA Anker 4x60  $f_u \geq 600\text{N/mm}^2$  per il collegamento delle piastre
- Viti da legno autoforanti  $f_{y,k} \geq 1000\text{N/mm}^2$
- Viti da legno a tutto filetto  $f_{y,k} \geq 1000\text{N/mm}^2$

### 2.6.1 Ancorante chimico

Per il collegamento delle barre filettate alle strutture in cemento armato si impiega ancorante chimico per calcestruzzo fessurato e non fessurato, di categoria di prestazione sismica C2 o equivalente.

### 3 Relazione geotecnica

Ai fini delle verifiche geotecniche, si è fatto riferimento alla stratigrafia e ai parametri geotecnici riportati nella "Relazione geologica e sismica" redatta dal Dott. Geol. Fausto Capacci in data Settembre 2022, nella quale si legge che, oltre al primo strato di terreno di riporto (di spessore 0.80-1.20 m circa), si hanno 4 unità litotecniche principali, delle quali si riportano di seguito gli spessori e i parametri geotecnici. In particolare:

- Unità A: da 0.80-1.20 m a 2.40-2.60 m dal p.c.
  - o Unità A1: da 1.20 m a 1.60 m dal p.c.
- Unità B: da 2.40-2.60 m a 4.00-4.20 m dal p.c.
- Unità C: da 4.00-4.20 m a 5.00-5.20 m dal p.c.
- Unità D: da 5.00-5.20 m dal p.c.

#### Unità A

Parametro geotecnico	Valore medio (Xm)	Valore caratteristico (Xk)
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	-	1.85
Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	0,8	0,75
Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	75	60

#### Unità A1

Parametro geotecnico	Valore medio (Xm)	Valore caratteristico (Xk)
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	-	1.8
Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	0,6	0,55
Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	48	45

#### Unità B

Parametro geotecnico	Valore medio (Xm)	Valore caratteristico (Xk)
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	-	1.95
Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	0,6	0,6
$\varphi^\circ$	29	28
Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	85	80

#### Unità C

Parametro geotecnico	Valore medio (Xm)	Valore caratteristico (Xk)
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	-	1.95
$\varphi^\circ$	38	36
Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	130	120

#### Unità D

Parametro geotecnico	Valore medio (Xm)	Valore caratteristico (Xk)
$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	-	2.00
$\varphi^\circ$	41	40
Mo (kg/cm <sup>2</sup> )	250	190

Si riporta adesso l'estratto della successione nelle due direzioni principali dell'edificio.

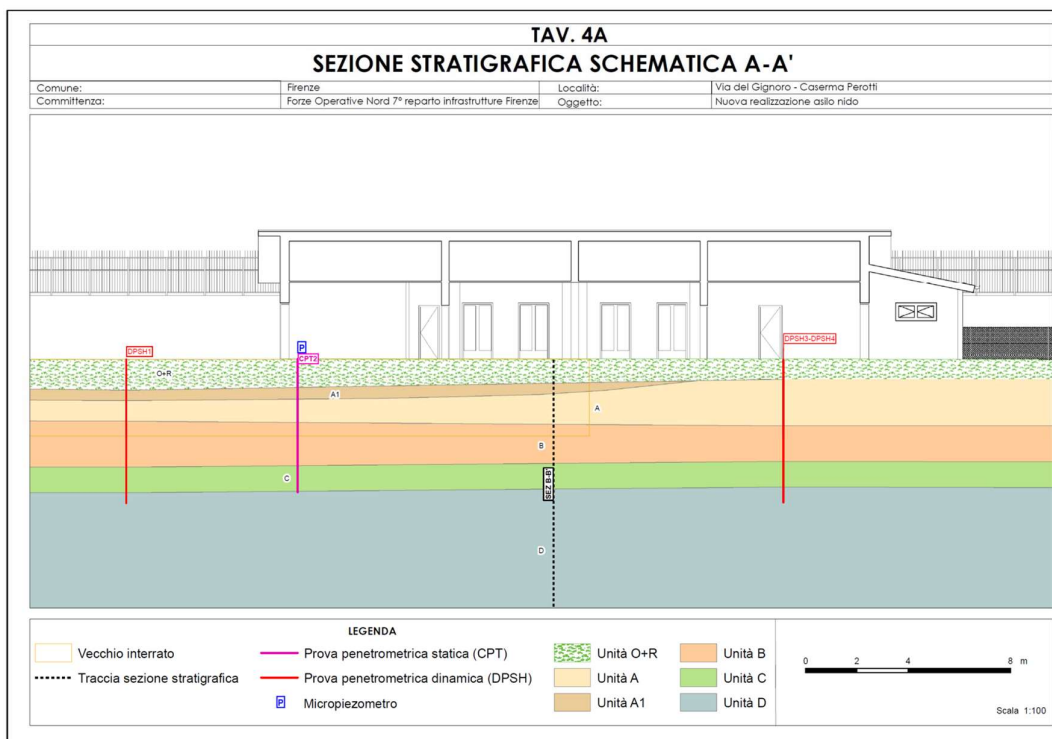


Figura 1: sezione longitudinale, estratto da "Relazione geologica e sismica" Dott. Geol. Fausto Capacci

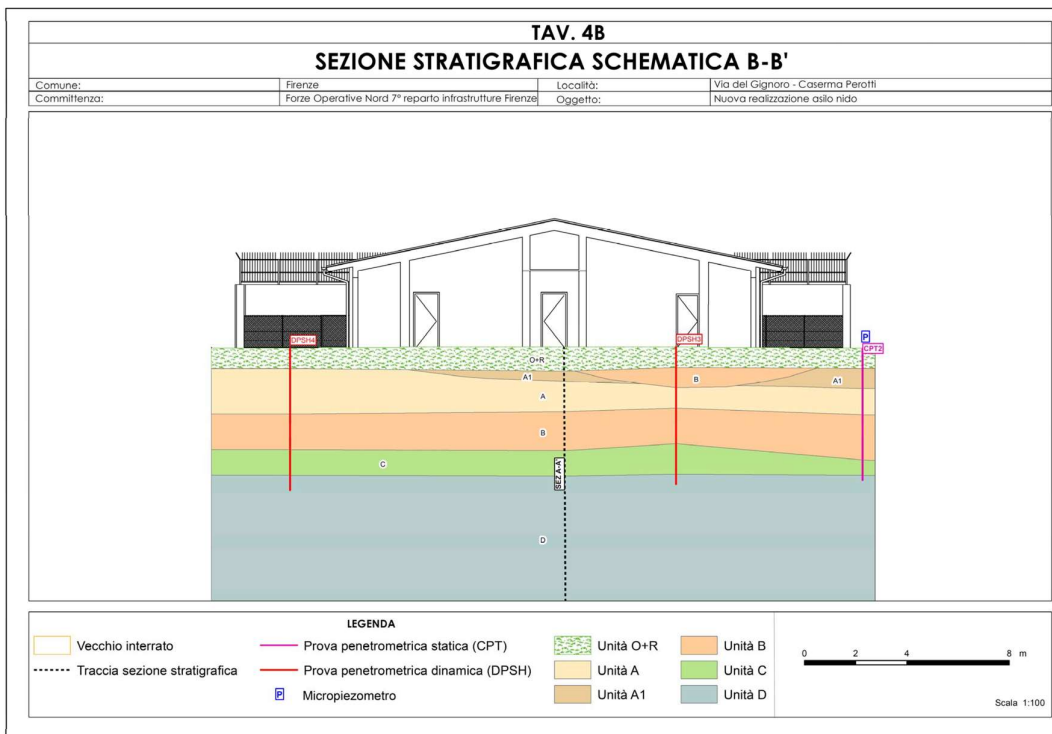


Figura 2: sezione trasversale, estratto da "Relazione geologica e sismica" Dott. Geol. Fausto Capacci

Le verifiche geotecniche sono condotte sia considerando la stratigrafia sopra descritta, sia assumendo, a vantaggio di sicurezza, una profondità del 1° strato di terreno di riporto pari a 2.50 m, al fine di tener conto del riempimento del volume occupato dal piano interrato del precedente fabbricato.

Le verifiche geotecniche sono effettuate utilizzando l'approccio 2; i coefficienti per le azioni sono posti pari all'unità per le verifiche in condizioni sismiche.

Sono applicati i seguenti coefficienti per i parametri geotecnici:

- tangente dell'angolo di attrito  $\gamma_M = 1.00$
- coesione efficace  $\gamma_M = 1.00$
- coesione non drenata  $\gamma_M = 1.00$

e i seguenti coefficienti parziali per la resistenza delle fondazioni:

- capacità portante  $\gamma_R = 2.30$ .

Si riportano in tabella sottostante i parametri del modello geotecnico assunto.

Unità geotec.	z (m)	Clas.	$\gamma$ (daN/mc)	$\gamma_{sat}$ (daN/mc)	$\phi'$ (grad)	$c'$ (daN/mq)	$c_u$ (daN/mq)	OCR
Riporto	0.00	N.c.	1800	1800	20.0	0	500	1.00
Unità A	1.00	Coes.	1850	1950	20.0	1000	7500	1.00
Unità A1	1.20	Coes.	1800	1900	20.0	1000	5500	1.00
Unità B	2.50	Coes.	1950	2000	28.0	2000	6000	1.00
Unità C	4.10	Inc.	1950	2000	36.0	500	0	1.00
Unità D	5.10	Inc.	2000	2100	40.0	500	0	1.00

Dove:

Unità geotec.	=	Unità geotecnica
z	=	Profondità della superficie superiore dello strato
Clas.	=	Classificazione
		Coes. = Coesivo
		Inc. = Incoerente
		N. c. = Non classificato
$\gamma$	=	Peso specifico del terreno naturale
$\gamma_{sat}$	=	Peso specifico del terreno saturo
$\phi'$	=	Angolo di attrito efficace
$c'$	=	Coesione efficace
$c_u$	=	Coesione non drenata
OCR	=	Grado di sovraconsolidazione

St.	z (m)	E (daN/mq)	G (daN/mq)	$\nu$	E <sub>ed</sub> (daN/mq)	E <sub>u</sub> (daN/mq)
1	0.00	1000000	400000	0.25	12000000	1200000
2	1.00	280000	100000	0.40	600000	300000
3	1.20	210000	75000	0.40	450000	225000
4	2.50	500000	185185	0.35	800000	555556
5	4.10	892000	343077	0.30	1200000	0
6	5.10	1583300	633320	0.25	1900000	0

Dove:

St.	=	Strato
z	=	Profondità della superficie superiore dello strato
E	=	Modulo elastico normale
G	=	Modulo elastico tangenziale
$\nu$	=	Coeff. di Poisson
E <sub>ed</sub>	=	Modulo edometrico
E <sub>u</sub>	=	Modulo elastico non drenato

Si riportano nelle immagini sottostanti lo stato tensionale sul terreno di fondazione allo SLU e SLE RARA.

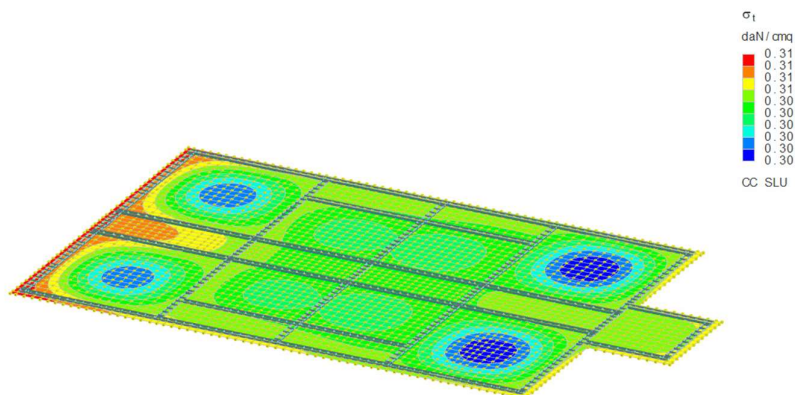


Figura 3: Stato tensionale terreno SLU.

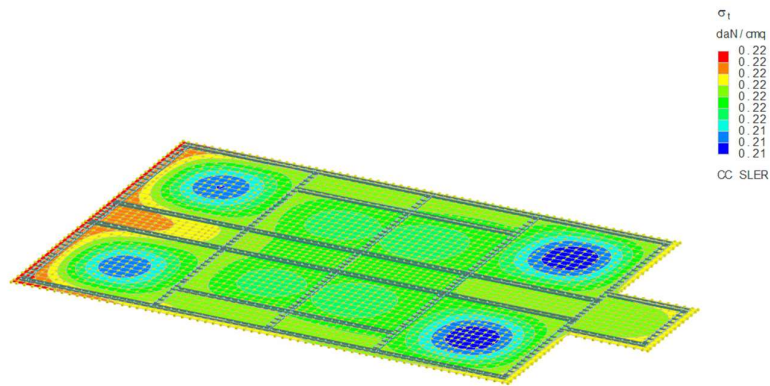


Figura 4: Stato tensionale terreno SLE RARA.

Le verifiche di dettaglio di tipo geotecnico e di capacità portante sono riportate nell'allegato "Fascicolo dei calcoli", relativamente al caso con profondità dello strato di terreno di riporto pari a 2.50 m, essendo quello maggiormente sollecitante.



#### **4 Relazione sulle fondazioni**

Dato che l'edificio esistente si presenta con piano interrato oltre a piano terra, e tenuto conto che la sagoma dell'edificio demolito non coincide con quella del nuovo edificio da realizzarsi, si ritiene necessario procedere, a demolizione ultimata, ad una fase di rinterro e costipazione del terreno, in modo da conferire la necessaria rigidezza alle zone manomesse durante la demolizione, offrendo quindi un piano di imposta compatto per la nuova costruzione, che sarà fondata in parte anche su zone non interessate direttamente dalle demolizioni del manufatto esistente.

Con l'ottica di garantire un buon comportamento del nuovo sistema di fondazione del manufatto da realizzarsi, tenuto conto di quanto sopra esplicitato, si sceglie inoltre di realizzare un sistema di fondazione rigido in relazione alla sovrastruttura da realizzarsi. È necessario precisare i seguenti due aspetti:

- il sistema strutturale della sovrastruttura previsto (struttura in legno con pannelli X-Lam) prevede uno scarico lineare dei carichi sul terreno, e quindi con una buona ripartizione degli sforzi sullo stesso;
- la struttura che verrà realizzata sarà monopiano, quindi con carichi modesti legati alla presenza di un unico piano calpestabile.

Come già sopra descritto, il sistema di fondazione dell'edificio è costituito da una platea in cemento armato gettato in opera, di spessore 25 cm, su strato di regolarizzazione in calcestruzzo magro di spessore 20 cm. La platea è irrigidita da nervature di altezza 65 cm e spessore 25 cm, disposte prevalentemente in corrispondenza delle pareti portanti della struttura in elevazione. Sulla platea sono disposti casseri a perdere in materiale plastico di altezza 60 cm, sui quali è gettata una soletta in cemento armato, di spessore 5 cm. In corrispondenza delle nervature è prevista la realizzazione di cordoli di sopralzo (cordolo "radice") di altezza 27 cm e spessore 14 cm, sui quali viene impostata la parete in X-Lam della sovrastruttura. Per l'armatura della platea, delle nervature e della soletta si rimanda agli elaborati grafici di progetto. Le verifiche di tipo strutturale sulle opere di fondazione sono riportate nell'allegato "Fascicolo dei calcoli".

## 5 Relazione di calcolo

Nel presente capitolo si riporta la relazione di calcolo relativa al progetto sopra descritto, comprensiva dell'analisi dei carichi gravanti sulle opere in progetto, e le analisi e verifiche sia globali che locali.

### 5.1 Analisi dei carichi

Nei paragrafi seguenti si riporta l'analisi dei carichi relativa al progetto in oggetto, facendo riferimento alle prescrizioni contenute nel D.M. 17/01/2018 (cap. 3).

Relativamente alla sicurezza antincendio, la struttura risulta totalmente protetta e non sono quindi necessarie verifiche di resistenza al fuoco degli elementi strutturali.

#### 5.1.1 Azioni permanenti

Sono definite come "permanenti" quelle azioni che agiscono durante tutta la vita nominale di progetto della costruzione e la cui variazione di intensità nel tempo è molto lenta e di modesta entità; nel caso in esame si considerano le seguenti azioni permanenti:

- peso proprio di tutti gli elementi strutturali,
- peso proprio di tutti gli elementi non strutturali portati.

Nella seguente tabella è riportato il valore del peso proprio dei materiali di uso strutturale impiegati nel progetto.

PESO PROPRIO DEI MATERIALI DI USO STRUTTURALE	
cemento armato	25.00 kN/m <sup>3</sup>
legno	5.00 kN/m <sup>3</sup>

Nelle seguenti tabelle è riportata l'analisi dei carichi permanenti non strutturali gravanti al piano terra e all'impalcato di copertura.

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI AL PIANO TERRA	
incidenza elementi divisorii interni	1.60 kN/m <sup>2</sup>
pavimentazione	0.40 kN/m <sup>2</sup>
impianto radiante	2.20 kN/m <sup>2</sup>
massetto di allettamento e per impianti	1.00 kN/m <sup>2</sup>

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI AL PIANO DI COPERTURA	
pannello isolante	0.30 kN/m <sup>2</sup>

guaina impermeabilizzante	0.10 kN/m <sup>2</sup>
manto di copertura	0.60 kN/m <sup>2</sup>
pannello fotovoltaico	0.50 kN/m <sup>2</sup>

Ne consegue che il carico permanente non strutturale è pari a:

- $g_{1,k} = 5.20 \text{ kN/m}^2$  al piano terra,
- $g_{1,k} = 1.50 \text{ kN/m}^2$  al piano di copertura.

### 5.1.2 Azioni variabili

Sono definite come "variabili" quelle azioni che agiscono con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel corso della vita nominale della struttura; nel caso in esame si considerano le seguenti azioni variabili:

- sovraccarichi d'esercizio,
- azioni della neve,
- azione del vento.

#### SOVRACCARICHI DI ESERCIZIO

I sovraccarichi d'esercizio sono legati alla destinazione d'uso dell'edificio: nel caso in esame si considerano agire sull'impalcato del piano terra i seguenti carichi variabili, con i loro valori caratteristici, comprensivi degli effetti dinamici ordinari (cat. C1, ambienti suscettibili di affollamento, tab. 3.1.II del D.M. 17/01/2018):

$$q_k = 3.00 \text{ kN/m}^2$$

#### AZIONE DELLA NEVE

Per quanto riguarda il calcolo dell'azione della neve sulle parti strutturali dell'opera in progetto, si fa riferimento al par.3.4. del D.M. 17/01/2018. L'azione della neve è data dalla seguente espressione:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:

- $q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico neve al suolo
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura,
- $C_E$  è il coefficiente di esposizione,
- $C_t$  è il coefficiente termico.

Il carico della neve al suolo  $q_{sk}$  (par. 3.4.2. del D.M. 17/01/2018) dipende dalle condizioni locali di clima ed esposizione; di seguito sono riportati i dati necessari per la sua determinazione:

- zona di ubicazione dell'opera (fig. 3.4.1 del D.M. 17/01/2018): 2
- altitudine sul livello del mare: 50 m.

Da tali dati si ricava il seguente valore del carico neve al suolo:

$$q_{sk} = 1.00 \text{ kN/m}^2.$$

Per la valutazione del coefficiente di forma della copertura  $\mu_i$  (par. 3.4.3. del D.M. 17/01/2018) si fa riferimento al caso di coperture a due falde:

$$\mu_i = 0.8 \quad \text{per } a \leq 30^\circ$$

Il coefficiente di esposizione  $C_E$  (par. 3.4.4. del D.M. 17/01/2018) ed il coefficiente termico  $C_t$  (par. 3.4.5. del D.M. 17/01/2018) sono assunti pari ad 1.

In conclusione, il carico provocato dalla neve è pari a:

$$q_s = 0.80 \text{ kN/m}^2.$$

#### AZIONE DEL VENTO

Nel presente paragrafo si riporta il calcolo dell'azione del vento sulle parti strutturali dell'opera in progetto. A tale proposito si fa riferimento, oltre che al par. 3.3. del D.M. 17/01/2018, anche alla norma CNR DT 207/2008 "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

L'azione del vento è data in generale dalla seguente espressione:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

- $q_r$  è la pressione cinetica di riferimento,
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione,
- $c_p$  è il coefficiente di pressione,
- $c_d$  è il coefficiente dinamico, assunto cautelativamente pari ad 1.

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  (par. 3.3.6. del D.M. 17/01/2018) è ricavata tramite la seguente relazione:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2 \quad [\text{N/m}^2]$$

dove:

- $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$  è la densità dell'aria,
- $v_r$  è la velocità di riferimento in m/s.

La velocità di riferimento (par. 3.3.2. del D.M. 17/01/2018) è determinata con la seguente relazione:

$$v_r = v_b c_r$$

dove

- $v_b$  è la velocità base di riferimento in m/s,
- $c_r$  è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto  $T_R$ : assumendo  $T_R=50$ , si ottiene  $c_r = 1$ .

La velocità base di riferimento (par. 3.3.1. del D.M. 17/01/2018) è determinata con la seguente relazione:

$$v_b = v_{b,0} c_a$$

dove

- $v_{b,0}$  è la velocità base di riferimento in m/s, a livello del mare, assegnata in tab. 3.3.I del D.M. 17/01/2018 in funzione della zona di ubicazione dell'opera,
- $c_a$  è il coefficiente di altitudine.

Il coefficiente di altitudine è fornito dalla seguente relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left( \frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove

- $a_0, k_s$  sono parametri riportati in tab. 3.3.I del D.M. 17/01/2018 in funzione della zona di ubicazione dell'opera,
- $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito di ubicazione dell'opera.

Nella seguente tabella sono riportati i dati necessari per la determinazione della velocità di riferimento.

PARAMETRI PER IL CALCOLO DELLA VELOCITA' DI RIFERIMENTO	
zona di ubicazione dell'opera (fig. 3.3.1 D.M. 17/01/2018)	3
altitudine sul livello del mare dell'opera	60 m
velocità base di riferimento a livello del mare da tab. 3.3.I D.M. 17/01/2018	27 m/s
parametro da tab. 3.3.I del D.M. 17/01/2018	$a_0 = 500 \text{ m}$
parametro da tab. 3.3.I del D.M. 17/01/2018	$k_s = 0.37$

Dai dati riportati in tabella, si ricava il seguente valore della velocità di riferimento:

$$v_r = 27 \text{ m/s}$$

e quindi il seguente valore della pressione cinetica di riferimento:

$$q_r = 0.46 \text{ kN/m}^2.$$

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  (par. 3.3.7. del D.M. 17/01/2018) è dipendente dalla quota  $z$  del punto della costruzione su cui si considera applicata l'azione del vento, dalla topografia del terreno e dalla categoria

di esposizione del sito; a favore di sicurezza, si considera una pressione del vento uniforme, pari a quella individuabile ad una quota uguale a quella massima della copertura. Il valore di tale coefficiente è pari a:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \left[7 + c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

dove

- $k_r, z_0, z_{min}$  sono parametri riportati in tab. 3.3.II del D.M. 17/01/2018 in funzione della categoria di esposizione della zona di ubicazione dell'opera,
- $c_t$  è il coefficiente di topografia, assunto pari a 1.

Nella seguente tabella sono riportati i dati necessari per la determinazione del coefficiente di esposizione.

PARAMETRI PER IL CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE	
classe di rugosità del terreno (tab. 3.3.III D.M. 17/01/2018)	B
categoria di esposizione del sito (fig. 3.3.2 D.M. 17/01/2018)	IV
parametro da tab. 3.3.II del D.M. 17/01/2018	$k_r = 0.22$
parametro da tab. 3.3.II del D.M. 17/01/2018	$z_0 = 0.30$
parametro da tab. 3.3.II del D.M. 17/01/2018	$z_{min} = 8$

Considerando un'altezza massima della costruzione pari a:

$$z = 3.00 \text{ m}$$

il coefficiente di esposizione assume il seguente valore:

$$c_e = 1.70.$$

Il coefficiente di pressione (par. 3.3.8. del D.M. 17/01/2018) dipende dalla tipologia e geometria dell'opera e dal suo orientamento rispetto al vento; per la sua determinazione si fa riferimento alle indicazioni riportate all'appendice G della norma CNR DT 207/2008 (par. G.5 Muri e parapetti); considerando la presenza di chiusura laterale della parete, si ottiene il seguente valore del coefficiente:

$$c_p = 2.1.$$

In conclusione si ottiene il seguente valore per la pressione del vento:

$$p_v = 1.65 \text{ kN/m}^2.$$

### 5.1.3 Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite considerati sono definite in base alla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione; questa è definita tramite le ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_e(T)$ , a sua volta identificato, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{vr}$  (come definite al par. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018) nel periodo di riferimento (come definito al par. 2.4 del D.M. 14/01/2008), tramite il valore dei seguenti parametri (par. 3.2. del D.M. 17/01/2018):

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima in condizione di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale,
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore di tali parametri è ricavabile, per ogni sito del territorio nazionale, dall'allegato al D.M. 14/01/2008. Relativamente al caso in esame i valori di latitudine e longitudine sono pari a:

- LATITUDINE: 43.7735
- LONGITUDINE: 11.3002

Per quanto riguarda la vita nominale di progetto, la classe d'uso e il periodo di riferimento per l'azione sismica (par. 2.4. del D.M. 17/01/2018), si adottano per il caso in esame i valori di seguito riportati:

- vita nominale:  $V_N=50$  anni,
- classe d'uso: III ( $C_U=1.5$ )
- periodo di riferimento:  $V_R=V_N \cdot C_U=75$  anni.

Nei confronti delle azioni sismiche sono stati presi in considerazione i seguenti stati limite:

- stato limite di operatività (SLO),
- stato limite di danno (SLD),
- stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Per la determinazione dell'azione sismica da applicare in fase di modellazione si sono impiegati gli spettri normalizzati derivanti dall'analisi di risposta sismica locale, per la quale si rimanda alla relazione "Analisi risposta sismica locale - RSL", redatta dal Dott. Geol. Fausto Capacci in data Febbraio 2023; nelle figure sottostanti sono riportati i grafici degli spettri relativi agli stati limite presi in considerazione SLO, SLD e SLV.

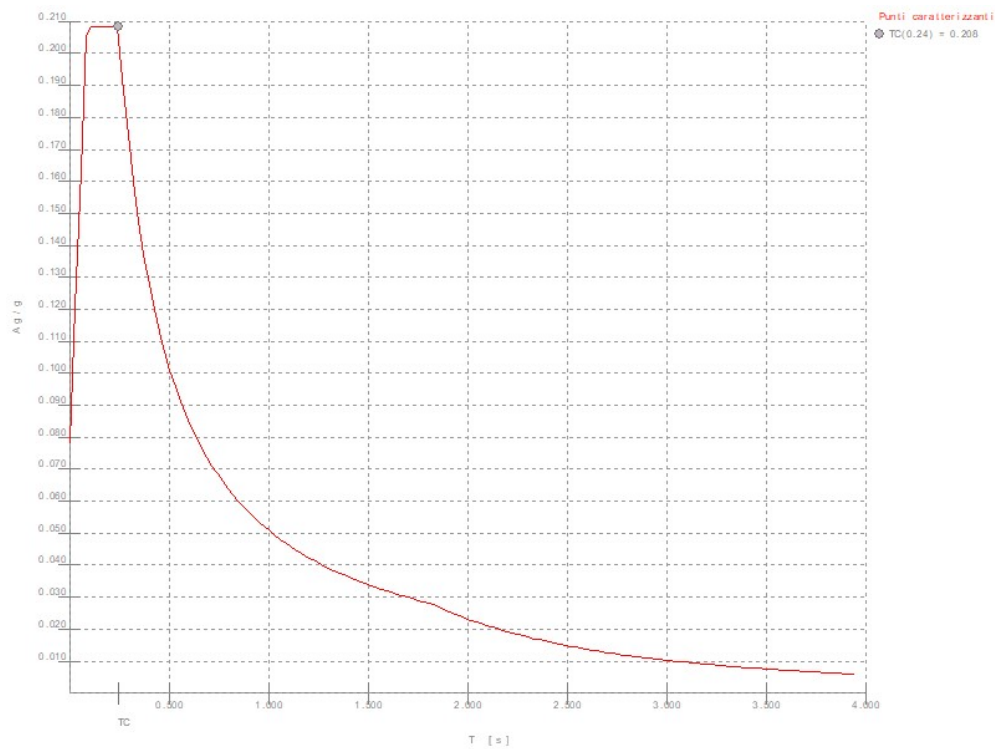


Figura 5: Spettro SLO.

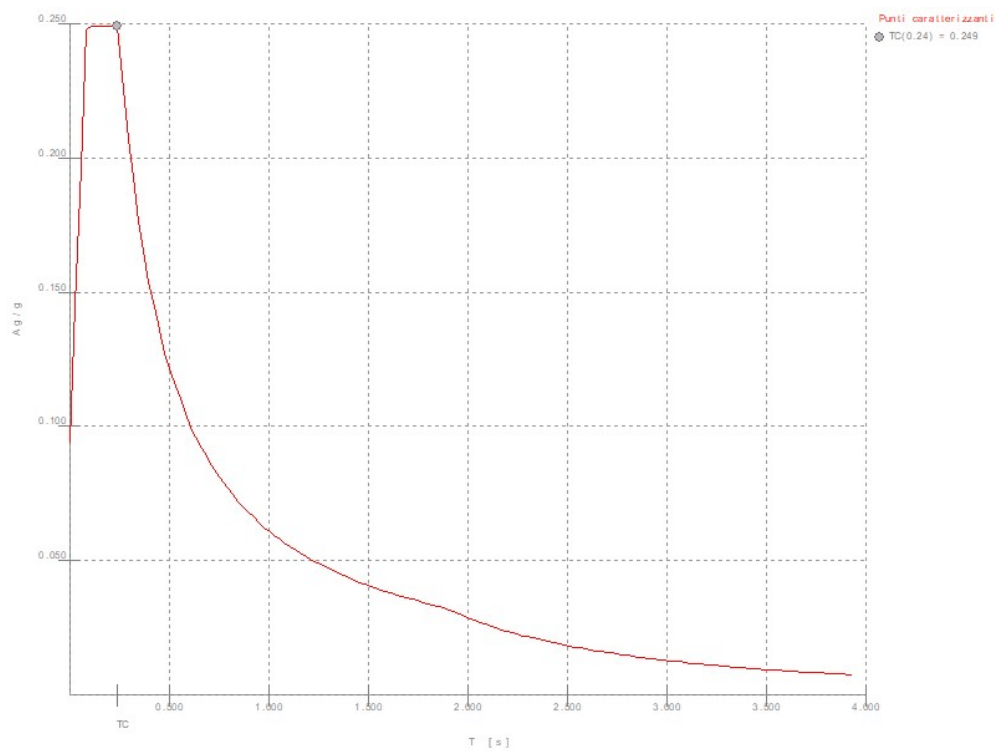


Figura 6: Spettro SLD.



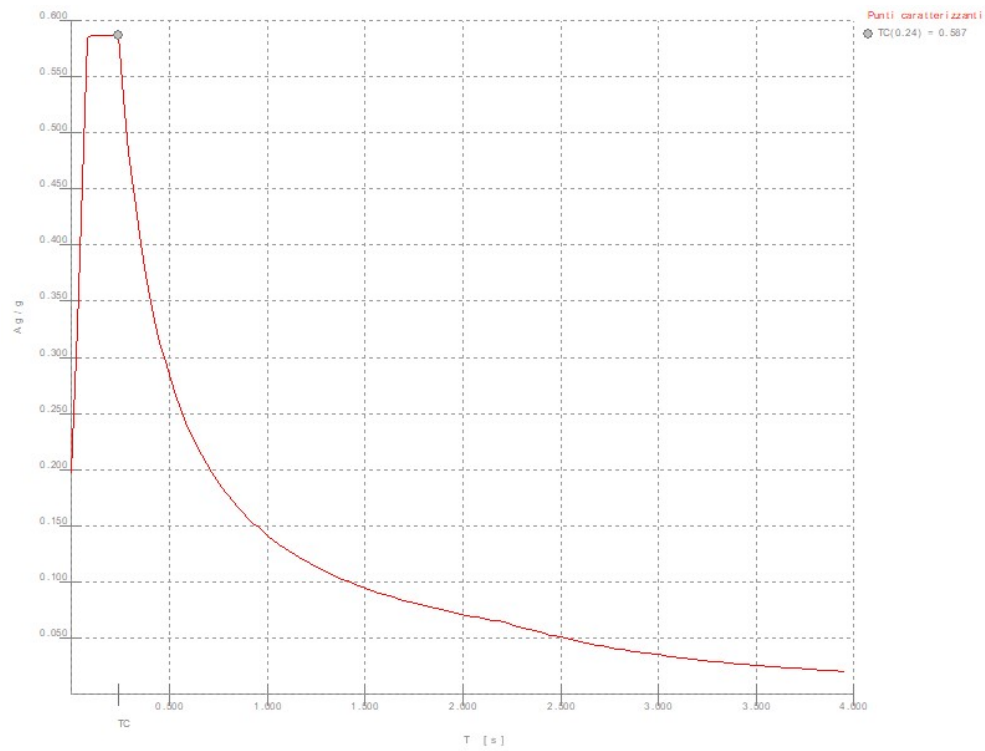


Figura 7: Spettro SLV.

## 5.2 Modellazione

Ai fini della valutazione della sicurezza e delle prestazioni della struttura costituente l'opera in oggetto, sono stati realizzati modelli tridimensionali della stessa, con l'ausilio dei seguenti programmi di calcolo; in particolare, la modellazione della struttura, la rielaborazione dei risultati del calcolo e la progettazione degli elementi strutturali modellati è stata effettuata tramite il seguente programma (i cui estremi di licenza sono riportati nell'allegato "Fascicolo dei calcoli"):

- ModeSt ver. 8.25, prodotto da Tecnisoft s.a.s. (Prato),  
mentre la struttura è stata calcolata utilizzando come solutore agli elementi finiti il seguente programma:
- Xfinest ver. 9.0.1., prodotto da Ce.A.S. s.r.l. (Milano).

Conformemente a quanto indicato al par. 7.2.6. del D.M. 17/01/2018, i modelli realizzati sono tridimensionali e rappresentano in modo adeguato le effettive distribuzioni di massa, rigidezza e resistenza dell'opera in oggetto.

Gli elementi strutturali di fondazione, ossia platea e nervature, sono modellati tramite elementi di tipo "shell" con comportamento membranale e flessionale suddivisi mediante una mesh con dimensione massima della maglia di 50 cm per 50 cm. Sulla platea è assegnato il carico permanente e d'esercizio derivante dal solaio del piano terra, realizzato con cassetteria a perdere. Analogamente, la struttura in elevazione a pannelli X-Lam è stata modellata schematizzando le pareti stesse tramite elementi di tipo "shell" con comportamento flessionale suddivisi mediante una mesh con dimensione massima della maglia di 50 cm per 50 cm. Le pareti sono state schematizzate con materiale isotropo, le cui caratteristiche di rigidezza vengono definite partendo dalle caratteristiche del materiale stesso che caratterizza le tavole di cui i pannelli sono composti, e ricavando un modulo elastico  $E$  equivalente per tenere conto della successione di strati con direzione della fibratura verticale e orizzontale: in particolare, vengono valutati i due moduli elastici equivalenti nelle due direzioni come media pesata sugli spessori delle tavole; per il calcolo viene poi utilizzato il maggiore dei due (generalmente quello verticale), cosicché la struttura in questo modo è più rigida e quindi risulta generalmente a vantaggio di sicurezza per il calcolo dell'azione sismica.

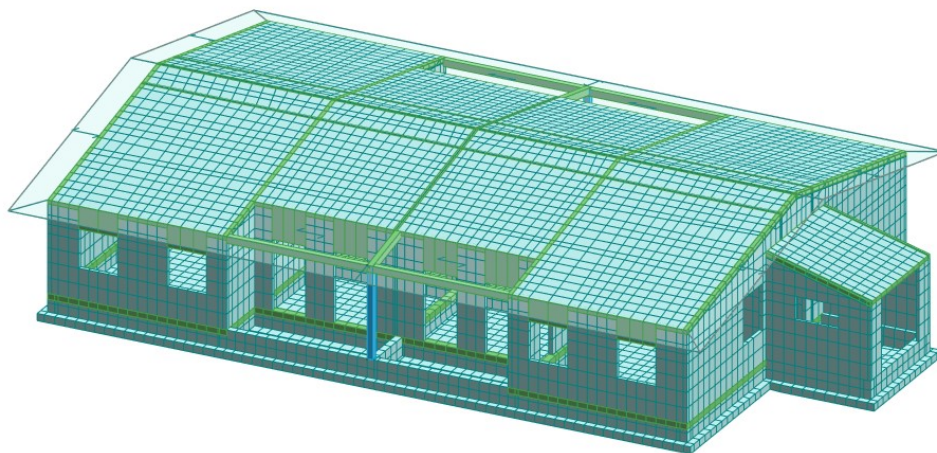


Figura 8: Vista prospettica del modello FEM.

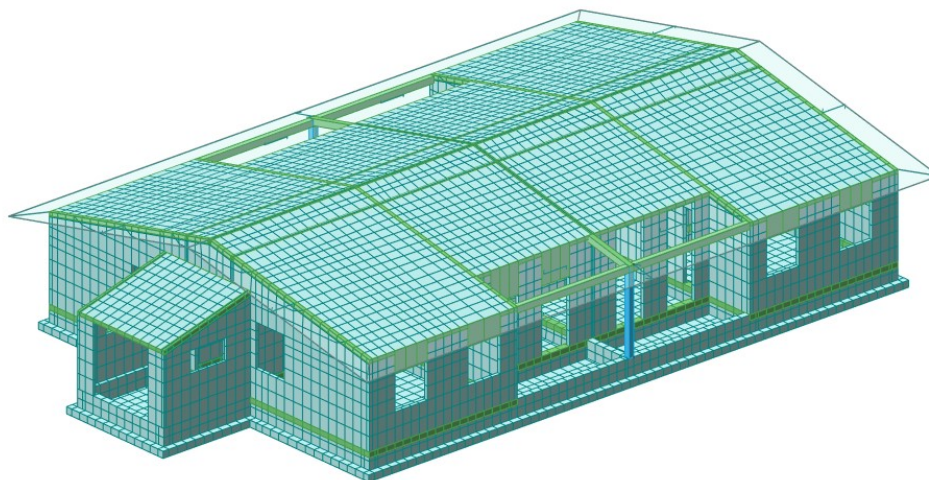


Figura 9: Vista prospettica del modello FEM.

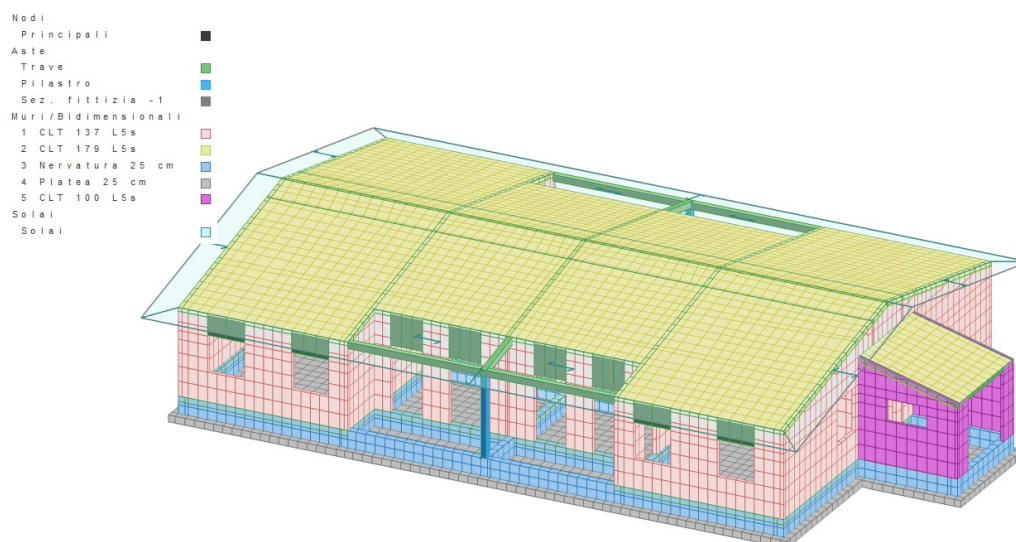


Figura 10: Vista prospettica del modello FEM, con colorazione elementi in relazione alle caratteristiche geometriche (spessore).

### 5.2.1 Assegnazione dei carichi

Per l'assegnazione dei carichi in fase di modellazione, si fa riferimento all'analisi dei carichi sopra riportata. Il peso proprio degli elementi strutturali rappresentati nel modello (platea in c.a., pareti e solai in legno, pilastri e travi in legno) è determinato dal programma di calcolo in relazione a materiale e geometria ad essi assegnati. Tali carichi sono raggruppati, per analogia, nelle condizioni di carico elementare (CCE) riportate in tabella seguente.

Tipo CCE	Comm.	Tipo	Durata	$\gamma_{min}$	$\gamma_{max}$	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
1	D.M. 18 Permanenti strutturali	G	P	1.00	1.30			
2	D.M. 18 Permanenti non strutturali	G	L	0.80	1.50			
12	D.M. 18 Variabili Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	Q	M	0.00	1.50	0.50	0.20	0.00
5	D.M. 18 Variabili Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	Q	M	0.00	1.50	0.70	0.70	0.60

CCE	Comm.	Tipo CCE	s	Dir. <grad>	Tipo	Mx	My	Mz	Jpx	Jpy	Jpz
1	Peso proprio modello (G1k)	1	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
2	Peso proprio copertura (G1k)	1	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
3	Perm. non strutturali (G2k)	2	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
4	Carico neve (Qk)	12	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00
5	Carichi d'esercizio, cat. C1 (Qk)	5	1.00	--	--	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00

Le condizioni di carico elementari (CCE) sopra elencate sono sommate (combinare) nelle seguenti combinazioni non sismiche:

- $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2}$  comb. fondamentale (SLU),
- $G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2}$  comb. rara (SLE),
- $G_1 + G_2 + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$  comb. frequente (SLE),
- $G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$  comb. quasi permanente (SLE),

e nella seguente combinazione sismica:

$$- E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2}$$

I valori dei coefficienti  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$  e dei coefficienti  $\gamma_G, \gamma_Q$  sono riportati rispettivamente in tab. 2.5.I e in tab. 2.6.I del D.M. 17/01/2018.

Nel caso in esame si ottengono dunque le combinazioni sismiche (da CC1 a CC12) e non sismiche (da CC13 a CC16) riportate nella seguente tabella.

CC	Comm.	TCC	An.	Bk	1	2	3	4	5	±S X	±S Y
1	Amb. 1 (SLU S) S +X+0.3Y	SLV+SND	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	1.00	0.30
2	Amb. 1 (SLE) S +X+0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	1.00	0.30
3	Amb. 1 (SLE) S +X+0.3Y	SLO	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	1.00	0.30
4	Amb. 1 (SLU S) S +X-0.3Y	SLV+SND	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	1.00	-0.30
5	Amb. 1 (SLE) S +X-0.3Y	SLD	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	1.00	-0.30
6	Amb. 1 (SLE) S +X-0.3Y	SLO	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	1.00	-0.30
7	Amb. 1 (SLU S) S +0.3X+Y	SLV+SND	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	0.30	1.00
8	Amb. 1 (SLE) S +0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	0.30	1.00
9	Amb. 1 (SLE) S +0.3X+Y	SLO	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	0.30	1.00
10	Amb. 1 (SLU S) S -0.3X+Y	SLV+SND	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	-0.30	1.00
11	Amb. 1 (SLE) S -0.3X+Y	SLD	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	-0.30	1.00
12	Amb. 1 (SLE) S -0.3X+Y	SLO	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	-0.30	1.00
13	Amb. 2 (SLU)	SLU	L	N	1.30	1.30	1.50	1.50	1.50	0.00	0.00
14	Amb. 2 (SLE R)	SLE R	L	N	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
15	Amb. 2 (SLE F)	SLE F	L	N	1.00	1.00	1.00	0.20	0.70	0.00	0.00
16	Amb. 2 (SLE Q)	SLE Q	L	N	1.00	1.00	1.00	0.00	0.60	0.00	0.00

Non sono state prese in esame le combinazioni con l'azione del vento in quanto tale azione non risulta dimensionante per la struttura, come risulta dal raffronto con il taglio sismico alla base, superiore rispetto a quello dovuto all'azione del vento. Inoltre non si ha sollevamento, per il contributo dei carichi permanenti strutturali e portati agenti in copertura.

### 5.2.2 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I programmi di calcolo utilizzati per le verifiche (pre e post-processore e solutore) sono molto noti e utilizzati largamente in ambito progettuale e la loro affidabilità è dimostrata dalle innumerevoli realizzazioni di opere calcolate e verificate con essi. Si è tuttavia proceduto ad un controllo dei risultati forniti dal programma di calcolo tramite un confronto con calcolo manuale delle masse sismiche e del taglio sismico alla base, al fine di poter attestare l'accettabilità dei risultati ottenuti.

### 5.3 Analisi strutturale e verifiche di sicurezza

L'analisi è stata effettuata con il metodo semiprobabilistico agli stati limite secondo le prescrizioni contenute nel D.M. 17/01/2018. Il coefficiente di sicurezza sul materiale per le verifiche agli SLU è assunto pari a  $\gamma_m=1.50$  per gli elementi di legno massiccio e per le unioni e  $\gamma_m=1.45$  per gli elementi di legno lamellare, come da Colonna A della Tab. 1 del D.M. 17/01/18.

Al fine di calcolare le sollecitazioni, sulle strutture di fondazione, sulle strutture in elevazione e sugli elementi di collegamento, si è proceduto alla realizzazione di un modello numerico come precedentemente descritto; su tale modellazione si è condotta, oltre ad una analisi per carichi gravitazionali, anche un'analisi dinamica lineare tramite l'impiego del fattore di comportamento  $q$ , determinato secondo quanto indicato al par. 7.3.1.e al par. 7.4.3.2 del D.M. 17/01/2018, vale a dire:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

- $q_0$  dipende dalle tipologie e dalle classi di duttilità (tab.7.3.II del D.M. 17/01/2018),
- $K_R$  è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza.

Nel caso in esame ("Pannelli di parete incollati a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni") si applica la progettazione considerando la struttura come dissipativa e regolare in altezza ossia assumendo il seguente valore del fattore di comportamento:

$$q = 2.50.$$

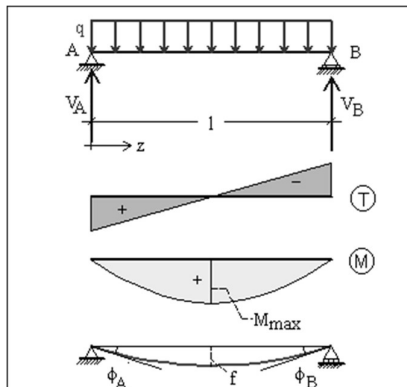
I parametri modali sono riportati nella tabella seguente.

$\Phi_x$  = Coefficiente di partecipazione in dir. X  
 $\Phi_y$  = Coefficiente di partecipazione in dir. Y  
 $\Phi_z$  = Coefficiente di partecipazione in dir. Z  
 $\%J_{pz}$  = Percentuale momento d'inerzia polare partecipante intorno all'asse Z  
 $\%M_x$  = Percentuale massa partecipante in dir. X  
 $\%M_y$  = Percentuale massa partecipante in dir. Y  
 $\%M_z$  = Percentuale massa partecipante in dir. Z  
C = \* indica che il modo è stato considerato  
Diff. = Minima differenza percentuale dagli altri periodi  
Modo = Numero del modo di vibrare  
T = Periodo

Modo	C	T	Diff.	$\Phi_x$	$\Phi_y$	$\Phi_z$	$\%M_x$	$\%M_y$	$\%M_z$	$\%J_{pz}$
1*	0.08	10.23	118.73	-0.23	0.00	95.49	0.00	0.00	0.00	0.00
2*	0.08	10.23	0.93	115.70	0.00	0.01	90.69	0.00	0.00	0.00
3*	0.06	11.44	2.80	-25.92	0.00	0.05	4.55	0.00	0.00	0.00
4*	0.06	1.41	-0.37	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5*	0.05	0.01	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6*	0.05	0.01	-0.17	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tot.cons.						95.55	95.24	0.00	0.00	0.00

## 5.3.1 Verifica del solaio di copertura (SLU + SLE)

Si riporta la verifica del solaio di copertura, realizzata con pannelli affiancati in X-Lam 180 mm a 5 strati; si prende in esame la configurazione maggiormente sollecitante. Ai fini delle verifiche di resistenza e deformabilità, si schematizza il solaio come una trave con vincolo di appoggio alle estremità, e si riferisce il calcolo ad una striscia di larghezza unitaria.



DATI PER LA VERIFICA DEL SOLAIO	
luce	6.15 m
peso proprio	0.90 kN/m <sup>2</sup>
carichi permanenti strutturali	-
carichi permanenti non strutturali	1.50 kN/m <sup>2</sup>
carichi variabili	0.80 kN/m <sup>2</sup>

Verifica allo SLU - carichi permanenti ( $k_{mod}=0.60$ ):

- $M_{sd,perm} = 16.35 \text{ kNm}$ ,
- $V_{sd,perm} = 10.55 \text{ kN}$ ,
- $\sigma_{m,d} = 2.99 \text{ N/mm}^2 < f_{m,d} = 9.93 \text{ N/mm}^2$
- $\tau_{m,d} = 0.09 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 1.66 \text{ N/mm}^2$

La verifica risulta soddisfatta:  $FS_{min\_SLU\_cp} = 3.32$

Verifica allo SLU - carichi permanenti e variabili ( $k_{mod}=0.90$ ):

- $M_{sd,SLU} = 21.85 \text{ kNm}$ ,
- $V_{sd,perm} = 14.25 \text{ kN}$ ,
- $\sigma_{m,d} = 4.05 \text{ N/mm}^2 < f_{m,d} = 14.90 \text{ N/mm}^2$
- $\tau_{m,d} = 0.12 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 2.48 \text{ N/mm}^2$

La verifica risulta soddisfatta:  $FS_{min\_SLU\_cp+cv} = 3.67$

Si esegue la verifica allo stato limite d'esercizio SLE:

- $u_{0,d} = 11.3 \text{ mm} < L/300 = 20.5 \text{ mm}$
- $u_{fin,d} = 18.5 \text{ mm} < L/250 = 24.6 \text{ mm}$

La verifica risulta soddisfatta:  $FS_{min\_SLE} = 1.33$

## 5.3.2 Verifica per carichi gravitazionali - SLU

Le verifiche di sicurezza sono riportate nell'allegato "Fascicolo dei calcoli"; per la numerazione dei pannelli di X-Lam si faccia riferimento a quanto riportato negli elaborati grafici di progetto.

Si riportano di seguito i resoconti delle verifiche effettuate su ciascun elemento strutturale costituente il manufatto, riportando il fattore di sicurezza minimo (ovvero  $FS = \text{ente resistente} / \text{ente sollecitante}$ ).

RESOCONTO VERIFICHE SLU	
Elemento	FS minimo
Platea	4.08
Pareti	3.31
Pilastrini	4.06
Travi	1.27
Solaio	3.32

Nelle figure seguenti si riportano i tassi di sfruttamento massimi dei vari elementi rappresentati (ovvero  $TS = \text{ente sollecitante} / \text{ente resistente}$ ).

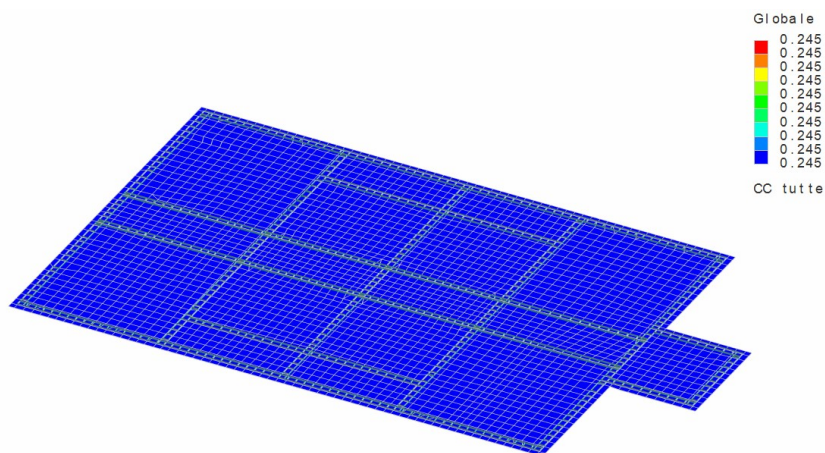


Figura 11: Tasso di sfruttamento della platea per la combinazione SLU.



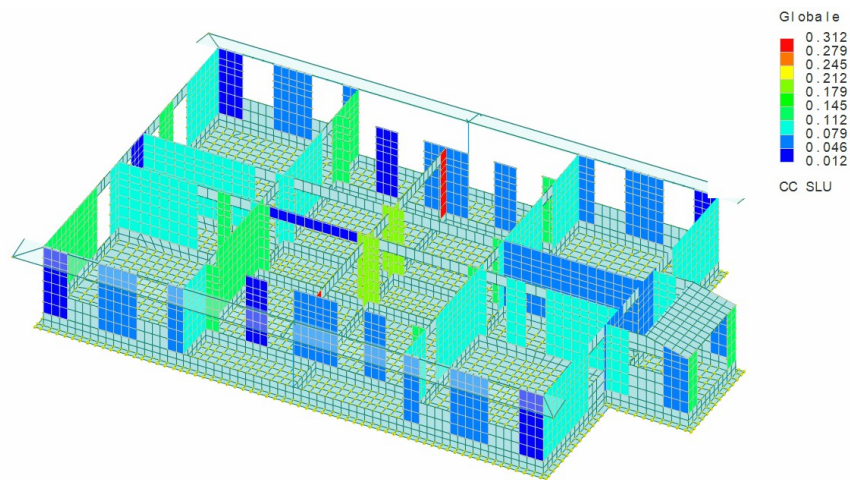


Figura 12: Tasso di sfruttamento delle pareti per la combinazione SLU.

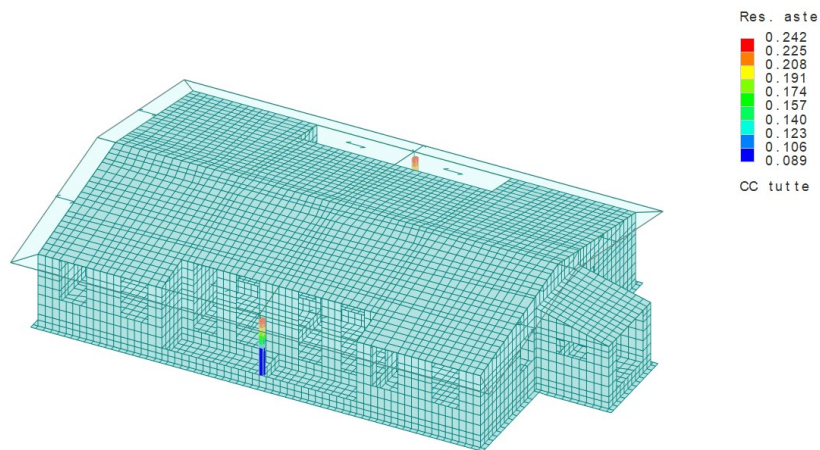


Figura 13: Tasso di sfruttamento dei pilastri per la combinazione SLU.

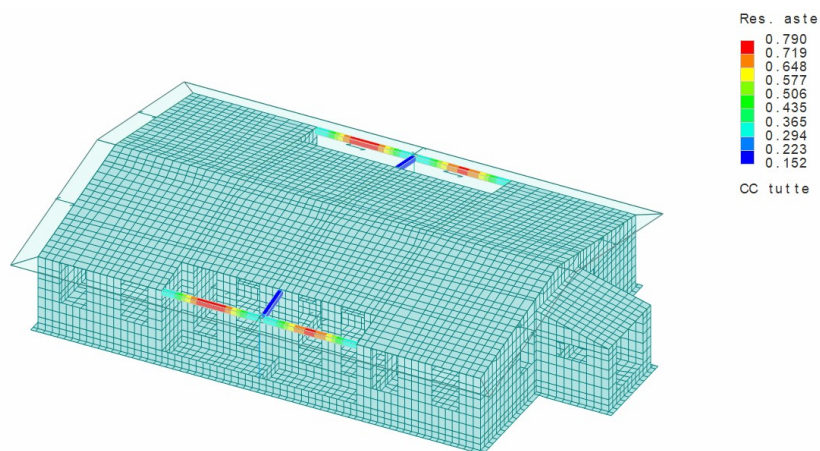


Figura 14: Tasso di sfruttamento delle travi per la combinazione SLU.

## 5.3.3 Verifica per carichi gravitazionali - SLE

Le verifiche di sicurezza sono riportate nell'allegato "Fascicolo dei calcoli"; per la numerazione dei pannelli di X-Lam si faccia riferimento a quanto riportato negli elaborati grafici di progetto.

Si riportano di seguito i resoconti delle verifiche effettuate su ciascun elemento strutturale costituente il manufatto.

Si ricorda che:

- per le verifiche SLE della platea (struttura in c.a.), la verifica viene condotta in termini tensionali, secondo le indicazioni di normativa;
- per le verifiche SLE di travi e solaio (elementi lignei), la verifica viene condotta in termini di deformabilità.

RESOCONTO VERIFICHE SLE	
Elemento	FS minimo
Platea	6.42
Pareti	(*)
Pilastrini	(*)
Travi	1.33 (**)
Solaio	1.33 (***)

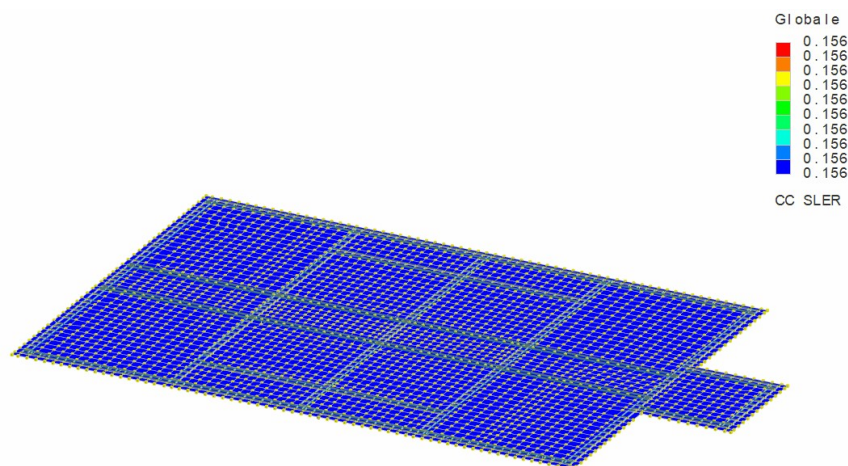


Figura 15: Tasso di sfruttamento della platea per la combinazione SLE (verifica espressa in termini di tasso di sfruttamento).

(\*) Si fa notare che, per tale stato limite, sugli elementi in legno non sono svolte verifiche tensionali in quanto non richieste dalla vigente normativa; si ricorda che le verifiche allo stato limite ultimo, prima riportate, sono già svolte in termini di verifiche tensionali, così come richiesto dalla normativa per le costruzioni.

(\*\*) Per la verifica di dettaglio, si rimanda al fascicolo dei calcoli.

(\*\*\*) Per la verifica allo SLE del solaio, si rimanda al par. 5.3.1.

#### 5.3.4 Verifica per azioni sismiche - SLV

Le verifiche di sicurezza sono riportate nell'allegato "Fascicolo dei calcoli"; per la numerazione dei pannelli di X-Lam si faccia riferimento a quanto riportato negli elaborati grafici di progetto.

Si riportano di seguito i resoconti delle verifiche effettuate su ciascun elemento strutturale costituente il manufatto.

RESOCONTO VERIFICHE SLV	
Elemento	FS minimo
Platea	5.04
Pareti	6.10
Pilastrini	10
Travi	3.33
Solaio	-

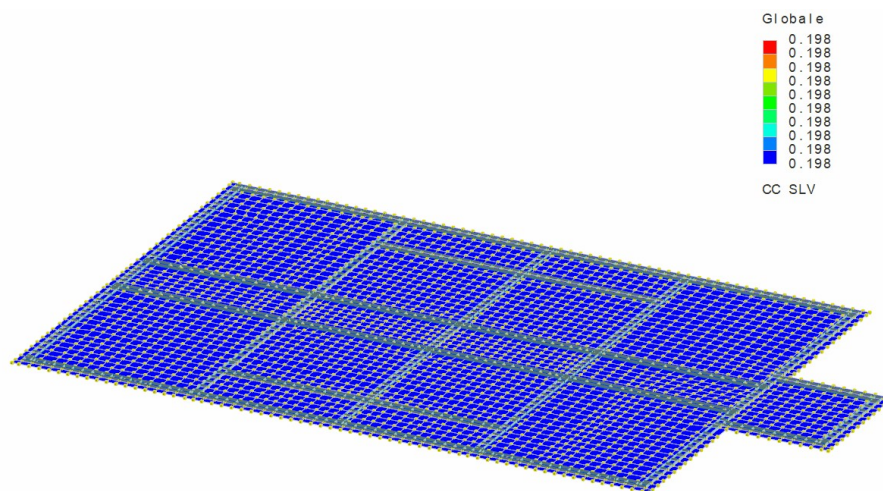


Figura 16: Tasso di sfruttamento della platea per la combinazione SLV.

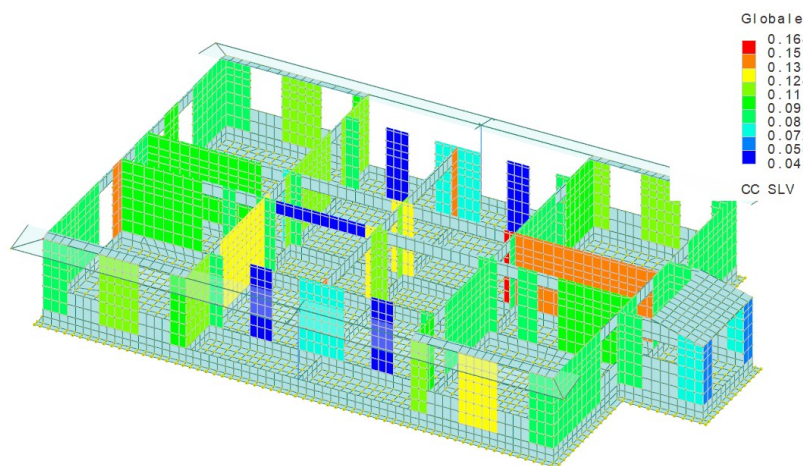


Figura 17: Tasso di sfruttamento delle pareti per la combinazione SLV.

### 5.3.5 Verifica dei collegamenti SLU-SLV

Tutti gli elementi strutturali in elevazione sono collegati fra loro e alle strutture di fondazione con elementi meccanici di collegamento la cui configurazione è riportata negli elaborati grafici. Nella tabella seguente è riportato il valore delle resistenze di progetto dei collegamenti meccanici, inseriti nel programma di calcolo. Le verifiche dei collegamenti sono riportate nell'allegato "Fascicolo dei calcoli".

VALORE DELLE RESISTENZE DI PROGETTO DEI COLLEGAMENTI MECCANICI	
piastra angolare a trazione tipo WHT620 Rothoblaas (HOLD DOWN)	24.20 kN
piastra a taglio tipo TCP200 Rothoblaas (TAGLIO BASE)	6.50 kN
piastra angolare tipo WBO100 Rothoblaas (PARETE-PARETE)	8.80 kN
piastra angolare tipo TTN240 Rothoblaas (PARETE-SOLAIO COPERTURA)	37.90 kN

Si riporta a titolo d'esempio i valori di sollecitazione e resistenza, ed il corrispondente coefficiente di sicurezza, relativi al collegamento maggiormente sollecitato; si tratta della giunzione a taglio alla base di un pannello, costituita da n.5 piastre tipo TCP 200, ciascuna avente valore di resistenza pari a  $T_{Rd,cad} = 6.50$  kN. La verifica totale del collegamento è dunque la seguente:

$$T_{Sd} = 29.25 \text{ kN}$$

$$T_{Rd} = 32.50 \text{ kN}$$

coefficiente di sicurezza: 1.11

Per le verifiche degli altri collegamenti e per ulteriori informazioni si rimanda al Fascicolo dei calcoli.

## 5.3.6 Verifica per azioni sismiche - SLO e SLD

Occorre verificare che l'azione sismica di progetto non produca agli elementi costruttivi senza funzione strutturale dei danni tali da rendere temporaneamente non operativa la costruzione. A tal fine ci si riferisce allo stato limite di operatività SLO: per il sistema costruttivo in oggetto, questa condizione può ritenersi soddisfatta quando gli spostamenti massimi di interpiano  $d_r$  ottenuti dall'analisi rispettino la seguente condizione:

$$d_r < 2/3 \times 0.005 \times h$$

con  $h$  altezza di interpiano

## VERIFICHE ALLO SLO

Nelle tabelle seguenti si riportano gli spostamenti per lo stato limite di operatività per un nodo tipo sulla linea di colmo e un nodo tipo sulla linea di gronda; si può osservare che tali spostamenti sono inferiori al valore limite e che quindi il requisito risulta soddisfatto.

SPOSTAMENTI SLO-DIREZIONE X				
Elemento	Quota h (m)	Spostam. (cm)	Limite (cm)	FS
Gronda	3.09	0.039	1.03	>1
Colmo	4.73	0.047	1.58	>1

SPOSTAMENTI SLO-DIREZIONE y				
Elemento	Quota h (m)	Spostam. (cm)	Limite (cm)	FS
Gronda	3.09	0.031	1.03	>1
Colmo	4.73	0.034	1.58	>1

## VERIFICHE ALLO SLD

Si riportano anche le analoghe verifiche nei confronti dello stato limite di danno SLD, seppur non richieste dalla normativa vigente: per il sistema costruttivo in oggetto, questa condizione può ritenersi soddisfatta quando gli spostamenti massimi di interpiano  $d_r$  ottenuti dall'analisi rispettino la seguente condizione:

$$d_r < 0.005 \times h$$

con  $h$  altezza di interpiano

Dalle tabelle seguenti si può osservare che tali spostamenti sono inferiori al valore limite e che quindi il requisito risulta soddisfatto.

SPOSTAMENTI SLD - DIREZIONE X				
Elemento	Quota h (m)	Spostam. (cm)	Limite (cm)	FS
Gronda	3.09	0.074	1.55	>1
Colmo	4.73	0.086	2.37	>1

SPOSTAMENTI SLD - DIREZIONE Y				
Elemento	Quota h (m)	Spostam. (cm)	Limite (cm)	FS
Gronda	3.09	0.063	1.55	>1
Colmo	4.73	0.070	2.37	>1

## 5.4 Verifica opere esterne

### 5.4.1 Premessa

Si effettua la progettazione del nuovo muro di cinta in calcestruzzo armato lato NORD e lato EST. Il nuovo muro di cinta lato NORD e lato EST presenterà altezza della parete verticale di 280 cm, con altezza fuori terra di 250 cm e spessore costante di 25 cm; la fondazione si attesterà a 65 cm di profondità rispetto al piano campagna, su un letto di magrone spesso 15 cm, e avrà dimensioni pari a 160 cm x 35 cm.

Si effettuano inoltre le verifiche sul muro di cinta esistente lato OVEST a seguito del suo rinforzo, così realizzato:

- rinforzo mediante intonaco armato di tipo tradizionale, su ambo le superfici della parete muraria. Il rinforzo verrà applicato sino ad una profondità di 50 cm rispetto al piano campagna attuale;
- rinforzo del sistema di fondazione mediante il getto di due cordoli alla base della muratura e la loro conseguente solidarizzazione per mezzo di inghisaggi.

La muratura esistente lato OVEST presenta altezza fuori terra di 250 cm e uno spessore minimo di 45 cm. L'intonaco armato di tipo tradizionale avrà spessore di 4 cm per superficie e i nuovi cordoli, da realizzarsi in calcestruzzo armato, avranno dimensioni pari a 40 cm x 40 cm e si attesteranno a 50 cm di profondità dal piano campagna su un magrone di spessore 10 cm.

### 5.4.2 Metodo di calcolo

Tutte le verifiche effettuate nel presente paragrafo sono condotte con riferimento alla metodologia degli Stati Limite.

Si eseguono, per il nuovo muro in calcestruzzo armato, le seguenti verifiche agli SLU:

- verifica EQU di ribaltamento semplice;
- verifica GEO di portanza del terreno di fondazione;
- verifica STR di resistenza alla flessione della parete verticale.

Si eseguono, per il muro esistente, le seguenti verifiche allo stato attuale:

- verifica EQU di ribaltamento semplice (che risulta non soddisfatta, richiedendo quindi la progettazione dell'intervento strutturale di rinforzo sia a livello di fondazione che elevazione).

Una volta dimensionato l'intervento, si eseguono (per il muro esistente consolidato) le seguenti verifiche allo stato di progetto:

- verifica EQU di ribaltamento semplice;
- verifica GEO di portanza del terreno di fondazione;
- verifica STR di resistenza alla flessione della parete verticale.

NB: TUTTE LE VERIFICHE SISMICHE SONO SVOLTE CON FATTORE DI COMPORTAMENTO UNITARIO ( $q=1.0$ ).

## 5.4.3 Verifiche su nuovo muro lato NORD e lato EST

## 5.4.3.1 Verifica EQU su nuovo muro

Si riporta adesso la verifica EQU effettuata sul nuovo muro di cinta.

<b>DIMENSIONI</b>	
lunghezza tratto di muro considerato	
L	1.00 m
fondazione	
B	1.60 m
sp	0.35 m
muro	
sp	0.25 m
H	2.80 m
braccio <sub>sx</sub>	0.15 m
braccio <sub>dx</sub>	1.20 m
h <sub>G</sub>	1.75 m

altezza di spinta dell'azione sismica

<b>FORZE RIBALTANTI</b>	
F <sub>d,x</sub>	4.62 kN
S <sub>e(max)</sub>	0.47 g
F <sub>sismica</sub>	8 kN

forza da applicare per vento impattante

azione sismica massima

spinta sismica

<b>MOMENTI RIBALTANTI TOTALI</b>	
M <sub>Fd,x</sub>	8 kNm
M <sub>Fsismica lm</sub>	14 kNm

momento ribaltante della forza del vento

momento ribaltante della spinta sismica

<b>PESI ELEMENTI IN C.A.</b>	
P <sub>fondazione</sub>	14.000 kN
P <sub>muro</sub>	17.500 kN

<b>MOMENTI STABILIZZANTI PARZIALI</b>	
M <sub>fondazione</sub>	11 kNm
M <sub>muro_SX</sub>	5 kNm
M <sub>muro_DX</sub>	23 kNm

spinta sollecitante verso sinistra

spinta sollecitante verso destra

<b>MOMENTI STABILIZZANTI TOTALI</b>	
M <sub>sx</sub>	16 kNm
M <sub>dx</sub>	34 kNm

<b>FORZE RIBALTANTI AGLI S.L.</b>	
F <sub>d,x_SLU</sub>	7 kN
S <sub>e(max)</sub>	0.47 g
F <sub>sismica</sub>	8 kN

forza da applicare per vento impattante

azione sismica massima

spinta sismica

<b>MOMENTI RIBALTANTI AGLI S.L.</b>	
M <sub>Fd,x</sub>	12 kNm
M <sub>Fsismica lm</sub>	14 kNm

momento ribaltante della forza del vento

momento ribaltante della spinta sismica

<b>MOMENTI STABILIZZANTI AGLI S.L.</b>	
M <sub>sx_SLU</sub>	14 kNm
M <sub>dx_SLU</sub>	31 kNm
M <sub>sx_SLV</sub>	16 kNm
M <sub>dx_SLV</sub>	34 kNm

<b>VERIFICA A RIBALTAMENTO</b>	
sismica <sub>SLV</sub>	1.11
vento <sub>SLU</sub>	1.19

La verifica a ribaltamento risulta soddisfatta per ogni combinazione di calcolo.



## 5.4.3.2 Verifica GEO su nuovo muro

Viene eseguita la verifica di capacità portante secondo il meccanismo di rottura di Terzaghi, adottando la formulazione di Vesic per tenere in considerazione i fattori di forma e profondità della fondazione superficiale reale.

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma$$

- s fattori di forma
- d fattori di profondità
- i fattori di inclinazione del carico

Nella presente valutazione, il fattore di inclinazione del carico risulta pari ad 1.

Per i fattori di forma e profondità sono state assunte le seguenti formulazioni:

Tabella 15.1: Fattori di forma (Vesic, 1975)

Forma della fondazione	$s_c$	$s_q$	$s_\gamma$
Rettangolare	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan \phi$	$1 - 0,4 \cdot \frac{B'}{L'}$

Tabella 15.2: Fattori di profondità (Vesic, 1975)

Valore di $\phi$	$d_c$	$d_q$	$d_\gamma$
$\phi = 0$	$\frac{D}{B'} \leq 1$	$1 + 0,4 \cdot \frac{D}{B'}$	1
argilla saturata in condizioni non drenate	$\frac{D}{B'} > 1$	$1 + 0,4 \cdot \arctan\left(\frac{D}{B'}\right)$	1
$\phi > 0$	$\frac{D}{B'} \leq 1$	$1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \frac{D}{B'}$	1
sabbia e argilla in condizioni drenate	$\frac{D}{B'} > 1$	$1 + 2 \cdot \tan \phi \cdot (1 - \sin \phi)^2 \cdot \arctan\left(\frac{D}{B'}\right)$	1

Nella valutazione viene considerata la parzializzazione della sezione di base della fondazione, con riferimento al seguente schema:

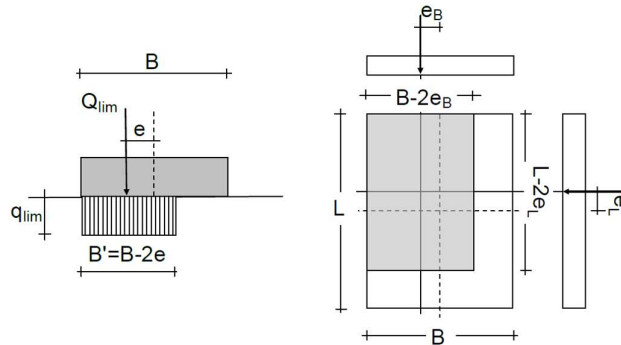


Figura 18: Ipotesi per la valutazione della parzializzazione della sezione di base del plinto.

Per il calcolo dei fattori di capacità portante si fa riferimento alle seguenti formulazioni:

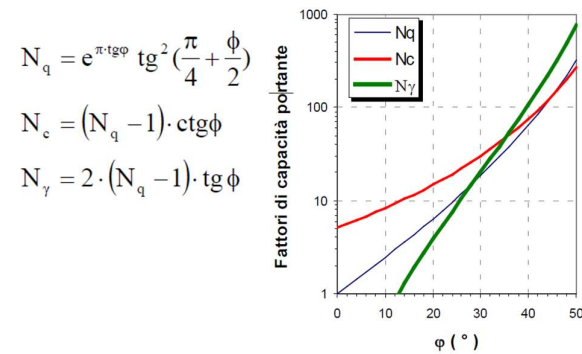


Figura 19: Calcolo dei fattori di capacità portante.

Nel calcolo delle azioni alla base della fondazione viene computato anche il peso proprio del plinto.

Si riportano adesso le verifiche di capacità portante del terreno di fondazione in condizioni drenate e non drenate.

	VERIFICA NON DRENATA	VERIFICA DRENATA
$N_q$	1	8.4
$N_c$	5.14	17.7
$N_\gamma$	0	6.2
$N_q/N_c$	0.19	0.47

$\phi$	22.7 °	valore caratteristico (VER. DRENATA)
$c'$	0.396 rad	
	23 kPa	valore caratteristico (VER. DRENATA)
$c_{u,k}$	180 kPa	valore caratteristico (VER. NON DRENATA)
D	0.60 m	profondità piano di posa fondazione
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso medio del terreno laterale
coeff R3	2.3	

SOLLECITAZIONI				GEOMETRIA PLINTO			SEZIONE RIDOTTA PLINTO			
PLINTO	$N_{TOT}$ [kN]	$e_y$ [m]	$e_x$ [m]	B [m]	L [m]	A [m <sup>2</sup> ]	B' [m]	L' [m]	A' [m <sup>2</sup> ]	% RID. AREA
cc1 - SISMICA	32	0.71	0.00	1.60	1.00	1.60	0.17	1.00	0.17	89%
cc2 - VENTO	32	0.68	0.00	1.60	1.00	1.60	0.25	1.00	0.25	85%

VERIFICA NON DRENATA								
$s_c$ [-]	$d_c$ [-]	$s_q$ [-]	$d_q$ [-]	$s_Y$ [-]	$d_Y$ [-]	$q_{lim}$ [MPa ]	$Q_{lim}$ [kN]	FS [-]
1.033	1.52	$1.07_1$	1.00	0.93	1.00	0.64	109	3.45
1.048	1.47	$1.10_3$	1.00	0.90	1.00	0.63	155	4.91
VERIFICA DRENATA								
$s_c$ [-]	$d_c$ [-]	$s_q$ [-]	$d_q$ [-]	$s_Y$ [-]	$d_Y$ [-]	$q_{lim}$ [MPa ]	$Q_{lim}$ [kN]	FS [-]
1.081	1.46	$1.07_1$	1.41	0.93	1.00	0.35	60	1.90

1.117	1.42	1.10 <sub>3</sub>	1.37	0.90	1.00	0.35	87	2.77
-------	------	-------------------	------	------	------	------	----	------

Le verifiche risultano soddisfatte in entrambe le condizioni e per entrambe le combinazioni considerate.

#### 5.4.3.3 Verifica STR su nuovo muro

Si considerano le sollecitazioni derivanti dall'azione del vento impattante e dall'azione sismica, entrambe valutate in combinazione agli Stati Limite. Si hanno i seguenti valori sollecitanti del momento alla base della parete:

MOMENTI RIBALTANTI AGLI S.L.		
$M_{Fd,x}$	12 kNm	momento ribaltante della forza del vento
$M_{Fsismica\ 1m}$	14 kNm	momento ribaltante della spinta sismica

La parete sarà realizzata in calcestruzzo armato di classe C25/30 e presenterà armatura  $\phi 16$  a passo 20 cm. Si riporta la valutazione del momento resistente:

Verifica C.A. S.L.U. - File: C2133\_PD\_Verifica STR muro nuovo\_rev00\_v00

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo:

N\* figure elementari 1 Zoom N\* strati barre 2 Zoom

N*	b [cm]	h [cm]
1	100	25

N*	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	3
2	10.05	22

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN M<sub>xEd</sub> 0 kNm M<sub>yEd</sub> 0

P.to applicazione N Centro Baricentro cls Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub> 80.82 kNm

sigma<sub>c</sub> -14.17 N/mm² sigma<sub>s</sub> 391.3 N/mm² epsilon<sub>c</sub> 3.5 epsilon<sub>s</sub> 20.99 d 22 cm x 3.144 x/d 0.1429 delta 0.7

Materiali B450C C25/30

epsilon<sub>su</sub> 67.5 epsilon<sub>c2</sub> 2 f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² epsilon<sub>cu</sub> 3.5 E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 14.17 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8 E<sub>syd</sub> 1.957 sigma<sub>c,adm</sub> 9.75 sigma<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² tau<sub>co</sub> 0.6 tau<sub>c1</sub> 1.829

Tipo Sezione Rettan.re Trapezi a T Circolare Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N\* rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Figura 20: Estratto della verifica a flessione su nuovo muro in c.a..

La verifica a flessione alla base della parete verticale risulta soddisfatta in entrambe le combinazioni considerate, con un fattore di sicurezza minimo pari a 5.77.

## 5.4.4 Verifiche su muro esistente lato OVEST

## 5.4.4.1 Verifica EQU su nuovo esistente allo stato attuale

Si riporta adesso la verifica EQU effettuata sul nuovo esistente.

<b>DIMENSIONI</b>			
lunghezza tratto di muro considerato			
L	1.00	m	
fondazione			
B	0.45	m	
sp	0.00	m	
muro			
sp	0.45	m	
H	2.70	m	
braccio <sub>sx</sub>	0.00	m	
braccio <sub>dx</sub>	0.00	m	
h <sub>G</sub>	1.35	m	altezza di spinta dell'azione sismica equivalente
<b>FORZE RIBALTANTI</b>			
F <sub>d,x</sub>	4.46	kN	forza da applicare per vento impattante
S <sub>e(max)</sub>	0.59	g	azione sismica massima
F <sub>sismica</sub>	14	kN	spinta sismica
<b>MOMENTI RIBALTANTI TOTALI</b>			
M <sub>Fd,x</sub>	6	kNm	momento ribaltante della forza del vento
M <sub>Fsismica_1m</sub>	18	kNm	momento ribaltante della spinta sismica
<b>PESTI ELEMENTI IN C.A.</b>			
P <sub>fondazione</sub>	0.000	kN	
P <sub>muro</sub>	23.085	kN	
<b>MOMENTI STABILIZZANTI PARZIALI</b>			
M <sub>fondazione</sub>	0	kNm	
M <sub>muro_sx</sub>	5	kNm	spinta sollecitante verso sinistra
M <sub>muro_dx</sub>	5	kNm	spinta sollecitante verso destra
<b>MOMENTI STABILIZZANTI TOTALI</b>			
M <sub>sx</sub>	5	kNm	
M <sub>dx</sub>	5	kNm	
<b>FORZE RIBALTANTI AGLI S.L.</b>			
F <sub>d,x_SLU</sub>	7	kN	forza da applicare per vento impattante
S <sub>e(max)</sub>	0.44	g	azione sismica massima
F <sub>sismica</sub>	14	kN	spinta sismica
<b>MOMENTI RIBALTANTI AGLI S.L.</b>			
M <sub>Fd,x</sub>	9	kNm	momento ribaltante della forza del vento
M <sub>Fsismica_1m</sub>	18	kNm	momento ribaltante della spinta sismica
<b>MOMENTI STABILIZZANTI AGLI S.L.</b>			
M <sub>sx_SLU</sub>	5	kNm	
M <sub>dx_SLU</sub>	5	kNm	
M <sub>sx_SLV</sub>	5	kNm	
M <sub>dx_SLV</sub>	5	kNm	
<b>VERIFICA A RIBALTAMENTO</b>			
sismica <sub>SLV</sub>	0.28		
vento <sub>SLU</sub>	0.52		

La verifica a ribaltamento del muro esistente non risulta soddisfatta, pertanto è stato previsto il suo rinforzo come meglio specificato nei paragrafi precedenti.

#### 5.4.4.2 Verifica EQU su nuovo esistente allo stato di progetto

DIMENSIONI			
lunghezza tratto di muro considerato			
L	1.00	m	
fondazione			
B	1.25	m	
sp	0.40	m	
muro			
sp	0.53	m	
H	2.70	m	
braccio <sub>sx</sub>	0.40	m	
braccio <sub>dx</sub>	0.32	m	
h <sub>G</sub>	1.75	m	altezza di spinta dell'azione sismica equivalente
FORZE RIBALTANTI			
F <sub>d,x</sub>	4.46	kN	forza da applicare per vento impattante
S <sub>e(max)</sub>	0.48	g	azione sismica massima
F <sub>sismica</sub>	13	kN	spinta sismica
MOMENTI RIBALTANTI TOTALI			
M <sub>Fd,x</sub>	8	kNm	momento ribaltante della forza del vento
M <sub>Fsismica_1m</sub>	23	kNm	momento ribaltante della spinta sismica
PESTI ELEMENTI IN C.A.			
P <sub>fondazione</sub>	12.500	kN	
P <sub>muro</sub>	27.189	kN	
MOMENTI STABILIZZANTI PARZIALI			
M <sub>fondazione</sub>	8	kNm	
M <sub>muro_sx</sub>	18	kNm	spinta sollecitante verso sinistra
M <sub>muro_dx</sub>	16	kNm	spinta sollecitante verso destra
MOMENTI STABILIZZANTI TOTALI			
M <sub>sx</sub>	26	kNm	
M <sub>dx</sub>	24	kNm	
FORZE RIBALTANTI AGLI S.L.			
F <sub>d,x_SLU</sub>	7	kN	forza da applicare per vento impattante
S <sub>e(max)</sub>	0.48	g	azione sismica massima
F <sub>sismica</sub>	13	kN	spinta sismica
MOMENTI RIBALTANTI AGLI S.L.			
M <sub>Fd,x</sub>	12	kNm	momento ribaltante della forza del vento
M <sub>Fsismica_1m</sub>	23	kNm	momento ribaltante della spinta sismica
MOMENTI STABILIZZANTI AGLI S.L.			
M <sub>sx_SLU</sub>	23	kNm	
M <sub>dx_SLU</sub>	21	kNm	
M <sub>sx_SLV</sub>	26	kNm	
M <sub>dx_SLV</sub>	24	kNm	
VERIFICA A RIBALTAMENTO			
sismica <sub>SLV</sub>	1.04		
vento <sub>SLU</sub>	2.83		

La verifica EQU su muro esistente allo stato di progetto risulta soddisfatta.

## 5.4.4.3 Verifica GEO su muro esistente allo stato di progetto

Si riportano adesso le verifiche di capacità portante del terreno di fondazione in condizioni drenate e non drenate.

	Verifica non drenata	Verifica drenata
$N_q$	1	8.4
$N_c$	5.14	17.7
$N_\gamma$	0	6.2
$N_q/N_c$	0.19	0.47

$\varphi$	22.7 °	valore caratteristico (VER. DRENATA)
	0.396 Rad	
$c'$	23 kPa	valore caratteristico (VER. DRENATA)
$C_{u_k}$	180 kPa	valore caratteristico (VER. NON DRENATA)
D	0.60 M	profondità piano di posa fondazione
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>	peso medio del terreno laterale
coeff R3	2.3	

SOLLECITAZIONI				GEOMETRIA FONDAZIONE			SEZIONE RIDOTTA FONDAZIONE			
PLINTO	$N_{TOT}$ [kN]	$e_y$ [m]	$e_x$ [m]	B [m]	L [m]	A [m <sup>2</sup> ]	B' [m]	L' [m]	A' [m <sup>2</sup> ]	% RID. AREA
cc1 - SISMICA	40	0.55	0.00	1.25	1.00	1.25	0.16	1.00	0.16	87%
cc2 - VENTO	40	0.27	0.00	1.25	1.00	1.25	0.72	1.00	0.72	42%

VERIFICA NON DRENATA								
$s_c$ [-]	$d_c$ [-]	$s_q$ [-]	$d_q$ [-]	$s_\gamma$ [-]	$d_\gamma$ [-]	$q_{lim}$ [MPa]	$Q_{lim}$ [kN]	FS [-]
1.031	1.53	1.066	1.00	0.94	1.00	0.64	101	2,55
1.140	1.33	1.301	1.00	0.71	1.00	0.62	445	11,22
VERIFICA DRENATA								
$s_c$ [-]	$d_c$ [-]	$s_q$ [-]	$d_q$ [-]	$s_\gamma$ [-]	$d_\gamma$ [-]	$q_{lim}$ [MPa]	$Q_{lim}$ [kN]	FS [-]
1.075	1.47	1.066	1.41	0.94	1.00	0.35	55	1,38
1.342	1.30	1.301	1.26	0.71	1.00	0.39	284	7,10

Le verifiche risultano soddisfatte in entrambe le condizioni e per entrambe le combinazioni considerate.

## 5.4.4.4 Verifica STR su muro esistente allo stato di progetto

Si considerano le sollecitazioni derivanti dall'azione del vento impattante e dall'azione sismica, entrambe valutate in combinazione agli Stati Limite. Si hanno i seguenti valori sollecitanti del momento alla base della parete:

MOMENTI RIBALTANTI AGLI S.L.		
M <sub>Fd,x</sub>	12 kNm	momento ribaltante della forza del vento
M <sub>Fsismica_1m</sub>	23 kNm	momento ribaltante della spinta sismica

La parete sarà rinforzata con intonaco armato avente rete elettrosaldata in acciaio B450 C costituita da ferri  $\Phi 6$  a passo 10 cm x 10 cm. Si riporta la valutazione del momento resistente:

**Verifica C.A. S.L.U. - File: C2133\_PD\_Verifica STR muro esistente stato di progetto\_rev00...**

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° figure elementari** 1 **Zoom** **N° strati barre** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	53

N°	As [cm²]	d [cm]
1	2.83	3
2	2.83	22

**Sollecitazioni** S.L.U. **Metodo n**

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 25.14 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**  
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
B450C C20/25  
ε<sub>su</sub> 67.5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
f<sub>yd</sub> 391.3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3.5 ‰  
E<sub>s</sub> 200 000 N/mm² f<sub>cd</sub> 11.33 ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0.8  
ε<sub>syd</sub> 1.957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 8.5 ‰  
σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0.5333  
τ<sub>cl</sub> 1.686

M<sub>xRd</sub> 25.14 kNm  
σ<sub>c</sub> -11.33 N/mm²  
σ<sub>s</sub> 391.3 N/mm²  
ε<sub>c</sub> 3.5 ‰  
ε<sub>s</sub> 33.08 ‰  
d 26.5 cm  
x 2.105 x/d 0.07942  
δ 0.7

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100  
Calcola MRd Dominio M-N  
L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello  
☐ Precompresso

Figura 21: Estratto della verifica a flessione su muro rinforzato.

La verifica a flessione alla base della parete verticale risulta soddisfatta in entrambe le combinazioni considerate, con un fattore di sicurezza minimo pari a 1.10.