COMUNE DI
MORSANO AL TAGLIAMENTO

Provincia di Pordenone

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO E IMPIANTISTICO ASILO NIDO FRAZIONE DI SAN PAOLO

LAVORI DI ADEGUAMENTO SISMICO - ASILO NIDO COMUNALE

CUP. I92B23001160001
CIG. B1CF9D4450

RUP	Arch. Bonfada Gasparotto Massimo Responsabile di Servizio dell'area Tecnica - Servizio Lavori Pubblici
Progettisti	Ing. ALBERTO FERRAROTTI - Studio via Aldo Moro, 49 - 13030 Caresanablot (VC) Mail: ingalbertoferrarotti@gmail.com - Pec: alberto.ferrarotti3@ingpec.eu - Cell. 3356[illegible]3902 ORDINE DEGLI INGEGNERI DI VERCELLI N° A570
	Ing. MATTEO RIGOLONE - Studio via Dante Alighieri, 5 - 13100 Vercelli Mail: matteo.rigolone@libero.it - Pec: matteo.rigolone2@ingpec.eu - Cell. 3393691948 ORDINE DEGLI INGEGNERI DI VERCELLI N° A1055

Firmato digitalmente da
Alberto Ferrarotti
CN = Alberto Ferrarotti
SerialNumber = TINIT-FRRLRT53L22E625H
e-mail = ingalbertoferrarotti@gmail.com
C = IT
Data e ora della firma: 17/01/2025 17:03:23

Firmato digitalmente da:
RIGOLONE MATTEO
Firmato il 20/01/2025 08:50
Seriale Certificato: 1887023
Valido dal 04/11/2022 al 04/11/2025
InfoCamere Qualified Electronic Signature CA

LIVELLO PROGETTAZIONE

PROGETTO ESECUTIVO

CODICE ELABORATO	TITOLO TAVOLA
A	RELAZIONE ILLUSTRATIVA GENERALE

PROTOCOLLI E VISTI

RIFERIMENTO ELABORATO	CODICE COMMESSA	TIPO ELABORATO	SCALA
	399	TESTUALE	-
	Path: TESTAL_MORSANO AGG2025.DWG		

		DATA	NOTE DI REVISIONE	REDATTO	APPROVATO
EMISSIONE		27/09/2024	Emissione	AF - MR	AF - MR
PROG. REVISIONE	1	14/01/2025	AGGIORNAMENTO	AF - MR	AF - MR
	2				
	3				
	4				
	5				

1 - PREMESSA

L'Amministrazione Comunale di Morsano al Tagliamento con l'obiettivo di mettere in sicurezza gli edifici scolastici di sua proprietà ha avviato una serie di attività finalizzate a sviluppare le analisi e le indagini sismiche dei suddetti edifici in modo da accertare il grado di sicurezza degli stessi e definire tutte le opere necessarie per adeguarli alla normativa vigente e garantire la sicurezza di allievi e docenti.

Il presente progetto esecutivo, prendendo spunto da una indagine di valutazione del livello di vulnerabilità sismica dell'edificio adibito ad asilo nido situato in fraz San Paolo, via Interna, commissionato dall'amministrazione comunale nel 2018, ha svolto tutte le necessarie indagini ed analisi per individuare e definire gli interventi necessari per raggiungere un indice di vulnerabilità sismica pari a 1. Pertanto a lavori ultimati l'azione sismica sopportabile dall'edificio esistente sarà quella corrispondente all'edificio di nuova costruzione.

In data 23/05/2024 con comunicazione effettuata dal responsabile dell'Ufficio Tecnico del comune di Morsano al Tagliamento, mediante il portale regionale @APPALTIFVG, con RDO n. 67081, è stato affidato al raggruppamento temporaneo tra i professionisti ing. Alberto Ferrarotti e ing. Matteo Rigolone incarico per la redazione del progetto definitivo ed esecutivo degli interventi di adeguamento sismico dell'edificio scolastico.

Il progetto esecutivo è composto dai seguenti elaborati:

A - Relazione illustrativa Generale

B - Relazioni Specialistiche

- B1 Relazione Illustrativa del calcolo
- B2 Verifica della vulnerabilità sismica – Stato di fatto
- B3 Verifica della vulnerabilità sismica – Stato di progetto

C - Elaborati Grafici

- C00 Tavola graf. inquadramento
- C01 Tavola graf. Rilievo – Piante stato di fatto
- C02 Tavola graf. Prospetti e sezione stato di fatto;
- C03 Tavola graf. Interventi pianta piano terra e primo;
- C04 Tavola graf. Interventi prospetti e sezione;
- C05 Tavola graf. Interventi incamiciatura pilastri piano terra
- C06 Tavola graf. Particolari costruttivi

D - Computo Metrico Estimativo

E1 - Elenco Prezzi ed Analisi Prezzi

E2- Stima incidenza manodopera

F - Piano di sicurezza e coordinamento e fascicolo dell'opera

G - Cronoprogramma

H - Piano di Manutenzione

I1- Capitolato Speciale Appalto parte amministrativa

I2- Capitolato Speciale Appalto parte tecnica

L - Relazione verifica CAM

M - Schema di Contratto

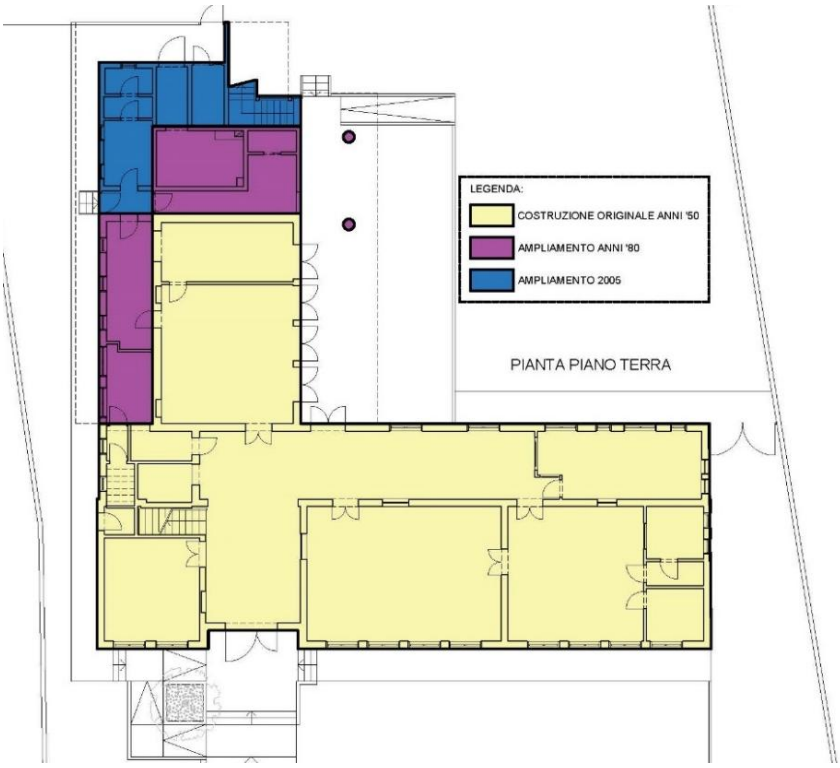
N - Layout di cantiere

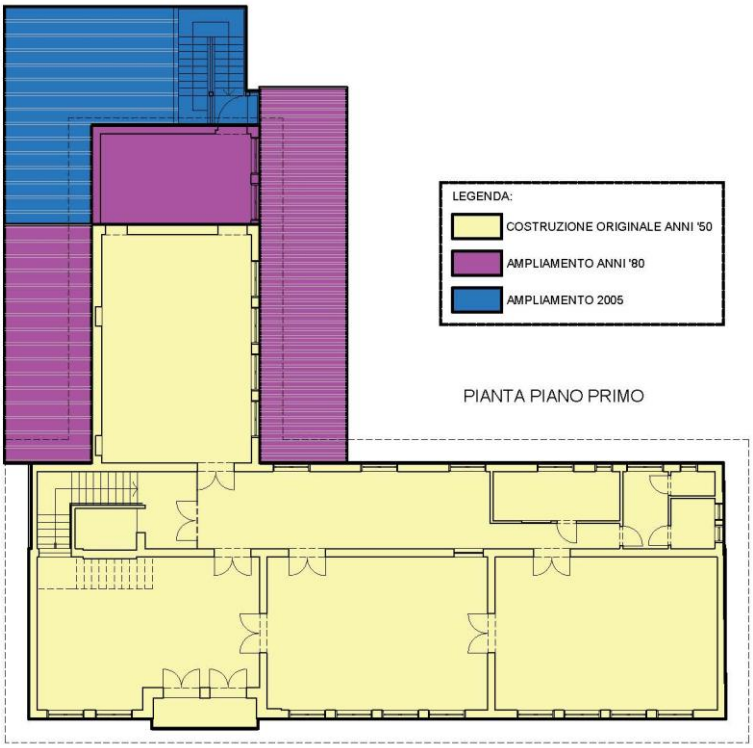
2 – DESCRIZIONE DEL COMPLESSO SCOLASTICO

L'Asilo Nido oggetto dell'intervento è sito nel comune di Morsano al Tagliamento (PN), in frazione San Paolo, via Interna n. 14. Dall'acquisizione delle informazioni preliminari, dalle operazioni in loco e dalla documentazione tecnica disponibile, presa in visione ed acquisita, è stato dedotto che l'edificio scolastico è stato realizzato in anni differenti ed in particolare:

- negli anni 50 (19487/1951) è stato realizzato il fabbricato principale di due piani fuori terra con forma ad elle (in colore giallo);
- negli anni 80 il primo ampliamento con la realizzazione di un basso fabbricato sul lato nord e di una tettoia su lato sud (in colore viola);
- nel 2005 un secondo ampliamento con la realizzazione della centrale termica e di una scala di emergenza (in colore blu).

Nelle schematizzazioni sotto riportate sono indicate le varie fasi di costruzione dell'edificio.





Nella sua attuale conformazione il fabbricato dell'asilo è situato all'interno di una ampia area cortilizia e risulta isolato dagli edifici circostanti.

Vista aerea dell'edificio scolastico

Il fabbricato si sviluppa su due piani fuori terra con un piccolo locale interrato accessibile dall'esterno posto nell'angolo nord ovest dell'edificio, adibito a deposito.

Vista frontale dell'edificio scolastico

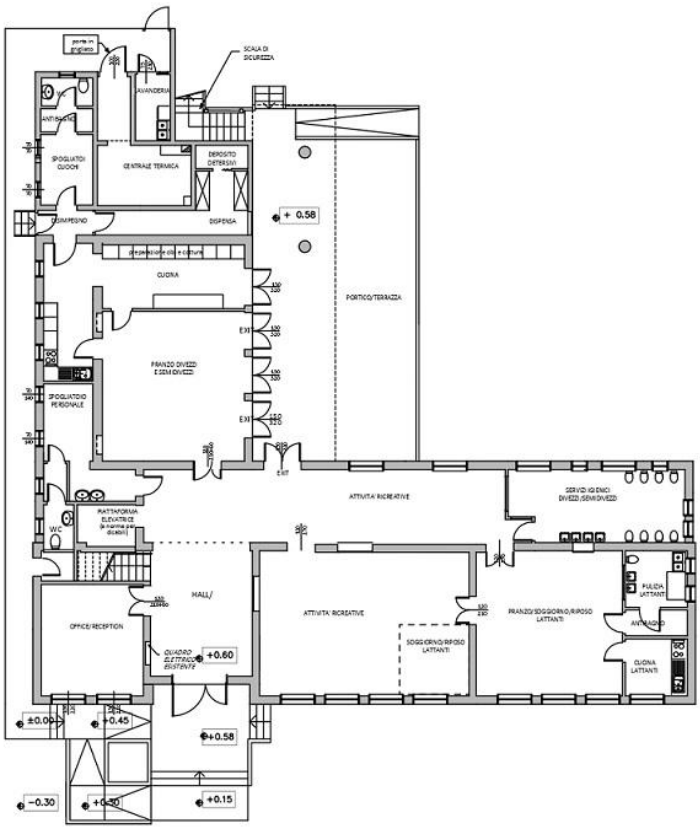
Al piano terreno sono situati il locale di ingresso, la segreteria, i locali per l'assistenza ai bambini lattanti, locali per le attività motorie, servizi igienici, la sala refettorio e la cucina con dispensa per i bambini divezzi, locali di servizio per il personale, la lavanderia e locali deposito. Sottostante la segreteria vi è, al piano interrato, un piccolo locale deposito.
Al piano terreno, sul retro dell'edificio, è anche situata la centrale termica, in locale separato e con accesso indipendente. Adiacente alla centrale termica è posta la struttura metallica della cala di emergenza a servizio del primo piano.
La superficie lorda del piano è pari a mq. 440,00 circa, l'altezza netta interna è pari a m. 3,80.
Al primo piano sono posti locali per l'attività dei bambini, per il riposo e servizi igienici.
Il piano è servito dal vano scala interno e da un impianto ascensore; sul retro vi è una scala di emergenza in struttura metallica.
La superficie lorda del piano primo è pari a mq. 395,00 circa l'altezza netta interna è pari a m. 3,80.

Vista posteriore dell'edificio scolastico

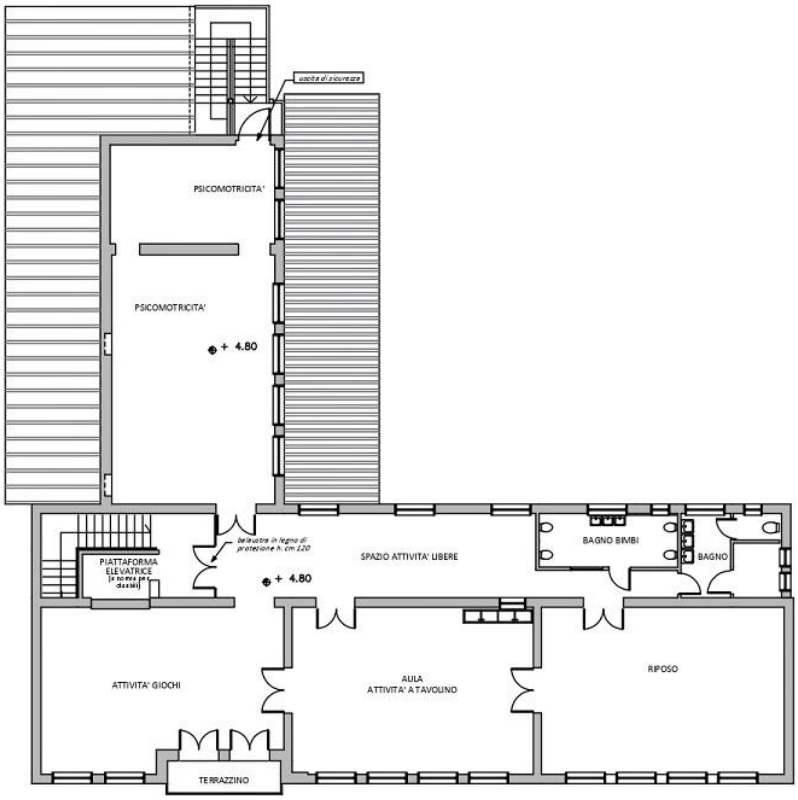
Vista lato nord dell'edificio scolastico

Vista lato sud-ovest edificio scolastico

La disposizione interna è illustrata nelle sottostanti piantine



PIANTA PIANO TERRENO SITUAZIONE ATTUALE



PIANTA PIANO PRIMO SITUAZIONE ATTUALE

3 - ANALISI DELLO STATO DI FATTO – LIVELLO DI CONOSCENZA

Trattandosi di interventi su edificio esistente si è preliminarmente proceduto all'acquisizione di tutti i dati e le informazioni necessarie per avere una conoscenza il più possibile approfondita circa le caratteristiche geometriche, materiche, funzionali, strutturali del fabbricato. Secondo le disposizioni dettate dalle norme attualmente in vigore, il lavoro svolto può essere schematizzato nelle seguenti fasi:

- reperimento degli elaborati d'archivio
- analisi storico critica degli elaborati reperiti
- rilievo geometrico e fotografico dell'edificio
- verifiche e rilievo dei dettagli costruttivi
- valutazione della categoria dell'edificio
- livelli di conoscenza e fattori di confidenza
- definizione del livello di approfondimento per le indagini in sito
- indagini in sito e livelli di conoscenza
- eventuali indagini geognostiche
- acquisizione dei parametri di resistenza e rigidezza mediati e parametri geotecnici

Con riferimento a quanto più ampiamente riportato nelle relazioni specialistiche strutturali le ricerche effettuate e le indagini in sito svolte hanno permesso di definire le caratteristiche meccaniche dei materiali e le caratteristiche geometriche degli elementi indagati.
Tali dati sono stati utilizzati in fase di definizione e caratterizzazione del modello strutturale utilizzato per la verifica dello stato di fatto e per definire gli interventi di adeguamento sismico da realizzare.
In breve, ai sensi del Cap. C8 A.1.B.3 della Circolare 02/02/2009 n. 617, secondo le indicazioni della Tabella C8A.1.2, si ritiene di aver raggiunto un **LIVELLO DI CONOSCENZA PARI A LC2** cui corrisponde il **FATTORE DI CONFIDENZA FC = 1,20.**

INDIVIDUAZIONE DEL TIPO DI COSTRUZIONE E CLASSE D'USO

Il livello di sicurezza di riferimento è definito in funzione delle caratteristiche del manufatto e del suo uso.
Sono state definite:
V_N vita nominale, alla quale viene riferita la valutazione della sicurezza e per la quale viene progettato l'intervento di miglioramento sismico.
Nel caso in oggetto si assume V_N = 50 (Costruzioni con livelli di prestazione ordinari Tab. 2.4.I NTC 2018)
Cu classe d'uso, nel caso in oggetto la classe d'uso è:
Classe III: *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.* [**§**. 2.4.2. NTC 2018]

Alla Classe d'uso III corrisponde un coefficiente d'uso $C_U = 1{,}5$ [Tab. 2.4.II NTC 2018]

Il periodo di riferimento V_R che consentirà di valutare le azioni sismiche sulla costruzione è pari a 75 anni.

VERIFICHE MECCANISMI LOCALI EFFETTUATE SUL FABBRICATO

Il fabbricato ha struttura portante parte in muratura di mattoni pieni e parte in muratura di mattoni semipieni. Sono presenti anche pilastri e piccole porzioni di pareti in cemento armato. Entrambe le tipologie di murature in mattoni presentano una tessitura regolare, compatta e generalmente senza lesioni o rotture. Non sono presenti murature di tipo a sacco.

Viste le tipologie e caratteristiche murarie non si è previsto un meccanismo di rottura del paramento murario per disgregazione e di conseguenza non sono stati previsti interventi di consolidamento per tale meccanismo di rottura.

Dai rilievi effettuati si riscontra una carente legatura tra le pareti ortogonali e tra pareti e solai; sono quindi state effettuate delle verifiche sui meccanismi locali ed in particolare:

- ribaltamento semplice
- flessione verticale
- flessione

Dalle verifiche effettuate sullo stato di fatto non risulta verificato il meccanismo di ribaltamento semplice di molte partizione murarie perimetrali mentre gli altri due meccanismi risultano verificati.

Non risulta inoltre verificato il comportamento alla sollecitazione di taglio indotta dai carichi verticali nelle strutture in muratura snelle quali i setti sottili interposti alle finestre e porte finestre del piano terreno.

L'esito dell'analisi dei meccanismi locali con la creazione di efficaci vincoli tra i macroelementi ci permette di analizzare la struttura con un modello tridimensionale in cui l'azione sismica può essere trasferita ai vari pannelli murari.

4 – SCHEMATIZZAZIONE DEL MODELLO STRUTTURALE

SCHEMATIZZAZIONE STRUTTURALE, MODELLAZIONE DEL TERRENO, EFFICACIA DEL MODELLO.

La struttura e il suo comportamento sotto le azioni statiche e dinamiche sono stati adeguatamente valutati, interpretati e trasferiti nel modello che si caratterizza per la sua impostazione completamente tridimensionale. A tal fine ai nodi strutturali possono convergere diverse tipologie di elementi, che corrispondono nel codice numerico di calcolo in altrettante tipologie di elementi finiti. Travi e pilastri, ovvero componenti in cui una dimensione prevale sulle altre due, vengono modellati con elementi "beam", il cui comportamento può essere opportunamente perfezionato attraverso alcune opzioni quali quelle in grado di definire le modalità di connessione all'estremità. Eventuali elementi soggetti a solo sforzo normale possono essere trattati come elementi "truss" oppure con elementi "beam" opportunamente svincolati. Le pareti, le piastre, le platee ovvero in generale i componenti strutturali bidimensionali, con due dimensioni prevalenti sulla terza (lo spessore), sono stati modellati con elementi "shell" a comportamento flessionale e

membranale. I vincoli con il mondo esterno vengono rappresentati, nei casi più semplici (apparecchi d'appoggio, cerniere, carrelli), con elementi in grado di definire le modalità di vincolo e le rigidezze nello spazio. Questi elementi, coniugati con i precedenti, consentono di modellare i casi più complessi ma più frequenti di interazione con il terreno, realizzabile tipicamente mediante fondazioni, pali, platee nonché attraverso una combinazione di tali situazioni. Il comportamento del terreno è sostanzialmente rappresentato tramite una schematizzazione lineare alla Winkler, principalmente caratterizzabile attraverso una opportuna costante di sottofondo, che può essere anche variata nella superficie di contatto fra struttura e terreno e quindi essere in grado di descrivere anche situazioni più complesse. Nel caso dei pali il comportamento del terreno implica anche l'introduzione di vincoli per la traslazione orizzontale.
I parametri dei materiali utilizzati per la modellazione riguardano il modulo di Young, il coefficiente di Poisson, ma sono disponibili anche opzioni per ridurre la rigidezza flessionale e tagliante dei materiali per considerare l'effetto di fenomeni fessurativi nei materiali.
Il calcolo viene condotto mediante analisi lineare, ma vengono considerati gli effetti del secondo ordine e si può simulare il comportamento di elementi resistenti a sola trazione o compressione.
La presenza di diaframmi orizzontali, se rigidi, nel piano viene gestita attraverso l'impostazione di un'apposita relazione fra i nodi strutturali coinvolti, che ne condiziona il movimento relativo. Relazioni analoghe possono essere impostate anche fra elementi contigui.
Si ritiene che il modello utilizzato sia rappresentativo del comportamento reale della struttura.
Si impiega un'analisi dinamica modale in campo lineare con adozione di spettro di risposta conforme al D.M. 17.01.2018. Agli effetti delle verifiche si impiega il metodo degli stati limite.

ANALISI DINAMICA MODALE

Il programma utilizzato effettua l'analisi dinamica con il metodo dello spettro di risposta.
Il sistema da analizzare è essere visto come un oscillatore a n gradi di libertà, di cui vanno individuati i modi propri di vibrazione. Il numero di frequenze da considerare è un dato di ingresso che l'utente deve assegnare. In generale si osservi che il numero di modi propri di vibrazione non può superare il numero di gradi di libertà del sistema.
La procedura attua l'analisi dinamica in due fasi distinte: la prima si occupa di calcolare le frequenze proprie di vibrazione, la seconda calcola spostamenti e sollecitazioni conseguenti allo spettro di risposta assegnato in input.
Nell'analisi spettrale il programma utilizza lo spettro di risposta assegnato in input, coerentemente con quanto previsto dalla normativa. L'eventuale spettro nella direzione globale Z è unitario. L'ampiezza degli spettri di risposta è determinata dai parametri sismici previsti dalla normativa e assegnati in input dall'utente.
La procedura calcola inizialmente i coefficienti di partecipazione modale per ogni direzione del sisma e per ogni frequenza. Tali coefficienti possono essere visti come il contributo dinamico di ogni modo di vibrazione nelle direzioni assegnate. Si potrà perciò notare in quale direzione il singolo modo di vibrazione ha effetti predominanti.
Successivamente vengono calcolati, per ogni modo di vibrazione, gli spostamenti e le sollecita-

zioni relative a ciascuna direzione dinamica attivata, per ogni modo di vibrazione. Per ogni direzione dinamica viene calcolato l'effetto globale, dovuto ai singoli modi di vibrazione, mediante la radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli effetti. È prevista una specifica fase di stampa per tali risultati.
L'ultima elaborazione riguarda il calcolo degli effetti complessivi, ottenuti considerando tutte le direzioni dinamiche applicate. Tale risultato (inviluppo) può essere ottenuto, a discrezione dell'utente in 3 modi distinti, inclusi quelli suggeriti della normativa italiana e dall'Eurocodice 8.

5 - PRINCIPALI RISULTATI DELL'ANALISI DI VULNERABILITA' SISMICA

Le verifiche sulla sicurezza statica e sulla vulnerabilità sismica, condotte agli Stati Limite Ultimi di Salvaguardia della Vita, hanno mostrato risultati differenti: in particolare dal punto di vista statico, come già indicato, si rilevano carenze su alcuni pilastri snelli in muratura al piano terreno soggetti ai carichi verticali indotti dai solai.

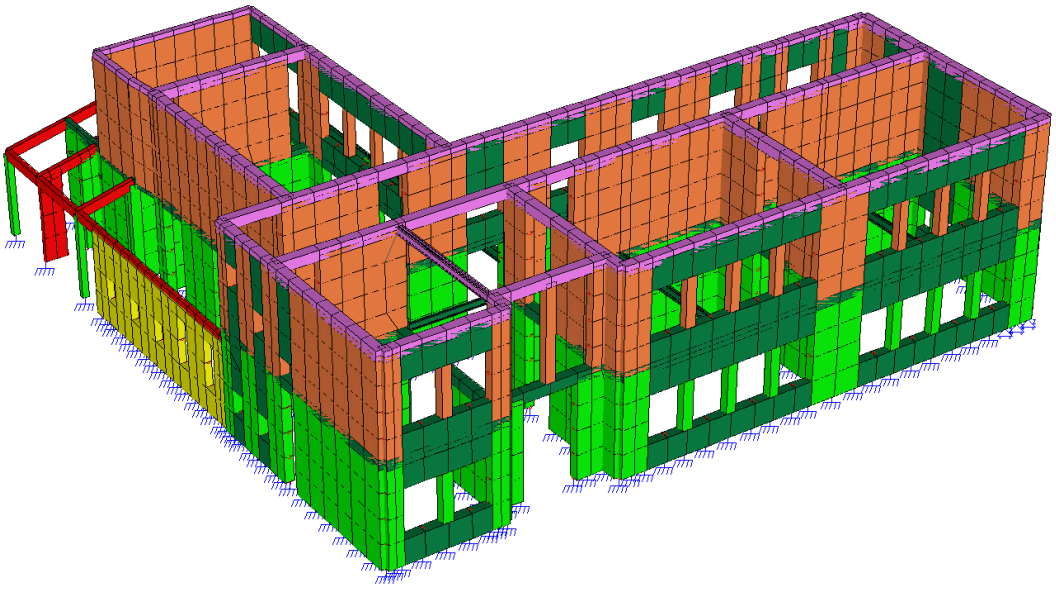
Dal punto di vista sismico si rileva che quasi tutti i maschi murari che compongono la muratura esterna del fabbricato sono in condizioni critiche; la maggior parte dei maschi murari va in crisi per sollecitazione di taglio e solo in pochi casi i maschi murari non risultano verificato alle tensioni verticali o alle sollecitazioni di momento.

Per quanto riguarda le altre strutture in cemento armato o in acciaio risultano tutte verificate sia alle azioni sismiche che alle azioni statiche.

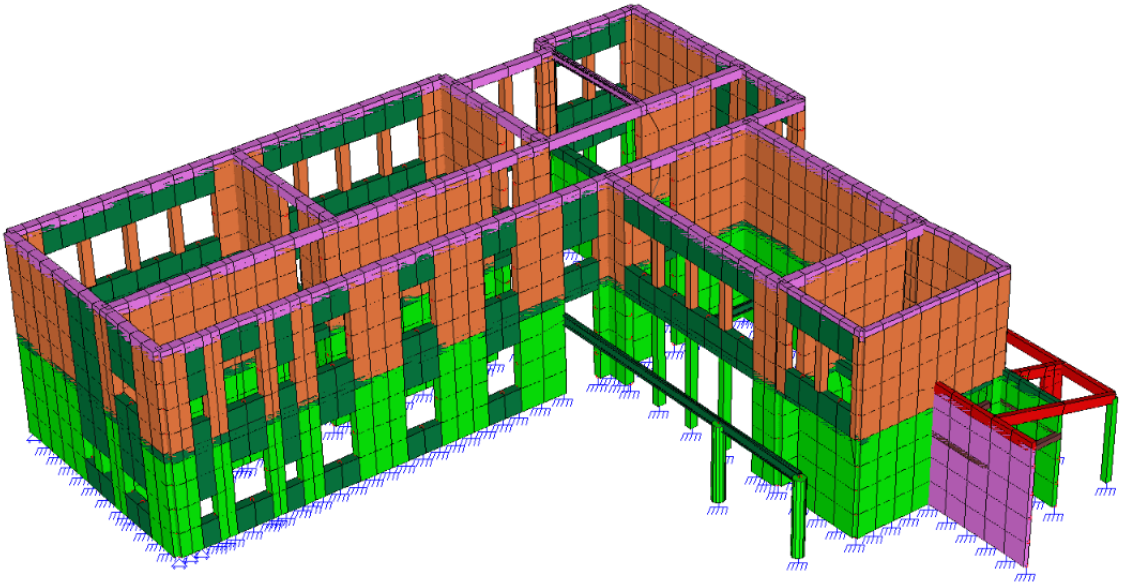
Le verifiche agli Stati limite di Esercizio sia di Danno che di Operatività sono state eseguite in termini di rigidezza controllando gli spostamenti interpiano: le verifiche risultano tutte soddisfatte.

Per quanto riguarda i meccanismi locali sono state eseguite le verifiche di ribaltamento semplice, flessione verticale e flessione orizzontale su maschi murari con aperture e senza aperture rappresentativi dello stato di fatto della struttura in esame: non risultano verificati i meccanismi di ribaltamento semplice.

Si riportano di seguito alcune immagini che illustrano in maniera efficace ed immediata la modellazione strutturale effettuata con il programma di calcolo ed i risultati dei calcoli di verifica.



Modellazione competa vista anteriore del fabbricato



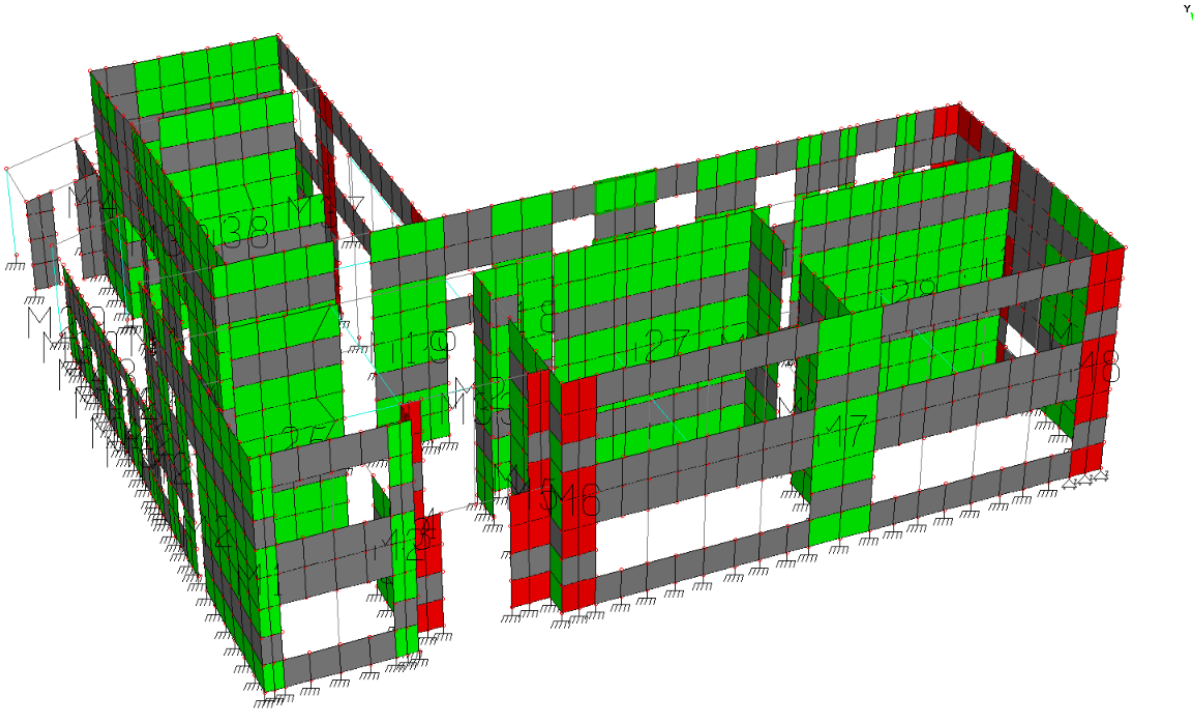
Modellazione competa vista posteriore del fabbricato

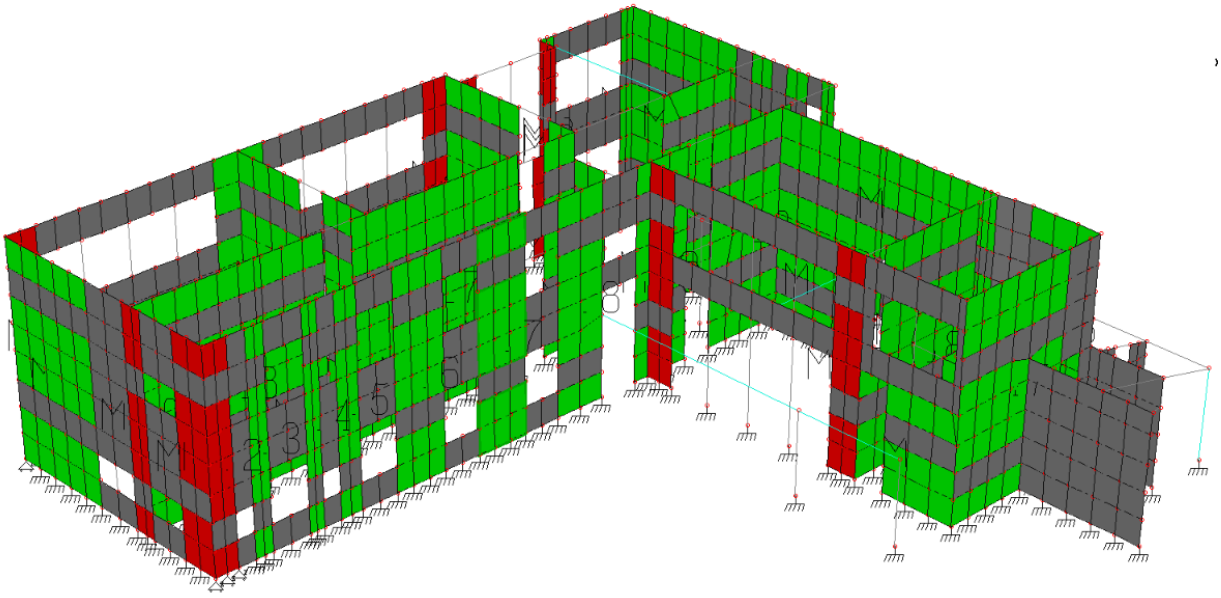
In verde chiaro e arancione sono indicati i maschi murari dei piani terreno e primo;
In verde scuro sono indicate le fasce di piano;
In giallo è indicato un paramento murario di limitato spessore;
In viola e rosso sono indicate parti strutturali in cemento armato.

RISULTATI DEI CALCOLI

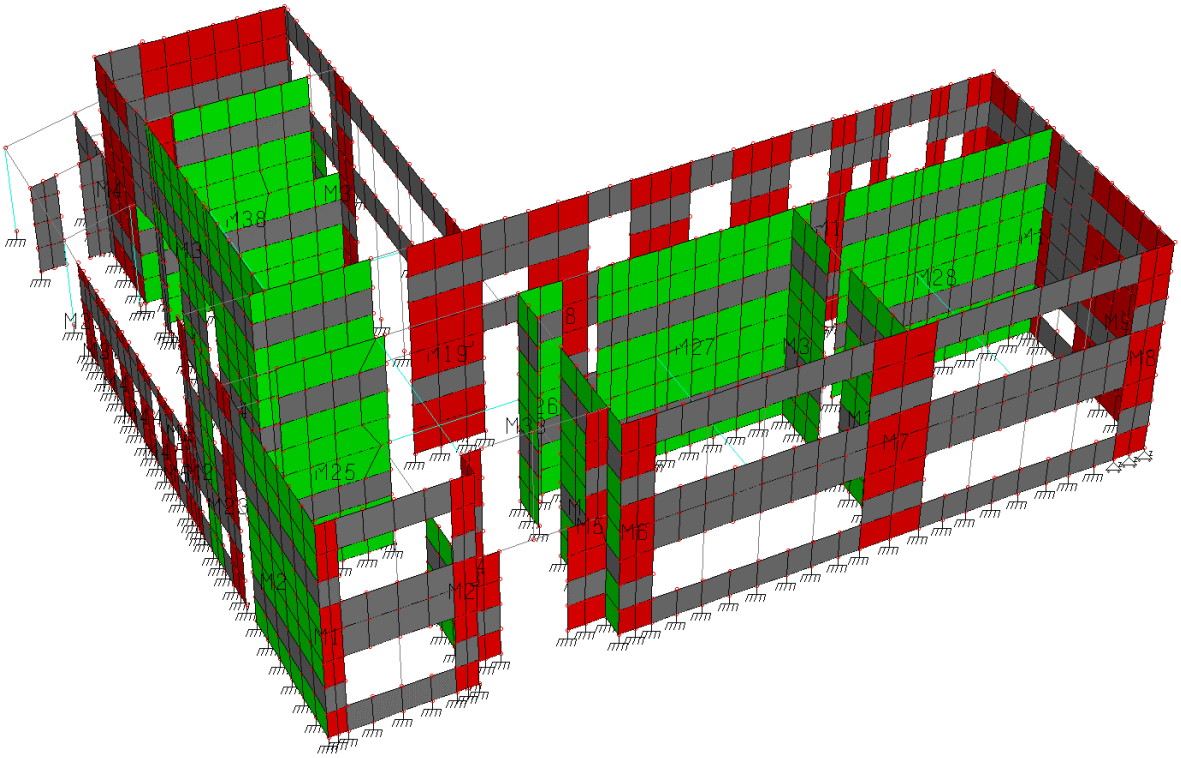
Si riportano alcune immagini derivate dalle analisi di verifica del modello strutturale, che esemplificano in maniera intuitiva come reagiscono alle sollecitazioni alcuni componenti delle strutture portanti dell'edificio nelle diverse condizioni.

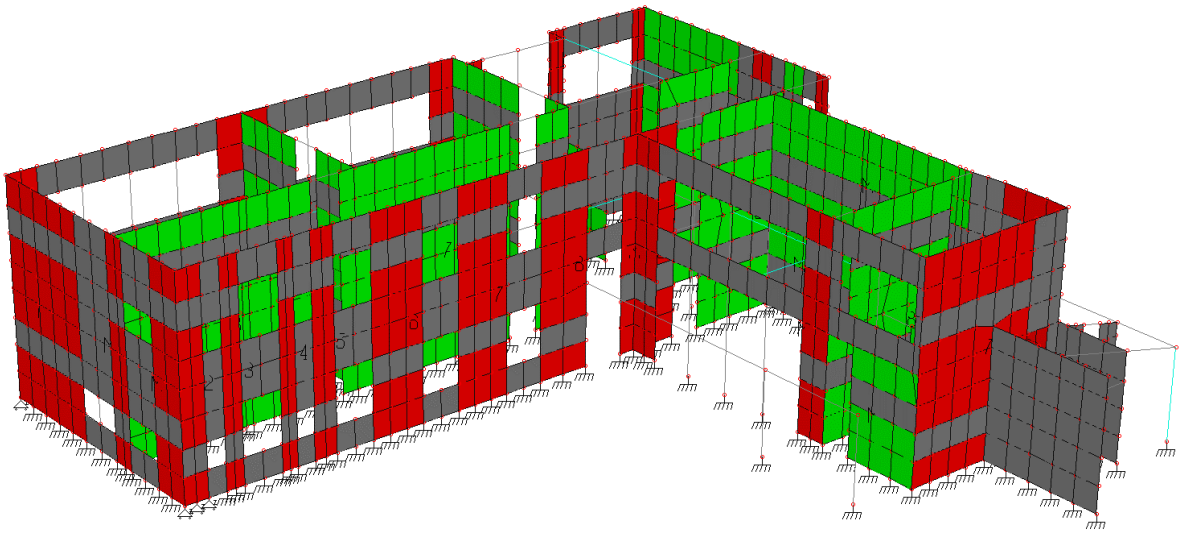
1- VERIFICA SISMICA DEI MASCHI MURARI SOLLECITATE CON IL SISMA DI LIVELLO PIU' BASSO – ALCUNI MASCHI MURARI RISULTANO GIA' IN CRISI.





2 - VERIFICA SISMICA DEI MASCHI MURARI SOLLECITATE CON IL SISMA DI MASSIMO LIVELLO PREVISTO DALLE NORME TECNICHE – LA MAGGIORANZA DEI MASCHI MURARI VANNO IN CRISI

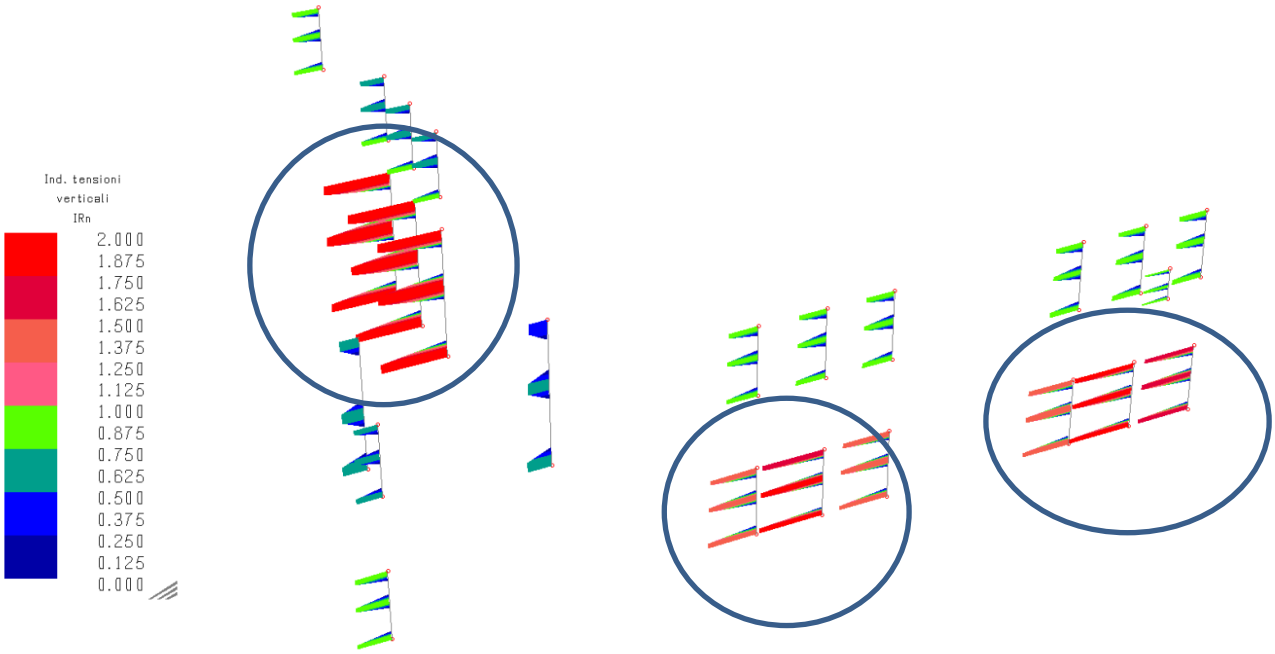




STRUTTURE NON VERIFICATE ALLE AZIONI SISMICHE: i maschi murari non risultano verificati con l'azione sismica di progetto corrispondente ad un Tr 712 anni

MASCHI NON VERIFICATI: M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M16, M17, M18, M19, M21, M23, M29, M30, M36, M37, M43, M44, M45, M46, M47, M51.

ELEMENTI SNELLI IN MURATURA – AL PIANO TERRENO SI HANNO SITUAZIONI DI CRISI AI CARICHI VERTICALI



Indice di resistenza tensioni verticali

Dall'esame delle immagini soprariportate risulta evidente che, a parte limitate situazioni localizzate, in generale, i maschi murari risultano sufficientemente adeguati per resistere alle sollecitazioni statiche. In caso di sisma, invece, la situazione cambia radicalmente, con buona parte dei maschi murari che non sono in grado di garantire un adeguato livello di resistenza e di conseguente sicurezza dell'edificio.
Inoltre è visibile l'elevato valore delle tensioni verticali in corrispondenza dei setti di limitato spessore posti tra le finestre del piano terreno, come evidenziati nell'immagine.
Nella relazione di calcolo ed in quella di verifica sono riportate più diffusamente tutte le sollecitazioni e le condizioni di resistenza delle strutture.

6 – TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO - INTERVENTI IN PROGETTO

6.1 TECNICHE DI CONSOLIDAMENTO

Si è accertato con le verifiche e le analisi effettuate che gli elementi strutturali più inadeguati sono i maschi murari che definiscono l'involucro portante del fabbricato e, in subordine, gli elementi snelli in muratura che delimitano le parti finestrate al piano terreno.

I maschi murari sono elementi fondamentali delle costruzioni in muratura portante. Essi costituiscono la struttura verticale portante su cui poggiano solai, coperture ed eventuali orizzontamenti. La loro funzionalità statica è quella di sopportare i carichi verticali trasmettendoli alle fondazioni e di resistere alle azioni orizzontali come sisma e vento.
Per questo motivo, il rinforzo strutturale dei maschi murari è un intervento chiave per migliorare la resistenza e la duttilità delle costruzioni esistenti in muratura.
Le caratteristiche e le proprietà dei maschi murari come il tipo di materiale utilizzato, le dimensioni, la geometria, la presenza e la disposizione di aperture e la qualità del lavoro di costruzione, influenzano notevolmente le prestazioni strutturali dell'edificio nel suo complesso. Pertanto, la progettazione e la costruzione ma anche il rinforzo dei maschi murari richiedono una valutazione attenta e una corretta esecuzione per garantire la sicurezza e la durabilità dell'edificio.
Tutti questi fattori interagiscono in modo complesso per determinare il comportamento strutturale e la capacità portante dei maschi murari in diverse condizioni e sotto varie sollecitazioni.
Gli interventi di rinforzo strutturale devono sempre derivare, quindi, da un'analisi approfondita di questi fattori per giungere ad una diagnosi accurata della costruzione esistente.
Sulla base di queste analisi si potrà stabilire quale sia l'intervento più idoneo in termini di:

- Tipologia di rinforzo strutturale: confinamento, rinforzo a flessione, rinforzo a taglio, etc.
- Posizionamento del rinforzo strutturale: su uno o più lati, sul paramento interno ed esterno, concentrati o diffusi sulla superficie etc.
- Tecnica di intervento strutturale: iniezioni, intonaco armato, stilatura dei giunti, scuci-cuci etc.
- Materiali e sistemi strutturali (in relazione alla tecnica scelta): malta a base calce, FRCM, CRM, acciaio o altri.
- Oltre agli aspetti strutturali vanno considerati anche:
- Compatibilità: i materiali devono essere chimicamente e fisicamente compatibili con la muratura per evitare degradi.
- Reversibilità: possibilità di rimuovere in futuro l'intervento senza danneggiare la costruzione.
- Minimo impatto estetico: soprattutto negli edifici storici, non dovrebbero essere alterate le caratteristiche architettoniche.
- Economicità: contenimento dei costi senza compromettere l'efficacia dell'intervento.
- Conformità alle NTC 2018 e documenti CNR sulle costruzioni esistenti.

Le tecniche di consolidamento più comuni e sperimentate sono essenzialmente:
Intonaci armati tradizionali: consistono nella realizzazione di uno strato di betoncino cementizio armato con una rete in acciaio elettrosaldata applicato sul paramento murario. L'intervento deve essere realizzato su entrambi i lati (interno ed esterno) della muratura e devono essere impiegati opportuni elementi di connessione trasversale. Gli spessori di applicazione sono generalmente tra i 5 e i 7 cm.
Rinforzo con sistemi FRP e FRCM: i sistemi FRP (Fiber Reinforced Polymers) e i sistemi FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix) sono entrambi utilizzati nel campo del rinforzo strutturale per migliorare le prestazioni di elementi strutturali esistenti. Sono materiali compositi cioè materiali eterogenei costituiti da due fasi, una matrice e la fibra, le cui proprietà finali sono diverse rispetto a quelle dei materiali di partenza.

Nei sistemi FRP si utilizza come matrice la resina e come parte resistente tessuti in acciaio ad alta resistenza, in fibra di basalto, carbonio, vetro o arammide. Nei sistemi FRCM a matrice è inorganica, cioè si utilizzano malte a base calce o cemento in cui inglobare reti o nastri in fibra di carbonio, vetro AR (alcali-resistente), arammide, basalto, PBO (poliparafenilenbenzobisoxazolo) o acciaio ad alta resistenza.

Cuciture attive in acciaio: il sistema CAM rientra nella categoria delle "tirantature orizzontali e verticali". Esso viene realizzato interamente mediante acciaio inossidabile, così da eliminare qualsiasi problema di durabilità. I tiranti, realizzati con nastri di acciaio, sono pretesati, così da applicare uno stato di precompressione trasversale, particolarmente importante in direzione trasversale. Grazie agli speciali elementi di connessione, i nastri d'acciaio realizzano un sistema continuo di tirantatura, in grado di ripercorrere tutte le irregolarità della muratura, sia in orizzontale, lungo tutta la parete rinforzata, che verticale, per tutta l'altezza, così da migliorare non solo la resistenza a taglio, ma anche la resistenza flessionale dei singoli maschi murari e delle pareti nel loro insieme.

L'impiego di ognuna di queste tecniche di rinforzo presenta specifiche caratteristiche che le rendono idonee in funzione della geometria e della tipologia delle strutture dell'edificio a cui si devono applicare. Nel caso in progetto si è effettuata una attenta valutazione di quale tecnica sia più adatta, sia da un punto di vista del conseguimento del più alto valore dell'indice di adeguamento sismico, sia del comportamento globale dell'edificio, sia anche sotto l'aspetto del rapporto costi risultati ottenuti.

L'impiego degli intonaci armati risulta poco idoneo da adottare per l'edificio dell'asilo perché i maschi murari da rinforzare non risultano ripartiti in modo uniforme all'interno del corpo di fabbricato e presentano misure geometriche molto diverse tra di loro. In questa situazione l'impiego di paramenti di rinforzo in intonaco armato, comporterebbe la creazione di elementi strutturali estremamente rigidi e distribuiti in maniera non omogenea all'interno della geometria del fabbricato. Questa situazione, nell'ambito di un edificio con pianta irregolare come quello in oggetto, causerebbe un ulteriore allontanamento della posizione del baricentro delle masse rispetto alla posizione del baricentro delle rigidezze con conseguente sensibile peggioramento del comportamento strutturale di numerose altre parti della struttura portante dell'edificio e conseguente aggravio degli interventi di rinforzo da attuare ed incremento dei costi.

Anche l'uso dei sistemi FRP e FRCM dopo attenta analisi e verifiche dei risultati ottenuti simulando il loro impiego sul modello strutturale, hanno evidenziato alcune criticità di realizzazione riguardanti specificamente sia il dimensionamento degli spessori sia la tipologia della rete. Infatti, per alcuni maschi murari, si renderebbe necessaria l'applicazione di un numero molto elevato di strati senza comunque raggiungere il grado di sicurezza ricercato. Inoltre per alcuni maschi murari per i quali il meccanismo di collasso è causato da ribaltamento è necessario utilizzare ulteriori tecniche per incrementare la resistenza a detti meccanismi.

Si è pertanto deciso di attuare interventi di rinforzo utilizzando il sistema delle cuciture attive in acciaio.

6.2 INTERVENTI IN PROGETTO

Il sistema CAM è realizzato con nastri in acciaio inox, di spessore 0.75-0.8 mm e larghezza di 18-

20 mm, le cui caratteristiche di resistenza a snervamento e a rottura sono pari a 250-300 e 600-700 Mpa rispettivamente, con allungamento a rottura pari a più del 40%. I nastri vengono utilizzati per cucire la muratura attraverso due fori a distanza normalmente compresa tra i 100 e i 200 cm, richiudendo la singola fascetta ad anello mediante una macchina capace di imprimere una pretensione regolabile al nastro, e dunque una precompressione nella muratura, sia trasversale che complanare alla parete trattata. Il sistema comprende anche piastre di dimensioni circa 125x125 mm anch'esse in acciaio inox, dotate di fori conformati ad imbuto, disposte all'imboccatura del foro. Tali piastre svolgono una funzione di distribuzione delle forze di contatto del nastro, altrimenti concentrate nella muratura intorno al foro stesso, e di assorbimento delle tensioni di trazione prodotte nella muratura intorno al foro da due avvolgimenti contigui. Il sistema è infine completato da angolari, ancora in acciaio inox, per gli avvolgimenti dei nastri in corrispondenza delle aperture o delle zone terminali delle pareti (angoli, incroci a L e a T).
Il sistema di nastri di acciaio inox può essere posto in opera secondo maglie quadrate, rettangolari o triangolari, anche irregolari, con la massima flessibiltà, così da realizzare un'imbracatura continua di tutta la parete, sia in orizzontale che in verticale. La messa in opera dei nastri di acciaio può essere, eventualmente, completata con l'iniezione della muratura attraverso i fori praticati per il passaggio dei nastri stessi, iniezione che, grazie all'inossidabilità dell'acciaio, può essere effettuata anche con miscele leganti non cementizie. Si ottiene in tal modo un rafforzamento della muratura nella zona circostante il foro, che migliora la funzione di presidio rispetto allo sfaldamento dei paramenti nelle zone limitrofe più lontane dalla zona di applicazione della precompressione.
I vantaggi conseguibili con il sistema CAM sono i seguenti:

- i nastri di acciaio inox svolgono un ruolo attivo, imprimendo alla muratura un benefico stato di precompressione, sia nel piano della parete, orizzontalmente e verticalmente, sia in direzione trasversale, collegando efficacemente i paramenti dell'apparecchio murario; questo stato di precompressione ritarda la formazione di lesioni e fessure e rende le armature immediatamente attive e capaci di impedire o limitare significativamente la formazione di grandi lesioni e di sconnessioni,
- la resistenza delle armature viene sfruttata integralmente, non essendo il loro coinvolgimento legato all'aderenza tra la muratura e l'intonaco cementizio, ma, al contrario, ad un collegamento meccanico totalmente controllabile,
- la tecnologia è poco invasiva (la rimozione dei nastri richiede solo l'asportazione dell'intonaco (non più cementizio),
- l'acciaio inox garantisce la totale affidabilità nel tempo del sistema,
- l'efficacia delle legature trasversali, garantita dai collegamenti meccanici e dalla pretensione dei nastri di acciaio, permette di ridurre il loro numero, e conseguentemente il numero di perforazioni da effettuare sulla muratura, riducendo l'invasività dell'intervento,
- il collegamento tra avvolgimenti adiacenti è assicurato meccanicamente in maniera totalmente controllabile ed affidabile,
- i collegamenti in verticale tra le pareti di piani successivi sono facili da realizzare (anche senza la demolizione del solaio, è sufficiente praticare fori di diametro di circa 30mm in

adiacenza alla parete) e sicuri nel risultato; si realizza così un sensibile miglioramento delle caratteristiche di resistenza a flessione sia nel piano dei maschi murari che nel piano ortogonale,

- il piccolo spessore dei nastri inox permette l'adozione di intonaci tradizionali, negli spessori usuali, così da non alterare i pesi strutturali,
- il sistema di cucitura risolve automaticamente anche il problema delle connessioni, spesso carenti, tra pareti ortogonali,
- la conservazione degli intonaci tradizionali elimina le problematiche create dall'uso degli intonaci cementizi, indispensabili nelle applicazioni delle reti elettrosaldate,
- l'utilizzazione dell'acciaio inox garantisce una buona duttilità d'insieme, chiamando in causa le riserve di sicurezza nelle condizioni limite di lavoro della struttura.
- l'intervento risulta reversibile.

Come già detto il Sistema a marchio CAM® non altera la distribuzione di massa e rigidezza, ma garantisce un incremento in termini resistenti (i ricorsi di nastro sono a tutti gli effetti armatura aggiuntiva) e confinando porzioni limitate di muratura consente notevoli incrementi in duttilità. Il grande vantaggio tuttavia a cui la sua applicazione è legata è sicuramente nei confronti dei cinematismi locali di collasso, in quanto la maglia diffusa CAM® permette di cucire insieme non solo eventuali paramenti di una muratura a sacco, ma anche pareti tra loro ortogonali.

In effetti il massimo contributo che il Sistema offre, spesso implicitamente attraverso l'applicazione di una maglia diffusa, è nell'ambito della limitazione dei meccanismi di collasso locali. Tale aspetto, anche se non sempre valutabile a livello numerico, è tuttavia assolutamente propedeutico al buon comportamento globale del fabbricato.

Solo realizzando l'effetto scatolare, l'edificio in muratura si comporta come una struttura tridimensionale e quindi solo allora hanno significato i risultati ottenibili dall'analisi globale attraverso un modello di calcolo tridimensionale.

L'analisi lineare porterà all'individuazione della crisi come superamento della resistenza massima. In riferimento a quanto detto, si individueranno le seguenti situazioni critiche sul singolo elemento:

- CRISI per COMPRESSIONE: superamento del valore limite del carico assiale Nrd.
- CRISI per PRESSOFLESSIONE nel piano e fuori piano: superamento del valore limite del momento resistente Mrd,x e Mrd,y, indicando con i pedici x e y le due direzioni dell'elemento nel piano.
- CRISI per TAGLIO (scorrimento o fessurazione diagonale): superamento del valore limite del carico resistente a taglio Vd,sc e Vrd,fess il cui pedice fa riferimento alla tipologia di rottura individuata dalla giacitura di lesione.

Gli interventi sopra descritti hanno lo scopo di migliorare il comportamento strutturale dell'Asilo Nido sito in frazione San Paolo nel comune di Morsano al Tagliamento

La struttura è stata sottoposta all'accelerazione massima prevista nel sito pari a $a_g/g_{SLV} = 0{,}1376$ e con tali parametri d'ingresso sono stati progettati i rinforzi.

Tutti gli interventi previsti in progetto riguardano l'applicazione di nastri in acciaio inox su quasi la totalità della muratura perimetrale.

Tale intervento permette di migliorare il collegamento tra i vari maschi murari e tra maschi murari e fondazioni e solai in maniera tale da evitare meccanismi locali di collasso e permettere alla struttura di assorbire le azioni sismiche con un comportamento scatolare che permetta una migliore ridistribuzione delle forze su tutti gli elementi portanti.

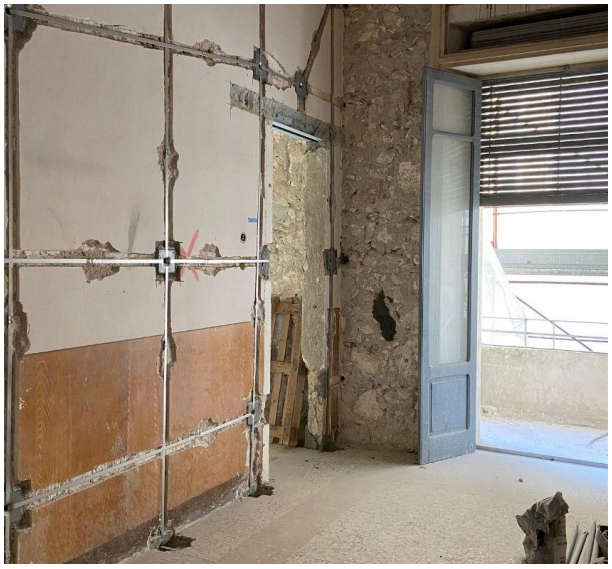
In particolare oltre a fasciare i maschi murari su entrambe le facce vengono applicati i nastri in acciaio anche sulle fasce di piano e sulle murature non consolidate viene comunque realizzata una catena di collegamento con i nastri in acciaio inox.

I pilastri oggetto di intervento al piano terreno vengono confinati su tutta la lunghezza con angolari in acciaio e fasciature con nastri in acciaio inox.

In conclusione, quindi, gli interventi previsti dal progetto esecutivo consentono un adeguamento sismico per il fabbricato sede dell'Asilo Nido con un indice $\boldsymbol{\alpha_{uv,PGA}}$ **=1**

Questo valore garantisce che l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura a lavori ultimati corrisponde al valore dell'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

Si riportano alcune immagini illustranti interventi eseguiti con la tecnica CAM su edifici in muratura.



Intervento su intera facciata

Rinforzo muratura d'angolo

7 - CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA DEL SITO

Sono state effettuate prove geognostiche per la caratterizzazione sismica del terreno e la definizione dei parametri di rigidezza dello stesso in quanto ci si è riferiti alla relazione "Indagini geologiche e prospezioni sismiche con metodo MASW" redatta dal Dott. Geol. Marco Crippa

In particolare ai fini della caratterizzazione sismica del sito si riporta quanto indicato nel cap. 5

"ANALISI E COMMENTO DEI RISULTATI" in cui è determinato il valore di V_{s30} ottenuto con la prova MASW risultato pari a 289 m/s.
Mediante l'utilizzo dell'approccio semplificato, utilizzando la Tabella 3.2.II. delle N.T.C. tale valore colloca tale il terreno nella classe di suolo ***"C".***

C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*	180÷360

La natura delle opere non richiede approfondimenti di natura idrogeologica in quanto gli interventi previsti non riguardano opere di fondazione.
Non vi sono problemi relativi all'impatto ambientale in quanto le opere riguardano il miglioramento sismico di un edificio esistente senza realizzare nuove parti di edificio o di strutture.

8 - INDICAZIONE TEMPI DI REALIZZAZIONE

Il tempo necessario per l'esecuzione dei lavori è stato valutato in 90 giorni naturali e consecutivi avendo la piena disponibilità dell'edificio e quindi senza la presenza di alunni e insegnanti. Il periodo dell'anno in cui saranno programmati i lavori dovrà, pertanto, essere scelto tenendo in considerazione sia la peculiarità delle lavorazioni da effettuare sia dell'attività che viene svolta nell'edificio, rivolta a bambini da zero a 36 mesi che prevede l'interruzione dell'attività solo nel mese di agosto e non per il classico periodo giugno-settembre.
Stante questa situazione tutta la programmazione dei lavori, definita in fase progettuale, dovrà essere portata a conoscenza dell'attuale gestore del servizio e degli uffici provinciali competenti e con questi concordata e definita prima di giungere alla consegna dei lavori e dell'avvio del cantiere.
Sarà compito dei progettisti definire inoltre le modalità di svolgimento di ulteriori lavori di adeguamento impiantistico e di sicurezza antincendio che dovessero svolgersi contemporaneamente ai lavori di adeguamento sismico, mediante la predisposizione di piani di coordinamento e sicurezza che tengano conto delle interferenze tra i vari lavori.

9 – STIMA SINTETICA DEGLI INTERVENTI

Il computo metrico estimativo dei lavori è stato predisposto utilizzando il Preziario della Regione Friuli Venezia Giulia edizione luglio 2024.
Per alcune lavorazioni, la cui descrizione non risulta pienamente aderente alla lavorazione prevista, sia per i materiali previsti sia per diverse modalità di esecuzione, si sono utilizzate voci desunte dal prezzario DEI che ha valenza nazionale.
In caso di mancato reperimento all'interno del documento regionale, sono state effettuate delle

ricerche presso le ditte produttrici ed i rivenditori di zona.
L'importo complessivo dei lavori ammonta ad euro 296.611,00 di cui euro 24.698,61 per oneri della sicurezza specifici.
Il quadro economico dell'intervento, comprensivo di somme a disposizione dell'Amministrazione Comunale risulta come dal sottostante riepilogo:

QUADRO ECONOMICO DELL'INTERVENTO

A	Lavori		Importo
	Importo lordo lavori		€ 271.912,39
	Oneri di sicurezza (D.Lgs. 81/2008) complessivi		€ 24.698,61
	Totale lavori		**€ 296.611,00**
	Di cui		
	Importo manodopera (non soggetto a ribasso)		€ 131.924,36
B	Somme a disposizione		
	I.V.A. sui lavori 10% di euro 296.611,00		€ 29.661,10
	Spese tecniche per incarichi esterni		€ 72.875,08
	Di cui:		
	- per progettazione, D.LL., Sic e C.R.E. (inc. oneri prev. 4% e IVA)	€ 59.703,08	
	- per collaudo statico (inc. oneri prev. 4% e IVA)	€ 3.172,00	
	- per incentivo art. 45 D. Lgs. 36/2023	€ 2.500,00	
	- a disposizioni per varianti ecc.	€ 7.500,00	
	Contributo ANAC		€ 250,00
	Imprevisti		€ 602,82
B	Totale somme a disposizione		**€ 103.389,00**
	TOTALE GENERALE		**€ 400.000,00**

I Progettisti
Ing. Alberto Ferrarotti
Ing. Matteo Rigolone