

COMUNE DI DERUTA

REGIONE DELL'UMBRIA

**POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020.**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICIO SCOLASTICO DI SAN NICOLÒ DI CELLE.**



**SCUOLA MEDIA - VIA GIOSUE' CARDUCCI, SAN NICOLO' DI CELLE - DERUTA (PG)**



Via Orazio Tramontani n.52,  
P. S. Giovanni 06135 Perugia,  
tel. 075/394485 fax. 075/395926  
E-mail:mtprogetti@mtprogetti.it  
Pec:umberto.tassi2@ingpec.eu  
P.IVA 01983250547

*Committente:*  
**AREA TECNICA DEL COMUNE DI DERUTA**  
Geom. Marco Ricciarelli

OGGETTO:

RELAZIONE TECNICA

TAV.:

**RT**

SCALA: -

PLOTTAGGIO: -

FILE: 1808 RT

REV.	DATA	REDATTO	APPROVATO	MOTIVAZIONE
A	06/06/2018	P.GIULIANI	U. TASSI	PRIMA EMISSIONE
B				
C				



**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL  
MIGLIORAMENTO SISMICO ED ENERGETICO DEGLI EDIFICI  
SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E  
SANT'ANGELO DI CELLE**

**Relazione introduttiva**

**Relazione strutturale**

**Relazione geologica e geotecnica**

**Relazione sismica**

**Relazione sui materiali**

**Progetto di fattibilità – interventi di miglioramento sismico**

**Progetto di fattibilità – interventi di efficientamento energetico**

## **SAN NICOLO' DI CELLE**

<b>0. RELAZIONE INTRODUTTIVA.....</b>	<b>3</b>
0.1. OGGETTO .....	3
0.2. INTRODUZIONE .....	3
0.3. NORME DI RIFERIMENTO .....	4
0.3.1. Inquadramento generale.....	4
<b>1. RELAZIONE STRUTTURALE .....</b>	<b>5</b>
1.1. DATI DIMENSIONALI E SCHEMI PLANO-ALTIMETRICI.....	5
1.1.1. Dati dimensionali.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>2. RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA.....</b>	<b>7</b>
<b>3. RELAZIONE SISMICA.....</b>	<b>14</b>
<b>4. RELAZIONE SUI MATERIALI .....</b>	<b>17</b>
4.1. EDIFICO ESISTENTE – MATERIALI E LIVELLO DI CONOSCENZA .....	17
4.2. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA .....	21
4.3. FIBRE DI VETRO .....	22
4.4. MALTA PER INTONACO ARMATO .....	24
4.5. ADESIVO MONOCOMPONENTE.....	25
4.6. BLOCCHI PER LA REALIZZAZIONE DELLE NUOVE PARETI IN POROTON .....	26
<b>5. PROGETTO DI FATTIBILITA' - INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO .....</b>	<b>27</b>
5.1. VERIFICHE NUMERICHE .....	27
5.1.1. Descrizione degli interventi.....	27
5.1.2. Analisi dei carichi .....	27
5.1.3. Identificazione e descrizione del modello di calcolo strutturale .....	28
5.1.4. Condizioni di carico elementari.....	31
5.1.5. Valutazione sicurezza – analisi sismica .....	32
5.1.5.1. Verifica Globale – Analisi Pushover.....	32
5.1.6. Valutazione della sicurezza – analisi per carichi statici .....	37
5.2. RIEPILOGO E COMMENTO DEI RISULTATI.....	39
5.2.1. Riepilogo degli indicatori di rischio sismici.....	39
<b>6. PROGETTO DI FATTIBILITA' - INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO .....</b>	<b>41</b>
<b>7. CONCLUSIONI .....</b>	<b>45</b>

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

## 0. RELAZIONE INTRODUTTIVA

### 0.1. OGGETTO

La presente relazione si riferisce allo studio di fattibilità degli interventi di miglioramento sismico ed energetico dell'edificio scolastico ospitante la Scuola Materna e Media Statale di San Nicolò di Celle sito in Via Giosuè Carducci nel Comune di Deruta.

Tali interventi si inquadrono in quelli ammissibili a contributo per il programma POR FESR 2014/2020. Tutto quanto qui descritto trova fondamento nel vecchio studio di vulnerabilità sismica e sui rilievi precedentemente effettuati.

### 0.2. INTRODUZIONE

L'edificio scolastico di San Nicolò di Celle è una costruzione realizzata in muratura ordinaria tradizionale, composta da un unico corpo di fabbrica del tutto simile agli altri edifici scolastici esistenti nel Comune di Deruta e Comuni limitrofi.

È stato realizzato nei primi anni del 1900, e oggetto poi di un ampliamento con sopraelevazione nei primi anni '70.

L'area dove sorge il plesso scolastico è ubicato lungo Via Giosuè Carducci, la via di maggior scorrimento del paese di S. Nicolò di Celle, in una posizione pressoché centrale rispetto allo sviluppo dell'abitato cittadino. È circondata da edifici sorti anch'essi nei primi anni del 1900 e anni '70 che di fatto ne impediscono, se necessario, qualsiasi ampliamento.

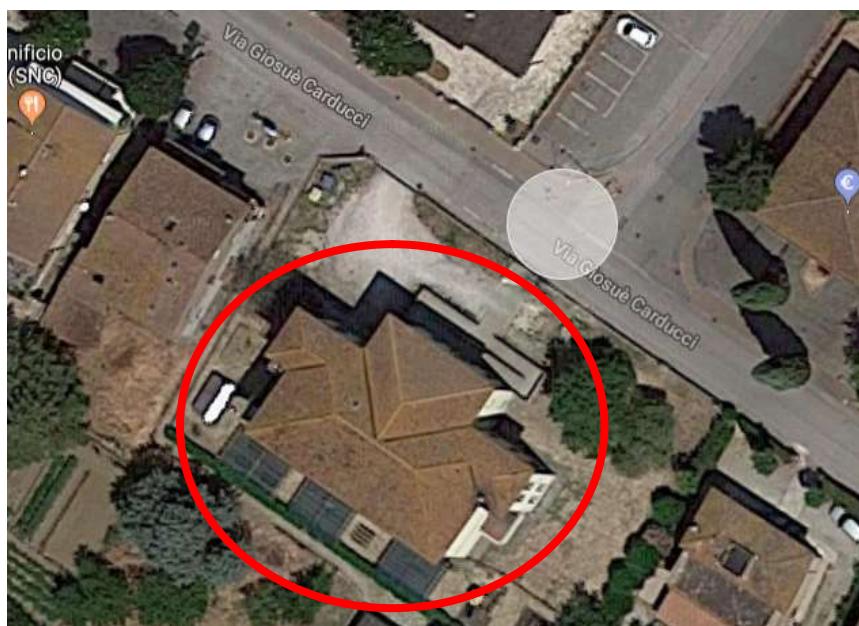


Figura 1: Sito di interesse e vista in pianta della struttura in esame

L'area ha un'estensione complessiva di circa mc. 4500 ed una superficie utile di mq londa

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

così suddivisa (di calpestio netto):

- Piano terra 244 mq,
- Vano scala 26 mq
- Piano primo 242 mq
- Piano secondo 261 mq

### 0.3. NORME DI RIFERIMENTO

#### ***Normativa adottata per le verifiche tecniche***

La verifica di vulnerabilità sismica si rifà alle seguenti normative nazionali o regionali:

- D.M. del 17/01/2018.
- Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 02/02/2009 n°617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008
- Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003

### 0.4. Inquadramento generale

L'immagine seguente mette in evidenza il posizionamento dell'edificio rispetto al centro di San Nicolò di Celle e la sua collocazione rispetto alle costruzioni adiacenti. È censito catastalmente al Foglio n. 1 – Part. 156.



## 1. RELAZIONE STRUTTURALE

### 1.1. DATI DIMENSIONALI E SCHEMI PLANO-ALTIMETRICI

In merito al progetto originale dell'edificio in esame, non si hanno notizie molto dettagliate, sebbene fu realizzato nel 1911 a seguito della campagna di alfabetizzazione del paese a 50 anni dalla sua unione.

Come riportato negli elaborati grafici allegati, trattasi di un architettura tipica di quel periodo, con altezze d'interpiano superiori a 4,00 m, ampie finestre ad arco a tutto sesto, servizi caratterizzati da piccole finestre e posti ai lati corti del fabbricato, corpo scale centrato rispetto al lato di maggior lunghezza e decentrato completamente rispetto al lato corto, corridoio centrale di smistamento.

Il 21 Luglio 1971 fu compilato il progetto di ampliamento da parte del Geom. Salvatore Turchetti, Tecnico Comunale incaricato, ed approvato con delibera del Consiglio Comunale di Deruta n° 110 in data 09 Ottobre 1971. Tale delibera venne approvata dal Comitato di Controllo della Regione dell'Umbria in data 16 Novembre 1971. In data 10 Giugno 1974 fu redatto il Certificato di Collaudo da parte dell'Ing. Franco Marcantoni.

Come si evince dagli elaborati grafici progettuali originali, dal certificato di collaudo e sulla scorta delle numerose ispezioni, la costruzione presenta le seguenti caratteristiche strutturali:

- fondazioni a cordolo continue in pietra, di sezione maggiore rispetto alla muratura sovrastante, con piano di posa approfondito rispetto al piano terra esterno;
- struttura portante del piano terra e piano primo in pietra irregolare;
- muratura di sopraelevazione in mattoni pieni;
- piano terra con pavimento controterra rialzato mediante massicciata e massetto;
- solai di calpestio del piano primo in travi in acciaio e tavelloni, del piano secondo e sottotetto in latero-cemento, tipo Sap, tetto su murici in laterizio e tavelloni;
- manto di copertura in tegole marsigliesi;
- i cordoli sono presenti al piano secondo e sottotetto; il piano primo è privo di cordoli;
- scale con struttura in acciaio e laterizio;
- tramezzi in laterizi in parte forati ed in parte pieni;
- scala esterna di sicurezza in c.a. svincolata rispetto all'edificio principale.

Dall'analisi dei documenti a disposizione e dalle cognizioni effettuate emergono queste considerazioni che verranno riportate di seguito in maniera molto schematica:

1. l'edificio allo stato attuale non è attualmente in grado di sopportare i carichi orizzontali anche di un modesto sisma;

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

2. il piano terra ed il piano primo sono sprovvisti di cordoli che possano garantire un comportamento "globale" dell'edificio ed un minimo "effetto scatola";
3. i solai sono privi di soletta armata e pertanto possono considerarsi semirigidi;
4. la copertura su murici con tavelloni in laterizio e caldana non armata costituisce una massa sismica rilevante posta in sommità e pertanto particolarmente gravosa sulla resistenza alle azioni sismiche delle strutture sottostanti;
5. le altezze degli interpiani risultano notevoli con problemi di verifica delle pareti al ribaltamento ed a pressoflessione;
6. il corpo fondale, realizzato anch'esso in muratura, non presenta segni di cedimento;
7. si segnalano evidenti segni di risalita di umidità, dovuti al piano terra è posto direttamente a contatto del terreno, previa massicciata e massetto anziché essere costituito da solaio rialzato;
8. la distribuzione planimetrica dell'edificio comporta una notevole eccentricità ai vari piani fra baricentro delle rigidezze e baricentro delle masse con conseguente aggravio del comportamento in fase sismica della struttura;
9. alcune aperture eseguite per esigenze didattiche sulle pareti di controventamento, hanno ridotto notevolmente la resistenza delle stesse e dell'intera struttura;
10. le murature del vano scala risultano essere scarsamente vincolate ai vari piani e pertanto soggette a cinematismi locali nel piano e fuori dal piano;

## 2. RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

I dati geologico-stratigrafici e geotecnici dei terreni presenti sono stati ricavati dall'elaborazione di n. 3 sondaggi penetrometrici dinamici pesanti eseguiti, nello studio di vulnerabilità sismica, in area limitrofa all'istituto scolastico e confrontati con stratigrafie note dell'area.

Inoltre altre informazioni di natura geologica e geotecnica, qui presentate, sono estrapolate da alcune relazioni geologiche in possesso dello scrivente effettuate in zone limitrofi (150metri) e ritenute valide visto la non variabilità spaziale dell'assetto stratigrafico caratterizzante l'area in esame (piana del Tevere).

I terreni presenti in superficie sono costituiti da Depositi alluvionali terrazzati (Olocene-Pleistocene) di pertinenza del fiume Tevere, costituti da alternanze di livelli sabbio ghiaiosi e ghiaio sabbioso, in stato di medio-elevato addensamento.

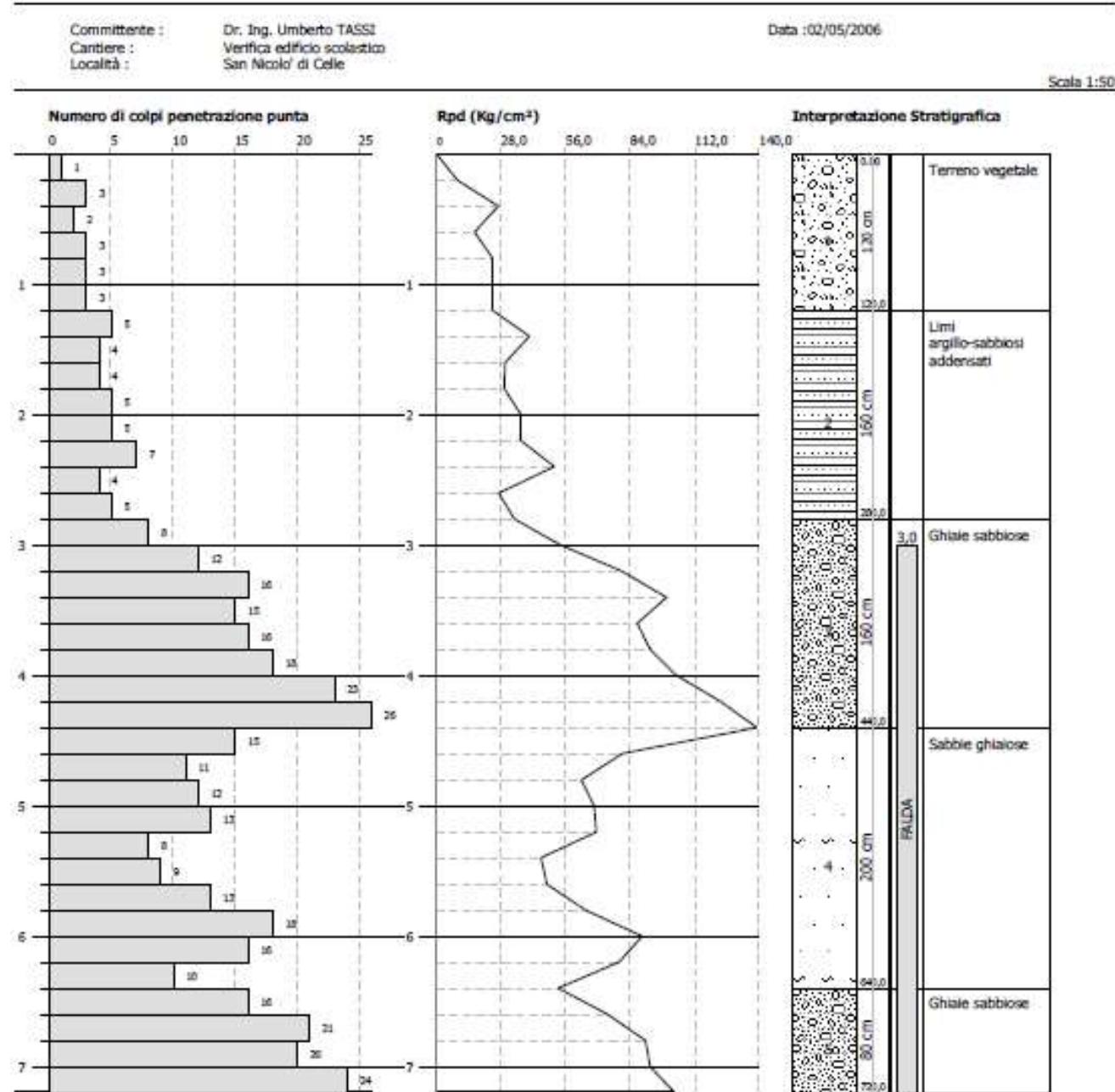
Tale complesso di terreni superficiali, dello spessore massimo superiore a 30 m dal piano campagna, appoggia in profondità con contatto concordante su Depositi Fluvio-lacustri villafranchiani, costituiti da prevalenti argille limose in stato sovraconsolidato.

Il bed-rock semi-lapideo, costituito dalla formazione miocenica della Marnoso-arenacea, si colloca in zona a profondità notevoli, stimate superiori a 50 m dal piano campagna.

La falda freatica si colloca a profondità comprese intorno a m 3.00/3.50 nel periodo di magra, risalente fino a circa m 2.50 nel regime di morbida.

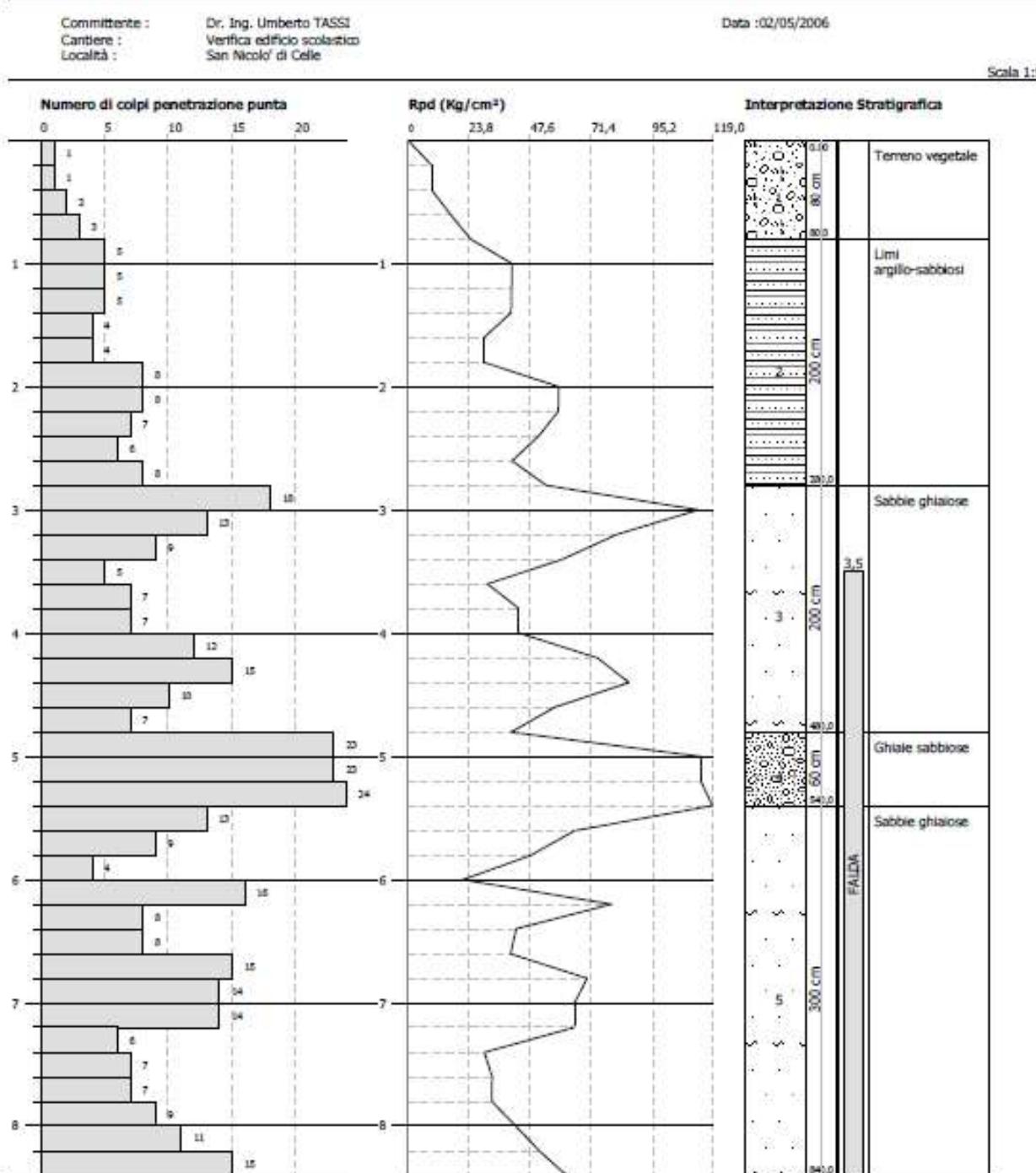
L'edificio presenta fondazioni costituite dall'approfondimento delle attuali pareti murarie.

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH. 1 - di correlazione**  
**Strumento utilizzato... DPSH (Geoland - PAGANI)**  
**DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd**



## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH. 2 - di correlazione

Strumento utilizzato... DPSH (Geoland - PAGANI)  
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

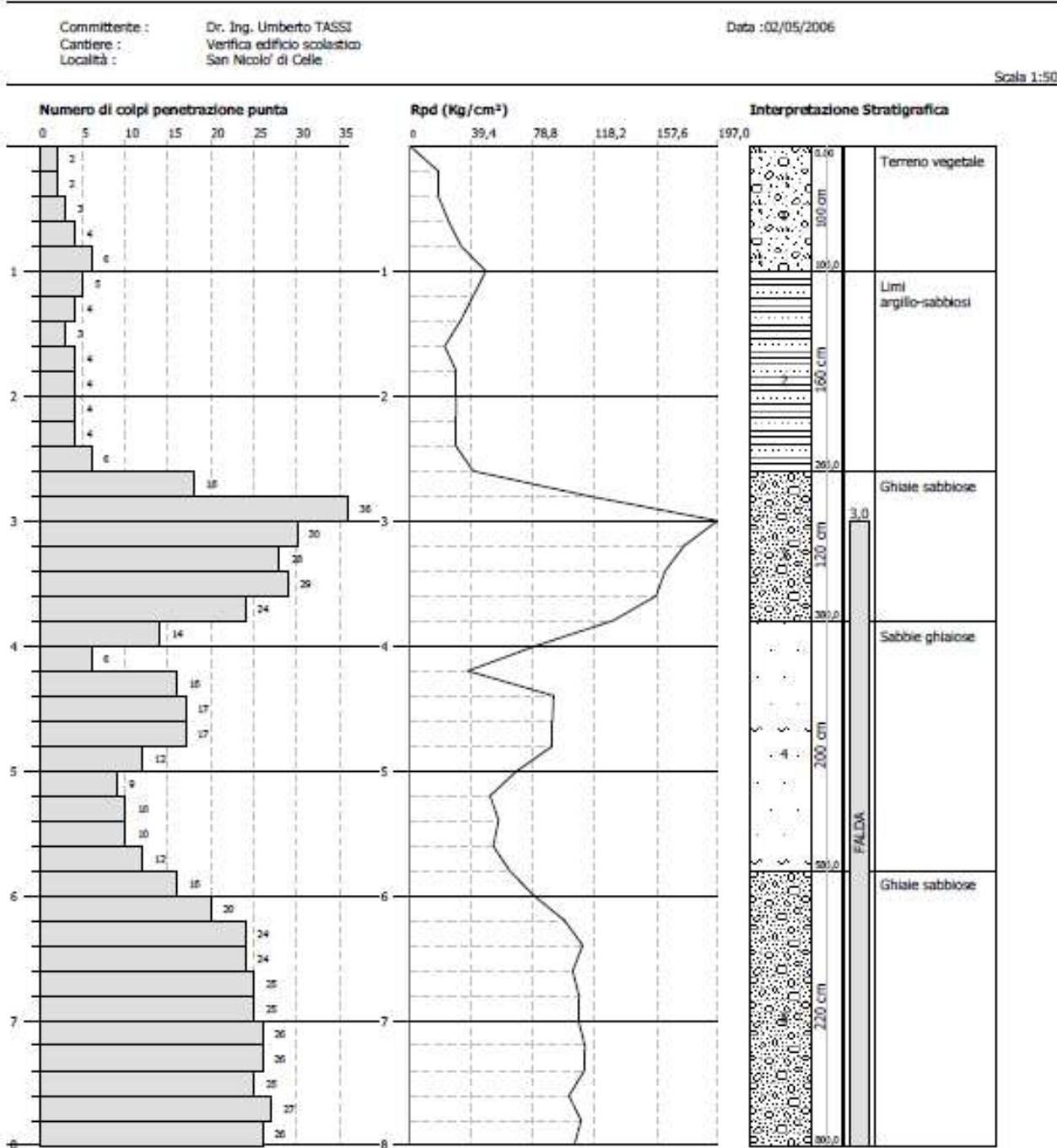


POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

#### PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPAH. 3 - di correlazione

Strumento utilizzato... DPSH (Geoland - PAGANI)

DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd



#### MODELLO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico-stratigrafico i terreni presenti nella zona, come già detto al punto precedente, appartengono alle alluvioni terrazzate antiche del F. Tevere che si estendono nella fascia occidentale della piana omonima per una larghezza di circa 2÷3 km. Il limite orientale di tale terrazzo è rappresentato dalla scarpata nord-sud su cui corre la strada

Marscianese del piano circa 500 metri a est dell'abitato di San Nicolò di Celle.

Il profilo stratigrafico al di sotto del sito in questione, estrapolato in profondità i dati della trincea con le altre perforazioni citate della zona, può essere quindi estrapolato come segue:

- da 0.0 a 0.9 m suolo vegetale;
- da 0.9 a 1.8 m limo sabbioso marrone di medio-bassa densità;
- da 1.8 a 7.0 m ghiaie ciottolose con sabbie medio-dense e in falda al di sotto di 5.0 m
- da 7.0 a >10m limi argillosi grigio-azzurri abbastanza compatti.

Lo spessore delle ghiaie contenenti la falda freatica è di circa 5 m, come risulta dalla perforazione di alcuni pozzi della zona, e al di sotto si rinvengono argille limose grigio-azzurre compatte. È stata effettuata vicino al sito in esame un'indagine di tipo geofisico (sismica passiva) mediante rilievo dei microtremori (tecnica HVSR, Nakamura 1977) per verificare gli spessori degli strati individuati e l'andamento della velocità sismica in profondità (primi 30 metri).

Si è fatto riferimento anche ai risultati delle indagini di tipo geotecnico, nello specifico prove penetrazione metriche statiche CPT, effettuata nel lotto che però si sono arrestate entro lo strato ghiaioso (rifiuto).

In base a tali dati si può comunque estrapolare al di sotto di tutta l'area d'intervento un profilo geologico-stratigrafico pressoché uniforme e corrispondente alla descrizione sopra data. Tale modello stratigrafico, tenuto conto dei risultati dell'indagine sismica (HVSR) riportata in allegato, conferma la presenza di una coltre di depositi alluvionali nella zona che è abbastanza congruente con i modelli geologico-strutturali noti per la media valle del F. Tevere.

Dal punto di vista geologico-strutturale non si rileva la presenza di lineamenti tettonici attivi o comunque tali da condizionare l'edificabilità del sito in esame.

Il modello geologico-stratigrafico del sito vede quindi la presenza di depositi alluvionali e più in profondità fluvio-lacustri che nel complesso presentano uno spessore considerevole di oltre 300 metri nell'area in esame poggianti su un substrato roccioso di natura marnoso-arenacea come risulta da indagini geofisiche e perforazioni profonde effettuate nella piana del F. Tevere.

La caratterizzazione dei terreni ai fini sismici è stata effettuata tenendo conto dei risultati dell'indagine sismica (HVSR) sopra citata. Non vi sono zone sismo genetiche o faglie che possano direzionare o incanalare le azioni sismiche ed il sito si presenta come un materasso alluvionale molto spesso con andamento sub-orizzontale degli strati.

La liquefazione in fase sismica degli strati acquiferi (ghiaie ciottolose) non necessita di valutazione analitica in quanto le ghiaie sono sicuramente al di fuori del fuso critico per la

liquefazione.

I valori numerici dei fattori di amplificazione (FA e FV) da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (FA) e alto periodo (FV) per la situazione in esame sono stati dedotti dagli abachi di riferimento per gli effetti litostratigrafici disponibili (Parte III degli “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica” del DPC 2008).

Il ricorso agli abachi per le amplificazioni stratigrafiche è abbastanza consueto nelle indagini di livelli 2 quando non vi siano altri effetti (es. effetti topografici) significativi oltre alle caratteristiche litostratigrafiche.

#### MODELLO DI SOTTOSUOLO E SCHEMA DEI PROFILI DI VELOCITA'

Nel caso specifico si può ritenere applicabile il terzo profilo (3) di velocità con gradiente intermedio sia quello più aderente alla situazione riscontrata in quanto a partire dai 16 m di profondità la Vs si mantiene sui 450 m/s e al di sotto dei 90 m sale a 780 m/s circa per la presenza di terreni sovraconsolidati. Le lievi variazioni di velocità sismica al di sotto dei 15 m con anche una modesta inversione non sono significative ai fini dell'applicazione del metodo in quanto il rapporto di velocità Vs-rig/Vs-sof è sempre molto minore di 2.

Per le simulazioni degli abachi si è quindi utilizzato un valore di Vs=500 m/s (circa 483 m/s) che sembra cautelativo rispetto alle misure di Vs effettuate con i metodi d'indagine indicati.

Gli abachi riportano anche, in base agli studi di pericolosità effettuati, 3 livelli di sismicità con accelerazioni di picco al suolo di 0.06g (bassa) 0.18g (media) e 0.26g (alta). Per il litotipo più frequente della successione stratigrafica in esame, la ghiaia, e per la massima profondità riportata nelle tabelle che è di 150 m (nell'area si dovrebbe raggiungere una profondità maggiore di circa 300-350 m ma le condizioni non variano significativamente) si ottengono i seguenti valori dei fattori di amplificazione

Alla fine è possibile infine risalire alla categoria di sottosuolo di cui al D.M. 17.1.2018 (A,B, C, D) che però si basano sulle Vs<sub>30</sub> e non sulle Vs<sub>H</sub> come invece gli abachi. A tal proposito sono stati proposti altri abachi che tengono conto del valore della Vs<sub>30</sub> nei primi 30 m e delle Vs<sub>H</sub> al di sotto fino al massimo spessore di 150 m già riportato. La tabella ricavata dall'abaco relativo al profilo di velocità con pendenza intermedia dei valori di Vs<sub>30</sub> (Velocità equivalente nei primi 30 m) alle diverse profondità (H) corrispondenti alla diverse Vs<sub>H</sub> (Velocità equivalenti su tutto lo spessore del deposito) è la seguente:

TABELLA 4 – Valori di Vs<sub>30</sub> e Vs<sub>H</sub> corrispondenti dagli abachi e categorie di sottosuolo.

Profili di velocità	Vs	Spessore	Vs <sub>H</sub>	Categoria
Pendenza massima	500 m/s	150 m	335	C
Pendenza intermedia	500 m/s	150 m	416	B

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

Come già detto il valore della Vs30 stimato dalle misure di microtremore sismico (HVSR) effettuate in situ porta a definire un valore pari a circa: Vs30 = 380 m/s mentre i valori di VsH stimati dagli abachi (Tab. 4) e relativi ad uno spessore delle alluvioni di 150 m indicano un valore maggiore compreso nel range: VsH = 335 – 416 m/s

Da ciò si evince che la categoria di sottosuolo in cui sono inquadrati i terreni della piana del F. Tevere è cautelativamente la **categoria “C”**.

Si specifica poi che la sovrastruttura di fatto non presenta segni di cedimenti dovuti a carenze fondali e l'intervento proposto di fatto non comporta variazioni di carico sugli elementi, nonostante il lieve incremento di rigidezza delle pareti murarie, e di conseguenza sul sistema fondale. Per quanto detto e in base a quanto riportato al paragrafo C8A.5.11 della Circ. 617/09 per gli edifici in muratura, non si andranno a verificare in questa fase le strutture di fondazione esistenti.

Si riporta il suddetto paragrafo:

*“È in genere possibile omettere interventi sulle strutture di fondazione, nonché le relative verifiche, qualora siano contemporaneamente presenti tutte le condizioni seguenti:*

- x) nella costruzione non siano presenti importanti dissesti di qualsiasi natura attribuibili a cedimenti delle fondazioni e sia stato accertato che dissesti della stessa natura non si siano prodotti neppure in precedenza;*
- y) gli interventi progettati non comportino sostanziali alterazioni dello schema strutturale del fabbricato;*
- z) gli stessi interventi non comportino rilevanti modificazioni delle sollecitazioni trasmesse alle fondazioni;*
- aa) siano esclusi fenomeni di ribaltamento della costruzione per effetto delle azioni sismiche”.*

Tali ipotesi sono state poi riadattate nell'attuale normativa e trascritte al paragrafo 8.3 riportato in parte a seguire.

Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.

### 3. RELAZIONE SISMICA

Ai sensi del DM 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni” ai fini della determinazione delle azioni sismiche gravanti sulle opere in progetto, risulta necessaria la conoscenza della cosiddetta **“pericolosità sismica di base”** e della risposta sismica locale, ossia della **“categoria di sottosuolo”**.

La pericolosità sismica viene introdotta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento e suolo rigido (Tipo “A” secondo la Tab. 3.2.II) con superficie topografica orizzontale ( $a_g$ ), di ordinate dello spettro di risposta elastico in termini di accelerazione ( $S_e(T)$ ), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$  definito in fase di scelte progettuali (vedi tabella 3.2.I delle norme sotto riportata).

**Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato**

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Le forme spettrali vengono dunque definite, in funzione delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento (da 30 a 2475 anni), a partire dai seguenti parametri di sito:

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

$T_c^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

#### Vita nominale della costruzione

-  $V_N \geq 50$  anni  $\Rightarrow$  “Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale” - Tab. 2.4.I, punto 2, D.M. 14-01-2008.

**Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere**

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

### Classe d'uso

- Classe III ⇒ "Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie [...] Dighe rilevanti per il loro eventuale collasso".

### Periodo di riferimento per l'azione sismica

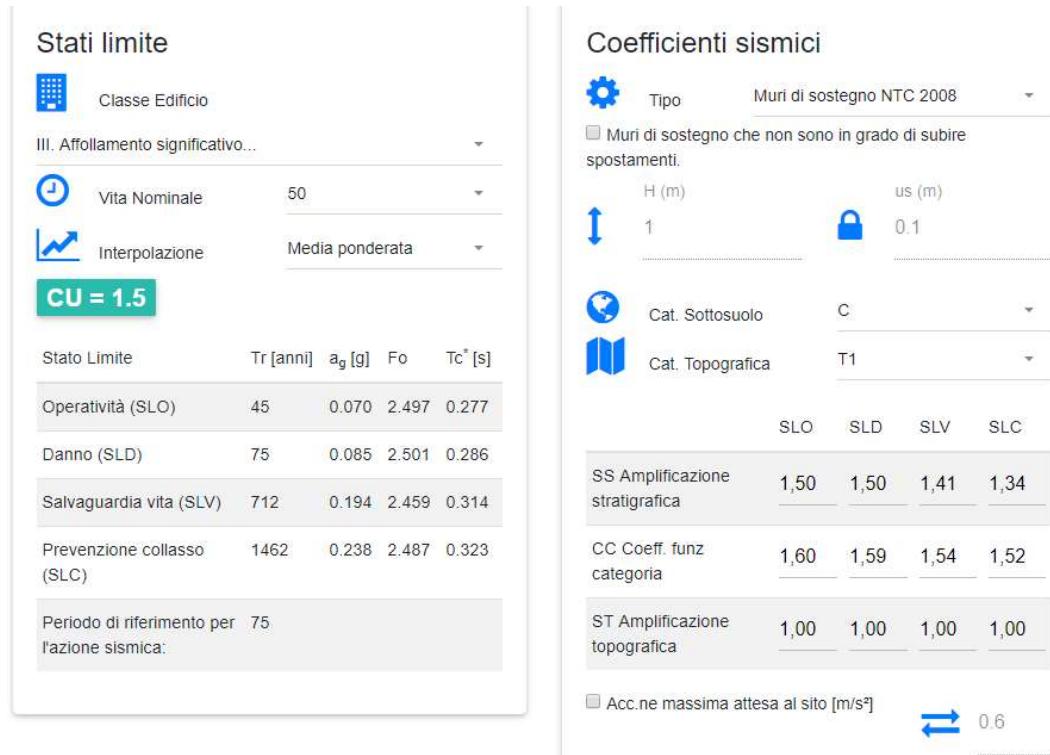
$$- V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.50 = 75 \text{ anni}$$

⇒  $C_U = 1.5$  per Classe d'uso III - Tab. 2.4.II, DM 14/01/2008.

### Ubicazione dell'opera

Al fine della determinazione dei parametri di sito, è necessaria la conoscenza dell'ubicazione dell'opera. Nel caso in oggetto le coordinate del sito di costruzione risultano (ED50):

⇒ Ubicazione fabbricato: **12.384751° E - 43.015811° N**



**Figura 2 Coordinate geografiche**

### Condizioni topografiche

Le condizioni topografiche sono tali da considerare la costruzione ricadente nella categoria "T1" della Tab. 3.2.IV del DM 14/01/2008.

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

**Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

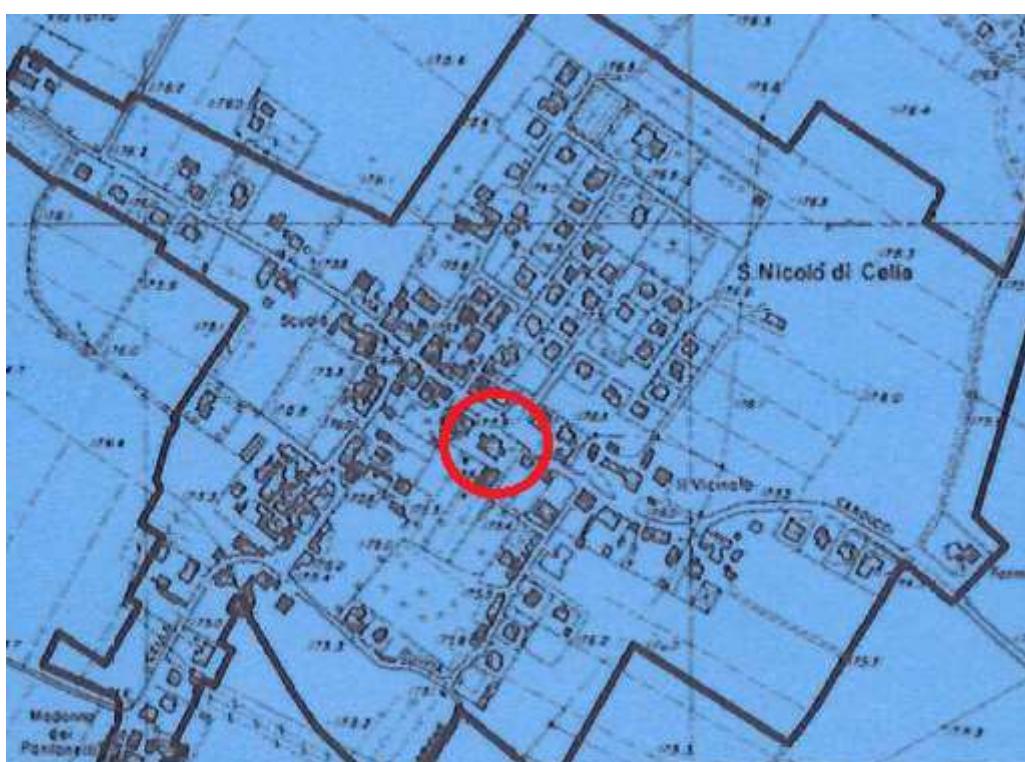
### Categoria di sottosuolo

La categoria di sottosuolo individuata tra quelle previste nella Tabella 3.2.II del DM 14/01/2008, è la “C”.

Nella cartografia comunale la zona ricade nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali  
– Aree fondovalle con depositi alluvionali

### Elementi areali

- [Blue] 1 - Zone suscettibili di instabilità - Aree caratterizzate da movimenti franosi attivi
- [Red] 2 - Zone suscettibili di instabilità - Aree caratterizzate da movimenti franosi quiescenti
- [Orange] 3 - Zone suscettibili di instabilità - Aree potenzialmente francse o esposte a rischio di frana
- [Pink] 4 - Zone suscettibili di instabilità - Aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)
- [Magenta] 5 - Zone suscettibili di instabilità - Aree interessate da deformazioni dovute a faglie attive e capaci
- [Light Blue] 6 - Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali - Aree di fondovalle con depositi alluvionali
- [Green] 7 - Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali - Aree pedemontane di falda di detrito o cono di deiezione
- 14 - Zone stabili

**Figura 3 Stralcio cartografia comunale pericolosità sismica**

## 4. RELAZIONE SUI MATERIALI

Nell'esecuzione delle opere e per la stima della vulnerabilità di quello esistente è previsto l'impiego dei seguenti materiali.

### 4.1. Edificio esistente – materiali e Livello di Conoscenza

Trattandosi di edifici esistenti la valutazione della sicurezza è normalmente affetta da un grado di incertezza diverso da quello degli edifici di nuova progettazione. Ciò comporta l'impiego di adeguati fattori di confidenza (FC) nelle verifiche di sicurezza dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità dell'informazione disponibile e quindi dal grado di conoscenza del manufatto raggiunto a seguito delle indagini effettuate.

Il livello di conoscenza acquisito determina il metodo di analisi e i fattori di confidenza da applicare alle proprietà dei materiali.

Lo studio di vulnerabilità sismica del fabbricato eseguito nel 2006 era stato condotto con un livello di conoscenza limitato della struttura LC1, in virtù della accurata campagna prove che verrà condotta nella fase di progetto definitivo si è ipotizzato, per questa fase di studio di fattibilità, un **livello di conoscenza adeguato della struttura LC2 e il relativo fattore di confidenza FC=1,2.**

Sulla base delle informazioni reperite dall'analisi di vulnerabilità sismica del 2006 e dai sopralluoghi effettuati si sono rilevate due differenti tipologie murarie:

- Muratura in pietrame disordinata per i primi due livelli;
- Muratura in mattoni pieni e malta di calce al terzo livello (sopraelevazione degli anni '70).

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei quadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

Tabella C8A.2.2 - Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei quadrati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

\* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

Nel modello di calcolo sono state utilizzate le seguenti tipologie murarie (Tab. C8A.2.1) con i relativi valori di riferimento dei parametri meccanici:

- *Tipologia Muraria*: Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)

$$f_m = 180 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_0 = 3.2 \text{ N/cm}^2$$

$$E = 870 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 290 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 19 \text{ kN/m}^3$$

- *Tipologia Muraria*: Muratura in mattoni pieni e malta di calce

$$f_m = 320 \text{ N/cm}^2$$

$$\tau_0 = 7.6 \text{ N/cm}^2$$

$$E = 1500 \text{ N/mm}^2$$

$$G = 500 \text{ N/mm}^2$$

$$W = 18 \text{ kN/m}^3$$

Muratura esistente		Muratura Sopraelevazione	
<b>Generale</b>		<b>Generale</b>	
Nome	Muratura esistente	Nome	Muratura Sopraelevazione
Tipologia	Pietrame disordinata	Tipologia	Mattoni pieni e malta di calce
Fattore di Cc	1.20	Fattore di Cc	1.20
<b>Moduli elasticci</b>		<b>Moduli elasticci</b>	
Valori	Medi	Valori	Medi
E	870	E	1500
G	290	G	500
<b>Resistenze</b>		<b>Resistenze</b>	
Valori	Massimi	Valori	Medi
f,m	1.800	f,m	3.200
$\tau_0$	0.032	$\tau_0$	0.076
f,tm	0.180	f,tm	0.320
f,hm	0.900	f,hm	1.600
<b>Altre proprietà meccaniche</b>		<b>Altre proprietà meccaniche</b>	
w	19.00	w	18.00
Coefficiente	0.40	Coefficiente	0.40
a	0.000010	a	0.000010
> Coefficienti c		> Coefficienti c	
<b>Proprietà grafiche</b>		<b>Proprietà grafiche</b>	
Colore 2D		Colore 2D	
Colore 3D		Colore 3D	
Texture		Texture	
<b>Requisiti geometrici maschi murari</b>		<b>Requisiti geometrici maschi murari</b>	
Spessore mir	0,300	Spessore mir	0,240
Snellezza cor	2.000	Snellezza cor	2.500
Snellezza ort	10.000	Snellezza ort	12.000

Muratura nuova	
<b>Generale</b>	
Nome	Muratura nuova
Tipologia	Elementi di laterizio semipieni
<b>Proprietà meccaniche</b>	
w	18.00
E	5300
G	2120
f,k	5.300
f,tm	0.000
$f_{vk0}$	0.200
$f_{hk}$	2.650
Coefficiente	0.40
a	0.000010
<b>Blocchi e malta</b>	
f,bk	10
f,bk	2
fm,m	10
<b>Proprietà grafiche</b>	
Colore 2D	
Colore 3D	
Texture	
<b>Requisiti geometrici maschi murari</b>	
Spessore mir	0,240
Snellezza cor	2.500
Snellezza ort	12.000

Caratteristiche dei Materiali Impiegate nell'Analisi

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

#### 4.2. ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA

Per la realizzazione dei tiranti metallici, delle cerchiature e dei cordoli di piano si utilizzeranno acciai conformi alle norme armonizzate della serie UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza saldatura) e UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recanti la Marcatura CE, cui si applica il sistema di attestazione della conformità 2+.

Per la realizzazione delle parti in acciaio è previsto l'impiego di acciaio laminato di tipo S 275.

Nel calcolo, seguendo quanto riportato al paragrafo 11.3.4.1 del D.M. 14.01.2008, sono stati assunti per questo tipo di acciaio i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento  $f_{yk}$  e di rottura  $f_{tk}$  riportati nella tabella seguente:

**Tabella 1 – Laminati a caldo con profili a sezione cava**

Qualità dell'acciaio	Spessore nominale dell'elemento			
	$t \leq 40 \text{ mm}$		$40 \text{ mm} \leq t \leq 80 \text{ mm}$	
	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{yk} [\text{N/mm}^2]$	$f_{tk} [\text{N/mm}^2]$
S 275	275	430	255	410

In sede di progettazione sono stati assunti i seguenti valori nominali delle proprietà del materiale:

$$\text{modulo elastico} \quad E = 210.000 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{modulo di elasticità trasversale} \quad G = E / [2(1 + v)] [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{coefficiente di Poisson} \quad v = 0,3$$

$$\text{coefficiente di espansione termica lineare} \quad \alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (per } t \leq 100 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

$$\text{densità} \quad \rho = 7850 \quad [\text{kg/m}^3]$$

Secondo quanto indicato al paragrafo 11.3.4.6.1, i bulloni, conformi per le caratteristiche dimensionali alle norme UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968, devono appartenere alle sotto indicate classi della norma UNI EN ISO 898-1:2001, associate nel modo indicato nella seguente tabella:

	Normali			Ad alta resistenza	
Vite	4.6	5.6	6.8	8.8	10.8
Dado	4	5	6	8	10

Le tensioni di snervamento  $f_{yb}$  e di rottura  $f_{tb}$  delle viti (bulloni) appartenuti alle classi indicate nella precedente tabella sono riportate nella seguente tabella:

Classe	4.6	5.6	6.8	8.8	10.8
$f_{yb} [\text{N/mm}^2]$	240	300	480	649	900
$f_{tb} [\text{N/mm}^2]$	400	500	600	800	1000

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

Le giunzioni saldate saranno effettuate in conformità alle prescrizioni del paragrafo 11.3.4.5 del D.M. 14.1.2008. Le modalità di accettazione ed i controlli verranno effettuati in accordo con le Normative citate (D.M. 14.1.2008).

#### 4.3. FIBRE DI VETRO

Si andrà a realizzare un intonaco armato mediante il sistema Ri-Struttura-Murature della ditta Fibranet. Di seguito sono riportate le informazioni delle diverse componenti.



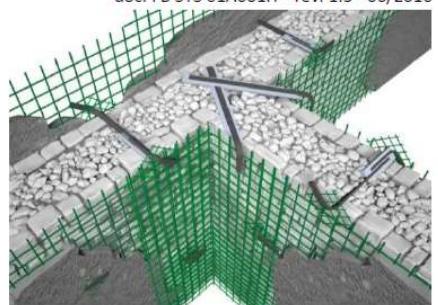
#### FIBREBUILD RI-STRUTTURA - MURATURE

sistema di intonaco armato sottile con rete preformata in GFRP per il rinforzo di murature

**FIBREBUILD RI-STRUTTURA** (Fabric Reinforced Cementitious Matrix) è il sistema di rinforzo strutturale di Fibre Net 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.

#### SCHEDA TECNICA DI SISTEMA FIBREBUILD RI-STRUTTURA - MURATURE

doc. FB SYS 01A001IT - rev. 1.3 - 06/2016



#### COMPONENTI DEL SISTEMA

##### RETE FB MESH

Rete in GFRP prodotta con tecnologia Textrusion™, le cui barre sono costituite da fibre di vetro lunghe impregnate con resina termodurente di tipo epoxidico-vinilester. Nella formazione della rete le fibre delle due direzioni sono intrecciate ortogonalmente in modo da creare una maglia monolitica.

##### Caratteristiche

	Valore	Valore
Spessore medio della rete	3 mm	5 mm
Sezione nominale della singola barra della rete	10 mm <sup>2</sup>	20 mm <sup>2</sup>
Dimensioni della maglia	33x33 mm / 33x66 mm / 66x66 mm / 99x99 mm	
Resistenza a trazione della barra	3,5 kN	5,7 kN
Allungamento a rottura della barra	1,5 %	1,1 %
Rigidezza assiale media a trazione della barra EA	230 kN	540 kN
Resistenza a strappo media del nodo	---	≥ 0,20 kN
Reazione al fuoco*	A2	A2
Potere calorifico	7,99 MJ/Kg	7,99 MJ/Kg



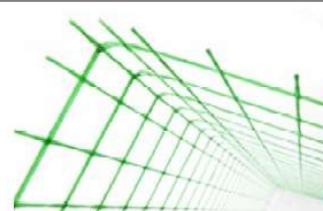
\* Valutato considerando rete FB MESH 66x66T96AR interposta in uno spessore da 30 mm di malta premiscelata FIBREBUILD NHL 8MPa classificata A1.

##### ANGOLARE FBANG

Elemento preformato in rete in GFRP piegato ad angolo retto.

##### Caratteristiche

	Valore
Dimensioni dell'angolare	330x330 mm, altezza 2 m
Sezione nominale della singola barra della rete	10 mm <sup>2</sup> / 20 mm <sup>2</sup>
Dimensioni della maglia	33x33 mm, 66x66 mm, 99x99 mm
Resistenza a trazione della barra	3,5 kN / 5,7 kN
Allungamento a rottura della barra	1,5 % / 1,1 %
Rigidezza assiale media a trazione della barra EA	230 kN / 540 kN



POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

<b>CONNETTORE FBCON</b>	
Connettore a "L" in GFRP per il collegamento della rete FBMESH alla muratura, realizzato con fibra di vetro AR pretensionata e impregnata con resina termoindurente di tipo vinilestere-epossidico.	
Caratteristiche	Valore
Dimensioni del connettore	lato lungo: da 10 a 100 cm, lato corto: 10 cm
Sezione del connettore	10x7 mm
Resistenza a trazione della barra	31 kN
Allungamento a rottura	1,7 %
Rigidezza assiale media a trazione EA	1847 kN



# FIBREBUILD

SISTEMI PER IL RINFORZO STRUTTURALE

## RETE IN GFRP

FBMESH T96AR e T192AR

maglia da 33x33 mm a 99x99 mm

### SCHEDA TECNICA RIASSUNTIVA

FBMESH T96AR e T192AR

doc. FB 01 STC 001 IT 01 - 0316

*adatta per il rinforzo strutturale di murature, solai, massetti e volte, per il consolidamento e la protezione del calcestruzzo e delle pavimentazioni storiche*

FBMESH Rete preformata in GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) di Fibre Net prodotta con tecnologia Textrusion™, le cui barre sono costituite da fibre di vetro alcalino-resistenti impregnate con resina termoindurente epossidica-vinilestere. Nella formazione della rete le fibre nelle due direzioni sono intrecciate ortogonalmente in modo da creare una maglia monolitica.

### CONFORME A LINEE GUIDA CNR-DT 200 R1/2013 e CNR-DT 203/2006

Caratteristiche geometriche	u.d.m.	33x33 T96	33x66 T96	66x66 T96	99x99 T96	66x66 T192	99x99 T192
Spessore medio	mm	3	3	3	3	5	5
Sezione nominale della singola barra	mm <sup>2</sup>	10	10	10	10	20	20
Area nominale fibre	mm <sup>2</sup>	3,8	3,8	3,8	3,8	7,6	7,6
Dimensione della maglia (AxB)	mm	33x33	33x66	66x66	99x99	66x66	99x99
Barre/metro/lato	--	30	30 e 15	15	10	15	10
Peso	g/m <sup>2</sup>	1000	750	500	350	1000	700
Caratteristiche meccaniche	Normativa	33x33 T96	33x66 T96	66x66 T96	99x99 T96	66x66 T192	99x99 T192
Resistenza a trazione della singola barra	ISO 527-4,5:97	3,5 kN	3,5 kN	3,5 kN	3,5 kN	5,7 kN	5,7 kN
Allungamento a rottura	ISO 527-4,5:97	1,5 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %	1,1 %	1,1 %
Rigidezza assiale media a trazione EA	ISO 527-4,5:97	230 kN	230 kN	230 kN	230 kN	540 kN	540 kN

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLO DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

Caratteristiche chimico-fisiche	Normativa	Valore
Fibra di vetro	ASTM C1666M-07	vetro AR - ZrO <sub>2</sub> ≥ 16 %
Sezione della fibra	ISO 1889:1986	19-24 µm
Resina termoindurente	---	epossidico-vinilestere
Densità resina	---	1,1 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura di distorsione termica T <sub>g</sub>	DIN 53445	120 °C
Coefficiente di dilatazione termica	---	6-7x10 <sup>-6</sup> cm/cm°C
Conduttività termica	---	0,25 kcal/mh°C
Rapporto in peso fibra/resina	---	65/35 %
Radiotrasparenza a 1 GHz	MIL-STD-285	max 1 ΔdB
Comportamento a esposizione a raggi UV	ASTM G154-2006	nessun difetto (scala grigi 5)
Comportamento a calore, freddo, umidità	ISO 9142:04	nessun difetto (n. cicli 21)
Riciclabilità	Protocollo CSI	cert. n. 140001
Colore	---	verde 6018 (RAL)
Comportamento al fuoco*	EN 13501 - 1: 2009	A2
Potere calorifico	7,99 MJ/Kg	7,99 MJ/Kg

#### MODALITA' DI POSA

1. Rimozione dell'intonaco esistente e delle parti ammalorate e scarifica di circa 10 – 15 mm dei giunti di allettamento per favorire l'aderenza della malta. Eventuale ricostruzione di parti di murature mancanti o particolarmente danneggiate
2. Esecuzione di fori del diametro di 24 mm per i connettori passanti nel numero previsto da progetto, da realizzarsi in zone compatte della muratura, preferibilmente con utensili a rotazione. È sufficiente un foro di diametro 14 – 18 mm laddove si prevede un solo connettore (fori non passanti o rinforzo su un solo lato della muratura)
3. Pulizia dei fori e della muratura con aria compressa, lavaggio e bagnatura della superficie a saturazione (dove possibile) e applicazione di un primo strato di rinzaffo al paramento murario
4. Messa in opera della rete srotolando il rotolo dall'alto verso il basso, fra il ponteggio e la muratura
5. Fissaggio provvisorio della rete alla muratura con chiodi da carpenteria per permettere il corretto posizionamento e il taglio della rete in corrispondenza della aperture. Il taglio della rete viene realizzato per mezzo di cesoie e/o tronchesi da cantiere o con smerigliatrice angolare. Sovraporre le fasce di rete per circa 15 cm al fine di garantire la continuità meccanica. Non piegare la rete ad angolo vivo per evitare l'eventuale rottura delle fibre.
6. Montaggio degli angolari in corrispondenza degli spigoli sovrapponendoli alla rete già stesa per 15 cm
7. Inserimento del connettore in GFRP di lunghezza pari allo spessore della muratura. Se necessario, taglio della parte eccedente del connettore in GFRP con dischi diamantati per laterizio
8. Posa della rete in GFRP sull'altro lato del paramento murario
9. Inserimento nel foro del secondo connettore in GFRP, creando una sovrapposizione di almeno 10 – 15 cm, e iniezione di resina epossidica tixotropica per solidarizzare i due elementi. Ove previsto, applicazione dei fazzoletti di ripartizione
10. Applicazione di un nuovo strato di intonaco di malta con le caratteristiche di progetto, di spessore minimo pari a circa 30 mm per lato. Al fine di evitare fessurazioni della malta da intonaco, gli elementi in GFRP dovranno essere coperti da almeno 1 cm di malta. La rete deve essere posizionata in mezzeria dello spessore di malta.

#### 4.4. MALTA PER INTONACO ARMATO

La malta dovrà garantire una resistenza minima di 15 Mpa. Di seguito le caratteristiche tecniche.



SISTEMI PER IL RINFORZO STRUTTURALE

SCHEDA TECNICA

FBCALCEM15MPa

doc. FB 015TC 050 IT 02 - rev. 02 - 04/2017

**FIBREBUILD INTONACO**

FBCALCEM15MPa

PREMISCELATO A BASE CALCE PER APPLICAZIONI STRUTTURALI

*adatto per il rinforzo strutturale di manufatti in muratura, sottoposti a cedimenti e fessurazioni dovuti ad eventi sismici e a scarsa resistenza meccanica*

Caratteristiche	Normativa	Valore
Classe e tipologia	EN 990-1	CS IV - GP
Aspetto	-	Polvere
Colore	-	Biancastro
Granulometria	-	0 ÷ 1,5 mm
Massa volumica apparente	-	1,40 ± 0,1 kg/L
Acqua di impasto	-	18 %
Massa volumica apparente dell'impasto	EN 1015-6	1,80 ± 0,1 kg/L
Temperatura di applicazione	-	+5°C ÷ +35°C
Temperatura di esercizio	-	-30°C ÷ +90°C
Spessore minimo di applicazione	-	8 mm
Spessore massimo di applicazione	-	30 mm per strato
Applicazione	-	Meccanica-Manuale
Assorbimento d'acqua per capillarità	EN 1015-18	W2 ( $\leq 0,20 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ )
Permeabilità al vapore acqueo	EN 1015-19	15 / 35
Resistenza alla compressione - 28 giorni	EN 1015-11	CS IV ( $\geq 15 \text{ MPa}$ )
Resistenza alla flessione - 28 giorni	EN 1015-11	$\geq 1,5 \text{ MPa}$
Adesione al supporto in laterizio	EN 1015-12	$\geq 0,5 \text{ MPa}$ (FP: A)
Adesione al supporto in c/s	EN 1015-12	$\geq 1,0 \text{ MPa}$ (FP: A)
Modulo elastico a compressione	EN 13412	$\leq 10 \text{ GPa}$
Contenuto in cloruri	EN 1015-17	$\leq 0,05 \%$
Conducibilità termica $\lambda_{10\text{dry}} (P = 50 \%)$	EN 1745	0,83 W/m.K
Euroclasse di reazione al fuoco	EN 13501-1	A1
Consumo	-	14 kg/m <sup>2</sup> x cm
Confezione kg	-	sacco 25 kg
Stoccaggio in luogo asciutto	-	12 mesi

Lo spessore dell'intonaco deve essere di almeno 3 cm

#### 4.5. ADESIVO MONOCOMPONENTE

Adesivo monocomponente all'acqua a base di dispersione poliuretanica per impregnazione di tessuto in fibra di vetro tipo MAPEWRAP EQ ADHESIVE

Resistenza a trazione : 5.25 N/mm<sup>2</sup>

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

#### 4.6. BLOCCHI PER LA REALIZZAZIONE DELLE NUOVE PARETI IN POROTON

Elementi tipo blocco in laterizio forato (percentuale <45%) della ditta FBM di Marsciano con le seguenti caratteristiche tecniche:

<b>Dimensioni (S x L x H):</b>		<b>25x30x18</b>	
<b>Caratteristiche blocco</b>	Tipo: Elemento HD per muratura portante in zona sismica		
	Massa volumica linda	Kg/m <sup>3</sup>	<b>919</b>
	Massa volumica netta	Kg/m <sup>3</sup>	<b>1671</b>
	Percentuale di foratura	%	<b>45</b>
	Resistenza media a compressione in direzione dei carichi verticali (fbm):	N/mm <sup>2</sup>	<b>24,2</b>
	Resistenza caratteristica a compressione in direzione dei carichi verticali (fbk):	N/mm <sup>2</sup>	<b>20,1</b>
	Resistenza caratteristica a compressione in direzione ortogonale (fbk1):	N/mm <sup>2</sup>	<b>5,4</b>
<b>Parete</b>	Resistenza termica del blocco (R)	°Km <sup>2</sup> /W	<b>1,28</b>
	Conduttività termica equivalente del blocco ( $\lambda$ eq)	W/°Km	<b>0,19</b>
	Massa superficiale <sup>(1)</sup>	Kg/m <sup>2</sup>	<b>235</b>
	Potere fonoisolante $R_w$ <sup>(2)</sup>	dB	<b>48</b>
	Resistenza al fuoco <sup>(3)</sup>	REI	<b>120</b>
	Sostanze pericolose	/	<b>assenti</b>
	Coefficiente di diffusione al vapore acqueo	$\mu$ (= $\delta a / \delta$ )	<b>5/10</b>
Note: (1) Spessore dei giunti di 10 mm (2) Spessore dell'intonaco 1 cm su ambo i lati (3) Con intonaco tradizionale (1 cm su ambo i lati ovvero 2 cm sul lato esposto al fuoco)			
<b>Caratteristiche muratura</b>	<b>Valori riferiti alla parete con spessore 25 cm</b>		<b>malta normale</b>
	Trasmittanza termica (con intonaco normale int. ed est.) U	W/°Km <sup>2</sup>	<b>0,70</b>
	Trasmittanza termica (con intonaco normale int. e termoisolante est.) U	W/°Km <sup>2</sup>	<b>0,58</b>
	Trasmittanza termica (con intonaco termoisolante int. ed est.) U	W/°Km <sup>2</sup>	<b>0,49</b>
Note: Malta normale $\lambda = 0,83$ W/°Km Malta termica $\lambda = 0,25$ W/°Km Intonaco normale $\lambda = 0,54$ W/°Km (spessore 1,5 cm) Intonaco termoisolante $\lambda = 0,06$ W/°Km (spessore 2 cm)			

Malta per muratura di classe M10 con resistenza minima di 10MPa.

## 5. PROGETTO DI FATTIBILITÀ - INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

### 5.1. VERIFICHE NUMERICHE

#### 5.1.1. Descrizione degli interventi

Le verifiche strutturali eseguite si basano sullo studio di vulnerabilità precedente. Gli interventi proposti dovranno garantire il raggiungimento di un IR sismico almeno pari a 0.6, ovvero conseguire un livello di sicurezza sismico pari al 60% di una costruzione di nuova realizzazione.

Nel dettaglio saranno eseguite:

- Setti murari di controventamento a tutta altezza in blocchi Poroton di spessore pari a 45 cm nei primi due livelli e di 30 cm all'ultimo livello;
- Chiusura di nicchie;
- Cerchiature metalliche in grado di ripristinare la continuità della muratura;
- Cordolo di piano nel primo orizzontamento con profilati metallici;
- Demolizione della copertura pesante esistente e realizzazione di una nuova in travi in acciaio e pannello sandwich;
- Aumento della capacità resistenziale della muratura con intervento di intonaco armato su entrambe le facce murarie con fibre di vetro;
- Inserimento di tiranti antiespulsivi e di catene metalliche a livello del primo e secondo impalcato.

#### 5.1.2. Analisi dei carichi

Nel presente paragrafo si stimano i carichi che gravano sulla struttura in accordo con le prescrizioni contenute al capitolo 2 del D.M. 14/01/2008.

##### Primo Impalcato

- Carico permanente strutturale totale caratteristico .....  $G_{1k} = 180 \text{ kg/m}^2$*   
*Carico permanente non strutturale totale caratteristico ...  $G_{2k} = 200 \text{ kg/m}^2$*   
*Carico variabile caratteristico (Cat. C1 – Scuole).....  $Q_{1k} = 300 \text{ kg/m}^2$*

##### Secondo Impalcato

- Carico permanente strutturale totale caratteristico .....  $G_{1k} = 250 \text{ kg/m}^2$*   
*Carico permanente non strutturale totale caratteristico ...  $G_{2k} = 200 \text{ kg/m}^2$*   
*Carico variabile caratteristico (Cat. C1 – Scuole).....  $Q_{1k} = 300 \text{ kg/m}^2$*

##### Impalcato Sottotetto

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

*Carico permanente strutturale totale caratteristico .....  $G_{1k} = 250 \text{ kg/m}^2$*

*Carico permanente non strutturale totale caratteristico ...  $G_{2k} = 100 \text{ kg/m}^2$*

*Carico variabile caratteristico (Cat. H – Manutenzione) ...  $Q_{1k} = 50 \text{ kg/m}^2$*

#### *Impalcato Copertura – nuova in travi in acciaio e pannello sandwich*

*Carico permanente strutturale totale caratteristico .....  $G_{1k} = 250 \text{ kg/m}^2$*

*Carico permanente non strutturale totale caratteristico ...  $G_{2k} = 100 \text{ kg/m}^2$*

*Carico variabile caratteristico (Neve)..... $Q_{1k} = 100 \text{ kg/m}^2$*

#### **5.1.3. Identificazione e descrizione del modello di calcolo strutturale**

L'edificio è stato modellato con schema tridimensionale a telaio equivalente (software AEDES PCM 2018) con aste deformabili e tratti rigidi a definire la luce non deformabile dei maschi murari. Le rigidezze degli elementi murari sono state calcolate considerando sia il contributo flessionale sia quello tagliente, si è considerata una rigidezza fessurata pari al 50% di quella non fessurata (7.8.1.5.2 NTC 2018).

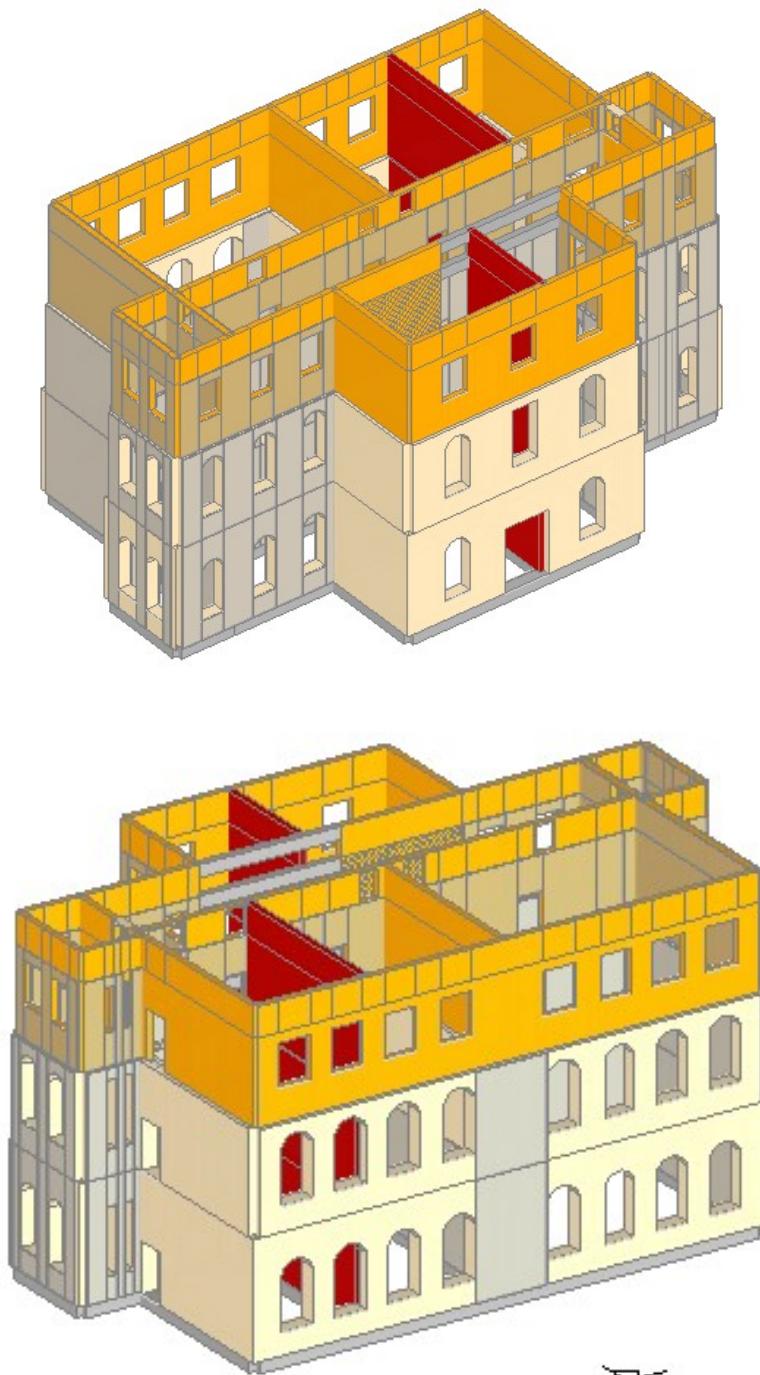
Le fasce di piano (sottofinestra, soprafinestra e sovraporta) sono state modellate con delle bielle per non trascurare il peso proprio e allo stesso tempo così da massimizzare le azioni sui maschi.

Ai maschi murari sono state attribuite le caratteristiche meccaniche riportate nel paragrafo "Relazione sui materiali".

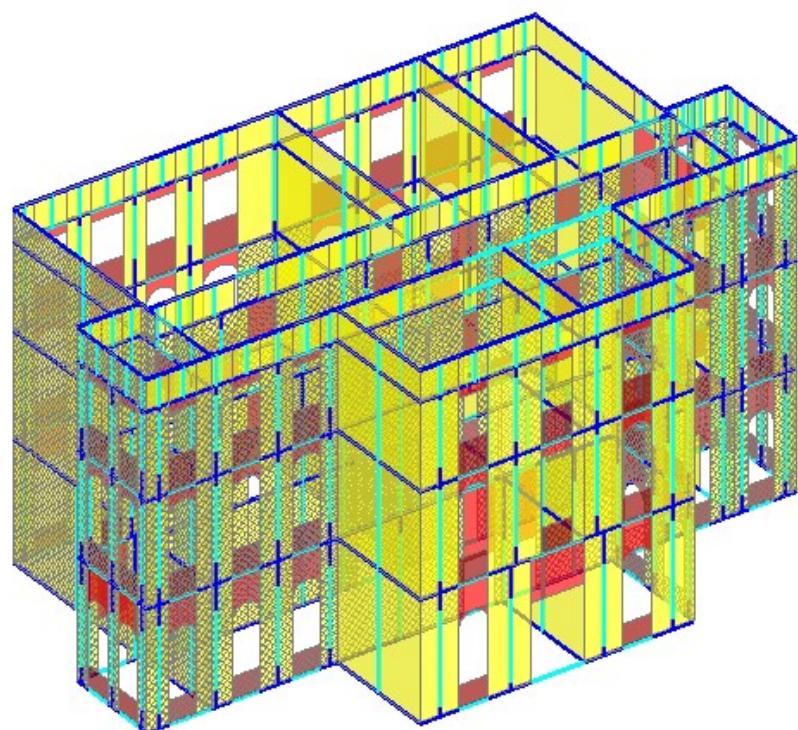
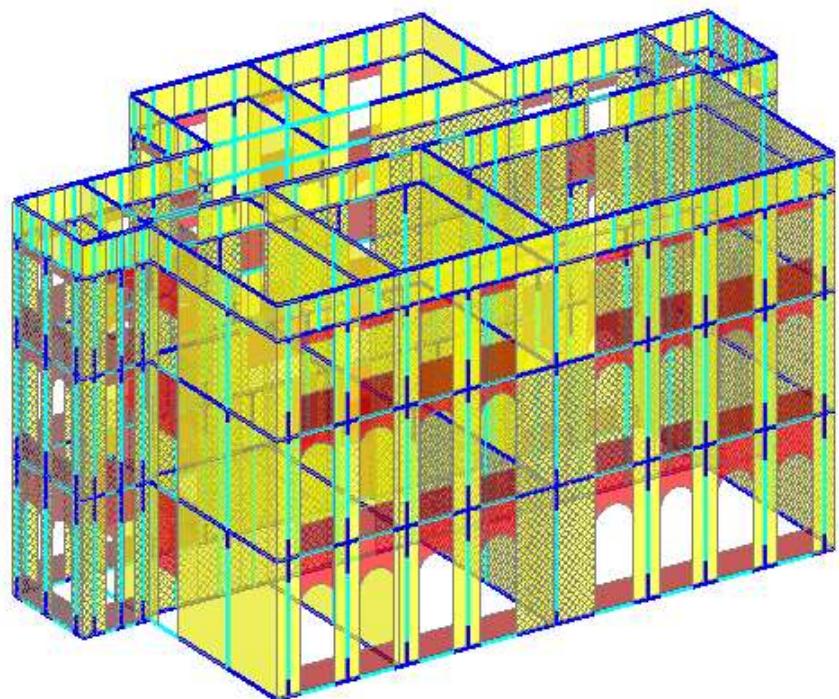
Le fondazioni sono state modellate come aste su suolo elastico (Winkler) anche se in analisi Non Lineare la struttura è stata considerata incastrata alla base.

I carichi verticali relativi ai solai vengono assunti direttamente dal codice di calcolo una volta assegnati i valori di carico strutturali, permanenti portati e accidentali del solaio assegnati come carico per unità di superficie. I solai sono stati considerati deformabili in quanto non rispecchianti quanto richiesto dalla normativa.

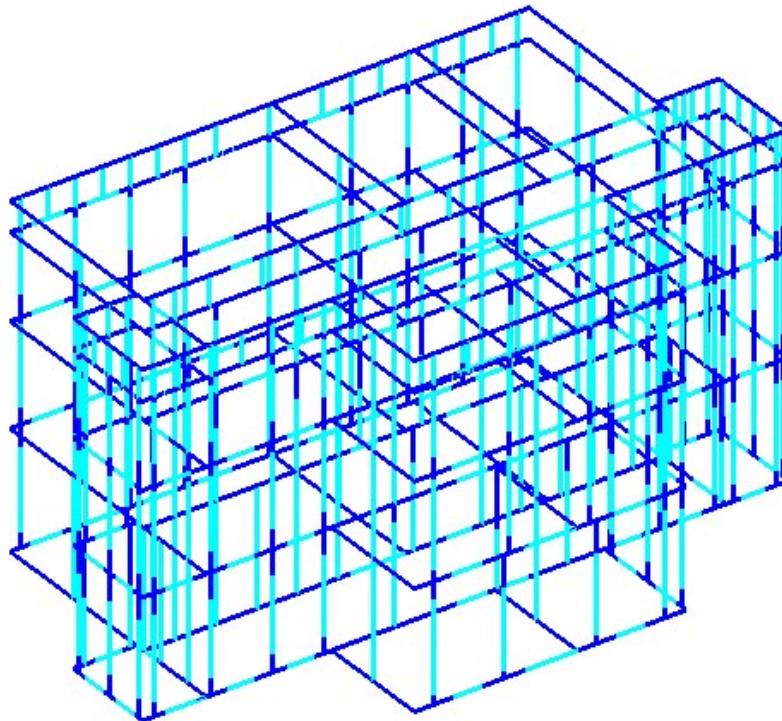
POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.



*Modello di calcolo 3D con evidenziate le diverse tipologie murarie*



Discretizzazione Modello di Calcolo



*Modello di calcolo Unifilare*

#### 5.1.4. Condizioni di carico elementari

Per le verifiche agli stati limite si sono seguite le combinazioni definite dalla norma [1] a paragrafo 2.5.3. dove i valori dei coefficienti parziali sono definiti in tabella 2.5.II e i valori dei coefficienti di combinazione sono definiti in tabella 2.5.I.

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

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

**Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione**

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

**Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU**

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

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

## 5.1.5. Valutazione sicurezza – analisi sismica

### 5.1.5.1. Verifica Globale – Analisi Pushover

L'analisi sismica globale è stata condotta attraverso un'analisi statica non lineare (Pushover) nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) utilizzando le seguenti distribuzioni di forze, indipendentemente dalla percentuale di massa partecipante del primo modo:

- Gruppo 1 – Distribuzioni principali  
Distribuzione di forze proporzionale alle forze statiche.
- Gruppo2 – Distribuzioni secondarie  
Distribuzione uniforme di forze.

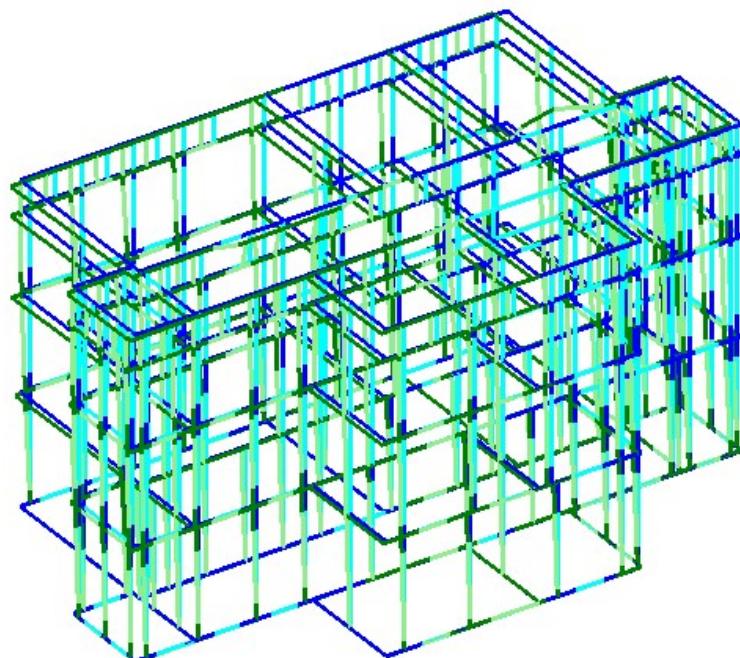
L'analisi fornisce un confronto in termini di spostamento tra capacità globale della struttura e domanda cui la stessa è soggetta per la presenza dell'evento sismico per i diversi stati limite. Lo spostamento del nodo di controllo, considerato al piano più alto verrà confrontato con quello richiesto alla struttura. Durante l'analisi Pushover la singola parete raggiunge lo stato limite ultimo (punto di collasso) per uno spostamento orizzontale determinato dal drift (spostamento ultimo) che nel caso di resistenza ultima per pressoflessione complanare è pari allo 1% dell'altezza del pannello e dello 0.5% H nel caso di resistenza ultima per Taglio. Si eseguono, inoltre, verifiche in direzione ortogonale 'per pressoflessione fuori piano, in modo simile alle complanari.

Le curve di capacità della struttura (sistema a più gradi di libertà: M-GDL) vengono rappresentate in diagrammi che riportano in ascisse lo spostamento del punto di controllo, ed in ordinate il taglio globale alla base. Per ogni curva, attraverso le relazioni di equivalenza dinamica, riportate al punto C7.3.4.1, viene definita la corrispondente curva del sistema ad 1

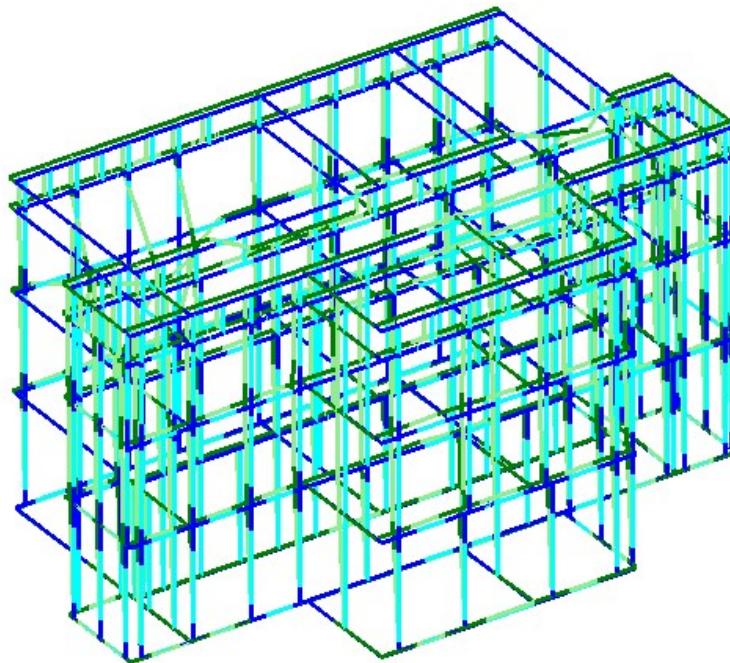
grado di libertà equivalente 1-GDL, e successivamente il diagramma bilineare, attraverso il quale è possibile definire la domanda sismica (spostamento richiesto secondo lo spettro di risposta) del sistema 1-GDL, ricondotta infine alla domanda per il sistema M-GDL.

Sulle curve di capacità lo Stato Limite di Danno SLD è identificato con il punto caratterizzato dallo spostamento minore tra quello corrispondente al raggiungimento della massima forza e quello per il quale lo spostamento relativo fra due punti sulla stessa verticale appartenenti a piani consecutivi eccede il 3 per mille dell'altezza di piano. Lo Stato Limite Ultimo SLV coincide, invece, con il punto caratterizzato dallo spostamento corrispondente ad una riduzione della forza non superiore al 20% del massimo.

Prima di eseguire l'analisi statica non lineare è stata effettuata l'analisi dinamica modale con cui si sono valutati i modi di vibrare della struttura, di seguito i principali modi di vibrare traslazionali.

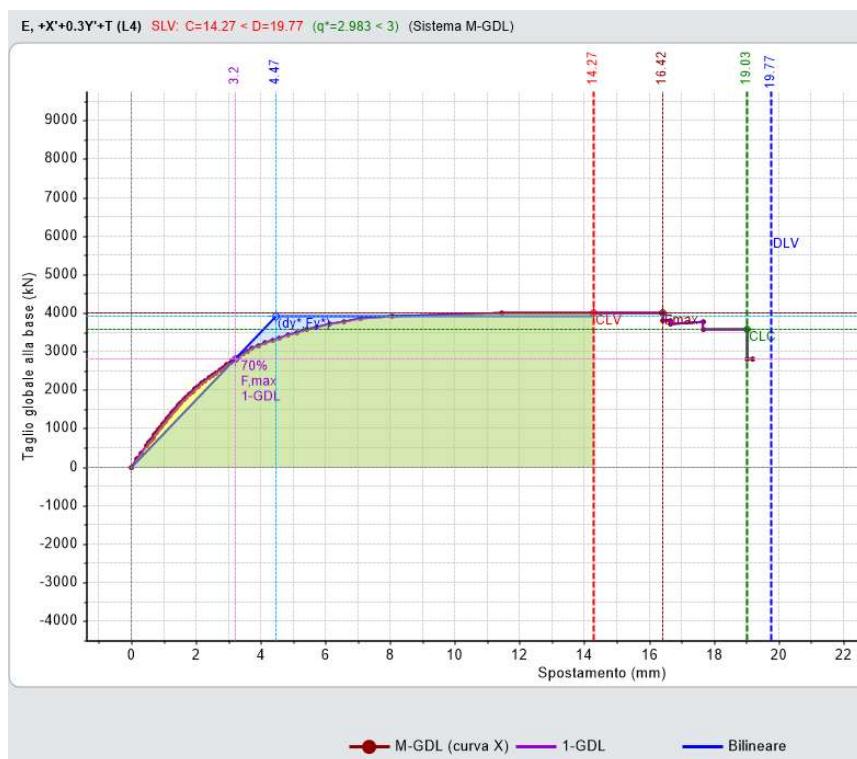


*Primo modo di vibrare traslazionale direz. X*

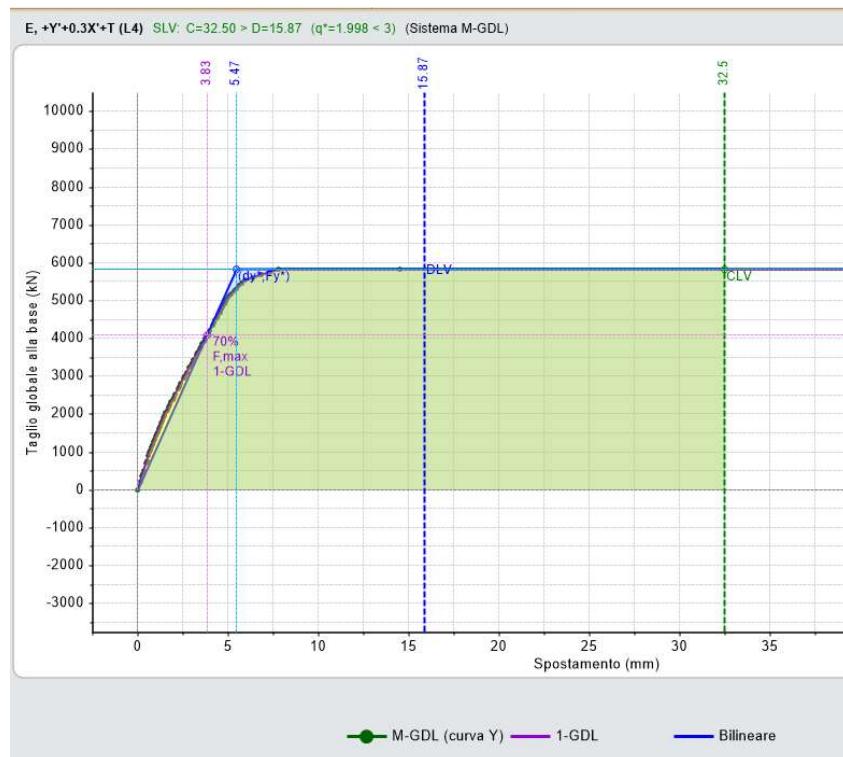


*Primo modo di vibrare traslazionale direz. Y*

Di seguito vengono riportate le curve di capacità più significative ottenute dal modello di calcolo. Per maggiori dettagli relativi alle curve di capacità elaborate dall'analisi si rimanda ai tabulati di calcolo allegati.



*Curva di Capacità Tipo*



*Curva di Capacità Tipo*

Per ogni curva di capacità ed ogni stato limite analizzato, il risultato della verifica è esprimibile sotto forma di un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra capacità e domanda. Di seguito si riportano i valori degli indici di rischio ottenuti dalle curve di capacità.

POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

N°curva	Corrente	Vista	Distr.	Direz.	Direz.2	Mt	Control	$\zeta_{\text{PGA}}(\text{SLV})$	$\zeta_{\text{TR}}(\text{SLV})$	VN,CLV
1	●	✓	A	+X'	+0.3Y'	+	L4	1.063	1.299	65
2	○	□	A	+X'	+0.3Y'	-	L4	0.738	0.333	17
3	○	□	A	+X'	-0.3Y'	+	L4	1.092	1.454	73
4	○	□	A	+X'	-0.3Y'	-	L4	1.092	1.454	73
5	○	□	A	+Y'	+0.3X'	+	L4	1.287	3.476	174
6	○	□	A	+Y'	+0.3X'	-	L4	0.871	0.588	29
7	○	□	A	+Y'	-0.3X'	+	L4	1.287	3.476	174
8	○	□	A	+Y'	-0.3X'	-	L4	0.958	0.851	43
9	○	□	A	-X'	+0.3Y'	+	L4	1.092	1.454	73
10	○	□	A	-X'	+0.3Y'	-	L4	1.092	1.454	73
11	○	□	A	-X'	-0.3Y'	+	L4	1.092	1.454	73
12	○	□	A	-X'	-0.3Y'	-	L4	1.045	1.202	60
13	○	□	A	-Y'	+0.3X'	+	L4	1.287	3.476	174
14	○	□	A	-Y'	+0.3X'	-	L4	1.287	3.476	174
15	○	□	A	-Y'	-0.3X'	+	L4	0.835	0.510	25
16	○	□	A	-Y'	-0.3X'	-	L4	1.287	3.476	174
17	○	□	E	+X'	+0.3Y'	+	L4	0.781	0.399	20
18	○	□	E	+X'	+0.3Y'	-	L4	0.748	0.354	18
19	○	□	E	+X'	-0.3Y'	+	L4	0.763	0.376	19
20	○	□	E	+X'	-0.3Y'	-	L4	1.020	1.076	54
21	○	□	E	+Y'	+0.3X'	+	L4	1.287	3.476	174
22	○	□	E	+Y'	+0.3X'	-	L4	0.785	0.407	20
23	○	□	E	+Y'	-0.3X'	+	L4	1.287	3.476	174
24	○	□	E	+Y'	-0.3X'	-	L4	1.287	3.476	174
25	○	□	E	-X'	+0.3Y'	+	L4	1.020	1.076	54
26	○	□	E	-X'	+0.3Y'	-	L4	1.020	1.076	54
27	○	□	E	-X'	-0.3Y'	+	L4	0.987	0.942	47
28	○	□	E	-X'	-0.3Y'	-	L4	0.770	0.383	19
29	○	□	E	-Y'	+0.3X'	+	L4	1.287	3.476	174
30	○	□	E	-Y'	+0.3X'	-	L4	1.287	3.476	174
31	○	□	E	-Y'	-0.3X'	+	L4	0.752	0.361	18
32	○	□	E	-Y'	-0.3X'	-	L4	1.287	3.476	174

#### Indici di rischio sismico - stato di progetto

I valori sopra riportati sono riferiti allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita e sono espressi sia in termini di PGA (accelerazione di picco al suolo) che in termini di TR (tempi di ritorno). I due valori non sono uguali data la non linearità del legame fra PGA e TR, possono risultare paragonabili se l'espressione in termini di tempi di ritorno viene elevata per il coefficiente 0.41 derivante dall'analisi statistica delle curve di pericolosità a livello nazionale.

L'indice di rischio sismico dell'edificio scolastico ospitante la Scuola Materna e Media Statale di San Nicolò di Celle nello stato di progetto è di 0.738 in termini di PGA accelerazione di picco al suolo e di 0.637 in termini di  $T_R$  tempi di ritorno.

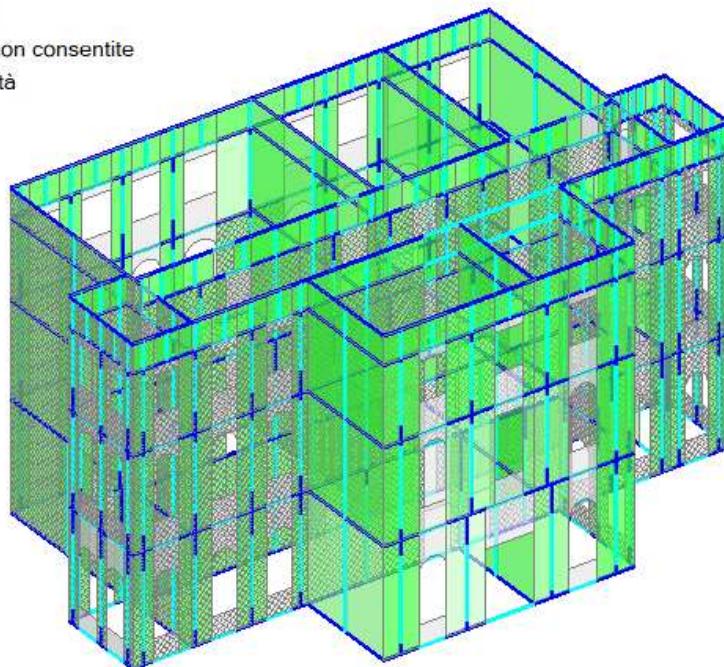
POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

### 5.1.6. Valutazione della sicurezza – analisi per carichi statici

Di seguito vengono riportate le verifiche di sicurezza in condizioni statiche (non sismiche) ed i valori del coefficiente di sicurezza relativo alle diverse verifiche eseguite (presso-flessione complanare, taglio per fessurazione diagonale, presso-flessione ortogonale).

#### Verifiche di sicurezza

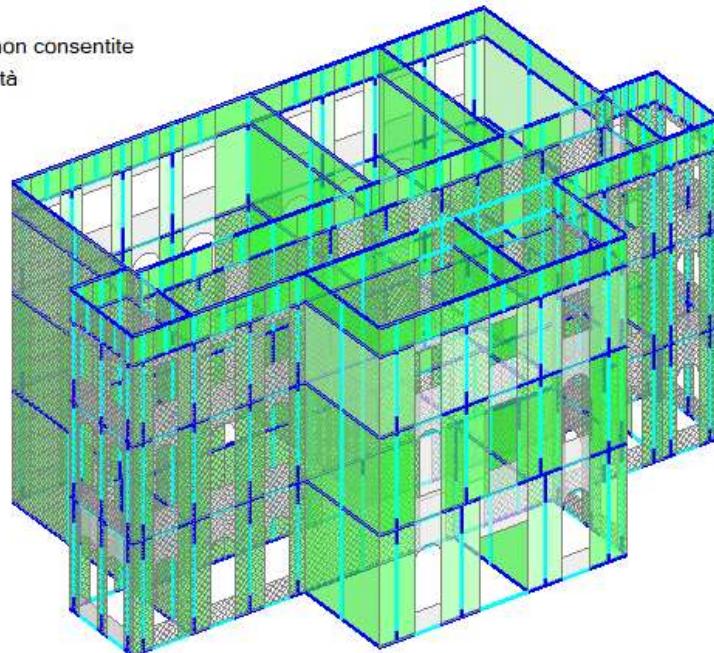
- Verifica soddisfatta
- Verifica non soddisfatta
- Verifica soddisfatta per azioni nulle
- Verifica non soddisfatta per azioni non consentite
- Verifica non soddisfatta per instabilità
- Asta non sottoposta a verifica



*Verifiche Presso flessione Complanare*

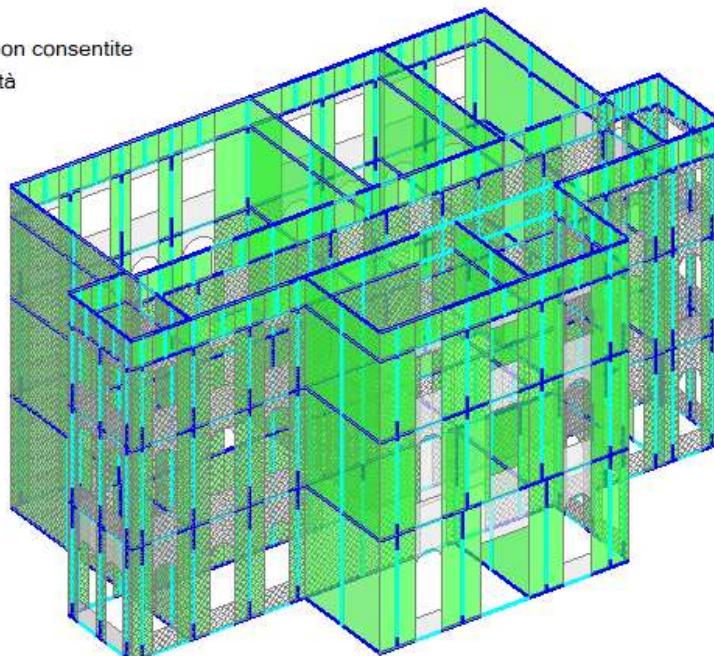
POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

- Verifica soddisfatta
- Verifica non soddisfatta
- Verifica soddisfatta per azioni nulle
- Verifica non soddisfatta per azioni non consentite
- Verifica non soddisfatta per instabilità
- Asta non sottoposta a verifica



*Verifiche Presso flessione Ortonogale*

- Verifica soddisfatta
- Verifica non soddisfatta
- Verifica soddisfatta per azioni nulle
- Verifica non soddisfatta per azioni non consentite
- Verifica non soddisfatta per instabilità
- Asta non sottoposta a verifica



*Verifiche Taglio per Fessurazione diagonale*

### Coefficiente di Sicurezza

Analisi Statica Lineare, NON Sismica (D.M.17.1.2018)

**Analisi Statica Lineare NON Sismica [§4.5.5]**

**Verifiche di sicurezza per Edifici in Muratura**

**SLU di salvaguardia della Vita (SLV)**

**Verifica di Resistenza (RES)**

**Inviluppo CCC**

Pressofless. complanare [§4.5.6]	<b>1.123</b>	<b>100%</b>
Taglio scorrimento [§4.5.6]		
Taglio fessuraz. diag. [§4.5.6]	<b>3.053</b>	<b>100%</b>
Pressofless. ortogonale (da modello 3D)	<b>1.009</b>	<b>100%</b>

*Coefficiente di Sicurezza*

## 5.2. RIEPILOGO E COMMENTO DEI RISULTATI.

### 5.2.1. Riepilogo degli indicatori di rischio sismici

Nelle tabelle sottostanti sono riportati gli indici di rischio a seguito degli interventi di miglioramento sismico proposti con confronto tra stato di fatto e stato di progetto.

L'indice di rischio sismico dello stato attuale dell'edificio scolastico ospitante la Scuola Materna e Media Statale di San Nicolò di Celle allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita è di 0.271 in termini di accelerazione di picco al suolo e di 0.227 in termini di tempi di ritorno.

<b>Stato Limite</b>	<b>Indice di Rischio - Stato Attuale</b>	
	<b>Modello globale</b>	
	<b>PGA</b>	<b>TR</b>
SLV	0.271	0.227

*Indice di Rischio Sismico – Stato Attuale*

Di seguito gli indici di rischio sismico nello stato di progetto.

Stato Limite	Indice di Rischio - Stato Progetto	
	Modello globale	
	PGA	TR
SLV	0.738	0.637

*Indice di Rischio Sismico – Stato di progetto*

Gli interventi di miglioramento proposti sono atti a ripristinare e rafforzare la capacità portante dell'edificio così come richiesto dalla Normativa cogente al punto 8.4.2. in quanto si riduce la vulnerabilità dell'edificio e si consegue un livello di sicurezza sismico pari al 63% di quello previsto per nuove costruzioni.

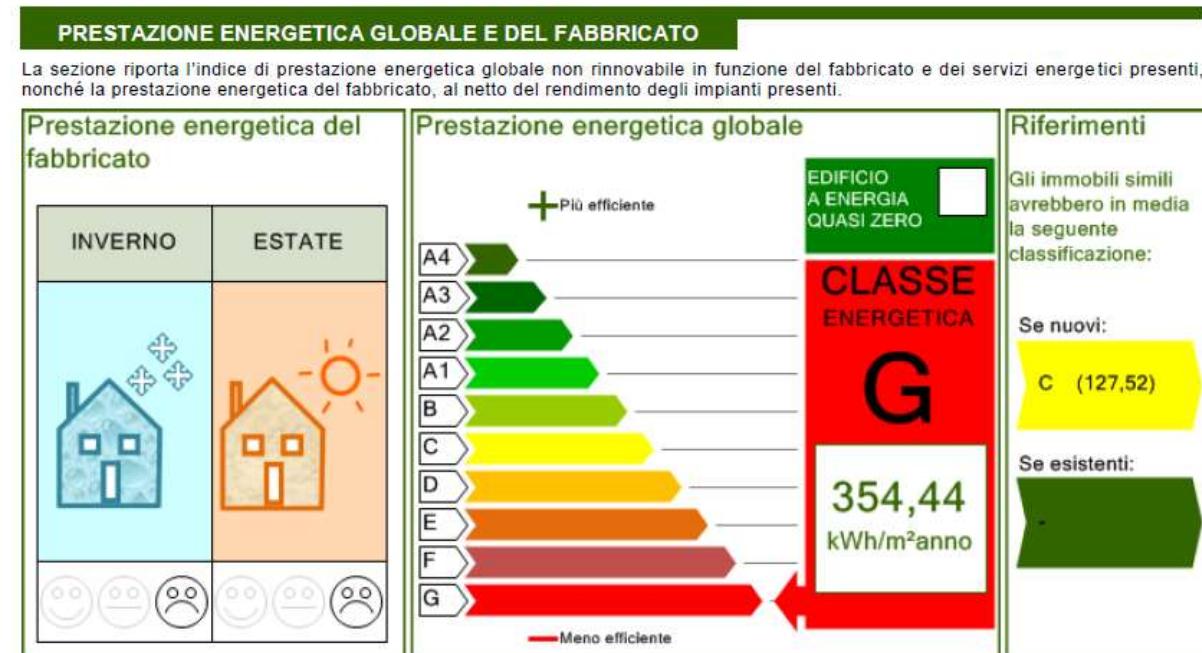
POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

## 6. PROGETTO DI FATTIBILITÀ - INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

L'amministrazione, in programmazione di un possibile intervento di miglioramento energetico, aveva già effettuato uno studio delle prestazioni energetiche dell'edificio con relativa prima analisi degli interventi da realizzare atti alla riduzione delle dispersioni termiche e al contenimento dei consumi. Per quanto detto ripartirà da ciò che è emerso dal precedente studio.

Alla luce delle carenze delle proprietà termiche dell'involucro edilizio e della vetustà del generatore di calore, nelle relazioni sopra menzionate, si era reso necessario intervenire su diversi elementi. Di seguito si riporta la sintesi dell'Attestato di Prestazione Energetica e la descrizione sommaria degli interventi proposti con quantificato il miglioramento ottenibile dal singolo intervento, espresso in termini di EPh,nren. Allo stato di fatto l'edificio risulta essere classabile come di classe G con prestazioni energetiche basse sia in inverno che in estate.

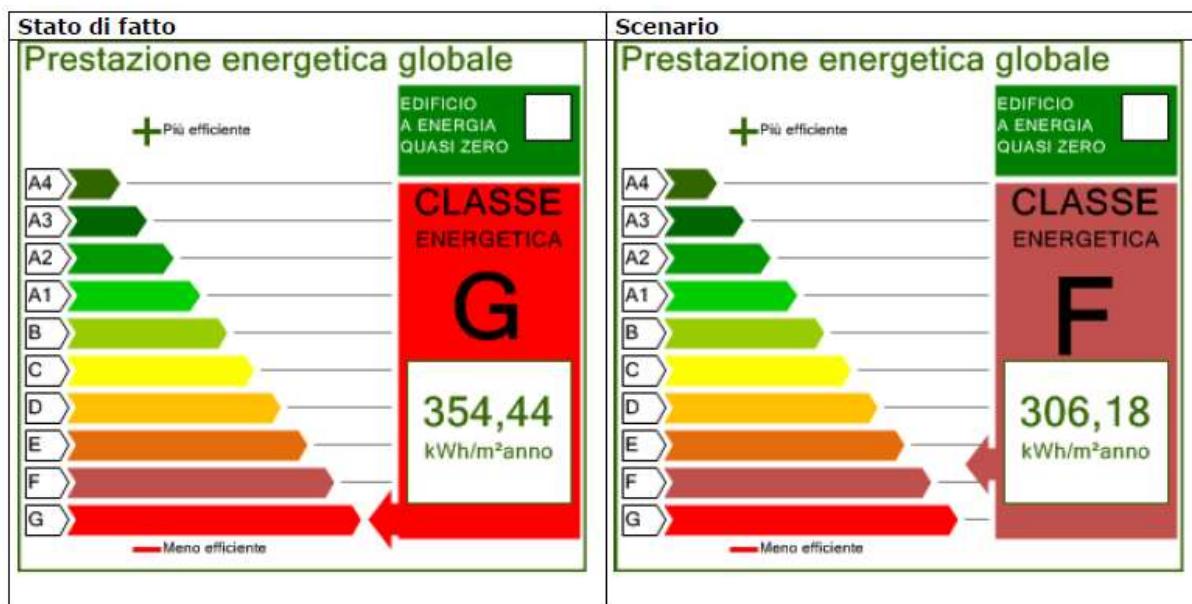
### STATO DI FATTO



POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA E RISTRUTTURAZIONE IMPORTANTE INTERVENTI RACCOMANDATI E RISULTATI CONSEGUIBILI					
Codice	TIPO DI INTERVENTO RACCOMANDATO	Comporta una Ristrutturazione importante	Tempo di ritorno dell'investimento anni	Classe Energetica raggiungibile con l'intervento (EP <sub>gl,nren</sub> kWh/m <sup>2</sup> anno )	CLASSE ENERGETICA raggiungibile se si realizzano tutti gli interventi raccomandati
R EN 1	<i>Coibentazione solaio confinante verso ambiente non climatizzato</i>	no	4,52	F 306,18	<b>E</b> <b>215,79</b> kWh/m <sup>2</sup> anno
R EN 1	<i>Sostituzione serramenti</i>	no	12,71	F 288,73	
R EN 3	<i>Sostituzione del generatore</i>	no	1,10	F 307,61	
R EN					
R EN					
R EN					

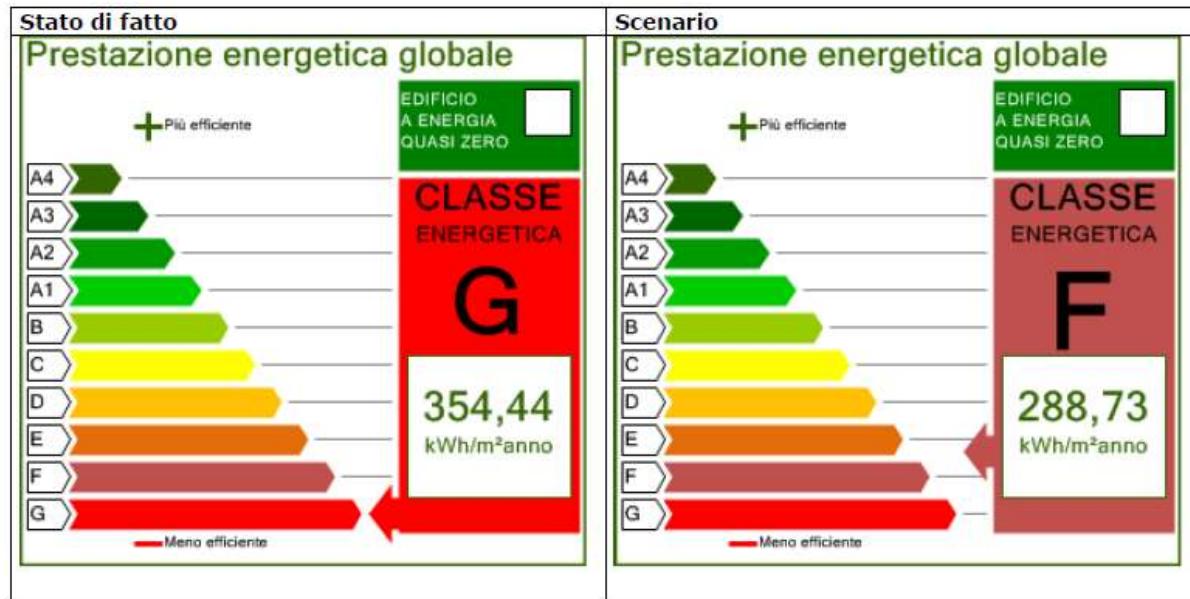
- Coibentazione solaio confinante verso ambiente non climatizzato



N.	Cod. struttura	STATO DI FATTO		INTERVENTO MIGLIORATIVO			
		S <sub>cal</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>sdf</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Tipo isolante	λ [W/mK]	s [mm]	U <sub>im</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
1	S2	318,98	1,964	<i>Feltro in lana di vetro 15 kg/m<sup>3</sup></i>	0,040	135	0,280

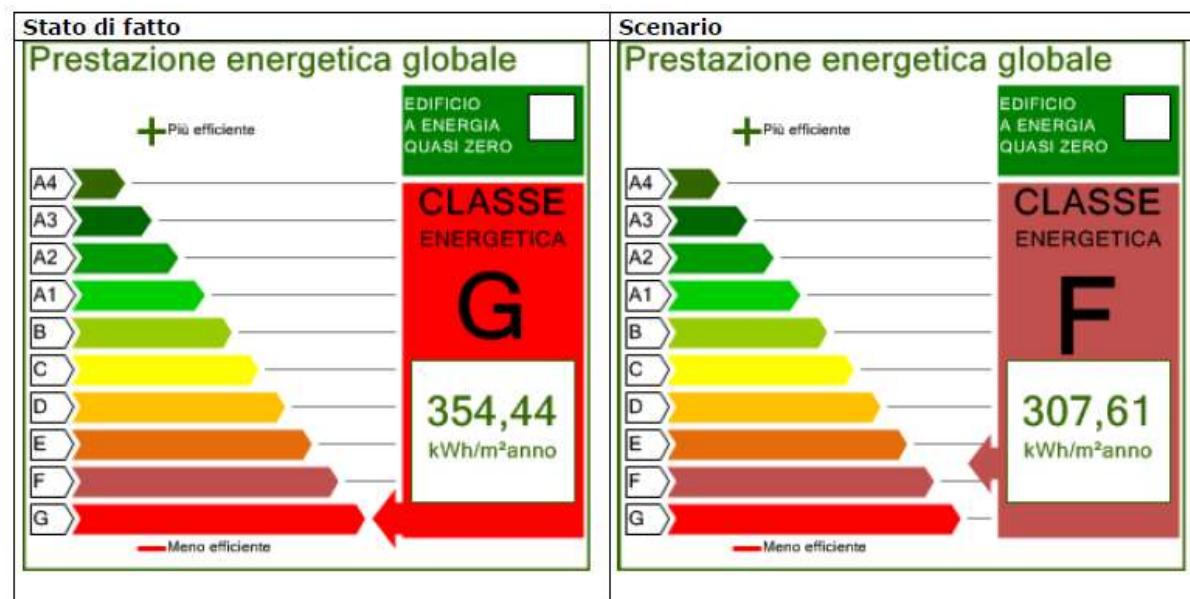
POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018. DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

### - Sostituzione serramenti



N.	Cod. struttura	STATO DI FATTO			INTERVENTO MIGLIORATIVO		
		S <sub>cal</sub> [m <sup>2</sup> ]	U <sub>gsdf</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>wsdf</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Tipo serramento/vetro	U <sub>gim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>wim</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
2	W2	196,90	4,896	4,410	PVC - 90mm - 7 camere/Doppio vetro 4+12+4 argon	1,300	1,262

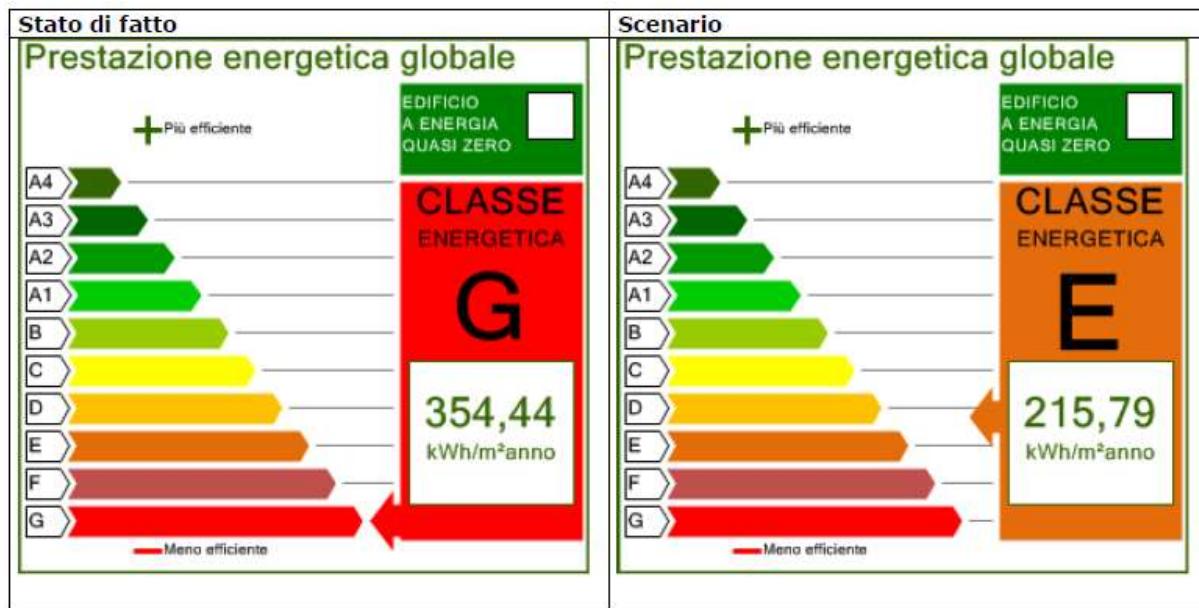
### - Sostituzione del generatore di calore



POR FESR 2014/2020, Asse 8, Azioni 8.3.1 e 8.4.1. D.L. n. 104/2013, convertito in Legge n. 128/2013, Decreto interministeriale 08/01/2018, DGR n. 486 del 14/05/2018. Programmazione di interventi per l'edilizia scolastica 2018/2020 - PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PONTENUOVO, SAN NICOLÒ DI CELLE E SANT'ANGELO DI CELLE.

<b>Servizio</b>	<i>Sostituzione del generatore di calore per riscaldamento mediante caldaia a condensazione classificata **** stelle</i>		
<b>STATO DI FATTO</b>			
<b>Tipo di generatore</b>	<i>Caldaia tradizionale</i>		
Potenza utile nominale $\Phi_{gn}$ [kW]	174,06		
Combustibile	Gasolio	P. calorifico inferiore	11,870
Fattore di conversione $F_p$ [-]	1,070	Costo vettore energetico	1,7
<b>INTERVENTO MIGLIORATIVO</b>			
<b>Tipo di generatore</b>	<i>Caldaia a condensazione</i>		
Potenza utile nominale $\Phi_{gn}$ [kW]	115,00		
Combustibile	Metano	P. calorifico inferiore	9,940
Fattore di conversione $F_p$ [-]	1,050	Costo vettore energetico	0,82

La realizzazione di tutti gli interventi porta al salto di almeno una classe energetica passando da un Eph,nren di 354.44 kWh/mqanno a 215.79 kWh/mqanno così come visibile nell'immagine sottostante. Oltre ai benefici dal punto di vista del contenimento dei consumi e quindi dei costi si ha anche una notevole diminuzione dell'emissione di CO<sub>2</sub>.



Dal punto di vista economico quanto riportato nelle relazioni di calcolo degli interventi di miglioramento energetico, allegata alla presente, non deve essere preso in considerazione ma si deve far riferimento a quanto descritto nei computi metrici aggiornati e presentati insieme alla corrente relazione di calcolo. La precedente quantificazione economica è stata fatta infatti con vecchi prezziari e soprattutto non teneva conto delle lavorazioni connesse al miglioramento sismico.

## 7. CONCLUSIONI

Gli interventi proposti garantiscono il raggiungimento del livello di sicurezza minimo richiesto dalle nuove norme tecniche NTC 18 e pari ad un indice di rischio sismico pari almeno allo 0.6 ovvero pari al 60% di quanto richiesto ad una nuova struttura con stessa destinazione d'uso e stessa posizione geografica. Di seguito si riportano gli indici ante e post opera.

Stato Limite	Indice di Rischio - Stato Attuale	
	Modello globale	
	PGA	TR
SLV	0.271	0.227

*Indice di Rischio Sismico – Stato Attuale*

Stato Limite	Indice di Rischio - Stato Progetto	
	Modello globale	
	PGA	TR
SLV	0.738	0.637

*Indice di Rischio Sismico – Stato di progetto*

Dal punto di vista energetico invece si nota come gli interventi conferiscano al fabbricato prestazioni termiche migliori e lo si nota anche da passaggio di classe energetica. Di seguito la sintesi del passaggio di classe energetica conseguibile a mezzo di quanto qui proposto.

