



Comune di Stella Provincia di Savona

committente

COMUNE DI STELLA

Ufficio lavori pubblici
Località Rovieto Superiore
17044 Stella (SV)



**PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA -
MISSIONE 4 – ISTRUZIONE E RICERCA - COMPONENTE 1
- POTENZIAMENTO DELL'OFFERTA DEI SERVIZI DI
ISTRUZIONE : DAGLI ASILI NIDO ALLE UNIVERSITA' –
INVESTIMENTO 1.1 – PIANO PER ASILI NIDO E SCUOLE
PER L'INFANZIA E SERVIZI DI EDUCAZIONE E CURA PER
LA PRIMA INFANZIA**

progettista

Ing. Roberto Desalvo
corso Italia 22/6 17100 Savona

collaborazione

Ing. Paola Parodi
Ing. Andrea Forella
Ing. Fabio Tondelli
Ing. Stefano Mamelò
Ing. Francesca Giangaspero
Ing. Ermanno Gesso
Arch. Alessia Trombetta
Dott.ssa Chiara Rotelli

corso Italia 22/6 17100 Savona

collaborazione architettonica

Arch. Francesco Campidonico
corso Italia 22/6 17100 Savona

**RICONVERSIONE DELL'EDIFICIO COMUNALE DI VIA
MUZIO CIV. 50 DA DESTINARE A NUOVO ASILO NIDO
CUP J75E22000010006**

LIVELLO: PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO		
aggiornam 1:	aggiornam 2:	aggiornam 3:
OGGETTO: RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE		
SCALA:	DATA: Aprile 2023	
FORMATO:	CODICE:	

PREMESSA

Il sottoscritto Ing. Desalvo Roberto, amministratore unico e direttore tecnico della StAigeS Ingegneria s.r.l., con sede in Savona Corso Italia n. 22/6, su incarico del comune di Stella, redige la presente **relazione di calcolo strutturale** da allegarsi al progetto definitivo-esecutivo degli interventi di completamento dell'edificio posto in Via Muzio 50, per la messa a norma definitiva dell'immobile di edilizia scolastica, mediante interventi di adeguamento sismico, nonché altri interventi mirati all'eliminazione di rischi diversi ed al miglioramento energetico del fabbricato.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco dei riferimenti normativi vigenti nel periodo esecutivo dei fabbricati oggetto di analisi ed attualmente vigenti:

- Decreto Ministeriale del 18 Dicembre 1975 (G.U. n. 29 del 2/02/1976) “Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica, da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica”.
- Decreto Ministeriale del 14 Febbraio 1992 (G.U. n.65 del 18/03/1992) “Norme tecniche per le opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche.”
- Decreto Ministeriale del 9 Gennaio 1996. (G.U. n.29 del 5/02/1996) “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in c.a. e per le strutture metalliche”
- Decreto Ministeriale del 16 Gennaio 1996 (G.U. n. 29 del 5/02/1996). “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.”
- OPCM 20 marzo 2003, n° 3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica”.
- OPCM 2 ottobre 2003, n° 3316 “Modifiche ed integrazioni all'OPCM 20 marzo 2003 n° 3274”.
- OPCM 28 aprile 2006, n° 3519 “Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”.
- DM 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;

- Circolare 21 gennaio 2019, n° 7 “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”.

LIVELLO DI CONOSCENZA, FATTORE DI CONFIDENZA

Il fabbricato ed in particolare il comparto strutturale comprensivo di tutti gli elementi partecipanti al sisma è stato oggetto di ripetuti sopralluoghi e rilievi da parte dello studio tecnico, finalizzati alla definizione dei parametri di riferimento dei materiali in opera e raggiungimento di un livello di conoscenza idoneo all'esecuzione di analisi di dettaglio finalizzate alla valutazione delle criticità sismiche del fabbricato e delle strategie di intervento.

Dai rilievi geometrici e indagini sui dettagli costruttivi svolti in sito, congiuntamente all'analisi storico-critica del fabbricato e alle prove estese svolte per la caratterizzazione dei materiali, è stato possibile raggiungere un livello di conoscenza **LC2** a cui corrisponde un fattore di confidenza $FC = 1,2$.

Le indagini svolte sono state così strutturate:

1. Indagini per definire la geometria delle strutture: per quanto concerne la definizione dei maschi murari e dei pilastri in c.a. della superfetazione, è stato effettuato un rilievo di dettaglio;
2. Dettagli costruttivi: sono state svolte indagini termografiche all'intradosso dei solai e sulle murature perimetrali; sono stati realizzati degli scrostamenti sulle pareti interne dei maschi murari per determinarne la tipologia costruttiva; è stato realizzato un foro di sondaggio nel primo solaio per la determinazione dei materiali strutturali in opera; sono state effettuate misure pacometriche per indagare le armature degli elementi in c.a del volume di ampliamento realizzato negli anni '90.



Illustrazione 1: Saggio di indagine primo solaio corpo di fabbrica originale



Illustrazione 2: Dettagli costruttivi della copertura



Illustrazione 3: Scrostamento parete muraria del corpo di fabbrica principale



Illustrazione 4: Scrostamento parete muraria dell'ampliamento

Dalle prove svolte e sulla base della tabella C8.5.I riportata nella apposita Circolare 2019, è stato possibile classificare la muratura presente in opera nel corpo principale come “*Muratura a conci sbozzati con paramenti si spessore disomogeneo*” e assegnare ad essa i parametri di resistenza e rigidezza riportati nella suddetta tabella.

Per quanto riguarda i maschi murari degli ampliamenti, invece, la tipologia muraria identificata è risultata essere “Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia” e di conseguenza sono stati adottati i relativi parametri caratteristici in accordo alla tipologia costruttiva.

Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

Per la caratterizzazione del calcestruzzo presente nei pilastri del volume di ampliamento realizzato sul retro del fabbricato, viste le ridotte dimensioni di tali elementi, sono state effettuate delle prove non distruttive mediante sclerometro.

Per quanto concerne la stima dei copriferri e la determinazione della posizione delle barre di armatura sono stati effettuati rilievi pacometrici.

DATA	ELEMENTO INDAGATO	INCLINAZIONE STRUMENTO	INDICI DI RIMBALZO	MEDIA INDICI DI RIMBALZO	R_{ck} [MPa]
02/21/22	Elevazioni	+0°	30-32-34-30-28-28-28-30-32-34	30.6	25
02/21/22	Solaio	+90°	42-43-38-42-48-42-44-44-48-44	43.5	36

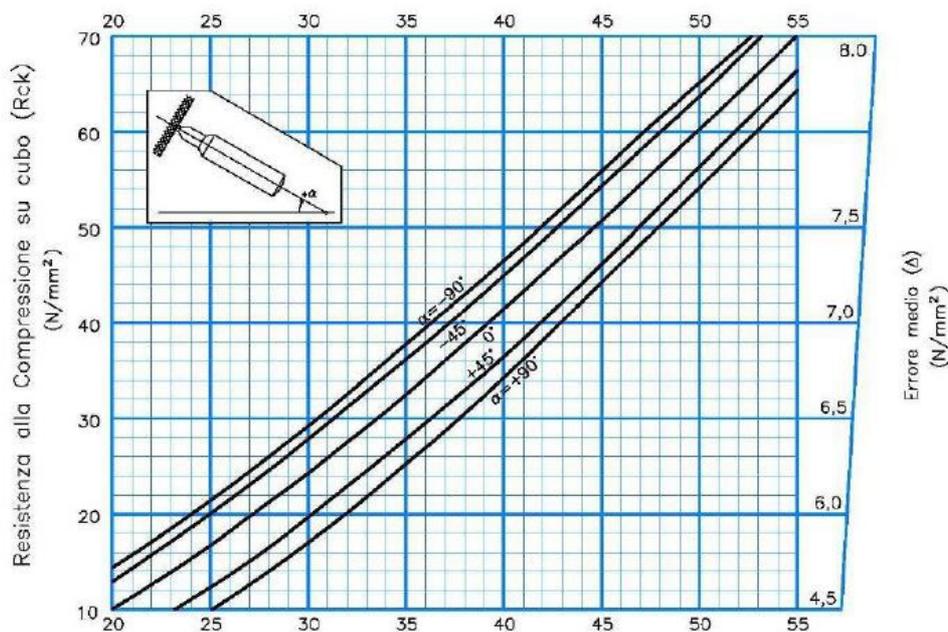


Tabella 1: Grafico per la valutazione di Rck del cls a partire dalle misurazioni sclerometriche

CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOLOGICA DEL SITO

VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Secondo le indicazioni dell'OPCM n. 3274/2003, l'area interessata dagli interventi a progetto ricade in zona sismica 4, come aggiornata con le Deliberazioni della Giunta Regionale della Liguria n.216 del 17 marzo 2017. Con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni, la vita nominale (V_N) della struttura, intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta ad opere di manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata, risulta essere pari a 50 anni (considerando la sua rilevanza ordinaria).

Sempre in riferimento alle NTC2018, la classe d'uso corrispondente all'opera in esame risulta essere la classe III, essendo una costruzione soggetta ad affollamenti significativi: questo comporta l'applicazione di un coefficiente d'uso (C_U) pari a 1,5 e la definizione di un periodo di riferimento (V_R) di 75 anni, ottenuto tramite la relazione: $V_R = V_N * C_U = 50 * 1,5 = 75$

Al fine di effettuare un'adeguata stima della pericolosità sismica del luogo è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno su cui poggia l'opera e delle

condizioni topografiche, che sono state definite a seguito delle indagini geologico-tecniche.

In base alle prove svolte dal geologo incaricato è stato possibile classificare il sito nella categoria di sottosuolo B e categoria topografica T2. Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geologica allegata alla documentazione di progetto a firma del Geologo Dario Costantini.

I valori sopra citati servono a definire la pericolosità sismica del sito:

	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	$T C^*$ [s]	Prob.superamento [%]
SLO	45	0.023	2.56	0.18	81
SLD	75	0.03	2.56	0.2	63
SLV	712	0.058	2.7	0.31	10
SLC	1462	0.070	2.8	0.33	5

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimi del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- T^*c periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

AZIONI DI PROGETTO SULLA COSTRUZIONE

Il progetto prevede l'adeguamento sismico del fabbricato oggetto di verifica a destinazione scolastica e pertanto i sovraccarichi dovuti ad azioni antropiche sono i consueti per la sopracitata tipologia edilizia, come indicati sulle NTC2018 e nel seguito riassunti:

Sovraccarico ambientale Cat. C1 = 3,00 kN/mq

Sovraccarico scale comuni e ballatoi Cat. C = 4,00 kN/mq

Sovraccarico copertura accessibile per la sola manutenzione Cat. H 0,50 kN/mq

AZIONI AMBIENTALI E NATURALI

In base alla localizzazione del sito (266 m.s.l.m.) e la conformazione strutturale dei fabbricati, caratterizzati da una copertura con pendenza inferiore al 30%, vengono definiti i sovraccarichi variabili relativi alla neve e al vento.

Carico Neve Zona II $q_s = q_{sk} * \mu_i * C_e * C_t =$

$$= 1,05 \text{ kN/mq} * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 0,84 \text{ kN/mq}$$

Al fine di definire l'azione del vento sulla struttura viene considerata per la Zona 7 Liguria, classe di rugosità del terreno B, coefficiente dinamico pari a 1 e categoria di esposizione del sito IV

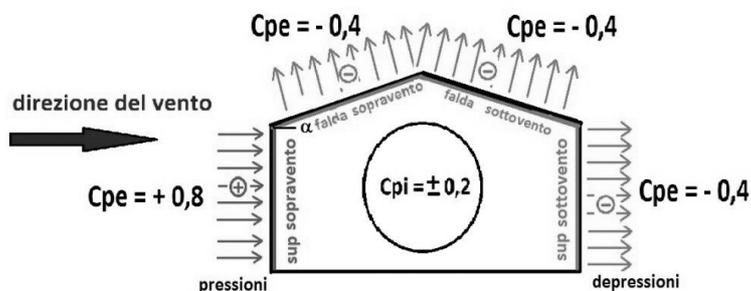
Carico Vento (a meno di C_p)

$$p = q_r * c_e * c_d =$$

$$= 0,49 \text{ kN/mq} * 1,63 * 1 = 0,80 \text{ kN/mq}$$

La determinazione del carico sui prospetti è determinato dal coefficiente C_p , definito in ragione di una costruzione aventi una parete con apertura di superficie <33% di quella totale.

ANALISI DEI CARICHI



Trattandosi di una struttura esistente sono stati definiti i pesi propri degli elementi strutturali e non strutturali sulla base dei rilievi effettuati.

Peso proprio del calcestruzzo armato = 2500 kg/mc

Peso permanente copertura = 75 kg/mq

Peso permanente controsoffitto in canniccio = 7 kg/mq

Peso proprio soletta c.a. (12cm) = 300 kg/mq

Peso proprio solaio laterocemento e massetto = 450 kg/mq

Peso proprio solaio in c.a. mezzanino = 500 kg/mq

Peso proprio solaio voltine e profili = 350 kg/mq

Peso permanente portato tramezze interne = 160 kg/mq

Peso proprio dell'acciaio = 7850 kg/mc

Peso proprio del legno lamellare = 800 kg/mc

Peso proprio muratura a conci sbozzati = 2000 kg/mc

Peso proprio muratura in mattoni sempieni = 1500 kg/mc

MATERIALI STRUTTURALI

Si riportano nel seguito le principali caratteristiche dei nuovi materiali strutturali adottati a progetto:

Calcestruzzo C25/30 (R_{ck} 300) per opere in c.a. di fondazione:

Resistenza caratteristiche: $R_{ck} \geq 30$ Mpa

Dimensione massima degli inerti: $D = 25$ mm

Consistenza: S4

Classe di esposizione: XC2

Profili metallici e piastrame:

Acciaio per profili tipo S275

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 275$ N/mm²,

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 430$ N/mm².

Acciaio per barre da c.a.:

B450C (ex FeB44K) ad aderenza migliorata controllato in stabilimento,

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 450$ N/mm²

Tensione caratteristica di rottura: $f_{yk} \geq 540$ N/mm²

Legno strutturale:

Legno lamellare classe GL24h

Resistenza caratteristica a flessione: $f_{m,k} > 24$ N/mm²

Resistenza caratteristica a trazione: $f_{0,k} > 19.2$ N/mm²

Resistenza caratteristica a taglio: $f_{v,k} > 3.5$ N/mm²

ANALISI STRUTTURALE E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PREVISTI

I modelli di calcolo numerici realizzati per la valutazione della vulnerabilità sismica del fabbricato sono stati aggiornati in ragione del più approfondito livello di conoscenza raggiunto in sede di progettazione definitivo-esecutiva e predisposti per un'analisi Pushover. Tale tipologia di analisi è stata adottata per la definizione della risposta sismica globale del fabbricato nelle condizioni attuali e in configurazione di progetto.

Il Pushover è un tipo di analisi non lineare nella quale le forze orizzontali, che riproducono staticamente l'azione sismica, vengono gradualmente incrementate fino a portare la struttura al raggiungimento delle condizioni ultime. La risposta non lineare della struttura viene descritta attraverso 'plasticità concentrate' (cerniere plastiche). I modelli di calcolo sono stati implementati con cerniere plastiche bilineari alle estremità dei maschi murari, in particolare cerniere a taglio e pressoflessione alla base dei maschi e a sola pressoflessione in sommità degli stessi. Anche alle fasce sono state assegnate delle cerniere bilineari a sola pressoflessione. Per quanto riguarda i pilastri in c.a. dell'ampliamento, a questi sono state implementate delle cerniere plastiche NM alle estremità.

Il processo di analisi permette di ricavare la curva di capacità della struttura che rappresenta in ordinata il taglio alla base agente sul fabbricato e in ascissa il valore di spostamento raggiunto dal punto di controllo posto in corrispondenza dell'ultimo orizzontamento. Dalla curva di capacità è possibile ricavare la curva bilineare del sistema equivalente tramite il fattore di partecipazione modale e il metodo A previsto nella Circolare 21 gennaio 2019. In questo modo è possibile effettuare la verifica globale del sistema rispetto alla domanda derivante dallo spettro di risposta elastico tramite il confronto delle due curve riportate sul piano ADRS.

Le analisi svolte con la metodologia del pushover permettono di tenere in considerazione il comportamento non lineare degli elementi strutturali durante lo scuotimento sismico e di conseguenza è possibile sfruttare le riserve di resistenza proprie degli elementi stessi.

Oltre alle analisi sismiche sono state svolte delle verifiche sul fabbricato in riferimento alla combinazione statica fondamentale (SLU).

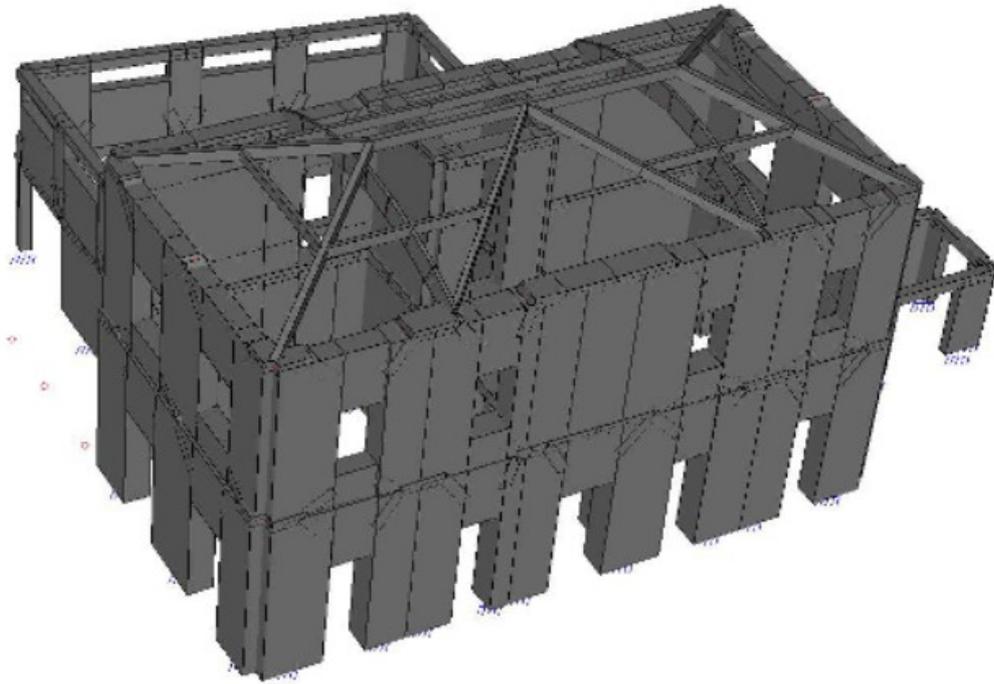


Illustrazione 5: Modello numerico stato di fatto del fabbricato-vista frontale

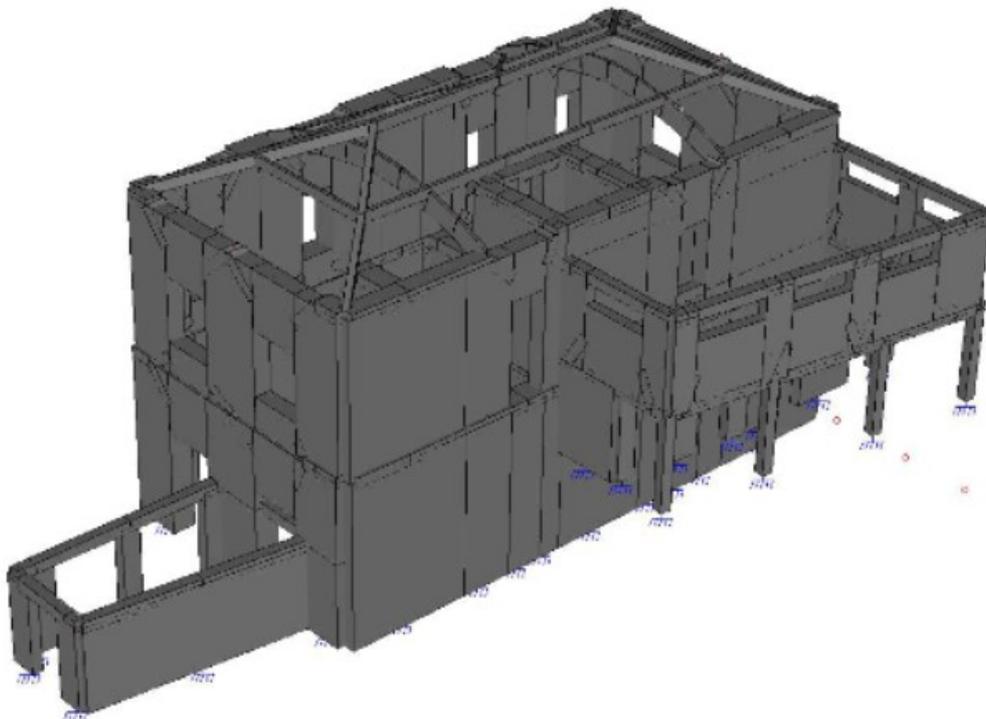


Illustrazione 6: Modello numerico stato di fatto del fabbricato-vista posteriore

Dalle risultanze della modellazione sono emerse delle criticità nel primo solaio, il quale è risultato deficitario di resistenza nei confronti dei carichi statici (SLU). Inoltre le murature portanti del piano primo del corpo di fabbrica originario sono risultate essere suscettibili di fenomeni di ribaltamento fuori piano dovuti alle azioni sismiche in quanto non sono presenti cordoli sommitali di collegamento.

Per quanto riguarda il primo solaio realizzato con voltine in laterizio e profili in acciaio, per ridurre le sollecitazioni generate dai carichi gravitazionali e accidentali, è prevista a progetto la realizzazione di n°4 telai metallici in acciaio S275 con funzione di rompitratta degli orizzontamenti. Per le colonne sono previsti dei profili cavi a sezione quadrata 200x200x5mm mentre per i traversi sono previsti dei profili HEB220. Per le fondazioni dei telai sono previsti dei cordoli in c.a. di dimensione in pianta 0,8x2,95 m e spessore 0,3m. Tale soluzione di progetto consentirà di mantenere in opera il solaio esistente, sgravando inoltre le murature e le fondazioni sottostanti esistenti.

Per quanto riguarda le murature del primo piano, sono state effettuate delle modellazioni numeriche locali per analizzare i meccanismi di ribaltamento interessanti i maschi murari di tutti i prospetti del fabbricato. La mancanza di un cordolo perimetrale di collegamento rende suscettibili tali elementi di fenomeni di ribaltamento.

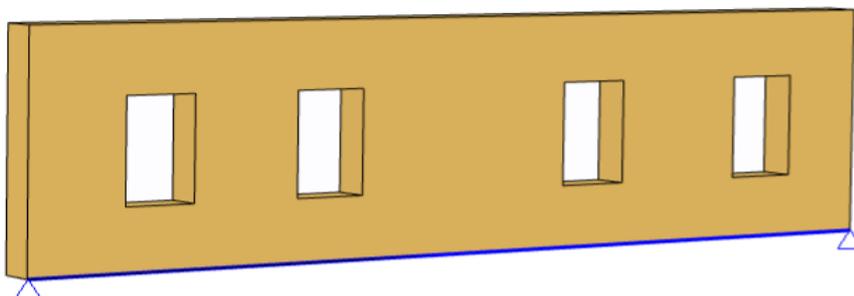


Illustrazione 7: Modello numerico locale prospetto nord-ovest piano secondo

Per eliminare tali criticità è prevista a progetto la realizzazione di cordoli armati interni mediante l'interposizione nei giunti di fasce di tessuto in fibra di acciaio in sommità ai muri perimetrali del corpo di fabbrica originario. Tale intervento è in grado di fornire un vincolo aggiuntivo in testa alle murature del primo piano ed evitare il verificarsi di cinatismi fuori piano.

Anche le due tramezze interne in mattoni pieni realizzate a partire dal primo solaio fino agli archi soprastanti sono risultate suscettibili di fenomeni di ribaltamento. Pertanto è previsto a progetto l'inserimento di n°2 profili UPN140 ai lati di ciascun elemento non strutturale ed in corrispondenza della soletta piena del sottotetto. In aggiunta al nuovo profilo metallico è prevista la realizzazione di una fascia di piano soprastante mediante placcaggio con fasce di tessuto di fibra di acciaio galvanizzato e malta a base di

pura calce idraulica. Tale intervento costituirà un vincolo trasversale alle tramezzature impedendo l'attivazione di meccanismi di ribaltamento fuori piano associati all'azione sismica.

Per la cupola presente a chiusura del vano scala è previsto a progetto il consolidamento all'estradosso mediante la stesura di tessuto di acciaio galvanizzato allettato su malta di calce.

Per quanto riguarda i pilastri in muratura a sostegno della trave longitudinale in legno della copertura, è previsto il rinforzo mediante confinamento con fasce di tessuto in fibra di acciaio.

Per quanto riguarda la trave di colmo della copertura, per ridurre la luce libera di inflessione, è previsto a progetto l'inserimento di due puntoni in legno lamellare di sezione 10x14cm, collegati alla muratura mediante tasselli meccanici ed una trave di ripartizione, anch'essa in legno. Tale intervento consentirà di consolidare la copertura lignea mantenendo in opera tutte le strutture presenti sottoposte a vincolo.

Infine è prevista la realizzazione di una nuova intercapedine aerata in c.a. con sovrastante marciapiede in corrispondenza del piano strada nel prospetto nord-est del fabbricato, al fine di evitare il deterioramento della muratura a causa della risalita capillare dell'umidità.

Per quanto riguarda le fondazioni esistenti del fabbricato, sono stati indagati gli scarichi tensionali e gli andamenti della capacità portante del sottosuolo nella configurazione di progetto. In particolare il massimo indice di resistenza raggiunto, considerando un involucro allo SLU delle combinazioni di carico, è risultato essere pari a 0,59, ossia pienamente verificato secondo le attuali normative. Inoltre l'inserimento a progetto dei telai in acciaio riduce l'entità dei carichi agenti sulle murature portando ad una riduzione delle pressioni al suolo nella configurazione di progetto rispetto allo stato di fatto.

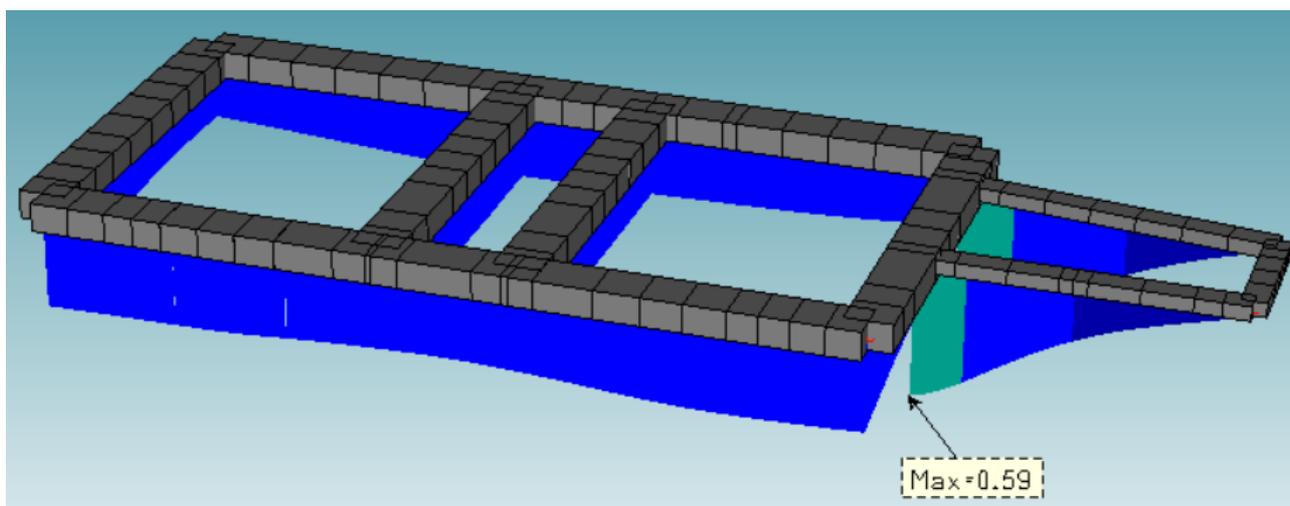


Illustrazione 8: Capacità portante del terreno in configurazione di progetto

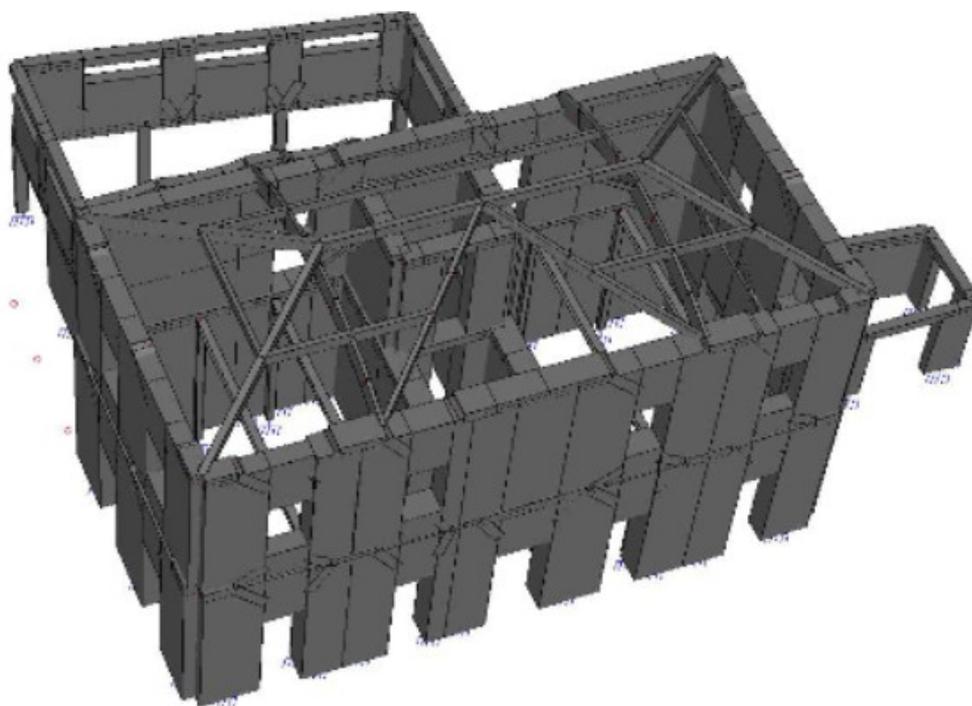


Illustrazione 9: Modello numerico stato di progetto del fabbricato-vista frontale

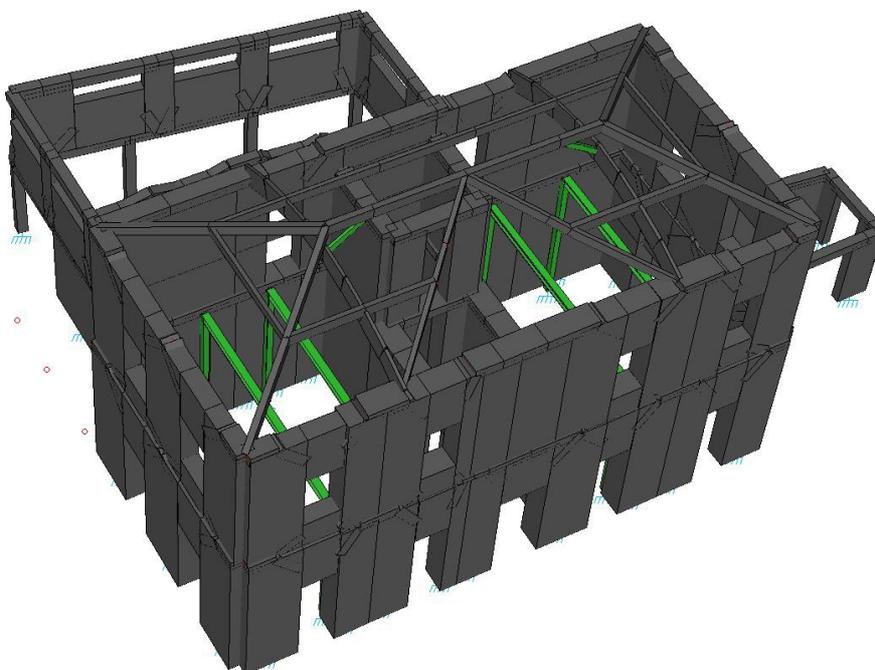


Illustrazione 10: Verifica elementi inseriti in stato di progetto

CONCLUSIONI

La struttura è stata oggetto di ispezioni e indagini strutturali atte a realizzare un modello di calcolo numerico aderente alla realtà. Dalle analisi svolte non risultano presenti criticità globali nelle strutture portanti del fabbricato, bensì delle problematiche locali. Inoltre sulla struttura sussiste un vincolo monumentale, pertanto gli interventi previsti a progetto sono stati definiti in modo tale da non alterare la struttura originaria del fabbricato.

Le opere previste a progetto prevedono locali interventi di consolidamento di elementi della copertura e delle tamponature interne nonché è prevista la realizzazione di nuovi telai in acciaio a supporto degli orizzontamenti esistenti in voltine in laterizio e profili metallici. Tale ultimo intervento consentirà inoltre di sgravare le fondazioni esistenti, riducendo i valori di pressione all'interfaccia fondazioni-terreno e incrementando l'indice di resistenza globale.

Le opere descritte a progetto consentono il raggiungimento della condizione di adeguamento sismico del fabbricato ed il soddisfacimento delle verifiche previste dalle attuali normative nei confronti degli stati limite ultimi statici.

ALLEGATI DI CALCOLO

In allegato alla presente relazione si riportano i risultati delle modellazioni strutturali:

Allegato 1 – Riepilogo risultati pushover

Allegato 2 – Curve pushover reali

Allegato 3 – Bilineari equivalenti

Allegato 4 – Spettri ADRS

Allegato 5 – Verifiche SLU maschi murari

Allegato 6 – Verifiche meccanismi duttili elementi in c.a.

Allegato 7 – Verifiche meccanismi fragili elementi in c.a.

Allegato 8 – Verifiche elementi in legno copertura

Allegato 9 – Verifiche telai in acciaio

Allegato 10 – Verifica tipo ribaltamento locale muratura – stato di fatto

Allegato 11 – Verifica capacità portante fondazioni

Allegato 12 – Dimensionamento nuove fondazioni telai

Savona, Aprile 2023

Il Tecnico

ing. Roberto Desalvo