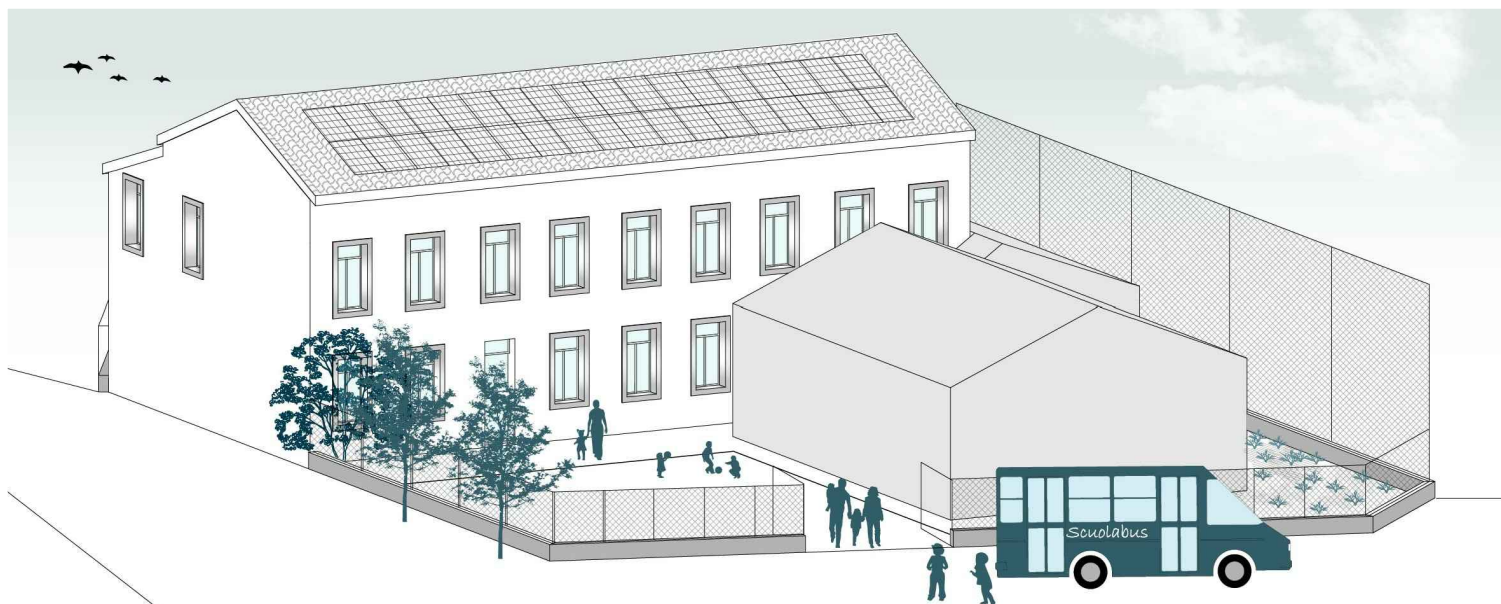




REGIONE BASILICATA
PROVINCIA DI POTENZA
COMUNE DI PIETRAGALLA

INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'EDIFICIO SCOLASTICO 0760600278
DELLA FRAZIONE DI LOLLA



SINDACO
Paolo Cillis

RUP
Ing. Maria Carmela IACOVERA

COMMITTENTE
Comune di Pietragalla
Via Cadorna 6, 85016
Pietragalla (PZ)

PROGETTISTA
Arch.Mariangela Coviello

CONSULENTE ALLA PROGETTAZIONE STRUTTURALE
Ing.Diego Fabrizio

COORDINATORE ALLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE
Ing.Francesco Rocco Abruzzese

ELABORATO:
Relazione di sintesi dei risultati

DATA: MAGGIO 2021

CODICE: PDE-RE-02.2

INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA ATTRAVERSO IL MIGLIORAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE DELL'EDIFICIO SCOLASTICO 0760600278 DI LOLLA _PIETRAGALLA (PZ)_

RELAZIONE DI SINTESI

Sommario

1.	Premessa	2
2.	Illustrazione delle strutture allo stato di fatto, della vulnerabilità, del danno, dei criteri di verifica, delle azioni, degli interventi e dell'indice di rischio allo stato di progetto	5
3.	Normativa di riferimento.....	27
4.	Materiali impiegati nella costruzione	32
5.	Fondazione e modello geotecnico.....	37
6.	Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità	42

1. Premessa

La presente relazione specialistica su strutture, geotecnica, materiali e vulnerabilità illustra e giustifica nel dettaglio le soluzioni tecniche adoperate nell'intervento di miglioramento sismico dell'edificio scolastico 0760600278 che ospita la scuola primaria di località Lolla di Pietragalla (PZ). Il fabbricato in muratura portante si sviluppa su due livelli collegati per mezzo di due vani scala disposti all'interno (manufatto in c.a.) ed all'esterno (scala di emergenza in acciaio giuntata e non interagente con l'edificio) e presenta un'impronta in pianta di circa 255 mq; in adiacenza all'edificio scolastico, ma opportunamente distanziato con giunto tecnico, è presente un manufatto di recente costruzione che ospita la palestra; l'edificio nel complesso mostra un degrado nelle rifiniture più evidente in esterno, in particolare per gli intonaci delle pareti maggiormente esposte alle intemperie, meno pronunciato all'interno anche se si denotano componenti edilizie abbastanza datate. Nella presente relazione vengono descritte le tipologie strutturali, gli schemi e i modelli di calcolo utilizzati nelle verifiche di esecutivo, viene individuata l'azione sismica considerando le condizioni stratigrafiche e topografiche per portare in conto le amplificazioni di sito e di posizione, vengono descritti i criteri per soddisfare i requisiti di sicurezza previsti dalle norme tecniche vigenti, viene illustrato lo stato di fatto dell'edificio in rapporto alle indagini condotte in sito sui materiali, sui dissesti, sulla presenza delle principali vulnerabilità strutturali, vengono illustrate tutte le problematiche riscontrate ed esaminate, si riportano tutte le verifiche analitiche di calcolo e le soluzioni esecutive adottate. Nel presente progetto, in linea con quanto specificato nel punto 8.4.2 dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche del DM 17/01/2018 (G.U. n. 42 del 20/02/2018) e trattandosi di miglioramento sismico per costruzioni in classe III ad uso scolastico, si predisporranno interventi di miglioramento tali da garantire un indice di rischio (inteso come rapporto tra capacità e domanda sismica) $\zeta_e \geq 0,60$ (maggiore o uguale a 0,60); in particolare con le somme disponibili pari a € 316.810,49 per i lavori (strutturali e di rifinitura) le opere che si possono realizzare consentono di raggiungere allo stato limite di vita un indice di rischio $\zeta_e = 0,67$ (sisma con tempo di ritorno di 253 anni); si tratta di un incremento significativo (+ 105,00 % rispetto allo stato di fatto) della capacità resistente del fabbricato che allo stato di fatto è pari a $\zeta_e = 0,326$ (sisma con tempo di ritorno di 50 anni).

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$.

Gli interventi strutturali che hanno consentito il soddisfacimento dei requisiti normativi prima specificati hanno riguardato:

-) inserimento di una nuova trave di fondazione in cemento armato (sezione 80 x 80 cmq) necessaria per poter introdurre una nuova muratura di spina in muratura armata;

-) inserimento al piano terra ed al primo piano di una nuova parete di spina realizzata adoperando la tecnica della muratura armata con blocchi in laterizio semipieni ed armature diffuse in verticale $\phi 20$ mm in cinque posizioni ed armature orizzontali diffuse $\phi 14$ mm ogni due file di blocchi in laterizio; la nuova muratura armata è opportunamente innestata mediante cuciture armate innestate nelle murature esistenti con resina epossidica;
-) rinforzo delle murature esistenti mediante il sistema CAM (cuciture attive dei manufatti) che consiste nell'impacchettamento delle murature per mezzo di nastri di acciaio inox pretesi a formare dei reticoli spaziali di confinamento;
-) rinforzo di alcune porzioni murarie per mezzo di un sistema composito CRM realizzato con rete in GFRP disposta sulle due facce del paramento murario collegata per mezzo di connettori passanti in GFRP; il betoncino ricoprente di piccolo spessore viene realizzato mediante malta calce _ cemento strutturale con maggiore traspirabilità rispetto al classico betoncino di cemento;
-) realizzazione di cordolature in cemento armato in corrispondenza delle intersezioni tra i solai del piano primo e del sottotetto e la nuova muratura armata di spina.

Per quanto attiene la metodologia di calcolo si è adoperato il seguente procedimento operativo:

- a) costruzione del modello di calcolo dello stato di fatto a cui si è applicato un sisma di progetto variabile in funzione del tempo di ritorno " T_r " procedendo con le verifiche strutturali sino ad individuare quel tempo di ritorno caratterizzato da un sisma rispetto al quale la verifica strutturale del modello non è soddisfatta; in tal modo si è individuato la capacità sismica del fabbricato allo stato di fatto;
- b) costruzione del modello di calcolo dello stato di progetto in cui vengono inseriti i nuovi elementi strutturali ed i rinforzi delle strutture esistenti e detto modello viene sottoposto ad un sisma con input crescente incrementando il tempo di ritorno del terremoto di progetto sino ad individuare il raggiungimento dello scenario di stato limite di salvaguardia della vita; in tal modo viene individuata e certificata la capacità sismica dell'edificio allo stato futuro.

Nella presente relazione viene illustrata l'analisi di vulnerabilità della struttura nello stato di fatto da cui si ricava che l'attuale indice di rischio della struttura è " $\zeta_e = 0,326$ " ovvero che la struttura resiste ad un terremoto di progetto caratterizzato da $a_g/g=0,0629$ (tempo di ritorno $T_r= 50$ anni) pari al 32,6% dell'accelerazione di picco del sito $a_{g \text{ picco}}/g= 0,1927$; si dimostra che con il progetto di miglioramento sismico si ottiene allo stato futuro un indice di rischio sismico " $\zeta_e = 0,67$ " caratterizzato da $a_g/g= 0,1291$ e da un terremoto con tempo di ritorno di 253 anni.

Sintesi prestazioni di progetto e parametri:

-) Pericolosità sismica di base: $a_{g \text{ picco}}/g= 0,1927$ è l'accelerazione di picco al suolo nel sito in cui sorge la scuola calcolata come media ponderata dei quattro punti del reticolo sismico in cui ricade l'edificio scolastico (reticolo di riferimento della tabella 1 allegato B delle NTC 08);
-) Livello di conoscenza LC2 _fattore di confidenza: 1,20
-) **Indice di rischio della struttura stato di fatto: ' $e = 0,326$** la struttura resiste ad un terremoto di progetto caratterizzato da $a_g/g=0,0629$ (tempo di ritorno $T_r= 50$ anni) pari al 32.6 % dell'accelerazione di picco del sito;

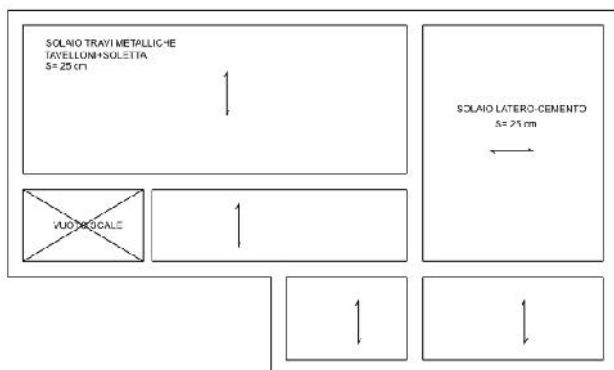
-) **Indice di rischio della struttura stato di progetto (edificio migliorato):** $\gamma_e = 0,67$ la struttura resiste ad un terremoto di progetto caratterizzato da $a_g/g = 0,1291$ (tempo di ritorno $T_r = 253$ anni) pari al 67.00 % dell'accelerazione di picco del sito.

2. Illustrazione delle strutture allo stato di fatto, della vulnerabilità, del danno, dei criteri di verifica, delle azioni, degli interventi e dell'indice di rischio allo stato di progetto

Descrizione delle strutture allo stato di fatto, del contesto, analisi della vulnerabilità

Le strutture del presente progetto esecutivo di miglioramento sismico sono relative all'edificio che ospita la scuola primaria di Lolla; si tratta di un edificio in muratura portante, su un'impronta complessiva di circa 255 mq, che si sviluppa su due livelli e presenta una copertura a falde inclinate; sono presenti due vani scala: uno interno in latero-cemento ed uno in acciaio disposto all'esterno dell'edificio di costruzione più recente che risulta opportunamente distanziato e dunque strutturalmente indipendente rispetto alla scuola. Al piano terra sono presenti due aule, la mensa, i servizi igienici e i locali tecnici, mentre al piano primo sono presenti aule e servizi. La muratura, dello spessore di 55 cm, è riconducibile al tipo "Murature di pietra a spacco con buona tessitura", secondo le ultime indagini commissionate dall'Amministrazione Comunale di Pietragalla ed eseguite dal laboratorio "BRAINSTORMERS S.R.L.". L'altezza dell'edificio fuori terra è di circa mt. 10,30 (colmo), l'altezza netta del primo livello è di mt 3,30 mentre quella del secondo è di mt. 3,20 ad eccezione della zona servizi che risulta essere di mt. 2,40. Gli impalcati dei piani presentano orditure differenti a seconda degli ambienti come specificato graficamente nelle figure seguenti e si caratterizzano per uno spessore strutturale di 25 cm; il grande vano che ospita le due aule al piano primo si caratterizza per un solaio in acciaio e tavelloni mentre gli altri sono latero-cementizi.

STATO DI FATTO
CARPENTERIA IMPALCATO N.1



STATO DI FATTO
CARPENTERIA IMPALCATO N.2_sottotetto_

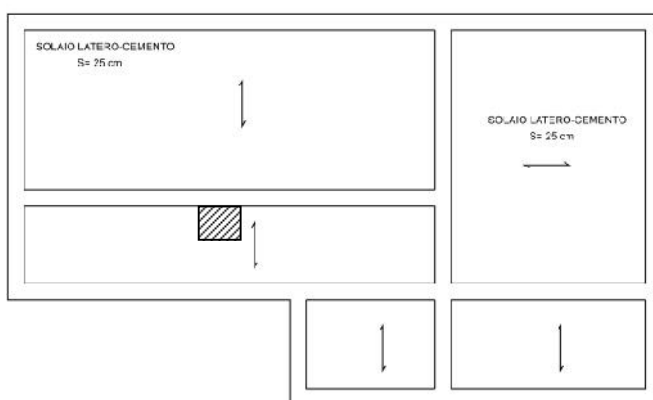


fig.1: carpenterie del primo e secondo impalcato

La copertura, di cui non si aveva alcun rilievo, è stata oggetto di rilievo di dettaglio attraverso l'accesso; a seguire si riportano i disegni esplicativi ed alcune foto.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

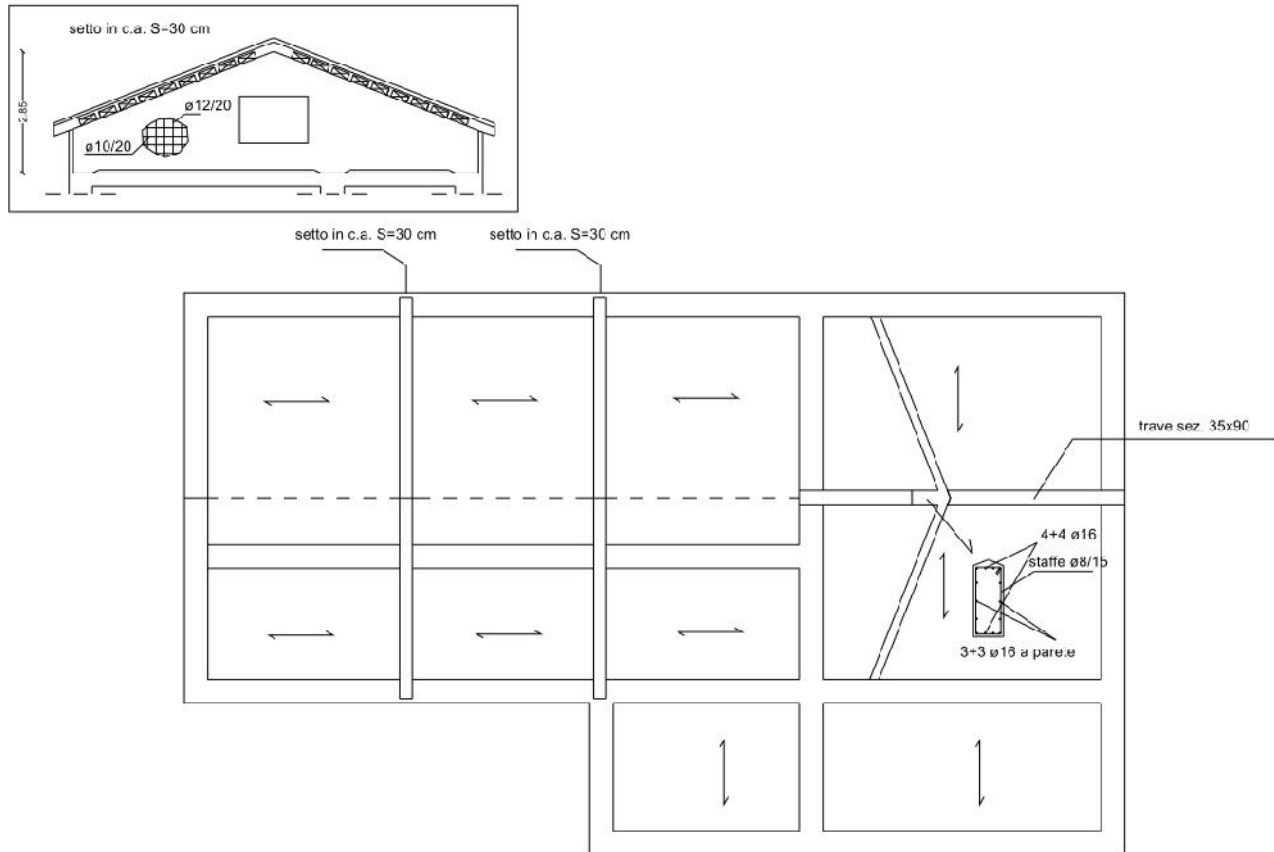


fig.2: carpenterie della copertura



fig.3: setto in cemento armato e orditura del solaio di copertura



fig.4: dettaglio di appoggio del setto in cemento armato a sostegno della copertura

In linea con quanto riportato nelle foto e nel disegno della carpenteria di copertura è emerso che una parte preponderante della copertura è ordita nel lato lungo del fabbricato poggiando su due quinte murarie e su due quinte intermedie in cemento armato realizzate con spessori di 30 cm; queste ultime sono disposte in tre posizioni sulle murature sottostanti come si può notare nel dettaglio della figura 4 e nel disegno del dettaglio della quinta in c.a. in fig. 2; nei setti in cemento armato sono presenti delle aperture quadrate dai cui è possibile accedere da un vano a quello successivo; anche la quinta interna in muratura presenta un varco simile che sarà oggetto di chiusura a cucì scuci. A seguire, dopo la quinta interna in muratura, il solaio subisce un'inversione di orditura poggiando sulle gronde e su una trave in c.a. innestata sulle murature (sez. 35x90 cmq) e posizionata lungo la linea di colmo. Il dettaglio degli appoggi dei setti e delle orditure delle coperture è stato modellato in modo puntuale nel calcolo al fine di descrivere in modo corretto la trasmissione delle azioni e verificare le sollecitazioni in determinate contenute porzioni murarie. L'edificio mostra alcuni segnali di danno, in particolare nei prospetti esterni particolarmente esposti alle intemperie, mentre sono poco significativi e meno pronunciati i segni interni di degrado; sicuramente va rimarcata la necessità del rifacimento dell'intonaco in esterno ed interno per la presenza di zone fortemente deteriorate con efflorescenze; è evidente che la sostituzione dell'elemento di rifinitura contribuisce in modo significativo al prolungamento della vita utile dell'opera agendo come deterrente rispetto al degrado degli elementi strutturali. All'interno dell'edificio si segnalano solo dei quadri fessurativi superficiali poco pronunciati che interessano alcune murature ed un campo di solaio del locale inverter dell'impianto fotovoltaico.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

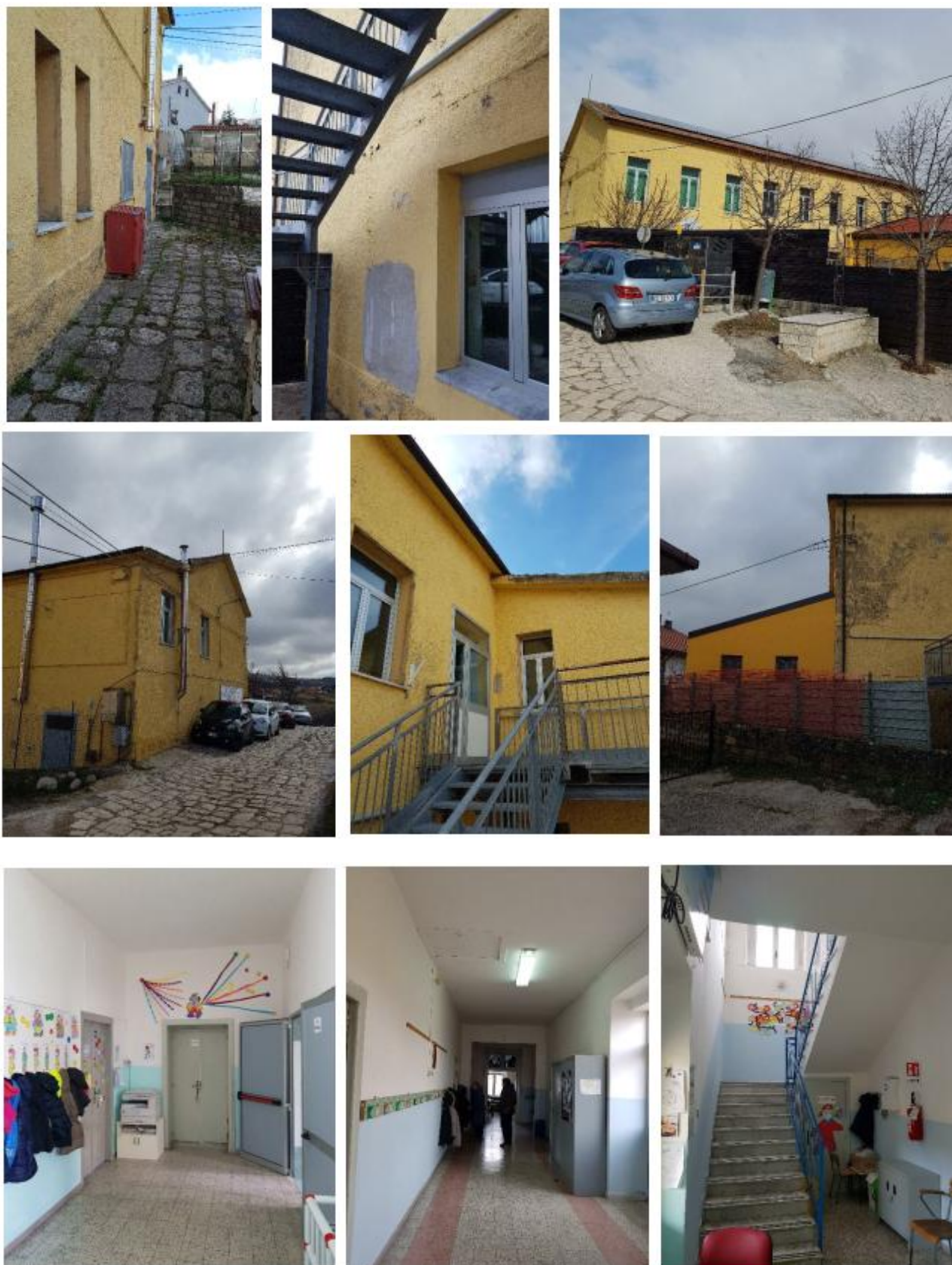


fig.5: immagini dello stato di fatto in interno ed all'esterno dell'edificio scolastico

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)



fig.6: sezioni longitudinale e trasversale dello stato di fatto

L'edificio di che trattasi rientra in un sistema aggregato sparso di edifici per civile abitazione; si colloca in posizione tutto sommato baricentrica rispetto ai diversi nuclei circostanti per i quali ha rappresentato e rappresenta un elemento di aggregazione.



fig.7: localizzazione della scuola rispetto al contesto

Nell'ambito di un'analisi di vulnerabilità condotta in passato, dalla Relazione Geologica agli atti messa a disposizione dall'amministrazione comunale di Pietragalla è emerso, ai fini della sismicità, che dalle risultanze di una prova MASW il sottosuolo in esame si può associare ad un **terreno tipo C** con i relativi coefficienti sismici amplificativi contenuti per detto terreno nelle Norme Tecniche Vigenti (NTC2018); si rimanda per approfondimenti alla Relazione Geologica redatta nell'ambito della verifica di vulnerabilità sismica nel marzo 2019 agli atti dell'Amministrazione Comunale.

Nella progettazione dell'intervento di miglioramento si è partiti dalla necessità di indagare la struttura esistente attraverso la geometria degli elementi strutturali, la quantificazione e la disposizione delle orditure dei solai, la qualità dei materiali strutturali, le caratteristiche delle murature portanti e la definizione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale. Con tale finalità si è proceduto a:

-) acquisizione di eventuali documenti progettuali originali;
-) sopralluoghi in sito con misurazione degli elementi strutturali.

Di particolare rilievo, ai fini della ricostruzione della qualità delle strutture, risulta **l'indagine predisposta dall'Amministrazione Comunale ed affidata alla Brainstormers con sede in Potenza che nel marzo del 2019 ha indagato il fabbricato attraverso:**

-) n. 1 prova con martinetto doppio;**
-) n. 1 prova penetrometrica su malta;**
-) n. 5 saggi sulla muratura.**

Attrezzatura di prova:

MARTINETTI PIATTI: martinetti prodotti dalla Boviar srl, costituiti da lamierino in acciaio ad elevata deformabilità di forma semicircolare allungata, con le seguenti caratteristiche:

superficie: 775.06 cm²

spessore: 4.1 mm

diametro: 35.0 cm

massima profondità d'installazione: 25.9 cm

Attrezzatura per il taglio e sistema di misurazione:

Il taglio viene effettuato con una mototroncatrice a trasmissione eccentrica modello PARTNER K950-Ring con motore a scoppio dotata di disco diamantato di diametro pari a 350 mm capace di effettuare tagli della profondità di 260 mm e spessore di 5 mm. Le misure di convergenza vengono eseguite da un estensimetro meccanico rimovibile modello DEMEC di tipo analogico con precisione bimillesimale, ed una serie di basi di misura di lunghezza pari a 200 mm, realizzate mediante l'incollaggio sulla muratura di piastrine in acciaio invar del diametro di 5 mm.

Sistema idraulico di messa in carico

Per la messa in pressione dei martinetti è stata utilizzata una pompa a mano del tipo GLOTZL modello M2H16 dotata di due manometri tarati del tipo WIKA ad alta precisione Kl. 0.6 con fondo scala (15 e 60 bar).

La prova con martinetti piatti è stata disposta in un punto rappresentativo della struttura in una muratura di prospetto al piano terra; nella stessa posizione si è proceduto con una prova sclerometrica sulla malta.

I saggi hanno riguardato cinque posizioni (n. 3 al piano terra e n. 2 al primo livello) in incroci murari per verificarne la qualità; a seguire la planimetria con il posizionamento dei saggi e delle prove.

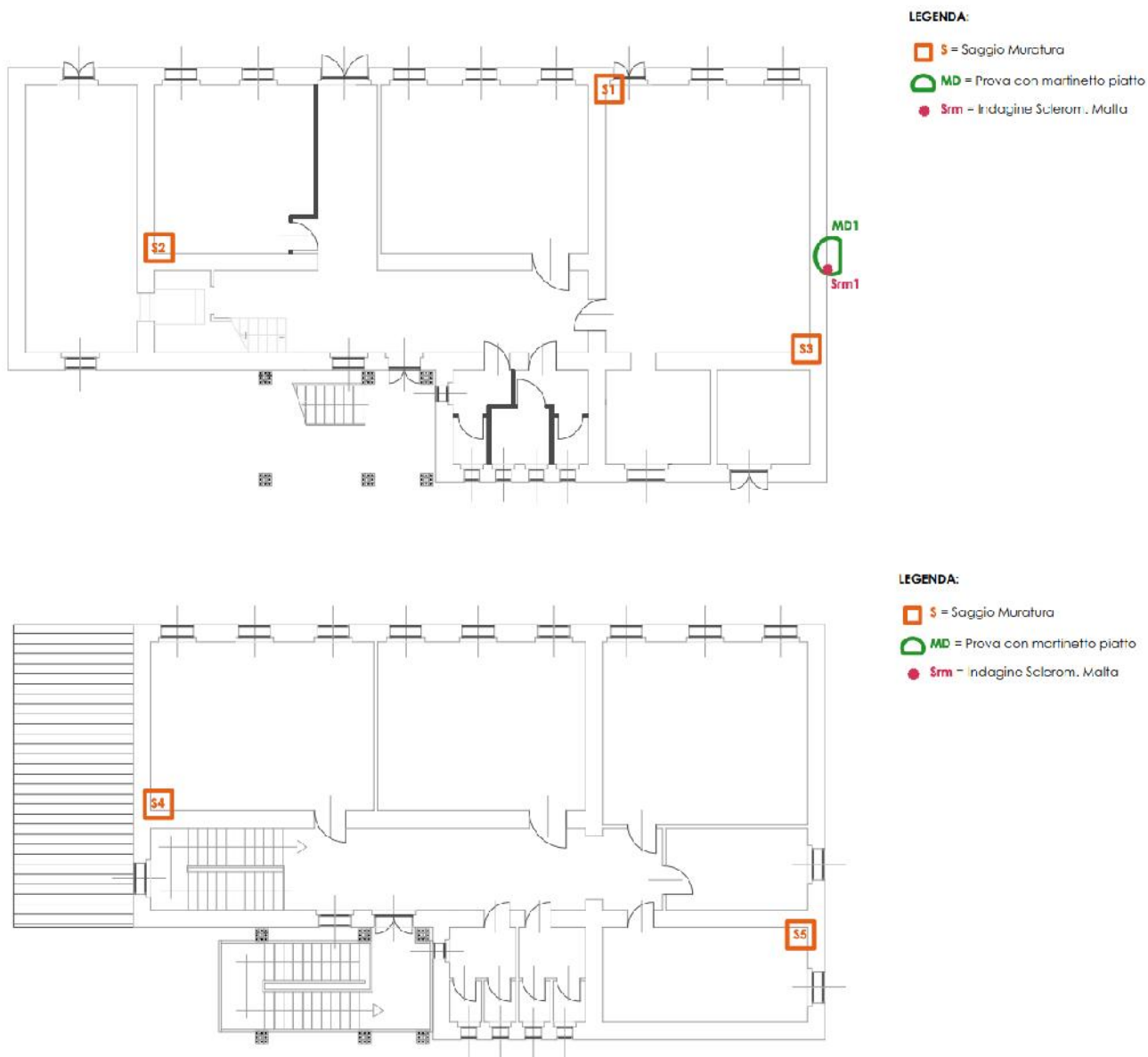


fig.8: localizzazione di saggi e prove svolti nella campagna di indagine

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)



fig.9: evidenza dei saggi e delle prove svolte nella campagna di indagine

I saggi mostrano che il collegamento negli angoli delle murature appare non adeguato a causa di vuoti, discontinuità e rattoppi non ben ingranati.

Prova con martinetto

Modulo di elasticità normale (MPa)		Resistenza a compressione (MPa)	Modulo di elasticità tangenziale (MPa)		Resistenza a taglio (MPa)
1° ciclo	2° ciclo	3.06	1° ciclo	2° ciclo	0.068
2541	2753		847	918	

Prove penetrometriche su malta

w_m	Dev. Std	f_c (MPa)	Class. DM 87	Class. NTC 2018
0.97	0.33	4.59	M4	M 2.5

fig.10: sintesi delle caratteristiche meccaniche delle murature

Nel complesso la muratura si può caratterizzare dal punto di vista meccanico come "muratura di pietra a spacco con buona tessitura"; la campagna d'indagine, il rilievo geometrico esteso anche al sottotetto/copertura e le informazioni riscontrabili dai documenti messi a disposizione dall'Amministrazione Comunale consentono di raggiungere un livello di conoscenza LC2 a cui corrisponde un fattore di confidenza pari a 1,20; in pratica nelle verifiche strutturali i valori di resistenza della tipologia muraria così come caratterizzata sarà ridotto in virtù del livello di conoscenza LC2 dividendolo per il corrispondente fattore di confidenza; va inoltre specificato che questi valori di resistenza saranno ulteriormente ridotti del coefficiente γ_m pari a 2,50 nelle combinazioni statiche e 2,00 in quelle dinamiche secondo quanto riportato dalle NTC2018.

-) **Livello di conoscenza LC2**

-) **Fattore di confidenza 1,20**

Le indicazioni sui materiali vengono recepite nel modello di calcolo strutturale nella fase di post-processore MasterMuri di AMV software in un'apposita scheda di verifica; nel fascicolo di calcolo relativo alla verifica dei maschi murari nella prima pagina delle verifiche vengono riportati i valori adottati.

In ordine all'analisi storico-critica sono disponibili i seguenti documenti tecnici:

-) Riparazione LR 36/78 _anno 1980_

-) Riattamento L. 219/1981 _anno 1981_

-) Ristrutturazione L. 219/1981 _anno 1983_

-) Analisi di vulnerabilità dell'edificio e relative indagini (strutturali e geologiche) _marzo 2019_

-) Analisi della Vulnerabilità

Dopo aver proceduto all'acquisizione di tutte le informazioni di natura strutturale si è proceduto all'individuazione delle vulnerabilità principali partendo da una lettura della geometria dell'edificio; la correzione di queste vulnerabilità ha rappresentato il primo tassello per definire l'intervento di ripristino con miglioramento sismico. Gli elementi di vulnerabilità strutturale emersi dalla campagna d'indagine e dall'analisi dei dettagli costruttivi rilevati in sito integrata da verifiche numeriche su schemi semplificati (analisi speditiva) consentono di stabilire quanto segue:

- a) i collegamenti negli incroci delle murature sono solo in parte efficaci per la presenza di qualche vuoto e/o disconnessione tra i blocchi di pietra;
- b) il collegamento a quota di impalcato risulta anch'esso poco efficace, in particolare al primo impalcato;
- c) la distribuzione delle murature sismo-resistenti (muri portanti e di spina) non è regolare lungo l'edificio; in particolare si riscontra una criticità significativa nel blocco aule (si veda fig.11) dove la distanza tra due murature di spina consecutive raggiunge quasi 14 metri.

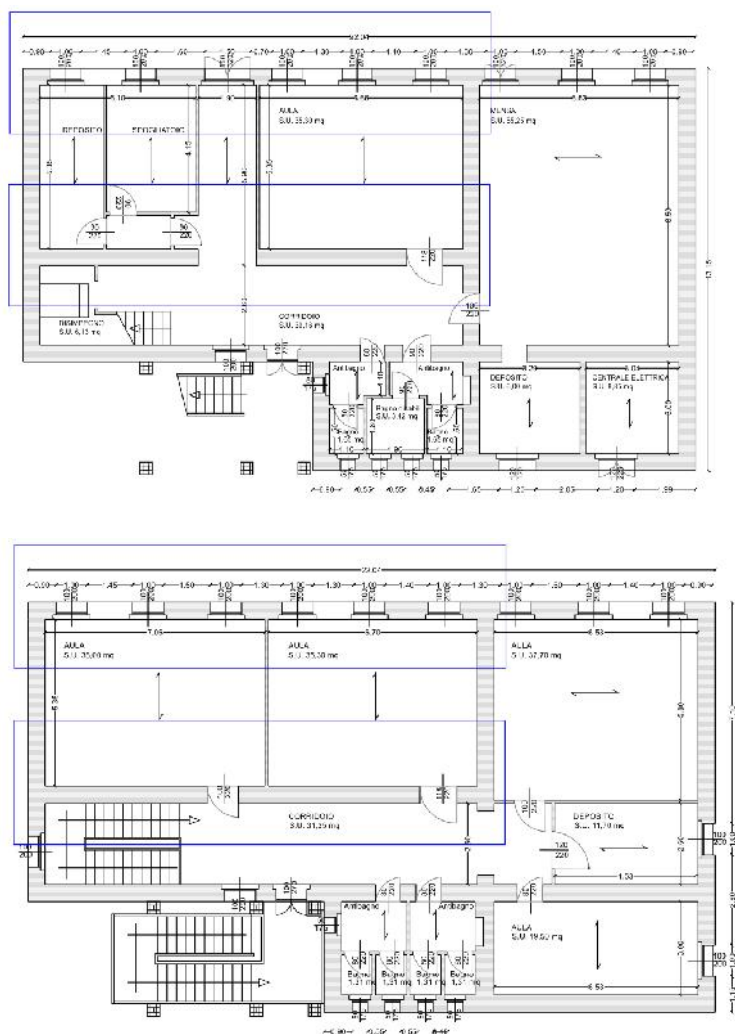


fig.11: vulnerabilità grave dell'edificio allo stato di fatto

Tra le note positive rientra la qualità della muratura e la resistenza residua della malta tutto sommato accettabili.

L'eccessiva distanza tra le murature di spina, unita alla ridotta capacità di vincolo esercitata a quota di impalcato e negli angoli tra i pannelli murari, favorisce la comparsa di pericolosi cinematismi locali di facciata in genere attivati da moltiplicatori sismici inferiori rispetto a quelli che sviluppano collasso della struttura; in particolare, tra questi cinematismi, la comparsa dell'effetto arco orizzontale può favorire il collasso prematuro della parete.

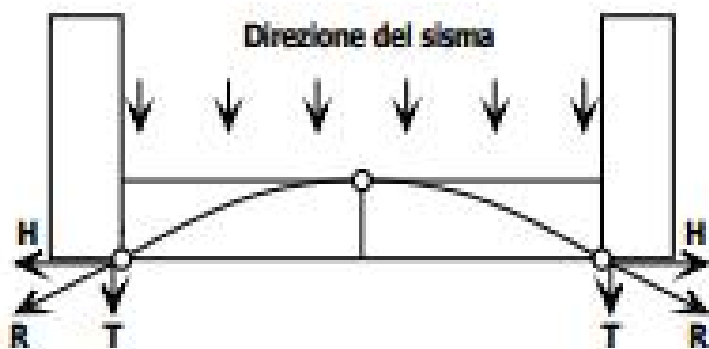


fig.12: meccanismo di formazione dell'effetto arco orizzontale

In effetti, anche se in maniera meno pronunciata, anche la parete perimetrale che delimita al piano terra il blocco della mensa ed al piano primo un'aula didattica ed il deposito in cui sono anche alloggiati gli inverter, caratterizzata per luci nette di 8,50 mt, può presentare la stessa criticità delle pareti di figura 11.

Nella verifica di vulnerabilità allo stato di fatto, nel seguito riportata, la modellazione con elementi bidimensionali consente di cogliere in maniera puntuale l'effetto di spanciamento delle pareti senza dover ricorrere a verifiche di cinematismi locali in genere caratterizzate da approcci molto cautelativi e talvolta eccessivamente pessimistici.

Alla luce di quanto esposto si riportano gli interventi di consolidamento previsti finalizzati sia alla correzione della vulnerabilità strutturale sia al rinforzo per raggiungere il livello di sicurezza in precedenza riportato.

Interventi di miglioramento previsti:

- 1) inserimento di una nuova trave di fondazione in cemento armato (sezione 80 x 80 cmq) necessaria per poter introdurre una nuova muratura di spina in muratura armata;
- 2) inserimento al piano terra ed al primo piano di una nuova parete di spina realizzata adoperando la tecnica della muratura armata con blocchi in laterizio semipieni ed armature diffuse in verticale $\phi 20$ mm in cinque posizioni ed armature orizzontali diffuse $\phi 14$ mm ogni due file di blocchi in laterizio; la nuova muratura armata è opportunamente innestata mediante cuciture armate innestate nelle murature esistenti con resina epossidica e serve a evitare cinematismi di facciata;

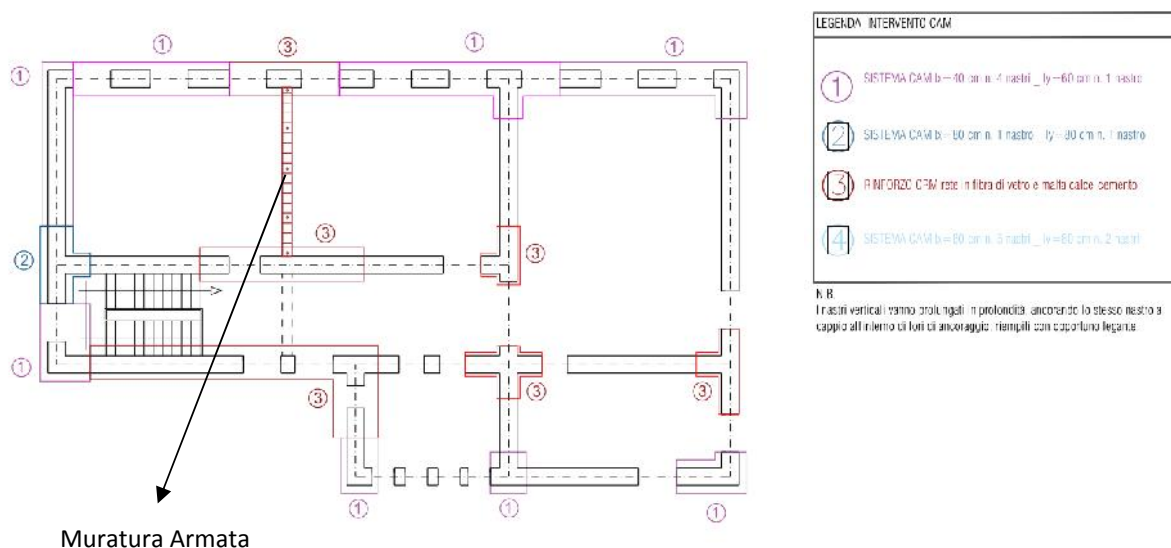
3) rinforzo delle murature esistenti mediante il sistema CAM (cuciture attive dei manufatti) che consiste nell'impacchettamento delle murature per mezzo di nastri di acciaio inox pretesi a formare dei reticoli spaziali di confinamento; il rinforzo in CAM assume sia la funzione di rinforzo per i maschi murari in deficit di resistenza sia per consentire un adeguato collegamento tra muratura e solaio a quota di impalcato per mezzo dei reticoli previsti;

4) rinforzo di alcune porzioni murarie per mezzo di un sistema composito CRM realizzato con rete in GFRP disposta sulle due facce del paramento murario collegata per mezzo di connettori passanti in GFRP; il betoncino ricoprente di piccolo spessore viene realizzato mediante malta calce _ cemento strutturale con maggiore traspirabilità rispetto al classico betoncino di cemento; nelle fasce previste si è optato per questa soluzione sia per rinforzare le murature sia per garantire un ingranamento efficace tra la nuova muratura armata e le murature esistenti; anche in copertura si dovrà procedere con un cucì/scucì per richiudere il varco presente in una quinta muraria;

5) realizzazione di cordolature in cemento armato in corrispondenza delle intersezioni tra i solai del piano primo e del sottotetto e la nuova muratura armata di spina.

In definitiva gli interventi previsti mirano a far acquisire al fabbricato un comportamento d'insieme di tipo globale sopperendo con le cuciture negli angoli e sulla linea degli impalcati alle carenze di collegamento tra elementi strutturali; l'inserimento della muratura armata che limita la luce libera delle pareti rappresentate in fig. 11 da 14,00 mt a 7,00 mt non solo bilancia ed impedisce il cinematismo di facciata ma al contempo riquadra l'assetto murario migliorando il modo di vibrare della struttura che diventa più regolare e compatta. Tra gli interventi si prevede anche l'inserimento di sistemi di antisfondellamento del solaio localizzato in posizioni critiche nelle quali si sono individuate lesioni più o meno pronunciate. A seguire si riportano le immagini rappresentative degli interventi previsti:

fig.13: tavola degli interventi strutturali



Pianta Fondazioni SDP

72
10
72
staffe ø10/10 L=500 cm

6 ø16
2 ø13

10 cm
10 cm

staffe ø10/10 L=500 cm

barre centrali su p. inf. e sup. a 7 barre ø 13

Trave di nuovo inserimento

Ingresso con bar e tralate

<p>Note strutturali</p> <p>Effetto am. ponderazione a riduzione a 25.</p> <p>Garanzia di uso con ancoraggio cilindrico.</p> <p>Ingresso la bar ø 13, ripresa con ricaduta nel 1° m.</p> <p>Welding/curvature del filo non prevista se necessario.</p>

The main drawing is a facade elevation of a building. It features a grid of windows and doors. The windows are labeled with circled numbers: 1, 2, and 3. The doors are labeled with circled numbers: 1, 2, and 3. The facade is divided into sections by vertical lines. The dimensions of the sections are indicated at the bottom: 1.50, 1.75, 2.70, 1.00, and 1.75. The total width is 10.30. The height is 10.30. The drawing is labeled 'PROSPETTO SUB-EST. scala 1:50'.

The detail drawing shows a cross-section of the masonry reinforcement system. It includes a grid of reinforcement bars (G.F.R.P.) and a mesh (FBMESH). The detail is labeled 'CONSOLIDAMENTO MURATURA INTERVENTO DI RINFORZO A-4 CONNETTORI MQ sistema FIBREBUILD FRCM di FIBRENET e EQUIVALENTE'.

Legend for the detail drawing:

- 1- Rete in G.F.R.P. - FBMESH
- 2- Pannello di ripartizione in rete G.F.R.P. - FBPAZ 33e
- 3- Resina adesiva - FCMVCE
- 4- Connettore in G.F.R.P. - FBCON L

Per approfondimenti si rimanda alle tavole del progetto strutturale.

-) Misura della vulnerabilità sismica stato di fatto: calcolo dell'indice di rischio

Nel presente paragrafo si riporta il modello di verifica della struttura dell'edificio di Lolla allo stato di fatto sulla base del quadro conoscitivo emerso dall'indagine strumentale, dal rilievo geometrico in campo e dalla consultazione degli elaborati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Pietragalla.

Si specifica che il programma di calcolo adoperato è il MasterSap di AMV software (regolarmente licenziato allo studio dell'ing. Diego Fabrizio con licenza n. 34599) con i suoi post-processor di verifica MasterMuri e Verifica Rinforzi e Muratura, quest'ultimo adoperato nella fase di progetto degli interventi. Si è proceduto con un'analisi dinamica lineare modellando la muratura come elementi tipo guscio/piastra caricati con i carichi propri, permanenti portati ed accidentali differenziati tra accidentale per affollamento scolastico e carico neve in copertura; si ritiene che queste tipologie di carico siano di fatto quelle da portare in conto in quanto significative ai fini della verifica; a seguire si riportano tabelle di sintesi e grafici rappresentativi della fase di input e di output; va specificato che la procedura di calcolo applicata si sviluppa nel modo seguente:

- a) costruzione del modello completo di carichi e definizione delle combinazioni di carico (ambiente MasterSap);
- b) definizione del sisma di progetto variando il tempo di ritorno e verificando le sollecitazioni massime (ambiente MasterSap);
- c) verifica dei maschi murari rispetto alle sollecitazioni del modello per un prefissato sisma con determinato tempo di ritorno;
- d) reiterazione dei passaggi b) e c) riducendo il sisma di progetto fino ad individuare una configurazione limite in cui il collasso dei maschi murari possa far dichiarare la struttura al limite delle sue capacità.

Attraverso il passaggio d) quindi si giunge all'individuazione dell'indice di rischio inteso come rapporto tra il terremoto limite della struttura e quello massimo atteso secondo le indicazioni di normativa. Nel caso in esame il procedimento interattivo ci ha consentito di stabilire che il terremoto limite per l'edificio di Lolla allo stato di fatto è relativo ad un tempo di ritorno di 50 anni con $a_g/g=0,0629$.

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	Modello scuola Lolla stato di fatto
Intestazione del lavoro	Scuola elementare di Lolla
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	m
Normativa	NTC-2018
Edificio esistente	

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III
Vita di riferimento	75 anni
Localita'	Pietragalla - Scuola di Lolla
Longitudine (WGS84)	15.7959
Latitudine (WGS84)	40.7495
Categoria del suolo	C
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	25
Periodo proprio T1 in direzione X	0.187
Periodo proprio T1 in direzione Y	0.246
Comportamento strutturale	Dissipativo

PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*S) (m/s^2)
SLO	45	0.0599	2.4010	0.31	1.54	1.50	0.881
SLD	75	0.0757	2.4480	0.34	1.50	1.50	1.114
SLV	712	0.0629	2.4100	0.32	1.53	1.50	0.926
SLE	712	0.1927	2.5200	0.43	1.38	1.41	2.663
SLC	1462	0.2475	2.5450	0.45	1.37	1.32	3.210

PARAMETRI SISMICI EDIFICIO ESISTENTE

SLV	50	0.0629	2.4100	0.32	1.53	1.50	0.926
------------	-----------	---------------	---------------	-------------	-------------	-------------	--------------

STATO LIMITE ULTIMO

Fattore di comportamento q per sisma orizzontale	qor=3
Fattore q per comportamento non dissipativo	qorND = 1.5
Duttilita'	Bassa Duttilita'

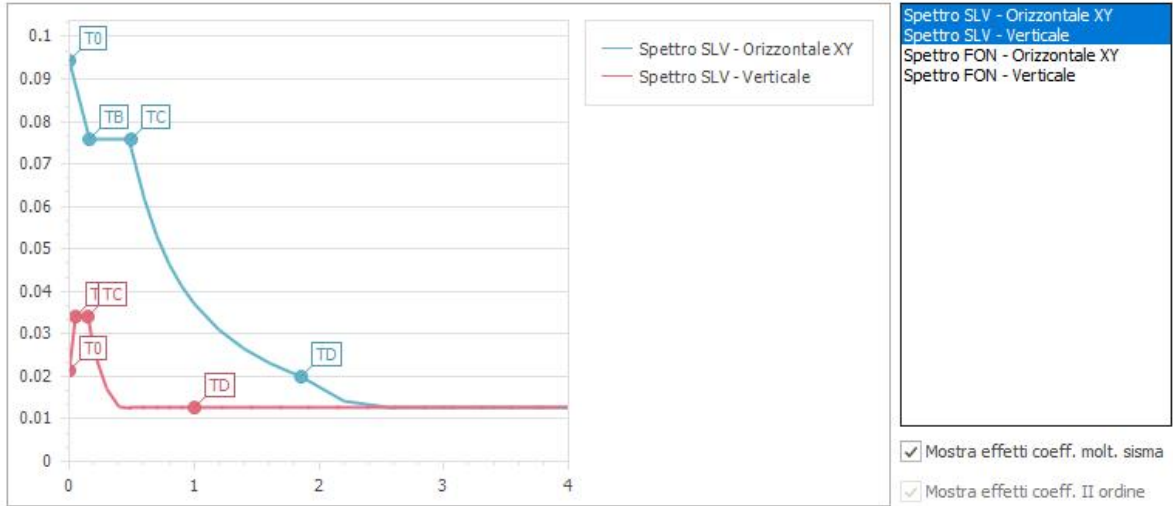
Carico distribuito con riferimento globale Z

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz. .	Aliq.inerz. z. SLD
Neve Zona III	5	Condizione 3	Variabile: Neve	-167.000000	0.000	-167.000000	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist.iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Peso proprio solaio h = 20+5 cm	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-300.000000	0.000	-300.000000	0.000	1.0000	1.0000
Massetto_ pavimento_intonaci	2	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-200.000000	0.000	-200.000000	0.000	1.0000	1.0000
Incidenza tramezzi_3.1.3 NTC2018_	3	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-160.000000	0.000	-160.000000	0.000	1.0000	1.0000
Categoria C1 - Aree con tavoli quali scuole, caff , ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	4	Condizione 2	Variabile: Aree di acquisto e congresso	-306.000000	0.000	-306.000000	0.000	0.6000	0.6000
Categoria A - Scale comuni, balconi, ballatoi	6	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-408.000000	0.000	-408.000000	0.000	0.3000	0.3000
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	7	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-51.000000	0.000	-51.000000	0.000	0.0000	0.0000
Copertura_ massetto_ tegole	8	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-100.000000	0.000	-100.000000	0.000	1.0000	1.0000
Impianto fotovoltaico	9	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-30.000000	0.000	-30.000000	0.000	1.0000	1.0000

Grafici spettri - Norme Tecniche delle Costruzioni 2018



Spettro SLV - Orizzontale XY	T0	TB	TC									
Periodo	0	0.163	0.49	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	1.6
Ampiezza	0.094	0.076	0.076	0.074	0.062	0.053	0.046	0.041	0.037	0.031	0.027	0.023
Spettro SLV - Verticale	T0	TB	TC									TD
Periodo	0	0.05	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Ampiezza	0.021	0.034	0.034	0.026	0.017	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013

Copia grafico

Stampa...

Chiudi

Lo spettro di progetto è scalato del fattore di sicurezza che è stato stimato pari a $q=3$ considerando nel complesso una regolarità della struttura in elevazione ed in pianta.

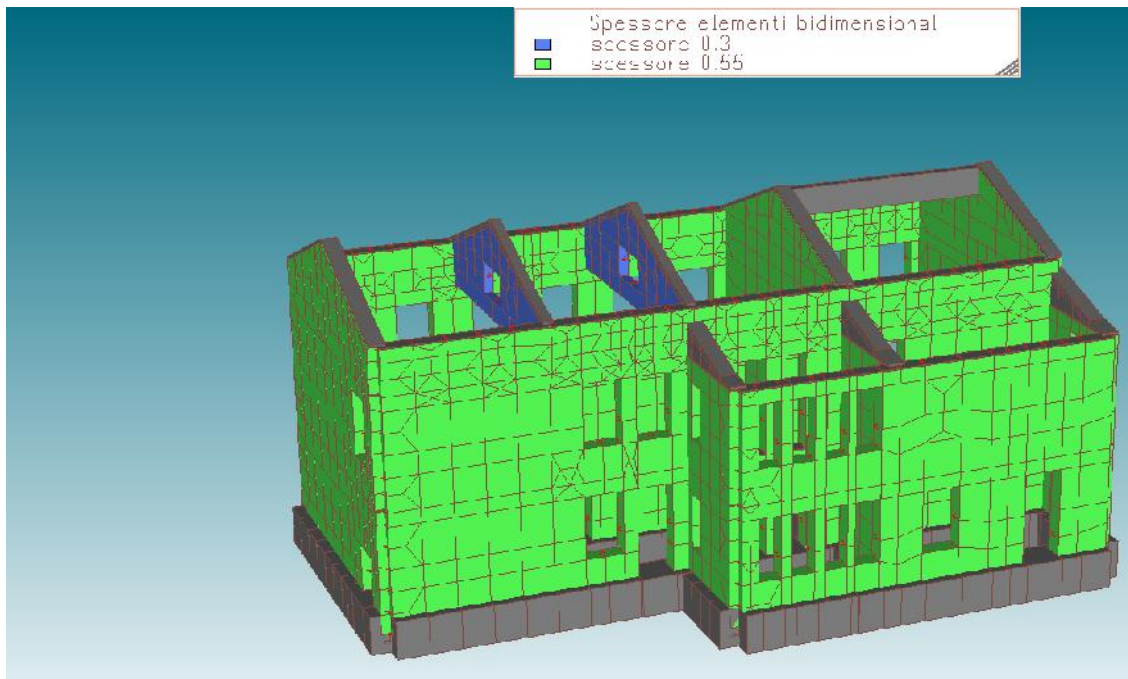


fig.16: modello solido dell'edificio allo stato di fatto

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
2	Statica prevalente domestici e residenziali	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
7	Statica accidentale scuola prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.500
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
8	Statica neve prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.000

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

			Variabile: Neve	Condizione 3	1.000
4	Frequente neve	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.200
5	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
9	Frequente scuola	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.700
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
10	Frequente domestici e residenziali	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
6	S.L.D.	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

Si è proceduto con un'analisi dinamica modale adoperando i primi 25 modi di vibrare; la composizione di questi modi di vibrare consente di raggiungere la massa eccitata minima prevista dalla normativa che deve essere almeno pari all' 85% della massa eccitabile. Si specifica che il numero elevato di modi di vibrare per ottenere il requisito precedente è indicativo di un inadeguato modo di vibrare della struttura; in pratica la presenza di una porzione di fabbricato prima di muri di spina rende significativi anche modi di vibrare superiori ai primi tre che invece caratterizzano edifici "regolari" per comportamento dinamico. I modi di vibrare e la loro risultante evidenzia inoltre quanto prima detto in ordine allo spanciamiento delle pareti prive di adeguati ritegni.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

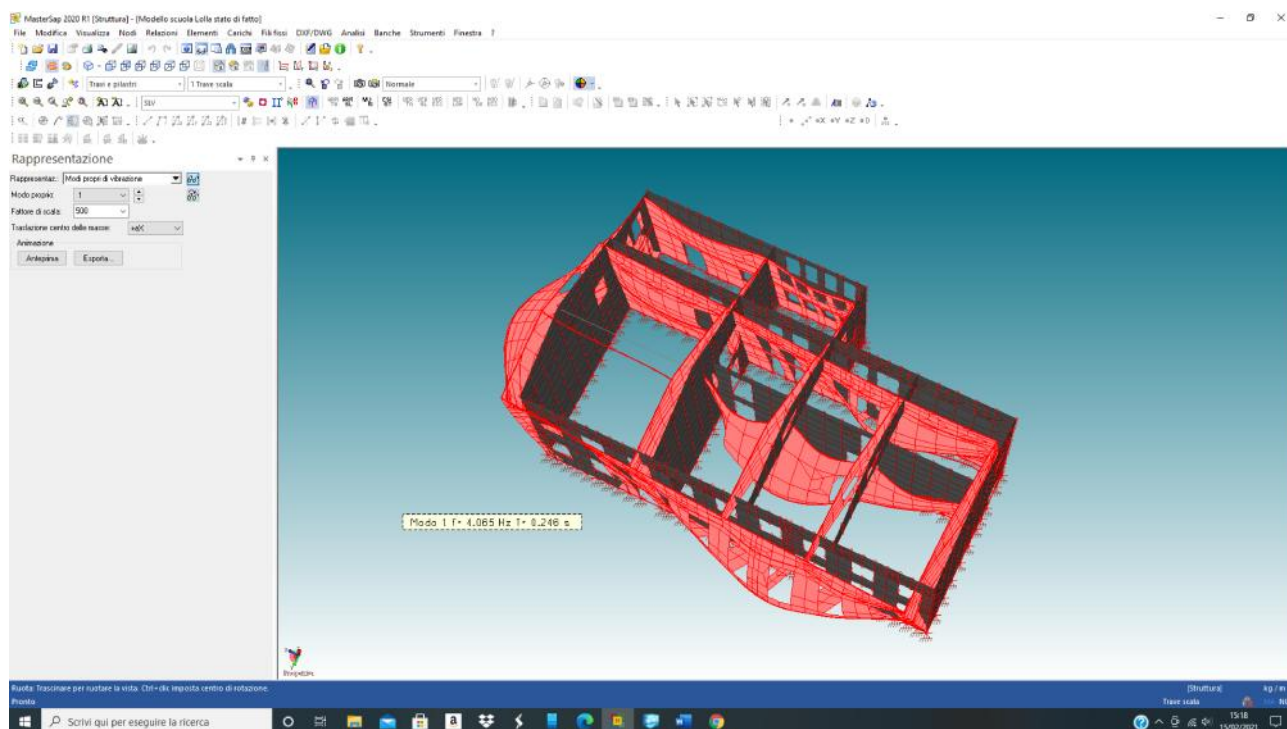


fig.17: modo di vibrare n.1 ($T=0,246$ sec.)

Appare evidente che le considerazioni fatte in precedenza in ordine alla vulnerabilità attuale dell'edificio sono confermate dal modello di calcolo agli elementi finiti; la massa eccitata con n. 25 modi di vibrare è superiore all'85% della massa sismica totale e pertanto è confermata la bontà del modello e dell'analisi.

Con il sisma prima specificato, dopo aver proceduto all'analisi con il MasterSap sul modello di calcolo, ed aver individuato la bontà del risultato, si procede con lo step successivo verificando i maschi murari nel post processore MasterMuri ; in pratica il modello di calcolo con i risultati viene importato in MasterMuri nel quale si individuano gli elementi strutturali (maschi murari) sismo-resistenti come aggregazione di elementi guscio; i maschi murari sono dei macro-elementi che vengono trattati in modo unitario; attraverso l'integrazione delle sollecitazioni agenti sui singoli gusci si ottiene la sollecitazione complessiva agente sul maschio che viene sottoposto alle verifiche previste dalla normativa vigente allo sforzo normale, taglio flessione nel piano e fuori piano; dal confronto tra azione e resistenza del maschio si definisce se la verifica è soddisfatta oppure non lo è.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

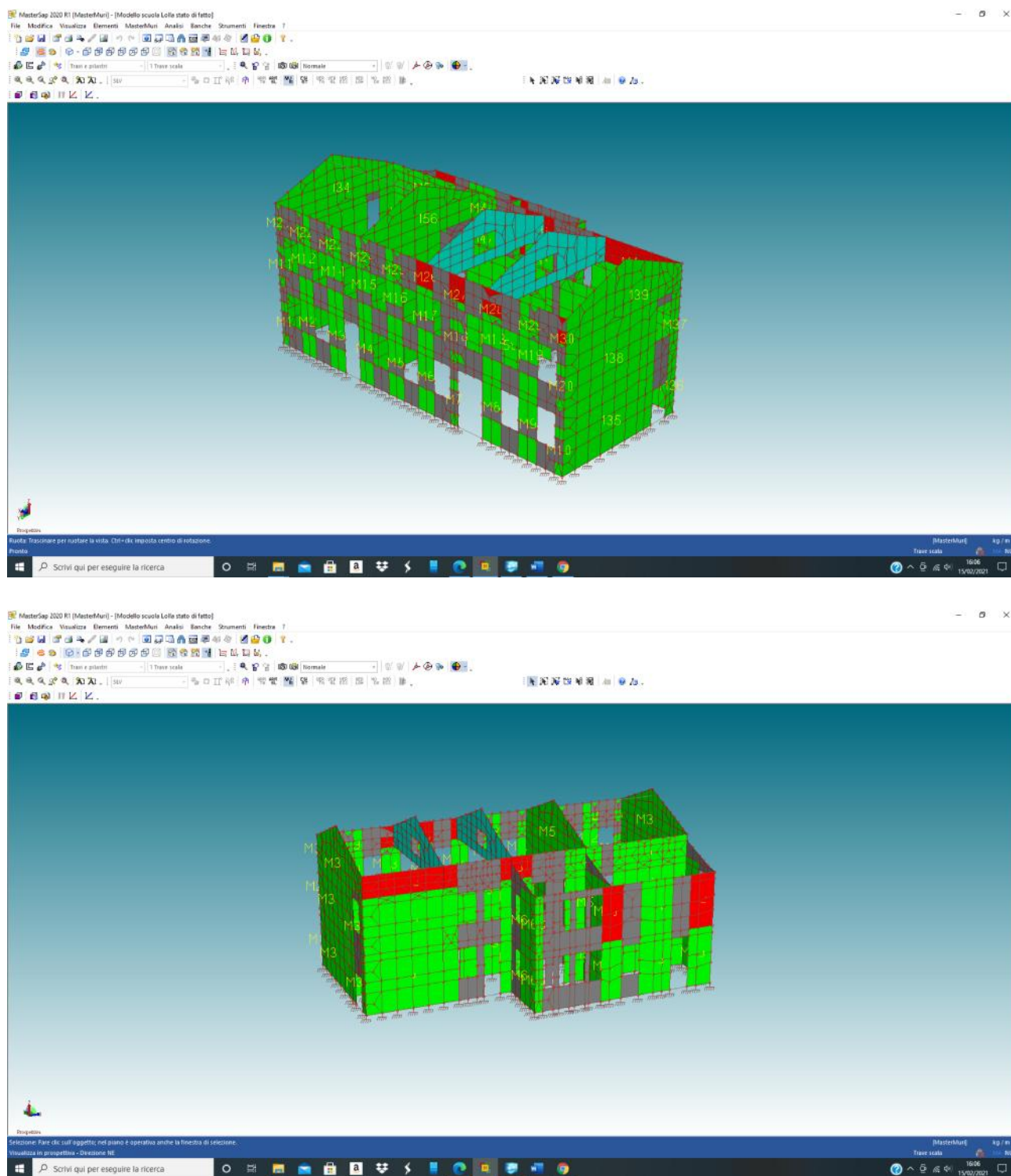


fig.18: definizione dei maschi murari (in verde) _ maschi murari non verificati (rosso)

La figura n. 18 mostra il posizionamento dei maschi murari che allo stato di fatto e a fronte di un terremoto con tempo di ritorno di 50 anni ($a_g/g = 0,0629$) non sono verificati; questo scenario può rappresentare uno scenario di collasso della struttura nel senso che tutte le murature perimetrali dei lati lunghi presentano localmente dei maschi al collasso e pertanto nel complesso la struttura ha raggiunto il limite di collasso.

-) Miglioramento sismico stato di progetto: calcolo dell'indice di rischio post-intervento

Sulla base di quanto emerso in ordine alla vulnerabilità attuale del fabbricato si sono previsti degli interventi di miglioramento la cui finalità non è semplicemente di rinforzare elementi in sofferenza per eccesso di sollecitazioni ma piuttosto di migliorare il comportamento complessivo della struttura; in particolare l'inserimento di un muro di spina con muratura armata, la messa in opera di una cerchiatura attiva sistema CAM sulle pareti ed a cavallo dei solai e l'inserimento di betoncino a base di malta calce /cemento con rete in GFRP di rinforzo ed al contempo di impacchettamento tra paramenti murari consente di migliorare il comportamento dinamico della struttura. La configurazione di progetto consente di migliorare il fabbricato dal punto di vista dinamico; i primi modi di vibrare consentono di raggiungere la massa eccitata prevista per norma (85% della massa complessiva) e si registra una limitazione dello spanciamiento.

STAMPA DEI DATI DI PROGETTO

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	Modello stato di progetto
Intestazione del lavoro	Scuola elementare di Lolla
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unità di misura delle forze	kg
Unità di misura delle lunghezze	m
Normativa	NTC-2018
Edificio esistente	

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III
Vita di riferimento	75 anni
Località	Pietragalla - Scuola di Lolla
Longitudine (WGS84)	15.7959
Latitudine (WGS84)	40.7495
Categoria del suolo	C
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricità accidentale	5%
Numero di frequenze	5
Periodo proprio T1 in direzione X	0.189
Periodo proprio T1 in direzione Y	0.177
Comportamento strutturale	Dissipativo

PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*S) (m/s^2)
SLO	45	0.0599	2.4010	0.31	1.54	1.50	0.881
SLD	75	0.0757	2.4480	0.34	1.50	1.50	1.114
SLV	712	0.1927	2.5200	0.43	1.38	1.41	2.663
SLC	1462	0.2475	2.5450	0.45	1.37	1.32	3.210

PARAMETRI SISMICI EDIFICIO STATO DI PROGETTO

SLV	253	0.1292	2.4760	0.40	1.43	1.50	1.901
------------	------------	---------------	---------------	-------------	-------------	-------------	--------------

STATO LIMITE ULTIMO

Fattore di comportamento q per sisma orizzontale	qor=3
--------------------------------------------------	-------

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

Fattore q per comportamento non dissipativo
Duttilita'

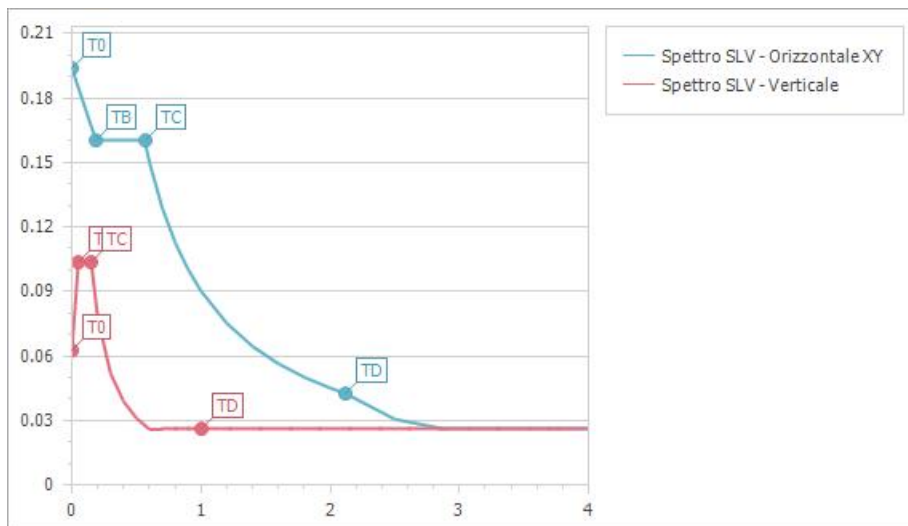
qorND = 1.5
Bassa Duttilita'

Carico distribuito con riferimento globale Z

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Neve Zona III	5	Condizione 3	Variabile: Neve	-167.000000	0.000	-167.000000	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist.iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Peso proprio solaio h = 20+5 cm	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-300.000000	0.000	-300.000000	0.000	1.0000	1.0000
Massetto_pavimento_intonaci	2	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-200.000000	0.000	-200.000000	0.000	1.0000	1.0000
Incidenza tramezzi_3.1.3 NTC2018_	3	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-160.000000	0.000	-160.000000	0.000	1.0000	1.0000
Categoria C1 - Aree con tavoli quali scuole, caff , ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	4	Condizione 2	Variabile: Aree di acquisto e congresso	-306.000000	0.000	-306.000000	0.000	0.6000	0.6000
Categoria A - Scale comuni, balconi, ballatoi	6	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-408.000000	0.000	-408.000000	0.000	0.3000	0.3000
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	7	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-51.000000	0.000	-51.000000	0.000	0.0000	0.0000
Copertura_massetto_tegole	8	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-100.000000	0.000	-100.000000	0.000	1.0000	1.0000
Impianto fotovoltaico	9	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-30.000000	0.000	-30.000000	0.000	1.0000	1.0000



Spettro SLV - Orizzontale XY	T0	TB	TC									
Periodo	0	0.188	0.564	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	1.6	1.8
Ampiezza	0.194	0.16	0.16	0.15	0.129	0.113	0.1	0.09	0.075	0.064	0.056	0.05
Spettro SLV - Verticale	T0	TB	TC									TD
Periodo	0	0.05	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Ampiezza	0.063	0.103	0.103	0.078	0.052	0.039	0.031	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

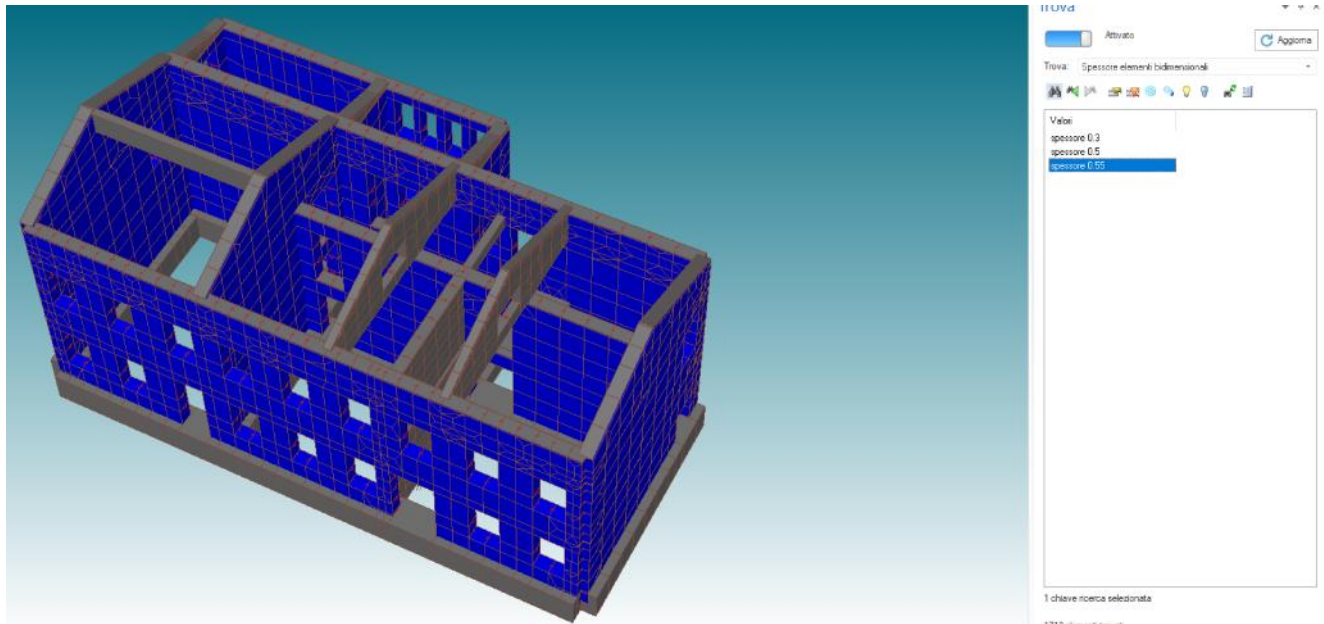


fig.19: modello stato di progetto spessore muri 55 cm

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
2	Statica prevalente domestici e residenziali	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
7	Statica accidentale scuola prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.500
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
8	Statica neve prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.000
4	Frequente neve	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.200
5	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
9	Frequente scuola	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.700
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
10	Frequente domestici e residenziali	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
6	S.L.D.	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

Si è proceduto con un'analisi dinamica modale adoperando i primi 5 modi di vibrare; la composizione di questi modi di vibrare consente di raggiungere la massa eccitata minima prevista dalla normativa che deve essere almeno pari all' 85% della massa eccitabile.

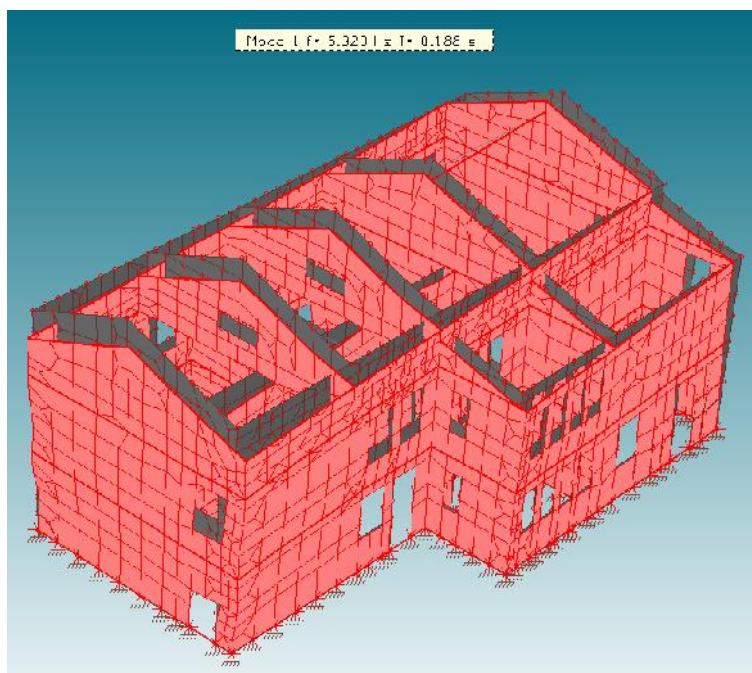


fig.20: modo di vibrare n.1 (T=0,188 sec.)

MASSA ECCITATA

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%
Modo: 1	+7.49e+04	57	+2.38e+04	18
Progressiva	+7.49e+04	57	+2.38e+04	18
Modo: 2	+2.53e+04	19	+8.55e+04	65
Progressiva	+1.00e+05	76	+1.09e+05	83
Modo: 3	+1.30e+04	10	+1.19e+03	1
Progressiva	+1.13e+05	86	+1.10e+05	84
Modo: 4	+3.99e+00	0	+1.14e-01	0
Progressiva	+1.13e+05	86	+1.10e+05	84
Modo: 5	+4.60e+02	0	+1.24e+04	9
Progressiva	+1.14e+05	86	+1.23e+05	93

Le masse eccitate dei primi tre modi di vibrare consentono di soddisfare il requisito normativo; questo dimostra che i correttivi predisposti nel modello per descrivere gli effetti indotti dalle lavorazioni previste risultano efficaci.

Con il sisma con tempo di ritorno di 196 anni , dopo aver proceduto all'analisi con il MasterSap sul modello di calcolo, ed aver individuato la bontà del risultato, si procede con lo step successivo verificando i maschi murari nel post processore MasterMuri ; in pratica il modello di calcolo con i risultati viene importato in MasterMuri nel quale si individuano gli elementi strutturali (maschi murari) sismo-resistenti come aggregazione di elementi guscio; i maschi murari sono dei macro-elementi che vengono trattati in modo unitario; attraverso l'integrazione delle sollecitazioni agenti sui singoli gusci si ottiene la sollecitazione complessiva agente sul maschio che viene sottoposto alle verifiche previste dalla normativa vigente allo sforzo normale, taglio flessione nel piano e fuori piano; dal confronto tra azione e resistenza del maschio si definisce se la verifica è soddisfatta oppure non lo è; nel caso di progetto dopo aver fatto la verifica ed isolato gli elementi che non la soddisfano come "muratura di pietra a spacco di buona tessitura" o come "muratura nuova di laterizio" si procede con la verifica di dettaglio utilizzando l'applicativo di AMV software "Verifiche rinforzi e murature" che consente di dimensionare il sistema CAM o le armature (numero e diametro) per la muratura armata che garantiscono la verifica del maschio murario rinforzato.

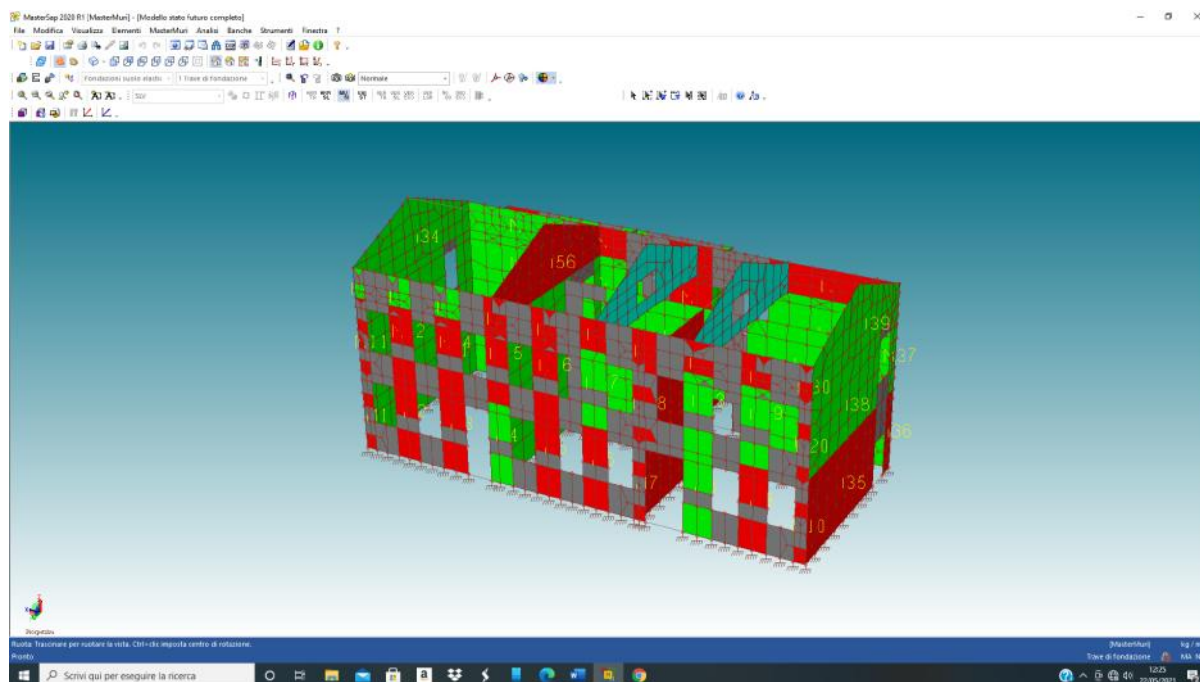
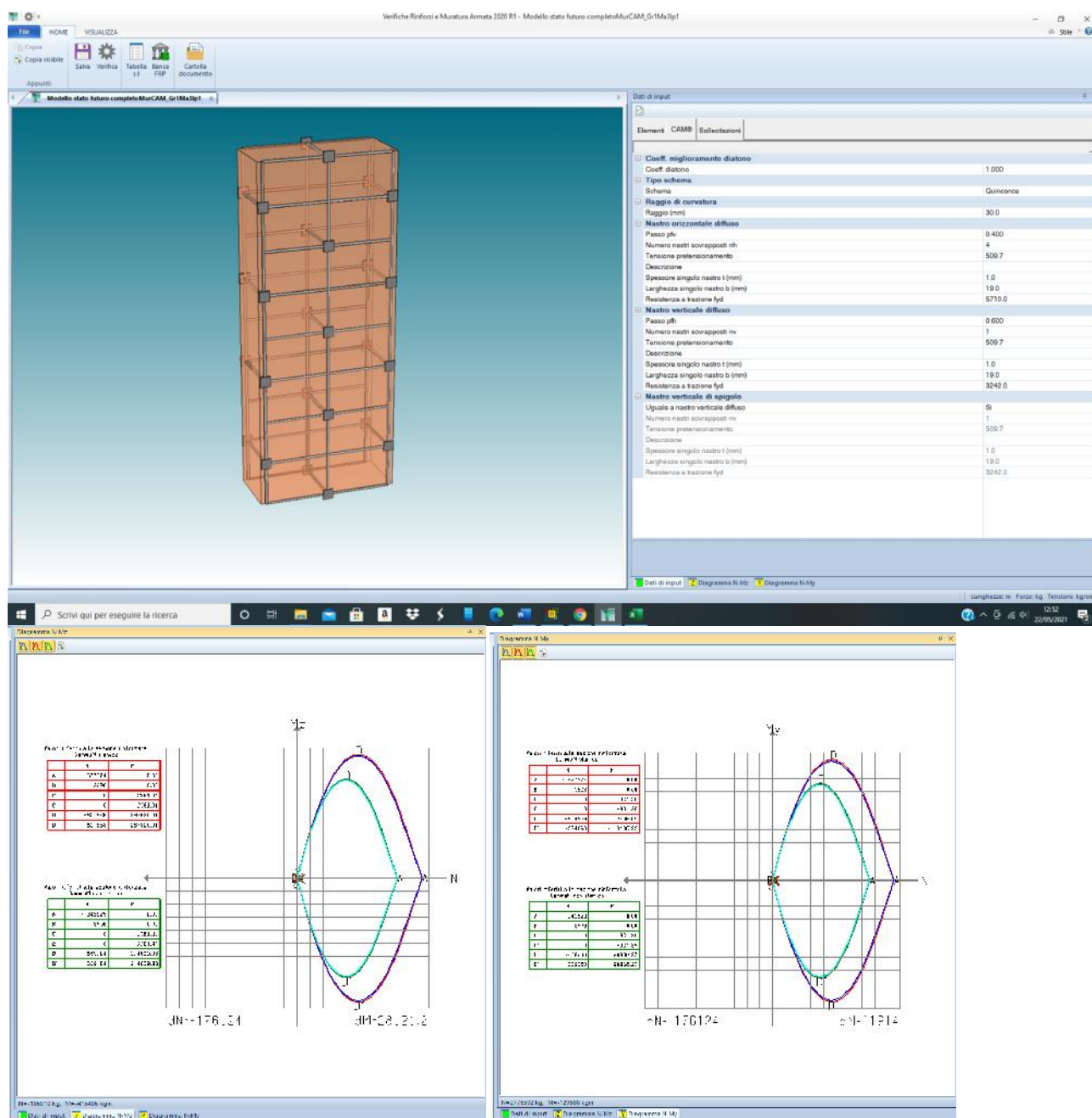


fig.21: maschi murari non verificati successivamente sottoposti a rinforzo CAM e Muratura Armata

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza)_consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

A fronte di un sisma di progetto con tempo di ritorno di 196 anni, dopo l'inserimento di una muratura di spina in laterizio e con il miglioramento dei collegamenti tra gli elementi strutturali si registra un miglioramento del comportamento sismico della struttura unitamente ad una ripartizione delle azioni; sono limitati e non più significativi i meccanismi locali. Alcuni maschi murari, modellati in MasterMuri come elementi in "muratura di pietra a spacco di buona tessitura" non verificano e pertanto abbisognano di un intervento di rinforzo come specificato in precedenza; rimandando ai fascicoli per approfondimenti nella presente relazione si riportano due verifiche di riferimento per far comprendere come si è proceduto nei fascicoli di calcolo; in particolare si mostra la verifica del maschio n. 3 (attraverso l'applicazione del sistema CAM) e quella del maschio n. 57 (attraverso l'impiego di muratura armata).

Verifica del maschio n. 3 sistema CAM (programma Rinforzi e verifica muratura di AMV)

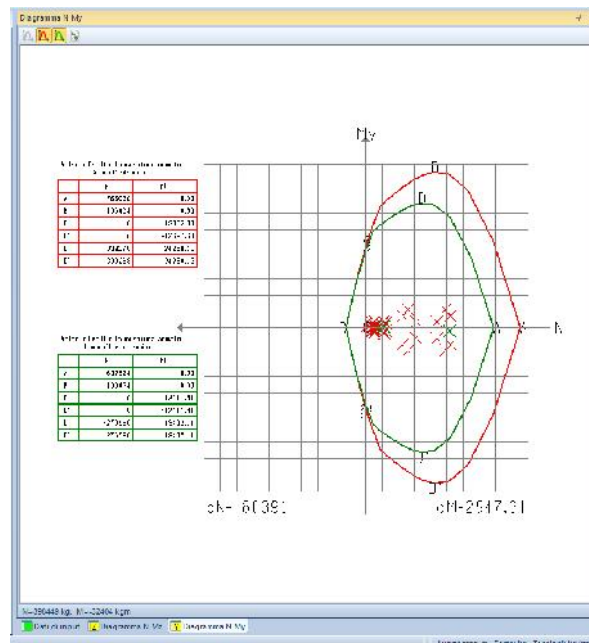
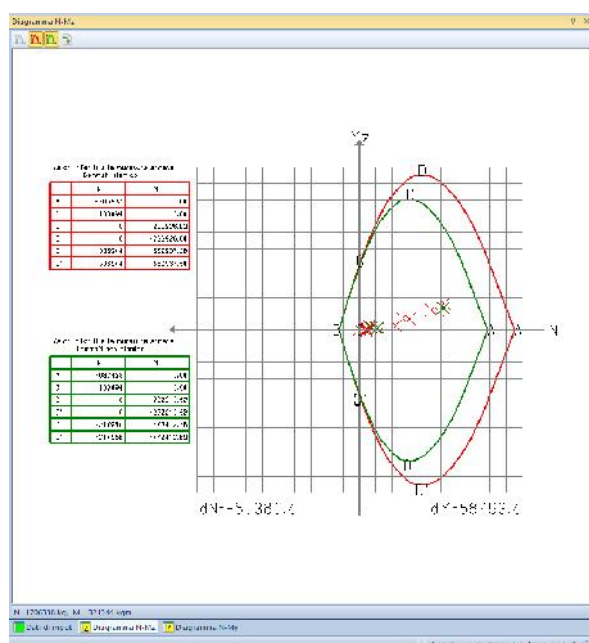
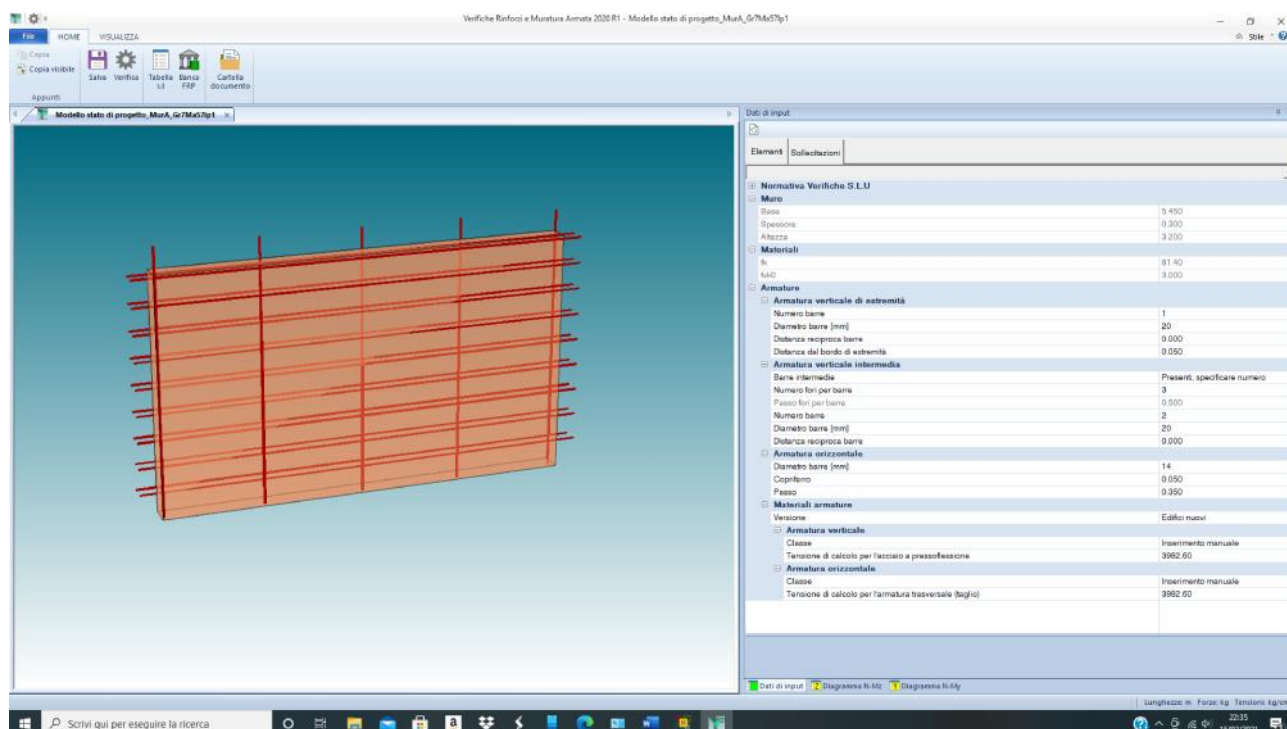


Nel caso del maschio n.3 la verifica con il rinforzo scelto conformemente a quanto riportato nelle tavole di progetto restituisce esito positivo e le coppie delle sollecitazioni rientrano nel dominio di resistenza della

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza)_consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

sezione rinforzata. Analogamente si è fatto per gli altri maschi murari le cui verifiche sono riportate nel fascicolo di calcolo a cui si rimanda per approfondimenti.

MURATURA ARMATA



E' possibile verificare che la muratura armata ha un indice di resistenza di 0,87 ovvero è al limite della prestazione che può garantire; questo significa che l'elemento rinforzato è verificato rispetto all'azione del sisma di progetto ma conserva, seppur in minima percentuale, un ulteriore margine di resistenza.

Sistema CRM in GFRP

CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA RINFORZATA MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEL SISTEMA DI RINFORZO FIBREBUILD INTONACO ARMATO

Si procede alla determinazione delle caratteristiche meccaniche equivalenti di una muratura rinforzata con il sistema di rinforzo della Fibre Net S.r.l..

Caratteristiche della muratura di partenza:

Caratteristiche meccaniche di resistenza e rigidezza della muratura da voi indicate:

Tipologia:	Muratura in pietre a spacco di buona tessitura
Livello di conoscenza:	LC1 (Fattore di confidenza FC = 1,35)
$f_m = 2,504$ MPa	Tensione media a compressione;
$\tau_0 = 0,054$ MPa	Tensione media tangenziale;
$G = 580$ MPa	Modulo di elasticità tangenziale;
$t_m = 500$ mm	Spessore medio della muratura;

I valori di resistenza meccanica soprariportati, sono già divisi per il fattore di confidenza e moltiplicati per i fattori correttivi adottati.

Caratteristiche della muratura rinforzata con intonaco e rete in GFRP:

Si procede ora alla determinazione dei risultati derivanti dall'applicazione, su entrambe le facce della muratura, di un intonaco armato con rete FB MESH in GFRP di Fibre Net S.r.l.. Il rinforzo verrà collegata alla muratura applicando un numero di connessioni al mq pari a 4

Caratteristiche meccaniche della malta:

Tipo 1:	Fibre Net- MATERIA RINFORZA – RZ 210
$f_{c,int} = 10$ MPa	Resistenza media a compressione;
$f_{t,int} = 1$ MPa	Resistenza media a trazione;
$E_m = 8000$ MPa	Modulo elastico medio.

Parametri di resistenza meccanica della muratura rinforzata:

Si riportano le caratteristiche meccaniche della muratura rinforzata.

Caratteristiche geometriche del rinforzo:

Tipo di rete utilizzata:	FBMESH 66x66T96AR
Malta da intonaco:	Fibre Net – MATERIA RINFORZA – RZ 210
Spessore dell'intonaco:	25 mm
Tipo di connessione:	Passante
Numero di connettori:	4 Connettori al mq

Caratteristiche meccaniche della muratura rinforzata ottenute dal calcolo:

Resistenza a compressione:	$f_{c,calc} = 2,504 \text{ MPa};$
Resistenza a taglio muratura rinforzata:	$\tau_{0,calc} = 0,149 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità tangenziale:	$G_{calc} = 1451 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità normale:	$E_{calc} = 1451 / 0,4 = 3627,5 \text{ MPa}.$

Verifica del rinforzo:

Cedimento a compressione della malta da intonaco:	$\delta_1 = 1,119$
Cedimento a trazione del filo della rete:	$\delta_2 = 1,221$

IL DIMENSIONAMENTO È CORRETTO

Caratteristiche meccaniche della muratura rinforzata consigliate per il calcolo:

Resistenza a compressione:	$f_{c,calc} = 2,504 \text{ MPa};$
Resistenza a taglio muratura rinforzata:	$\tau_{0,calc} = 0,149 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità tangenziale:	$G_{calc} = 1451 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità normale:	$E_{calc} = 1451 / 0,4 = 3627,5 \text{ MPa}.$

I valori di resistenza meccanica sono già divisi per il fattore di confidenza ma non per il coefficiente di sicurezza γ_m . Tale coefficiente può essere assunto pari a 2,00 nel caso si conducano sul fabbricato delle analisi di tipo lineare, pari a 1,00 nel caso di analisi non lineari (es. analisi pushover) e può essere assunto pari a 3,00 per le verifiche, sui maschi murari, alle azioni gravitazionali.

3. Materiali impiegati nella costruzione

I materiali strutturali adoperati nella costruzione per le opere di nuovo inserimento sono i seguenti:

-) Calcestruzzo per uso strutturale:

Tipologia strutturale:	Elevazioni
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	300 daN/cm ²
Condizioni ambientali:	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia o in interni con umidità da moderata ad alta
Classe di esposizione:	XC3
Rapporto acqua/cemento max:	0.55
Classe di consistenza:	S5 (fluida)
Diametro massimo aggregati:	32 mm
Tipologia strutturale:	Fondazioni
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	300 daN/cm ²
Condizioni ambientali:	Strutture completamente interrato in terreno permeabile.
Classe di esposizione:	XC2
Rapporto acqua/cemento max:	0.60
Classe di consistenza:	S4 (Plastica)
Diametro massimo aggregati:	32 mm

Classi di resistenza dei calcestruzzi															Relazione analitica/Spiegazione
$f_{ck,cyl}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln [1 + (f_{cm}/10)] > C50/60$
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ frattile 5%
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 \cdot f_{ctm}$ frattile 95%
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 \cdot [(f_{cm}/10)]^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)

Dosatura dei materiali.

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione o aggressione	Corrosione causata da carbonatazione				Corrosione causata da cloruri						Aggressione da gelo				Ambiente chimico aggressivo		
						Acqua marina			Cloruri ad esclusione di acqua marina									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Rapporto max a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe min. res. a compr.	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto min. cemento (kg/m3)	-	260	280	290	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto min. aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	-	-	-
Altri requisiti												Granulometria inerti sec. prEN 12620:2000 con sufficiente resistenza al gelo e ai sali scongelanti				Cemento resistente ai solfati		

^a Qualora non venga impiegato calcestruzzo porizzato, le sue caratteristiche vanno verificate con un idoneo procedimento di prova rispetto a quelle del CLS per cui è stata accertata la resistenza al gelo-sali scongelanti per le classi di esposizione determinanti

^b Se la presenza di SO4⁻ comporta le classi di esposizione XA2 e XA3, è indispensabile l'impiego di cemento resistente ai solfati. Quando il cemento è classificato riguardo alla resistenza ai solfati, va impiegato cemento con moderata o elevata resistenza ai solfati per la classe di esposizione XA2 (e per la classe di esposizione XA1, se attinente) e cemento con elevata resistenza ai solfati per la classe di esposizione XA3.

-) Acciaio per C.A.

Acciaio per C.A. B450C	
f _{yk} tensione nominale di snervamento:	≥ 4580 kg/cm ² (≥ 450 N/mm ²)
f _{tk} tensione nominale di rottura:	≥ 5500 kg/cm ² (≥ 540 N/mm ²)
f _{td} tensione di progetto a rottura:	f _{yk} / γ _S = f _{yk} / 1.15 = 3980 kg/cm ² (= 391 N/mm ²)

L'acciaio dovrà rispettare i seguenti rapporti:

$$f_y / f_{yk} < 1.35 \quad f_t / f_y \geq 1.15$$

Diametro delle barre: $\phi \leq \phi 40$ mm.

E' ammesso l'uso di acciai forniti in rotoli per diametri ≤ 16 mm.

Reti e tralicci con elementi base di diametro $\phi \leq \phi 16$ mm.

Rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci: $\phi_{\min}/\phi_{\max} \geq 0.6$

Per le procedure di accettazione e per i controlli sull'acciaio strutturale si rimanda a quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni "NTC2018".

-) Blocchi e malta per muratura armata

(Riferimento D.M. 17.01.2018, par. 11.10)

Caratteristiche minime dei materiali impiegati per la costruzione delle strutture analizzate con la presente relazione, secondo il D.M. 20/11/1987 (e riprese nel D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni").

Modulo di elasticità normale secante E: $E = 1000 \cdot f_k$

Modulo di elasticità tangenziale secante G: $G = 0.4 \cdot E$

Parametri caratteristici:

f_k : resistenza caratteristica a compressione della muratura;

f_{vk0} : resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali; $f_{vk0} = 0.7 f_{vm}$;

f_{vk} : resistenza caratteristica a taglio in presenza di tensioni di compressione;

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \sigma_n;$$

Valore della f_k per murature in elementi artificiali pieni e semipieni

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento N/mm ²	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2.0	1.2	1.2	1.2	1.2
3.0	2.2	2.2	2.2	2.0
5.0	3.5	3.4	3.3	3.0
7.5	5.0	4.5	4.1	3.5
10.0	6.2	5.3	4.7	4.1
15.0	8.2	6.7	6.0	5.1
20.0	9.7	8.0	7.0	6.1
30.0	12.0	10.0	8.6	7.2

40.0	14.3	12.0	10.4	--
------	------	------	------	----

-) Rinforzo in CRM

Sistema di rinforzo strutturale che utilizza reti, connettori e accessori preformati in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) abbinati a malte a base di calce o cementizie, per realizzare degli intonaci armati sottili, collaboranti, reversibili e collegati trasversalmente, che migliorano le resistenze al taglio, alla flessione e alla compressione della muratura.

Caratteristiche	FBMESH_T96	FBMESH_T192
Dimensioni della maglia	33x33 / 66x66 / 99x99 mm	66x66 / 99x99 mm
Sezione minima della singola barra	8,9 mm ²	14,1 mm ²
Spessore della barra	≥ 2,5 mm	≥ 3,0 mm
Dimensioni del rotolo	Ø 50÷70 (esterno) x 200 cm	Ø 50÷70 (esterno) x 200 cm
Resistenza a trazione della barra (caratteristico) ⁽²⁾	4,3 kN	5,5 kN
Modulo elastico del composito ⁽²⁾	25000 MPa	25000 MPa
Resistenza a strappo del nodo (caratteristico) ⁽²⁾	0,25 kN	0,43 kN
Allungamento medio a rottura della barra ⁽²⁾	1,8 %	1,3 %
Tensione a trazione del composito (caratteristico) ⁽²⁾	375 MPa	390 MPa
Decadimento di resistenza a trazione e del modulo elastico per l'ambiente umido, alcalino e salino	< 10%	< 15%
Reazione al fuoco ⁽²⁾	Classe A2-s1, d0, Classe B-s1, d0	Classe B-s1, d0

Caratteristiche	FBCALCEM	FBCALCEM 10MPa	FBCALCEM 15MPa	FBCALCEM 20MPa	FBRASACEM a
Tipologia di legante	calce e cemento	calce e cemento	calce e cemento	calce e cemento	calce e cemento
Resistenza a compressione (MPa)	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20	-
Modulo elastico (GPa)	-	≤ 8	≤ 10	≤ 15	-
Classe e tipologia	III - GP	IV - GP	IV - GP	IV - GP	IV - GP
Resistenza a compressione – 28 giorni	≥ 5,0	≥ 10	≥ 15	≥ 20	-
Resistenza a flessione – 28 giorni	≥ 1	≥ 1,5	≥ 1,5	≥ 4	-
Adesione al supporto in laterizio	≥ 0,2	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 0,5	-
Adesione al supporto in cls	≥ 0,5	≥ 1,0	≥ 1	≥ 1	-

-) Rinforzo sistema CAM

Il sistema CAM è realizzato con nastri in acciaio inox con le seguenti caratteristiche:

Tipo 1 - Nastri per disposizione verticale ed orizzontale – 1.4301/1.4307 EN10088-4 (acciaio INOX AISI 301)

- spessore 0.9 e larghezza 19 mm

- resistenze a snervamento $f_{yk} \geq 350 \text{ N/mm}^2$ e a rottura $f_{tk} \geq 650 \text{ N/mm}^2$

- allungamento a rottura almeno pari al 35%.

Per la resistenza del nastro, la resistenza di calcolo a trazione $N_{t,Rd}$ è assunta pari al minore fra $N_{pl,Rd}$ resistenza plastica della sezione lorda A e la resistenza $N_{u,Rd}$ a rottura della sezione netta A_{net} in corrispondenza della giunzione per la quale è garantita una resistenza minima pari al 70% della resistenza del nastro stesso.

$$f_{yd} = \min \left\{ \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}, \frac{0.7 \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\}$$

dove $\gamma_{M0} = 1,10$ (UNI EN 1993-1-4) e $\gamma_{M2} = 1,25$

Si considera quindi una tensione di calcolo pari a $f_{yd1} = 318\text{MPa}$ e $f_{yd2} = 560\text{Mpa}$.

-) Muratura dello stato di fatto

La stazione appaltante ha commissionato una campagna di indagine, descritta nella Relazione Specialistica a cui si rimanda per approfondimenti, che ha consentito di caratterizzare la muratura come muratura di pietra a spacco di buona tessitura alla quale si possono associare le seguenti caratteristiche meccaniche.

Prova con martinetto

Modulo di elasticità normale (MPa)		Resistenza a compressione (MPa)	Modulo di elasticità tangenziale (MPa)		Resistenza a taglio (MPa)
1° ciclo	2° ciclo	3.06	1° ciclo	2° ciclo	0.068
2541	2753		847	918	

Prove penetrometriche su malta

w_m	Dev. Std	f_c (MPa)	Class. DM 87	Class. NTC 2018
0.97	0.33	4.59	M4	M 2.5

4. Fondazione e modello geotecnico

Il modello geotecnico adoperato per il calcolo della fondazione di nuovo inserimento (trave sottesa alla nuova parete in muratura armata) prevede di modellare il terreno come mezzo omogeneo a comportamento attritivo e mediamente coesivo a cui possono associarsi i seguenti parametri desunti dalla letteratura tecnica:

-) $\gamma' = 1.90$ ton/mc (peso per unità di volume);
-) $c' = 0.20$ Kg/cm²;
-) $\phi' = 24^\circ$ (angolo di attrito interno).

I parametri del modello geotecnico sono desunti in accordo con quanto previsto nella Relazione Geologica redatta dal Geol. Marroccoli Sante Massimiliano nell'ambito della verifica di vulnerabilità sismica del fabbricato di che trattasi consegnata nel mese di marzo 2019. Per il deposito agli uffici della Regione Basilicata per il tramite del SIS (Sistema Informativo Sismica) del presente progetto strutturale sarà necessaria una specifica Relazione Geologica appositamente redatta per l'intervento in progetto. La condizione di maggiore criticità è quella drenata; nelle verifiche della fondazione con il modello alla Winkler (letto di molle) si è adoperato un coefficiente di rigidezza "K" del terreno pari a 3.50 Kg/cm³ in base a parametri di deformabilità tipici di queste litologie; l'approccio che si segue è quello A1+M1+R3 applicando i coefficienti $\gamma_r=2,3$ per il carico limite e $\gamma_r=1,1$ per lo scorrimento.

Il calcolo è stato condotto con la seguente modalità:

-) acquisizione delle reazioni vincolari involuppo (si vedano figure n. 41 e 42) dedotte dal modello di calcolo con amplificazione delle azioni sismiche (coeff. 1,10);
-) definizione di un modello di verifica del tipo trave su letto di molle alla Winkler caricata con le reazioni vincolare del punto precedente;
-) acquisizione dei risultati (sollecitazione e scarico al suolo) nelle varie sezione del modello a trave;
-) verifica a carico limite (schema di Terzaghi corretto) e di scorrimento.

A seguire si riporta il fascicolo del risultato della fondazione secondo il modello a trave ed a seguire le verifiche geotecniche e strutturali.

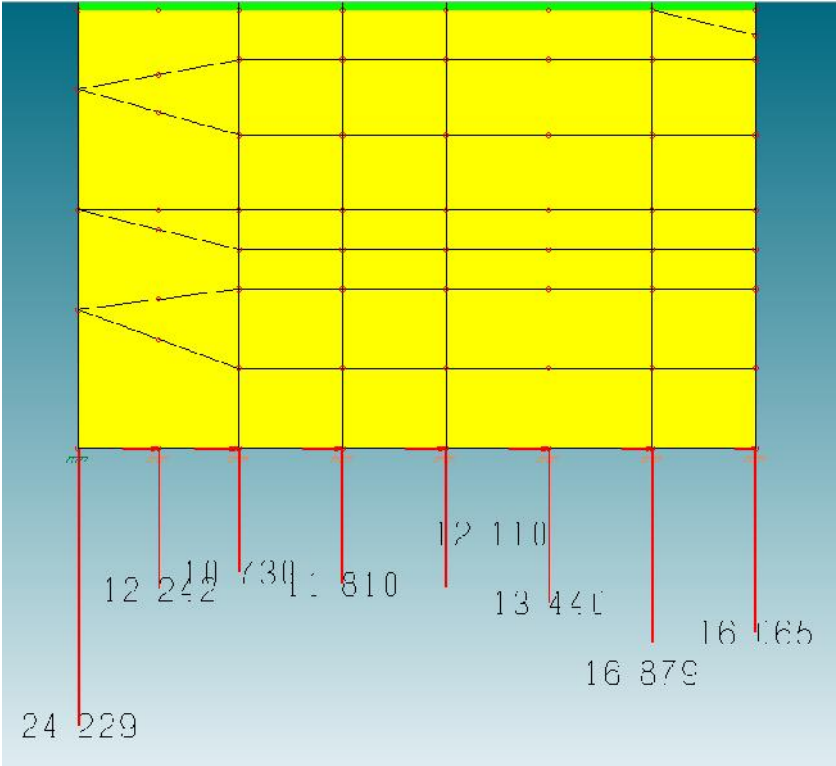


Fig. 22 Reazioni vincolari su trave di fondazione (equilibrio verticale)

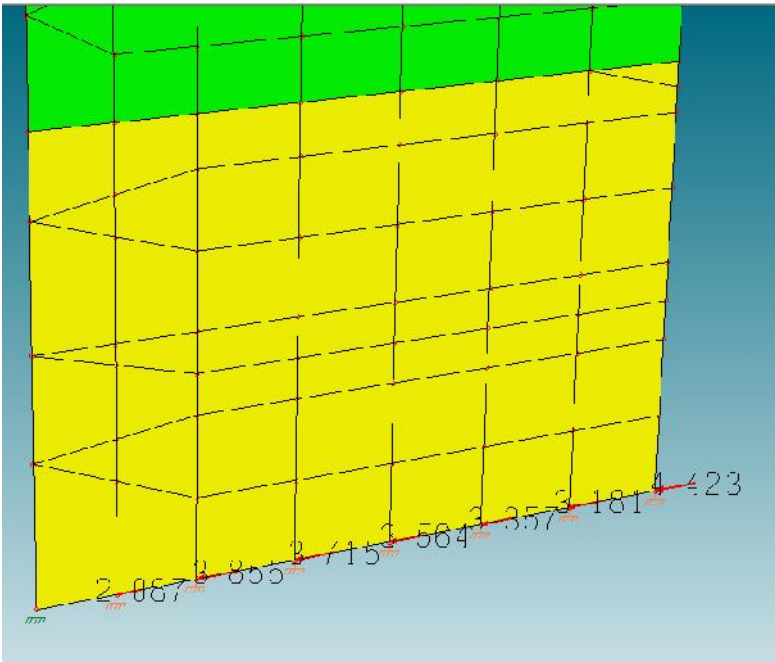


Fig. 23 Reazioni vincolari su trave di fondazione (equilibrio orizzontale)

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

In ordine alla verifica secondo il modello indicato si ottiene:

$$\sigma_{\max \text{ terreno}} = 0,247 \text{ N/mm}^2 = 2,47 \text{ kg/cm}^2 = \sigma_{\max \text{ agente}}$$

$$M_{\max} = 72,4 \text{ KNm}$$

Verifica a carico limite

La verifica viene condotta con la formula trinomia di Terzaghi:

$$q_{\lim} = N_q \gamma D + N_c C + N_\gamma \gamma B/2 = 18,24 + 38,64 + 7,17 = 64,05 \text{ ton/m}^2$$

I parametri N_q , N_c e N_γ della formula trinomia sono funzione dell'angolo di attrito del terreno e sono stati stimati sulla base delle tabelle riportate alla pagina 149 del testo "Fondazioni" del prof. Carlo Viggiani editore CUEN.

$$q_{\max} = q_{\lim} / \gamma_r = 64,05 / 2,3 = 27,84 \text{ ton/m}^2 = 2,78 \text{ kg/cm}^2 > 2,47 \text{ kg/cm}^2 \text{ (**Verifica soddisfatta**)}$$

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	800	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	760	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	6	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1206	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	6	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1206	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE			
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	ω_s		[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ		[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ		[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}		[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}		[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ_3		[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}		[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}		[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_s(a)$		[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_s(b)$		[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_s(s)$		[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}		[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}		[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3		[-]
	ω'_3		[-]
Armatura simmetrica			
Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ		[-]
Posizione dell'asse neutro	x		[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\epsilon_{c,max}$		[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\epsilon_{s,max}$		[-]
Coefficiente di riempimento	β		[-]
Coefficiente di baricentro	κ		[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s		[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s		[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ϵ'_s		[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	339,88	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	72,4	[kNm]

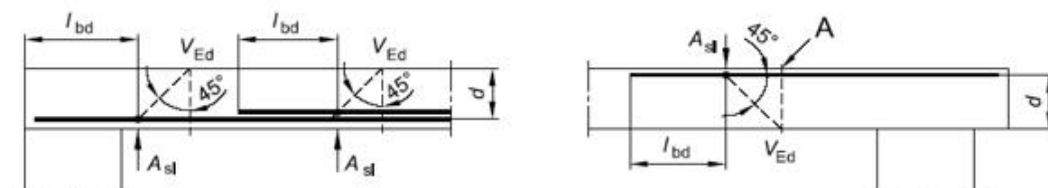
VERIFICA STRUTTURALE A FLESSIONE SODDISFATTA

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	126,1	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		NO	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,51	[-]
		1,51	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0,001984	[-]
		0	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	0,00	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	198,01	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	198,01	[kN]
§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	10	[mm]
Numero di braccia	n_b	2	[-]
Passo delle staffe	s	100	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	157	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	684	[mm]
Cotangente di θ	$\cot\theta$	1,00	[-]
		1,00	[-]
Cotangente di α	$\cot\alpha$	0,00	[-]
Seno di α	$\sin\alpha$	1,00	[-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rsd}	420,43	[kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f_{cd}	7,08	[MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rcd}	1938,00	[kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	868,89	[mm ²]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	420,43	[kN]
§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE			
Resistenza massima a taglio della trave	V_{Rd}	2153,33	[kN]

VERIFICA STRUTTURALE A TAGLIO SODDISFATTA

Rispetto allo scorrimento della fondazione:

$T_{agente} = 230$ kN (sommatoria delle reazioni vincolari)

$T_{resistente} = W \tan\phi = 1320 \times 0,44 = 580,80$ kN (nell'ipotesi che ci sia rottura all'interfaccia terreno_calcestruzzo)

$T_{resistente} / T_{agente} = 2,52 > 1,10$ (Verifica soddisfatta)

5. Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità

Il programma di calcolo utilizzato MasterSap è idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento della struttura e gli elementi finiti disponibili e utilizzati sono rappresentativi della realtà costruttiva. Le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle grafiche, consentono di verificare la riproduzione della realtà costruttiva ed accertare la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello viene generato direttamente dal disegno architettonico riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza strutturale (materiali, sezioni, carichi, sconnessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste. Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione. E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati. Sono state controllate le azioni taglianti di piano ed accertata la loro congruenza con quella ricavabile da semplici ed agevoli elaborazioni. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate dalla Scienza delle Costruzioni.

Si è proceduto a verificare i risultati analizzando la congruenza delle deformate dei casi statico/sismico e le sollecitazioni su schemi semplificati; in particolare si è verificato:

-) congruenza tra masse di calcolo del modello e masse stimate a partire dai pesi della struttura;
-) congruenza con i vincoli imposti delle deformate, dei modi di vibrare e più in generale del comportamento dinamico della struttura;
-) la conformità delle masse eccitate dal calcolo tutte al di sopra dell'85% del totale;
-) lo sforzo normale massimo in condizioni statiche sugli elementi verticali è congruente con quello deducibile dai pesi degli elementi portati per le relative aree d'influenza;
-) lo sforzo flessionale è in linea con quanto ricavato su schemi semplificati tipo trave;
-) l'andamento delle deformate e la forma dei diagrammi delle sollecitazioni sono in linea con i vincoli strutturali imposti nella modellazione delle strutture.

Informazioni integrative sull'uso dei codici di calcolo

Titolo del codice di calcolo: MasterSap TOP;

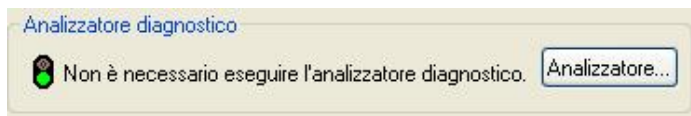
Autore, produttore e distributore: AMV s.r.l., via San Lorenzo 106, 34077 Ronchi dei Legionari (Go);

Versione: MasterSap TOP (licenza n. 34599 studio tecnico ing. Fabrizio)

AFFIDABILITA' DEL CODICE DI CALCOLO

In base a quanto richiesto dalla norme tecniche vigenti il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito (www.amv.it) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento. Il motore di calcolo adottato da MasterSap,

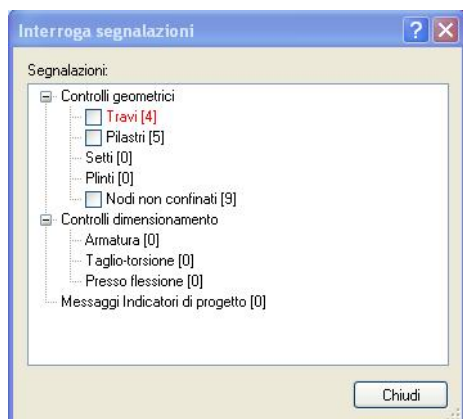
denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine. Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di



condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore. Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo. Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria *LAPACK*. L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica. Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato. Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito www.amv.it. E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture. In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente. Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc.

Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)



Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati. Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema. Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire delle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni. Il rilascio di ogni nuova versione dei

programmi è sottoposta a rigorosi check automatici che mettono a confronto i risultati della release in esame con quelli già validati realizzati da versioni precedenti. Inoltre, sessioni specifiche di lavoro sono condotte da personale esperto per controllare il corretto funzionamento delle varie procedure software, con particolare riferimento a quelle che sono state oggetto di interventi manutentivi o di aggiornamento.

INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA ATTRAVERSO IL MIGLIORAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE DELL'EDIFICIO SCOLASTICO 0760600278 DI LOLLA _PIETRAGALLA (PZ)_

RELAZIONE DI SINTESI

Sommario

1.	Premessa	2
2.	Illustrazione delle strutture allo stato di fatto, della vulnerabilità, del danno, dei criteri di verifica, delle azioni, degli interventi e dell'indice di rischio allo stato di progetto	5
3.	Normativa di riferimento.....	27
4.	Materiali impiegati nella costruzione	32
5.	Fondazione e modello geotecnico.....	37
6.	Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità	42

1. Premessa

La presente relazione specialistica su strutture, geotecnica, materiali e vulnerabilità illustra e giustifica nel dettaglio le soluzioni tecniche adoperate nell'intervento di miglioramento sismico dell'edificio scolastico 0760600278 che ospita la scuola primaria di località Lolla di Pietragalla (PZ). Il fabbricato in muratura portante si sviluppa su due livelli collegati per mezzo di due vani scala disposti all'interno (manufatto in c.a.) ed all'esterno (scala di emergenza in acciaio giuntata e non interagente con l'edificio) e presenta un'impronta in pianta di circa 255 mq; in adiacenza all'edificio scolastico, ma opportunamente distanziato con giunto tecnico, è presente un manufatto di recente costruzione che ospita la palestra; l'edificio nel complesso mostra un degrado nelle rifiniture più evidente in esterno, in particolare per gli intonaci delle pareti maggiormente esposte alle intemperie, meno pronunciato all'interno anche se si denotano componenti edilizie abbastanza datate. Nella presente relazione vengono descritte le tipologie strutturali, gli schemi e i modelli di calcolo utilizzati nelle verifiche di esecutivo, viene individuata l'azione sismica considerando le condizioni stratigrafiche e topografiche per portare in conto le amplificazioni di sito e di posizione, vengono descritti i criteri per soddisfare i requisiti di sicurezza previsti dalle norme tecniche vigenti, viene illustrato lo stato di fatto dell'edificio in rapporto alle indagini condotte in sito sui materiali, sui dissesti, sulla presenza delle principali vulnerabilità strutturali, vengono illustrate tutte le problematiche riscontrate ed esaminate, si riportano tutte le verifiche analitiche di calcolo e le soluzioni esecutive adottate. Nel presente progetto, in linea con quanto specificato nel punto 8.4.2 dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche del DM 17/01/2018 (G.U. n. 42 del 20/02/2018) e trattandosi di miglioramento sismico per costruzioni in classe III ad uso scolastico, si predisporranno interventi di miglioramento tali da garantire un indice di rischio (inteso come rapporto tra capacità e domanda sismica) $\zeta_e \geq 0,60$ (maggiore o uguale a 0,60); in particolare con le somme disponibili pari a € 316.810,49 per i lavori (strutturali e di rifinitura) le opere che si possono realizzare consentono di raggiungere allo stato limite di vita un indice di rischio $\zeta_e = 0,67$ (sisma con tempo di ritorno di 253 anni); si tratta di un incremento significativo (+ 105,00 % rispetto allo stato di fatto) della capacità resistente del fabbricato che allo stato di fatto è pari a $\zeta_e = 0,326$ (sisma con tempo di ritorno di 50 anni).

8.4.2. INTERVENTO DI MIGLIORAMENTO

La valutazione della sicurezza e il progetto di intervento dovranno essere estesi a tutte le parti della struttura potenzialmente interessate da modifiche di comportamento, nonché alla struttura nel suo insieme.

Per la combinazione sismica delle azioni, il valore di ζ_E può essere minore dell'unità. A meno di specifiche situazioni relative ai beni culturali, per le costruzioni di classe III ad uso scolastico e di classe IV il valore di ζ_E , a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere comunque non minore di 0,6, mentre per le rimanenti costruzioni di classe III e per quelle di classe II il valore di ζ_E , sempre a seguito degli interventi di miglioramento, deve essere incrementato di un valore comunque non minore di 0,1.

Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1,0$.

Gli interventi strutturali che hanno consentito il soddisfacimento dei requisiti normativi prima specificati hanno riguardato:

-) inserimento di una nuova trave di fondazione in cemento armato (sezione 80 x 80 cmq) necessaria per poter introdurre una nuova muratura di spina in muratura armata;

-) inserimento al piano terra ed al primo piano di una nuova parete di spina realizzata adoperando la tecnica della muratura armata con blocchi in laterizio semipieni ed armature diffuse in verticale $\phi 20$ mm in cinque posizioni ed armature orizzontali diffuse $\phi 14$ mm ogni due file di blocchi in laterizio; la nuova muratura armata è opportunamente innestata mediante cuciture armate innestate nelle murature esistenti con resina epossidica;

-) rinforzo delle murature esistenti mediante il sistema CAM (cuciture attive dei manufatti) che consiste nell'impacchettamento delle murature per mezzo di nastri di acciaio inox pretesi a formare dei reticoli spaziali di confinamento;

-) rinforzo di alcune porzioni murarie per mezzo di un sistema composito CRM realizzato con rete in GFRP disposta sulle due facce del paramento murario collegata per mezzo di connettori passanti in GFRP; il betoncino ricoprente di piccolo spessore viene realizzato mediante malta calce _ cemento strutturale con maggiore traspirabilità rispetto al classico betoncino di cemento;

-) realizzazione di cordolature in cemento armato in corrispondenza delle intersezioni tra i solai del piano primo e del sottotetto e la nuova muratura armata di spina.

Per quanto attiene la metodologia di calcolo si è adoperato il seguente procedimento operativo:

a) costruzione del modello di calcolo dello stato di fatto a cui si è applicato un sisma di progetto variabile in funzione del tempo di ritorno " T_r " procedendo con le verifiche strutturali sino ad individuare quel tempo di ritorno caratterizzato da un sisma rispetto al quale la verifica strutturale del modello non è soddisfatta; in tal modo si è individuato la capacità sismica del fabbricato allo stato di fatto;

b) costruzione del modello di calcolo dello stato di progetto in cui vengono inseriti i nuovi elementi strutturali ed i rinforzi delle strutture esistenti e detto modello viene sottoposto ad un sisma con input crescente incrementando il tempo di ritorno del terremoto di progetto sino ad individuare il raggiungimento dello scenario di stato limite di salvaguardia della vita; in tal modo viene individuata e certificata la capacità sismica dell'edificio allo stato futuro.

Nella presente relazione viene illustrata l'analisi di vulnerabilità della struttura nello stato di fatto da cui si ricava che l'attuale indice di rischio della struttura è " $\zeta_e = 0,326$ " ovvero che la struttura resiste ad un terremoto di progetto caratterizzato da $a_g/g=0,0629$ (tempo di ritorno $T_r= 50$ anni) pari al 32,6% dell'accelerazione di picco del sito $a_{g\text{ picco}}/g= 0,1927$; si dimostra che con il progetto di miglioramento sismico si ottiene allo stato futuro un indice di rischio sismico " $\zeta_e = 0,67$ " caratterizzato da $a_g/g= 0,1291$ e da un terremoto con tempo di ritorno di 253 anni.

Sintesi prestazioni di progetto e parametri:

-) Pericolosità sismica di base: $a_{g\text{ picco}}/g= 0,1927$ è l'accelerazione di picco al suolo nel sito in cui sorge la scuola calcolata come media ponderata dei quattro punti del reticolo sismico in cui ricade l'edificio scolastico (reticolo di riferimento della tabella 1 allegato B delle NTC 08);

-) Livello di conoscenza LC2 _fattore di confidenza: 1,20

-) **Indice di rischio della struttura stato di fatto: $\zeta_e = 0,326$** la struttura resiste ad un terremoto di progetto caratterizzato da $a_g/g=0,0629$ (tempo di ritorno $T_r= 50$ anni) pari al 32.6 % dell'accelerazione di picco del sito;

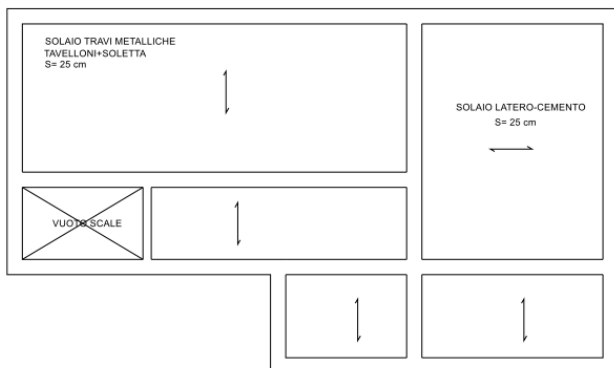
-) **Indice di rischio della struttura stato di progetto (edificio migliorato): $\zeta_e = 0,67$** la struttura resiste ad un terremoto di progetto caratterizzato da $a_g/g = 0,1291$ (tempo di ritorno $T_r = 253$ anni) pari al 67.00 % dell'accelerazione di picco del sito.

2. Illustrazione delle strutture allo stato di fatto, della vulnerabilità, del danno, dei criteri di verifica, delle azioni, degli interventi e dell'indice di rischio allo stato di progetto

Descrizione delle strutture allo stato di fatto, del contesto, analisi della vulnerabilità

Le strutture del presente progetto esecutivo di miglioramento sismico sono relative all'edificio che ospita la scuola primaria di Lolla; si tratta di un edificio in muratura portante, su un'impronta complessiva di circa 255 mq, che si sviluppa su due livelli e presenta una copertura a falde inclinate; sono presenti due vani scala: uno interno in latero-cemento ed uno in acciaio disposto all'esterno dell'edificio di costruzione più recente che risulta opportunamente distanziato e dunque strutturalmente indipendente rispetto alla scuola. Al piano terra sono presenti due aule, la mensa, i servizi igienici e i locali tecnici, mentre al piano primo sono presenti aule e servizi. La muratura, dello spessore di 55 cm, è riconducibile al tipo "Murature di pietra a spacco con buona tessitura", secondo le ultime indagini commissionate dall'Amministrazione Comunale di Pietragalla ed eseguite dal laboratorio "BRAINSTORMERS S.R.L.". L'altezza dell'edificio fuori terra è di circa mt. 10,30 (colmo), l'altezza netta del primo livello è di mt 3,30 mentre quella del secondo è di mt. 3,20 ad eccezione della zona servizi che risulta essere di mt. 2,40. Gli impalcati dei piani presentano orditure differenti a seconda degli ambienti come specificato graficamente nelle figure seguenti e si caratterizzano per uno spessore strutturale di 25 cm; il grande vano che ospita le due aule al piano primo si caratterizza per un solaio in acciaio e tavelloni mentre gli altri sono latero-cementizi.

STATO DI FATTO
CARPENTERIA IMPALCATO N.1



STATO DI FATTO
CARPENTERIA IMPALCATO N.2_sottotetto_

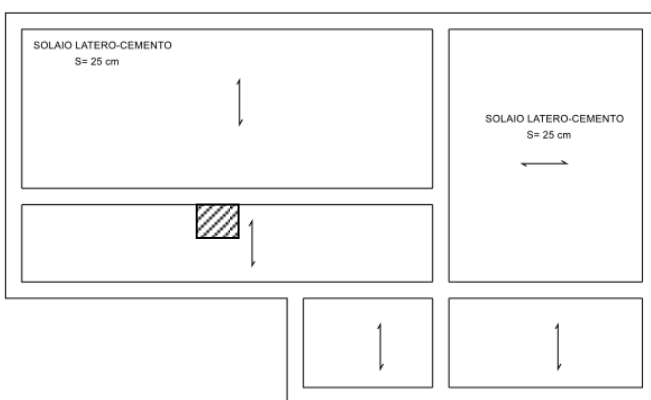


fig.1: carpenterie del primo e secondo impalcato

La copertura, di cui non si aveva alcun rilievo, è stata oggetto di rilievo di dettaglio attraverso l'accesso; a seguire si riportano i disegni esplicativi ed alcune foto.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza)_consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

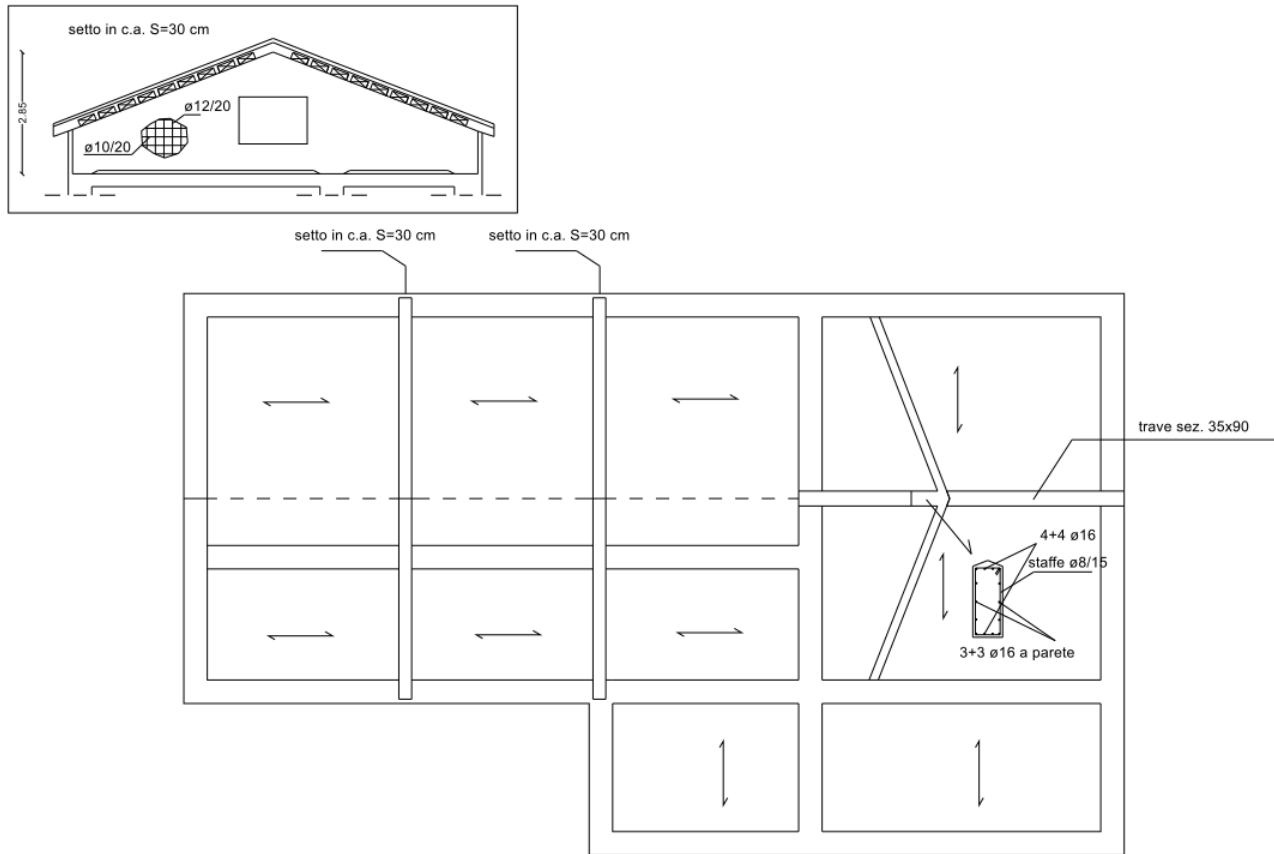


fig.2: carpenterie della copertura



fig.3: setto in cemento armato e orditura del solaio di copertura



fig.4: dettaglio di appoggio del setto in cemento armato a sostegno della copertura

In linea con quanto riportato nelle foto e nel disegno della carpenteria di copertura è emerso che una parte preponderante della copertura è ordita nel lato lungo del fabbricato poggiando su due quinte murarie e su due quinte intermedie in cemento armato realizzate con spessori di 30 cm; queste ultime sono disposte in tre posizioni sulle murature sottostanti come si può notare nel dettaglio della figura 4 e nel disegno del dettaglio della quinta in c.a. in fig. 2; nei setti in cemento armato sono presenti delle aperture quadrate dai cui è possibile accedere da un vano a quello successivo; anche la quinta interna in muratura muraria presenta un varco simile che sarà oggetto di chiusura a cucì scuci. A seguire, dopo la quinta interna in muratura, il solaio subisce un'inversione di orditura poggiando sulle gronde e su una trave in c.a. innestata sulle murature (sez. 35x90 cmq) e posizionata lungo la linea di colmo. Il dettaglio degli appoggi dei setti e delle orditure delle coperture è stato modellato in modo puntuale nel calcolo al fine di descrivere in modo corretto la trasmissione delle azioni e verificare le sollecitazioni in determinate contenute porzioni murarie. L'edificio mostra alcuni segnali di danno, in particolare nei prospetti esterni particolarmente esposti alle intemperie, mentre sono poco significativi e meno pronunciati i segni interni di degrado; sicuramente va rimarcata la necessità del rifacimento dell'intonaco in esterno ed interno per la presenza di zone fortemente deteriorate con efflorescenze; è evidente che la sostituzione dell'elemento di rifinitura contribuisce in modo significativo al prolungamento della vita utile dell'opera agendo come deterrente rispetto al degrado degli elementi strutturali. All'interno dell'edificio si segnalano solo dei quadri fessurativi superficiali poco pronunciati che interessano alcune murature ed un campo di solaio del locale inverter dell'impianto fotovoltaico.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)



fig.5: immagini dello stato di fatto in interno ed all'esterno dell'edificio scolastico

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)



fig.6: sezioni longitudinale e trasversale dello stato di fatto

L'edificio di che trattasi rientra in un sistema aggregato sparso di edifici per civile abitazione; si colloca in posizione tutto sommato baricentrica rispetto ai diversi nuclei circostanti per i quali ha rappresentato e rappresenta un elemento di aggregazione.



fig.7: localizzazione della scuola rispetto al contesto

Nell'ambito di un'analisi di vulnerabilità condotta in passato, dalla Relazione Geologica agli atti messa a disposizione dall'amministrazione comunale di Pietragalla è emerso, ai fini della sismicità, che dalle risultanze di una prova MASW il sottosuolo in esame si può associare ad un **terreno tipo C** con i relativi coefficienti sismici amplificativi contenuti per detto terreno nelle Norme Tecniche Vigenti (NTC2018); si rimanda per approfondimenti alla Relazione Geologica redatta nell'ambito della verifica di vulnerabilità sismica nel marzo 2019 agli atti dell'Amministrazione Comunale.

Nella progettazione dell'intervento di miglioramento si è partiti dalla necessità di indagare la struttura esistente attraverso la geometria degli elementi strutturali, la quantificazione e la disposizione delle orditure dei solai, la qualità dei materiali strutturali, le caratteristiche delle murature portanti e la definizione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale. Con tale finalità si è proceduto a:

-) acquisizione di eventuali documenti progettuali originali;
-) sopralluoghi in sito con misurazione degli elementi strutturali.

Di particolare rilievo, ai fini della ricostruzione della qualità delle strutture, risulta **l'indagine predisposta dall'Amministrazione Comunale ed affidata alla Brainstormers con sede in Potenza che nel marzo del 2019 ha indagato il fabbricato attraverso:**

-) n. 1 prova con martinetto doppio;**
-) n. 1 prova penetrometrica su malta;**
-) n. 5 saggi sulla muratura.**

Attrezzatura di prova:

MARTINETTI PIATTI: martinetti prodotti dalla Boviari srl, costituiti da lamierino in acciaio ad elevata deformabilità di forma semicircolare allungata, con le seguenti caratteristiche:

superficie: 775.06 cm²

spessore: 4.1 mm

diametro: 35.0 cm

massima profondità d'installazione: 25.9 cm

Attrezzatura per il taglio e sistema di misurazione:

Il taglio viene effettuato con una mototroncatrice a trasmissione eccentrica modello PARTNER K950-Ring con motore a scoppio dotata di disco diamantato di diametro pari a 350 mm capace di effettuare tagli della profondità di 260 mm e spessore di 5 mm. Le misure di convergenza vengono eseguite da un estensimetro meccanico rimovibile modello DEMEC di tipo analogico con precisione bimillesimale, ed una serie di basi di misura di lunghezza pari a 200 mm, realizzate mediante l'incollaggio sulla muratura di piastrine in acciaio invar del diametro di 5 mm.

Sistema idraulico di messa in carico

Per la messa in pressione dei martinetti è stata utilizzata una pompa a mano del tipo GLOTZL modello M2H16 dotata di due manometri tarati del tipo WIKA ad alta precisione Kl. 0.6 con fondo scala (15 e 60 bar).

La prova con martinetti piatti è stata disposta in un punto rappresentativo della struttura in una muratura di prospetto al piano terra; nella stessa posizione si è proceduto con una prova sclerometrica sulla malta.

I saggi hanno riguardato cinque posizioni (n. 3 al piano terra e n. 2 al primo livello) in incroci murari per verificarne la qualità; a seguire la planimetria con il posizionamento dei saggi e delle prove.

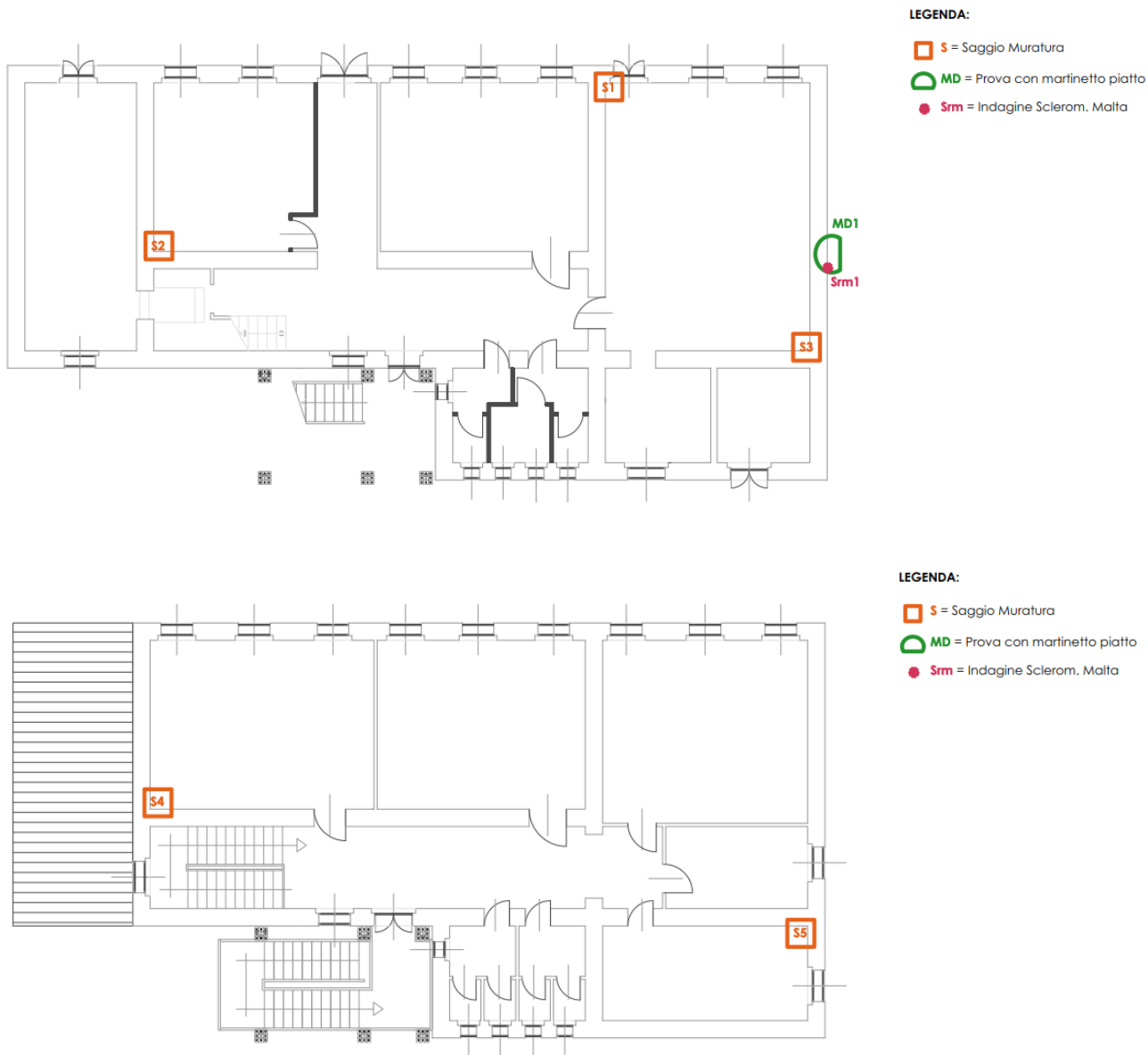


fig.8: localizzazione di saggi e prove svolti nella campagna di indagine

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla _Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)



fig.9: evidenza dei saggi e delle prove svolte nella campagna di indagine

I saggi mostrano che il collegamento negli angoli delle murature appare non adeguato a causa di vuoti, discontinuità e rattoppi non ben ingranati.

Prova con martinetto

Modulo di elasticità normale (MPa)		Resistenza a compressione (MPa)	Modulo di elasticità tangenziale (MPa)		Resistenza a taglio (MPa)
1° ciclo	2° ciclo	3.06	1° ciclo	2° ciclo	0.068
2541	2753		847	918	

Prove penetrometriche su malta

w_m	Dev. Std	f_c (MPa)	Class. DM 87	Class. NTC 2018
0.97	0.33	4.59	M4	M 2.5

fig.10: sintesi delle caratteristiche meccaniche delle murature

Nel complesso la muratura si può caratterizzare dal punto di vista meccanico come "muratura di pietra a spacco con buona tessitura"; la campagna d'indagine, il rilievo geometrico esteso anche al sottotetto/copertura e le informazioni riscontrabili dai documenti messi a disposizione dall'Amministrazione Comunale consentono di raggiungere un livello di conoscenza LC2 a cui corrisponde un fattore di confidenza pari a 1,20; in pratica nelle verifiche strutturali i valori di resistenza della tipologia muraria così come caratterizzata sarà ridotto in virtù del livello di conoscenza LC2 dividendolo per il corrispondente fattore di confidenza; va inoltre specificato che questi valori di resistenza saranno ulteriormente ridotti del coefficiente γ_m pari a 2,50 nelle combinazioni statiche e 2,00 in quelle dinamiche secondo quanto riportato dalle NTC2018.

-) **Livello di conoscenza LC2**

-) **Fattore di confidenza 1,20**

Le indicazioni sui materiali vengono recepite nel modello di calcolo strutturale nella fase di post-processore MasterMuri di AMV software in un'apposita scheda di verifica; nel fascicolo di calcolo relativo alla verifica dei maschi murari nella prima pagina delle verifiche vengono riportati i valori adottati.

In ordine all'analisi storico-critica sono disponibili i seguenti documenti tecnici:

-) Riparazione LR 36/78 _anno 1980_

-) Riattamento L. 219/1981 _anno 1981_

-) Ristrutturazione L. 219/1981 _anno 1983_

-) Analisi di vulnerabilità dell'edificio e relative indagini (strutturali e geologiche) _marzo 2019_

-) Analisi della Vulnerabilità

Dopo aver proceduto all'acquisizione di tutte le informazioni di natura strutturale si è proceduto all'individuazione delle vulnerabilità principali partendo da una lettura della geometria dell'edificio; la correzione di queste vulnerabilità ha rappresentato il primo tassello per definire l'intervento di ripristino con miglioramento sismico. Gli elementi di vulnerabilità strutturale emersi dalla campagna d'indagine e dall'analisi dei dettagli costruttivi rilevati in sito integrata da verifiche numeriche su schemi semplificati (analisi speditiva) consentono di stabilire quanto segue:

- a) i collegamenti negli incroci delle murature sono solo in parte efficaci per la presenza di qualche vuoto e/o disconnessione tra i blocchi di pietra;
- b) il collegamento a quota di impalcato risulta anch'esso poco efficace, in particolare al primo impalcato;
- c) la distribuzione delle murature sismo-resistenti (muri portanti e di spina) non è regolare lungo l'edificio; in particolare si riscontra una criticità significativa nel blocco aule (si veda fig.11) dove la distanza tra due murature di spina consecutive raggiunge quasi 14 metri.

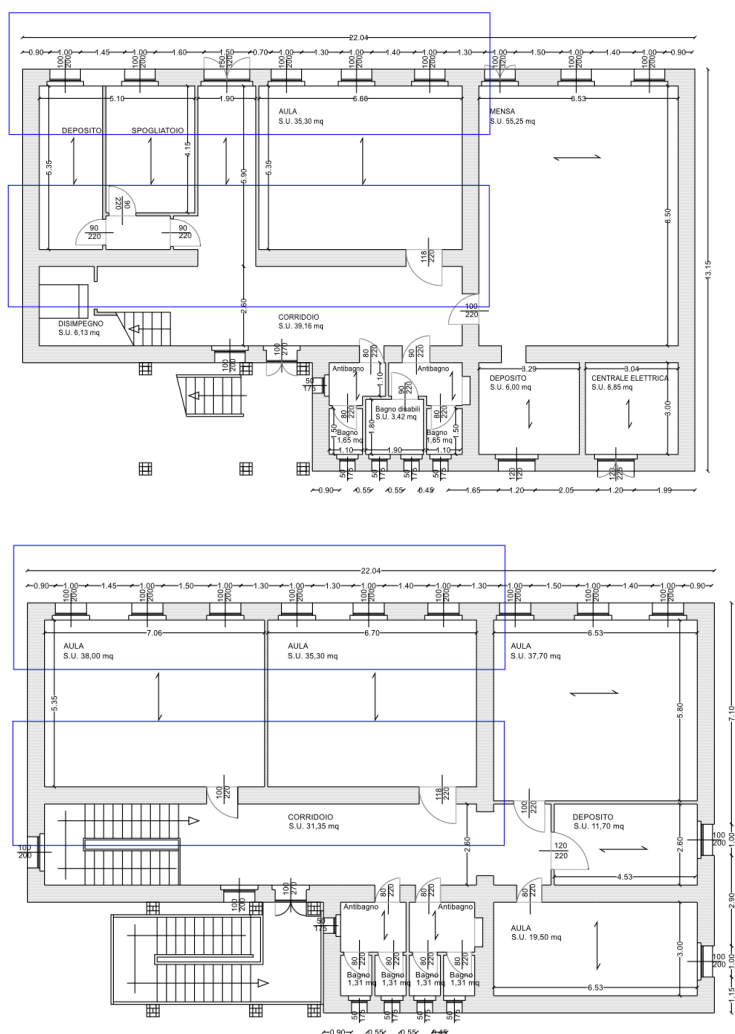


fig.11: vulnerabilità grave dell'edificio allo stato di fatto

Tra le note positive rientra la qualità della muratura e la resistenza residua della malta tutto sommato accettabili.

L'eccessiva distanza tra le murature di spina, unita alla ridotta capacità di vincolo esercitata a quota di impalcato e negli angoli tra i pannelli murari, favorisce la comparsa di pericolosi cinematismi locali di facciata in genere attivati da moltiplicatori sismici inferiori rispetto a quelli che sviluppano collasso della struttura; in particolare, tra questi cinematismi, la comparsa dell'effetto arco orizzontale può favorire il collasso prematuro della parete.

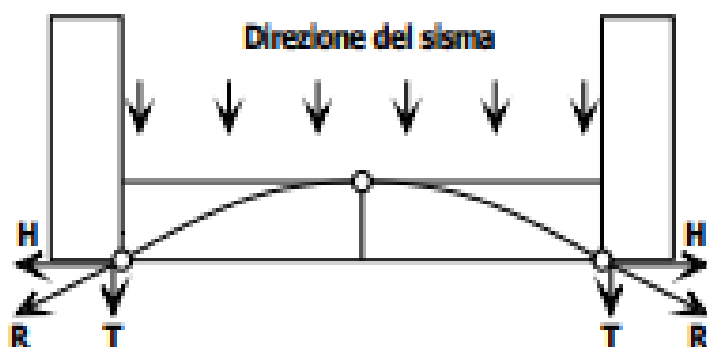


fig.12: meccanismo di formazione dell'effetto arco orizzontale

In effetti, anche se in maniera meno pronunciata, anche la parete perimetrale che delimita al piano terra il blocco della mensa ed al piano primo un'aula didattica ed il deposito in cui sono anche alloggiati gli inverter, caratterizzata per luci nette di 8,50 mt, può presentare la stessa criticità delle pareti di figura 11.

Nella verifica di vulnerabilità allo stato di fatto, nel seguito riportata, la modellazione con elementi bidimensionali consente di cogliere in maniera puntuale l'effetto di spanciamento delle pareti senza dover ricorrere a verifiche di cinematismi locali in genere caratterizzate da approcci molto cautelativi e talvolta eccessivamente pessimistici.

Alla luce di quanto esposto si riportano gli interventi di consolidamento previsti finalizzati sia alla correzione della vulnerabilità strutturale sia al rinforzo per raggiungere il livello di sicurezza in precedenza riportato.

Interventi di miglioramento previsti:

- 1) inserimento di una nuova trave di fondazione in cemento armato (sezione 80 x 80 cmq) necessaria per poter introdurre una nuova muratura di spina in muratura armata;
- 2) inserimento al piano terra ed al primo piano di una nuova parete di spina realizzata adoperando la tecnica della muratura armata con blocchi in laterizio semipieni ed armature diffuse in verticale $\phi 20$ mm in cinque posizioni ed armature orizzontali diffuse $\phi 14$ mm ogni due file di blocchi in laterizio; la nuova muratura armata è opportunamente innestata mediante cuciture armate innestate nelle murature esistenti con resina epossidica e serve a evitare cinematismi di facciata;

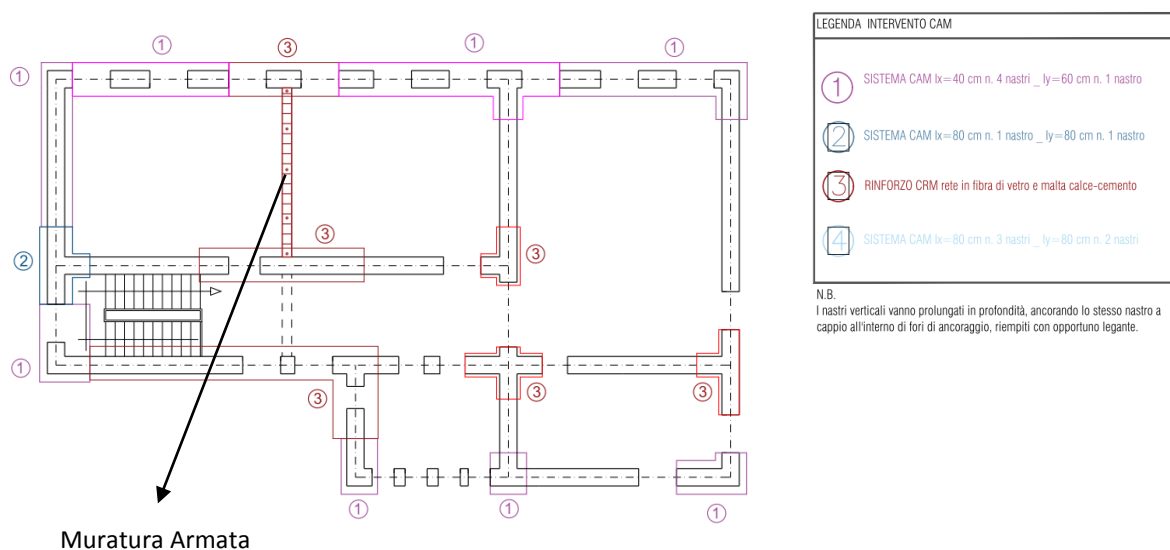
3) rinforzo delle murature esistenti mediante il sistema CAM (cuciture attive dei manufatti) che consiste nell'impacchettamento delle murature per mezzo di nastri di acciaio inox pretesi a formare dei reticoli spaziali di confinamento; il rinforzo in CAM assume sia la funzione di rinforzo per i maschi murari in deficit di resistenza sia per consentire un adeguato collegamento tra muratura e solaio a quota di impalcato per mezzo dei reticoli previsti;

4) rinforzo di alcune porzioni murarie per mezzo di un sistema composito CRM realizzato con rete in GFRP disposta sulle due facce del paramento murario collegata per mezzo di connettori passanti in GFRP; il betoncino ricoprente di piccolo spessore viene realizzato mediante malta calce _ cemento strutturale con maggiore traspirabilità rispetto al classico betoncino di cemento; nelle fasce previste si è optato per questa soluzione sia per rinforzare le murature sia per garantire un ingranamento efficace tra la nuova muratura armata e le murature esistenti; anche in copertura si dovrà procedere con un cucì/scucì per richiudere il varco presente in una quinta muraria;

5) realizzazione di cordolature in cemento armato in corrispondenza delle intersezioni tra i solai del piano primo e del sottotetto e la nuova muratura armata di spina.

In definitiva gli interventi previsti mirano a far acquisire al fabbricato un comportamento d'insieme di tipo globale sopperendo con le cuciture negli angoli e sulla linea degli impalcati alle carenze di collegamento tra elementi strutturali; l'inserimento della muratura armata che limita la luce libera delle pareti rappresentate in fig. 11 da 14,00 mt a 7,00 mt non solo bilancia ed impedisce il cinematismo di facciata ma al contempo riquadra l'assetto murario migliorando il modo di vibrare della struttura che diventa più regolare e compatta. Tra gli interventi si prevede anche l'inserimento di sistemi di antisfondellamento del solaio localizzato in posizioni critiche nelle quali si sono individuate lesioni più o meno pronunciate. A seguire si riportano le immagini rappresentative degli interventi previsti:

fig.13: tavola degli interventi strutturali



Architectural floor plan of a building with a central seismic joint. The plan shows a long rectangular building divided into two main sections by a central vertical strip. The left section contains several rectangular rooms, some labeled with circled numbers 1 and 3. The right section also contains rectangular rooms, with one labeled with a circled number 1. A central vertical strip, shaded in light red, represents the seismic joint. Dimensions are provided along the bottom and right edges. A note in the bottom right corner states: "Nuovo corpo di fabbrica - palestra. Edificio autonomo e separato da giunto sismico - NON OGGETTO DI MESSA IN SICUREZZA".



-) Misura della vulnerabilità sismica stato di fatto: calcolo dell'indice di rischio

Nel presente paragrafo si riporta il modello di verifica della struttura dell'edificio di Lolla allo stato di fatto sulla base del quadro conoscitivo emerso dall'indagine strumentale, dal rilievo geometrico in campo e dalla consultazione degli elaborati messi a disposizione dall'amministrazione comunale di Pietragalla.

Si specifica che il programma di calcolo adoperato è il MasterSap di AMV software (regolarmente licenziato allo studio dell'ing. Diego Fabrizio con licenza n. 34599) con i suoi post-processor di verifica MasterMuri e Verifica Rinforzi e Muratura, quest'ultimo adoperato nella fase di progetto degli interventi. Si è proceduto con un'analisi dinamica lineare modellando la muratura come elementi tipo guscio/piastra caricati con i carichi propri, permanenti portati ed accidentali differenziati tra accidentale per affollamento scolastico e carico neve in copertura; si ritiene che queste tipologie di carico siano di fatto quelle da portare in conto in quanto significative ai fini della verifica; a seguire si riportano tabelle di sintesi e grafici rappresentativi della fase di input e di output; va specificato che la procedura di calcolo applicata si sviluppa nel modo seguente:

- a) costruzione del modello completo di carichi e definizione delle combinazioni di carico (ambiente MasterSap);
- b) definizione del sisma di progetto variando il tempo di ritorno e verificando le sollecitazioni massime (ambiente MasterSap);
- c) verifica dei maschi murari rispetto alle sollecitazioni del modello per un prefissato sisma con determinato tempo di ritorno;
- d) reiterazione dei passaggi b) e c) riducendo il sisma di progetto fino ad individuare una configurazione limite in cui il collasso dei maschi murari possa far dichiarare la struttura al limite delle sue capacità.

Attraverso il passaggio d) quindi si giunge all'individuazione dell'indice di rischio inteso come rapporto tra il terremoto limite della struttura e quello massimo atteso secondo le indicazioni di normativa. Nel caso in esame il procedimento interattivo ci ha consentito di stabilire che il terremoto limite per l'edificio di Lolla allo stato di fatto è relativo ad un tempo di ritorno di 50 anni con $a_g/g=0,0629$.

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	Modello scuola Lolla stato di fatto
Intestazione del lavoro	Scuola elementare di Lolla
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	m
Normativa	NTC-2018
Edificio esistente	

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III
Vita di riferimento	75 anni
Localita'	Pietragalla - Scuola di Lolla
Longitudine (WGS84)	15.7959
Latitudine (WGS84)	40.7495
Categoria del suolo	C
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	25
Periodo proprio T1 in direzione X	0.187
Periodo proprio T1 in direzione Y	0.246
Comportamento strutturale	Dissipativo

PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*S) (m/s^2)
SLO	45	0.0599	2.4010	0.31	1.54	1.50	0.881
SLD	75	0.0757	2.4480	0.34	1.50	1.50	1.114
SLV	712	0.0629	2.4100	0.32	1.53	1.50	0.926
SLE	712	0.1927	2.5200	0.43	1.38	1.41	2.663
SLC	1462	0.2475	2.5450	0.45	1.37	1.32	3.210

PARAMETRI SISMICI EDIFICIO ESISTENTE

SLV	50	0.0629	2.4100	0.32	1.53	1.50	0.926
------------	-----------	---------------	---------------	-------------	-------------	-------------	--------------

STATO LIMITE ULTIMO

Fattore di comportamento q per sisma orizzontale	qor=3
Fattore q per comportamento non dissipativo	qorND = 1.5
Duttilita'	Bassa Duttilita'

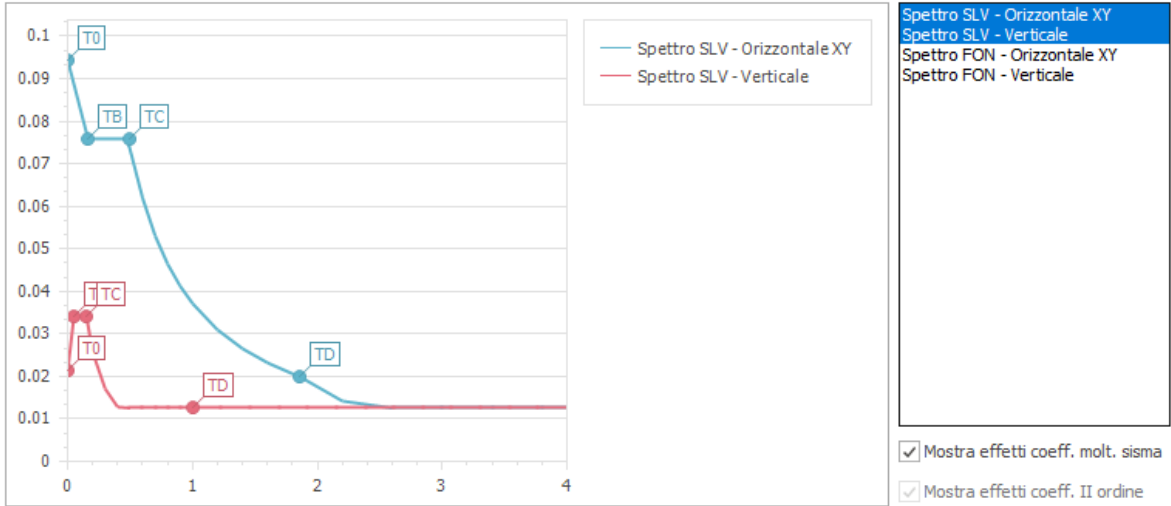
Carico distribuito con riferimento globale Z

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz. .	Aliq.inerz. z. SLD
Neve Zona III	5	Condizione 3	Variabile: Neve	-167.000000	0.000	-167.000000	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist.iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Peso proprio solaio h = 20+5 cm	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-300.000000	0.000	-300.000000	0.000	1.0000	1.0000
Massetto_ pavimento_intonaci	2	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-200.000000	0.000	-200.000000	0.000	1.0000	1.0000
Incidenza tramezzi_3.1.3 NTC2018_	3	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-160.000000	0.000	-160.000000	0.000	1.0000	1.0000
Categoria C1 - Aree con tavoli quali scuole, caff , ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	4	Condizione 2	Variabile: Aree di acquisto e congresso	-306.000000	0.000	-306.000000	0.000	0.6000	0.6000
Categoria A - Scale comuni, balconi, ballatoi	6	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-408.000000	0.000	-408.000000	0.000	0.3000	0.3000
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	7	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-51.000000	0.000	-51.000000	0.000	0.0000	0.0000
Copertura_ massetto_ tegole	8	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-100.000000	0.000	-100.000000	0.000	1.0000	1.0000
Impianto fotovoltaico	9	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-30.000000	0.000	-30.000000	0.000	1.0000	1.0000

Grafici spettri - Norme Tecniche delle Costruzioni 2018



Spettro SLV - Orizzontale XY	T0	TB	TC									
Periodo	0	0.163	0.49	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	1.6
Ampiezza	0.094	0.076	0.076	0.074	0.062	0.053	0.046	0.041	0.037	0.031	0.027	0.023
Spettro SLV - Verticale	T0	TB	TC									TD
Periodo	0	0.05	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Ampiezza	0.021	0.034	0.034	0.026	0.017	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013

Copia grafico Stampa... Chiudi

Lo spettro di progetto è scalato del fattore di sicurezza che è stato stimato pari a $q=3$ considerando nel complesso una regolarità della struttura in elevazione ed in pianta.

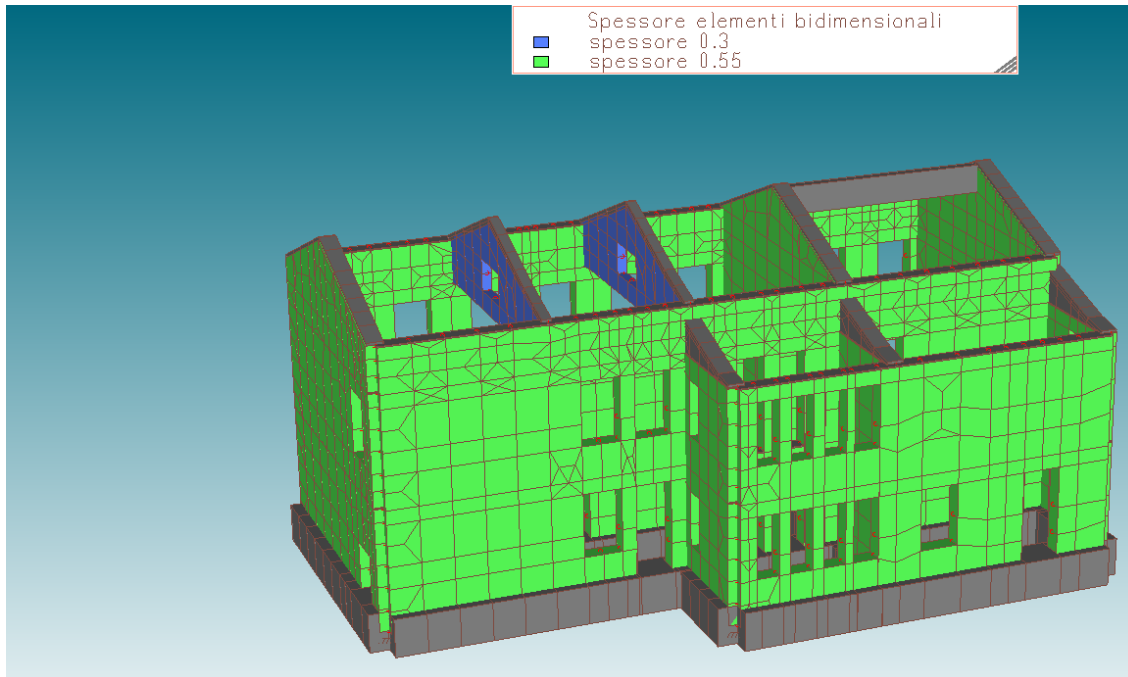


fig.16: modello solido dell'edificio allo stato di fatto

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
2	Statica prevalente domestici e residenziali	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
7	Statica accidentale scuola prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.500
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
8	Statica neve prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.000

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

			Variabile: Neve	Condizione 3	1.000
4	Frequente neve	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.200
5	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
9	Frequente scuola	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.700
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
10	Frequente domestici e residenziali	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
6	S.L.D.	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

Si è proceduto con un'analisi dinamica modale adoperando i primi 25 modi di vibrare; la composizione di questi modi di vibrare consente di raggiungere la massa eccitata minima prevista dalla normativa che deve essere almeno pari all' 85% della massa eccitabile. Si specifica che il numero elevato di modi di vibrare per ottenere il requisito precedente è indicativo di un inadeguato modo di vibrare della struttura; in pratica la presenza di una porzione di fabbricato prima di muri di spina rende significativi anche modi di vibrare superiori ai primi tre che invece caratterizzano edifici "regolari" per comportamento dinamico. I modi di vibrare e la loro risultante evidenzia inoltre quanto prima detto in ordine allo spanciamiento delle pareti prive di adeguati ritegni.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza)_consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

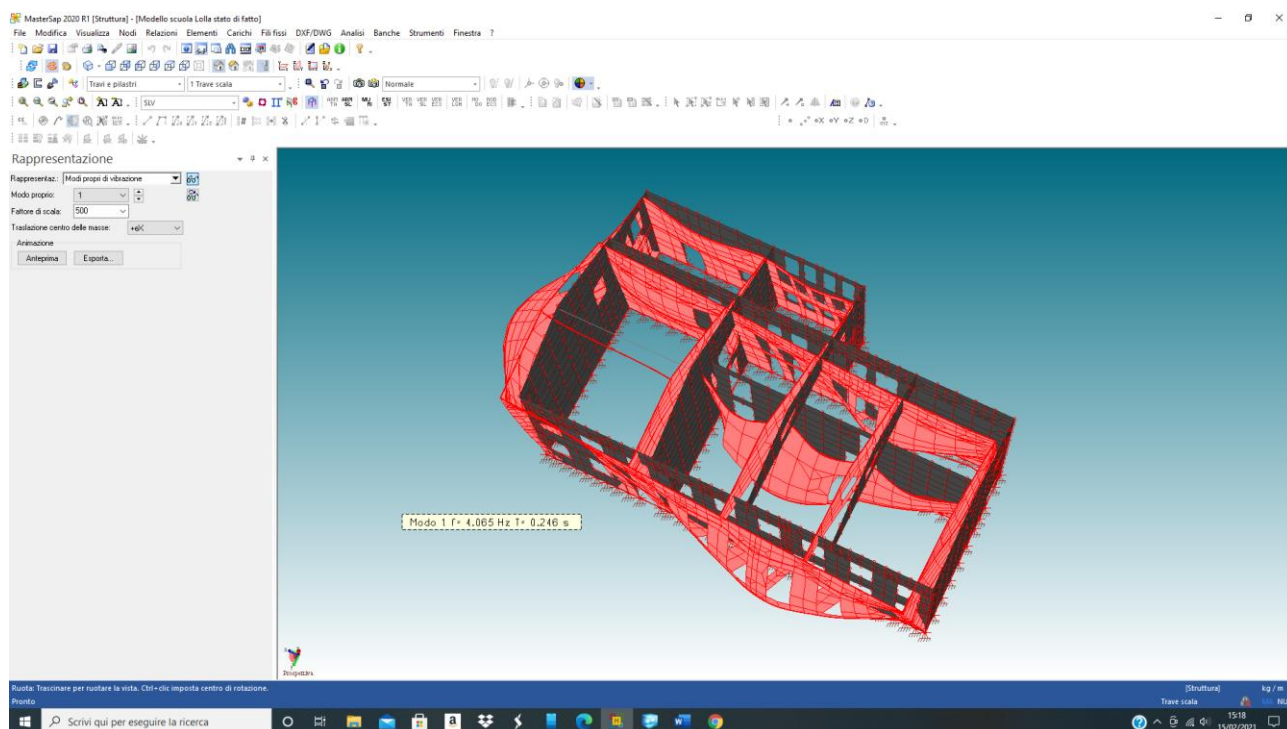


fig.17: modo di vibrare n.1 (T=0,246 sec.)

Appare evidente che le considerazioni fatte in precedenza in ordine alla vulnerabilità attuale dell'edificio sono confermate dal modello di calcolo agli elementi finiti; la massa eccitata con n. 25 modi di vibrare è superiore all'85% della massa sismica totale e pertanto è confermata la bontà del modello e dell'analisi.

Con il sisma prima specificato, dopo aver proceduto all'analisi con il MasterSap sul modello di calcolo, ed aver individuato la bontà del risultato, si procede con lo step successivo verificando i maschi murari nel post processore MasterMuri ; in pratica il modello di calcolo con i risultati viene importato in MasterMuri nel quale si individuano gli elementi strutturali (maschi murari) sismo-resistenti come aggregazione di elementi guscio; i maschi murari sono dei macro-elementi che vengono trattati in modo unitario; attraverso l'integrazione delle sollecitazioni agenti sui singoli gusci si ottiene la sollecitazione complessiva agente sul maschio che viene sottoposto alle verifiche previste dalla normativa vigente allo sforzo normale, taglio flessione nel piano e fuori piano; dal confronto tra azione e resistenza del maschio si definisce se la verifica è soddisfatta oppure non lo è.

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza)_consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

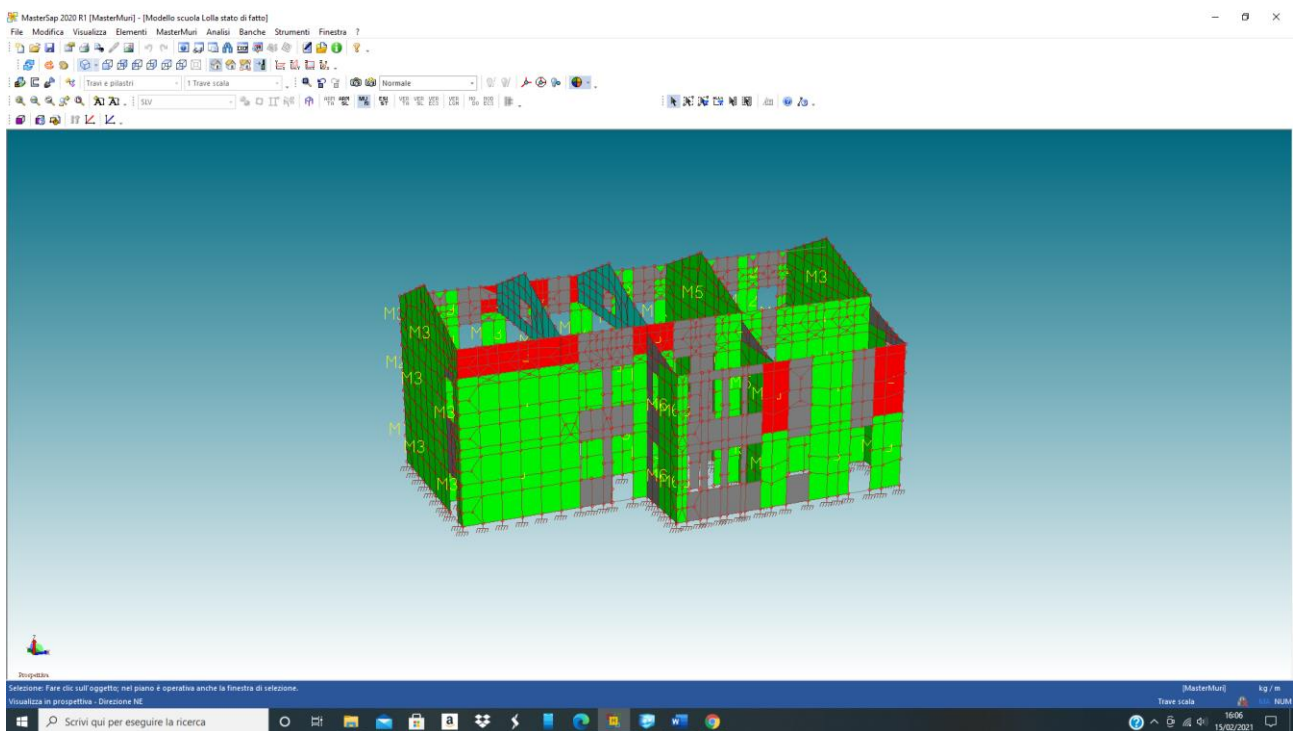
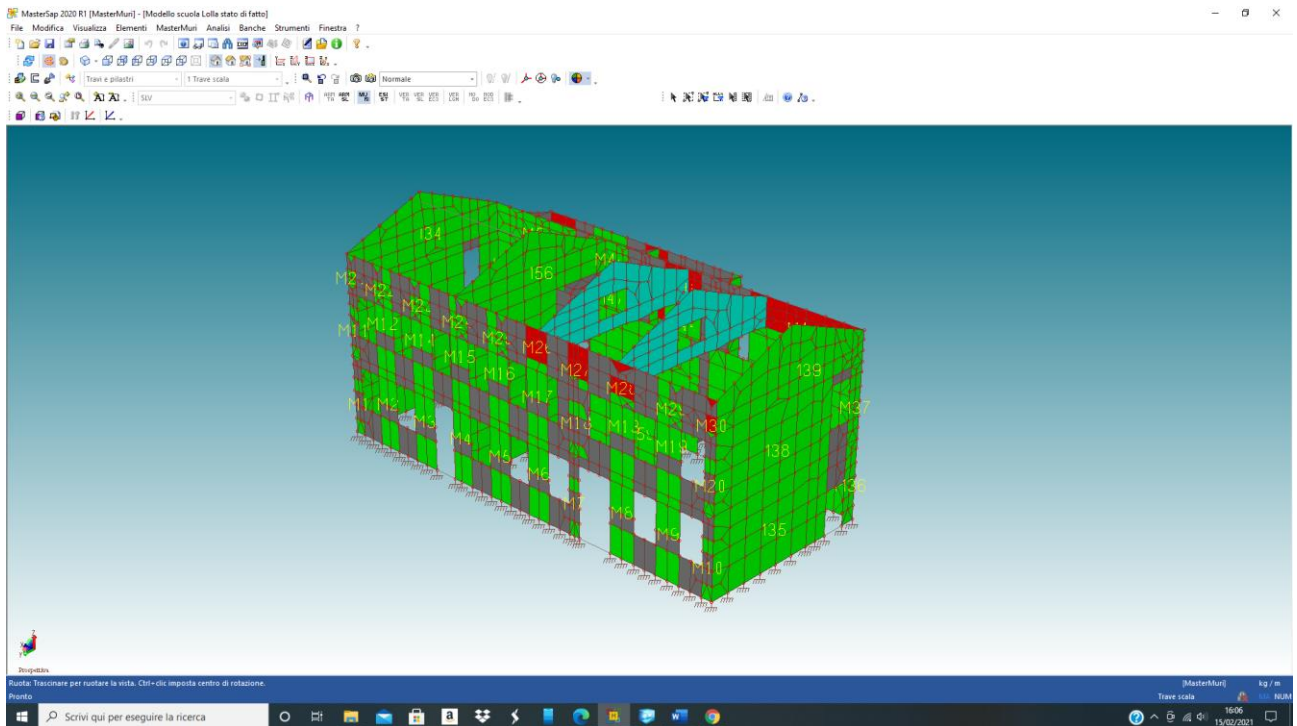


fig.18: definizione dei maschi murari (in verde) _ maschi murari non verificati (rosso)

La figura n. 18 mostra il posizionamento dei maschi murari che allo stato di fatto e a fronte di un terremoto con tempo di ritorno di 50 anni ($a_g/g = 0,0629$) non sono verificati; questo scenario può rappresentare uno scenario di collasso della struttura nel senso che tutte le murature perimetrali dei lati lunghi presentano localmente dei maschi al collasso e pertanto nel complesso la struttura ha raggiunto il limite di collasso.

-) Miglioramento sismico stato di progetto: calcolo dell'indice di rischio post-intervento

Sulla base di quanto emerso in ordine alla vulnerabilità attuale del fabbricato si sono previsti degli interventi di miglioramento la cui finalità non è semplicemente di rinforzare elementi in sofferenza per eccesso di sollecitazioni ma piuttosto di migliorare il comportamento complessivo della struttura; in particolare l'inserimento di un muro di spina con muratura armata, la messa in opera di una cerchiatura attiva sistema CAM sulle pareti ed a cavallo dei solai e l'inserimento di betoncino a base di malta calce /cemento con rete in GFRP di rinforzo ed al contempo di impacchettamento tra paramenti murari consente di migliorare il comportamento dinamico della struttura. La configurazione di progetto consente di migliorare il fabbricato dal punto di vista dinamico; i primi modi di vibrare consentono di raggiungere la massa eccitata prevista per norma (85% della massa complessiva) e si registra una limitazione dello spanciamiento.

STAMPA DEI DATI DI PROGETTO

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DELLA STRUTTURA

Nome dell'archivio di lavoro	Modello stato di progetto
Intestazione del lavoro	Scuola elementare di Lolla
Tipo di struttura	Nello Spazio
Tipo di analisi	Statica e Dinamica
Tipo di soluzione	Lineare
Unita' di misura delle forze	kg
Unita' di misura delle lunghezze	m
Normativa	NTC-2018
Edificio esistente	

NORMATIVA

Vita nominale costruzione	50 anni
Classe d'uso costruzione	III
Vita di riferimento	75 anni
Localita'	Pietragalla - Scuola di Lolla
Longitudine (WGS84)	15.7959
Latitudine (WGS84)	40.7495
Categoria del suolo	C
Coefficiente topografico	1
Coefficiente di smorzamento	5%
Eccentricita' accidentale	5%
Numero di frequenze	5
Periodo proprio T1 in direzione X	0.189
Periodo proprio T1 in direzione Y	0.177
Comportamento strutturale	Dissipativo

PARAMETRI SISMICI

	TR	ag/g	FO	TC*	CC	Ss	Pga (ag*S) (m/s^2)
SLO	45	0.0599	2.4010	0.31	1.54	1.50	0.881
SLD	75	0.0757	2.4480	0.34	1.50	1.50	1.114
SLV	712	0.1927	2.5200	0.43	1.38	1.41	2.663
SLC	1462	0.2475	2.5450	0.45	1.37	1.32	3.210

PARAMETRI SISMICI EDIFICIO STATO DI PROGETTO

SLV	253	0.1292	2.4760	0.40	1.43	1.50	1.901
-----	-----	--------	--------	------	------	------	-------

STATO LIMITE ULTIMO

Fattore di comportamento q per sisma orizzontale	qor=3
--------------------------------------------------	-------

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

Fattore q per comportamento non dissipativo
Duttilita'

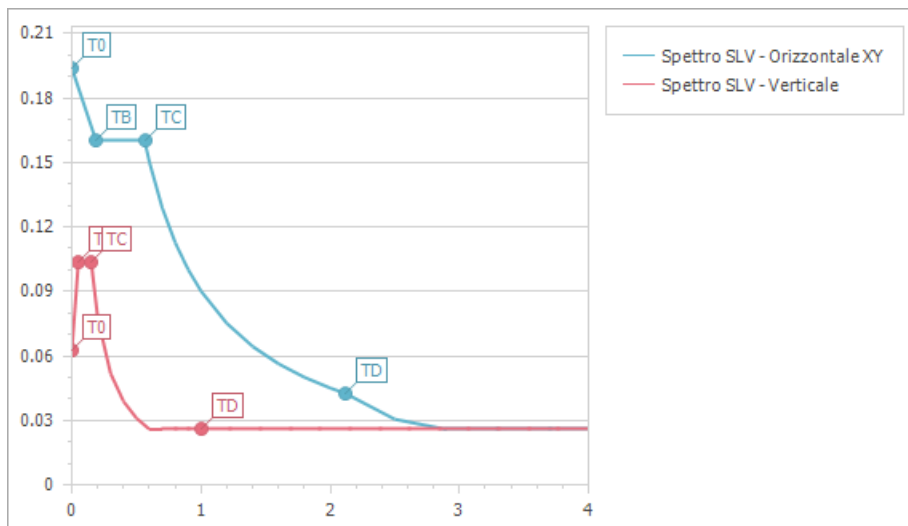
qorND = 1.5
Bassa Duttilita'

Carico distribuito con riferimento globale Z

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist. iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Neve Zona III	5	Condizione 3	Variabile: Neve	-167.000000	0.000	-167.000000	0.000	0.0000	0.0000

Carico distribuito con riferimento globale Z, agente sulla lunghezza reale

Descrizione	Cod.	Cond. carico	Tipo Azione/categoria	Val. iniz.	Dist.iniz. nodo I	Val. finale	Dist.fin. nodo I	Aliq.inerz.	Aliq.inerz. SLD
Peso proprio solaio h = 20+5 cm	1	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-300.000000	0.000	-300.000000	0.000	1.0000	1.0000
Massetto_pavimento_intonaci	2	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-200.000000	0.000	-200.000000	0.000	1.0000	1.0000
Incidenza tramezzi_3.1.3 NTC2018_	3	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-160.000000	0.000	-160.000000	0.000	1.0000	1.0000
Categoria C1 - Aree con tavoli quali scuole, caff , ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	4	Condizione 2	Variabile: Aree di acquisto e congresso	-306.000000	0.000	-306.000000	0.000	0.6000	0.6000
Categoria A - Scale comuni, balconi, ballatoi	6	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-408.000000	0.000	-408.000000	0.000	0.3000	0.3000
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	7	Condizione 4	Variabile: Domestici e residenziali	-51.000000	0.000	-51.000000	0.000	0.0000	0.0000
Copertura_massetto_tegole	8	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-100.000000	0.000	-100.000000	0.000	1.0000	1.0000
Impianto fotovoltaico	9	Condizione 1	Permanente: Permanente portato	-30.000000	0.000	-30.000000	0.000	1.0000	1.0000



Spettro SLV - Orizzontale XY	T0	TB	TC									
Periodo	0	0.188	0.564	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.4	1.6	1.8
Ampiezza	0.194	0.16	0.16	0.15	0.129	0.113	0.1	0.09	0.075	0.064	0.056	0.05
Spettro SLV - Verticale	T0	TB	TC									TD
Periodo	0	0.05	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
Ampiezza	0.063	0.103	0.103	0.078	0.052	0.039	0.031	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla_Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

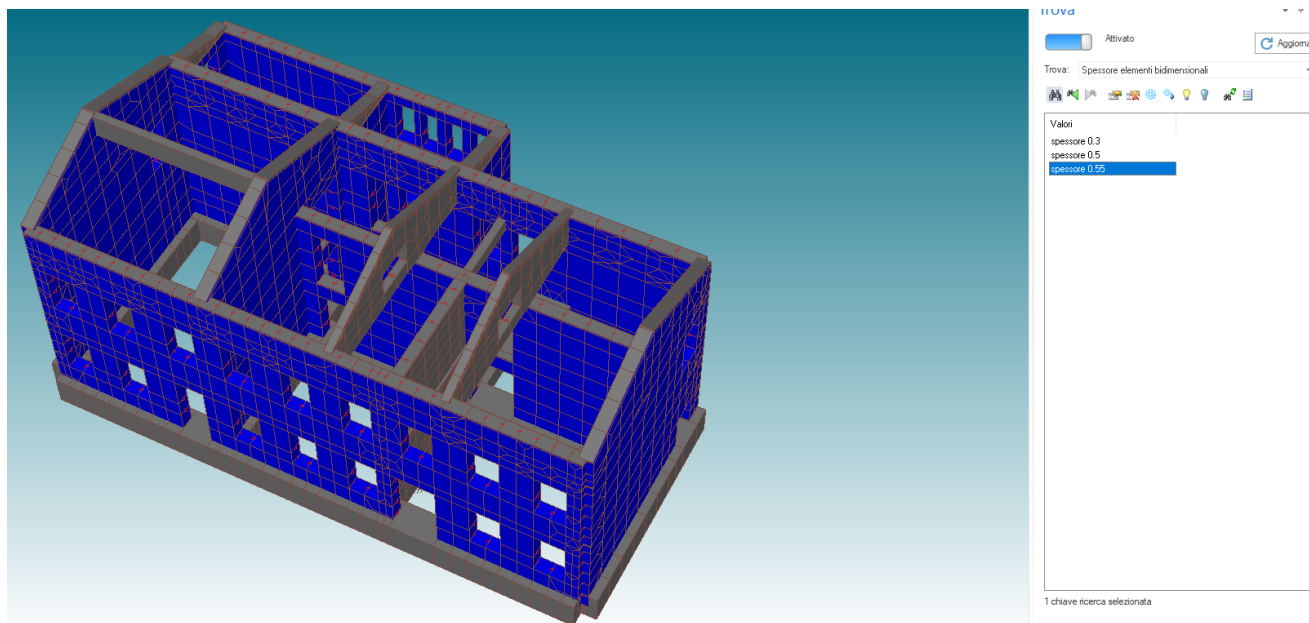


fig.19: modello stato di progetto spessore muri 55 cm

NORMATIVA: NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2018 ITALIA

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
1	Dinamica	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
2	Statica prevalente domestici e residenziali	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
7	Statica accidentale scuola prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.500
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.750
8	Statica neve prevalente	Azione sismica: Sisma assente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.300
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.300
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.050
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.050
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.500

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE D'ESERCIZIO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
3	Rara	Tipologia: Rara	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	1.000
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	1.000
			Variabile: Neve	Condizione 3	1.000
4	Frequente neve	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.200
5	Quasi permanente	Tipologia: Quasi permanente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla Pietragalla (PZ)_ progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
9	Frequente scuola	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.700
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000
10	Frequente domestici e residenziali	Tipologia: Frequente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.500
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

COMBINAZIONI PER LE VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI DANNO

Num.	Descrizione	Parametri	Tipo azione/categoria	Condizione	Moltiplicatore
6	S.L.D.	Azione sismica: Presente	Permanente: Peso Proprio	Condizione peso proprio	1.000
			Permanente: Permanente portato	Condizione 1	1.000
			Variabile: Domestici e residenziali	Condizione 4	0.300
			Variabile: Aree di acquisto e congresso	Condizione 2	0.600
			Variabile: Neve	Condizione 3	0.000

Si è proceduto con un'analisi dinamica modale adoperando i primi 5 modi di vibrare; la composizione di questi modi di vibrare consente di raggiungere la massa eccitata minima prevista dalla normativa che deve essere almeno pari all' 85% della massa eccitabile.

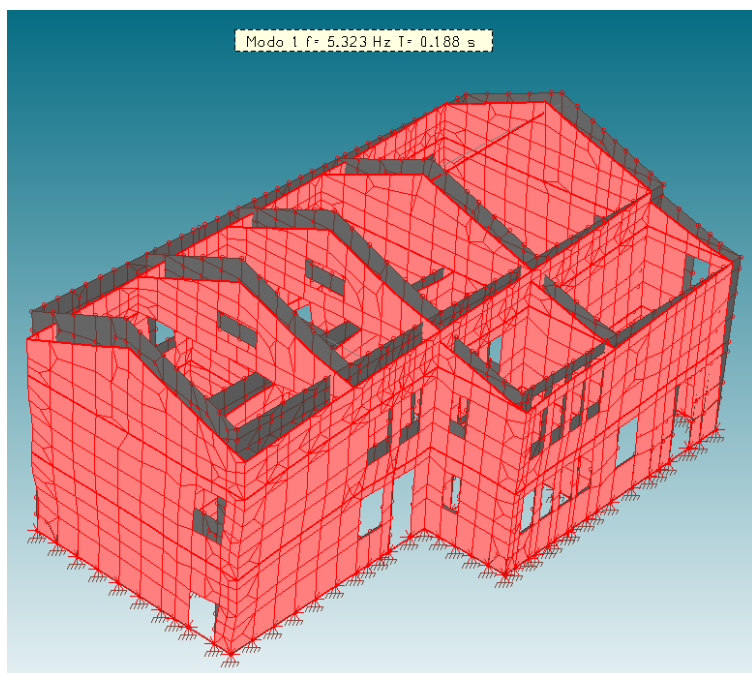


fig.20: modo di vibrare n.1 (T=0,188 sec.)

MASSA ECCITATA

Modo	Direz.X	%	Direz.Y	%
Modo: 1	+7.49e+04	57	+2.38e+04	18
Progressiva	+7.49e+04	57	+2.38e+04	18
Modo: 2	+2.53e+04	19	+8.55e+04	65
Progressiva	+1.00e+05	76	+1.09e+05	83
Modo: 3	+1.30e+04	10	+1.19e+03	1
Progressiva	+1.13e+05	86	+1.10e+05	84
Modo: 4	+3.99e+00	0	+1.14e-01	0
Progressiva	+1.13e+05	86	+1.10e+05	84
Modo: 5	+4.60e+02	0	+1.24e+04	9
Progressiva	+1.14e+05	86	+1.23e+05	93

Le masse eccitate dei primi tre modi di vibrare consentono di soddisfare il requisito normativo; questo dimostra che i correttivi predisposti nel modello per descrivere gli effetti indotti dalle lavorazioni previste risultano efficaci.

Con il sisma con tempo di ritorno di 196 anni , dopo aver proceduto all'analisi con il MasterSap sul modello di calcolo, ed aver individuato la bontà del risultato, si procede con lo step successivo verificando i maschi murari nel post processore MasterMuri ; in pratica il modello di calcolo con i risultati viene importato in MasterMuri nel quale si individuano gli elementi strutturali (maschi murari) sismo-resistenti come aggregazione di elementi guscio; i maschi murari sono dei macro-elementi che vengono trattati in modo unitario; attraverso l'integrazione delle sollecitazioni agenti sui singoli gusci si ottiene la sollecitazione complessiva agente sul maschio che viene sottoposto alle verifiche previste dalla normativa vigente allo sforzo normale, taglio flessione nel piano e fuori piano; dal confronto tra azione e resistenza del maschio si definisce se la verifica è soddisfatta oppure non lo è; nel caso di progetto dopo aver fatto la verifica ed isolato gli elementi che non la soddisfano come "muratura di pietra a spacco di buona tessitura" o come "muratura nuova di laterizio" si procede con la verifica di dettaglio utilizzando l'applicativo di AMV software "Verifiche rinforzi e murature" che consente di dimensionare il sistema CAM o le armature (numero e diametro) per la muratura armata che garantiscono la verifica del maschio murario rinforzato.

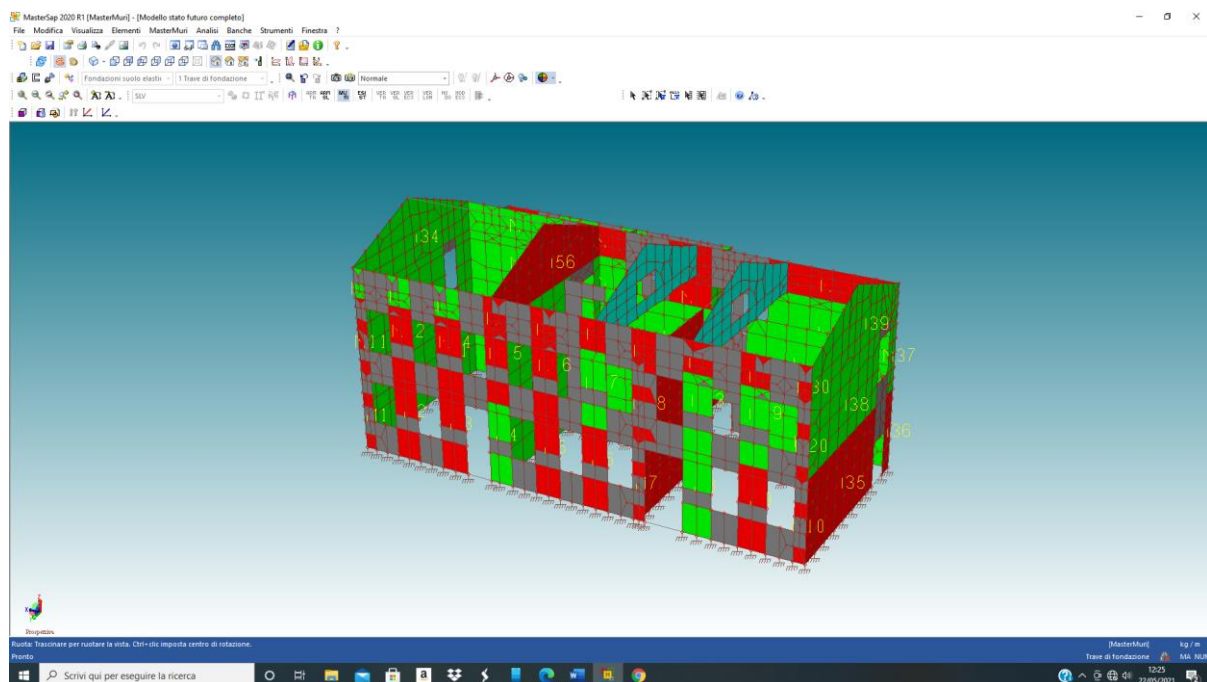
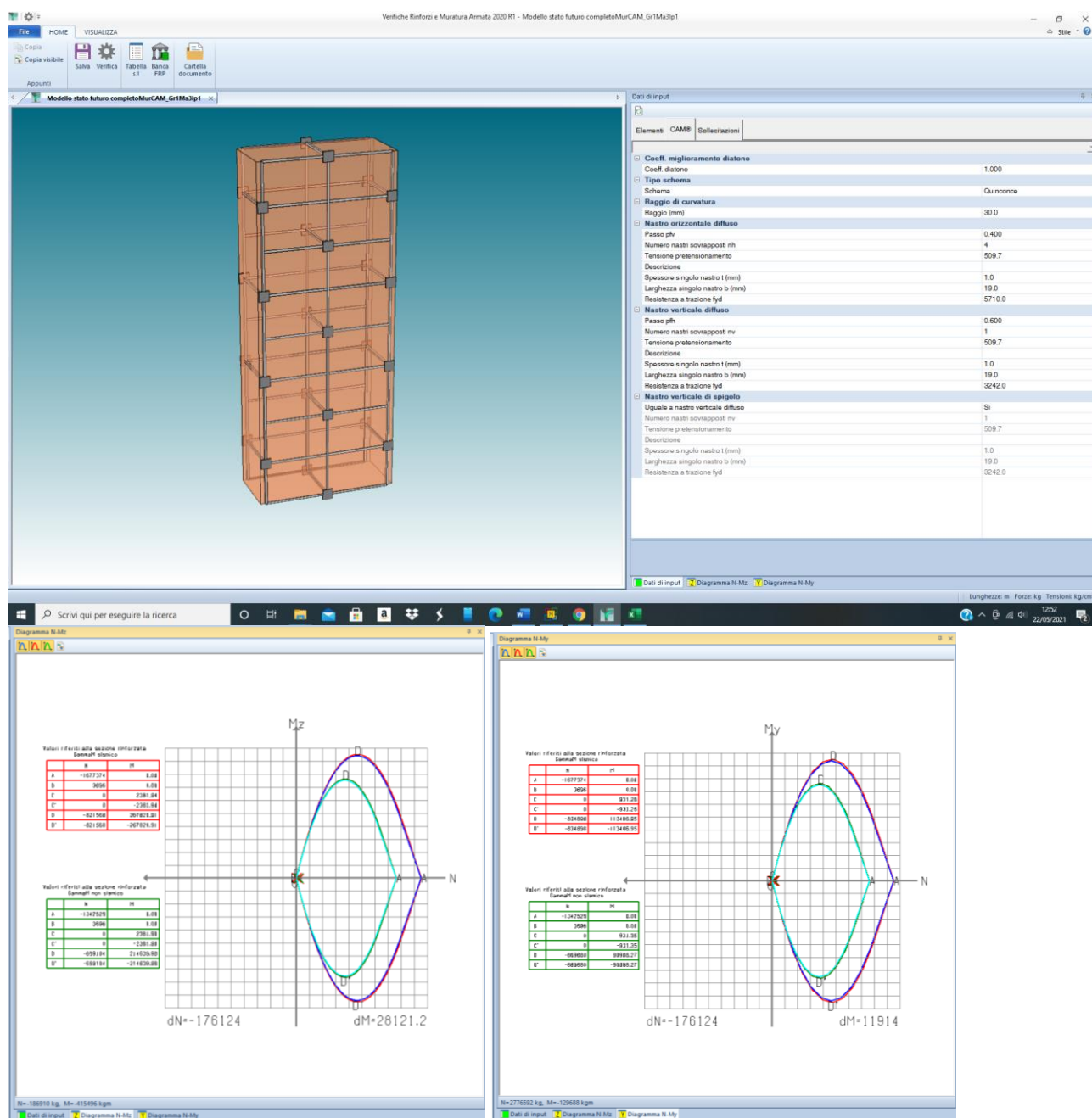


fig.21: maschi murari non verificati successivamente sottoposti a rinforzo CAM e Muratura Armata

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla Pietragalla (PZ) progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

A fronte di un sisma di progetto con tempo di ritorno di 196 anni, dopo l'inserimento di una muratura di spina in laterizio e con il miglioramento dei collegamenti tra gli elementi strutturali si registra un miglioramento del comportamento sismico della struttura unitamente ad una ripartizione delle azioni; sono limitati e non più significativi i meccanismi locali. Alcuni maschi murari, modellati in MasterMuri come elementi in "muratura di pietra a spacco di buona tessitura" non verificano e pertanto abbisognano di un intervento di rinforzo come specificato in precedenza; rimandando ai fascicoli per approfondimenti nella presente relazione si riportano due verifiche di riferimento per far comprendere come si è proceduto nei fascicoli di calcolo; in particolare si mostra la verifica del maschio n. 3 (attraverso l'applicazione del sistema CAM) e quella del maschio n. 57 (attraverso l'impiego di muratura armata).

Verifica del maschio n. 3 sistema CAM (programma Rinforzi e verifica muratura di AMV)

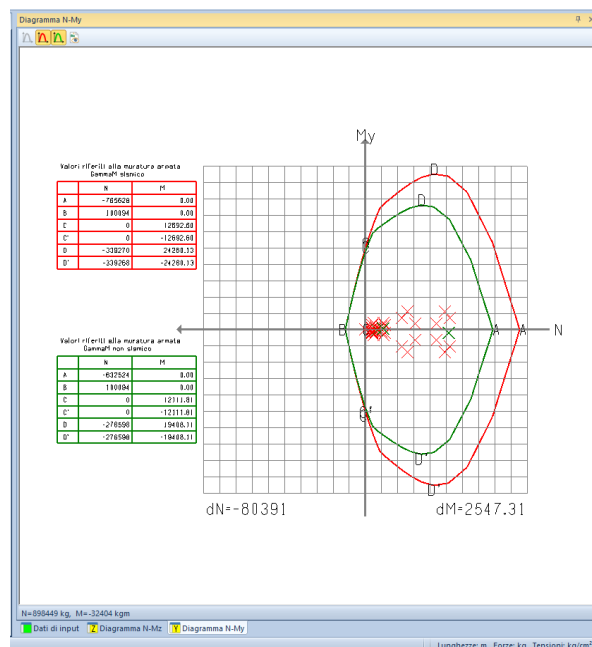
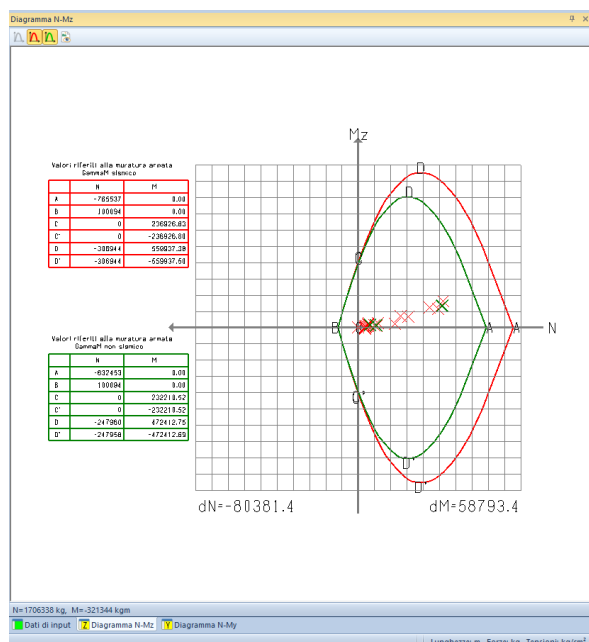
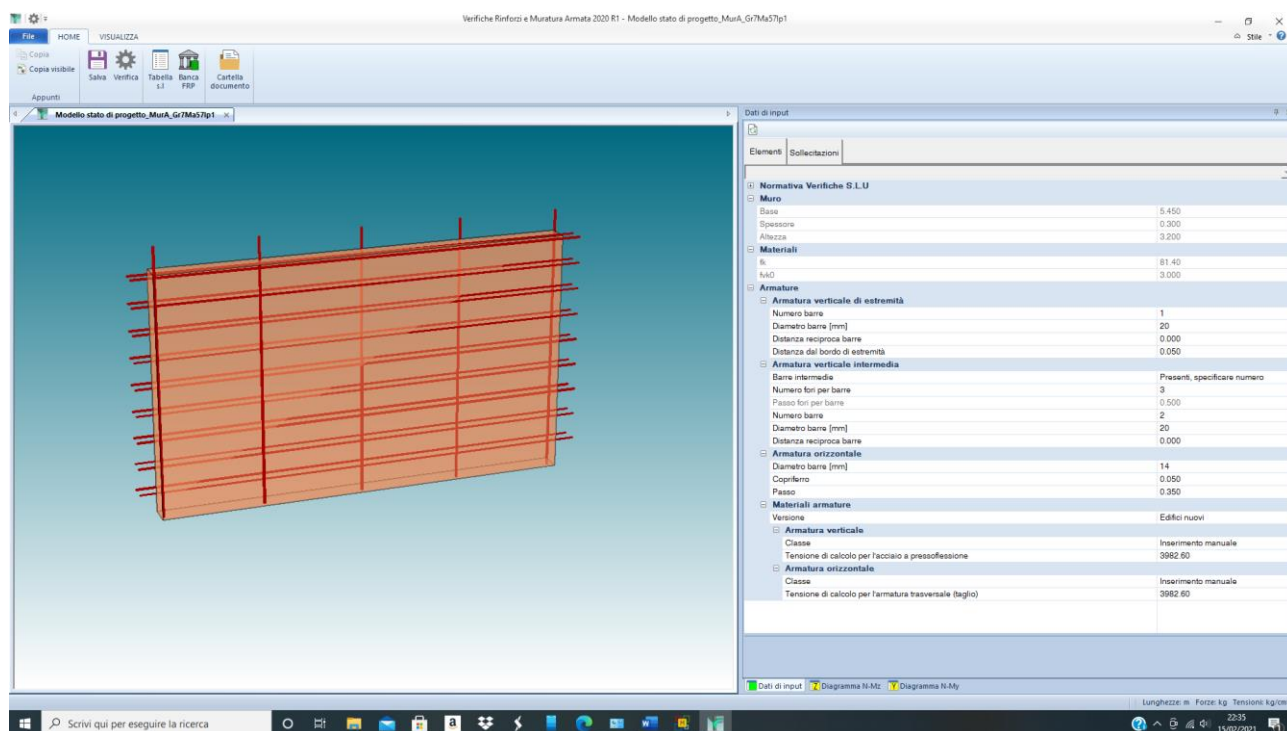


Nel caso dal maschio n.3 la verifica con il rinforzo scelto conformemente a quanto riportato nelle tavole di progetto restituisce esito positivo e le coppie delle sollecitazioni rientrano nel dominio di resistenza della

Progetto per il "miglioramento sismico delle strutture" dell'edificio scolastico 0760600278 di Lolla Pietragalla (PZ) _progettista Arch. Mariangela COVIELLO (n. 1231 Ordine Architetti di Potenza) _consulente per le strutture _ing. Diego FABRIZIO (n. 1858 Ordine Ingegneri provincia di Potenza)

sezione rinforzata. Analogamente si è fatto per gli altri maschi murari le cui verifiche sono riportate nel fascicolo di calcolo a cui si rimanda per approfondimenti.

MURATURA ARMATA



E' possibile verificare che la muratura armata ha un indice di resistenza di 0,87 ovvero è al limite della prestazione che può garantire; questo significa che l'elemento rinforzato è verificato rispetto all'azione del sisma di progetto ma conserva, seppur in minima percentuale, un ulteriore margine di resistenza.

Sistema CRM in GFRP

CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA MURATURA RINFORZATA MEDIANTE L'APPLICAZIONE DEL SISTEMA DI RINFORZO FIBREBUILD INTONACO ARMATO

Si procede alla determinazione delle caratteristiche meccaniche equivalenti di una muratura rinforzata con il sistema di rinforzo della Fibre Net S.r.l..

Caratteristiche della muratura di partenza:

Caratteristiche meccaniche di resistenza e rigidezza della muratura da voi indicate:

Tipologia:	Muratura in pietre a spacco di buona tessitura
Livello di conoscenza:	LC1 (Fattore di confidenza FC = 1,35)
$f_m = 2,504$ MPa	Tensione media a compressione;
$\tau_0 = 0,054$ MPa	Tensione media tangenziale;
$G = 580$ MPa	Modulo di elasticità tangenziale;
$t_m = 500$ mm	Spessore medio della muratura;

I valori di resistenza meccanica soprariportati, sono già divisi per il fattore di confidenza e moltiplicati per i fattori correttivi adottati.

Caratteristiche della muratura rinforzata con intonaco e rete in GFRP:

Si procede ora alla determinazione dei risultati derivanti dall'applicazione, su entrambe le facce della muratura, di un intonaco armato con rete FB MESH in GFRP di Fibre Net S.r.l.. Il rinforzo verrà collegata alla muratura applicando un numero di connessioni al mq pari a 4

Caratteristiche meccaniche della malta:

Tipo 1:	Fibre Net- MATERIA RINFORZA – RZ 210
$f_{c,int} = 10$ MPa	Resistenza media a compressione;
$f_{t,int} = 1$ MPa	Resistenza media a trazione;
$E_m = 8000$ MPa	Modulo elastico medio.

Parametri di resistenza meccanica della muratura rinforzata:

Si riportano le caratteristiche meccaniche della muratura rinforzata.

Caratteristiche geometriche del rinforzo:

Tipo di rete utilizzata:	FBMESH 66x66T96AR
Malta da intonaco:	Fibre Net – MATERIA RINFORZA – RZ 210
Spessore dell'intonaco:	25 mm
Tipo di connessione:	Passante
Numero di connettori:	4 Connettori al mq

Caratteristiche meccaniche della muratura rinforzata ottenute dal calcolo:

Resistenza a compressione:	$f_{c,calc} = 2,504 \text{ MPa};$
Resistenza a taglio muratura rinforzata:	$\tau_{0,calc} = 0,149 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità tangenziale:	$G_{calc} = 1451 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità normale:	$E_{calc} = 1451 / 0,4 = 3627,5 \text{ MPa}.$

Verifica del rinforzo:

Cedimento a compressione della malta da intonaco:	$\delta_1 = 1,119$
Cedimento a trazione del filo della rete:	$\delta_2 = 1,221$

IL DIMENSIONAMENTO È CORRETTO

Caratteristiche meccaniche della muratura rinforzata consigliate per il calcolo:

Resistenza a compressione:	$f_{c,calc} = 2,504 \text{ MPa};$
Resistenza a taglio muratura rinforzata:	$\tau_{0,calc} = 0,149 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità tangenziale:	$G_{calc} = 1451 \text{ MPa};$
Modulo di elasticità normale:	$E_{calc} = 1451 / 0,4 = 3627,5 \text{ MPa}.$

I valori di resistenza meccanica sono già divisi per il fattore di confidenza ma non per il coefficiente di sicurezza γ_m . Tale coefficiente può essere assunto pari a 2,00 nel caso si conducano sul fabbricato delle analisi di tipo lineare, pari a 1,00 nel caso di analisi non lineari (es. analisi pushover) e può essere assunto pari a 3,00 per le verifiche, sui maschi murari, alle azioni gravitazionali.

3. Materiali impiegati nella costruzione

I materiali strutturali adoperati nella costruzione per le opere di nuovo inserimento sono i seguenti:

-) Calcestruzzo per uso strutturale:

Tipologia strutturale:	Elevazioni
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	300 daN/cm ²
Condizioni ambientali:	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparate dalla pioggia o in interni con umidità da moderata ad alta
Classe di esposizione:	XC3
Rapporto acqua/cemento max:	0.55
Classe di consistenza:	S5 (fluida)
Diametro massimo aggregati:	32 mm
Tipologia strutturale:	Fondazioni
Classe di resistenza necessaria ai fini statici:	300 daN/cm ²
Condizioni ambientali:	Strutture completamente interrato in terreno permeabile.
Classe di esposizione:	XC2
Rapporto acqua/cemento max:	0.60
Classe di consistenza:	S4 (Plastica)
Diametro massimo aggregati:	32 mm

Classi di resistenza dei calcestruzzi															Relazione analitica/Spiegazione
$f_{ck,cyl}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln [1 + (f_{cm}/10)] > C50/60$
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ frattile 5%
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 \cdot f_{ctm}$ frattile 95%
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 \cdot [(f_{cm}/10)]^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)

Dosatura dei materiali.

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione o aggressione	Corrosione causata da carbonatazione				Corrosione causata da cloruri						Aggressione da gelo				Ambiente chimico aggressivo		
						Acqua marina			Cloruri ad esclusione di acqua marina									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Rapporto max a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Classe min. res. a compr.	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Contenuto min. cemento (kg/m3)	-	260	280	290	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Contenuto min. aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	-	-	-
Altri requisiti												Granulometria inerti sec. prEN 12620:2000 con sufficiente resistenza al gelo e ai sali scongellanti				Cemento resistente ai solfati		

^a Qualora non venga impiegato calcestruzzo porizzato, le sue caratteristiche vanno verificate con un idoneo procedimento di prova rispetto a quelle del CLS per cui è stata accertata la resistenza al gelo-sali scongellanti per le classi di esposizione determinanti

^b Se la presenza di SO4⁻ comporta le classi di esposizione XA2 e XA3, è indispensabile l'impiego di cemento resistente ai solfati. Quando il cemento è classificato riguardo alla resistenza ai solfati, va impiegato cemento con moderata o elevata resistenza ai solfati per la classe di esposizione XA2 (e per la classe di esposizione XA1, se attinente) e cemento con elevata resistenza ai solfati per la classe di esposizione XA3.

-) Acciaio per C.A.

Acciaio per C.A. B450C	
f _{yk} tensione nominale di snervamento:	≥ 4580 kg/cm ² (≥ 450 N/mm ²)
f _{tk} tensione nominale di rottura:	≥ 5500 kg/cm ² (≥ 540 N/mm ²)
f _{td} tensione di progetto a rottura:	f _{yk} / γ _S = f _{yk} / 1.15 = 3980 kg/cm ² (= 391 N/mm ²)

L'acciaio dovrà rispettare i seguenti rapporti:

$$f_y / f_{yk} < 1.35 \quad f_t / f_y \geq 1.15$$

Diametro delle barre: $\phi \leq \phi 40$ mm.

E' ammesso l'uso di acciai forniti in rotoli per diametri ≤ 16 mm.

Reti e tralicci con elementi base di diametro $\phi \leq \phi 16$ mm.

Rapporto tra i diametri delle barre componenti reti e tralicci: $\phi_{\min}/\phi_{\max} \geq 0.6$

Per le procedure di accettazione e per i controlli sull'acciaio strutturale si rimanda a quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni "NTC2018".

-) Blocchi e malta per muratura armata

(Riferimento D.M. 17.01.2018, par. 11.10)

Caratteristiche minime dei materiali impiegati per la costruzione delle strutture analizzate con la presente relazione, secondo il D.M. 20/11/1987 (e riprese nel D.M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni").

Modulo di elasticità normale secante E: $E = 1000 \cdot f_k$

Modulo di elasticità tangenziale secante G: $G = 0.4 \cdot E$

Parametri caratteristici:

f_k : resistenza caratteristica a compressione della muratura;

f_{vk0} : resistenza caratteristica a taglio in assenza di carichi verticali; $f_{vk0} = 0.7 f_{vm}$;

f_{vk} : resistenza caratteristica a taglio in presenza di tensioni di compressione;

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0.4 \sigma_n;$$

Valore della f_k per murature in elementi artificiali pieni e semipieni

Resistenza caratteristica a compressione f_{bk} dell'elemento N/mm ²	Tipo di malta			
	M15	M10	M5	M2,5
2.0	1.2	1.2	1.2	1.2
3.0	2.2	2.2	2.2	2.0
5.0	3.5	3.4	3.3	3.0
7.5	5.0	4.5	4.1	3.5
10.0	6.2	5.3	4.7	4.1
15.0	8.2	6.7	6.0	5.1
20.0	9.7	8.0	7.0	6.1
30.0	12.0	10.0	8.6	7.2

40.0	14.3	12.0	10.4	--
------	------	------	------	----

-) Rinforzo in CRM

Sistema di rinforzo strutturale che utilizza reti, connettori e accessori preformati in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) abbinati a malte a base di calce o cementizie, per realizzare degli intonaci armati sottili, collaboranti, reversibili e collegati trasversalmente, che migliorano le resistenze al taglio, alla flessione e alla compressione della muratura.

Caratteristiche	FBMESH_T96	FBMESH_T192
Dimensioni della maglia	33x33 / 66x66 / 99x99 mm	66x66 / 99x99 mm
Sezione minima della singola barra	8,9 mm ²	14,1 mm ²
Spessore della barra	≥ 2,5 mm	≥ 3,0 mm
Dimensioni del rotolo	Ø 50÷70 (esterno) x 200 cm	Ø 50÷70 (esterno) x 200 cm
Resistenza a trazione della barra (caratteristico) ⁽²⁾	4,3 kN	5,5 kN
Modulo elastico del composito ⁽²⁾	25000 MPa	25000 MPa
Resistenza a strappo del nodo (caratteristico) ⁽²⁾	0,25 kN	0,43 kN
Allungamento medio a rottura della barra ⁽²⁾	1,8 %	1,3 %
Tensione a trazione del composito (caratteristico) ⁽²⁾	375 MPa	390 MPa
Decadimento di resistenza a trazione e del modulo elastico per l'ambiente umido, alcalino e salino	< 10%	< 15%
Reazione al fuoco ⁽²⁾	Classe A2-s1, d0, Classe B-s1, d0	Classe B-s1, d0

Caratteristiche	FBCALCEM	FBCALCEM 10MPa	FBCALCEM 15MPa	FBCALCEM 20MPa	FBRASACEM a
Tipologia di legante	calce e cemento	calce e cemento	calce e cemento	calce e cemento	calce e cemento
Resistenza a compressione (MPa)	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20	-
Modulo elastico (GPa)	-	≤ 8	≤ 10	≤ 15	-
Classe e tipologia	III - GP	IV - GP	IV - GP	IV - GP	IV - GP
Resistenza a compressione – 28 giorni	≥ 5,0	≥ 10	≥ 15	≥ 20	-
Resistenza a flessione – 28 giorni	≥ 1	≥ 1,5	≥ 1,5	≥ 4	-
Adesione al supporto in laterizio	≥ 0,2	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 0,5	-
Adesione al supporto in cls	≥ 0,5	≥ 1,0	≥ 1	≥ 1	-

-) Rinforzo sistema CAM

Il sistema CAM è realizzato con nastri in acciaio inox con le seguenti caratteristiche:

Tipo 1 - Nastri per disposizione verticale ed orizzontale – 1.4301/1.4307 EN10088-4 (acciaio INOX AISI 301)

- spessore 0.9 e larghezza 19 mm

- resistenze a snervamento $f_{yk} \geq 350 \text{ N/mm}^2$ e a rottura $f_{tk} \geq 650 \text{ N/mm}^2$

- allungamento a rottura almeno pari al 35%.

Per la resistenza del nastro, la resistenza di calcolo a trazione $N_{t,Rd}$ è assunta pari al minore fra $N_{pl,Rd}$ resistenza plastica della sezione lorda A e la resistenza $N_{u,Rd}$ a rottura della sezione netta A_{net} in corrispondenza della giunzione per la quale è garantita una resistenza minima pari al 70% della resistenza del nastro stesso.

$$f_{yd} = \min \left\{ \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}, \frac{0.7 \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}} \right\}$$

dove $\gamma_{M0} = 1,10$ (UNI EN 1993-1-4) e $\gamma_{M2} = 1,25$

Si considera quindi una tensione di calcolo pari a $f_{yd1} = 318\text{MPa}$ e $f_{yd2} = 560\text{Mpa}$.

-) Muratura dello stato di fatto

La stazione appaltante ha commissionato una campagna di indagine, descritta nella Relazione Specialistica a cui si rimanda per approfondimenti, che ha consentito di caratterizzare la muratura come muratura di pietra a spacco di buona tessitura alla quale si possono associare le seguenti caratteristiche meccaniche.

Prova con martinetto

Modulo di elasticità normale (MPa)		Resistenza a compressione (MPa)	Modulo di elasticità tangenziale (MPa)		Resistenza a taglio (MPa)
1° ciclo	2° ciclo	3.06	1° ciclo	2° ciclo	0.068
2541	2753		847	918	

Prove penetrometriche su malta

w_m	Dev. Std	f_c (MPa)	Class. DM 87	Class. NTC 2018
0.97	0.33	4.59	M4	M 2.5

4. Fondazione e modello geotecnico

Il modello geotecnico adoperato per il calcolo della fondazione di nuovo inserimento (trave sottesa alla nuova parete in muratura armata) prevede di modellare il terreno come mezzo omogeneo a comportamento attritivo e mediamente coesivo a cui possono associarsi i seguenti parametri desunti dalla letteratura tecnica:

-) $\gamma' = 1.90$ ton/mc (peso per unità di volume);
-) $c' = 0.20$ Kg/cm²;
-) $\phi' = 24^\circ$ (angolo di attrito interno).

I parametri del modello geotecnico sono desunti in accordo con quanto previsto nella Relazione Geologica redatta dal Geol. Marroccoli Sante Massimiliano nell'ambito della verifica di vulnerabilità sismica del fabbricato di che trattasi consegnata nel mese di marzo 2019. Per il deposito agli uffici della Regione Basilicata per il tramite del SIS (Sistema Informativo Sismica) del presente progetto strutturale sarà necessaria una specifica Relazione Geologica appositamente redatta per l'intervento in progetto. La condizione di maggiore criticità è quella drenata; nelle verifiche della fondazione con il modello alla Winkler (letto di molle) si è adoperato un coefficiente di rigidezza "K" del terreno pari a 3.50 Kg/cm³ in base a parametri di deformabilità tipici di queste litologie; l'approccio che si segue è quello A1+M1+R3 applicando i coefficienti $\gamma_r=2,3$ per il carico limite e $\gamma_r=1,1$ per lo scorrimento.

Il calcolo è stato condotto con la seguente modalità:

-) acquisizione delle reazioni vincolari involuppo (si vedano figure n. 41 e 42) dedotte dal modello di calcolo con amplificazione delle azioni sismiche (coeff. 1,10);
-) definizione di un modello di verifica del tipo trave su letto di molle alla Winkler caricata con le reazioni vincolare del punto precedente;
-) acquisizione dei risultati (sollecitazione e scarico al suolo) nelle varie sezione del modello a trave;
-) verifica a carico limite (schema di Terzaghi corretto) e di scorrimento.

A seguire si riporta il fascicolo del risultato della fondazione secondo il modello a trave ed a seguire le verifiche geotecniche e strutturali.

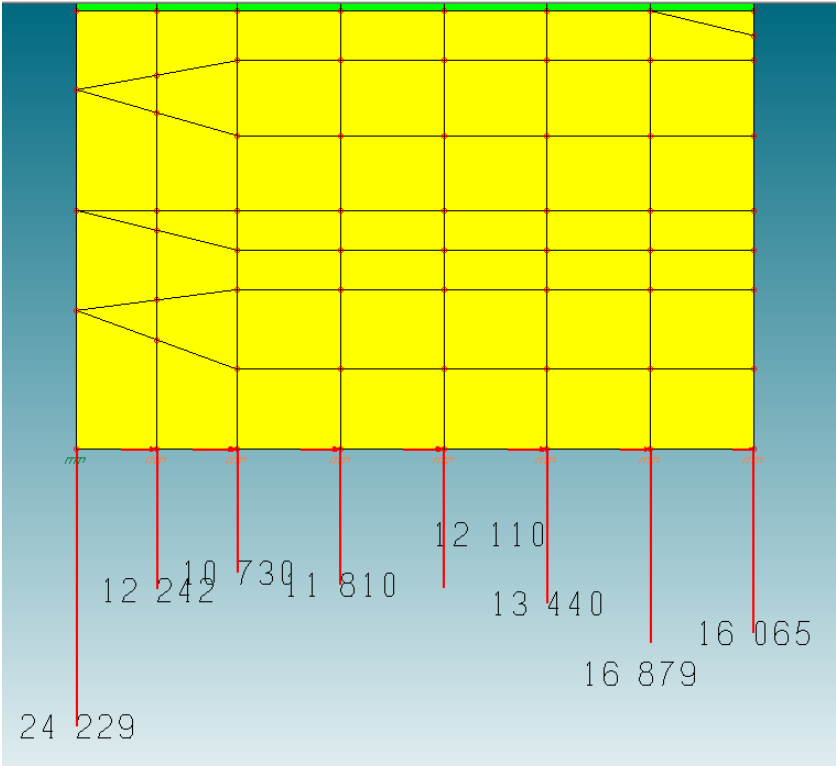


Fig. 22 Reazioni vincolari su trave di fondazione (equilibrio verticale)

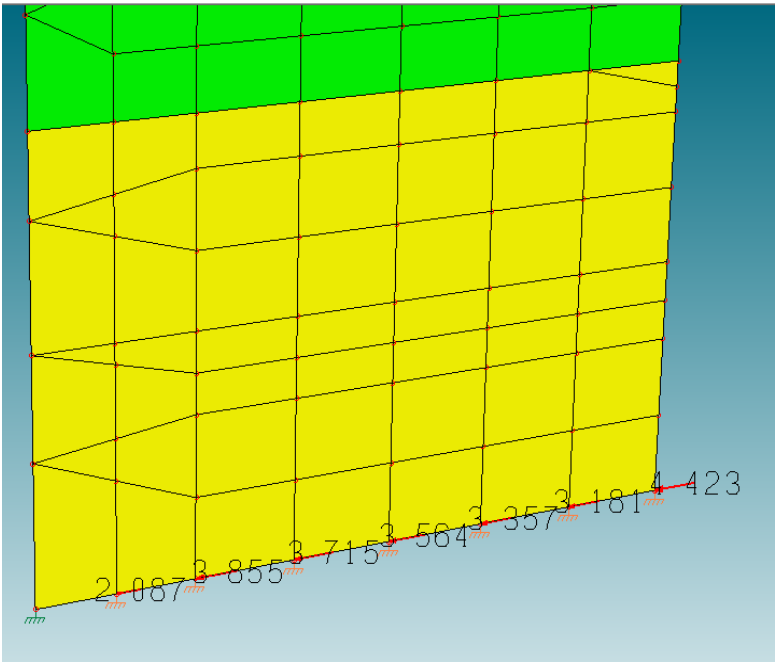


Fig. 23 Reazioni vincolari su trave di fondazione (equilibrio orizzontale)

In ordine alla verifica secondo il modello indicato si ottiene:

$$\sigma_{\max \text{ terreno}} = 0,247 \text{ N/mm}^2 = 2,47 \text{ kg/cm}^2 = \sigma_{\max \text{ agente}}$$

$$M_{\max} = 72,4 \text{ KNm}$$

Verifica a carico limite

La verifica viene condotta con la formula trinomia di Terzaghi:

$$q_{\lim} = N_q \gamma D + N_c C + N_\gamma \gamma B/2 = 18,24 + 38,64 + 7,17 = 64,05 \text{ ton/m}^2$$

I parametri N_q , N_c e N_γ della formula trinomia sono funzione dell'angolo di attrito del terreno e sono stati stimati sulla base delle tabelle riportate alla pagina 149 del testo "Fondazioni" del prof. Carlo Viggiani editore CUEN.

$$q_{\max} = q_{\lim} / \gamma_r = 64,05 / 2,3 = 27,84 \text{ ton/m}^2 = 2,78 \text{ kg/cm}^2 > 2,47 \text{ kg/cm}^2 \text{ (**Verifica soddisfatta**)}$$

DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA			
SEZIONE TRASVERSALE			
Altezza della sezione trasversale di calcestruzzo	h	800	[mm]
Larghezza della sezione trasversale di calcestruzzo	b	800	[mm]
Copriferro	d'	40	[mm]
Altezza utile della sezione	d	760	[mm]
ARMATURA TESA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n_1	6	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n_2	0	[-]
Area dell'armatura tesa	A_s	1206	[mm ²]
ARMATURA COMPRESSA			
Diametro dei ferri correnti	ϕ'_1	16	[mm]
Numero dei ferri correnti	n'_1	6	[-]
Diametro dei ferri di eventuale infittimento	ϕ'_2	0	[mm]
Numero dei ferri di eventuale infittimento	n'_2	0	[-]
Area dell'armatura compressa	A'_s	1206	[mm ²]

DETERMINAZIONE DEL MOMENTO RESISTENTE			
Determinazione della percentuale meccanica di armatura tesa	ω_s		[-]
Rapporto tra copriferro e altezza utile	δ		[-]
Rapporto tra armatura compressa e armatura tesa	ρ		[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2a	ξ_{2a}		[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 2b	ξ_{2b}		[-]
Posizione adimensionale dell'asse neutro per il Campo 3	ξ'_3		[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2a	β_{2a}		[-]
Coefficiente di riempimento per il Campo 2b	β_{2b}		[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2a	$\alpha'_{s(a)}$		[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 2b	$\alpha'_{s(b)}$		[-]
Coefficiente α'_s per il Campo 3	$\alpha'_{s(3)}$		[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2a	ω_{2a}		[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 2b	ω_{2b}		[-]
Percentuale meccanica d'armatura per il Campo 3	ω_3		[-]
	ω'_3		[-]
Armatura simmetrica			
Posizione adimensionale dell'asse neutro	ξ		[-]
Posizione dell'asse neutro	x		[mm]
Deformazione massima nel calcestruzzo	$\varepsilon_{c,max}$		[-]
Deformazione massima dell'acciaio	$\varepsilon_{s,max}$		[-]
Coefficiente di riempimento	β		[-]
Coefficiente di baricentro	κ		[-]
Coefficiente $\alpha'_s = \sigma'_s / f_{yd}$	α'_s		[-]
Tensione nell'armatura compressa	σ'_s		[MPa]
Deformazione dell'armatura compressa	ε'_s		[-]
Momento resistente della sezione	M_{Rd}	339,88	[kNm]
Momento sollecitante a SLU assunto in valore assoluto	M_{Ed}	72,4	[kNm]

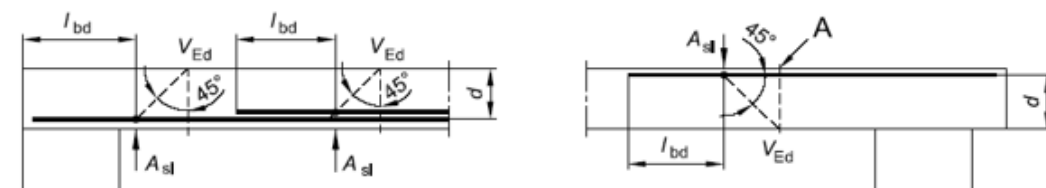
VERIFICA STRUTTURALE A FLESSIONE SODDISFATTA

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO DELLA SEZIONE			
§ 4.1.2.1.3.1 - ELEMENTI SENZA ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Azione di Taglio sollecitante a Stato Limite Ultimo	V_{Ed}	126,1	[kN]
Considerare o meno il contributo dell'armatura tesa nel calcolo		NO	[-]
Coefficiente $C_{Rd,c}$	$C_{Rd,c}$	0,12	[-]
Coefficiente k	k	1,51	[-]
		1,51	[-]
Rapporto geometrico d'armatura che si estende per non meno di $l_{bd} + d$	ρ_l	0,001984	[-]
		0	[-]

figura 6.3 Definizione di A_{sl} nella espressione (6.2)

Legenda

A Sezione considerata



Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	$V_{Rd,c}$	0,00	[kN]
Resistenza minima del calcestruzzo teso	$V_{Rd,min}$	198,01	[kN]
Resistenza a taglio offerta dal calcestruzzo teso	V_{Rd}	198,01	[kN]
§ 4.1.2.1.3.2 - ELEMENTI CON ARMATURE TRASVERSALI RESISTENTI A TAGLIO			
Diametro delle staffe	ϕ_{sw}	10	[mm]
Numero di braccia	n_b	2	[-]
Passo delle staffe	s	100	[mm]
Inclinazione tra il puntone compresso e l'asse della trave	θ	45	[°]
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	90	[°]
Area della sezione trasversale dell'armatura a taglio	A_{sw}	157	[mm ²]
Braccio della coppia interna	z	684	[mm]
Cotangente di θ	$\cot\theta$	1,00	[-]
		1,00	[-]
Cotangente di α	$\cot\alpha$	0,00	[-]
Seno di α	$\sin\alpha$	1,00	[-]
Resistenza offerta dall'armatura a taglio (meccanismo taglio - trazione)	V_{Rsd}	420,43	[kN]
Resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima	f_{cd}	7,08	[MPa]
Resistenza offerta dai puntoni (meccanismo taglio - compressione)	V_{Rcd}	1938,00	[kN]
Massima area efficace di armatura a taglio per $\cot\theta = 1$	$A_{sw,max}$	868,89	[mm ²]
Resistenza a taglio della sezione armata trasversalmente	V_{Rd}	420,43	[kN]
§ 4.1.2.1.3.3 - TAGLIO MASSIMO SOPPORTABILE DALLA TRAVE			
Resistenza massima a taglio della trave	V_{Rd}	2153,33	[kN]

VERIFICA STRUTTURALE A TAGLIO SODDISFATTA

Rispetto allo scorrimento della fondazione:

$T_{agente} = 230$ kN (sommatoria delle reazioni vincolari)

$T_{resistente} = W \tan\phi = 1320 \times 0,44 = 580,80$ kN (nell'ipotesi che ci sia rottura all'interfaccia terreno_calcestruzzo)

$T_{resistente} / T_{agente} = 2,52 > 1,10$ (Verifica soddisfatta)

5. Valutazione dei risultati e giudizio motivato sulla loro accettabilità

Il programma di calcolo utilizzato MasterSap è idoneo a riprodurre nel modello matematico il comportamento della struttura e gli elementi finiti disponibili e utilizzati sono rappresentativi della realtà costruttiva. Le funzioni di controllo disponibili, innanzitutto quelle grafiche, consentono di verificare la riproduzione della realtà costruttiva ed accertare la corrispondenza del modello con la geometria strutturale e con le condizioni di carico ipotizzate. Si evidenzia che il modello viene generato direttamente dal disegno architettonico riproducendone così fedelmente le proporzioni geometriche. In ogni caso sono stati effettuati alcuni controlli dimensionali con gli strumenti software a disposizione dell'utente. Tutte le proprietà di rilevanza strutturale (materiali, sezioni, carichi, sconnessioni, etc.) sono state controllate attraverso le funzioni di indagine specificatamente previste. Sono state sfruttate le funzioni di autodiagnostica presenti nel software che hanno accertato che non sussistono difetti formali di impostazione. E' stato accertato che le risultanti delle azioni verticali sono in equilibrio con i carichi applicati. Sono state controllate le azioni taglianti di piano ed accertata la loro congruenza con quella ricavabile da semplici ed agevoli elaborazioni. Le sollecitazioni prodotte da alcune combinazioni di carico di prova hanno prodotto valori prossimi a quelli ricavabili adottando consolidate formulazioni ricavate dalla Scienza delle Costruzioni.

Si è proceduto a verificare i risultati analizzando la congruenza delle deformate dei casi statico/sismico e le sollecitazioni su schemi semplificati; in particolare si è verificato:

-) congruenza tra masse di calcolo del modello e masse stimate a partire dai pesi della struttura;
-) congruenza con i vincoli imposti delle deformate, dei modi di vibrare e più in generale del comportamento dinamico della struttura;
-) la conformità delle masse eccitate dal calcolo tutte al di sopra dell'85% del totale;
-) lo sforzo normale massimo in condizioni statiche sugli elementi verticali è congruente con quello deducibile dai pesi degli elementi portati per le relative aree d'influenza;
-) lo sforzo flessionale è in linea con quanto ricavato su schemi semplificati tipo trave;
-) l'andamento delle deformate e la forma dei diagrammi delle sollecitazioni sono in linea con i vincoli strutturali imposti nella modellazione delle strutture.

Informazioni integrative sull'uso dei codici di calcolo

Titolo del codice di calcolo: MasterSap TOP;

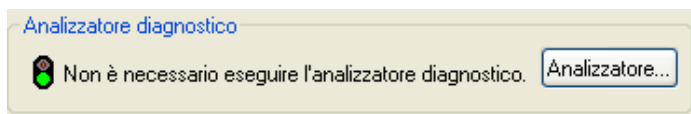
Autore, produttore e distributore: AMV s.r.l., via San Lorenzo 106, 34077 Ronchi dei Legionari (Go);

Versione: MasterSap TOP (licenza n. 34599 studio tecnico ing. Fabrizio)

AFFIDABILITA' DEL CODICE DI CALCOLO

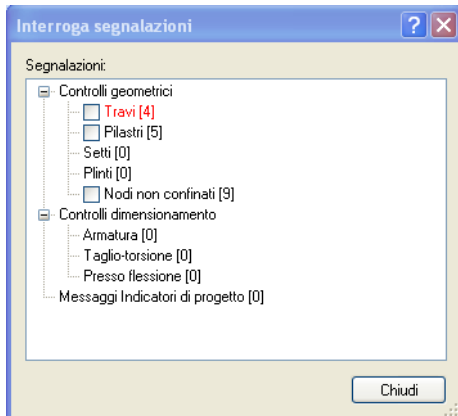
In base a quanto richiesto dalla norme tecniche vigenti il produttore e distributore Studio Software AMV s.r.l. espone la seguente relazione riguardante il solutore numerico e, più in generale, la procedura di analisi e dimensionamento MasterSap. Si fa presente che sul proprio sito (www.amv.it) è disponibile sia il manuale teorico del solutore sia il documento comprendente i numerosi esempi di validazione. Essendo tali documenti (formati da centinaia di pagine) di pubblico dominio, si ritiene pertanto sufficiente proporre una sintesi, sia pure adeguatamente esauriente, dell'argomento. Il motore di calcolo adottato da MasterSap,

denominato LiFE-Pack, è un programma ad elementi finiti che permette l'analisi statica e dinamica in ambito lineare e non lineare, con estensioni per il calcolo degli effetti del secondo ordine. Il solutore lineare usato in analisi statica ed in analisi modale è basato su un classico algoritmo di fattorizzazione multifrontale per matrici sparse che utilizza la tecnica di



condensazione supernodale ai fini di velocizzare le operazioni. Prima della fattorizzazione viene eseguito un riordino simmetrico delle righe e delle colonne del sistema lineare al fine di calcolare un percorso di eliminazione ottimale che massimizza la sparsità del fattore. Il solutore modale è basato sulla formulazione inversa dell'algoritmo di *Lanczos* noto come *Thick Restarted Lanczos* ed è particolarmente adatto alla soluzione di problemi di grande e grandissima dimensione ovvero con molti gradi di libertà. L'algoritmo di Lanczos oltre ad essere supportato da una rigorosa teoria matematica, è estremamente efficiente e competitivo e non ha limiti superiori nella dimensione dei problemi, se non quelli delle risorse hardware della macchina utilizzata per il calcolo. Per la soluzione modale di piccoli progetti, caratterizzati da un numero di gradi di libertà inferiore a 500, l'algoritmo di Lanczos non è ottimale e pertanto viene utilizzato il classico solutore modale per matrici dense simmetriche contenuto nella ben nota libreria *LAPACK*. L'analisi con i contributi del secondo ordine viene realizzata aggiornando la matrice di rigidezza elastica del sistema con i contributi della matrice di rigidezza geometrica. Un'estensione non lineare, che introduce elementi a comportamento multilineare, si avvale di un solutore incrementale che utilizza nella fase iterativa della soluzione il metodo del gradiente coniugato preconditionato. Grande attenzione è stata riservata agli esempi di validazione del solutore. Gli esempi sono stati tratti dalla letteratura tecnica consolidata e i confronti sono stati realizzati con i risultati teorici e, in molti casi, con quelli prodotti, sugli esempi stessi, da prodotti internazionali di comparabile e riconosciuta validità. Il manuale di validazione è disponibile sul sito www.amv.it. E' importante segnalare, forse ancora con maggior rilievo, che l'affidabilità del programma trova riscontro anche nei risultati delle prove di collaudo eseguite su sistemi progettati con MasterSap. I verbali di collaudo (per alcuni progetti di particolare importanza i risultati sono disponibili anche nella letteratura tecnica) documentano che i risultati delle prove, sia in campo statico che dinamico, sono corrispondenti con quelli dedotti dalle analisi numeriche, anche per merito della possibilità di dar luogo, con MasterSap, a raffinate modellazioni delle strutture. In MasterSap sono presenti moltissime procedure di controllo e filtri di autodiagnostica. In fase di input, su ogni dato, viene eseguito un controllo di compatibilità. Un'ulteriore procedura di controllo può essere lanciata dall'utente in modo da individuare tutti gli errori gravi o gli eventuali difetti della modellazione. Analoghi controlli vengono eseguiti da MasterSap in fase di calcolo prima della preparazione dei dati per il solutore. I dati trasferiti al solutore sono facilmente consultabili attraverso la lettura del file di input in formato XML, leggibili in modo immediato dall'utente. Apposite procedure di controllo sono predisposte per i programmi di dimensionamento per il c.a., acciaio, legno, alluminio, muratura etc.

Tali controlli riguardano l'esito della verifica: vengono segnalati, per via numerica e grafica (vedi esempio a fianco), i casi in contrasto con le comuni tecniche costruttive e gli errori di dimensionamento (che bloccano lo sviluppo delle fasi successive della progettazione, ad esempio il disegno esecutivo). Nei casi previsti dalla norma, ad esempio qualora contemplato dalle disposizioni sismiche in applicazione, vengono eseguiti i controlli sulla geometria strutturale, che vengono segnalati con la stessa modalità dei difetti di progettazione.



Ulteriori funzioni, a disposizione dell'utente, agevolano il controllo dei dati e dei risultati. E' possibile eseguire una funzione di ricerca su tutte le proprietà (geometriche, fisiche, di carico etc) del modello individuando gli elementi interessati. Si possono rappresentare e interrogare graficamente, in ogni sezione desiderata, tutti i risultati dell'analisi e del dimensionamento strutturale. Nel caso sismico viene evidenziata la posizione del centro di massa e di rigidezza del sistema. Per gli edifici è possibile, per ogni piano, a partire delle fondazioni, conoscere la risultante delle azioni verticali orizzontali. Analoghi risultati sono disponibili per i vincoli esterni. Il rilascio di ogni nuova versione dei

programmi è sottoposta a rigorosi check automatici che mettono a confronto i risultati della release in esame con quelli già validati realizzati da versioni precedenti. Inoltre, sessioni specifiche di lavoro sono condotte da personale esperto per controllare il corretto funzionamento delle varie procedure software, con particolare riferimento a quelle che sono state oggetto di interventi manutentivi o di aggiornamento.