



COMUNE DI CASTELNUOVO SCRIVIA
PROVINCIA DI ALESSANDRIA



Scuola Statale elementare “Bandello” e materna “Guerra”

Piazza Vittorio Veneto

Codice Meccanografico (Bandello): ALEE81901N

Codice Meccanografico (Guerra): ALAA81901C

Istituto di Riferimento: ALIC81900G

STUDIO DI VULNERABILITA' STATICA e SISMICA

RELAZIONE CONCLUSIVA

(Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016)

TECNICI INCARICATI:

Dott. Ing. Alessandro Galasco
Ph.D in Ingegneria Strutturale

Via De Giorgi 7 - 15121 ALESSANDRIA
tel.: 335.5251322 - P.Iva: 02109600060
e-mail: alessandro.galasco@sismica360.it

Ing. Martina Mandirola
M.Sc in Earthquake Engineering

Via Dossola 2 - 15057 TORTONA (AL)
tel.: 348.5120965 - P.Iva: 02457970065
e-mail: martina.mandirola@sismica360.it

INDICE

1. PREMESSA.....	1
1.1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	2
2. RIFERIMENTI DI CALCOLO.....	5
2.1 NORMATIVE.....	5
2.2 UNITÀ DI MISURA.....	6
3. ANALISI STORIOGRAFICA DELLE TRASFORMAZIONI ACCORSE ALL'EDIFICIO.....	7
3.1 COSTRUZIONE DEL FABBRICATO.....	7
3.2 L'ASSETTO DELLA STRUTTURA ALL'INIZIO DEL XX SECOLO.....	7
3.3 I LAVORI ED IL CROLLO DELLA VOLTA (1959).....	8
3.4 IL DIBATTITO SULL'EVENTUALE DEMOLIZIONE DEL FABBRICATO.....	9
3.5 IL PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO ED AMMODERNAMENTO.....	10
3.6 RIEPILOGO DELLE TRASFORMAZIONI OCCORSE DAL SECONDO DOPOGUERRA FINO AGLI ANNI '70.....	11
3.7 RECENTI INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA.....	14
3.7.1 <i>Cerchiatura arco con pilastro - piano interrato</i>	14
3.7.2 <i>Intervento con angolari e rete metallica su controsoffitti - piano terra</i>	16
4. CARATTERISTICHE DEL SITO E DELLA STRUTTURA IN ESAME.....	17
4.1 VITA NOMINALE E CLASSE D'USO DELLA STRUTTURA.....	18
4.2 LIVELLI DI CONOSCENZA E FATTORI DI CONFIDENZA.....	21
4.3 INDICI DI RISCHIO SISMICO.....	21
5. ISPEZIONI VISIVE, RILIEVO GEOMETRICO E DEL QUADRO FESSURATIVO.....	22
5.1 PIANO INTERRATO: ISPEZIONE E RILIEVO ARCHITETTONICO.....	22
5.1.1 <i>Rilievo di dettaglio delle volte</i>	26
5.1.1.1 Strumentazione utilizzata.....	27
5.1.1.2 Modelli geometrici tridimensionali.....	29
5.1.1 <i>Rilievo del quadro fessurativo del piano interrato</i>	30
5.2 PIANO TERRA: ISPEZIONE E CONTROLLO DEL RILIEVO ARCHITETTONICO DISPONIBILE.....	31
5.2.1 <i>Rilievo del quadro fessurativo del piano terra</i>	32
5.3 PRIMO PIANO: ISPEZIONE E CONTROLLO DEL RILIEVO ARCHITETTONICO DISPONIBILE.....	33
5.3.1 <i>Lesioni da carichi elevati/anomali</i>	34
5.3.2 <i>Rilievo del quadro fessurativo del primo piano</i>	36
5.4 PIANO SECONDO: ISPEZIONE E CONTROLLO DEL RILIEVO ARCHITETTONICO DISPONIBILE.....	37
5.4.1 <i>Rilievo del quadro fessurativo del piano secondo</i>	38
5.5 SOTTOTETTO: ISPEZIONE E RILIEVO ARCHITETTONICO.....	39
5.6 CONTROLLO GEOMETRICO DEI PROSPETTI.....	42
6. RILIEVO FOTOGRAFICO.....	43
6.1 RILIEVO FOTOGRAFICO DELLE VOLTE DELL'INTERRATO.....	43

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

6.2 MAPPATURA ZENITALE AD ALTA DEFINIZIONE DEL PIANO TERRA E PIANO PRIMO.....	44
7. DIAGNOSTICA SULLA STRUTTURA IN MURATURA PORTANTE	47
7.1 INDAGINI ENDOSCOPICHE.....	47
7.1.1 Endoscopie e stratigrafie degli orizzontamenti.....	47
7.1.1.1 Endoscopie sul pavimento del piano terra (attraverso le volte dell'interrato)	47
7.1.1.2 Endoscopie sul pavimento del piano primo.....	51
7.1.1.3 Endoscopie, ispezione e restituzione stratigrafia del controsoffitto	61
7.1.2 Endoscopie e stratigrafie delle strutture verticali.....	66
7.2 MARTINETTO PIATTO SU PARAMENTO MURARIO DEL PIANO TERRA	70
7.2.1 Rilievo dello stato di sollecitazione (martinetto singolo).....	72
7.2.2 Analisi del comportamento tenso-deformativo (martinetto doppio)	75
8. DIAGNOSTICA DELLA PALESTRA IN CALCESTRUZZO ARMATO.....	78
8.1 RILIEVO GEOMETRICO E DEI DETTAGLI STRUTTURALI.....	79
8.1.1 Rilievo geometrico	79
8.1.2 Dettagli strutturali e armature.....	82
8.1.2.1 Scrostamenti.....	83
8.1.2.2 Pacometrie.....	84
8.1.2.3 Riepilogo armature.....	87
8.2 INDAGINI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI	89
8.2.1 Planimetrie dei piani d'indagine.....	89
8.2.2 Determinazione della resistenza del calcestruzzo.....	90
8.2.3 Prove distruttive su carote	90
8.2.3.1 Metodo A.C.I. (American Concrete Institute) 214.4-R03.	91
8.2.3.2 Metodo Prof. Masi (2005).....	92
8.2.3.3 NTC 2008 – Metodo EN 13791 – Linee Guida C.S.LL.PP.....	93
8.2.4 Risultanze carotaggi eseguiti	93
8.2.5 Prove non distruttive	96
8.2.5.1 Prove Sclerometriche	96
8.2.5.2 Prove ultrasoniche.....	96
8.2.5.3 Prove SonReb.....	97
8.2.6 Risultanze prove non distruttive eseguite.....	97
8.2.7 Riepilogo materiali adottati per le verifiche strutturali.....	98
8.2.8 Durabilità dei materiali strutturali	99
9. IPOTESI DI CALCOLO ADOTTATE PER LA STRUTTURA IN MURATURA.....	100
9.1 RELAZIONE SUI MATERIALI.....	100
9.2 ANALISI DEI CARICHI	101
9.2.1 Carichi permanenti	101
9.2.2 Carichi variabili di progetto sugli orizzontamenti.....	103
9.2.3 Riepilogo dei carichi di progetto sugli orizzontamenti	103
9.2.4 Azioni della neve.	103
9.2.5 Azioni del vento.....	104
9.2.6 Azione sismica.....	105
9.3 COMBINAZIONI DI CARICO E VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	108
9.3.1 Masse Sismiche.	109

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

9.3.2 Azioni nelle verifiche agli Stati Limite.....	109
9.3.2.1 Stati limite ultimi.....	109
9.3.2.2 Stati limite di esercizio.....	110
9.4 ANALISI GLOBALE.....	110
9.5 MECCANISMI LOCALI.....	110
9.6 VOLTE IN MURATURA DELL'INTERRATO.....	112
9.6.1 Analisi dei carichi.....	112
9.6.2 Combinazioni di carico.....	114
9.6.3 Legame costitutivo e metodo di analisi.....	114
9.6.4 Criteri di meshatura del modello geometrico.....	115
9.7 SOLETTE PIANE IN LATERO-CEMENTO.....	117
9.7.1 Lesioni da carichi elevati/anomali.....	118
10. MODELLO NUMERICO DELLA STRUTTURA IN MURATURA E CALCOLO DELLA RISPOSTA STATICA E SISMICA.....	119
10.1 MODELLO NUMERICO DI RIFERIMENTO.....	119
10.2 VERIFICHE STATICHE PER LE MURATURE.....	135
10.2.1 Risultanza delle verifiche nel caso più conservativo (γ_M pari a 3).....	137
10.2.2 Risultanza delle verifiche nel caso meno conservativo (γ_M pari a 2).....	138
10.2.3 Considerazioni sui risultati del calcolo alle azioni statiche.....	141
10.3 RISPOSTA SISMICA GLOBALE.....	142
10.3.1 Confronto col modello senza fabbricati adiacenti.....	149
10.3.2 Considerazioni sulla vulnerabilità sismica.....	151
10.4 CINEMATISMI LOCALI.....	151
10.5 MODELLAZIONE NUMERICA E VERIFICA ANALITICA DELLE VOLTE DELL'INTERRATO.....	157
10.5.1 Volta n.1 - Volta Calzaturificio.....	157
10.5.2 Volta n.2 - Volta con Pilastro.....	165
10.5.3 Conclusioni.....	171
11. VERIFICHE STATICHE SULLA PALESTRA IN CALCESTRUZZO ARMATO.....	173
11.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	173
11.2 ANALISI DEI CARICHI.....	173
11.2.1 Carichi permanenti.....	173
11.2.2 Carichi di progetto sugli orizzontamenti.....	174
11.2.3 Azioni della neve e del vento.....	174
11.3 CRITERI DI CALCOLO E DI VERIFICA PER LE AZIONI STATICHE.....	175
11.3.1 Metodologie di calcolo adottate.....	176
11.3.2 Combinazioni delle azioni.....	176
11.4 MODELLI DI CALCOLO ADOTTATI.....	176
11.4.1 Metodi di analisi utilizzati.....	177
11.4.2 Note sul metodo agli elementi finiti e sul codice di calcolo adottato.....	177
11.4.3 Modello ad elementi finiti per l'esecuzione delle analisi statiche.....	178
11.5 MODELLI DI VERIFICA ADOTTATI.....	179
11.6 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DEI MODELLI DI CALCOLO.....	180
11.6.1 Analisi deformativa globale.....	181

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



Dott. Ing. Alessandro Galasco
Ph.D in Ingegneria Strutturale

Via De Giorgi 7 - 15121 ALESSANDRIA
tel.: 335.5251322 - e-mail: alessandro.galasco@sismica360.it

Ing. Martina Mandirola
M.Sc in Earthquake Engineering

Via Dossola 2 - 15057 TORTONA (AL)
tel.: 348.5120965 - e-mail: martina.mandirola@sismica360.it

11.6.2 Caratteristiche di sollecitazione sugli elementi	183
11.7 VERIFICHE STATICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	187
11.8 CONCLUSIONI	191
12. CONCLUSIONI	192
12.1 STRUTTURA IN MURATURA	192
12.1.1 Orizzontamenti dell'edificio in muratura.....	192
12.1.1.1 Volte del piano interrato.....	192
12.1.1.2 Orizzontamenti piano terra	193
12.1.1.3 Orizzontamenti Primo piano.....	194
12.1.2 Rischio Statico della struttura in muratura.....	194
12.1.3 Rischio Sismico della struttura in muratura	195
12.1.4 Provvedimenti suggeriti	196
12.1.4.1 Volte del piano interrato.....	196
12.1.4.2 controsoffitti piano terra.....	196
12.1.4.3 solaio di sottotetto e copertura.....	196
12.2 PALESTRA IN CALCESTRUZZO ARMATO	197
13. ALLEGATI.....	199
14. BIBLIOGRAFIA.....	200
14.1 ANALISI STRUTTURALE.....	200
14.2 STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO.....	200
14.3 STRUTTURE IN MURATURA.....	200

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica ha come oggetto l'analisi di vulnerabilità statica e sismica del complesso scolastico, sito in Piazza Vittorio Veneto a Castelnuovo Scrvia (AL), che ospita la scuola elementare "Bandello" e materna "Guerra" del suddetto comune.

Lo studio è stato condotto a seguito del conferimento di incarico dal parte del Comune di Castelnuovo Scrvia con Determina numero 9/UT2 del 20.01.2016: "AFFIDAMENTO INCARICO PER LO STUDIO DELLA VULNERABILITÀ SISMICA E STATICA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DELLA SCUOLA MATERNA, ELEMENTARE E MEDIE. MODIFICA A DETERMINA DELL'UFFICIO TECNICO 2° SETTORE N.68 DEL 07/09/2015" e successiva proroga del 14/10/2016. Si precisa come nella suddetta determina sono escluse le verifiche sismiche della palestra in calcestruzzo armato (che saranno oggetto di un successivo conferimento di incarico).

Lo studio ha previsto l'esecuzione di indagini diagnostiche mirate ad acquisire la miglior conoscenza possibile della struttura e rendere quindi più affidabili le verifiche condotte. La parte di indagini diagnostiche relative alle strutture orizzontali del fabbricato sono state oggetto di finanziamento con D.M. Ministro dell'Istruzione del 10.12.2015 (a seguito delle disposizioni contenute nell'art.1, comma 177 della legge 13.07.2015, n. 107, che prevedeva lo svolgimento di indagini diagnostiche strutturali e non strutturali dei solai degli edifici scolastici comunali – Bando IDEs emanato il 15 ottobre 2015). I risultati di tali indagini sono contenute nelle relazioni tecniche depositate in comune in data 11/10/2016 (protocollo n. 0009631) e successivamente inviate al M.I.U.R. tramite il portale IDEs per il riconoscimento dei fondi di cui il comune era risultato beneficiario.

Tutta la restante parte del lavoro è stata eseguita e finanziata da fondi propri dell'ente.

Il lavoro svolto in questi mesi è stato organizzato, nel presente documento, nei seguenti punti:

- Riferimenti di calcolo
- Analisi storiografica delle trasformazioni accorse all'edificio (in parte incluso nelle relazioni presentate per il bando IDEs)
- Caratteristiche del sito e della struttura in esame
- Ispezioni visive, rilievo geometrico e del quadro fessurativo (in parte incluso nelle relazioni presentate per il bando IDEs)
- Rilievo fotografico (in parte incluso nelle relazioni presentate per il bando IDEs)
- Diagnostica sulla struttura in muratura portate (in parte incluso nelle relazioni presentate per il bando IDEs)
- Diagnostica sulla palestra in calcestruzzo armato (in parte incluso nelle relazioni presentate per il bando IDEs)
- Modelli di calcolo adottati per la struttura in muratura

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

- Modello numerico della struttura in muratura e calcolo della risposta sismica e statica
- Verifiche analitiche sulla palestra in calcestruzzo armato
- Conclusioni

Completano la seguente relazione una serie di allegati (consegnati su supporto digitale) e una bibliografia con le fonti (articoli, libri e riviste) a cui si è fatto riferimento in aggiunta alle normative tecniche.

1.1 Descrizione della struttura.

L'edificio in cui è dislocato il complesso scolastico è una struttura in muratura edificata all'inizio del 1600 come collegio gesuitico, al piano terra ospita la scuola materna "Guerra" mentre al piano primo la scuola elementare "Bandello".

La struttura si sviluppa per la maggior parte su due livelli fuori terra (salvo un'ala in cui si trovano tre livelli fuori terra costituiti dai piani mezzanini), al di sotto si trova un livello interrato e sopra un sottotetto (entrambi ispezionabili ma non utilizzati).

L'interrato è costituito da una struttura voltata; le volte costituiscono peraltro anche gli orizzontamenti dei livelli successivi salvo le numerose modifiche occorse alla struttura. La copertura originaria lignea è attualmente sostituita da una in latero-cemento.

Dal punto di vista planimetrico la struttura costituisce un unico corpo di fabbrica che comprende sia il collegio gesuitico sia la chiesa di Sant'Ignazio disposta sul lato nord-ovest. Sul prospetto sud è presente un cortile interno delimitato da un lato (est) dall'ala del fabbricato originario, sul lato opposto (ovest) dalla palestra della scuola elementare.



Figura 1.1: Vista aerea dell'edificio.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 1.2: Facciata principale su piazza Vittorio Veneto.



Figura 1.3: Facciata laterale su via Torti.



Figura 1.4: Facciata retrostante su via Roma.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Da un primo sopralluogo si rilevano alcune trasformazioni ed interventi di significativo interesse per la valutazione di sicurezza:

- La palestra è stata edificata in epoca recente con la demolizione di una parte della struttura
- Le volte al livello dell'interrato risultano ampiamente segnate dalle scanalature operate per la realizzazione dei condotti dell'impianto di riscaldamento
- I soffitti delle aule al piano terra sono in molte stanze più bassi rispetto alla quota della volte strutturali: risultano infatti posizionati dei controsoffitti realizzati in travetti e laterizio poggiati al di sotto delle volte originarie
- La copertura è stata rifatta in latero-cemento e contestualmente sono state sostituite le volte originarie a copertura del piano primo con un orizzontamento in latero-cemento (che ora costituisce il soffitto della "Bandello")

Il comune ha messo a disposizione le informazioni contenute nei propri archivi oltre ad alcune planimetrie del piano terra, del piano primo ed alcuni prospetti. Risultano assenti i rilievi dell'interrato e del sottotetto. Le planimetrie dei vari piani tuttavia presentano diverse incongruenze e hanno richiesto un controllo accurato.

DESCRIZIONE	superficie [m ²]	h media [m]	Vol [m ³]
Piano interrato	1852	3	5556
Piano terra	2063	6.8	14028
Piano primo	2077	4.5	9347
Mezzanino(secondo)	450	3.85	1733
Copertura	2410	3.2	3856
	<u>8852</u>		<u>34520</u>

Tabella 1.1: superfici e cubature dell'edificio

Le metrature del fabbricato sono rilevanti: la superficie complessiva oggetto di indagine supera gli 8000 m² ed il volume supera i 30000 m³.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

2. RIFERIMENTI DI CALCOLO.

2.1 Normative

Il riferimento principale per la determinazione dei carichi agenti sulle strutture, le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali, la valutazione dei parametri geotecnici e le verifiche inerenti le opere di fondazione sarà:

- **D.M. 14 gennaio 2008** - “*Norme tecniche per le costruzioni*” con la relativa circolare applicativa del 2 febbraio 2009 n. 617 - “*Istruzione per l’applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni*”.

Inoltre, per la classificazione sismica della struttura, si fa riferimento al seguente quadro legislativo della Regione Piemonte:

- **D.G.R n. 11-13058 del 19 gennaio 2010** - “*Aggiornamento e adeguamento dell’elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 2374/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)*”;
- **D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011** - “*Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fine della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese*”;
- **D.G.R. n. 7-3340 del 03 febbraio 2012** - “*Modifica ed integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 04-3084 del 12.12.2011*”.
- **D.G.R. n. 65-7656 del 21 maggio 2014** - “*Individuazione dell’ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 04-3084 del 12.12.2011*”.

Nei casi in cui le enunciate normative italiane si presentino carenti di informazioni in relazione a particolari studi specifici, si fa riferimento a normative europee ed al sistema degli eurocodici, ed in particolare:

- **UNI EN 1990:2006 - EUROCODICE 0** - “*Criteri generali di progettazione strutturale*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-1:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-1** - “*Azioni sulle strutture - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-3:2004 - EUROCODICE 1 Parte 1-3** - “*Azioni sulle strutture - Carichi da neve*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1991-1-4:2005 - EUROCODICE 1 Parte 1-4** - “*Azioni in generale - Azioni del vento*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1992-1-1:2005 - EUROCODICE 2 Parte 1-1** - “*Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici*” con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1997-1:2005 - EUROCODICE 7 parte 1** - “*Progettazione geotecnica - Regole generali*” con il relativo NAD del 24.09.2010;

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

- **UNI EN 1998-1:2005 - EUROCODICE 8 parte 1** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici" con il relativo NAD del 24.09.2010;
- **UNI EN 1998-5:2005 - EUROCODICE 8 parte 5** - "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" con il relativo NAD del 25.02.2011.

Per le azioni del vento, si considera inoltre il documento rilasciato dal C.N.R. il 19 febbraio 2009:

- **CNR-DT 207/2008** - "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".

2.2 Unità di misura

Salvo diverse specificazioni, le unità di misura correntemente utilizzate, in conformità al sistema degli eurocodici ed al D.P.R. n. 802 del 12 agosto 1982 e s.m.i., sono:

- forze e carichi: [kN], [kN/m], [kN/m²];
- massa specifica: [kg/m³];
- peso specifico: [kN/m³];
- tensioni e resistenze: [N/mm²], [kPa], [MPa];
- momenti: [kNm].

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

3. ANALISI STORIOGRAFICA DELLE TRASFORMAZIONI ACCORSE ALL'EDIFICIO

Secondo quanto previsto al Capitolo 8 "Costruzioni esistenti" delle attuali Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 14 Gennaio 2008) e dalla relativa Circolare esplicativa n. 617/2009, è necessario procedere ad un'analisi storico-critica per individuare correttamente il sistema strutturale esistente, nonché il suo stato di sollecitazione, il processo di costruzione e/o modifiche che ha subito negli anni. *"Generalmente, quando si trattano costruzioni esistenti, può essere difficile disporre dei disegni originali di progetto necessari a ricostruirne la storia progettuale e costruttiva. Per le costruzioni, e in particolare per gli edifici a valenza culturale, storico-architettonica, è talvolta possibile, attraverso una ricerca archivistica, raccogliere una documentazione sufficientemente completa sulla loro storia edificatoria per ricostruire ed interpretare le diverse fasi edilizie"* (§C8.5.1 della circolare).

L'analisi storica è stata condotta consultando l'archivio storico comunale ed ha permesso di ricostruire le trasformazioni occorse alla struttura.

Dai documenti disponibili presso l'archivio del comune si appura che il corpo di fabbrica originale è stato edificato all'inizio del 1600 dai Gesuiti con la finalità di collegio seminaristico. Senza trasformazioni di rilievo si arriva al XX° secolo quando è stato adibito a scuola: inizialmente solo il piano primo (il piano terra ospitava una fabbrica di scarpe) successivamente in modo esclusivo. Nel corso del XX° secolo hanno avuto luogo le trasformazioni più importanti.

Nei paragrafi seguenti si riporta un riassunto delle varie trasformazioni avvenute sull'edificio in ordine cronologico.

3.1 Costruzione del fabbricato

L'atto di fondazione del collegio risale al 5 marzo 1618 su iniziativa del marchese Gerolamo Marini, figlio di Giovan Battista Marini, appartenente ad una famiglia originaria di Genova.

Già nel 1619, quando ancora i lavori fervevano, nella prima ala costruita venne aperta la scuola. Il contratto con i costruttori venne stipulato a Voghera il 22 maggio 1622. L'impegno era quello di eseguire l'opera seguendo il progetto dell'ingegnere milanese Antonio Maria Corbetta. Il contratto prevedeva la costruzione sia del collegio sia della chiesa (Sant'Ignazio) dalle fondazioni alle coperture compresi gli elementi decorativi.

A causa di difficoltà dovute alle continue guerre, il collegio venne chiuso definitivamente nel 1653; solo nel 1670 venne ripresa l'attività della scuola.

In seguito alle guerre napoleoniche, tuttavia, approfittando della presenza del governo francese, il comune di Castelnuovo Scrivia chiese ed ottenne, come risarcimento dei danni subiti, la restituzione del Collegio di Sant' Ignazio.

3.2 L'assetto della struttura all'inizio del XX secolo

Nel corso del XX secolo l'edificio risultava essere adibito a scuola (elementari e medie), salvo alcuni locali, siti al piano rialzato che vennero destinati nel 1928 al calzaturificio Maggi. La struttura è sostanzialmente ancora quella originale, salvo piccoli interventi di manutenzione. Nei documenti esaminati si è appurato come la copertura originaria in legno fosse deteriorata e poggiasse in parte sulle volte allora presenti come orizzontamenti di tutti i livelli.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

3.3 I lavori ed il crollo della volta (1959)

Nel corso nel 1958 il comune ha avviato alcuni lavori a seguito di segnalazioni dell'ammaloramento di alcune volte: si prevede la demolizione di alcune volte del piano primo.

Il 2 gennaio 1959, tuttavia, durante le lavorazioni crollarono improvvisamente alcune volte di mattoni "di quarto" legate in gesso e sovrastate dalla copertura lignea che, a quanto si riferisce, poggiava erroneamente su di esse (forse per effetto di interventi mal realizzati nei secoli).

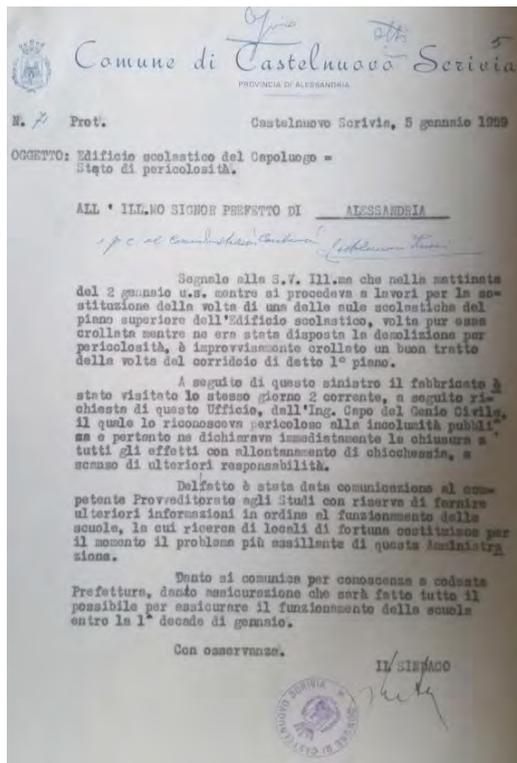


Figura 3.1: Comunicazione del sindaco sull'avvenuto crollo

Infatti, secondo la perizia dell'Ing. Ferrari, incaricato dal comune, il crollo era dovuto a carenze statiche verificatesi in quanto le vecchie volte di mattoni erano legate in gesso "e sovrastate da una pesante copertura" di tetto che poggiava sulle stesse volte.

Dopo una perizia effettuata dai funzionari del Genio Civile, quella parte di edificio è stato dichiarato inagibile, mentre la parte adibita a calzaturificio non presentava lesioni da far pensare a dissesti statici in atto, ad eccezione di "un distacco perpendicolare alla generatrice della volta al primo piano verso la piazza ed un leggero avvallamento della plafonatura dei locali al secondo piano".

A parere dei tecnici convenuti si rese necessario provvedere alla "sigillatura della fenditura originata dal distacco della volta suddetta ed alla posa in opera di chiavi in ferro, atte ad impedire eventuali successivi movimenti ed il ripristino della plafonatura del tratto avvallato."

Il Genio civile tuttavia prevede alcune opere di consolidamento e richiese l'esecuzione di prove di carico.

Nell'agosto del 1959 gli Ingg. Ferrari e Stella effettuarono, su richiesta dell'amministrazione comunale, le prove di carico sulle volte dalle quali dedussero che le strutture avevano stabilità sufficiente.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Il 18 agosto 1959 venne conferito incarico all'ing. Barbieri di redigere alcune perizie mirate a stabilire se era possibile mantenere il vecchio edificio o costruirne uno nuovo.

3.4 Il dibattito sull'eventuale demolizione del fabbricato

Dopo il crollo della volta si apre il dibattito se ristrutturare il vecchio edificio o demolirlo e costruire un nuovo complesso che raggruppasse scuole elementari e medie (l'avviamento avrebbe invece occupato un'altra sede). Il 4 settembre 1959 il comune deliberò l'abbattimento dell'edificio. Contro tale proposito si opposero fermamente i dipendenti del calzaturificio Maggi adducendo che la sospensione dell'attività manifatturiera avrebbe creato disoccupazione e disagio per 100 famiglie.

Ad appoggiare la tesi del restauro del vecchio edificio vi furono anche parecchi cittadini che si rivolsero al prefetto, in opposizione alle deliberazioni prese, portando validi motivi quali il valore storico dell'immobile e la spesa minore che il comune avrebbe dovuto sostenere. La diatriba occupa le pagine dei giornali locali, coinvolgendo anche i tecnici che a vario titolo parteciparono alle valutazioni.



Figura 3.2: Lettera dell'ing. Ferrari pubblicata sul "AR ME' PAIS" del 30 settembre 1959

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Sciviano	Data:	31.03.2017

3.5 Il progetto di consolidamento ed ammodernamento

Il 20 maggio 1961 si decise il ripristino del vecchio edificio con la costruzione di una nuova palestra (si destinò la costruzione su altro sedime della scuola di avviamento). Del progetto si occupa l'ing. Barbieri che fin dall'inizio riteneva preferibile il consolidamento della struttura esistente rispetto alla nuova costruzione.

Il 19 febbraio 1963 si scelse l'area della nuova palestra che fu ricavata dalla demolizione di un vecchio edificio di proprietà comunale; pertanto l'edificio scolastico ebbe a disposizione anche il cortile interno in precedenza occupato dal calzaturificio Maggi (il calzaturificio venne infatti escluso dalla nuova sistemazione della scuola).

Il progetto di Barbieri prevede, attraverso 3 lotti successivi, diverse opere di ammodernamento della struttura del collegio fra cui principalmente:

- Il completamento delle demolizioni delle volte al piano primo
- Il rifacimento degli impianti (termico, sanitario ed elettrico) con realizzazione di nuovi servizi igienici
- La costruzione della nuova palestra.

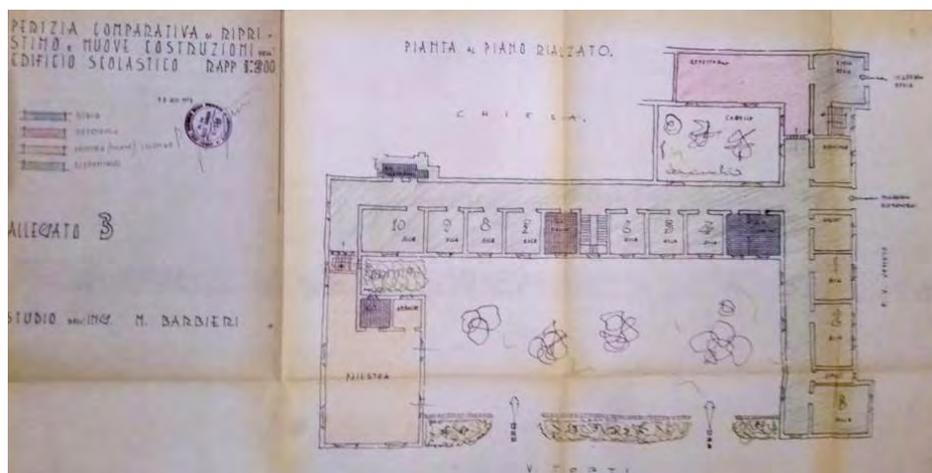


Figura 3.3: Disposizione finale degli spazi nel progetto dell'Ing. Mario Barbieri (piano terra)

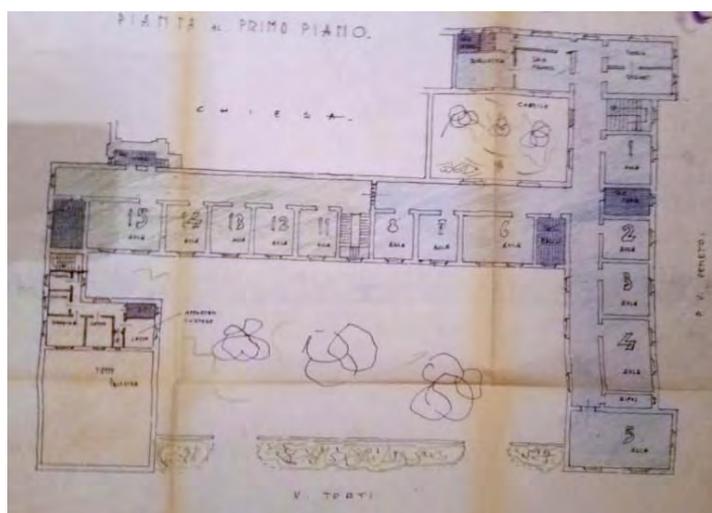


Figura 3.4: Disposizione finale degli spazi nel progetto dell'Ing. Mario Barbieri (piano primo)

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

3.6 Riepilogo delle trasformazioni occorse dal secondo dopoguerra fino agli anni '70

La struttura originaria, edificata nel '600, prevedeva ovviamente il riscaldamento mediante la legna bruciata nei camini; successivamente, presumibilmente all'inizio degli anni '50, venne realizzato un primo impianto di riscaldamento centralizzato a gasolio.

L'impianto è nei locali dell'interrato ove è posizionata la caldaia.



Figura 3.5: La vecchia caldaia non più in uso

Le tubazioni sono posizionate a vista nell'interrato con forature per raggiungere i termosifoni dei livelli successivi. Tale operazione ha comportato la scanalatura delle volte, con importanti riduzioni di sezione.

Le crenature oltre ad aver ridotto localmente la sezione resistente hanno comportato spesso lo svuotamento del materiale di riempimento delle volte stesse che risultano, alla stato attuale, talvolta parzialmente scariche, con conseguenti ripercussioni sul loro comportamento statico.



Figura 3.6: Crenature delle volte dell'interrato

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Questo problema sarà riaffrontato e approfondito nel paragrafo relativo al quadro fessurativo delle volte (e relativi allegati) e sarà evidente oltre che dal rilievo fotografico anche dalle endoscopie realizzate che hanno permesso di ricostruire la stratigrafia del pavimento della scuola “Guerra”.

Si è appurato inoltre come all’inizio degli anni ’60 le volte a copertura del piano terra fossero ancora visibili; con le opere di ammodernamento, invece, vennero realizzati i controsoffitti in latero-cemento al fine (probabilmente) di limitare l’altezza delle aule (meglio riscaldabili) e mascherare gli impianti realizzati per i servizi igienici. Il controsoffitto è tuttavia costituito da un solaio molto più pesante rispetto alle soluzioni possibili oggi e con seri limiti nel collegamento alla struttura come confermato dalle ispezioni svolte nell’intercapedine fra controsoffitto e volte (oltre che dall’endoscopia condotta per ricostruire la stratigrafia). Tale intervento ha peraltro ridotto la sezione resistente dei muri trasversali (fortunatamente l’origine seicentesca del fabbricato garantisce spessori di notevole larghezza) e reso non ispezionabili le volte che costituiscono il soffitto strutturale della scuola “Guerra” (nonché il pavimento della scuola “Bandello”).

Nel 1965 venne completata la demolizione delle volte a copertura del primo piano (già iniziata nel 1958) che costituivano il sottotetto originario: in data 21 luglio 1965 - si legge nell’archivio – venne data l’autorizzazione all’impresa Gavio di effettuare tale lavorazione.

Venne inoltre sostituita la copertura lignea seicentesca con un solaio in latero-cemento. La conseguenza di questa trasformazione è stata il mutamento della statica del tetto, che è divenuto più pesante (passando dal legno al latero-cemento) ed ha, in molte zone, cambiato orditura.

Durante la realizzazione di tale intervento, inoltre, furono “tagliate” alcune catene che garantivano una miglior cerchiatura dell’insieme, aumentando la potenziale rotazione delle facciate. La demolizione delle volte al soffitto del piano primo e la loro sostituzione con il solaio in latero-cemento, unito ad elementi in calcestruzzo armato di dimensioni considerevoli e mal collegate alla struttura ha inoltre contribuito a lesionare la struttura al piano primo come mostrato dai quadri fessurativi elaborati per la scuola “Bandello”.



Figura 3.7: Intervento massivo sulla copertura

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Alla fine degli anni '60 l'edificio assunse la struttura attuale: venne edificata la palestra sul lato sud-ovest adiacente (e parzialmente collegata) al fabbricato originario. Il progetto originale, redatto dall'Ing. Mario Barbieri, è stato reperito e digitalizzato.

Nella Figura 1.1 si riconosce la struttura della palestra sul lato sud-ovest del fabbricato (copertura più chiara). La costruzione nel nuovo edificio ha comportato operazioni di scavo che potrebbero aver contribuito alla formazione dell'attuale quadro fessurativo sulle strutture verticali delle pareti della scuola in prossimità della palestra. Le lesioni, come sarà descritto nel seguito, lasciano intuire una potenziale rotazione della facciata con conseguenze sull'ancoraggio, già modesto, dei controsoffitti in latero-cemento.

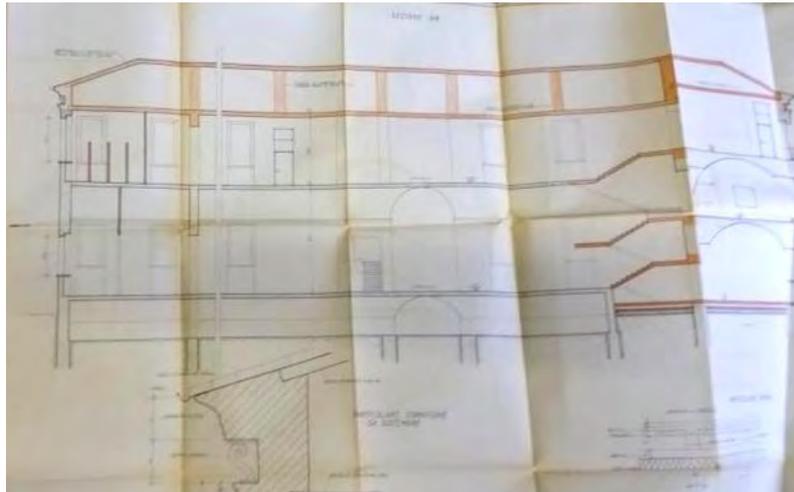


Figura 3.8: Il progetto dell'ing. Barbieri

Negli anni '70 la caldaia originale a gasolio venne sostituita e la nuova centrale termica fu realizzata nel cortile interno.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

3.7 Recenti interventi di messa in sicurezza

3.7.1 Cerchiatura arco con pilastro - piano interrato

Durante i sopralluoghi effettuati nell'interrato si è osservata una lesione ed uno spanciamento di un pilastro del piano interrato; il comune, con fondi propri, ha disposto la messa in sicurezza dell'elemento mediante il posizionamento di una cerchiatura.



Figura 3.9: Posizione del pilastro spanciato



Figura 3.10: Lesioni osservate sul pilastro del piano interrato

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



Figura 3.11: Intervento di cerchiatura del pilastro del piano interrato (ottobre 2015)

Sempre a seguito delle ispezioni visive sui controsoffitti e delle endoscopie realizzate, si è rilevato un quadro fessurativo importante nelle aule sul lato sud al piano terra.

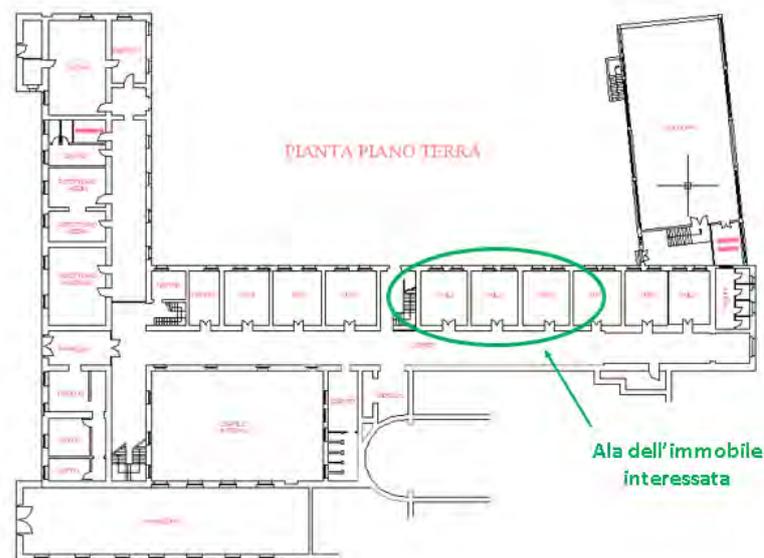


Figura 3.12: Ala dell'edificio interessata dalle lesioni più marcate sul soffitto

Il quadro fessurativo mostra delle lesioni in corrispondenza dei travetti ad indicare un potenziale scollamento delle pignatte da questi ultimi. Lesioni sono inoltre visibili in corrispondenza dell'inserimento del solaio nel muro (Figura 3.13).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

3.7.2 Intervento con angolari e rete metallica su controsoffitti - piano terra

A seguito di un sopralluogo effettuato il giorno 04/01/2016 e successivamente il giorno 20/01/2016 gli Ingg. Galasco e Mandirola hanno disposto l'adozione dei seguenti provvedimenti:

- posa in opera di un angolare 60x60 di Acciaio S235 (o superiore) in corrispondenza dell'intradosso della soletta di controsoffitto a completa cerchiatura del vano, per creare una maggiore base di appoggio al solaio;
- fissaggio mediante tassello degli angolari al muro di mattoni;
- posa in opera di una rete metallica (a maglia non superiore a 15 mm) fissata ai travetti con tasselli muniti di rondelle metalliche di diametro non inferiore a 20 mm. Il fissaggio è da prevedere su tutti i travetti con un passo di circa 30-40 cm.

A seguito della segnalazione il comune, con fondi propri, ha disposto la messa in sicurezza delle due aule mediante il sistema sopra descritto.



Figura 3.13: Lesioni sul controsoffitto (sinistra) e sul collegamento con il muro (destra)

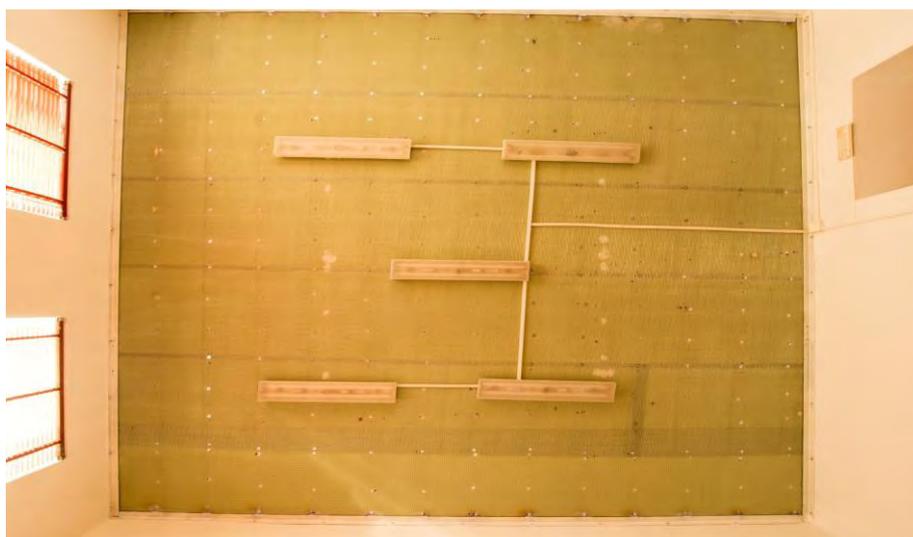


Figura 3.14: Intervento provvisorio di messa in sicurezza del gennaio 2016

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

4. CARATTERISTICHE DEL SITO E DELLA STRUTTURA IN ESAME

Il sito in esame è ubicato nel comune di Castelnuovo Scrivia, provincia di Alessandria, regione Piemonte. E' caratterizzato dalle seguenti coordinate geografiche e quota sul livello del medio mare:

Latitudine	Longitudine	Q s.l.m.m. [m]
44°58'53" Nord	8°52'56" Est	85

Tabella 4.1: coordinate geografiche e quota sul livello del medio mare

L'area ricade in **Zona 1** per quanto riguarda la definizione dell'azione del vento (tabella 3.3.I del D.M. 2008) ed in **Zona I-Mediterranea** (punto 3.4.2 del D.M. 2008) per quanto concerne la definizione del carico neve.

Il sito in esame appartiene alla **Zona sismica 3** ed è caratterizzato (in base ad informazioni reperite in loco) da un profilo stratigrafico di tipo **C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti (caratterizzati da $180 < V_{s,30} < 360$ [m/s])", secondo la classificazione fornita al punto 3.2.2 del D.M. 2008.

Per una completa definizione dell'azione sismica, occorre definire la categoria topografica di appartenenza: dalla tabella 3.2.IV del D.M. 2008, il sito in esame è classificabile nella categoria **T1**.

Categoria Topografica	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 $i > 30^\circ$

Tabella 4.2: categorie topografiche secondo D.M. 2008.

Utilizzando il foglio di calcolo Excel *Spettri-NTC ver. 1.0.3* fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, introducendo le coordinate geografiche di Tabella 4.1, si determina la posizione sul reticolo di 10751 punti fornito nell'Allegato B del D.M. 2008 rappresentata in Figura 4.1, da cui si ottengono i parametri caratterizzanti l'azione sismica locale riportati nella seguente tabella.

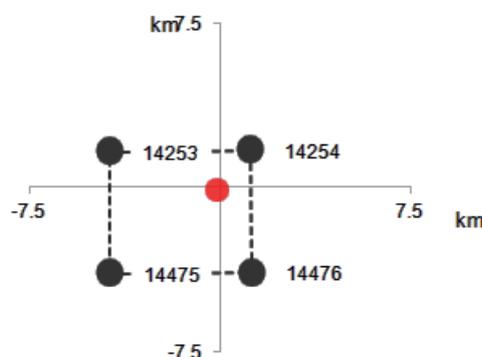


Figura 4.1: posizione del sito in esame in relazione al reticolo di 10751 punti fornito nell'Allegato B del D.M. 2008.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
30	0.022	2.508	0.184
50	0.029	2.491	0.207
72	0.034	2.515	0.220
101	0.038	2.533	0.238
140	0.045	2.489	0.252
201	0.052	2.500	0.262
475	0.074	2.497	0.275
975	0.098	2.480	0.280
2475	0.139	2.475	0.283

Tabella 4.3: valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

Con riferimento alla precedente tabella:

- a_g è l'accelerazione orizzontale massima al sito;
 F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su un sito di riferimento rigido orizzontale ed ha un valore minimo pari a 2.2;
 T_c^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

4.1 Vita nominale e Classe d'uso della struttura.

La vita nominale di un'opera strutturale V_N viene definita, dal punto 2.4.1 del D.M. 14 gennaio 2008, come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale dei diversi tipi di opere è riportata nella tabella 2.4.I del D.M. 14 gennaio 2008; nel caso in esame, la costruzione è di **tipo 2**, caratterizzata quindi da una vita nominale $V_N \geq 50$ anni.

	Tipi di Costruzione	V_N [anni]
1	Opere provvisorie - Opere Provvisionali - Strutture in fase costruttiva.	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.	≥ 100

Tabella 4.4: Vita nominale V_N per diversi tipi di opere (tabella 2.4.I del D.M. 14 gennaio 2008).

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, il punto 2.4.2 del D.M. 14 gennaio 2008 prevede che le costruzioni siano suddivise in 4 classi d'uso, definite nella seguente tabella.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Classe d'uso	
Classe I	Costruzioni con la presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 4.5: Classe d'uso per diversi tipi di opere (paragrafo 2.4.2 del D.M. 14 gennaio 2008).

Le strutture in esame rientrano nella **Classe III**.

Come indicato in precedenza, la struttura in oggetto è classificata di tipo 2, caratterizzata da una vita nominale $V_N \geq 50$ anni, e da una classe d'uso III.

Il periodo di riferimento della costruzione (punto 2.4.3 del D.M. 2008) vale pertanto:

$$V_R = V_N C_U = 50 \cdot 1.5 = 75 \text{ anni}$$

Come successivamente specificato, per la struttura in esame gli stati limite significativi sono lo SLD e lo SLV, ai quali corrispondono (secondo la tabella 3.2.I del D.M. 2008) una probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R rispettivamente pari a $P_{V_R,SLD} = 63\%$ e $P_{V_R,SLV} = 10\%$ e quindi periodi di ritorno dell'azione sismica pari a (relazione C.3.2.1 della circolare applicativa del D.M. 2008) pari a:

$$T_{R,SLD} = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R,SLD})}$$

$$T_{R,SLV} = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R,SLV})}$$

I valori dei parametri caratterizzanti l'azione sismica associati al periodo di ritorno così determinato, valgono quindi:

Stato Limite Considerato	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
SLD	75	0.034	2.517	0.222
SLV	712	0.087	2.487	0.278

Tabella 4.6: valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per il periodo di ritorno T_R associato allo SLV.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Per completare la definizione dei parametri caratterizzanti l'azione sismica, occorre definire i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica. Il primo viene definito tramite la tabella 3.2.V del D.M. 2008.

Categoria di Sottosuolo	S_S
A	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$

Tabella 4.7: Espressioni per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S .

Utilizzando i parametri definiti in Tabella 4.6, con riferimento alla categoria di sottosuolo C, si ha:

$$S_{S,SLD} = 1.70 - 0.60 \frac{F_o a_g}{g} = 1.5$$

$$S_{S,SLV} = 1.70 - 0.60 \frac{F_o a_g}{g} = 1.5$$

Il secondo si ricava dalla tabella 3.2.VI del D.M. 2008.

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Tabella 4.8: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T .

Pertanto, per la categoria topografica T1, si ha: $S_T = 1.0$.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

4.2 Livelli di conoscenza e fattori di confidenza

Per quanto concerne la struttura in muratura, in presenza di un rilievo geometrico di dettaglio e di estese indagini in situ si assumerà un livello di conoscenza adeguata **LC2** (secondo quanto indicato al punto C8A.1.A.4 della circolare applicativa 617/2009): si farà quindi riferimento alle proprietà meccaniche riportate nella tabella C8A.1.A.4 della circolare assumendo i valori medi degli intervalli proposti per le resistenze (f_m e τ_0) ed i valori medi per le rigidzze (E e G).

Secondo quanto indicato al punto C8A.1.A.4 delle norme tecniche si applica un fattore di confidenza $F_C=1.2$ alle resistenze indicate come ulteriore coefficiente parziale di sicurezza.

Anche per la palestra in calcestruzzo armato si assume un livello di conoscenza adeguata LC2, come dettagliato nel §8.

4.3 Indici di rischio sismico

Per ciascuno stato limite considerato è possibile definire la domanda indotta dal sisma in termini di accelerazione di ancoraggio dello spettro, PGA, oppure in termini di ordinata spettrale, $a_g \cdot S$.

Scegliendo come indicatore di rischio sismico la PGA, **il rischio sismico α per ogni stato limite considerato, è pari al rapporto fra la PGA di capacità e la PGA della domanda.**

Concettualmente la PGA della capacità in corrispondenza di uno Stato Limite (SL) è il valore dell'accelerazione di ancoraggio dello spettro rispetto al quale si raggiunge esattamente la capacità della struttura, così come definita per lo SL considerato.

La PGA di capacità corrisponde ad un determinato spettro associato ad un proprio periodo di ritorno: nel caso questo sia compreso fra 30 e 2475 anni è possibile esplicitarlo mediante il reticolo di riferimento definito nella "Tabella 1" (parametri spettrali) in allegato alle Norme Tecniche 14 gennaio 2008. La procedura per individuare il corretto periodo di ritorno è iterativa e procede fino a che non si determina la configurazione di parametri a_g , F_0 e T_C^* che rendano unitarie le verifiche, ovvero che forniscano una PGA della domanda pari alla capacità.

Nel caso di assuma costante la forma spettrale (ovvero i parametri F_0 e T_C^* da cui derivano T_B , T_C , T_D) sarà possibile una soluzione in forma chiusa per ottenere il parametro a_g .

Il rapporto fra la PGA calcolata con lo spettro effettivo e la PGA della domanda sarà indicato con il simbolo α , mentre con α' si indicherà il rapporto fra la PGA a spettro fissato e la PGA della domanda.

L'indicatore di rischio può, in modo equivalente, essere espresso in termini di tempo di ritorno dell'azione sismica (T_R). In tale caso, **l'indicatore di rischio αT_R è definito come il rapporto fra il periodo di ritorno della capacità e quello della domanda elevato a 0.41.**

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

5. ISPEZIONI VISIVE, RILIEVO GEOMETRICO E DEL QUADRO FESSURATIVO

A seguito di una prima fase di recupero e analisi della documentazione disponibile, si è provveduto a ispezionare visivamente tutti i locali della struttura al fine di verificare il rilievo geometrico disponibile (o eseguirlo ex novo, dove non presente) e tracciare il quadro fessurativo eventualmente presente.

Per il piano interrato e il sottotetto si è eseguito un rilievo completo, in quanto non presente; per gli altri livelli, i sopralluoghi eseguiti hanno consentito di aggiornare le tavole disponibili (piante e prospetti) per renderle coerenti con lo stato di fatto (in particolari sono stati verificati spessore dei paramenti murari, quote, disposizione dei locali interni, disposizione delle aperture)

5.1 Piano interrato: ispezione e rilievo architettonico

Dalla scala principale, posta in corrispondenza dell'ingresso posteriore (cortile interno su via Flavio Torti), si può accedere all'interrato del fabbricato. Attualmente è presente un impianto di illuminazione esteso a buona parte dei locali, alcuni (ad esempio quelli sotto l'abside della chiesa) sono tutt'ora privi di illuminazione; i diversi locali presenti sono generalmente accessibili.

Il locale fondi non è utilizzato per alcuna attività e ospita alcuni banchi dismessi dalla scuola. Alcune aree del piano interrato sono state utilizzate come deposito delle macerie degli interventi di ristrutturazione ed impiantistici realizzati negli anni. Alcune zone rimangono quindi accessibili con molta difficoltà e non rilevabili in dettaglio.

Gli orizzontamenti a copertura del locale fondi costituiscono il pavimento della scuola materna "Guerra": essi sono ancora le strutture originali del collegio gesuitico, ovvero volte in muratura di mattoni.

Esaminando i locali appare subito evidente come l'area sia stata utilizzata in epoca più recente per il posizionamento degli impianti. In particolare si segue a vista le tubazioni dell'impianto di riscaldamento i cui tubi si sviluppano in orizzontale per tutto l'interrato e raggiungono i termosifoni delle stanze della scuola attraverso forature nella volte.

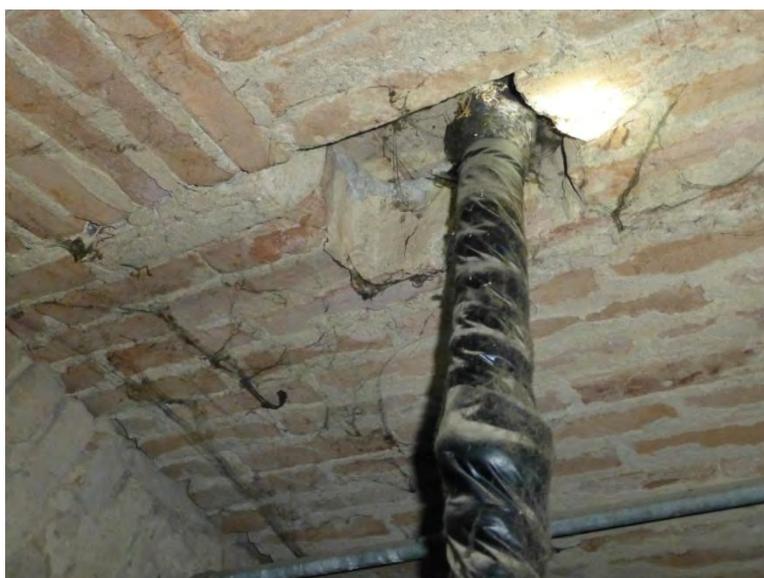


Figura 5.1: Fori nelle volte eseguiti per il passaggio di impianti

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Alcune volte sono poi state rimaneggiate per l'inserimento di scanalature per ospitare le tubazioni. A seguito di tali interventi le volte sono state parzialmente scaricate dal materiale di contrasto normalmente presente.



Figura 5.2: parziale svuotamento dell'estradosso delle volte durante i lavori di posa degli impianti

Negli anni anche le prese di luce sono state oggetto d'intervento, probabilmente per un maggior deterioramento dovuto agli agenti atmosferici. Si osserva sovente la presenza di architravi in calcestruzzo a sostituzione del voltino originale in muratura: intervento che ha spesso comportato un parziale (ulteriore) svuotamento delle volte.

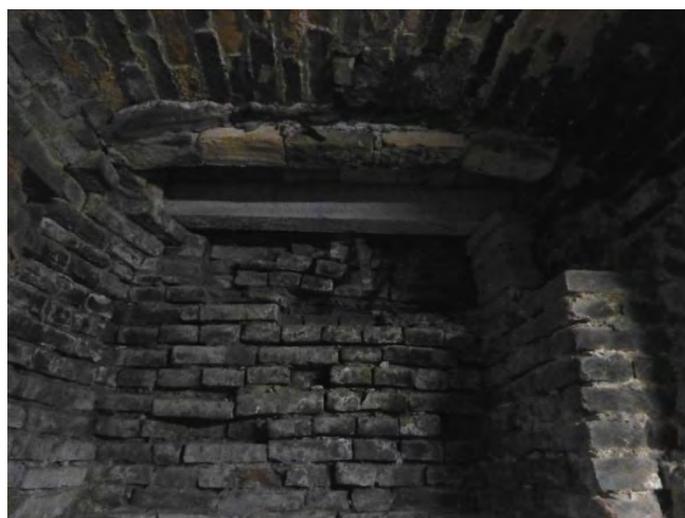


Figura 5.3: luci di aerazione consolidate con architravi in calcestruzzo

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 5.4: Tubazione dei servizi igienici installata all'intradosso delle volte

Oltre al transito delle condutture dal gas, si è usufruito del locale fondi anche per alloggiare le tubature dei servizi realizzati successivamente.

Infine, sempre nei fondi, è stato posizionato il locale ascensore.



Figura 5.5: Locale ascensore

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

L'assenza di un rilievo dell'area fondi non permetteva di procedere nelle attività di indagine.

Si è provveduto pertanto a realizzare il rilievo geometrico completo dei locali dell'interrato, che occupano una superficie di oltre 1800 m² e costituiscono l'orizzontamento di pavimento della scuola materna: l'interrato è presente sotto tutta la scuola, ad eccezione dei locali dell'attuale palestra, fondati più superficialmente.

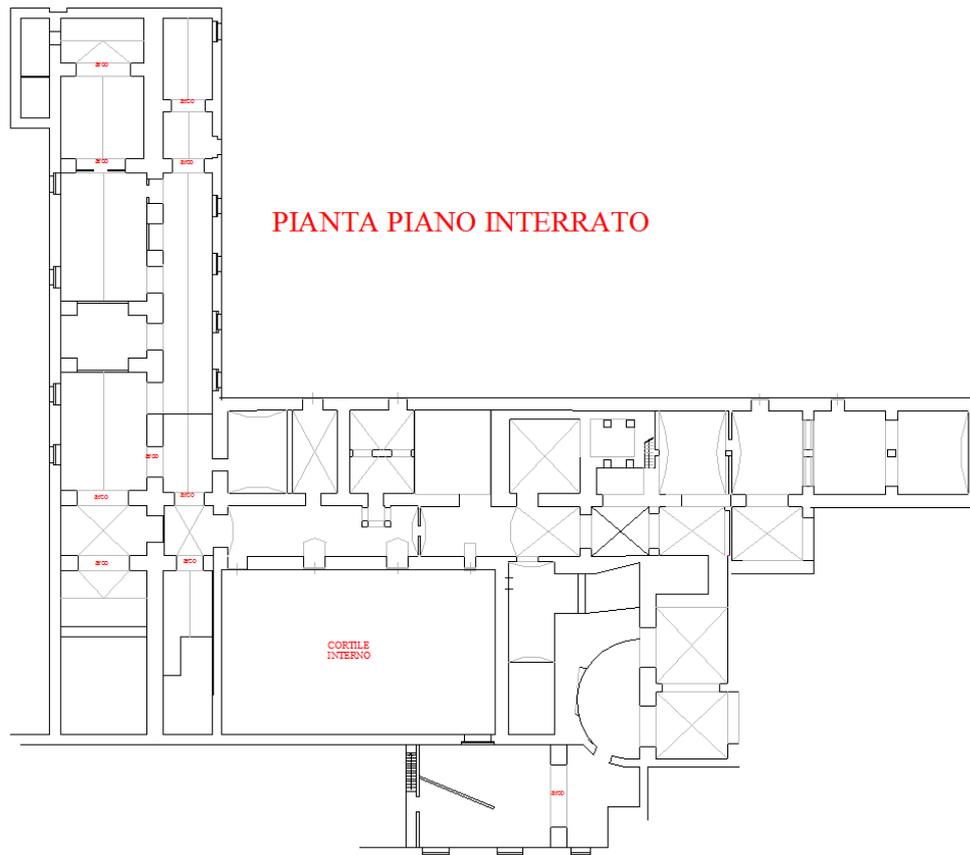


Figura 5.6: Rilievo dell'interrato realizzato ex-novo (ALLEGATO 1)

Il rilievo geometrico completo è allegato alla presente in formato digitale (Allegato 1) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrvia (AL).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

5.1.1 Rilievo di dettaglio delle volte

Per effettuare un'analisi puntuale del comportamento statico delle volte dell'interrato, è stato eseguito un rilievo geometrico di dettaglio di due volte significative, indicate nella seguente figura.

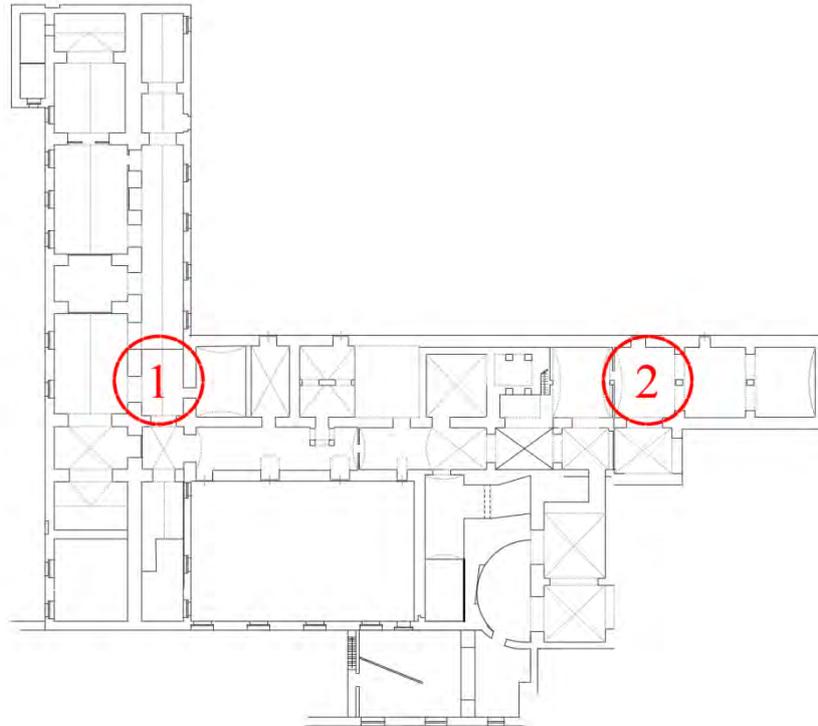


Figura 5.7: indicazione planimetrica delle volte rilevate in dettaglio: n.1 “Volta Calzaturificio”, n.2 “Volta con pilastro”

Le volte individuate sono rappresentative di due delle tipologie più ricorrenti nel fabbricato.

La volta n.1, indicata come “Volta Calzaturificio”, si presenta come una volta a botte, di spessore 24 cm, impostata a quota 135 cm su muri ed archi di notevole spessore (dell’ordine di 1 m) e dotata di due lunette laterali. Tale volta è rappresentativa della tipologia ricorrente nell’ala del fabbricato al di sotto del refettorio.

Alcune volte limitrofe presentano uno spessore di 24 cm alle reni e 12 cm in chiave: per tale motivazione, viene eseguita una doppia modellazione della volta n.1 considerando le due diverse configurazioni di spessore, in modo da cogliere, seppur qualitativamente, il comportamento del maggior numero di volte possibile.

Nell’ala di fabbricato sono presenti volte di maggior luce, ma per esse non è stato possibile rilevarne la geometria a causa della presenza di materiale di risulta sul pavimento, che ha impedito l’utilizzo degli strumenti di misura.

La volta n.2, indicata come “Volta con Pilastro”, si presenta come una volta a botte, di spessore 12 cm (con tratti alle reni da 24 cm), impostata radente al terreno (a quota 35 cm) su muri ed archi di notevole spessore (dell’ordine di 1 m) e dotata di due lunette laterali. Oltre ad essere rappresentativa della tipologia ricorrente nell’ala adiacente alla palestra, tale volta è significativa in quanto presenta in corrispondenza dei due archi principali, un pilastro in mezzeria: è presumibile che i costruttori del fabbricato abbiano inserito i pilastri in quanto sugli archi da essi sostenuti si impostano muri portanti che arrivano fino in copertura.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Il comportamento della volta non è quindi quello canonico, ma presenta un'anomalia a causa della presenza dei pilastri. Si segnala che la volta analizzata è quella che presenta un pilastro lesionato e per la quale è già stata predisposta una puntellazione provvisoria.



Figura 5.8: vista della volta n.1 "Volta Calzaturificio" (la parte analizzata è quella delimitata dal pavimento in battuto di cemento)



Figura 5.9: vista della volta n.2 "Volta con pilastro"

5.1.1.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il rilievo geometrico delle volte è stato eseguito in data 08.11.2016 utilizzando il distanziometro Leica Disto S910, dotato certificato di calibrazione n. 5162710118 del 17.08.2016.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Il distanziometro è dotato di treppiede TRI70 e dell'adattatore per treppiede con microregolazione FTA 360-S.



Figura 5.10: Distanziometro Leica Disto S910 utilizzato per il rilievo delle volte

Leica DISTO S910 è un distanziometro laser che, grazie al dispositivo Smart Base (un perno biassiale integrato con il circuito stampato), acquisisce misurazioni multiple e precise in tre dimensioni da una singola posizione. Combinato con un laser potente, un sensore di inclinazione a 360° e un evoluto software, Smart Base consente al dispositivo S910 di misurare le distanze e gli angoli tra punti multipli.

I punti rilevati vengono registrati come coordinate sia in formato testo che su un file .dxf tridimensionale.

Il distanziometro è in grado di scattare anche una foto dell'area rilevata, sovrapponendo un crocicchio in corrispondenza del punto battuto. Le principali caratteristiche tecniche del distanziometro Leica DISTO S910 sono riassunte nella seguente tabella.

<i>Caratteristica</i>	<i>Precisione</i>
<i>Precisione di misurazione certificata ISO 16331-1 (condizioni favorevoli)</i>	± 1.0 [mm]
<i>Precisione di misurazione certificata ISO 16331-1 (condizioni non favorevoli)</i>	± 2.0 [mm]
<i>Campo certificato ISO 16331-1 (condizioni favorevoli)</i>	0.05 [m] ÷ 300 [m]
<i>Campo certificato ISO 16331-1 (condizioni non favorevoli)</i>	0.05 [m] ÷ 150 [m]
<i>Campo verticale Smart Base</i>	da -40° a +80°
<i>Tolleranza sensore verticale Smart Base</i>	0.1°
<i>Campo orizzontale Smart Base</i>	360°
<i>Tolleranza orizzontale Smart Base</i>	0.1°

Tabella 5.1: specifiche tecniche del distanziometro Leica DISTO S910 utilizzato nel rilievo delle volte

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

5.1.1.2 MODELLI GEOMETRICI TRIDIMENSIONALI

Il rilievo delle volte è stato tradotto in modelli geometrici tridimensionali, in modo da disporre di superfici da sottoporre successivamente ad analisi agli elementi finiti.

Il software utilizzato è Midas FX+ (licenza U001-09018), un modellatore geometrico tridimensionale add-on per MIDAS/Gen. Il software, oltre a consentire la costruzione del modello geometrico tramite curve, superfici e solidi, è dotato di un meshatore che implementa più di 20 funzioni di automeshing, includendo generatore Grid, Loop, Delaunay, Map, 4-edges, K-edges, funzionanti in 1D, 2D, 3D, oltre alle tradizionali funzioni di protrude (generazione di mesh per estrusione di mesh semplici) e funzioni di subdivide.

Nelle seguenti figure sono rappresentati i modelli geometrici tridimensionali realizzati con Midas FX+; i modelli descrivono le superfici medie delle volte, alle quali saranno assegnati gli opportuni spessori in fase di costruzione del modello FEM. Dai rilievi eseguiti si è potuto osservare che le curve generatrici sia delle volte che delle lunette sono ellissi.

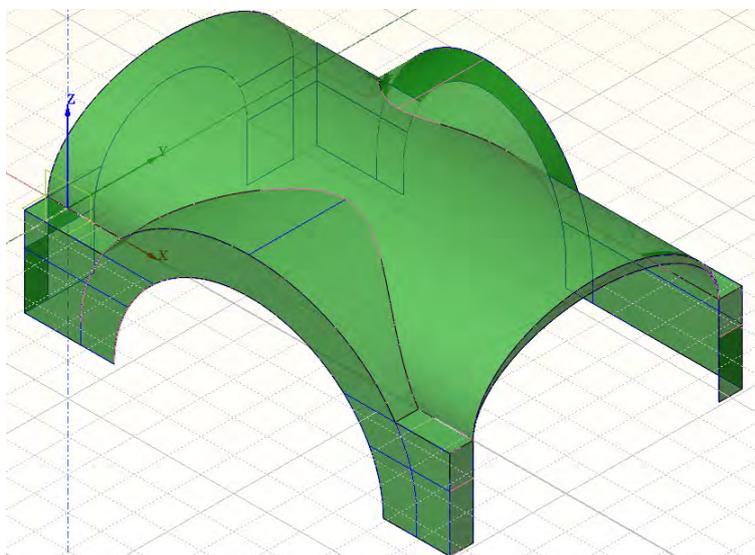


Figura 5.11: modello geometrico della volta n.1 “Volta Calzaturificio”

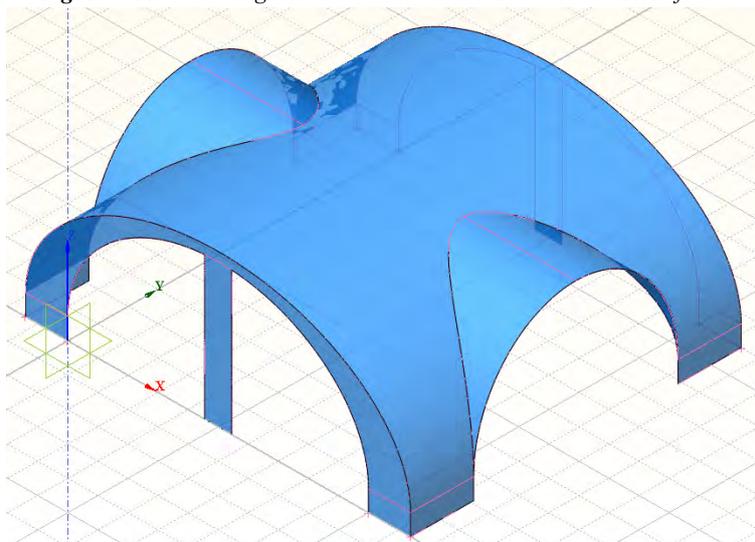


Figura 5.12: modello geometrico della volta n.2 “Volta con pilastro”

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

5.1.1 Rilievo del quadro fessurativo del piano interrato

Una volta restituita la planimetria dell'interrato si è proceduto, stanza per stanza, a rilevare le lesioni attualmente presenti, avendo cura di distinguere le fessurazione delle volte dalle perforazioni o crenature operate durante il posizionamento degli impianti.

Essendo tutte volte strutturali si tratta di lesioni che interessano direttamente gli orizzontamenti.

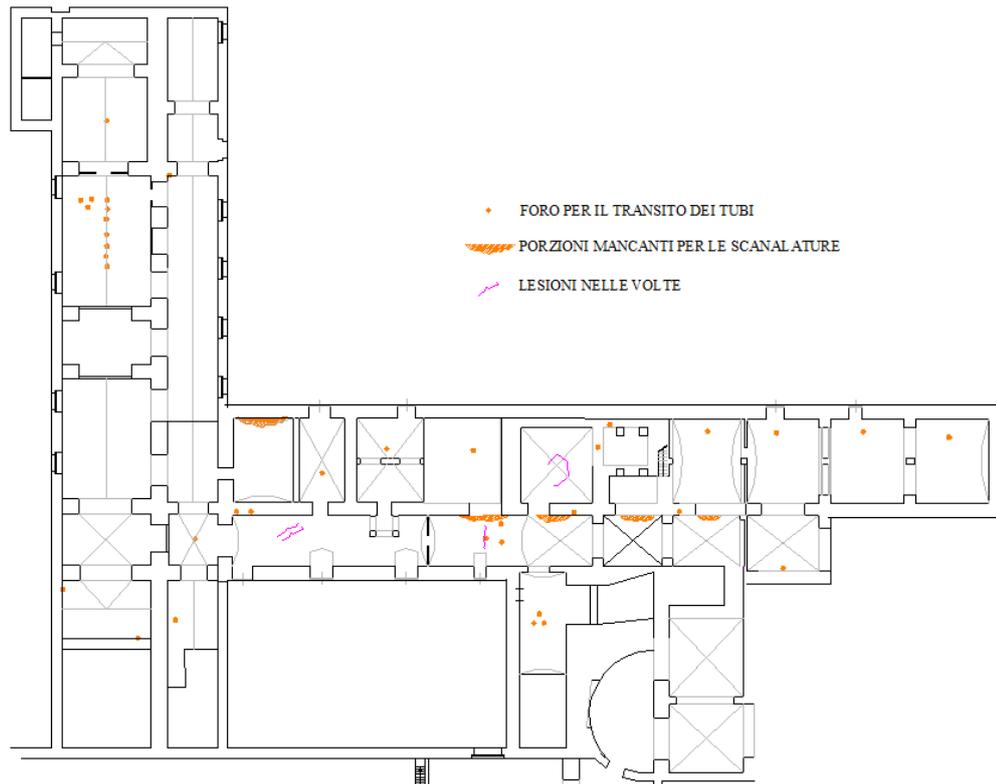


Figura 5.13: Rilievo del quadro fessurativo dell'interrato (ALLEGATO 2)

Il rilievo del quadro fessurativo è allegato alla presente in formato digitale (Allegato 2) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrvia (AL).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

5.2 Piano terra: ispezione e controllo del rilievo architettonico disponibile

Il rilievo del piano terra si è basato sulla planimetria messa a disposizione dal Comune di Castelnuovo Scrivia. Utilizzandola come traccia, sono state effettuate le opportune modifiche per renderla coerente con il reale stato di fatto.

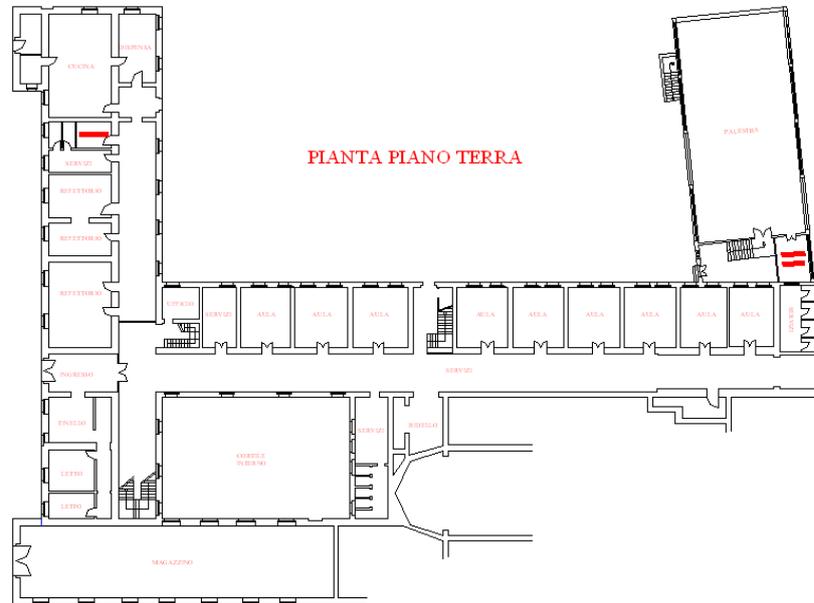


Figura 5.14: Rilievo del piano terra originale



Figura 5.15: Rilievo del piano terra aggiornato e corretto (ALLEGATO 3)

Il rilievo geometrico completo aggiornato è allegato in formato digitale alla presente (Allegato 3) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrivia (AL).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

5.2.1 Rilievo del quadro fessurativo del piano terra

Come anticipato in precedenza, sempre a seguito delle ispezioni visive sui controsoffitti si sono rilevate lesioni (alcune di significativa entità) nei locali del lato sud al piano terra. E' risultato quindi opportuno redigere un rilievo accurato del quadro fessurativo di tutto il piano in modo da poter monitorare l'eventuale progredire degli stati fessurativi.

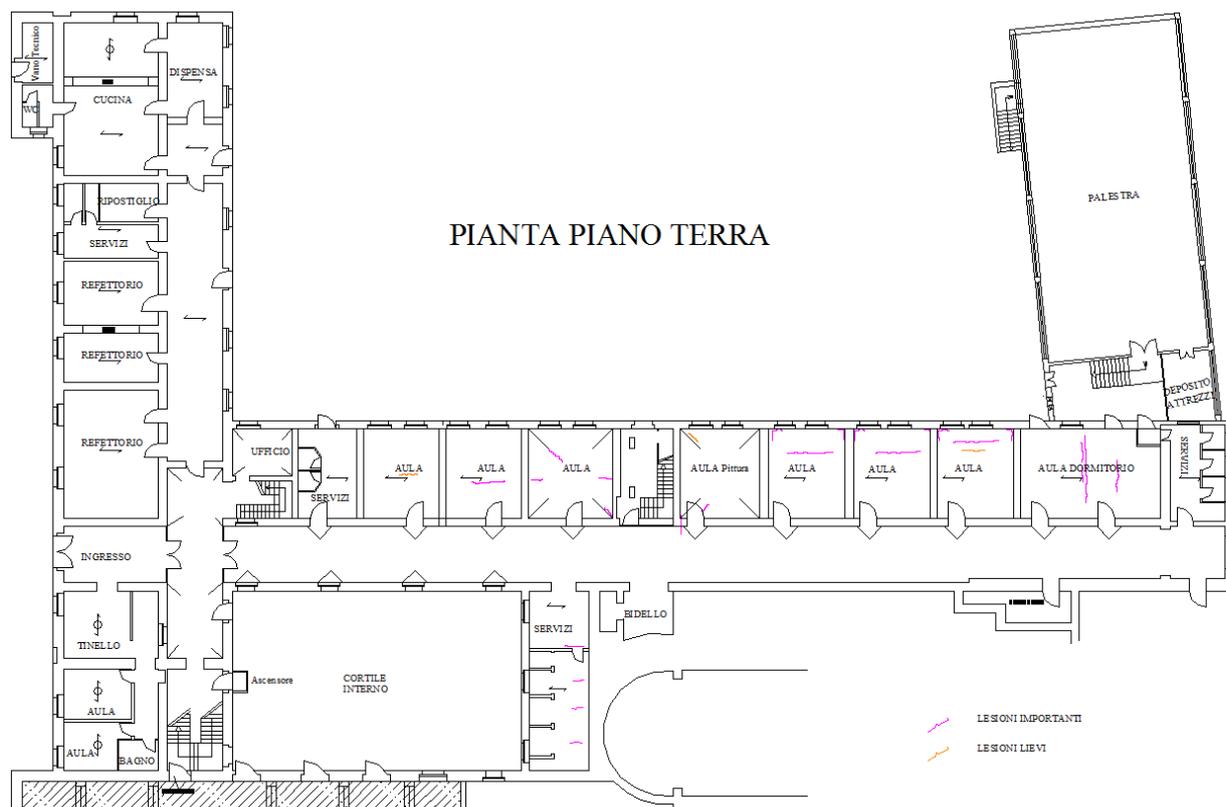


Figura 5.16: Rilievo quadro fessurativo piano terra (Allegato 4)

Il rilievo del quadro fessurativo è allegato alla presente in formato digitale (nell'Allegato 4) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrvia (AL).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

5.3 Primo piano: ispezione e controllo del rilievo architettonico disponibile

Il piano primo della struttura è interamente occupato dalla scuola elementare “Bandello” con le sue aule didattiche e destinate ad attività speciali (laboratori).

Come per il piano terra si è quindi reso necessario procedere al controllo ed aggiornamento di tutta la pianta (Allegato 5).



Figura 5.17: Rilievo del primo piano originale



Figura 5.18: Rilievo del primo piano aggiornato e corretto (ALLEGATO 5)

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Il rilievo geometrico completo è allegato in formato digitale alla presente (Allegato 5) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scivia (AL).

L'orizzontamento a copertura del piano primo è stato oggetto delle principali trasformazioni occorse al fabbricato: originariamente costituito da volte seicentesche, rimaneggiate nei secoli e definitivamente abbattute nel corso delle opere di ammodernamento della scuola. Attualmente è presente un solaio in latero-cemento ordito perpendicolarmente ai muri perimetrali della scuola come visibile osservando i soffitti delle varie aule.



Figura 5.19: soffitto della “Bandello”, si vede chiaramente l'impronta del solaio a travetti

5.3.1 Lesioni da carichi elevati/anomali

Durante l'ispezione si è avuto modo di osservare come il quadro fessurativo dei soffitti della “Bandello” rivelasse la presenza di elementi anomali a livello del sottotetto, presentando sovente lesioni dovute a carichi concentrati.



Figura 5.20: soffitto della “Bandello”, lesioni riconducibili a carichi anomali in copertura

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scivia	Data:	31.03.2017

Nella Figura 5.20 si intuisce la presenza, poi rilevata, di un elemento pesante posizionato nel sottotetto. Tale problema è presente almeno in due punti della soletta di copertura del corridoio: durante la demolizione delle volte, il progettista ha ritenuto opportuno legare la struttura muraria con elementi in calcestruzzo armato, che tuttavia risultano di sezione e peso elevati.



Figura 5.21: Una delle travi in calcestruzzo posta nel sottotetto

In corrispondenza degli architravi delle finestre sono poi presenti ampie lesioni a conferma di un carico concentrato mal ripartito.



Figura 5.22: lesioni sull'architrave indotta dalla presenza della trave in copertura

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

5.3.2 Rilievo del quadro fessurativo del primo piano

Oltre alle lesioni di chiara impronta strutturale, dovuti ai carichi concentrati, si osservano alcune fessurazioni di minor entità che interessano diverse aule, oltre che macchie di umidità.



Figura 5.23: macchie di umido e piccole fessurazioni

I soffitti della scuola “Bandello” sono realizzati in travetti e pignatte. Dalle informazioni raccolte non sono riferiti fenomeni di sfondellamento, tuttavia risulta opportuno redigere un rilievo accurato del quadro fessurativo dell’orizzontamento in modo da poter monitorare l’eventuale progredire degli stati fessurativi.

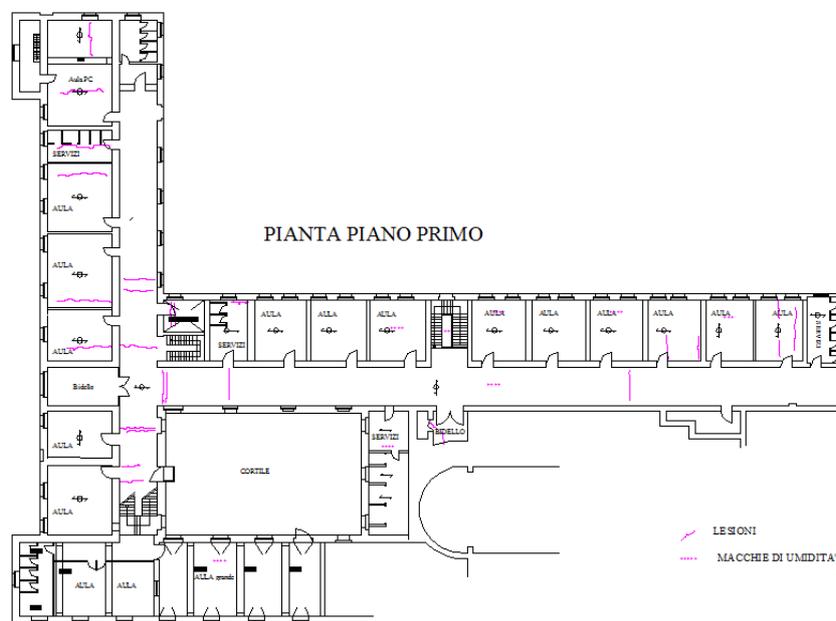


Figura 5.24: Rilievo quadro fessurativo primo piano (Allegato 6)

Il rilievo del quadro fessurativo è allegato alla presente in formato digitale (nell’Allegato 6) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrvia (AL).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

5.4 Piano secondo: ispezione e controllo del rilievo architettonico disponibile

Il piano secondo (mezzanino) della struttura è anch'esso occupato dalla scuola elementare "Bandello". Come per le altre planimetrie; si è proceduto al controllo ed aggiornamento di tutta la pianta.

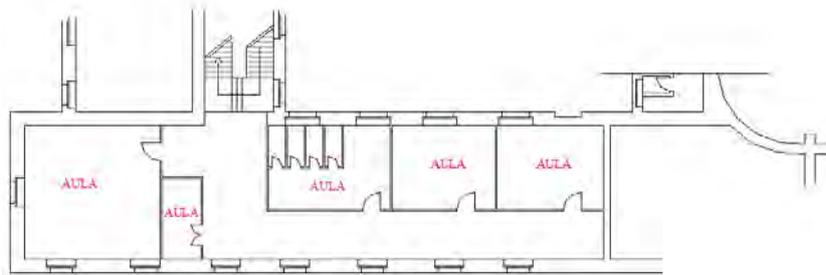


Figura 5.25: Rilievo del secondo piano originale

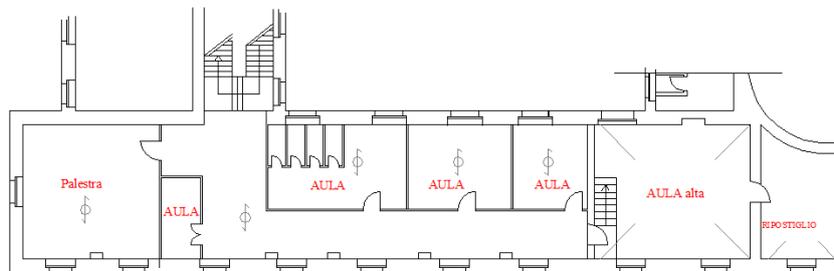


Figura 5.26: Rilievo del secondo piano aggiornato e corretto (ALLEGATO 5)

Il rilievo geometrico completo è allegato in formato digitale alla presente (Allegato 5) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrivia (AL).

L'orizzontamento a copertura del piano secondo è costituito da un solaio in latero-cemento ordito perpendicolarmente ai muri perimetrali della scuola come visibile osservando i soffitti delle varie aule.



Figura 5.27: soffitto piano secondo della "Bandello", si vede chiaramente l'impronta del solaio a travetti

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

5.4.1 Rilievo del quadro fessurativo del piano secondo

Dalle informazioni raccolte non sono riferiti fenomeni di sfondellamento, tuttavia risulta opportuno redigere un rilievo accurato del quadro fessurativo dell'orizzontamento in modo da poter monitorare l'eventuale progredire degli stati fessurativi. Il rilievo del quadro fessurativo è allegato alla presente in formato digitale (nell'Allegato 6) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrivia (AL).

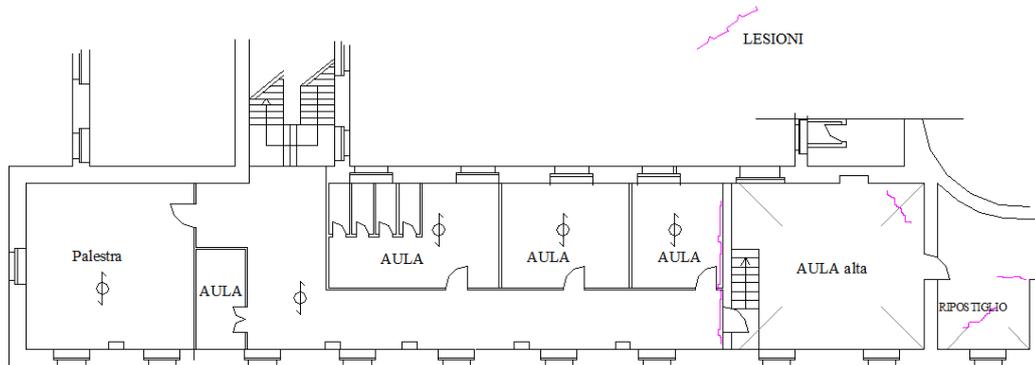


Figura 5.28: Rilievo quadro fessurativo secondo piano (Allegato 6)



Figura 5.29: Lesione sul corridoio(sopra) e nell'aula ripostiglio (sotto) del secondo piano

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

5.5 Sottotetto: ispezione e rilievo architettonico

Il rilievo del sottotetto, non disponibile negli archivi del Comune, si rende necessario non solo per completezza di informazioni (ai fini ad esempio della valutazione complessiva di sicurezza) ma anche per meglio interpretare il quadro fessurativo osservato al piano primo. Del resto questo orizzontamento è quello maggiormente interessato dalla trasformazioni subite dalla struttura.

Appare subito evidente la quasi totale eliminazione delle volte preesistenti, sostituite dai solai in latero-cemento. Solo in alcuni rari vani risultano ancora presenti le volte.

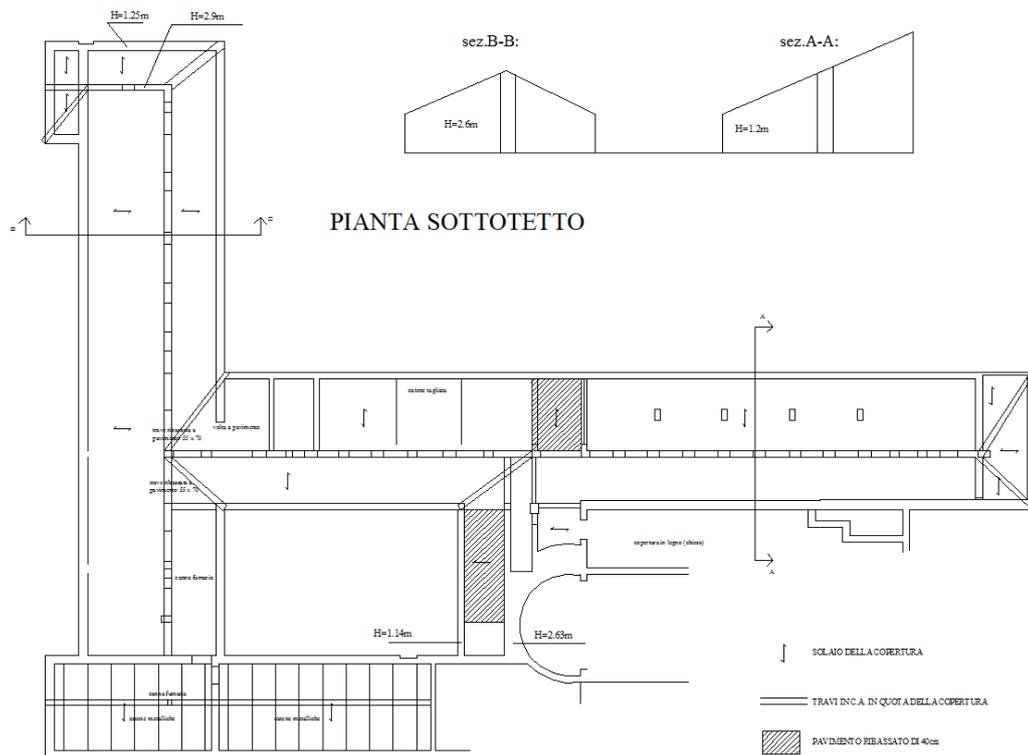


Figura 5.30: Rilievo del sottotetto realizzato ex-novo (Allegato 7)

Il rilievo geometrico completo è allegato in formato digitale alla presente (Allegato 7) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrvia (AL).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 5.31: volta residua



Figura 5.32: volta demolita

Si nota inoltre che la copertura, originariamente lignea, sia stata sostituita da una pesante in cemento armato ordita perpendicolarmente ai lati del fabbricato, con una ripartizione dei carichi quindi differente dalla precedente orditura lignea.

I pilastri di muratura, che originariamente supportavano la grande orditura del tetto ligneo, sono stati in parte utilizzati come appoggi delle nuove travi in calcestruzzo ed in parte interrotti e non più utilizzati.

Il nuovo tetto poggia infatti su alcune lunghe travi di calcestruzzo posizionate all'interno del sottotetto disposte parallelamente alle pareti perimetrali. Gli appoggi murari perpendicolari alle pareti sono attualmente non utilizzati e rimangono solo dei monconi.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



Figura 5.33: travi di cemento armato della copertura



Figura 5.34: Pilastrini in muratura inutilizzati

Si osserva inoltre come siano state interrotte o rimosse le catene metalliche originariamente presenti sulla struttura. Solo in un'area del fabbricato, sul lato sud, la struttura ha conservato il suo assetto originario e sono tuttora presenti i tiranti metallici.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



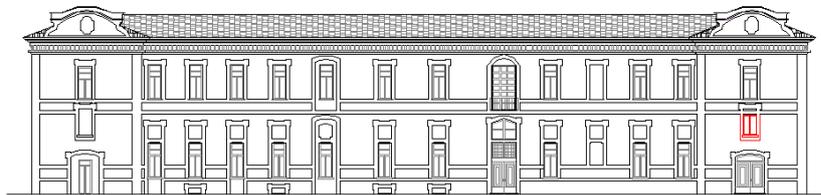
Figura 5.35: catena interrotta e quindi non più operativa

Per maggiori informazioni sullo stato dell'arte del sottotetto si consulti l'Allegato 8 (fornito contestualmente alla presente in formato digitale).

5.6 Controllo geometrico dei prospetti

Nel seguito si riportano i prospetti aggiornati con indicato in rosso le modifiche apportate.

**PROSPETTO
P.zza VITTORIO VENETO**



**PROSPETTO
VIA FLAVIO TORTI**

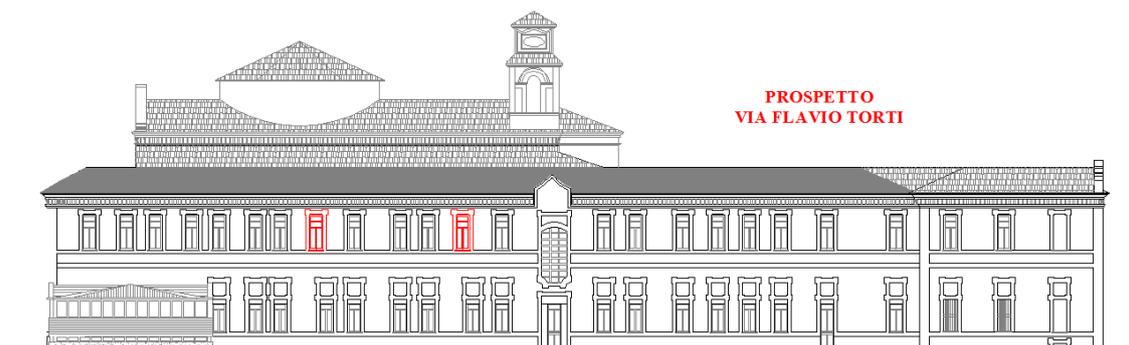


Figura 5.36: Prospetti aggiornati (allegato 8)

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

6. RILIEVO FOTOGRAFICO

6.1 Rilievo fotografico delle volte dell'interrato

Data la struttura delle volte si è scelto di operare un rilievo fotografico mirato all'identificazione delle lesioni: attraverso fotografie con orientamento diverso si è quindi potuto documentare nel dettaglio le strutture e le lesioni presenti. Si è scelto di non operare con il rilievo fotografico zenitale (come fatto per le lesioni ai controsoffitti del piano terra) poiché detto metodo non avrebbe consentito una chiara lettura delle fessure.



Figura 6.1: *Disposizione delle fotografie dei danni strutturali agli orizzontamenti (ALLEGATO 9)*

Il rilievo fotografico è allegato alla presente in formato digitale (Allegato 9) e fornito contestualmente al comune di Castelnuovo Scrvia (AL).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

6.2 Mappatura zenitale ad alta definizione del piano terra e piano primo

Non potendo escludere a priori fenomeni di sfondellamento risulta importante monitorare lo stato delle fessure al fine di prevenire eventuali distacchi di intonaco o di laterizio. Per poter avere un riscontro nel tempo si è provveduto ad una mappatura di dettaglio di tutti gli orizzontamenti (soffitti) del piano terra e primo.

Il rilievo fotografico dell'intradosso delle solette è stato eseguito mediante scatti zenitali, eseguiti posizionando l'apparecchio fotografico sul pavimento del livello sottostante.

Il corpo macchina utilizzato è una Pentax K-5, fotocamera DSLR che incorpora un sensore CMOS ad alta sensibilità con filtro di colore primario, abbinato al processore immagine PRIME II, che produce immagini digitali ad alta risoluzione. La K-5 offre un campo di sensibilità da ISO 100 e 12800; la conversione Analogica/Digitale viene effettuata dal sensore, contenendo il rumore entro livelli bassi.

Le istantanee sono state scattate nel formato RAW con profondità del colore a 14 bit e con una risoluzione di 16.3 Megapixel.

L'obiettivo utilizzato è uno zoom grandangolare per formato APS-C Sigma 10-20 f/3.5 EX DC HSM, composto da una lente di 13 elementi in 10 gruppi, capace di riprendere un angolo di campo compreso tra 109.5° e 70.6°.

Le fotografie sono state scattate con parametri di esposizione variabili a seconda dell'illuminazione dell'ambiente, utilizzando ove possibile la luce naturale; l'uso del flash interno alla macchina fotografica è stato limitato a vani scala e ripostigli, nei quali l'illuminazione naturale era assente.

Sono stati utilizzati diaframmi chiusi (da f/10 a f/13), iso bassi (100-200, raramente è stato necessario aumentarli oltre i 400) e tempi di esposizione conseguenti (breve dove l'illuminazione era adeguata, lunghi, fino a 30", nei locali scarsamente illuminati): il tutto al fine di cogliere tutti i dettagli legati alle lesioni presenti.

Sono stati inoltre adottati tutti gli accorgimenti atti a ridurre il micromosso, quali l'autoscatto e l'alzata preventiva dello specchio reflex.

Le immagini sono state successivamente post-prodotte, al fine uniformare l'esposizione e di esaltare le lesioni riscontrate, attraverso un aumento della nitidezza. Tale operazione ha comportato, in alcune foto, un aumento del rumore digitale, che comunque non inficia la qualità complessiva dell'immagine.

Il formato delle immagine è stato infine convertito in JPEG, con compressione minima, al fine di renderlo compatibile con tutti i comuni visualizzatori. Viene comunque mantenuto in archivio il file RAW per ogni possibile futura evenienza di confronto.

Il quadro fessurativo del piano terra testimonia lesioni riconducibili prevalentemente alla non buona realizzazione dell'orizzontamento del controsoffitto, poco legato alla struttura muraria e privo di un getto di completamento; mentre il quadro fessurativo del piano primo testimonia sia lesioni riconducibili ad una disposizione errata dei carichi del sottotetto sia una modesta fessurazione dei solai in corrispondenza dell'interfaccia travetto-pignatta.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

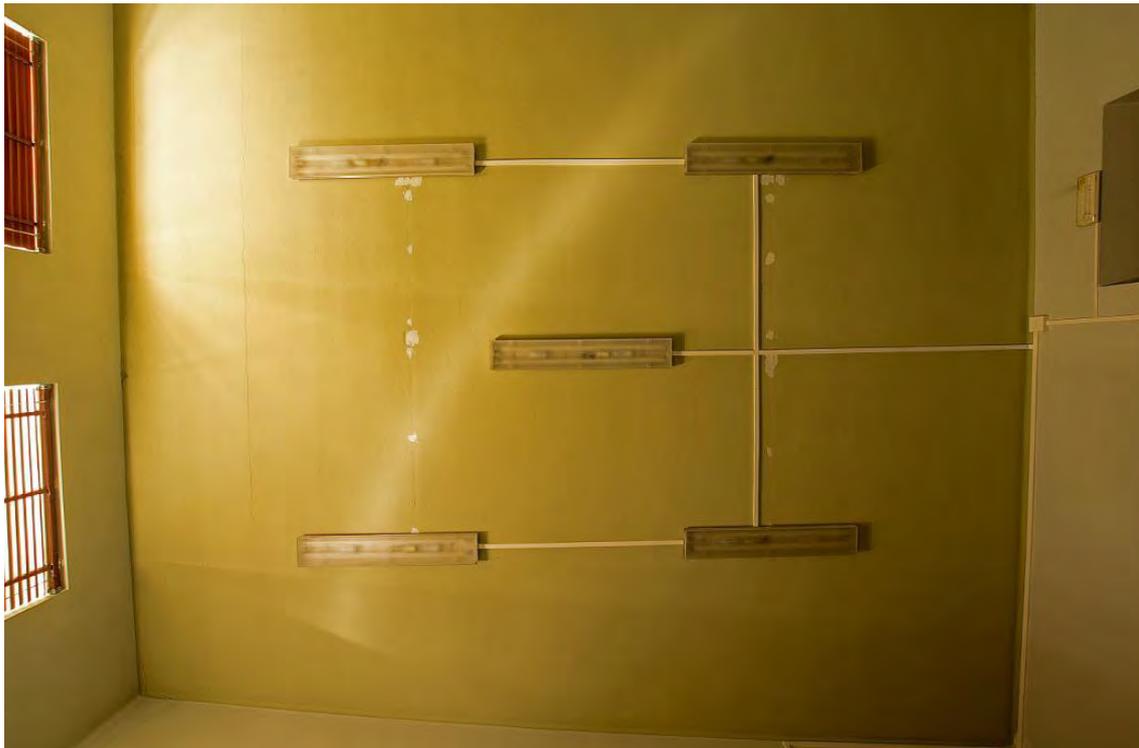


Figura 6.2: Esempio di foto zenitale dell'intradosso delle solette del piano terra

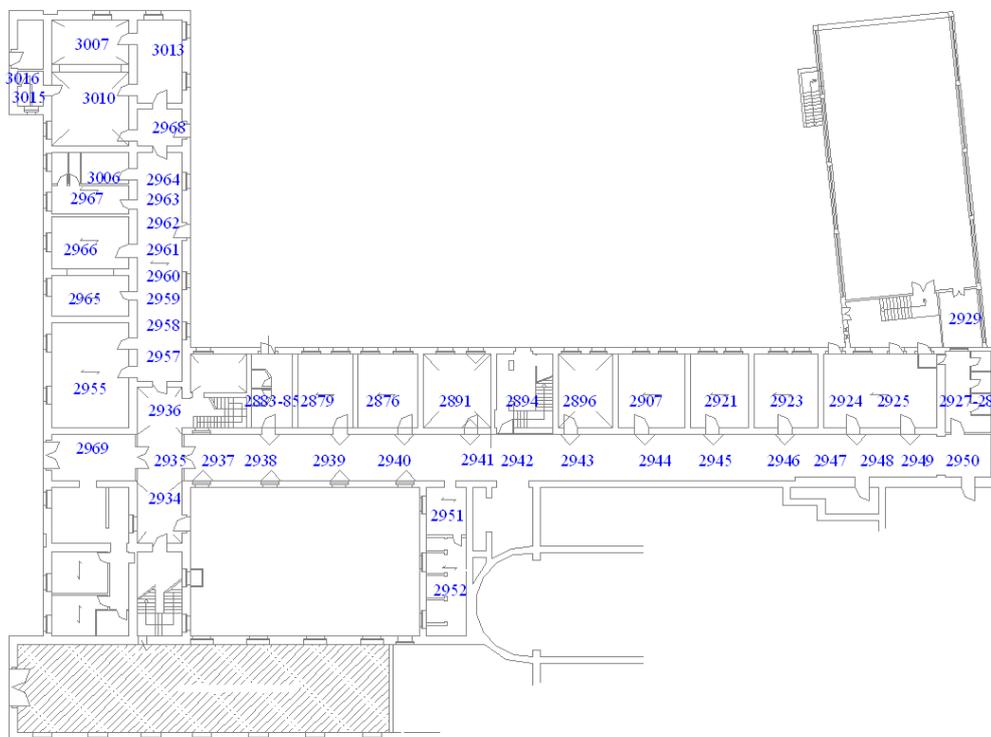


Figura 6.3: Posizionamento delle fotografie digitali zenitali al piano terra

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



Figura 6.4: Esempio di foto zenitale dell'intradosso delle solette del piano primo

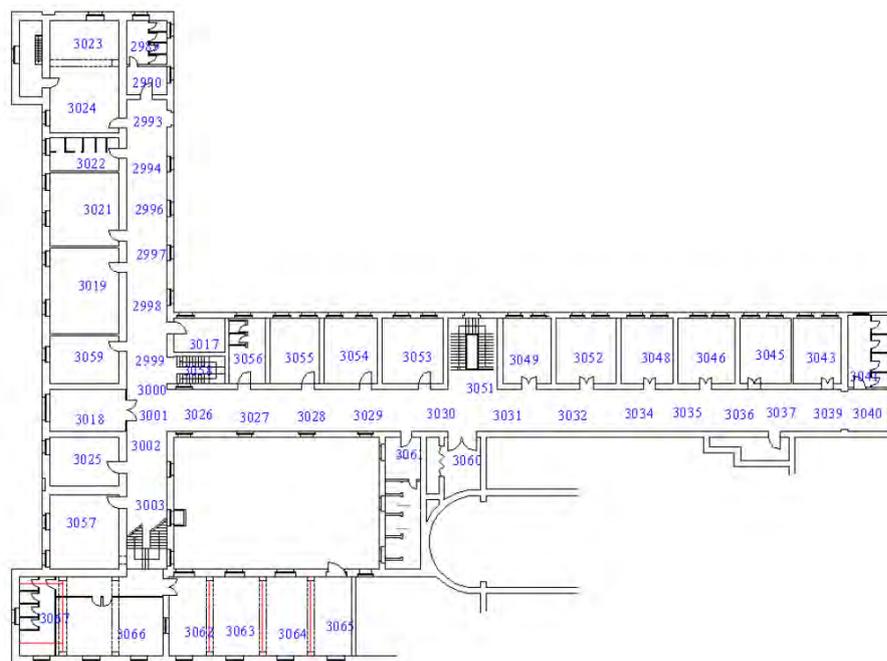


Figura 6.5: Posizionamento delle fotografie digitali zenitali del piano primo

La consultazione delle tavole contenute negli allegati 12 (piano terra) e 13 (primo piano) permetterà, anche a distanza di anni, di evidenziare le lesioni che possono progredire. Le foto sono state realizzate nei giorni 17 e 28 settembre 2016 (piano terra) e 28 settembre 2016 (primo piano).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

7. DIAGNOSTICA SULLA STRUTTURA IN MURATURA PORTANTE

Al fine di raggiungere il più adeguato livello di conoscenza della struttura in esame, si è proceduto alla definizione di un piano d'indagini mirato alla determinazione delle caratteristiche della muratura portante e degli orizzontamenti strutturali.

In particolare si sono previste:

- Endoscopie alle volte strutturali (almeno una per livello)
- Endoscopie ai controsoffitti
- Endoscopie ai muri del piano terra
- Martinetto piatto su un paramento murario del piano terra

7.1 Indagini endoscopiche

Al fine di accertare la stratigrafia e la qualità delle volte e dei muri portanti si è provveduto ad eseguire delle ispezioni tramite endoscopio e misurazioni dirette di spessore (ove possibile).

L'indagine è stata eseguita utilizzando una sonda endoscopica flessibile dotata in punta di un gruppo ottico con sorgente luminosa (e testa snodabile telecomandata), calata in piccole perforazioni eseguite con un trapano nei solai e muri oggetto di indagine.

In particolare, la tecnica utilizzata è la seguente:

- dopo aver individuato il punto di esecuzione del foro (se possibile in zone che permettevano comode condizioni operative per l'operazione di foratura) si è proceduto a verificare mediante pacometro l'assenza di ostruzioni metalliche (ferri, tubi degli impianti...).
- utilizzando un trapano a rotazione a basso numero di giri, si è proceduto all'esecuzione del foro (diametro 20-30 mm) fino a raggiungimento della profondità desiderata (dove possibile si cercava di attraversare tutto lo spessore del solaio/muro).
- si è poi proceduto con l'inserimento della sonda endoscopica facendola avanzare con intervalli di 5 cm cercando di ricostruire visivamente i vari strati attraversati (rilevando gli spessori riconoscibili)
- documentazione video-fotografica della procedura eseguita (annotando, su apposito modulo, uno schema della stratigrafia e l'eventuale presenza di anomalie riscontrate).

7.1.1 Endoscopie e stratigrafie degli orizzontamenti

7.1.1.1 ENDOSCOPIE SUL PAVIMENTO DEL PIANO TERRA (ATTRAVERSO LE VOLTE DELL'INTERRATO)

Il pavimento della scuola "Guerra" poggia sulle volte a copertura dell'interrato: una prima campagna d'indagine ha quindi riguardato tale orizzontamenti.

Si riporta nel seguito un'immagine scattata durante l'esecuzione delle prove.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



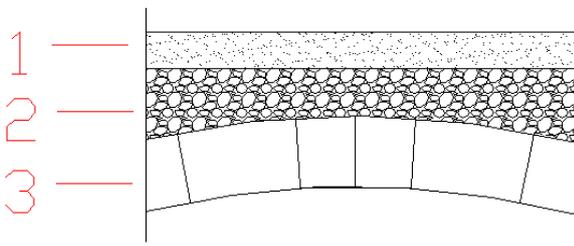
Figura 7.1: Particolare dell'esecuzione di un'endoscopia del solaio (piano terra)



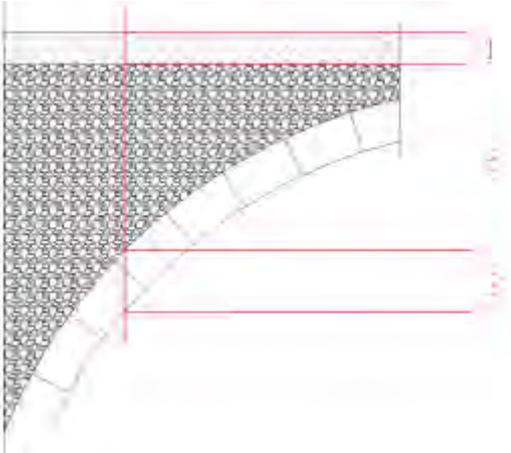
Figura 7.2: Posizione delle endoscopie sul pavimento del piano terra della scuola

Seguono le schede delle endoscopie eseguite.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto Castelnuovo Scrvia (AL) Scuola Materna “Guerra”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>						
<p>Identificazione: Solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E1</p>						
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>						
	 <p>Punto di rilievo: Piano terra – Centro corridoio (Chiave della volta)</p>						
<p>Videoendoscopia: E1 Profondità: 26 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <table data-bbox="191 1523 686 1646"> <tr> <td>1) Sottofondo e Pavimentazione:</td> <td>6 cm</td> </tr> <tr> <td>2) Riempimento:</td> <td>8 cm</td> </tr> <tr> <td>3) Volta in Muratura:</td> <td>12 cm</td> </tr> </table> 		1) Sottofondo e Pavimentazione:	6 cm	2) Riempimento:	8 cm	3) Volta in Muratura:	12 cm
1) Sottofondo e Pavimentazione:	6 cm						
2) Riempimento:	8 cm						
3) Volta in Muratura:	12 cm						

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrivia (AL) – Scuola Materna “Guerra”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: Solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E2</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
	 <p>Punto di rilievo: Piano terra – Corridoio Laterale (Fianco della volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E2 Profondità: 70 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 6 cm 2) Riempimento (Rinfianco): 52 cm 3) Volta in Muratura: 12 cm 	

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

La stratigrafia è stata peraltro confermata dall'analisi visiva condotta in diversi punti in cui è stato possibile eseguire una misura diretta della stratigrafia (a seguito delle crene realizzate per il transito delle tubature o semplicemente nei fori previsti in origine sul manufatto).



Figura 7.3: Misurazioni dirette di spessore

7.1.1.2 ENDOSCOPIE SUL PAVIMENTO DEL PIANO PRIMO

Il soffitto della scuola dell'infanzia "Guerra" è costituito ancora dalle volte strutturali originali del fabbricato che non sono in genere visibili per la presenza dei pesanti controsoffitti in latero-cemento.

Per indagare la struttura di tali orizzontamenti si è acceduto al primo piano (sede della scuola elementare "Bandello") e si è proceduto all'esecuzione delle indagini.

Si riporta nel seguito un'immagine scattata durante l'esecuzione delle prove.



Figura 7.4: Particolare dell'esecuzione di un'endoscopia del solaio (piano primo)

Nella scuola elementare "Bandello" si sono eseguite 8 endoscopie (identificativi: da E7 a E14) di cui 5 nei due corridoi e le restanti 3 all'interno di locali adiacenti (aula/bagni), come illustrato nella figura seguente.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

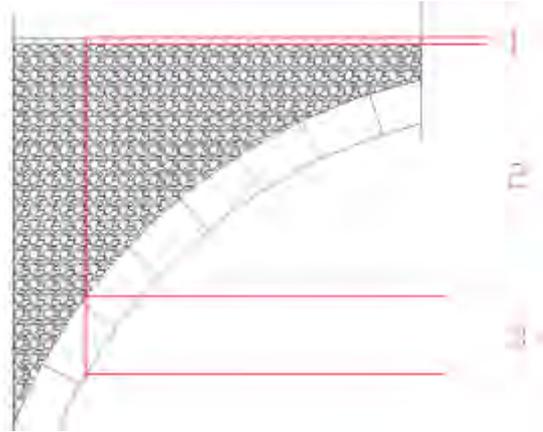


Figura 7.5: Posizione delle Endoscopie sul pavimento del piano primo della scuola

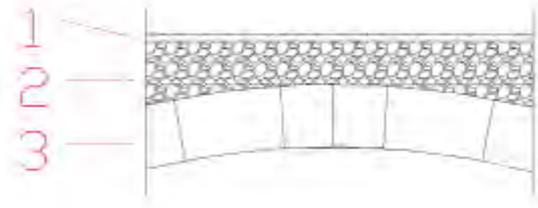
Dalle indagini eseguite si è rilevata la presenza di volte in muratura di spessore circa 12 cm, eccezione fatta per le endoscopie (E7-E8) eseguite nel corridoio centrale (parallelo al cortile interno) dove la volta risulta di spessore circa 24 cm.

I dettagli dei risultati ottenuti sono specificati nelle schede riportate in seguito.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scivia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: Solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E7</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
	 <p>Punto di rilievo: Primo Piano – Corridoio Laterale (Fianco della volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E7</p> <p>Profondità: 82 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 2 cm 2) Riempimento (Rinfianco): 56 cm 3) Volta in Muratura: 24 cm 	

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scivia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrvia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E8</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
	 <p>Punto di rilievo: Primo Piano – Corridoio Centrale (Chiave della volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E8</p> <p>Profondità: 41 cm (passante)</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 2 cm 2) Riempimento: 15 cm 3) Volta in Muratura: 24 cm 	

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrvia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”	Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola
Identificazione: solaio (volta)	N° Sondaggio: E9
Tecnica: perforazione con trapano	Data: 7/11/2015



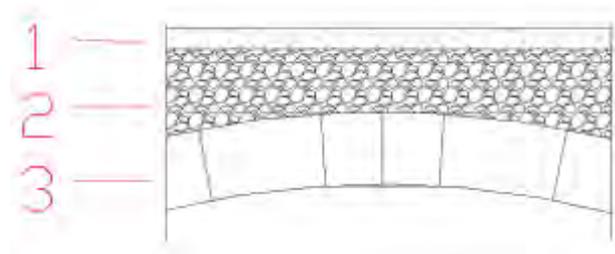
Punto di rilievo: Primo Piano – Aula Centrale (Chiave della volta)

Videoendoscopia: E9

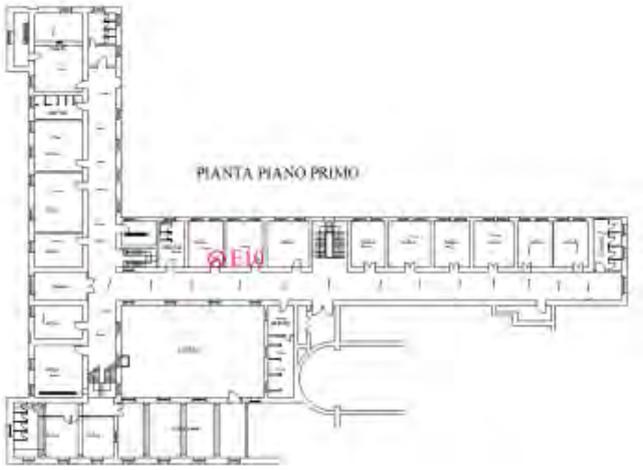
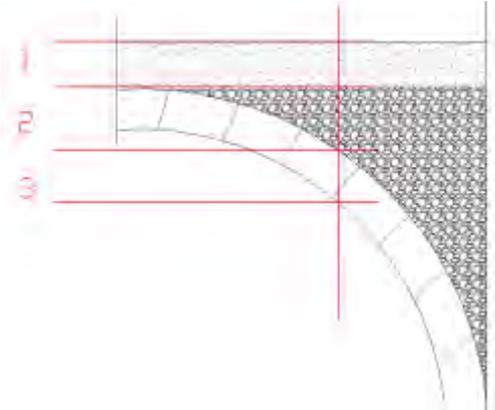
Profondità: 28 cm

Stratigrafia:

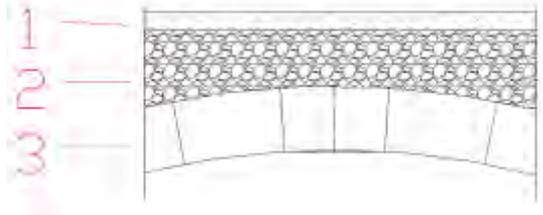
- 1) Sottofondo e Pavimentazione: 4 cm
- 2) Riempimento: 12 cm
- 3) Volta in Muratura: 12 cm



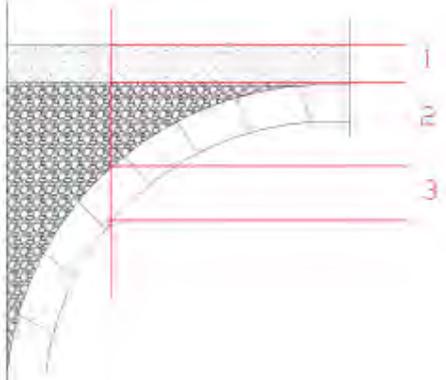
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scivia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E10</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
	 <p>Punto di rilievo: Primo Piano – Aula Laterale (Fianco della volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E10</p> <p>Profondità: 34 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 10 cm 2) Riempimento (Rinfianco): 12 cm 3) Volta in Muratura: 12 cm 	

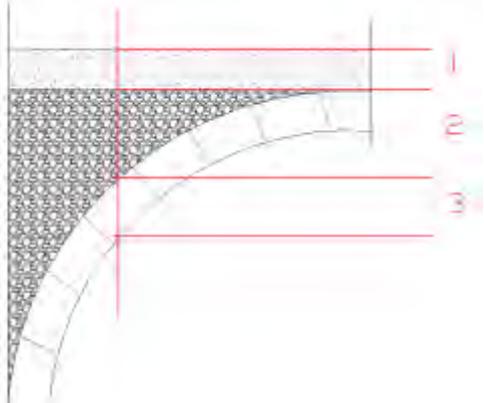
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scivia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scivia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E11</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
	 <p>Punto di rilievo: Primo Piano – Corridoio Centrale (Chiave della volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E11 Profondità: 32 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 8 cm 2) Riempimento: 12 cm 3) Volta in Muratura: 12 cm 	

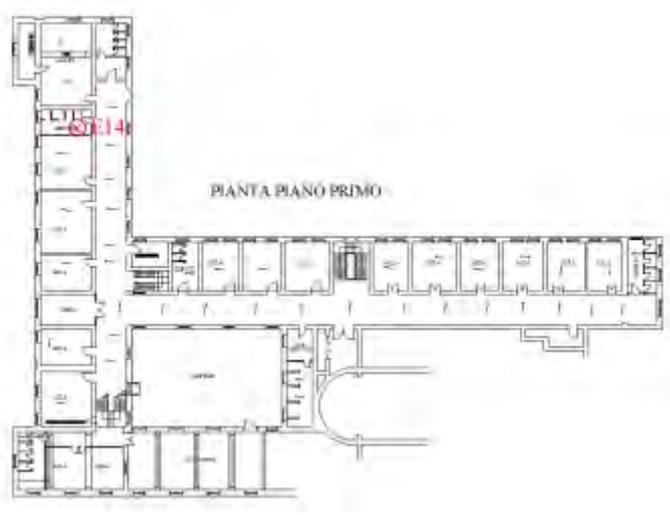
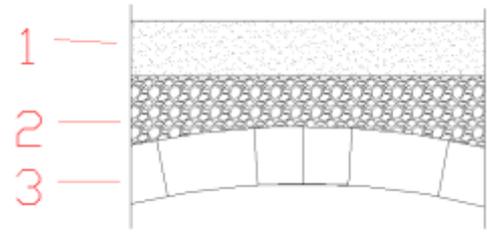
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scivia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrivia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E12</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
	 <p>Punto di rilievo: Primo Piano – Corridoio Laterale (Chiave della volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E12 Profondità: 36 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 8 cm 2) Riempimento (Rinfianco): 16 cm 3) Volta in Muratura: 12 cm 	

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrvia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E13</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
<div style="display: flex; flex-direction: column;">   </div>	<div style="text-align: center;">  <p>PIANTA PIANO PRIMO</p> </div> <p>Punto di rilievo: Primo Piano – Corridoio Laterale (Chiave della volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E12 Profondità: 36 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 8 cm 2) Riempimento 16 cm 3) Volta in Muratura: 12 cm 	

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrvia (AL) , soffitto scuola Materna “Guerra” e pavimento Scuola Elementare “Bandello”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>
<p>Identificazione: solaio (volta)</p>	<p>N° Sondaggio: E14</p>
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>
	 <p>Punto di rilievo: Primo Piano – Bagno al centro del pavimento (chiave di volta)</p>
<p>Videoendoscopia: E14 Profondità: 39 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Sottofondo e Pavimentazione: 15 cm 2) Riempimento: 12 cm 3) Volta in Muratura: 12 cm 	

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 7.7: Punti di indagine sui controsoffitti (piano terra)

Dalla botola posta in prossimità della mensa è possibile accedere all'estradosso del controsoffitto e vedere lo spessore strutturale delle pignatte. Sul controsoffitto è presente materiale di risulta (probabilmente dovuto a lavori impiantistici), che andrebbe rimosso. Si appura inoltre l'assenza del getto di completamento.



Figura 7.8: Solaio visto dalla botola di accesso

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



Figura 7.9: Volte strutturali ancora visibili dalla botola di accesso

Per meglio comprendere la struttura del solaio si è eseguito un saggio in un aula del corpo centrale (in cui erano presenti delle lesioni) al fine di constatare se la tipologia fosse ripetitiva e come fosse stato ammortato il solaio nel muro perimetrale. Il saggio ha comportato una zona di scasso in prossimità del muro.



Figura 7.10: Saggio sul controsoffitto

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 7.11: Estradosso del controsoffitto (vista dal saggio)

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Dai saggi effettuati si è potuta ricostruire la tipologia costruttiva e la stratigrafia del solaio in laterocemento usato come controsoffitto: si è appurato che il solaio è costituito da travetti precompressi tipo RDB con interasse 50 con altezza pignatta minima 12, senza il getto di completamento superiore.

Nell'allegato 10 (fornito in formato digitale) si riporta lo stralcio del catalogo RDB (più recente, ma con la stessa tecnologia).

Nella seguente figura si riporta la stratigrafia del solaio usato come controsoffitto.

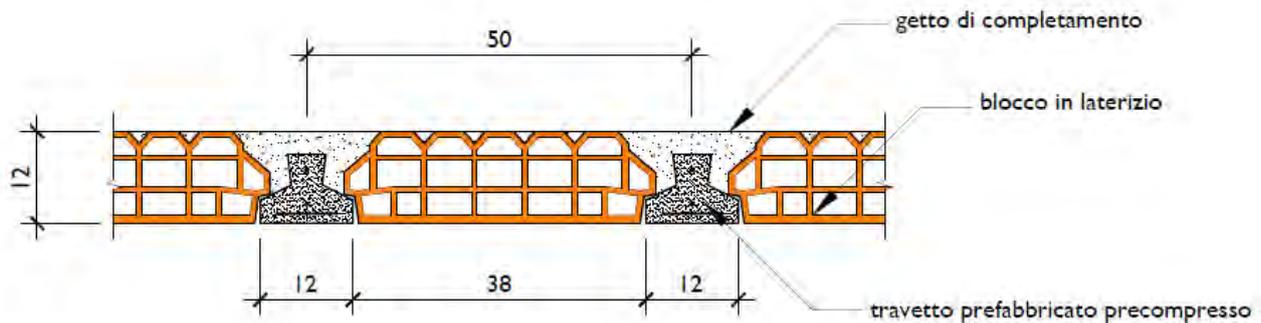


Figura 7.12: Stratigrafia dei controsoffitti

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

7.1.2 Endoscopie e stratigrafie delle strutture verticali

Analogamente a quanto eseguito per gli orizzontamenti, al fine di accertare la stratigrafia e la qualità dei muri portanti si è provveduto ad eseguire delle ispezioni tramite endoscopio e misurazioni dirette di spessore.

L'indagine è stata eseguita su 3 paramenti murari del piano terra, utilizzando la stessa tecnologia impiegata per i solai.

Dalle indagini eseguite si è rilevata la presenza di muri in mattoni pieni di spessore non inferiore 85 cm (con in alcuni casi una piccola camera d'aria interna).

Si riporta nel seguito alcune immagini scattate durante l'esecuzione delle prove e le schede delle endoscopie eseguite.



Figura 7.13: Particolare dell'esecuzione di un endoscopia del muro portante (piano terra)



Figura 7.14: Posizione delle endoscopie sui muri del piano terra della scuola

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrvia (AL) , muro perimetrale scuola Materna “Guerra”	Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola
Identificazione: muro portante	N° Sondaggio: E3
Tecnica: perforazione con trapano	Data: 7/11/2015

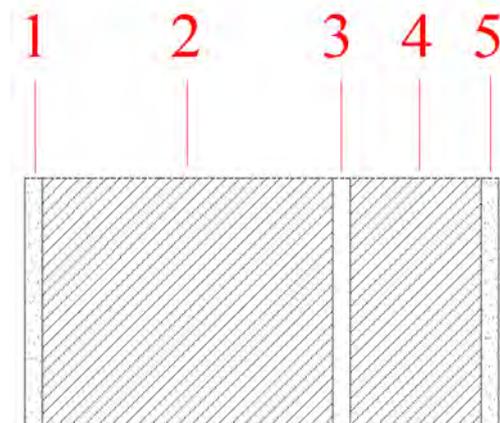


Punto di rilievo: Piano terra – muro esterno (lato via Torti): Altezza foro da terra = 110 cm; distanza foro da lato destro del muro = 45cm.

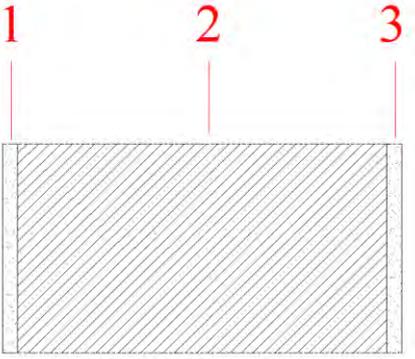
Videoendoscopia: E3
Profondità: 80 cm (passante)

Stratigrafia:

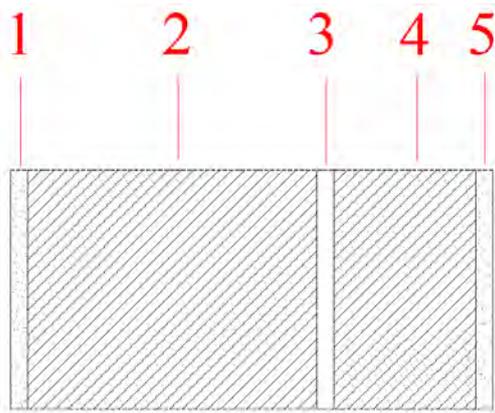
- | | |
|-------------------------------|-------|
| 1) Intonaco interno: | 3 cm |
| 2) Muratura in mattoni pieni: | 49 cm |
| 3) Camera d'aria: | 3 cm |
| 4) Muratura in mattoni pieni: | 22 cm |
| 5) Intonaco esterno: | 3 cm |



Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scrivia (AL) , muro perimetrale scuola Materna “Guerra”		Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola							
Identificazione: muro portante		N° Sondaggio: E4							
Tecnica: perforazione con trapano		Data: 7/11/2015							
 		 <p>Punto di rilievo: Piano terra – muro esterno su cortile interno: Altezza foro da terra = 90 cm; distanza foro da lato sinistro del muro = 187cm.</p>							
<p>Videoendoscopia: E4 Profondità: 80 cm (passante)</p> <p>Stratigrafia:</p> <table border="0"> <tr> <td>1) Intonaco interno:</td> <td>3 cm</td> </tr> <tr> <td>2) Muratura in mattoni pieni:</td> <td>74 cm</td> </tr> <tr> <td>3) Intonaco esterno:</td> <td>3 cm</td> </tr> </table>		1) Intonaco interno:	3 cm	2) Muratura in mattoni pieni:	74 cm	3) Intonaco esterno:	3 cm		
1) Intonaco interno:	3 cm								
2) Muratura in mattoni pieni:	74 cm								
3) Intonaco esterno:	3 cm								

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

<p>Località: Piazza Vittorio Veneto – Castelnuovo Scivia (AL) , muro perimetrale scuola Materna “Guerra”</p>	<p>Tipo Sondaggio: Videoendoscopia Rilevatori: Ing. Galasco e Ing. Mandirola</p>										
<p>Identificazione: muro portante</p>	<p>N° Sondaggio: E5</p>										
<p>Tecnica: perforazione con trapano</p>	<p>Data: 7/11/2015</p>										
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   </div>	<div style="text-align: center;">  </div> <p>Punto di rilievo: Piano terra – muro esterno su ingresso principale: Altezza foro da terra = 80 cm; distanza foro da portone principale = 90 cm.</p>										
<p>Videoendoscopia: E5 Profondità: 80 cm (non passante) Spessore misurato dall'esterno: 85 cm</p> <p>Stratigrafia:</p> <table style="width: 100%;"> <tr> <td>1) Intonaco interno:</td> <td style="text-align: right;">3 cm</td> </tr> <tr> <td>2) Muratura in mattoni pieni:</td> <td style="text-align: right;">51 cm</td> </tr> <tr> <td>3) Camera d'aria:</td> <td style="text-align: right;">3 cm</td> </tr> <tr> <td>4) Muratura in mattoni pieni:</td> <td style="text-align: right;">25 cm</td> </tr> <tr> <td>5) Intonaco esterno:</td> <td style="text-align: right;">3 cm</td> </tr> </table>	1) Intonaco interno:	3 cm	2) Muratura in mattoni pieni:	51 cm	3) Camera d'aria:	3 cm	4) Muratura in mattoni pieni:	25 cm	5) Intonaco esterno:	3 cm	<div style="text-align: center;">  </div>
1) Intonaco interno:	3 cm										
2) Muratura in mattoni pieni:	51 cm										
3) Camera d'aria:	3 cm										
4) Muratura in mattoni pieni:	25 cm										
5) Intonaco esterno:	3 cm										

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scivia	Data:	31.03.2017

7.2 Martinetto piatto su paramento murario del piano terra

La caratterizzazione meccanica delle murature è un presupposto fondamentale per la valutazione della sicurezza di una struttura esistente. La prova diretta più utilizzata, disponibile da quasi trent'anni, è chiamata "prova con martinetti piatti". Essa consente la definizione in situ delle caratteristiche medie della muratura in esame e, riferendosi a campioni di maggiori dimensioni geometriche, appare più affidabile, anche se più complessa di altre prove puntuali di tipo penetrometrico.

In occasione del restauro del Palazzo della Ragione di Milano (1979) l'ingegner P.P. Rossi dell'ISMES ha proposto e messo a punto una tecnica di prova diretta, in situ, di tipo poco distruttivo, basata sull'impiego di speciali martinetti piatti, che consente la caratterizzazione meccanica di una porzione rappresentativa di muratura e che specializzava al caso delle murature un metodo già in parte utilizzato nel campo della meccanica delle rocce. La tecnica, ormai diffusa in tutto il mondo e normata da ASTM e da RILEM, è stata ampiamente sviluppata e migliorata tanto da essere divenuta estremamente affidabile e, in alcuni casi, addirittura insostituibile.

Tra le varie prove in situ oggi disponibili, quella con i martinetti piatti è particolarmente interessante perché consente di fornire informazioni attendibili sulle principali caratteristiche meccaniche di una struttura in termini di deformabilità, stato di sforzo e resistenza. La prova si può definire "quasi non distruttiva" e si articola in due fasi distinte:

- a) FASE 1: misura dello stato di sollecitazione;
- b) FASE 2: determinazione delle caratteristiche di deformabilità.

L'indagine con il martinetto piatto singolo consiste nell'eseguire un taglio in un elemento strutturale per poi applicare sulle superfici del taglio una pressione nota che porti al ripristino delle condizioni iniziali del corpo. L'esecuzione di un taglio piano in direzione normale alla superficie di un elemento provoca una richiusura dei lembi della fessura; introducendo un martinetto piano all'interno della fessura (ossia introducendo una tasca metallica molto sottile nella quale si può iniettare olio a pressione nota) è possibile riportare i lembi della fenditura nelle condizioni iniziali. Dalla forza esercitata del martinetto per ripristinare la situazione iniziale è possibile individuare lo stato tensionale originariamente presente nella muratura (in situ stress).

La metodologia prevede anzitutto l'esecuzione del taglio e la misura della convergenza della fessura, la cui entità viene rilevata attraverso misure di spostamento relativo fra due o più punti situati in posizione simmetrica rispetto allo stesso taglio tramite un trasduttore di spostamento. Inserito il martinetto piatto all'interno del taglio, esso viene portato gradualmente in pressione fino ad annullare la convergenza in precedenza misurata. In queste condizioni la pressione all'interno del martinetto sarà pari alla sollecitazione preesistente nella muratura, a meno di costanti che tengono conto del rapporto tra l'area del martinetto e quella del taglio praticato e di un coefficiente di rigidità del martinetto.

La tensione in situ vale pertanto:

$$\sigma = P K_t K_m$$

Dove: P = Pressione del martinetto per la quale si recupera lo stato di sollecitazione antecedente il taglio; σ = Valore di sforzo calcolato; K_m = Costante adimensionale data dal rapporto tra area del martinetto ed area del taglio (<1); K_t = costante adimensionale che dipende dalla geometria e dalla rigidità del martinetto. Viene usualmente riportata sul certificato di taratura del martinetto stesso (<1).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

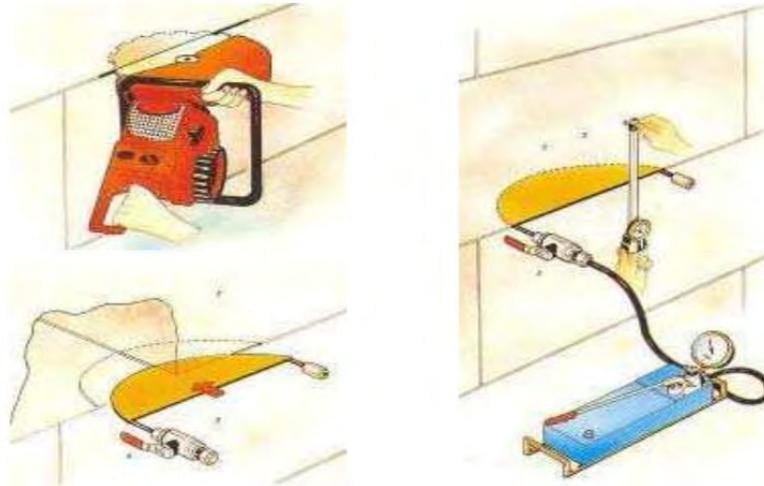


Figura 7.15: Apparecchiatura per la prova di martinetto semplice

L'indagine con doppio martinetto piatto si basa sul fatto di eseguire due tagli paralleli nella muratura a debita distanza, indicativamente da 40 a 80 cm, a seconda della muratura, all'interno dei quali posizionare due martinetti piatti. Mandando contemporaneamente in pressione i due martinetti si provoca uno stato di tensione monoassiale sulla porzione di muratura compresa fra i due martinetti, riproducendo quindi una prova in condizioni simili a quelli di un test uniassiale convenzionale.

Lo scopo principale della prova è quello di individuare il modulo elastico della muratura e il coefficiente di Poisson. Il valore della pressione effettivamente applicata alla muratura viene definito mediante la seguente formula:

$$\sigma = P K_m (A_m/A_t)$$

dove: P = Pressione erogata ai martinetti; K_m = Valore medio dei 2 coefficienti di taratura dei martinetti; A_m = Area del martinetto; A_t = Valore medio delle 2 aree di taglio.

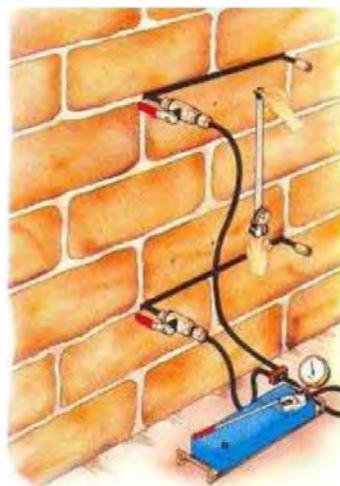


Figura 7.16: Apparecchiatura per la prova di martinetto doppio

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Dal rapporto tra la tensione applicata e la deformazione misurata si ricava il valore del modulo elastico della muratura. In Italia non esiste normativa in merito all' utilizzo dei martinetti. Si fa riferimento alle norme americane ASTM C 1196 (1991) ed ASTM C 1197 (1991) e alle norme Rilem, per la corretta esecuzione della prova.

7.2.1 Rilievo dello stato di sollecitazione (martinetto singolo)

Le prove con martinetto singolo sono state eseguite, come anticipato, facendo riferimento alle seguenti normative :

- ASTM C 1196-91 – In situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat jack measurements;
- RILEM Lum 90/2 Lum.D.2. – In situ stress based on the flat jack.

La prova è stata eseguita su un pannello murario al piano privo di intonaco (verso il cortile interno); su di esso è individuata una zona in cui eseguire un taglio mediante una sega a catena. A cavallo di tale zona sono preventivamente posizionate 4 basi deformometriche (verticali) in modo da poter misurare con un potenziometro digitale con lettura al millesimo di mm (di tipo rimovibile a base 200 mm), le deformazioni della muratura prima e dopo il taglio.



Figura 7.17: Indicazione in pianta del muro oggetto di prova

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 7.18: Porzione di muro oggetto di prova con martinetto piatto

Dopo il taglio il carico agente sulla muratura fa sì che la porzione superiore tenda ad avvicinarsi alla parte inferiore di una quantità che può essere misurata attraverso le basi. Viene eseguita una prima lettura di “0” a muratura integra, in seguito viene effettuato il taglio e quindi la misura della deformazione indotta dallo stesso; infine viene inserito nel taglio un martinetto piatto di dimensioni 20x40x0.5 cm (con coefficiente di taratura adimensionale K_m 0.86).



Figura 7.19: Immagine dell'esecuzione del taglio

Mediante una pompa a mano collegata al martinetto e dotata di manometro di precisione, si applica un carico alla muratura a incrementi di 0.5 bar eseguendo dopo ogni fase di carico una lettura delle basi di deformazione. Il tutto fino ad ottenere il completo annullamento della deformazione indotta dal taglio nelle basi installate.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 7.20: Fase di applicazione del carico alla muratura

Analizzando i dati ottenuti e mediando i risultati delle diverse basi si ottiene quello che è il carico di esercizio della muratura. Si riporta nel seguito i risultati ottenuti.

Come mostrato nel seguito, lo sforzo medio (corrispondente all'annullamento delle deformazioni indotte dal taglio) di esercizio della muratura è pari a **1.11 daN/cm²**.

PROVA CON MARTINETTO PIATTO (SINGOLO PANNELLO P1)						
Cantiere : Scuola Baxilio Castelnuovo Scrvia (AL)		Esecutori : Stagno/Costantino		Data : 15/01/2016	Pagina : 1	
FASE DI PROVA	CARICO (Kg/cm2)	Basi deformometriche				
		1	2	3	4	5
prima del taglio	0	0,161	0,006	0,104	-0,041	\
dopo taglio con martinetto	0	0,087	-0,210	-0,077	-0,287	\
in carico	0,43	0,104	-0,135	-0,045	-0,193	\
in carico	0,86	0,136	-0,060	0,071	-0,091	\
in carico	1,29	0,178	0,041	0,140	-0,011	\

Tabella 7.1: Misure di deformazioni durante la prova

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

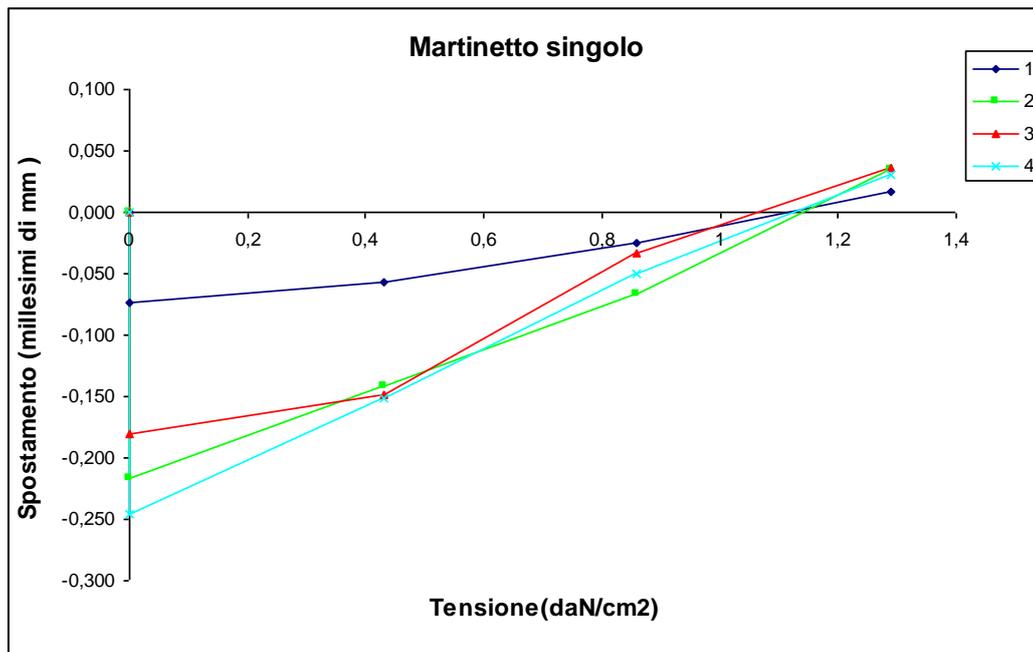


Figura 7.21: Spostamenti e tensioni misurate durante i vari step di prova

Base 1	1,11
Base 2	1,14
Base 3	1,06
Base 4	1,13
Media	1,11
Dev. St.	0,04
Coeff. di variazione %	3,21

Tabella 7.2: Sforzo di esercizio della muratura (in daN/cm^2) ottenuto come media delle letture delle varie basi di misura

7.2.2 Analisi del comportamento tenso-deformativo (martinetto doppio)

La prova con i 2 martinetti piatti è stata eseguita facendo riferimento a :

- ASTM C1197-91 - Standard test method for in situ measurement of masonry deformability properties using flatjack method;
- RILEM Lum 90/2 LumD3 - In situ strength and elasticity tests based on the flatjack.

La prova viene eseguita (successivamente a quella con martinetto singolo) eseguendo un taglio parallelo al primo sul medesimo pannello murario ad una distanza di circa 50 cm in modo che una porzione omogenea di muratura risulti compresa tra i due tagli.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017



Figura 7.22: Realizzazione del secondo taglio sullo stesso pannello murario.

Anche nel secondo taglio viene inserito un martinetto ed entrambi vengono collegati alla medesima pompa a mano dotata di manometro di precisione.

Sulla porzione muraria compresa tra i 2 martinetti sono state quindi poste in opera delle nuove basi di misura (n°3 in posizione verticale e n° 2 in posizione orizzontale) in modo da verificare le deformazioni indotte nella muratura sia in direzione orizzontale che verticale.

Il carico è applicato ad incrementi di 1 bar, i cicli applicati sono stati 2 con un carico massimo di ogni ciclo via via crescente.

Con i dati acquisiti si ricavano dei grafici tensioni-deformazioni in cui vengono inserite le deformazioni ottenute mediando i risultati delle basi; dall'analisi di tali grafici si ricavano il valore del modulo elastico E e il coefficiente di Poisson della muratura. I risultati ottenuti sono riportati nelle figure seguenti.



Figura 7.23: Fase di applicazione del carico a entrambi i martinetti

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

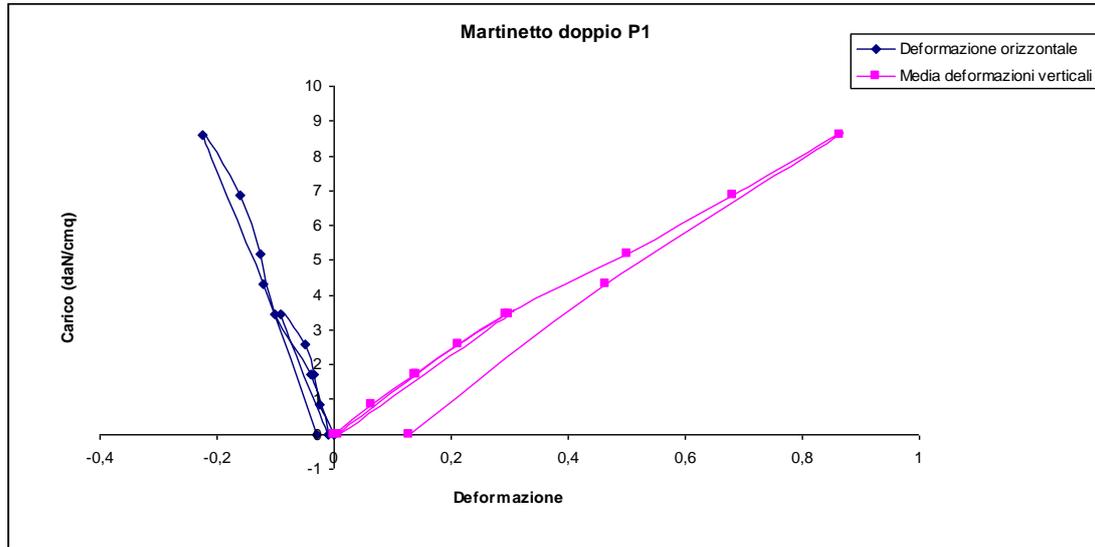


Figura 7.24: Grafico tensione-deformazione a seguito della prova

	MPa
E1	1243
E2	1193
E medio	1218,2

Poisson 1	0,254
Poisson 2	0,233
Poisson medio	0,244

Tabella 7.3: Valori medi del modulo elastico e del coefficiente di Poisson della muratura in esame.

La muratura esaminata, secondo la tabella C8A.2.1 della normativa vigente, risulta classificata come “*muratura in mattoni pieni e malta di calce*”.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

8. DIAGNOSTICA DELLA PALESTRA IN CALCESTRUZZO ARMATO

La palestra della scuola elementare è stata realizzata con struttura in calcestruzzo armato tra il 1969 ed il 1970, su progetto dell'Ing. Barbieri.

L'edificio, di dimensioni indicative 12.40 x 29.80 m, è costituito dal corpo principale con copertura a falde di paraboloidi iperbolico, di altezza interna massima 8.00 m, e da un corpo di raccordo con la struttura in muratura.



Figura 8.1: prospetto della palestra che affaccia sul cortile interno della scuola



Figura 8.2: vista esterna della palestra; si rileva la copertura a falde di paraboloidi iperbolico

La struttura in calcestruzzo armato della palestra è stata realizzata in aderenza con la struttura in muratura della scuola materna, senza lasciare alcun giunto tra i due fabbricati. Inoltre, come rilevabile nel progetto originale, in due punti le travi di copertura del corridoio di raccordo appoggiano sulla muratura perimetrale della scuola materna, sulla quale sono stati praticati appositi scassi.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Il piano delle indagini previsto per la palestra ha tenuto conto di due fasi di valutazione: la prima relativa alle indagini sui solai e la seconda relativa alla valutazione di vulnerabilità complessiva delle strutture. Data la limitata estensione del fabbricato, le indagini sono comunque state eseguite in unica tornata.

In considerazione del budget a disposizione, le verifiche sono state condotte eseguendo limitate verifiche in situ sia per l'individuazione delle proprietà dei materiali che per il rilievo dei dettagli costruttivi.

Con riferimento al § C8A.1.B.3 della Circolare 617/2009, tale estensione di indagini consente, essendo stati rinvenuti gli elaborati progettuali, di pervenire ad un Livello di Conoscenza Adeguata (LC2).

8.1 Rilievo geometrico e dei dettagli strutturali

Negli archivi comunali è stata reperita la seguente documentazione:

- tavole architettoniche complete
- tavole strutturali di fondazioni, pilastri, travi e solette a firma dell'Ing. Barbieri.

Gli elaborati strutturali (datati 1969 e 1970) non comprendono la copertura a paraboloide iperbolico, per la quale si rimanda alle tavole fornite dalla ditta RDB; tali elaborati non sono purtroppo stati reperiti nella documentazione presente in archivio.

8.1.1 Rilievo geometrico

Dalla documentazione a disposizione, si sono individuate utili informazioni sulle dimensioni dei principali elementi strutturali (in particolar modo sui pilastri che, in alcuni casi, sono stati parzialmente rivestiti da muratura, come evidenziato nella seguente figura).

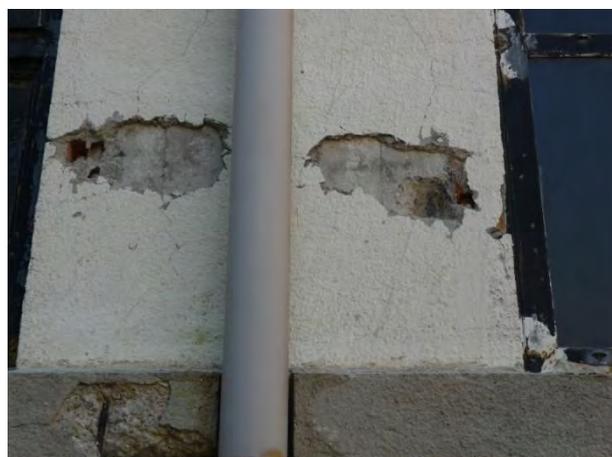


Figura 8.3: pilastro perimetrale della palestra, parzialmente rivestito in muratura

Il primo passo è stato quindi verificare la corrispondenza tra la geometria indicata sugli elaborati grafici e le reali dimensioni in sito, trovando un buon accordo.

Per quanto concerne le solette di copertura, si è ricercata documentazione della tipologia adottata nelle pubblicazioni d'epoca del prefabbricatore RDB, trovando utili riferimenti nei bollettini tecnici Erredibi editi negli anni '50 e '60 e nei successivi manuali, nei quali venivano riassunte le principali informazioni tecniche contenute nei bollettini. Nelle seguenti figure si riporta la documentazione tecnica reperita per il calcolo delle coperture a paraboloide iperbolico RDB.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

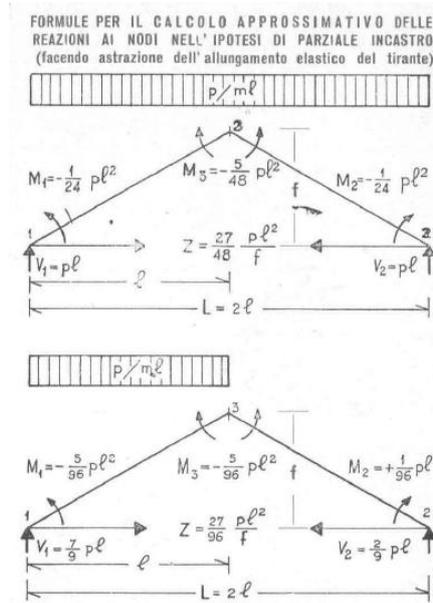


Figura 8.4: proporzionamento dei tetti a capriata, tratto dal Bollettino Erredibi n.39 del 1956.

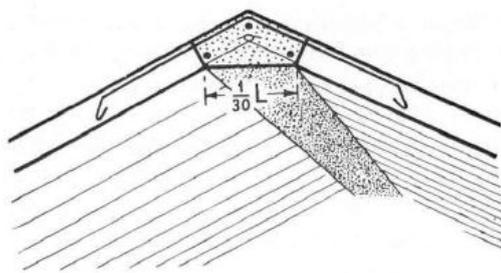


Fig. 3 - COLLEGAMENTO IRRIGIDENTE AL COLMO DELLE CAPRIATE

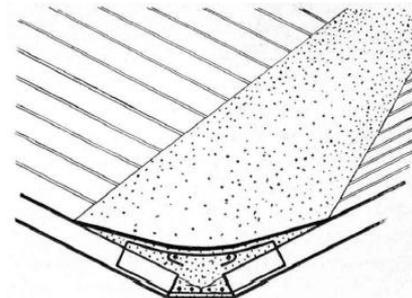


Fig. 6 - TIPO D'ARCHITRAVE LUNGO LE LINEE DI COMPLUVIO

Figura 8.5: intersezioni nelle strutture di copertura a falde piane, tratto dal Bollettino Erredibi n.40 del 1956.

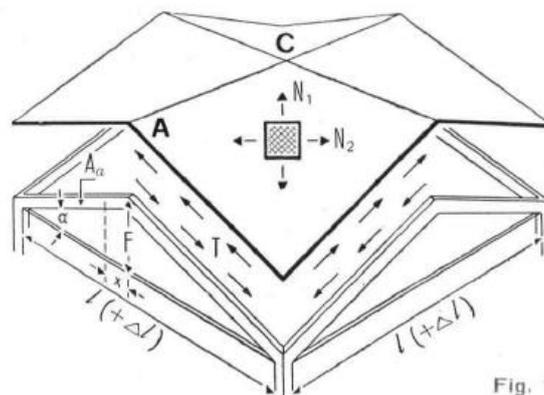


Fig. 1

Figura 8.6: copertura a quattro falde di paraboloido iperbolico, tratto dal Bollettino Erredibi n.69 del 1961.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

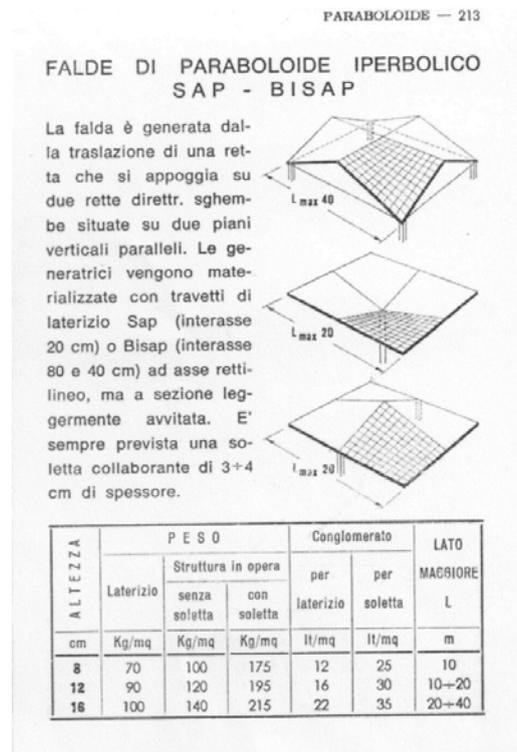


Figura 8.7: schema del solaio utilizzato (tipo SAP), tratto dal Manualetto RDB del 1973.

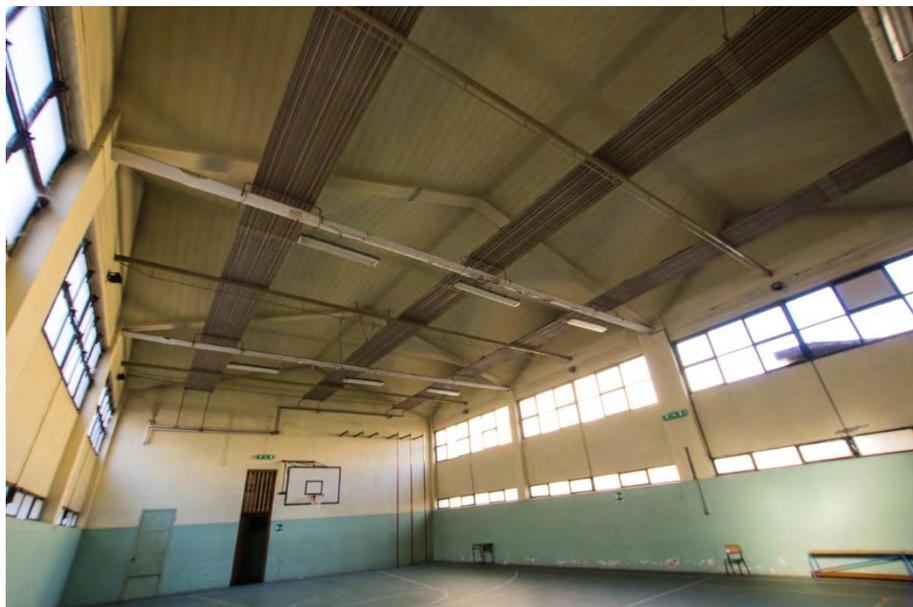


Figura 8.8: foto interna della palestra: si può rilevare la tipologia di copertura a falde di paraboloide iperbolico (nella foto è stato aumentato il contrasto per consentire una migliore lettura dell'orditura della copertura).

La documentazione RDB a disposizione ha consentito di effettuare un progetto simulato per le parti di copertura di cui non è stato possibile reperire gli elaborati grafici, determinando così le armature degli elementi in calcestruzzo armato e la dimensione ed il precarico delle catene di contrasto delle capriate trasversali.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

8.1.2 Dettagli strutturali e armature

Terminato il controllo della geometria, si è passati al rilievo dei dettagli costruttivi, in particolar modo della disposizione delle armature.

Come parametro di riferimento per definire il numero di elementi indagati, si è considerato quanto indicato nella Tabella C8A.1.3a della Circolare 617/2009, che prevede di verificare la quantità e la disposizione delle armature per almeno il 15% degli elementi primari (travi e pilastri).

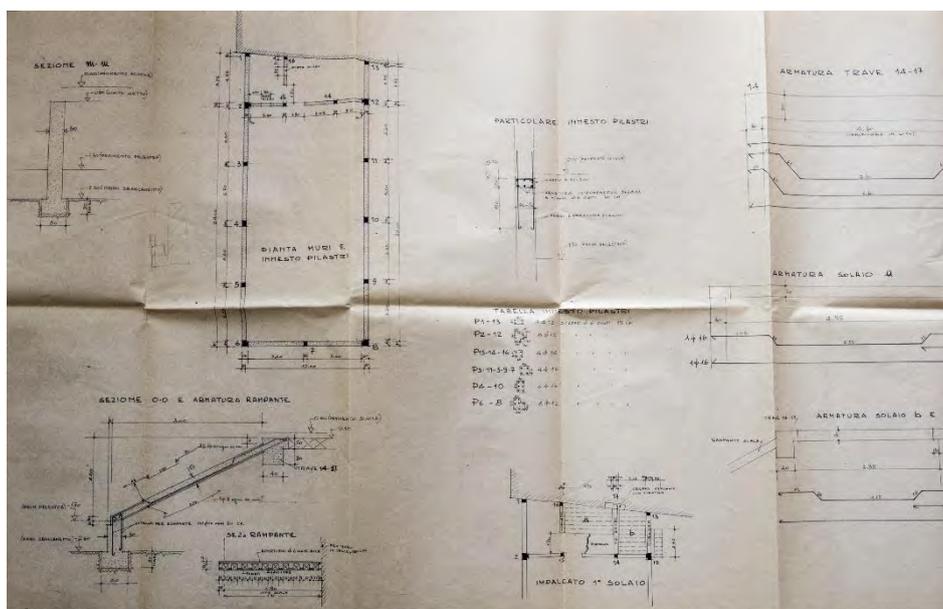


Figura 8.9: tavola strutturale del progetto originale (armatura pilastri, scala, travi e soletta ingresso)

Le tavole di carpenteria del progetto originario hanno fornito una prima indicazione importante: le fondazioni ed i muri in elevazione controterra, da cui poi nascono i pilastri, sono in calcestruzzo non armato. Tale soluzione non è affatto inusuale considerando il periodo di costruzione.

I pilastri sono collegati al muro non armato tramite un cordolo, come evidenziato nella seguente figura. Tale evidenza comporta la presenza alla base del pilastro di una condizione di vincolo a cerniera, in luogo dell'incastro presumibilmente adottato dal progettista dell'epoca (anche gli schemi statici presenti nelle pubblicazioni RDB prevedono principalmente l'incastro alla base delle colonne).

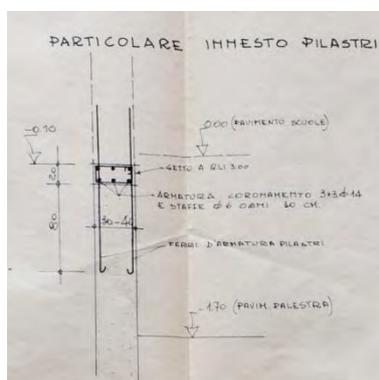


Figura 8.10: particolare innesto pilastri sul muro in elevazione controterra.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Disponendo delle tavole di orditura dei pilastri, l'operazione di verifica è campione è stata eseguita agevolmente attraverso scrostamenti e pacometrie.

Per quanto concerne le travi, si è effettuata un'operazione di verifica delle armature sia per gli elementi di cui si conoscevano le armature dagli elaborati progettuali, sia per le travi di copertura, di cui si sono valutate le armature tramite progetto simulato. Per entrambe le tipologie, è stato possibile eseguire il controllo dei soli ferri al lembo inferiore.

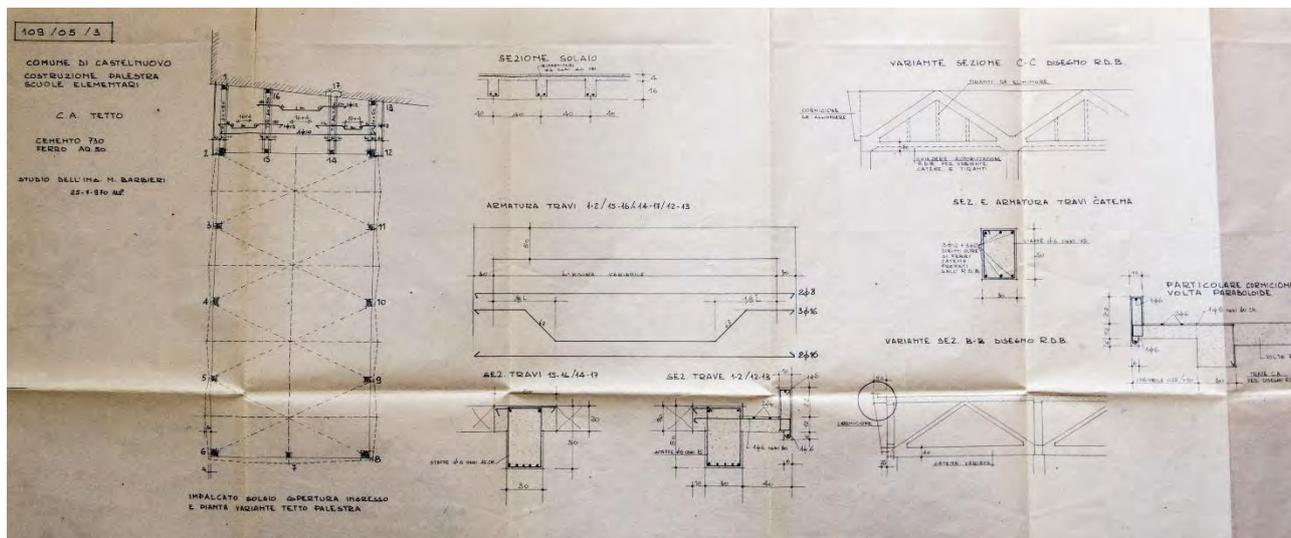


Figura 8.11: tavola strutturale del progetto originale (armatura copertura ingresso e armatura travi-catena longitudinali).

8.1.2.1 SCROSTAMENTI

Gli scrostamenti sono stati localizzati nelle zone di maggior interesse per le armature (maggior sollecitazione e zone di armatura tipica), per rilevare con accuratezza (grazie all'ausilio di un calibro) il diametro delle barre impiegate.

I rilievi hanno fornito un buon accordo sia per le armature indicate in progetto che per quelle stimate tramite il progetto simulato. Nelle seguenti figure si riportano alcuni esempi degli scrostamenti eseguiti.



Figura 8.12: scrostamento per il rilievo dell'armatura di una trave centrale della copertura e della soletta.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Figura 8.13: scrostamento per il rilievo dell'armatura di una trave di bordo.

8.1.2.2 PACOMETRIE

Nelle zone in cui l'armatura è più ripetitiva, si è utilizzato il pacometro, che è risultato particolarmente efficace nella misurazione dei passi di staffatura.

Per le indagini pacometriche è stato utilizzato il rilevatore di armature Profoscope+ della ditta svizzera Proceq.

L'esemplare utilizzato è il PS02-003-0623, in possesso del certificato di calibrazione 390 00 270 rilasciato dall'ispettore Bogdan Nistor della ditta P.A.S.I. s.r.l. in data 22 luglio 2016.

Il pacometro Profoscope utilizza l'induzione ad impulsi elettromagnetici per rilevare le armature. Le bobine della sonda sono periodicamente caricate di impulsi di corrente generando così un campo magnetico.

Sulla superficie di tutti i materiali conduttori posti all'interno di un campo magnetico si producono correnti parassite. Esse inducono un campo magnetico nella direzione opposta. La differenza di tensione può essere sfruttata per la misurazione.

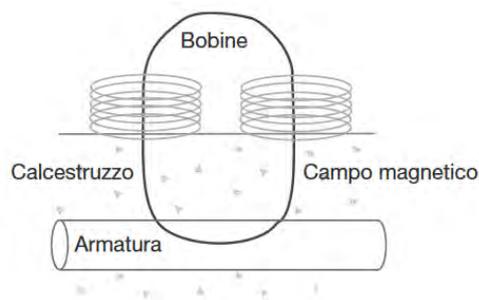


Figura 8.14: Schema di funzionamento del pacometro Profoscope+

Profoscope usa diverse configurazioni di bobine per generare vari campi magnetici. L'elaborazione avanzata del segnale consente di:

1. localizzare l'armatura
2. localizzare il punto medio tra le armature
3. determinare la copertura (copriferro)
4. stimare il diametro dell'armatura.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Questo metodo non subisce influenze da alcun materiale non conduttore come calcestruzzo, legno, plastica, mattoni, etc.... Invece qualsiasi materiale conduttore presente nel campo magnetico (in un raggio di circa 400 mm / 16") può influenzare la misurazione.

Il principio a induzione di impulsi utilizzato dal Profoscope ha un *range* di funzionamento predefinito.

Il range di misurazione dipende dalle dimensioni dell'armatura. L'accuratezza attesa dalla misurazione del copriferro è indicata nel grafico sottostante (a norma BS1881 parte 204, per un'armatura singola con spaziatura sufficiente).

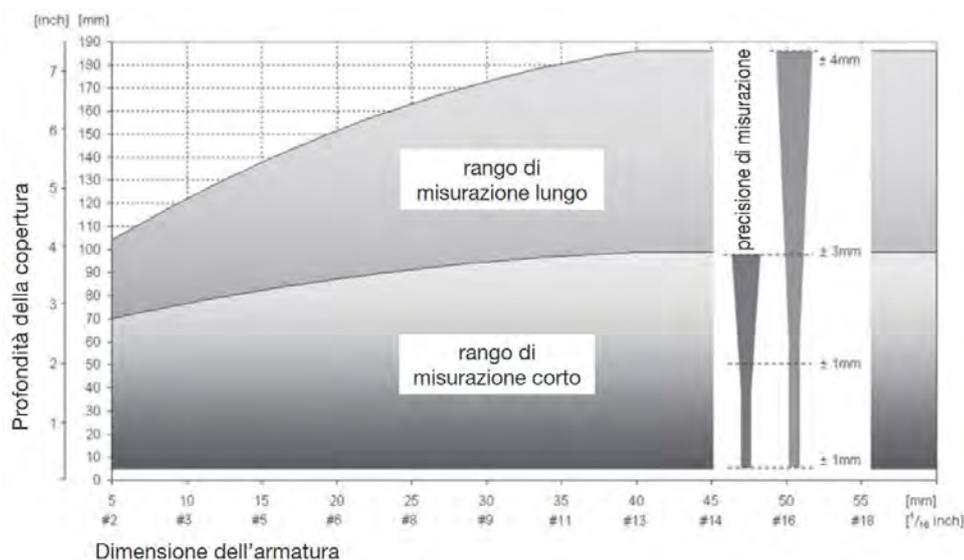


Figura 8.15: Range (rango) di misurazione del pacometro Profoscope+ al variare del diametro delle armature e della profondità della copertura (copriferro).

Diversi fattori possono influenzare la precisione della misurazione.

Innanzitutto, qualsiasi armatura all'interno del raggio di azione dello strumento può influenzare la lettura. In particolare, le armature vicine all'armatura da misurare provocano una sottovalutazione del valore del copriferro o una sopravvalutazione del diametro dell'armatura.

A seconda della profondità del copriferro, esiste un limite alla spaziatura minima delle armature al di sotto del quale è impossibile distinguere armature singole.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

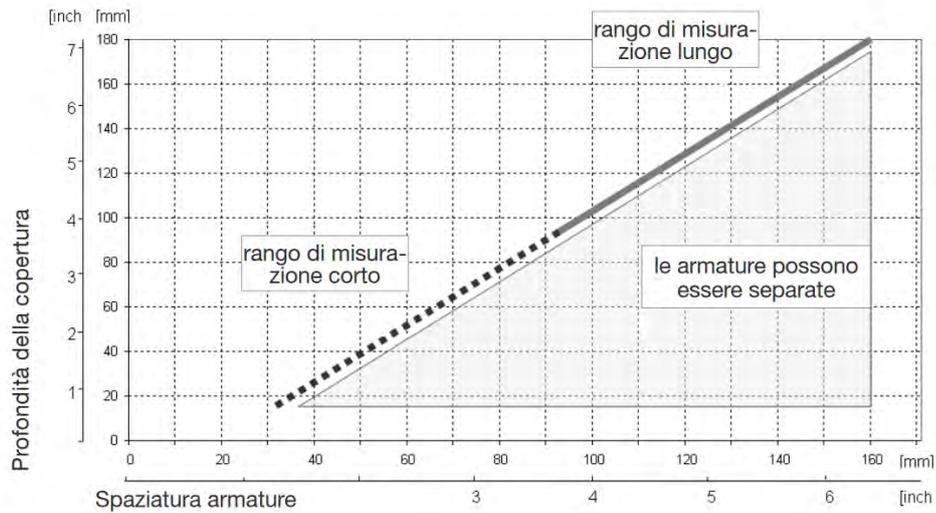


Figura 8.16: Risoluzione di misurazione delle armature del pacometro Profoscope+.

L'accuratezza della misurazione del copriferro dipende da vari fattori, tra cui la corretta impostazione del diametro dell'armatura.

Nella determinazione del diametro dell'armatura, intervengono due fattori: lo spessore del copriferro e la distanza tra le armature vicine.

E' possibile determinare con buona accuratezza il diametro delle armature se il copriferro che non supera l'80% del range minimo e se le barre di armatura hanno distanza non inferiore a 150 [mm].



Figura 8.17: il pacometro Profoscope + utilizzato nelle indagini

Nelle seguenti figure si riportano alcuni rilievi della disposizione delle armature eseguiti con il pacometro, alcuni dei quali finalizzati all'esecuzione dei carotaggi e delle prove Sonreb. Per il dettaglio delle armature, si rimanda alla successiva relazione di vulnerabilità.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



Figura 8.18: rilievo pacometrico dell'armatura (staffatura) di una trave di bordo



Figura 8.19: rilievo pacometrico dell'armatura di una trave di bordo, finalizzato ad individuare zone libere da armature per l'esecuzione di carotaggio

8.1.2.3 RIEPILOGO ARMATURE

Di seguito si riassumono le modalità (documentazione reperita, indagini condotte) attraverso le quali si è pervenuti alla definizione delle armature presenti nella struttura e le principali risultanze emerse:

- Travi di fondazione: non armate (da elaborati progettuali)
- Muri in elevazione controterra: non armati (da elaborati progettuali)
- Cordolo innesto pilastri: armatura da elaborati progettuali
- Pilastri: armature da elaborati progettuali (verifica con scostamenti e pacometrie a campione)
- Travi copertura ingresso: armature da elaborati progettuali (verifica con pacometrie a campione)
- Travi di bordo longitudinali: armature da elaborati progettuali (verifica con scrostamenti e pacometrie a campione all'intradosso); catene interne per copertura spingente da progetto simulato
- Travi della copertura a falde di paraboloide iperbolico: armatura da progetto simulato (verifica con scrostamenti e pacometrie a campione all'intradosso)
- Travetti della copertura a falde di paraboloide iperbolico: armatura da progetto simulato (verifica con scrostamenti a campione all'intradosso)
- Catene copertura spingente e relativa tesatura: da progetto simulato.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Le armature longitudinali di travi e pilastri presenti nella struttura sono riassunte nelle seguenti figure. Per le armature a taglio è stata effettuata una conversione tra le aree dei ferri piegati e le equivalenti staffe.

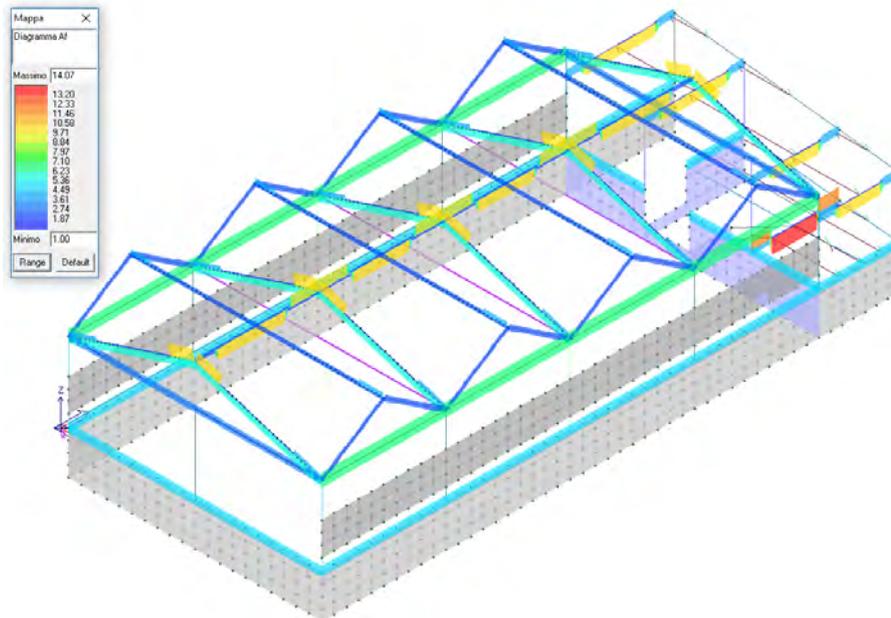


Figura 8.20: armatura longitudinale in [cm²] delle travi della struttura; al di sopra dell'asse dell'elemento viene indicata l'armatura al lembo superiore, al di sotto dell'asse l'armatura al lembo inferiore

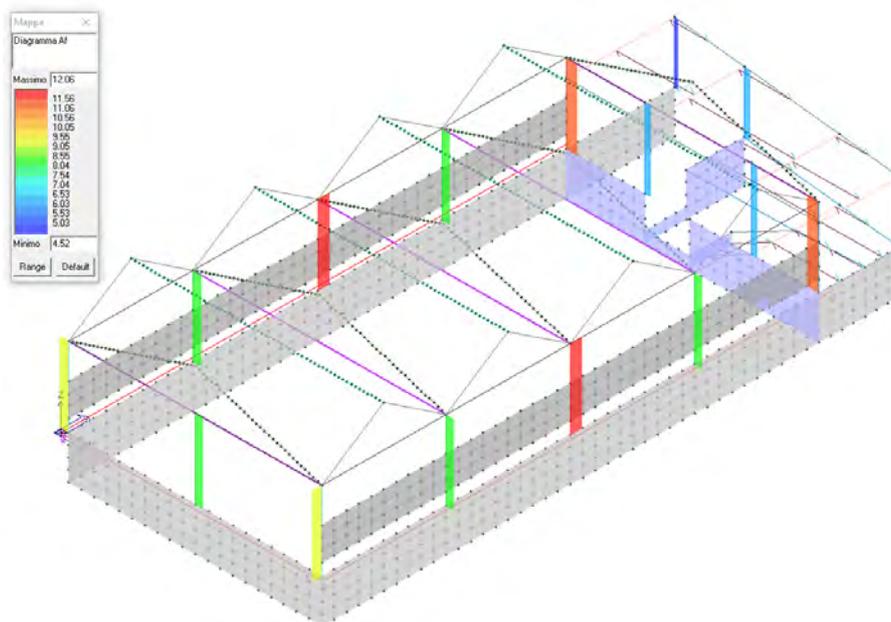


Figura 8.21: armatura longitudinale in [cm²] dei pilastri

Per quanto concerne le catene metalliche, si assume l'utilizzo di due tondi ϕ 28 per ogni portale, precaricati di circa 9000 [daN].

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

8.2 Indagini per la caratterizzazione dei materiali

Le specifiche sui materiali presenti sugli elaborati strutturali del progetto originario indicano:

- Calcestruzzo con cemento tipo 730
- Acciaio AQ50.

Per il calcestruzzo non è indicato il dosaggio; ipotizzando un valore minimo di 200 daN/m³ ed un rapporto acqua/cemento corretto, è presumibile una resistenza di progetto paragonabile a quella dell'attuale C20/25.

Per verificare le reali caratteristiche dei materiali, è stato predisposto un piano di indagine.

La definizione del piano di indagine si è basata, per il calcestruzzo, sulle indicazioni fornite dalla Tabella C8A.1.3a della Circolare 617/2009, che prevede il prelievo di 1 provino di calcestruzzo per ogni 300 m² di piano dell'edificio.

Sono state inoltre eseguite prove Sonreb, che hanno consentito di estendere i risultati ottenuti tramite il carotaggio anche a zone di struttura non sottoposte a prove distruttive; per conseguire tale scopo, sono state effettuate prove di taratura delle Sonreb sia in laboratorio sulle carote estratte che in situ sugli stessi elementi strutturali oggetti di carotaggio.

Per quanto riguarda il prelievo delle barre di acciaio si è derogato dalle indicazioni della Tabella C8A.1.3a della Circolare 617/2009, a causa della difficoltà di estrazione delle barre senza compromettere la resistenza delle travi.

Occorre sottolineare che le linee guida di alcune Regioni sconsigliano di effettuare prelievi di armature, proprio per non compromettere la resistenza degli elementi strutturali da cui vengono estratte. Conoscendo la tipologia di acciaio dalle specifiche di progetto, è possibile ricavare le proprietà meccaniche delle varie tipologie di acciaio tramite documenti di letteratura: in particolare si è fatto riferimento alla pubblicazione "LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEGLI ACCIAI IMPIEGATI NELLE STRUTTURE IN C.A. REALIZZATE DAL 1950 AL 1980"[20] di Verderame *et al.*

Occorre precisare che l'acciaio utilizzato per le strutture in opera è costituito da barre lisce (AQ 50), con l'eccezione delle travi principali della copertura, nelle quali è stata rilevata armatura ad aderenza migliorata (assunto di tipo A38, ossia quello di minori caratteristiche meccaniche tra gli acciai ad aderenza migliorata presenti in commercio ai tempi).

8.2.1 Planimetrie dei piani d'indagine

Nella seguente figura è riportata la planimetria della palestra in studio con indicate le prove distruttive (carotaggio) e non distruttive (SonReb) effettuate.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

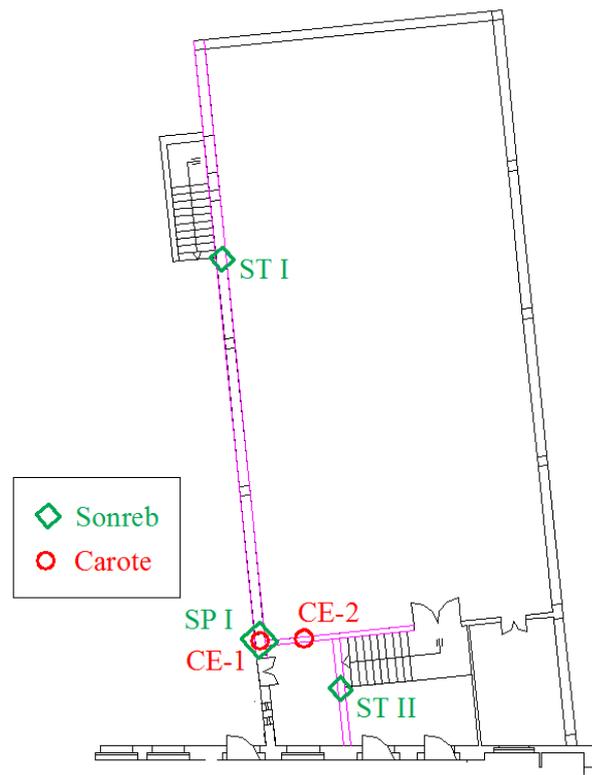


Figura 8.22: Planimetria indagini eseguite sulla palestra

8.2.2 Determinazione della resistenza del calcestruzzo

Le caratteristiche meccaniche dei materiali appartenenti a strutture esistenti si possono ricavare da misurazioni dirette o indirette.

Le prime consistono nella misura diretta della grandezza interessata, mentre le seconde utilizzano misurazioni di altre caratteristiche del materiale (es.: la velocità di propagazione di onde) che mediante algoritmi di correlazione consentono di risalire ai valori desiderati.

Nel caso del calcestruzzo la caratteristica meccanica da ricercare è la resistenza a compressione, la quale può essere ottenuta attraverso:

- prove distruttive dirette su carote;
- prove SonReb (soniche e sclerometriche) non distruttive;
- altre prove (es.: pull-out).

8.2.3 Prove distruttive su carote

Il prelievo di carote ed il successivo schiacciamento è il metodo più diretto più affidabile per stimare le proprietà meccaniche del calcestruzzo di strutture esistenti. Le vigenti normative tecniche (§ C8.7.2.1 della Circolare LLPP 617/2009) indicano per il calcestruzzo: *“la misura delle caratteristiche meccaniche si ottiene mediante estrazione di campioni ed esecuzione di prove di compressione fino a rottura”*.

Infatti la scarsa affidabilità dei metodi non distruttivi utilizzati singolarmente per giungere ad una definizione diretta della resistenza del conglomerato determina la necessità di effettuare sempre prove di tipo

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

distruttivo, i cui risultati possono essere utilizzati da soli o per calibrare i risultati ottenuti con i suddetti metodi indiretti non distruttivi.

Il carotaggio consiste nel prelievo di campioni cilindrici detti carote mediante carotatrici a corona diamantata.

Le specifiche per l'esecuzione del carotaggio sono contenute nella norma UNI EN 12504-1:2009. Nell'esecuzione dei carotaggi vanno seguite alcune regole, tra le quali:

- il diametro delle carote deve essere almeno superiore a tre volte il diametro massimo degli aggregati cercando di prelevare, ove possibile, carote di diametro non inferiore a 100 mm;
- le carote non dovrebbero contenere ferri d'armatura, e vanno comunque scartati i provini contenenti barre d'armatura inclinate o parallele all'asse della carota;
- il rapporto lunghezza/diametro dei provini deve essere possibilmente uguale a 2, o comunque compreso fra 1 e 2;
- si deve impedire l'essiccazione e realizzare prove su provini con umidità originale;
- si deve tenere in conto la posizione del carotaggio rispetto all'elemento, effettuando il prelievo nei pilastri possibilmente a metà altezza.

Anche osservando queste regole, comunque, i valori ottenuti differiranno da quelli reali per diversi fattori.

Il primo fattore, e forse il più difficile da valutarsi, è legato al *disturbo del provino* cioè al danneggiamento arrecato in fase di prelievo del campione che provoca inevitabilmente un deterioramento del materiale.

Per questo un fattore importante è dato dalla velocità di rotazione della carotatrice, che deve essere limitata a non più di 600 giri/min; inoltre è importanti assicurarsi che la macchina carotatrice sia ben fissata ed agisca perpendicolarmente alla superficie dell'elemento oggetto di prelievo.

Il disturbo da estrazione produce una riduzione della resistenza reale, dovuta alla sezione utile minore di quella geometrica.

Un secondo fattore è dovuto alla *forma del provino*, ed in particolare al diametro in valore assoluto ed in relazione alla lunghezza (snellezza).

Un ulteriore fattore, non sempre tenuto debitamente in conto, è l'*umidità del provino* al momento del prelievo. Il provino secco manifesta una resistenza inferiore al provino conservato nelle stesse condizioni di umidità all'atto dell'estrazione.

Esistono infine formule correttive che permettono di stimare la resistenza in sito anche di carote contenenti barre di armatura (campioni che in generale sarebbero da non ritenere validi).

Per convertire le resistenze ottenute dalle prove di compressione sulle carote alle corrispondenti resistenze in situ, sono presenti in letteratura svariate correlazioni, che differiscono tra loro per i coefficienti correttivi che considerano i fattori sopra descritti. Le principali sono di seguito elencate.

8.2.3.1 METODO A.C.I. (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE) 214.4-R03.

Calibrata su calcestruzzi di caratteristiche medie e carote di diametro pari a 100 mm, è una delle espressioni più complete disponibili in letteratura per la trasformazione della resistenza di carota in resistenza in opera:

$$f_c = f_{core} \cdot F_{l/d} \cdot F_{dia} \cdot F_{mc} \cdot F_d$$

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

dove:

- f_{core} : è la resistenza scaturita dalla prova di compressione del campione, espressa in MPa;

- $F_{l/d}$: correzione per forma e umidità del provino, pari a ($\alpha = 4.3 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2/\text{N}$):

$1 - (0.130 - \alpha \cdot f_{core}) \cdot (2 - l/d)^2$ per umidità del provino come prelevato;

$1 - (0.117 - \alpha \cdot f_{core}) \cdot (2 - l/d)^2$ per provino immerso per 48 h in acqua;

$1 - (0.144 - \alpha \cdot f_{core}) \cdot (2 - l/d)^2$ per provino conservato in aria secca;

- F_{dia} : correzione per diametro della carota, pari a:

1.06 per diametro pari a 50 mm;

1.00 per diametro pari a 100 mm;

0.98 per diametro pari a 150 mm;

- F_{mc} : correzione per umidità, pari a:

1.00 per umidità pari alla condizione di prelievo;

1.09 per provino immersa 48 h in acqua;

0.98 per provino conservato in aria secca;

- F_d : correzione per disturbo del provino dovuto al prelievo, pari a 1.06.

8.2.3.2 METODO PROF. MASI (2005).

Calibrata su provini di diametro pari a 100 mm, permette di tenere in conto la presenza di barre di armatura nel provino e dell'influenza della resistenza del calcestruzzo nel valutare il disturbo dovuto al prelievo del provino:

$$f_c = f_{core} \cdot F_{l/d} \cdot F_{dia} \cdot F_a \cdot F_d$$

dove:

- f_{core} : è la resistenza scaturita dalla prova di compressione del campione;

- $F_{l/d}$: correzione per snellezza del provino, pari a $2 / (1.5 + D/l)$;

- F_{dia} : correzione per diametro della carota, pari a:

1.06 per diametro pari a 50 mm;

1.00 per diametro pari a 100 mm;

0.98 per diametro pari a 150 mm;

- F_a : correzione per armature incluse, variabile tra:

1.03 per barre di piccolo diametro (ϕ 10);

1.13 per barre di diametro elevato (ϕ 20);

- F_d : correzione per disturbo del provino dovuto al prelievo, pari a:

1.20 per $f_{core} < 20$ MPa;

1.10 per $f_{core} > 20$ MPa.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

8.2.3.3 NTC 2008 – METODO EN 13791 – LINEE GUIDA C.S.LL.PP.

Le NTC 2008 non propongono un'espressione per la correzione dei dati sperimentali.

Nel trattare il controllo della resistenza del calcestruzzo in opera, sono ritenuti accettabili valori medi di resistenza fino all'85% della resistenza definita in fase di progetto: pertanto si può interpretare tale percentuale come un coefficiente di disturbo.

Per quanto riguarda la correzione per la snellezza del provino, il passaggio da resistenza cubica ($l/D = 1$) a cilindrica ($l/D = 2$) è effettuato moltiplicando per 0.83, da cui si può ricavare un'espressione linearmente variabile per snellezza compresa tra 1 e 2.

Pertanto:

$$f_c = f_{core} \cdot F_{l/d} \cdot F_d$$

dove:

- f_{core} : è la resistenza scaturita dalla prova di compressione del campione;
- $F_{l/d}$: correzione per snellezza del provino, pari a: $0.83 + (1 - 0.83) (l/D - 1)$
- F_d : correzione per il disturbo, pari a $1 / 0.85$.

8.2.4 Risultanze carotaggi eseguiti

L'operazione di carotaggio ha previsto il prelievo di n° 2 provini cilindrici denominate carote, mediante una carotatrice a pulsore elettrico dotato di corona diamantata.

La macchina di prova, è una carotatrice ad acqua a sola rotazione, con sistema di fissaggio del fusto della macchina direttamente e perpendicolarmente all'elemento strutturale, in modo da ridurre lo stress del prelievo al minimo e limitare il più possibile le vibrazioni innescate, con l'obiettivo di ottenere una carota con diametro costante ad asse rettilineo.

Il prelievo di carote da strutture in opera è regolato dalla norma UNI EN 12504-1:2002.

In particolare sono state adottate tutte le cautele e gli accorgimenti per adempiere a quanto prescritto dalla norma suddetta in modo tale da:

- ridurre al minimo il danneggiamento e la perturbazione sul campione
- scegliere un diametro del provino estratto adeguato;
- indicare la direzione del prelievo.

In fase preliminare alla prova è stata rilevata la disposizione delle barre d'armatura sia longitudinali sia trasversali mediante pacometro, al fine di non incorrere nel taglio di porzioni di armature durante le operazioni di carotaggio.

In sintesi le modalità esecutive dell'attività eseguita in sito sono le seguenti:

- identificazione dell'elemento da sottoporre a carotaggio, in accordo con gli scriventi tecnici
- individuazione della zona dell'elemento sulla quale effettuare il prelievo, sulla base delle indicazioni dedotte dall'indagini pacometriche
- esecuzione delle perforazioni in senso stretto con tutte le cautele sopra esposte
- estrazione con cautela della carota e classificazione della stessa mediante chiara segnatura sulla superficie del codice identificativo e della direzione di perforazione.
- ispezione visiva del provino in modo da verificare eventuali anomalie.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Su ciascuna carota estratta si è proceduto, previa asciugatura, alla verifica della profondità di carbonatazione mediante nebulizzazione sulla superficie del provino estratto con una soluzione di fenoltaleina.

Si tratta di un'analisi chimica (colorimetrica) la cui procedura operativa è indicata dalla norma UNI 9944:1992; nel caso in esame al fine di evitare un elevato numero di carotaggi negli elementi strutturali in opera, l'indagine è stata applicata direttamente sulla carota da sottoporre in seguito alla prova di rottura a compressione: per tale motivo non è stato eseguito sulla stessa il taglio longitudinale previsto dalla norma.

Il provino è comunque stato trattato come di seguito descritto :

- preparazione della sostanza reagente come soluzione di fenoltaleina all'1% in alcool etilico
- la superficie laterale della carota viene liberata dalle polveri e spruzzata con la soluzione reagente
- la fenoltaleina vira al rosso vivo al contatto con materiale con pH maggiore a 9.2, mentre rimane incolore per pH minori (zona carbonatata)
- le carote analizzate sono risultate avere una profondità di carbonatazione di circa 1 cm, da ritenersi normale valutata l'età delle strutture.

Prima della prova a compressione, la carota è stata sottoposta a rettifica i cui risultati sono riportati nella scheda tecnica.

La prova di rottura a compressione monoassiale viene eseguita dopo aver preparato le estremità della carota (facce) che, per le prove a compressione mediante rettificatori come da norma, deve seguire le prescrizioni della norma UNI EN 12390-3:2003 "Appendice A". Pertanto i provini sono stati segati e molati per rendere idonee le superfici destinate a sopportare l'azione del carico.

Prima di procedere alla prova di rottura occorre registrare le caratteristiche del provino: pertanto è stata compilata un'apposita scheda da integrare successivamente con i risultati della prova in senso stretto.

A questo punto la carota prelevata in sito, schedata e preparata è pronta per essere sottoposta alla prova di rottura a compressione.

Le operazioni di prova sono state effettuate secondo le prescrizioni della norma UNI EN 12390-3:2003 "Prova sul calcestruzzo indurito-Resistenza alla compressione dei provini"

Le modalità di prova, possono essere così sintetizzate:

- posizionamento del provino sulla macchina di prova, perfettamente centrato rispetto all'asse di carico
- esecuzione della prova con velocità di carico comprese tra 0,2 - 1 N/mm²/s
- incremento del carico in modo continuo e costante (tolleranza velocità $\pm 10\%$) fino a quando non viene più sopportato un ulteriore aumento (carico di rottura)
- riepilogo e trascrizione sulla Scheda dei risultati (caratteristiche del provino, carico di rottura resistenza a compressione della carota (rapporto tra carico di rottura e sezione trasversale della carota), tipologia di rottura sulla base di quanto indicato nell'immagine sotto rappresentata)
- documentazione fotografica prima, durante e al termine della prova.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017



Figura 8.23: possibili tipologie di rottura delle carote

Di seguito si riportano le tabelle di schedatura delle carote, i valori di rottura a compressione e la stima della resistenza media secondo i metodi descritti nel precedente paragrafo.

Le schede tecniche dettagliate delle carote ed i relativi certificati di prova sono riportati nell'Allegato 11.

Lotto	Data Estrazione	Sigla	Piano	Elemento	Φ [mm]	h [mm]	h/d	Peso Spec. [daN/m ³]
Palestra	29.06.2016	CE-1	Terra	Pilastro [41]	94.2	92.8	0.99	2232
Palestra	29.06.2016	CE-2	Copertura	Trave [41-52]	94.1	94.1	1.00	2280

Tabella 8.1: Schedatura delle carote prelevate e testate

Lotto	Sigla	Piano	Res. Rott. [MPa]	Met. ACI [MPa]	Met. NTC08 [MPa]	Met. Masi [MPa]	Res. Media f_c [MPa]
Palestra	CE-1	Terra	27.3	24.70	26.66	23.92	25.09
Palestra	CE-2	Copertura	14.2	12.81	13.87	13.63	13.44

Tabella 8.2: Valori di rottura a compressione e stima della resistenza media cilindrica

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

8.2.5 Prove non distruttive

I metodi di prova non distruttivi più diffusi per la stima delle proprietà meccaniche del calcestruzzo sono il metodo sclerometrico, il metodo ultrasonico ed il metodo combinato Sonreb. Tali metodi sono supportati da una vasta e consolidata letteratura ed hanno trovato in molti paesi un riconoscimento ed inquadramento normativo.

8.2.5.1 PROVE SCLEROMETRICHE

Le prove sclerometriche sono regolamentate dalla norma UNI EN 12504-2:2001 e sono esplicitamente richiamate anche in alcune Istruzioni di norme relative agli interventi su edifici danneggiati dal sisma.

Il metodo sclerometrico è molto diffuso nella pratica professionale, anche se è affetto da una scarsa affidabilità nella determinazione della resistenza.

Lo sclerometro è costituito da una massa battente d'acciaio, azionata da una molla, che contrasta un'asta di percussione a contatto della superficie di prova. Il metodo consiste nel misurare l'altezza di rimbalzo della massa, dopo che questa è stata proiettata, con una data energia, contro la superficie da saggiare; mediante delle curve, in dotazione allo strumento (o diversamente ottenute), l'indice sclerometrico, proporzionale all'altezza di rimbalzo, è correlato alla resistenza a compressione del calcestruzzo.

Lo sclerometro può essere utilizzato per valutare la omogeneità del calcestruzzo in situ, per delimitare zone di calcestruzzo degradato o di scarsa e per stimare le variazioni nel tempo delle proprietà del calcestruzzo, a non può sostituire i metodi distruttivi nella determinazione della resistenza; tale determinazione può essere effettuata solo in presenza di una curva sperimentale di taratura.

8.2.5.2 PROVE ULTRASONICHE

La prova consiste nel misurare il tempo impiegato da onde soniche di adeguata frequenza (40-120 KHz) ad attraversare un mezzo compreso tra due trasduttori collocati ad una data distanza, ricavandone la velocità di propagazione. Le letture possono essere effettuate in diversi modi legati alla posizione relativa dei due trasduttori, ma il modo più corretto per effettuare le letture, e quindi da utilizzare sempre laddove possibile, è quello per trasparenza, cioè con i due trasduttori disposti in contrapposizione su due superfici tra loro parallele (disposizione adottata nella campagna diagnostica effettuata).

Come per il metodo sclerometrico, esistono curve che correlano la velocità ultrasonica alla resistenza del conglomerato, ma anche in questo caso l'utilizzazione diretta di tali correlazioni comporta una stima poco affidabile della resistenza.

I fattori che maggiormente influenzano le misurazioni sono: il tipo di cemento, le dimensioni degli inerti, il rapporto acqua/cemento e dosaggio cemento, l'età del conglomerato, il contenuto di umidità, lo stato di sollecitazione e la presenza di armature.

La norma di riferimento è la UNI 12504-4. L'attrezzatura ultrasonica comprende:

- un'unità per l'acquisizione dei segnali;
- due sonde, una ricevente ed una trasmittente, da 54 kHz e 2 m di cavo di collegamento;
- una barra di taratura;
- una confezione di pasta di contatto.

L'emettitore è costituito da una sonda che, posta a contatto con la superficie, emette un impulso ad intervalli di tempo regolabili: la scelta delle frequenze e quindi delle sonde è legata ad ogni specifico caso.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

8.2.5.3 PROVE SONREB

Per ridurre gli errori commessi con le due metodologie sopra descritte è stato sviluppato il metodo combinato SONREB (SONic + REBound = ultrasuoni+sclerometro).

Si è infatti notato che il contenuto di umidità fa sottostimare l'indice sclerometrico e sovrastimare la velocità ultrasonica, e che, all'aumentare dell'età del calcestruzzo, l'indice sclerometrico aumenta mentre la velocità ultrasonica diminuisce. L'uso combinato delle due prove consente quindi di compensare in parte gli errori commessi usando singolarmente le due metodologie.

L'applicazione del metodo Sonreb richiede la valutazione dei valori locali della velocità ultrasonica V e dell'indice di rimbalzo S , a partire dai quali è possibile ottenere la resistenza del calcestruzzo R_c mediante espressioni del tipo:

$$f_c = a V^b S^c$$

In bibliografia vengono fornite numerose espressioni; tra le altre si ricordano:

$f_c = 6.4 \cdot 10^{-11} V^{2.6} S^{1.4}$	Norme RILEM, 1993
$f_c = 6.7 \cdot 10^{-8} V^{1.85} S^{1.246}$	Gasparik, 1992
$f_c = 1.0 \cdot 10^{-9} V^{2.446} S^{1.058}$	Di Leo - Pascale, 1994
$f_c = 3.7 \cdot 10^{-7} V^{1.690} S^{1.127}$	Del Monte et al., 2004

in cui f_c è la resistenza cilindrica a compressione in [MPa], S è l'indice sclerometrico e V è la velocità ultrasonica in [m/s].

E' bene ricordare che nessuna di queste espressioni ha validità generale ed in particolare nel caso di calcestruzzi di bassa qualità.

Se si dispone di dati ottenuti con indagini non distruttive, i risultati ottenuti dai carotaggi, effettuati negli stessi punti, possono essere utilizzati per calibrare tali dati. Si raccomanda in particolare di usare il metodo Sonreb e di ricavare l'espressione $f_c = a V^b S^c$, valida specificamente per il calcestruzzo in esame effettuando una regressione basata sui risultati delle prove sulle carote per determinare i coefficienti a , b , c delle curve.

E' così possibile stimare le resistenze f_c anche nei punti in cui siano state effettuate solo prove non distruttive, in modo da determinare il valore medio della resistenza del calcestruzzo in esame utilizzando i risultati delle prove distruttive e non distruttive, dunque un campione più ampio e rappresentativo.

8.2.6 Risultanze prove non distruttive eseguite

Con riferimento alle prove eseguite sulla struttura in esame, elencate nel piano di indagine riportato al paragrafo 8.2.1, i risultati delle prove sclerometriche ed ultrasoniche sono stati elaborati attraverso le quattro correlazioni descritte al paragrafo precedente e sono stati determinati valori medi di resistenza cubica del calcestruzzo R_c (in [MPa]) riportati nella seguente tabella.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Data Prova	Sigla	Piano	Elemento	S [-]	V [m/s]	RILEM	Gasparik	Di Leo	Del Monte	Rc Media
29.06.2016	SP I	Terra	Pilastro [41]	41.0	3'665	25.75	32.31	31.86	30.50	30.11
29.06.2016	ST I	Copertura	Trave Scala	32.4	3'273	13.80	19.55	18.83	19.32	17.88
29.06.2016	ST II	Copertura	Trave [11-21]	37.9	3'746	24.39	30.48	30.91	28.94	28.68

Tabella 8.3: Valori medi di resistenza cubica del calcestruzzo determinati dalle prove SonReb

I valori di R_c media ottenuti sono riferiti alle correlazioni di letteratura. Per i campioni per cui era disponibile la misura della velocità ultrasonica su limitrofe carote estratte, è stato possibile effettuare una ricalibratura della velocità, rapportandola ai più accurati valori dedotti dalle prove sulle carote.

8.2.7 Riepilogo materiali adottati per le verifiche strutturali

Le risultanze delle indagini condotte e le informazioni desunte dalla documentazione progettuale reperita, conducono ad assumere le caratteristiche dei materiali per i vari elementi strutturali riportate nella seguente tabella.

Occorre precisare che per gli elementi di copertura, in assenza di prove dirette, si è assunta la classe di resistenza desumibile dagli elaborati progettuali. Tale classe è verosimilmente garantita negli elementi di copertura, in quanto il getto su superfici inclinate richiede un ridotto rapporto acqua/cemento (un elevato quantitativo d'acqua, a parità di dosaggio di cemento, è il principale responsabile del decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale).

Per l'acciaio di armatura A38 delle travi di copertura, in assenza di prove dirette e ricerche scientifiche specifiche (quali quelle condotte per l'acciaio liscio), si assume cautelativamente come valore medio di snervamento il valore caratteristico di 380 MPa.

Per le catene, in assenza di specifiche progettuali, si assume cautelativamente l'acciaio AQ 50, spesso utilizzato per tali elementi; eventuali altre tipologie di acciaio impiegate per le catene prevedevano valori di resistenza superiori.

Elementi strutturali	Calcestruzzo	Acciaio
Pilastri	$R_{cm} = 30$ MPa	AQ 50 (liscio), $f_{ym} = 370$ MPa
Travi Perimetrali	$R_{cm} = 18$ MPa	AQ 50 (liscio), $f_{ym} = 370$ MPa
Travi Scala e Ingresso	$R_{cm} = 25$ MPa	AQ 50 (liscio), $f_{ym} = 370$ MPa
Travi e Soletta di Copertura	$R_{cm} = 25$ MPa	A 38 (ad. migl.), $f_{ym} = 380$ MPa
Catene Copertura	-	AQ 50, $f_{ym} = 370$ MPa

Tabella 8.4: Materiali adottati per le verifiche di sicurezza strutturali

Si rileva che le travi perimetrali sono caratterizzate da calcestruzzo di scarsa qualità, anche se strutturale secondo le normative in vigore all'epoca della costruzione del fabbricato, che prevedevano una R_{ck} minima di 15 Mpa. Se si trattasse di una struttura di nuova costruzione, il calcestruzzo sarebbe definito come C 15/18 e non potrebbe essere considerato strutturale, in quanto la classe minima prevista dalle NTC 2008 è il C16/20.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

8.2.8 Durabilità dei materiali strutturali

Dalle indagini condotte emerge che il fabbricato, che si avvia verso i 50 anni di vita, sia in discreto stato di conservazione.

Gli elementi strutturali principali (pilastri, travi, solette) si presentano visivamente integri, senza fenomeni evidenti di degrado. Tuttavia, le analisi eseguite sulle carote estratte denotano un'elevata penetrazione della carbonatazione, dell'ordine dei 60-70 mm, tipica dei calcestruzzi porosi.

Analizzando i pesi specifici delle carote (Tabella 8.1), si rileva come siano circa 100 daN/m³ inferiori a quelli di un calcestruzzo compatto; l'elevata porosità è molto probabilmente legata ad un elevato rapporto acqua/cemento, che all'epoca della costruzione del palazzetto spesso non veniva costantemente controllato.

Il fenomeno della carbonatazione non è, di per sé, dannoso per il calcestruzzo che, anzi, migliora le sue caratteristiche meccaniche; tuttavia porta alla corrosione delle barre dell'acciaio da armatura, con conseguente riduzione della sezione resistente, oltre a fenomeni collaterali quali l'aumento di volume dell'acciaio e conseguente espulsione del copriferro.

E' importante rilevare che le barre (sia lisce che ad aderenza migliorata) degli elementi strutturali dei quali è stato scrostato il copriferro non hanno evidenziato fenomeni di corrosione (ad eccezione di qualche staffa). Il dato è molto positivo, in quanto dimostra che la struttura non ha ancora iniziato la fase di decadimento delle sue risorse di resistenza.

L'elevata carbonatazione dimostra però che si è prossimi alla fase di innesco della corrosione, pertanto è necessario, qualora si intenda prolungare la vita utile della struttura, provvedere ad idonei trattamenti preventivi del fenomeno di corrosione.

Discorso differente riguarda le barre di armatura degli elementi secondari (cornicioni, muri di tamponamento), che essendo dotate di scarsissimo copriferro, si presentano spesso a vista e con evidenti segni di corrosione. Per tali elementi, anche se secondari, è necessario un intervento in tempi rapidi per arrestare la corrosione in essere, proteggere le barre di armatura e ripristinare il copriferro danneggiato.



Figura 8.24: armatura esposta in elementi non strutturali: sono evidenti le staffe dei cornicioni e le armature longitudinali inferiori dei pannelli di tamponamento in calcestruzzo

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

9. IPOTESI DI CALCOLO ADOTTATE PER LA STRUTTURA IN MURATURA

La valutazione di vulnerabilità richiede il calcolo del livello di sicurezza dell'edificio secondo quanto prescritto dalla normativa vigente (capitoli 7 e 8 delle Norme Tecniche per le Costruzioni). Tale valore dipende dallo spettro di accelerazione previsto per il suolo, la categoria ed il sito considerato. Secondo quanto indicato nelle norme tecniche al punto 8.7.1. per gli edifici in muratura dovranno essere presi in considerazione sia i modi locali sia i modi globali.

L'obiettivo è verificare il livello di sicurezza del fabbricato secondo quanto prescritto dalle normative attuali. A tal fine si è proceduto al calcolo del livello di sicurezza per i livelli prestazionali richiesti.

La modellazione della risposta globale del fabbricato è stata condotta mediante analisi statiche non lineari (secondo quanto indicato ai punti 7.3.4.1 e 7.8.1.5.4 delle norme tecniche e C8.7.1.4 della circolare applicativa), ed il calcolo dei cinematismi locali più probabili (come previsto al punto 8.7.1 delle Norme Tecniche per le Costruzioni) mediante analisi cinematica lineare (secondo quanto indicato al punto C8A.4 della circolare applicativa alle norme tecniche).

9.1 Relazione sui materiali

La procedura di calcolo si basa sulla modellazione a telaio equivalente del fabbricato e sul metodo di analisi statica non lineare, così come introdotto al capitolo 7 del D.M. 14-01-08, con le integrazioni di cui al corrispondente paragrafo della Circolare 02-02-09.

Secondo quanto prescritto dalla normativa, nella modellazione si sono considerati valori di rigidezza degli elementi strutturali opportunamente ridotti, per tenere conto della fessurazione delle sezioni (punto 7.8.1.5.2 del D.M. 14-01-08 e punto C8A.2 della Circolare 02-02-09). In mancanza di informazioni specifiche in merito, si è adottata una riduzione delle rigidezze del 50%. Applicando una metodologia di calcolo non lineare si farà riferimento alle proprietà medie dei valori di resistenza ridotti opportunamente secondo quanto previsto dalla norma.

Nello specifico disponendo del rilievo di dettaglio della struttura, opportunamente ricontrollato, di verifiche in-situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi (ampiamente descritte in precedenza) e di indagini in-situ estese (saggi esplorativi, endoscopie e prova mediante martinetto piatto singolo e doppio) si configura ai sensi del paragrafo C8A.1.A, Tabella C8A.1.1 un livello complessivo di conoscenza LC2.

In tale condizione si procede all'identificazione della tipologia muraria in accordo con le tipologie proposte nella Tabella C8A.2.1 con le correzioni della Tabella C8A.2.2. Da tali tabelle è possibile desumere un intervallo di variazione delle proprietà meccaniche elastiche (E, G) e di resistenza (f_m e τ_0).

Ai fini del calcolo, operando con un livello di conoscenza LC2, si utilizzeranno le proprietà elastiche medie dell'intervallo proposto, e le proprietà di resistenza medie dell'intervallo proposto ridotte per il fattore di confidenza $F_C=1.2$.

Seguono le proprietà assunte ai fini del calcolo (trattandosi di un'analisi condotta in ambito non lineare è lecito considerare anche il contributo di elementi in altra tecnologia diversa della muratura):

- **Muratura esistente:** identificata mediante ricognizione visiva e prova con martinetto piatto doppio nella categoria muratura in mattoni pieni e malta di calce con un livello di conoscenza LC2 ($F_C=1.20$) della tabella C8A.2.1 della circolare 02.02.2009 n.617. In presenza di una camera d'aria interna si ritiene opportuno e cautelativo applicare un fattore correttivo in accordo con la successiva tabella C8A.2.2 pari a 0.8 da applicarsi sia alle resistenze sia alle rigidezze. Dalla tabella così corretta si ricavano le proprietà meccaniche: f_m indica la resistenza media a compressione della muratura (media dell'intervallo proposto essendo in LC ed applicato il fattore correttivo), τ_0 indica la resistenza media a taglio della muratura (media dell'intervallo proposto essendo in LC2 ed applicato

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

il fattore correttivo), i corrispondenti valori f_{md} e τ_{od} di calcolo si ottengono dividendo per $F_C=1.20$; i valori dei moduli elastici E e G sono i medi dell'intervallo proposto e la fessurazione è introdotta dimezzando tali valori.

f_m [N/cm ²]	τ_o [N/cm ²]	f_{md} [N/cm ²]	τ_{od} [N/cm ²]	E [MPa]	G [MPa]	E ^{fess} [MPa]	G ^{fess} [MPa]	w [kN/m ³]
256	6.08	213.33	5.07	1200	400	600	200	18

Tabella 9.1: Proprietà meccaniche adottate per la muratura esistente

Per i parametri meccanici dei materiali diversi dalla muratura si fa riferimento al precedente paragrafo 8.2.7.

9.2 Analisi dei carichi

Della struttura in esame deve essere analizzato sia il comportamento sotto l'azione dei carichi statici, sia quello sotto l'azione dei carichi dinamici (sismici).

Nei capitoli seguenti si indicano nel dettaglio i vari carichi considerati.

9.2.1 Carichi permanenti

I carichi permanenti in oggetto sono rappresentati dai pesi propri dei materiali strutturali (G_1 , paragrafo 3.1.2 del D.M 2008) e da quelli dei materiali non strutturali (G_2 , paragrafo 3.1.3 del D.M. 2008), utilizzati per le opere di finizione. Essendo questi ultimi carichi compiutamente definiti (in quanto carichi permanenti portati), con riferimento alla tabella 2.6.I del D.M. 2008, vengono equiparati, a livello probabilistico, ai carichi permanenti strutturali (quindi di tipo G_1).

Le tabelle seguenti riassumono i valori di G_1 e G_2 assunti per i vari orizzontamenti della struttura.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Solaio tipo (VOLTE) a copertura dell'interrato				
Descrizione	spessore [cm]	w [daN/m ³]	Carico daN/m ²	
Volta in Muratura	12	1800	216	G ₁ =1006
Riempimento	-	da modello FEM sulle volte	790	
Massetto	3	2000	60	G ₂ =120
Piastrelle	3	2000	60	
Solaio tipo (VOLTE) a copertura del Piano terreno (presenza controsoffitto)				
Descrizione	spessore [cm]	w [daN/m ³]	Carico daN/m ²	
Volta in Muratura	12	1800	216	G ₁ =1006
Riempimento	-	da modello FEM sulle volte	790	
Massetto	3	2000	60	G ₂ =270
Piastrelle	3	2000	60	
Intonaco	2	2000	40	
Controsoffitto (Latero-cemento)		da manuale RDB	110	
Solaio tipo (VOLTE) a copertura del Piano terreno (senza controsoffitto)				
Descrizione	spessore [cm]	w [daN/m ³]	Carico daN/m ²	
Volta in Muratura	12	1800	216	G ₁ =1006
Riempimento	-	da modello FEM sulle volte	790	
massetto	3	2000	60	G ₂ =160
piastrelle	3	2000	60	
intonaco	2	2000	40	
Solaio tipo (VOLTE) a copertura del Piano primo (locali sopra Sala PESSINI)				
Descrizione	spessore [cm]	w [daN/m ³]	Carico daN/m ²	
Volta in Muratura	12	1800	216	G ₁ =1006
Riempimento	-	da modello FEM sulle volte	790	
massetto	3	2000	60	G ₂ =100
intonaco	2	2000	40	
Solaio tipo a copertura del piano primo				
Descrizione	spessore [cm]	w [daN/m ³]	Carico daN/m ²	
Solaio Latero-cemento (pignatte-travetti)	12+5	da manuale RDB	220	G ₁ =220
intonaco	2	2000	40	G ₂ =40
Solaio tipo del tetto				
Descrizione	spessore [cm]	w [daN/m ³]	Carico daN/m ²	
Solaio Latero-cemento (pignatte-travetti)	16.5+5	da manuale RDB	260	G ₁ =260
listellatura + coppi			70	G ₂ =70

Tabella 9.2: Riepilogo dei carichi permanenti applicati sui vari orizzontamenti

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

9.2.2 Carichi variabili di progetto sugli orizzontamenti

Per la scelta del carico variabile si è fatto riferimento alla Legge 23 dell'11.01.1996 che in merito ai carichi variabili da applicare sui solai delle scuole, all'art. 5 comma 3 recita:

“Art. 5.- Norme tecniche3. In sede di prima applicazione e fino all'approvazione delle norme regionali di cui al comma 2, possono essere assunti quali indici di riferimento quelli contenuti nel D.M. 18 dicembre 1975 del Ministro dei lavori pubblici, pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 2 febbraio 1976.”

La norma del 1975, al §5.4.2, suggerisce i seguenti valori:

“- per coperture impraticabili.....150 Kg/m²
- per laboratori con attrezzatura leggera.....500 Kg/m²
- per laboratori con attrezzatura pesante.....1000 Kg/m²
- per palestre.....500 Kg/m²
- per scale e terrazze praticabili.....400 Kg/m²
- per tutti gli altri locali.....350 Kg/m²”

Non essendo state emanate leggi a superamento (o abrogazione) delle due precedenti e coerentemente con quanto previsto dalla normativa vigente (Norme Tecniche per le Costruzioni, 2008, che al §3.1.4, a commento della tabella dei carichi, recitano: *“Altri regolamenti potranno imporre valori superiori, in relazione ad esigenze specifiche.”*), si è deciso di rimanere coerenti con la Legge 23 dell'11.01.1996 e assumere un carico variabile sugli orizzontamenti di **350 daN/m²**.

9.2.3 Riepilogo dei carichi di progetto sugli orizzontamenti

Segue un riepilogo dei carichi assunti sugli orizzontamenti:

Tipologia	G ₁	G ₂	Q _k
Solaio tipo (VOLTE) a copertura dell'interrato	10.06	1.2	3.5
Solaio tipo (VOLTE) a copertura del Piano terreno (presenza controsoffitto)	10.06	2.7	3.5
Solaio tipo (VOLTE) a copertura del Piano terreno (senza controsoffitto)	10.06	1.6	3.5
Solaio tipo (VOLTE) a copertura del Piano primo (locali sopra PESSINI)	10.06	1.0	3.5
Solaio tipo a copertura del piano primo	2.2	0.4	3.5
Solaio tipo del tetto	2.6	0.7	3.5

Tabella 9.3: Riepilogo dei carichi sugli orizzontamenti (valori in kN/m²).

9.2.4 Azioni della neve.

Il carico neve sulla copertura viene valutato mediante l'espressione prevista al punto 3.4.1 del D.M. 14 gennaio 2008:

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

in cui:

q_s è il carico neve sulla copertura;

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

μ_i	è il coefficiente di forma della copertura;
q_{sk}	è il valore di riferimento del carico neve al suolo per un periodo di ritorno di 50 [anni];
C_E	è il coefficiente di esposizione;
C_T	è il coefficiente termico.

Il carico agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione; il fabbricato in esame è sito in provincia di Alessandria, appartenete alla Zona I - Mediterranea.

Per la quota di riferimento assunta $a_s = 85 \text{ m}$, si ha $q_{sk} = 1.5 \text{ kN/m}^2$.

Il coefficiente di esposizione C_E , secondo la classificazione topografica fornita in tabella 3.4.I del D.M. 2008, viene assunto pari a 1, valore corrispondente ad *aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi*.

Il coefficiente termico C_t viene assunto pari a 1, secondo quanto suggerito al punto 3.4.4 del D.M. 2008.

Per le coperture inclinate, a cui può essere assimilata quella in esame (inclinazione circa 21°), il D.M. 2008 definisce, un coefficiente $\mu_i = 0.8$.

Considerando la destinazione d'uso (edificio rilevante, classe d'uso III), il periodo di ritorno deve essere maggiorato: si assume un valore di detto periodo pari a $T_{R,0}=100$ anni ($=\max(T_0, V_n)$), secondo quanto indicato nella CNR-DT 207/2008, Tabella A.I). In accordo con quanto indicato nell'appendice D dell'EC1, il carico neve al suolo riferito ad un periodo di ritorno di n anni è ottenuto applicando un coefficiente di maggiorazione dato dall'espressione seguente:

$$\left\{ \frac{1 - V \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0.57722 \right]}{(1 + 2.5923V)} \right\} = 1.13$$

Dove: P_n è la probabilità annuale di superamento ($=1/T_R=1/100$) mentre V è il coefficiente di variazione della serie dei massimi annuali del carico della neve (assunto uguale a 0.6, che rappresenta sia il valore medio europeo, sia il valore a favore di sicurezza nel caso di periodi di ritorno superiori a 50 anni).

Il carico uniformemente distribuito agente sulla copertura è quindi pari a:

$$q_{sn} = 1.13 q_{sk} = 1.13 (\mu_i q_{sk} C_E C_t) = 135 \text{ daN/mq}$$

9.2.5 Azioni del vento.

La pressione dovuta all'azione del vento si esprime mediante:

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

in cui:

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

- q_b è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il coefficiente di esposizione;
- c_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico);
- c_d è il coefficiente dinamico.

Il sito è ubicato a Castelnuovo Scrivia al di sotto della quota $a_0=1000$ m. s.l.m.m. pertanto si ottiene una velocità di riferimento v_b di 25 m/s.

La velocità v_b si riferisce ad un periodo di ritorno pari 50 anni; considerando la destinazione d'uso (edificio rilevante, classe d'uso III), come già anticipato per la neve, il periodo di ritorno deve essere maggiorato.

Si assume un valore di detto periodo pari a $T_{R,0}=100$ anni. Per amplificare il valore ottenuto per il periodo di 50 anni, coerentemente con quanto indicato nella circolare 617 al punto C3.3.2 si calcola:

$$\alpha_R = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} = 1.04$$

Il coefficiente correttivo risulta pertanto valere 1.04, da cui si determina la $v'_b = \alpha_R v_b = 26$ m/s

Tale valore fornisce un valore finale di q_b pari a 421.88 N/m² (assumendo per la densità dell'aria il valore di 1.25 kg/m³ suggerito dalla norma).

Trattandosi di un'area all'interno del centro urbano di Castelnuovo Scrivia è possibile riferirsi ad una classe rugosità A che comporta una categoria di esposizione V (Tabella 3.3.II) corrispondente ai seguenti valori:

Cat. Esposiz.	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
V	0.23	0.7	12

Tabella 9.4: Parametri per il calcolo del vento

Tutte le parti in muratura si trovano al di sotto della quota z_{min} pertanto il valore di c_e sarà uguale per tutti gli elementi.

Assumendo poi un valore di c_d cautelativamente unitario, si ottiene la seguente pressione (valutata a meno del coefficiente di forma di cui si tratterà conto in seguito): $p=0.65$ kN/m².

Il coefficiente di forma varia a seconda dalla direzione di provenienza del vento; si dovrà poi sommare l'effetto prodotto dal vento esternamente e dalla pressione interna nell'ipotesi cautelativa che la costruzione non possa essere ritenuta stagna. Per tale verifica, in sede preliminare, si osserva che il coefficiente di forma relativo alle pareti verticali più punitivo risulta nel caso di elementi investiti direttamente dal vento e vale 0.8; considerando poi la costruzione non stagna, si somma l'effetto della depressione interna (coefficiente 0.2) per un valore finale di c_p pari ad uno (come sarà illustrato nel seguito si eseguirà una verifica considerando l'effetto del vento sui maschi investiti direttamente, in quest'ottica risulta ininfluenza la direzione di provenienza se si assume sempre la condizione più sfavorevole).

9.2.6 Azione sismica.

L'azione sismica, in conformità con quanto indicato nel paragrafo 3.2.3.1 del D.M. 14 gennaio 2008, è caratterizzata da tre componenti traslazionali, due orizzontali, contrassegnate da X ed Y, ed una verticale, contrassegnata da Z, da considerarsi tra loro indipendenti (da combinarsi successivamente secondo le

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

indicazioni del punto 7.3.5 del D.M. 2008). Il moto dovuto ad un evento sismico in un dato punto della superficie del terreno è generalmente rappresentato da uno spettro di risposta elastico dell'accelerazione del terreno, detto brevemente "spettro di risposta elastico".

L'azione sismica orizzontale è descritta da due componenti ortogonali considerate indipendenti e rappresentate mediante il medesimo spettro di risposta.

La componente verticale dell'azione sismica è modellata secondo lo spettro di risposta dell'azione sismica orizzontale, con i valori in ordinata ridotti di un opportuno coefficiente a seconda dell'intervallo di frequenza. Nel caso in esame, essa non viene considerata, in conformità al punto 7.2.1 del D.M. 2008, in quanto la struttura non è sensibile ad azioni sismiche verticali.

Lo spettro di risposta elastico è fornito, in base alle caratteristiche del terreno, dal paragrafo 3.2.3.2.1 del D.M. 2008:

$$0 \leq T < T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$$

in cui:

a_g	accelerazione orizzontale massima su suolo di riferimento rigido orizzontale;
S	fattore che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_S \cdot S_T$ essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (tabella 3.2.V del D.M. 2008) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (tabella 3.2.VI del D.M. 2008);
η	fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione: $\xi = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0.55$ dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
F_0	è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;
T	periodo di vibrazione dell'oscillatore semplice;
T_C	è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da: $T_C = C_C \cdot T_C^*$ dove T_C^* è definito nel cap. 3 della presente relazione e C_C è riportato nella seguente tabella;
T_B	è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante: $T_B = T_C / 3$
T_D	è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione: $T_D = 4.0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1.6$

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Categoria di Sottosuolo	C_c
A	1.00
B	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

Tabella 9.5: espressioni per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica C_c .

Utilizzando i parametri determinati nel paragrafo 4, si ottengono i seguenti spettri elastici per i vari stati limite:

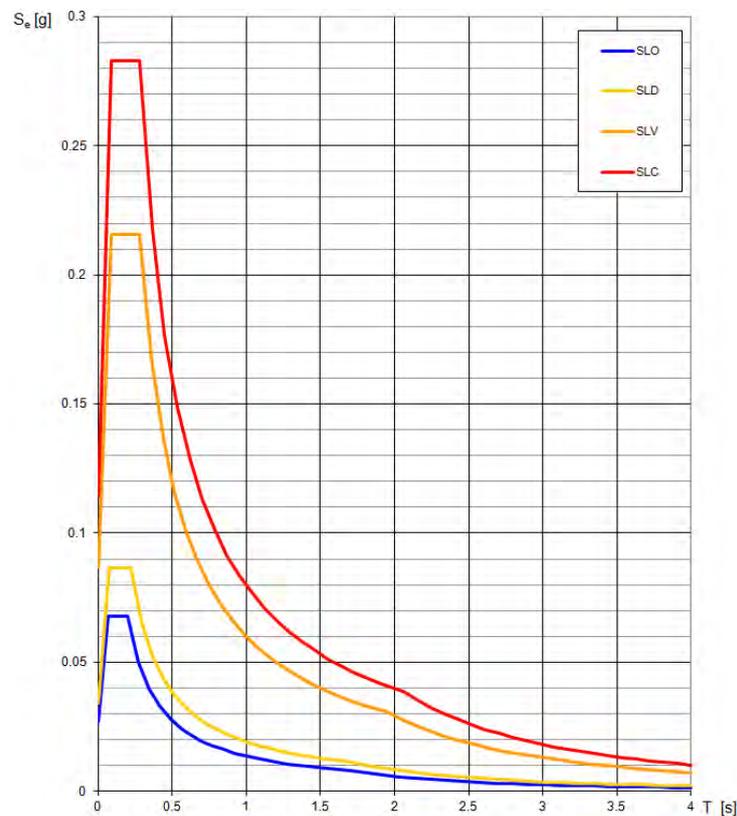


Figura 9.1: Spettri di risposta elastici, relativi agli stati limite di interesse, della componente sismica orizzontale (direzioni X e Y).

Analizzando la struttura in esame come non dissipativa, gli spettri di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per lo SLD che per lo SLV, sono gli spettri elastici corrispondenti.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

9.3 Combinazioni di carico e verifiche agli Stati Limite

Ai fini delle verifiche degli stati limite, il punto 2.5.3 del D.M. 2008 definisce le seguenti tipologie di combinazione delle azioni:

Combinazione fondamentale (SLU), generalmente impiegata per gli stati limiti ultimi:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione caratteristica (SLE rara), generalmente impiegata per gli stati limiti di esercizio irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione frequente (SLE frequente), generalmente impiegata per gli stati limiti di esercizio reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i>1} \psi_{1,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione quasi permanente (SLE quasi permanente), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione sismica (SLV), impiegata per gli stati limite ultimi connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Combinazione eccezionale (ECC), impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d :

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Nelle precedenti relazioni, si è utilizzato il significato dei seguenti simboli:

G_1	valore caratteristico delle azioni permanenti;
G_2	valore caratteristico delle azioni permanenti non strutturali;
P	valore caratteristico dell'azione di pre-tensione o pre-compressione;
Q_{K1}	valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
$Q_{K,i}$	valore caratteristico dell'azione variabile i ;
γ_{G1}	coefficiente parziale per le azioni permanenti;
γ_{G2}	coefficiente parziale per le azioni permanenti non strutturali;
γ_P	coefficiente parziale per le azioni di pre-tensione o pre-compressione;
γ_{Q1}	coefficiente parziale per l'azione variabile di base di ogni combinazione;
$\gamma_{Q,i}$	coefficiente parziale per l'azione variabile i ;
$\psi_{i,i}$	coefficienti di combinazione per i vari stati limite, descritti nella seguente tabella;
+	combinato con.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Con riferimento ai carichi variabili, si utilizzano i seguenti coefficienti di combinazione:

<i>Simbolo</i>	<i>Azione Variabile</i>	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Q_{ek}	Carico variabile sui solai	0.7	0.7	0.6
Q_{nk}	Azione della neve (a quota < 1000 [m] s.l.m.m.)	0.5	0.2	0.0
Q_{vk}	Azione del vento	0.6	0.2	0.0

Tabella 9.6: Estratto dalla tabella 2.5.I del D.M. 2008 - valori dei coefficienti di combinazione per le tipologie di azioni variabili agenti sulla struttura in esame.

9.3.1 Masse Sismiche.

Il punto 3.2.4 del D.M. 2008 prevede che gli effetti dell'azione sismica siano valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

utilizzando i valori dei coefficienti di combinazione ψ_{2j} riportati nella precedente Tabella 9.6.

9.3.2 Azioni nelle verifiche agli Stati Limite.

Le verifiche agli stati limite devono essere eseguite per tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura, valutando gli effetti delle combinazioni definite nel paragrafo precedente.

9.3.2.1 STATI LIMITE ULTIMI.

Nelle verifiche agli stati limite ultimi si distinguono i seguenti casi:

EQU	stato limite di equilibrio come corpo rigido;
STR	stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
GEO	stato limite di resistenza del terreno.

<i>Tipi di Carico</i>	<i>Effetto del Carico</i>	<i>Coefficiente γ_F</i>	<i>EQU</i>	<i>A1 STR</i>	<i>A2 GEO</i>
Permanenti	<i>Favorevoli</i>	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	<i>Sfavorevoli</i>		1.1	1.3	1.0
Permanenti non Strutturali ⁽¹⁾	<i>Favorevoli</i>	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	<i>Sfavorevoli</i>		1.5	1.5	1.3
Variabili	<i>Favorevoli</i>	γ_Q	0.0	0.0	0.0
	<i>Sfavorevoli</i>		1.5	1.5	1.3

⁽¹⁾ nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (es.: carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 9.7: tabella 2.6.I del D.M. 2008 - coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni nelle verifiche a SLU.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

9.3.2.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO.

Le tipologie di verifiche in esercizio sono più articolate rispetto a quelle a stato limite ultimo e si differenziano a seconda del materiale strutturale utilizzato e dell'eventuale presenza dell'azione sismica.

Non sono in generale richieste per il calcolo statico delle murature (ai sensi del punto 4.5.6.3 e 8.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni). Nel presente lavoro si sono quindi valutati gli stati limite di esercizio (SLD e SLO) per quel che concerne la risposta sismica.

9.4 Analisi Globale.

Il calcolo della risposta globale è stato eseguito sviluppando un modello numerico tridimensionale dell'intero edificio, realizzato con il software TREMURI (per maggiori dettagli si consulti il sito www.stadata.com). Tale modello schematizza, mediante telaio equivalente, la risposta sismica di edifici in muratura relativamente a meccanismi di collasso di 2° modo (azione nel piano). Il programma implementa l'analisi statica non lineare secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche.

La costruzione del telaio equivalente è stata svolta individuando le pareti (intese come piani verticali entro cui sono posizionati gli elementi costitutivi del telaio) riportate nelle figure seguenti. Avvalendosi di un calcolo non lineare è possibile considerare contemporaneamente la collaborazione fra elementi di diversa tecnologia.

L'impianto della verifica prevede infatti un confronto fra la domanda di spostamento richiesta dallo spettro di progetto e la capacità della struttura: la duttilità finale della muratura dovrà quindi risultare adeguata a garantire il raggiungimento dello spostamento richiesto.

9.5 Meccanismi Locali

Il calcolo dei meccanismi locali segue l'approccio cinematico dell'analisi limite dell'equilibrio, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematico: ovvero si procede trasformando una parte della costruzione in una catena cinematica (sistema labile), attraverso l'individuazione di corpi rigidi, definiti da piani di frattura ipotizzabili per la scarsa resistenza a trazione della muratura, in grado di ruotare o scorrere tra loro, e valutando quindi il moltiplicatore orizzontale dei carichi α_0 che comporta l'attivazione del meccanismo (secondo la formulazione riportata nella circolare al punto C8A.4.1).

La verifica allo stato limite ultimo è espressa dalle formule C8A.4.9 e C8A.4.10 a seconda che il cinematico sia al livello del piano di campagna o in quota.

Le formule precedentemente citate richiedono il calcolo dell'accelerazione spettrale a_0^* ottenuta mediante la formula C8A.4.4 :

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^* \cdot FC}$$

Per il significato dei vari termini si faccia riferimento alla circolare esplicativa alle norme tecniche (Circolare 2 febbraio 2009 n°617 C.S.LL.PP.). Si segnala unicamente la presenza del fattore di confidenza $F_C=1.35$ poiché la modellazione adottata considera infinita resistenza a compressione della muratura.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Le altre ipotesi di calcolo sono la resistenza nulla a trazione della muratura e l'assenza di scorrimento tra i blocchi.

Secondo quanto prescritto nella circolare al punto C8A.4.2.3 è possibile procedere alla verifica per lo stato limite ultimo secondo le seguenti formule:

Verifica	Coefficiente α	Descrizione
$a_0^* \geq \frac{a_g(P_{V_R}) \cdot S}{q}$	$\alpha_{u=} \frac{a_0^*}{a_g''(P_{V_R}) \cdot S} \geq 1$	cinematismo al livello del piano di campagna
$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma}{q}$	$\alpha_{u=} \frac{a_0^*}{S_e(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma} \geq 1$	cinematismo in quota

Tabella 9.8: Riepilogo verifiche dei meccanismi locali in SLV^1

Esplicitando il valore della accelerazione corrispondente allo stato limite considerato e rapportandola all'accelerazione prescritta, è possibile quantificare convenzionalmente la sicurezza mediante il coefficiente proposto α'_u ed ottenere implicitamente la verifica per rapporti superiori all'unità.

In modo iterativo è invece possibile determinare α_u ed il periodo ad esso associato (se compreso fra 30 e 2475 anni).

Le verifiche, condotte mediante il calcolo cinematico lineare secondo il punto C8A.4.1, sono da ritenersi a favore di sicurezza; eventuali condizioni di non verifica (con coefficienti di sicurezza di poco inferiori all'unità) potrebbero infatti risultare conformi nel calcolo non lineare secondo il punto C8A.4.2.

¹ Per il significato dei simboli si faccia riferimento al punto C.8.4.2.3. della circolare 617/2009

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

9.6 Volte in muratura dell'interrato

L'analisi di dettaglio delle volte in muratura dell'interrato viene condotta con lo scopo di rilevare eventuali criticità nel loro comportamento statico, sia in condizioni di esercizio che in condizioni ultime. Lo studio può essere ragionevolmente esteso alle volte di copertura del piano terra, che dovrebbero presentare la stessa geometria (la forma condizionale è legata all'impossibilità di rilevare molte volte del piano terra a causa della presenza dei controsoffitti in latero-cemento).

Le due volte oggetto di studio, rappresentative delle due principali tipologie presenti nell'interrato, sono individuate al §5.1.1.

L'analisi si basa su rilievi all'intradosso ed endoscopie: risulta pertanto dettagliata a livello di ricostruzione geometrica, mentre non può tenere conto con certezza di alcuni aspetti (esatto spessore della volta in ogni punto, tipologia del riempimento), rilevabili solo all'estradosso, quindi solo in un'eventuale fase di intervento di consolidamento.

9.6.1 Analisi dei carichi.

I carichi applicati alle volte in esame sono riassunti nella seguente tabella. Come descritto al §9.2.1, i carichi permanenti vengono tutti assunti come compiutamente definiti (G_I).

<i>Simbolo</i>	<i>Azione</i>	<i>Valore</i>	<i>Note</i>
G_{Im}	Peso proprio Muratura	18.00 [kN/m ³]	(1)
G_{Ir}	Peso proprio del materiale di Riempimento	17.00 [kN/m ³]	(2)
G_{Ip}	Peso proprio del Pavimento	0.60 [kN/m ²]	(3)
G_{Is}	Carico muratura livelli Superiori	18.00 [kN/m ³]	(4)
Q_s	Carico variabile di esercizio per le Scuole	3.50 [kN/m ²]	(5)

Tabella 9.9: tipologie di azioni agenti sulle volte in esame

Note:

- (1) Valore indicato nella Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/2009 per la "muratura in mattoni pieni e malta di calce";
- (2) Valore stimato in base alle caratteristiche del sottofondo (non del tutto omogenee), considerando un insieme di sabbia e materiale vario di risulta (principalmente laterizi); il carico viene applicato come pressione superficiale all'estradosso della volta, calcolata puntualmente considerando lo spessore del materiale di riempimento (rilevato tramite endoscopie);
- (3) Valore stimato considerando uno spessore di pavimento di 3 cm
- (4) Il carico viene applicato linearmente sui muri perimetrali, considerando l'altezza complessiva dei muri; per il carico applicato sugli archi con pilastro della volta n.2, si segue la procedura descritta nel seguito;
- (5) Carico variabile di esercizio previsto al §5.4 del D.M. 18 dicembre 1975.

Per la determinazione del carico applicato sugli archi con pilastro della volta n.2, in assenza di comprovati studi relativi ad una simile configurazione geometrica, si è eseguito uno studio di dettaglio, utilizzando un modello FEM dell'intera parete sovrastante gli archi in esame.

Il modello, realizzato con il software Midas Gen (licenza n. U001-02802), utilizza 2955 nodi e 2861 elementi shell in stato piano di tensione, che riproducono la geometria dell'arco e della parete sovrastante.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Come si può rilevare nella seguente figura, la discretizzazione della mesh è più fitta (lato medio degli elementi 10 cm) nella zona dell'arco e del tratto di muro immediatamente sovrastante, mentre di dirata (lato medio 25 cm) nella parte superiore.

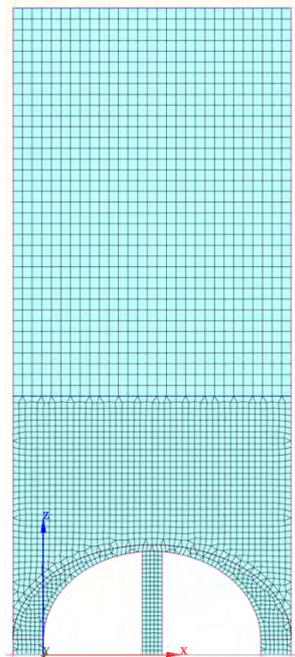


Figura 9.2: mesh del modello a elementi finiti utilizzato per la determinazione dei carichi da applicare all'arco con pilastro

Considerando i carichi descritti al §9.6.1 ed utilizzando i materiali e la tipologia di analisi descritta nel successivo §9.6.3, si determinano i carichi da applicare all'estradosso dell'arco, analizzando lo stato tensionale della muratura immediatamente al di sopra di esso.

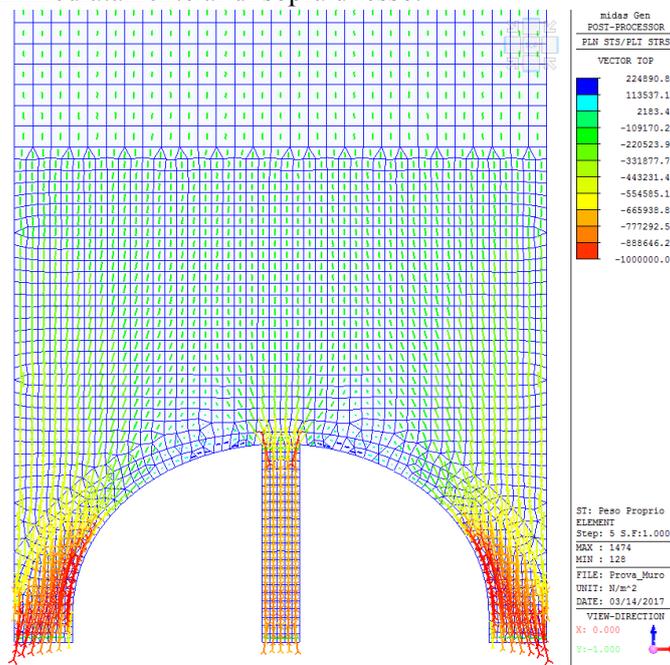


Figura 9.3: direzione delle tensioni principali nella muratura e relativi valori

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Come si può rilevare nella precedente figura, le tensioni si concentrano alle reni dell'arco ed in corrispondenza dell'appoggio sul pilastro; conseguentemente in tali zone i carichi che vengono applicati all'estradosso dell'arco sono di entità maggiore rispetto ai tratti intermedi, nei quali l'arco risulta quasi scarico.

9.6.2 Combinazioni di carico.

Con riferimenti al §9.3, le combinazioni di carico analizzate in dettaglio sono la SLE Quasi Permanente e la SLU.

La prima combinazione viene utilizzata per studiare il comportamento delle volte nelle reali condizioni di esercizio, la seconda nelle ipotetiche condizioni ultime.

9.6.3 Legame costitutivo e metodo di analisi.

L'analisi del comportamento statico di dettaglio delle volte viene effettuata utilizzando una modellazione al continuo con elementi shell, che rappresentano il piano medio di ciascun elemento strutturale (muri, archi e volte). I modelli così definiti vengono sottoposti ad analisi statiche non lineari, nelle quali viene valutata in modo realistico la redistribuzione delle tensioni a causa del comportamento non lineare della muratura (ad esempio per fessurazione).

Per questo tipo di analisi assume fondamentale importanza definire correttamente il legame costitutivo del materiale. In letteratura esistono diversi tipi di criteri di rottura utilizzabili per la muratura, in genere di tipo elastico-perfettamente plastico con materiale omogeneo ed isotropo (Mohr-Coulomb, Drucker-Prager).

Oltre a questi legami, utilizzabili anche per altri materiali (come il calcestruzzo), il software utilizzato (Midas Gen) propone un modello di materiale specifico per la muratura, denominato Strumas.

Partendo dalla definizione di un volume elementare rappresentativo e da differenti legami costitutivi per i tre costituenti (blocchi, giunti di malta orizzontali e verticali), attraverso una omogeneizzazione il modello Strumas perviene al legame del materiale muratura da utilizzare nell'analisi al continuo equivalente.

La tecnica di omogeneizzazione è quella proposta da Pande (Pande et al. 1989) e basata sull'eguaglianza dell'energia di deformazione. Le due ipotesi di base per la costruzione delle proprietà del materiale equivalente riguardano i blocchi ed i giunti di malta, considerati solidali, ed i giunti di malta verticali e orizzontali, considerati continui.

Nel suo lavoro Pande assume che la fessurazione a trazione è la più importante non-linearità che caratterizza le murature.

Il modello prevede in compressione un comportamento indefinitamente elastico e ad ogni incremento di forze risale dai valori delle tensioni e delle deformazioni all'interno del volume elementare di riferimento a quelle dei costituenti. La procedura resta lineare in ogni passo, ma se la tensione principale di trazione in un costituente supera la resistenza, il suo contributo alla nuova matrice di rigidezza del materiale omogeneizzato è ridotto o annullato. La riduzione dipende da un parametro di abbattimento della rigidezza, riducibile a valori prossimi allo zero, cui corrisponde un comportamento pressoché elasto-plastico (Lee et al., 1996).

Le proprietà del materiale equivalente dipendono, quindi, dalla dimensione media di blocchi, giunti verticali e orizzontali, oltre che dalle relative caratteristiche meccaniche E e ν .

Il Modello Strumas presenta l'indubbio vantaggio di richiedere parametri fisici facilmente reperibili, evitando di dover interpretare l'angolo di attrito e consentendo di descrivere il comportamento anisotropo

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

della muratura. L'algoritmo fornisce inoltre una convergenza stabile e rapida del modello, con conseguenti bassi oneri computazionali.

Un importante riconoscimento al modello Strumas è riportato in Faella et al. (Op. Cit.) con un confronto con un modello di materiale smeared crack presente nel codice di calcolo Abaqus.

Per la caratterizzazione del materiale utilizzato nei modelli di calcolo in esame, si considerano:

- Modulo Elastico determinato tramite la prova con martinetto piatto (§7.2): 1200 MPa
- Modulo di Poisson: 0.35;
- Resistenza di calcolo a trazione $f_t = 0.2$ Mpa.

Il valore di resistenza di calcolo a trazione è stato calibrato attraverso varie analisi numeriche sulle volte, in modo da assumere il valore più realistico per il materiale.

Una stima eccessivamente cautelativa di tale parametro (comprendente il fattore di confidenza FC e di sicurezza del materiale γ_M) condurrebbe a conclusioni che contrastano con l'evidenza fisica: le volte infatti, pur presentando locali quadri fessurativi, mantengono la loro forma originaria e non appaiono sintomi di imminenti collassi.

Il valore $f_t = 0.2$ Mpa è coerente con i dati desumibili dalle vigenti normative: considerando la formula per la resistenza a taglio fornita al §11.10.3.3 delle NTC2008 ed i valori di resistenza a taglio della Tabella C8A.2.1 della Circolare 617/2009 per la "muratura in mattoni pieni e malta di calce", si avrebbero un intervallo di valori di resistenza a trazione compreso tra 0.13 e 0.27 MPa. Il valore di 0.2 MPa è quindi in linea con le indicazioni normative, avendo costatato che la muratura delle volte è di qualità medio-buona, sia come materiali che come tessitura.

Nella modellazione numerica si è adottato lo stesso valore dei parametri dei materiali per laterizio e malta, riferendo quindi il modello Strumas ad un materiale omogeneo, in quanto non erano facilmente determinabili le proprietà delle singole componenti.

9.6.4 Criteri di meshatura del modello geometrico.

Per eseguire le verifiche strutturali sui modelli di calcolo delle volte, è necessario meshare i modelli geometrici definiti al §5.1.1.2.

Il software utilizzato (Midas FX+) consente di impostare diversi criteri di generazione della mesh, scegliendo l'algoritmo di meshatura, la forma degli elementi (triangolari e/o quadrangolari) e la loro dimensione media.

Per le volte in esame, viene utilizzato il meshatore di tipo "Grid" con elementi di tipo triangolare e quadrangolare.

La dimensione media degli elementi viene impostata con diverso grado di definizione a seconda della parte strutturale indagata; in particolare si assume:

- lato medio 5 cm per gli archi
- lato medio 10 cm per le gli elementi voltati (lunette comprese)
- lato medio 15 cm per le pareti.

Nelle seguenti figure sono rappresentate le mesh utilizzate per le analisi delle volte. Per la volta n.1 vengono eseguite analisi con differenti spessori degli elementi voltati, utilizzando comunque la stessa mesh.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

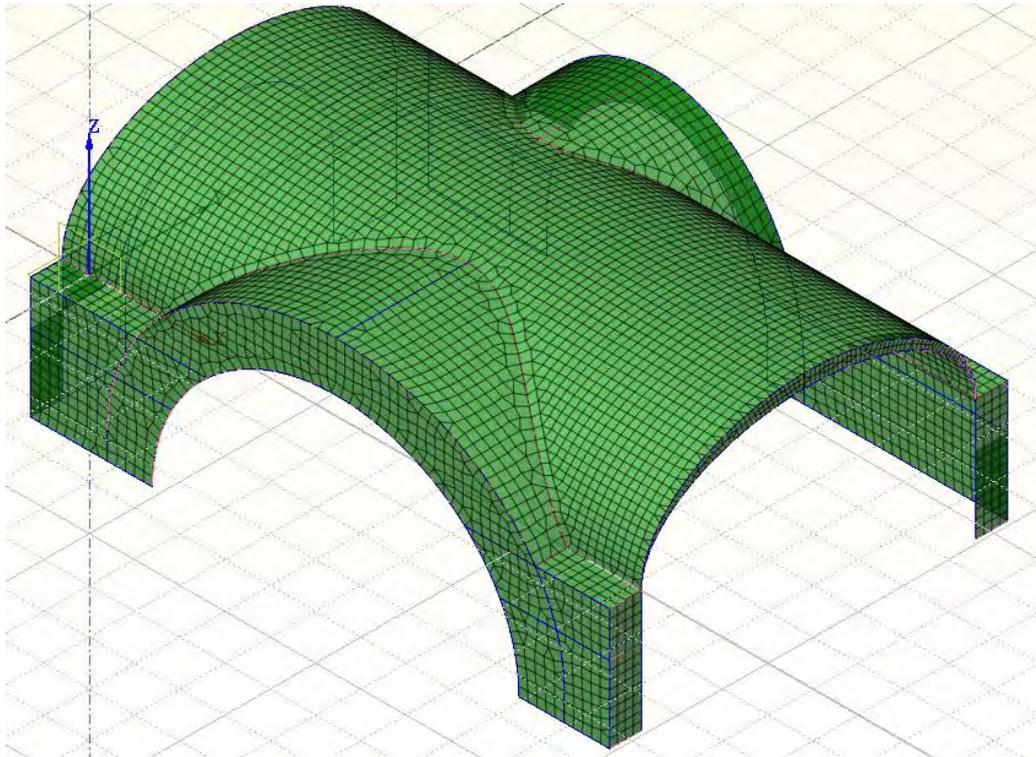


Figura 9.4: modello geometrico meshato della volta n.1 “Volta Calzaturificio”

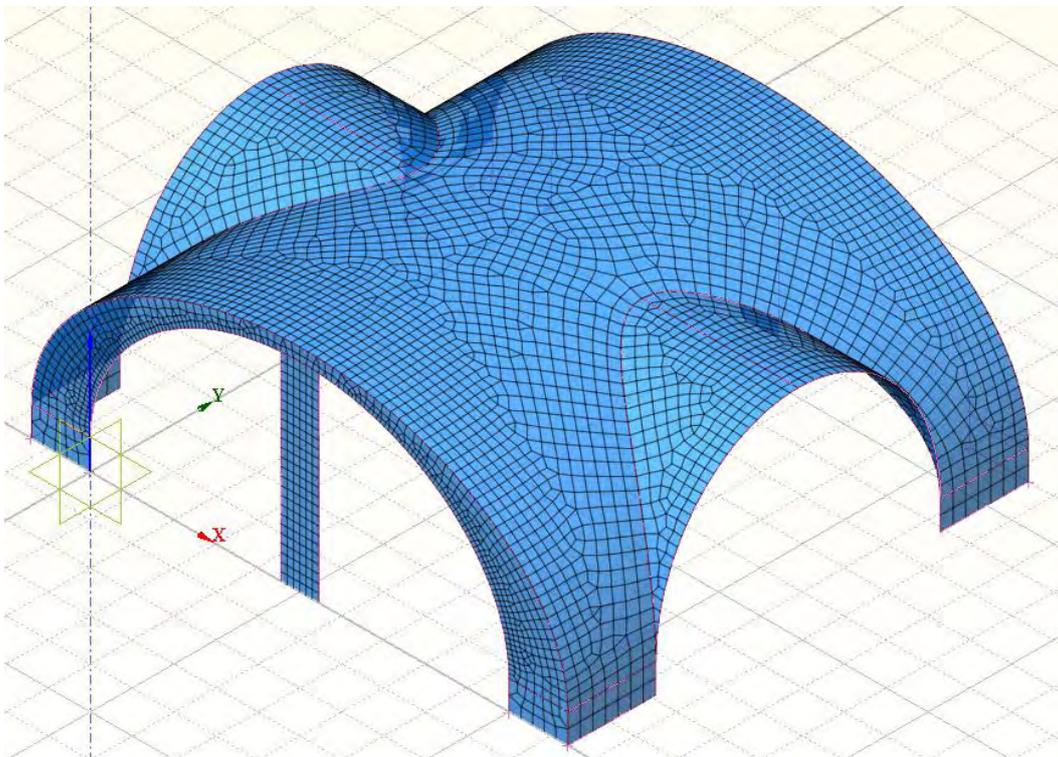


Figura 9.5: modello geometrico meshato della volta n.2 “Volta con pilastro”

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

9.7 Solette piane in latero-cemento

Nel fabbricato in muratura sono presenti solette latero-cementizie su tutti i livelli:

- piano terra: controsoffitti delle volte nella maggior parte dei locali (come illustrato in Figura 7.6)
- piano primo: soletta di sottotetto in sostituzione delle volte seicentesche
- piano secondo (mezzanino): soletta di sottotetto
- tetto: soletta di copertura in sostituzione del tetto originale in legno.

Le solette sono state tutte presumibilmente realizzate durante i lavori degli anni '60.

Negli archivi comunali non è stato purtroppo possibile reperire la documentazione originale di tali opere.

Dall'analisi visiva è stato comunque possibile risalire alla tipologia impiegata, molto diffusa ai tempi: travetti precompressi tipo RDB con interasse 50 cm con interposte pignatte.

Con riferimento alle pubblicazioni RDB del periodo (il manualetto è successivo alla realizzazione delle solette in esame, ma riassume le pubblicazioni prodotte negli anni recedenti), è possibile risalire alle seguenti tipologie impiegate:

- piano terra: 12 cm, solo rasatura senza soletta di completamento
- piano primo: 12 + 5 cm
- piano secondo (mezzanino): 12 + 5 cm
- tetto: 16.5 + 5 cm.



Figura 9.6: estratto dal manualetto RDB del 1973: scheda descrittiva dei solai Celersap precompresso

Non disponendo della documentazione originale non è possibile effettuare verifiche di dettaglio dei singoli campi di solaio.

Le forniture dalle RDB venivano effettuate da catalogo, in base alla luce ed ai carichi forniti. Nel caso in esame, le solette risultano soggette ai pesi propri, a carichi permanenti modesti (intonaco per le solette

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

intermedie, manto di copertura per il tetto) ed a carichi di esercizio limitati (sostanzialmente il carico di manutenzione per le solette intermedie ed il carico neve per la copertura).

In considerazione di queste evidenze e dell'affidabilità con cui operava la ditta prefabbricatrice, anche qualora fossero stati utilizzati, per ogni lunghezza prevista, i travetti caratterizzati da minore portata, non si dovrebbero riscontrare carenze strutturali.

SOLAI CELERSAP P. INTERASSE 50 cm										VALORI RIFERITI AD 1 METRO DI STRUTTURA									
Altezza dello H	Peso Nodi e travetti	Complemento in opera	MOMENTI MAX DI SERVIZIO RIFERITI ALLA STRISCIA DI SOLAIO LARGA 1 METRO							Altezza utile al momento negativo	parzializzata			tutta reagente				Resistenze formiche	
			Kg/m								h	x	J	W _s	W _i	X _c	A _c	Mom. d'inert. baricentrico	Calce e f. alla base
cm	Kg/mq	lt/mq								cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm ²	cm ⁴	f ₁	f ₂
12	14	110	471	602	628	780	804	901	10,50	4,94	6860	1388	648	5,60	666	9882	0,22	0,21	
12+3	80	44	175	729	932	971	1207	1243	13,50	5,29	14592	2757	1002	6,67	966	21726	0,24	0,23	
12+5	64	220	869	1106	1193	1482	1527	1829	15,50	5,78	20703	3579	1231	7,35	1166	31533	0,26	0,25	
16,5	25	150	819	1046	1091	1355	1395	1592	15	6,73	16489	2451	1125	8,34	853	23420	0,31	0,29	
16,5+3	55	215	1025	1302	1499	1827	1919	2298	18	6,69	29702	4436	1546	8,78	1153	45124	0,33	0,31	
16,5+5	75	260	1150	1458	1726	2046	2188	2650	20	6,96	38962	5602	1787	9,33	1353	61487	0,35	0,33	
20	33	175	1056	1341	1493	1855	1910	2244	18,50	8,02	27677	3452	1540	10,12	971	39853	0,36	0,34	
20+3	63	240	1244	1575	1866	2210	2363	2862	21,50	7,67	45719	5962	1988	10,38	1271	71058	0,38	0,36	
20+5	83	285	1369	1732	2054	2429	2598	3143	23,50	7,83	57704	7368	2241	10,84	1471	93515	0,40	0,38	
25	44	220	1369	1732	2054	2429	2598	3143	23,50	9,40	50854	5409	2173	12,61	1277	79082	0,49	0,46	
25+3	74	285	1557	1966	2335	2757	2950	3565	26,50	8,91	75640	8491	2641	12,92	1577	127671	0,51	0,48	
25+5	94	330	1682	2123	2523	2976	3184	3679	28,00	8,96	91563	10219	2901	13,36	1777	162156	0,53	0,50	

CARATT. DEI TRAVETTI 9/12								No	
Peso Kg/ml 15								Centrassegno che individua il tipo d'armatura	
0,32	0,40	0,48	0,56	0,60	0,72	0,84	A _p = cm ²	Area armatura metallica contenuta nel travetto	
3,10	2,84	3,10	2,80	2,84	2,67	2,71	Y _a = cm	Distanza baricentro arm. dal lembo inferiore del travetto	
-32,02	-26,43	-46,88	-32,94	-39,37	-32,58	-41,11	σ _{bps} = Kg/cm ²	Precompressione al lembo superiore del travetto	
-56,31	-76,53	-80,48	-103,98	-107,59	-132,12	-146,72	σ _{bpi} = Kg/cm ²	Precompressione al lembo inferiore del travetto	
5,54	5,55	5,54	5,56	5,56	5,57	5,58	X _i = cm	Distanza baricentro sezione ideale al lembo superiore	
							J _i = cm ⁴	Momento d'inerzia baricentrico sez. ideale del travetto	

4) Viene prodotto su ordinazione

Figura 9.7: estratto dal manuale RDB del 19xx: momenti di servizio per i solai Celersap precompresso

9.7.1 Lesioni da carichi elevati/anomali

Il quadro fessurativo delle solette di sottotetto descritto al §5.3.1 è dovuto alla presenza di elementi in calcestruzzo armato nel sottotetto ed in copertura.

Tali elementi sono stati inseriti durante i lavori di sostituzione delle volte di sottotetto e della copertura, durante i quali il progettista ha ritenuto opportuno legare la struttura muraria con elementi in calcestruzzo armato, che tuttavia trasmettono carichi concentrati elevati sulla muratura sottostante.

In alcuni casi, lo scarico avviene in corrispondenza degli architravi delle finestre, sui quali sono presenti ampie lesioni, che confermano che il carico non viene trasmesso in modo opportunamente ripartito.

In assenza di più accurate informazioni sulle modalità realizzative degli elementi in calcestruzzo del sottotetto e della copertura e sulla effettiva azione concentrata trasmessa, non è possibile effettuare verifiche locali. Tuttavia, il quadro fessurativo è evidente e risulta quindi necessario un intervento di consolidamento degli architravi lesionati, al fine di ripartire in modo più uniforme il carico concentrato su di essi gravanti.

Nell'impossibilità di eliminare completamente le problematiche indotte dall'attuale copertura (per fare ciò occorrerebbe ripristinare l'originario tetto ligneo, attuando tutti gli accorgimenti necessari per renderlo non spingente), sarebbe opportuna un'analisi più accurata di sottotetto e copertura, prevedendo piccole demolizioni locali per consentire di verificare la presenza di altre eventuali zone critiche (oltre a quelle individuate dall'intradosso), per poter quindi definire un intervento globale sulla copertura, al fine di limitare le problematiche da essa causate.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

10. MODELLO NUMERICO DELLA STRUTTURA IN MURATURA E CALCOLO DELLA RISPOSTA STATICA E SISMICA

La procedura di calcolo mediante analisi statica non lineare come precisato nel Capito 7 delle Norme Tecniche (integrate da quanto indicato nella circolare applicativa) permette di considerare contemporaneamente più tecnologie costruttive. In questo modo è possibile utilizzare un unico modello che comprenda sia la muratura sia la struttura in calcestruzzo armato al piano rialzato.

La procedura di calcolo, come già indicato, farà riferimento ad un modello a telaio equivalente ed alla procedura di analisi statica non lineare menzionata nel Capito 7 delle Norme Tecniche, integrata da quanto indicato nella circolare applicativa.

10.1 Modello numerico di riferimento

La modellazione del fabbricato, ai fini della risposta globale, è stata condotta con il software TREMURI secondo uno schema a telaio equivalente. Gli elementi resistenti maschi murari e fasce di piano sono modellati come macroelementi non lineari; gli elementi aggiuntivi in acciaio, legno o c.a. seguono anch'essi un approccio non lineare. Le pareti mutuamente connesse sono collegate mediante membrane ortotrope a modellazione dei solai.

L'edificio risulta inserito in corpo di fabbrica ancor più ampio costituito dal seminario (attuale scuola) e dalla chiesa di Sant'Ignazio. La chiesa è poi a sua volta parzialmente collegata al centro storico di Castelnuovo Scrivia. Sul cortile interno vi è poi la palestra in calcestruzzo armato costruita negli anni '70 ed analizzata nel presente documento,

Si è reputato di operare la modellazione del solo corpo di fabbrica dell'ex collegio gesuitico, attuale scuola dell'infanzia e primaria comprendendo anche la sala Pessini. Si è invece reputato di non modellare in dettaglio la chiesa poiché è una struttura con ampie facciate soggette prevalentemente a risposte locali e con una risposta sismica differente da quella della scuola. Del resto il livello di conoscenza acquisito sul fabbricato oggetto di studio non è immediatamente estendibile alla chiesa e pertanto si sarebbe dovuto procedere con un livello minore o effettuare nuove indagini.

L'approccio seguito è pertanto conforme a quanto indicato al paragrafo 8.7.1 delle NTC08:

“In presenza di edifici in aggregato, contigui, a contatto od interconnessi con edifici adiacenti, i metodi di verifica di uso generale per gli edifici di nuova costruzione possono non essere adeguati. Nell'analisi di un edificio facente parte di un aggregato edilizio occorre tenere conto delle possibili interazioni derivanti dalla contiguità strutturale con gli edifici adiacenti. A tal fine dovrà essere individuata l'unità strutturale (US) oggetto di studio, evidenziando le azioni che su di essa possono derivare dalle unità strutturali contigue.

L'US dovrà avere continuità da cielo a terra per quanto riguarda il flusso dei carichi verticali e, di norma, sarà delimitata o da spazi aperti, o da giunti strutturali, o da edifici contigui strutturalmente ma, almeno tipologicamente, diversi. Oltre a quanto normalmente previsto per gli edifici non disposti in aggregato, dovranno essere valutati gli effetti di: spinte non contrastate causate da orizzontamenti sfalsati di quota sulle pareti in comune con le US adiacenti, meccanismi locali derivanti da prospetti non allineati, US adiacenti di differente altezza.”

Nello specifico la chiesa non presenta orizzontamenti significativi in termini di rigidità per cui la sua rigidità può essere modellata unicamente in termini di elementi verticali. Tali elementi, a favore di sicurezza, si considerano reagenti solo per azioni di compressione, ovvero non si reputa l'ammorsamento fra

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

scuola e chiesa efficace; in tal modo le analisi in spinta nel verso della chiesa beneficeranno della rigidità di quest'ultima mentre le analisi nel verso opposto non avranno alcun contributo.

Lo stesso approccio è stato seguito per la palestra: in questo caso l'addossamento interessa solo il piano terreno. Nuovamente non figurano orizzontamenti significativi in contiguità con la scuola per cui il contributo è nuovamente modellabile in termini di rigidità delle strutture verticali (nello specifico i pilastri in calcestruzzo armato).

Nel modello sono quindi stati inseriti dei pilastri "fittizi" con la rigidità delle strutture contigue, collegati con delle fasce murarie "ad hoc" tali da rappresentare un elemento "puntone" ovvero un contrasto efficace unicamente in compressione che diviene inefficace in trazione.



Figura 10.1: Vista aerea dell'edificio: si nota il corpo principale dell'ex seminario (attuale sede delle scuole) e contigui la palestra (in blu) e la chiesa (in rosso).

Nella figura seguente si riportano due viste 3D nel modello TREMURI dell'edificio oggetto di analisi, in cui è possibile distinguere gli elementi inseriti al posto della palestra e della chiesa. La Figura 10.3 riporta invece l'esploso dei vari livelli.

Lo schema di posizionamento delle varie pareti del modello e i dettagli del telaio equivalente adottato per ciascuna parete sono riportati nelle figure che seguono.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

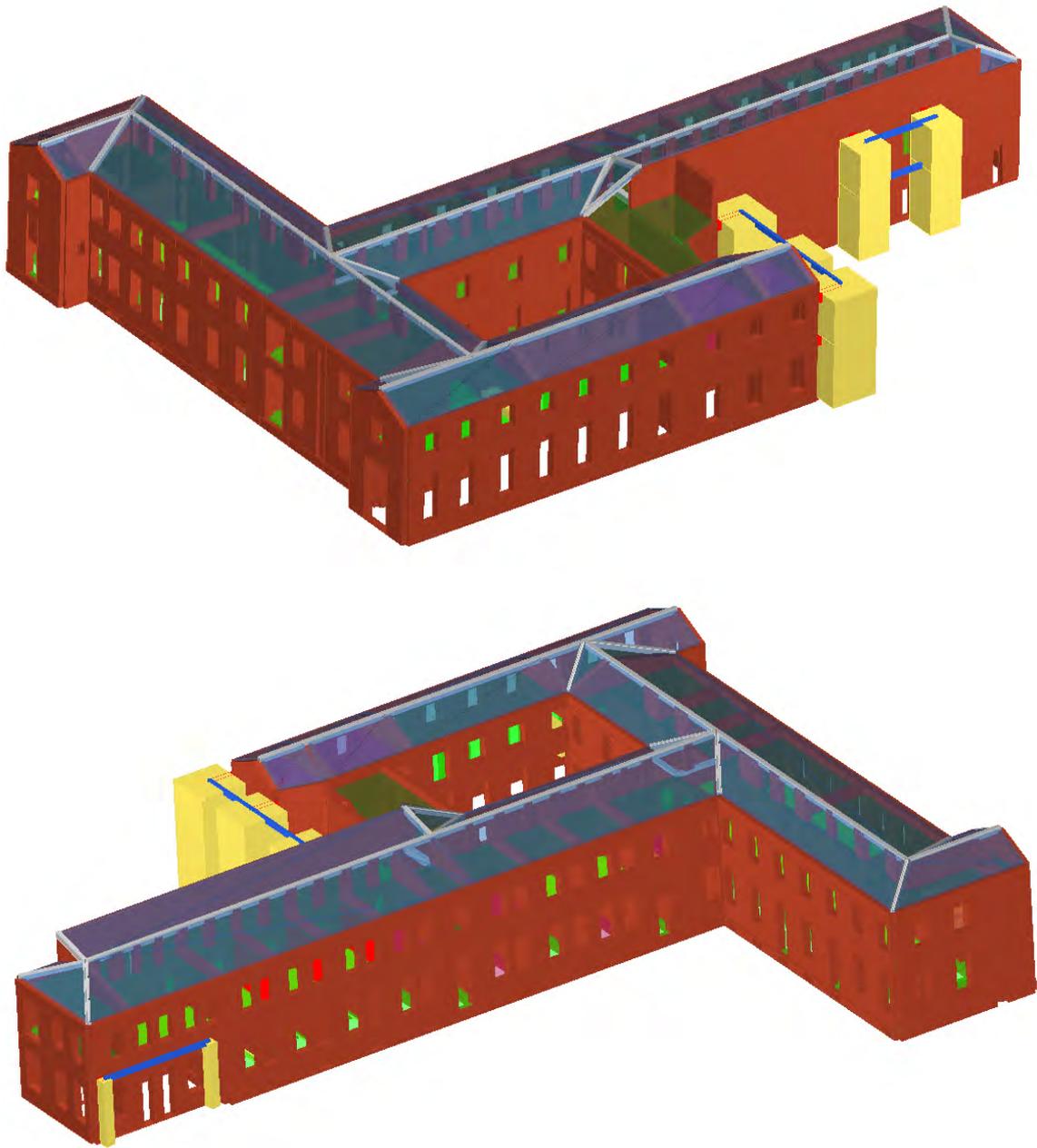


Figura 10.2: Modello 3D dell'edificio oggetto di analisi (i pilastri in giallo rappresentano gli elementi inseriti al posto della palestra e della chiesa)

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

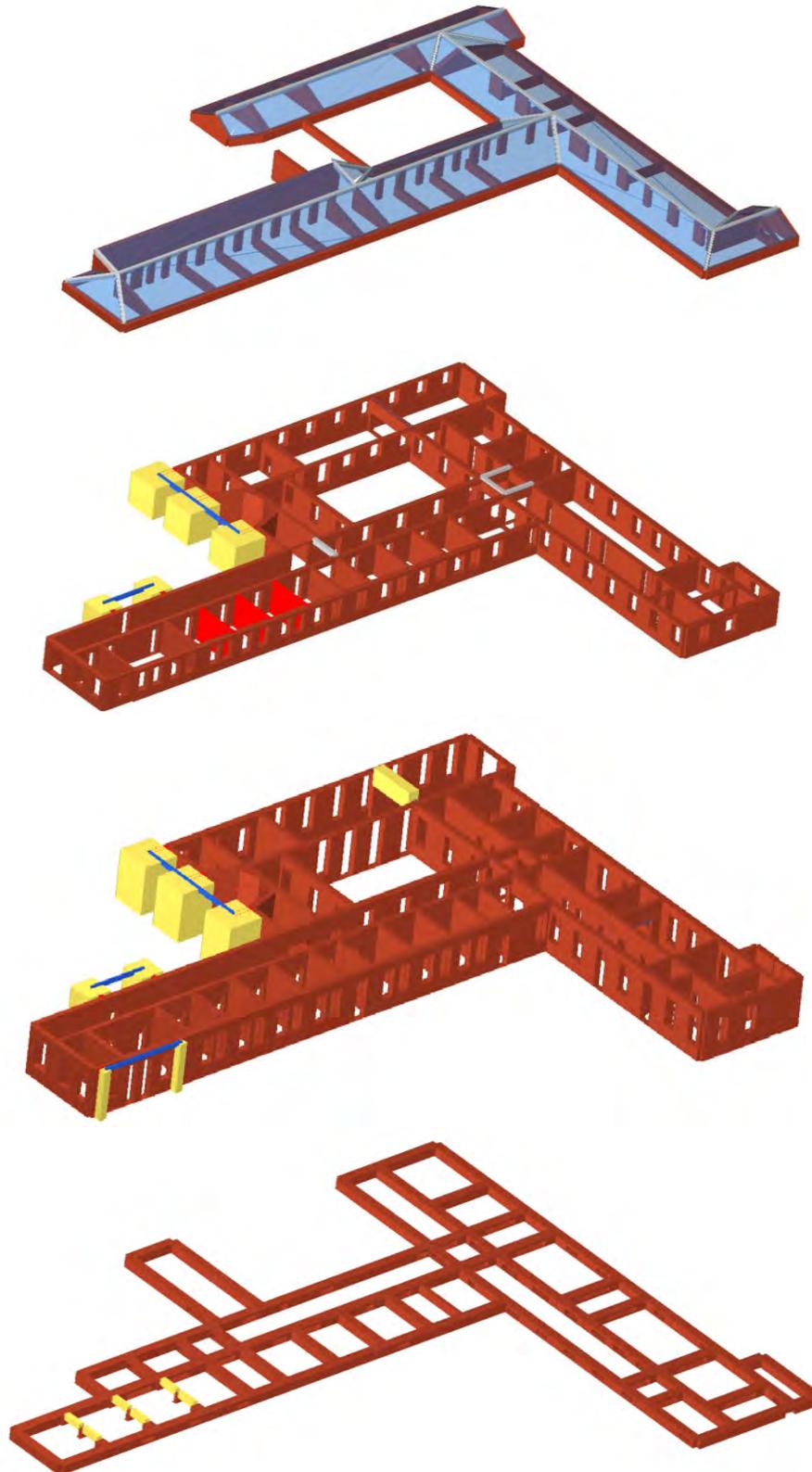


Figura 10.3: Esploso dei livelli

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

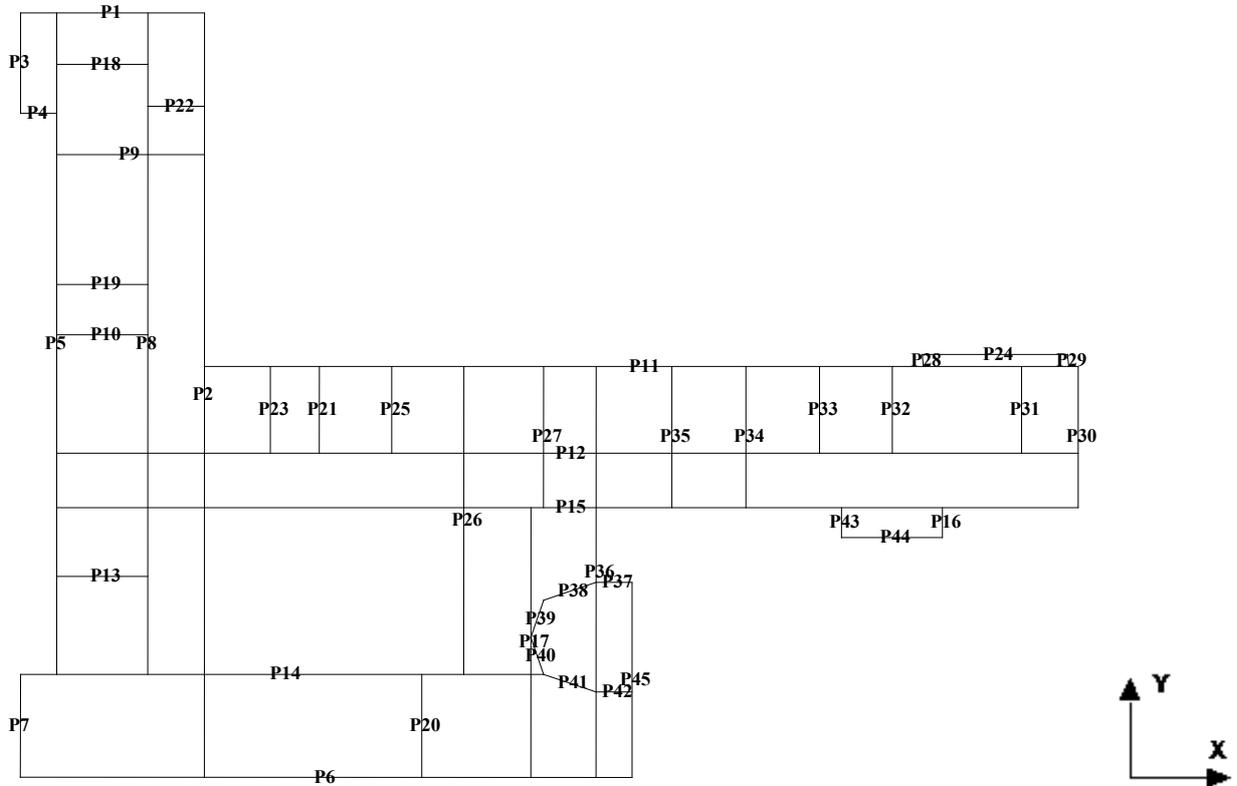
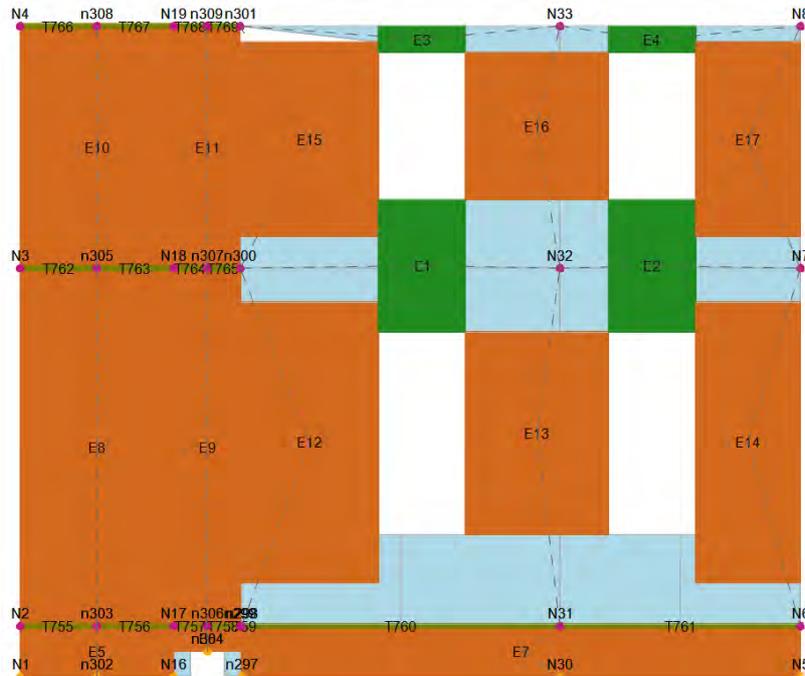
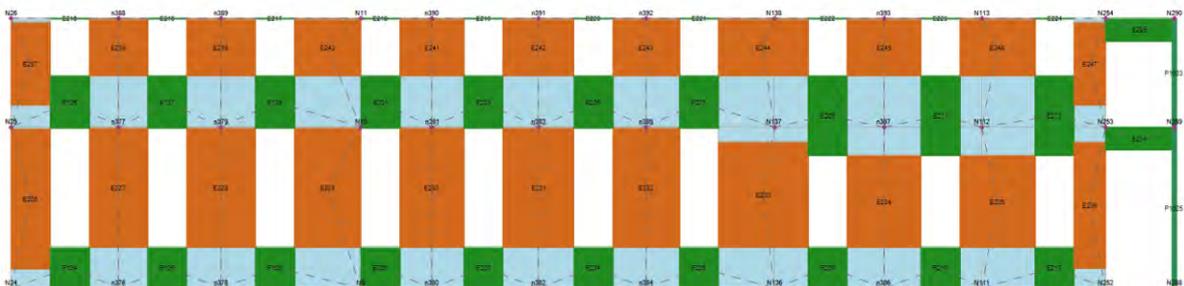
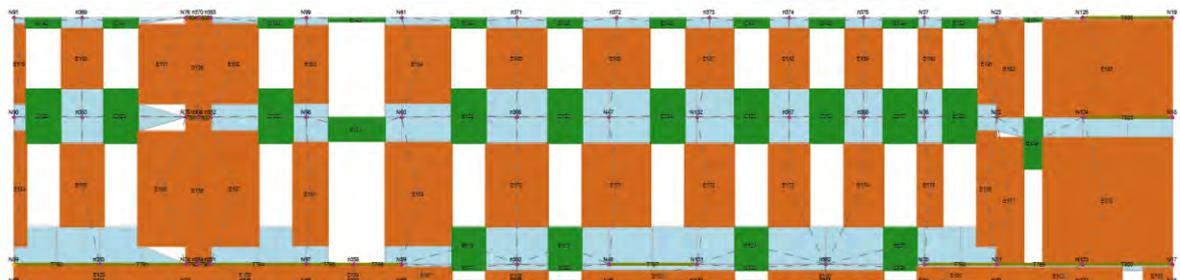
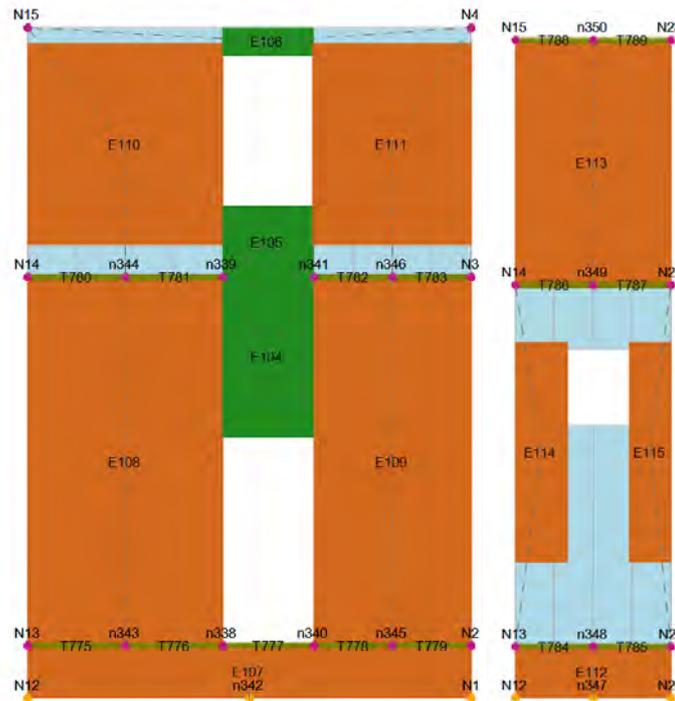
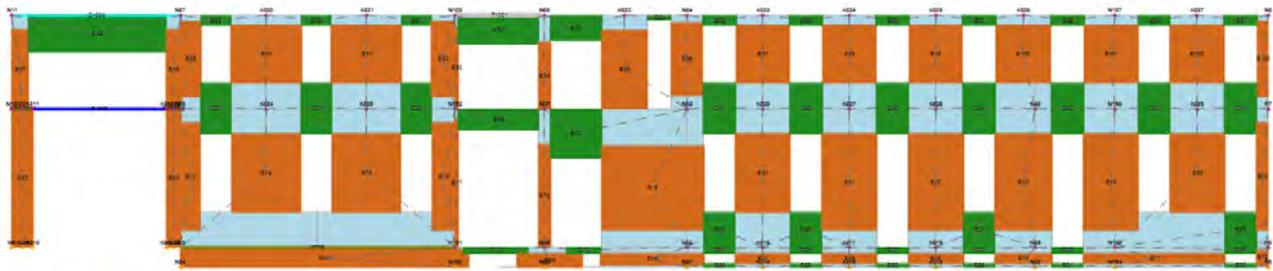
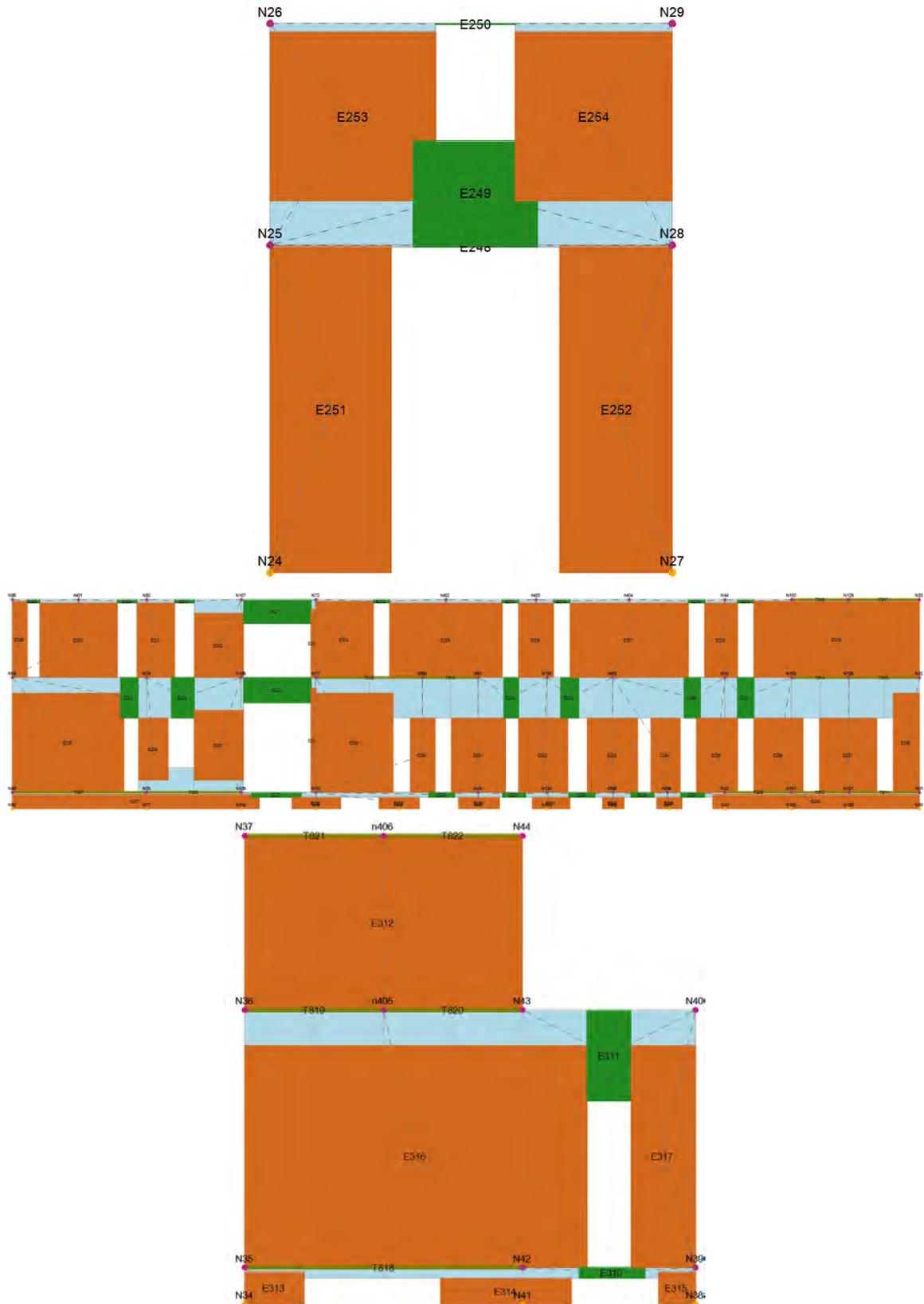


Figura 10.4: Schema di posizionamento delle pareti

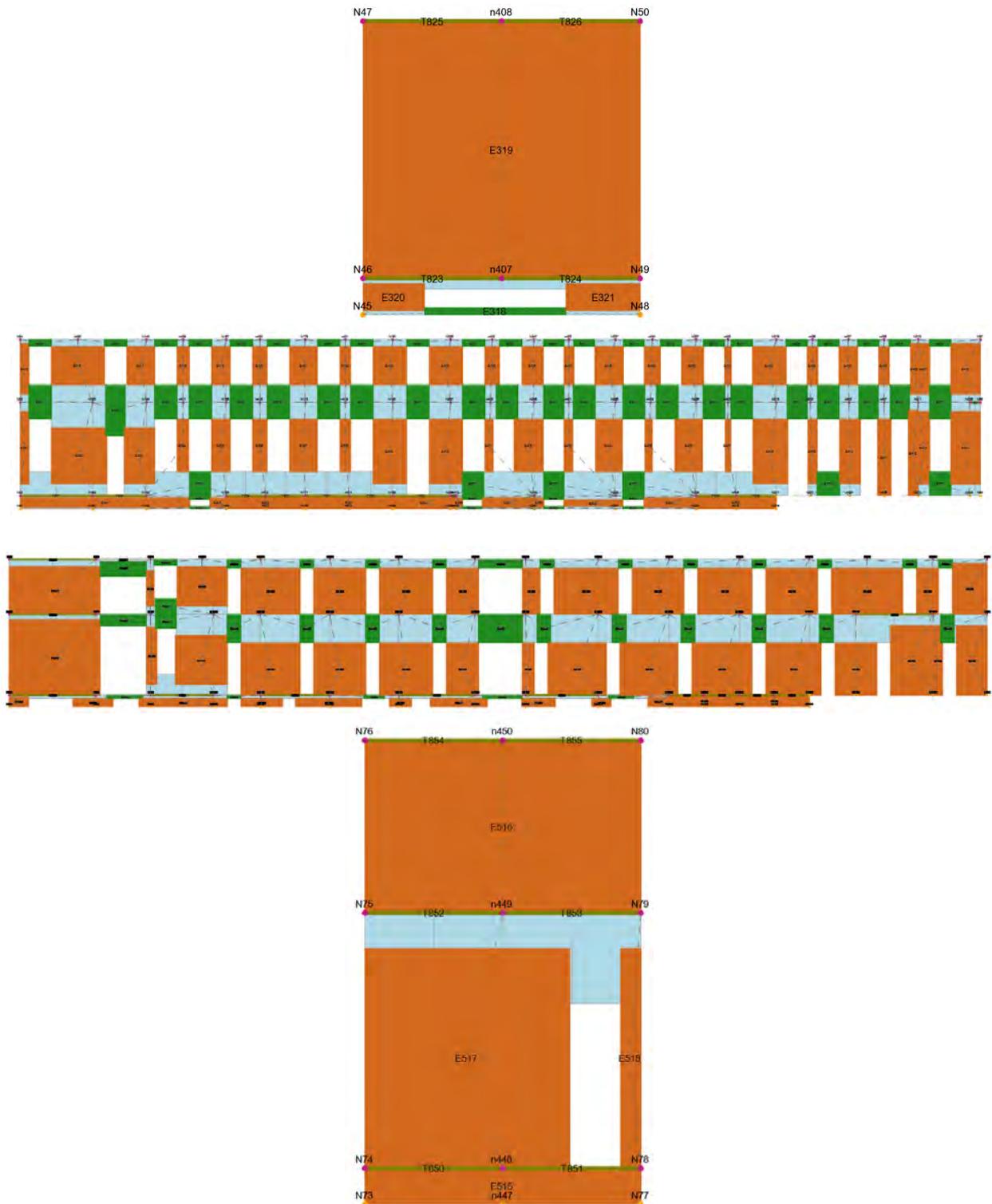




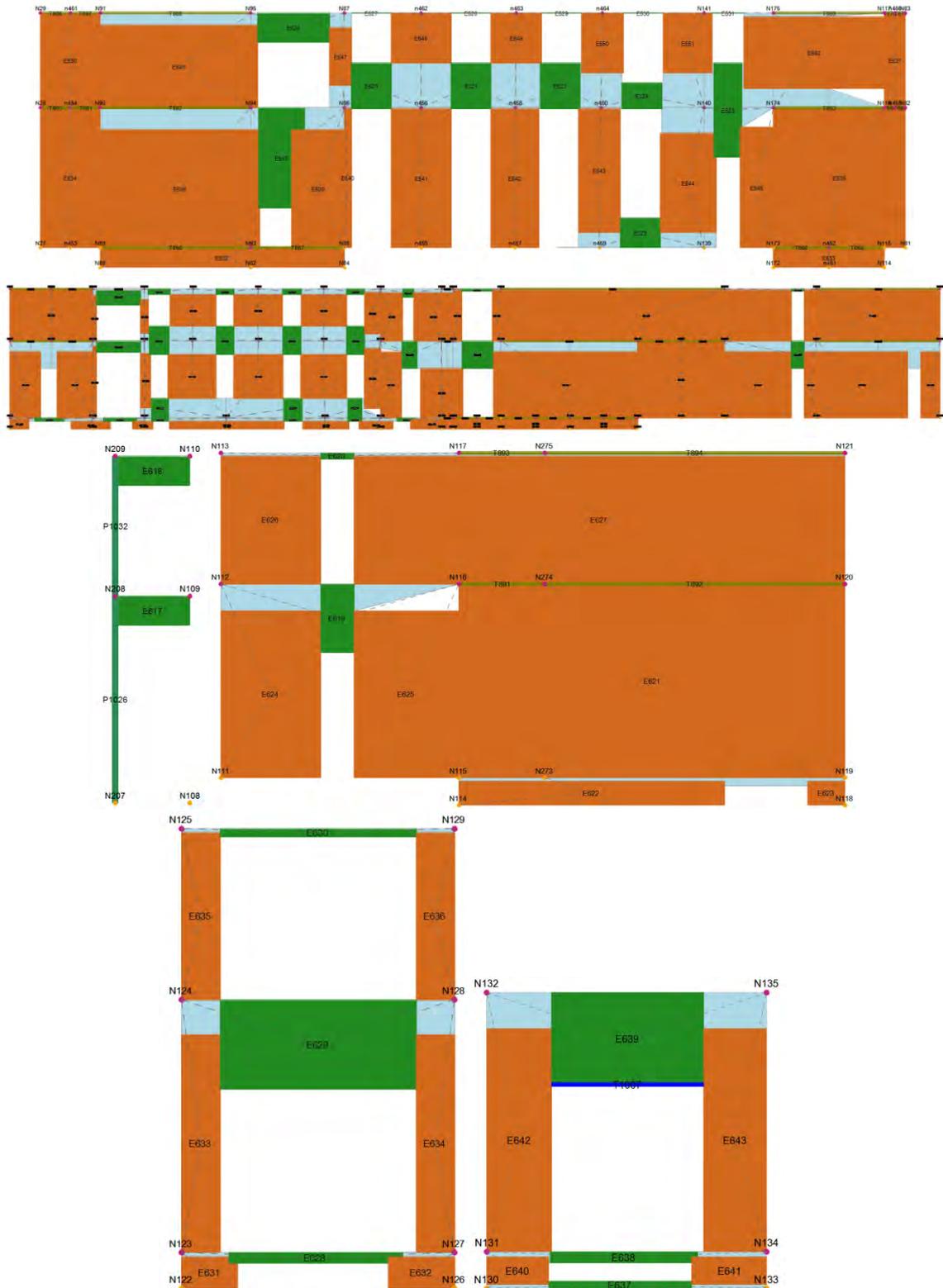
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



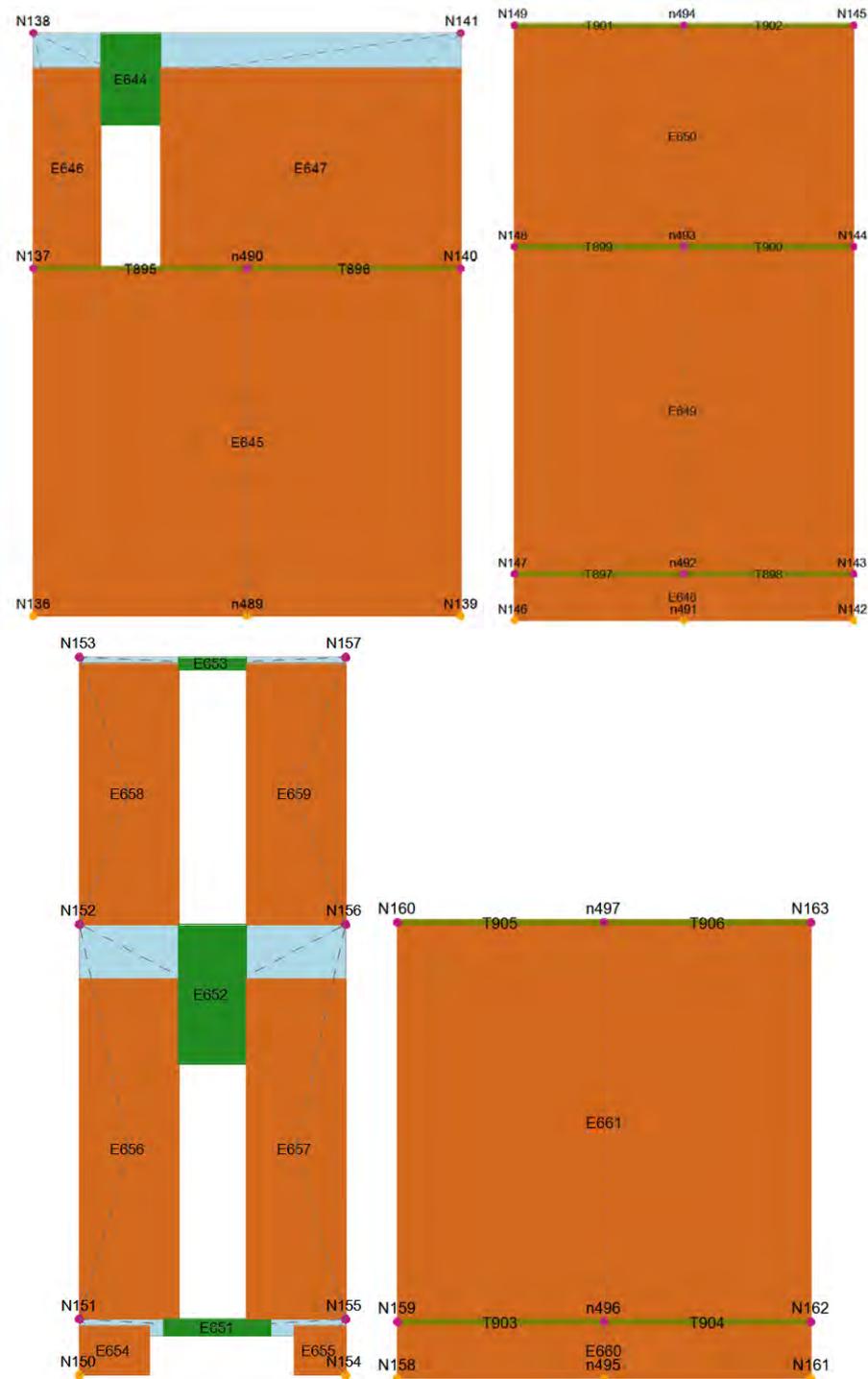
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



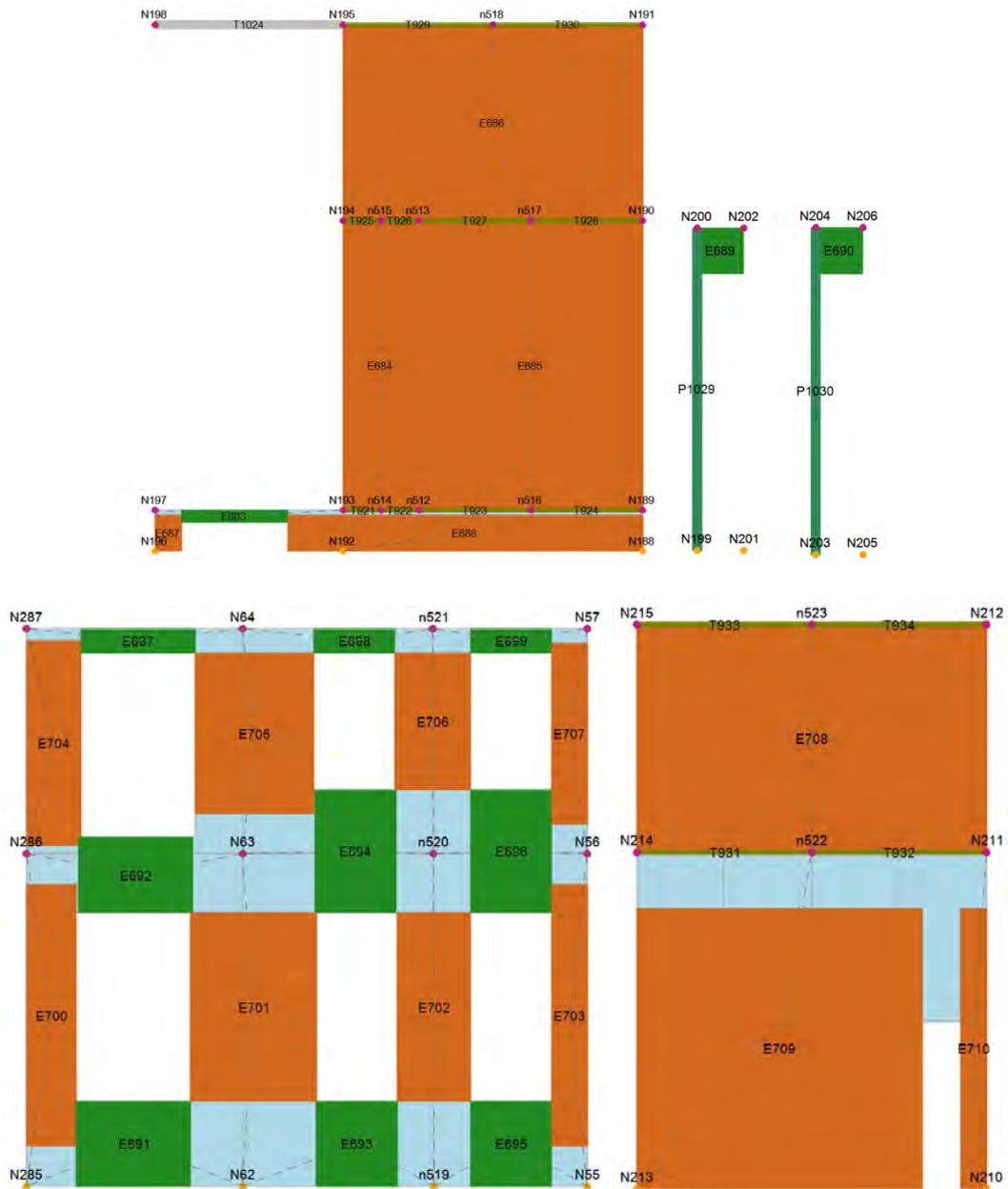
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



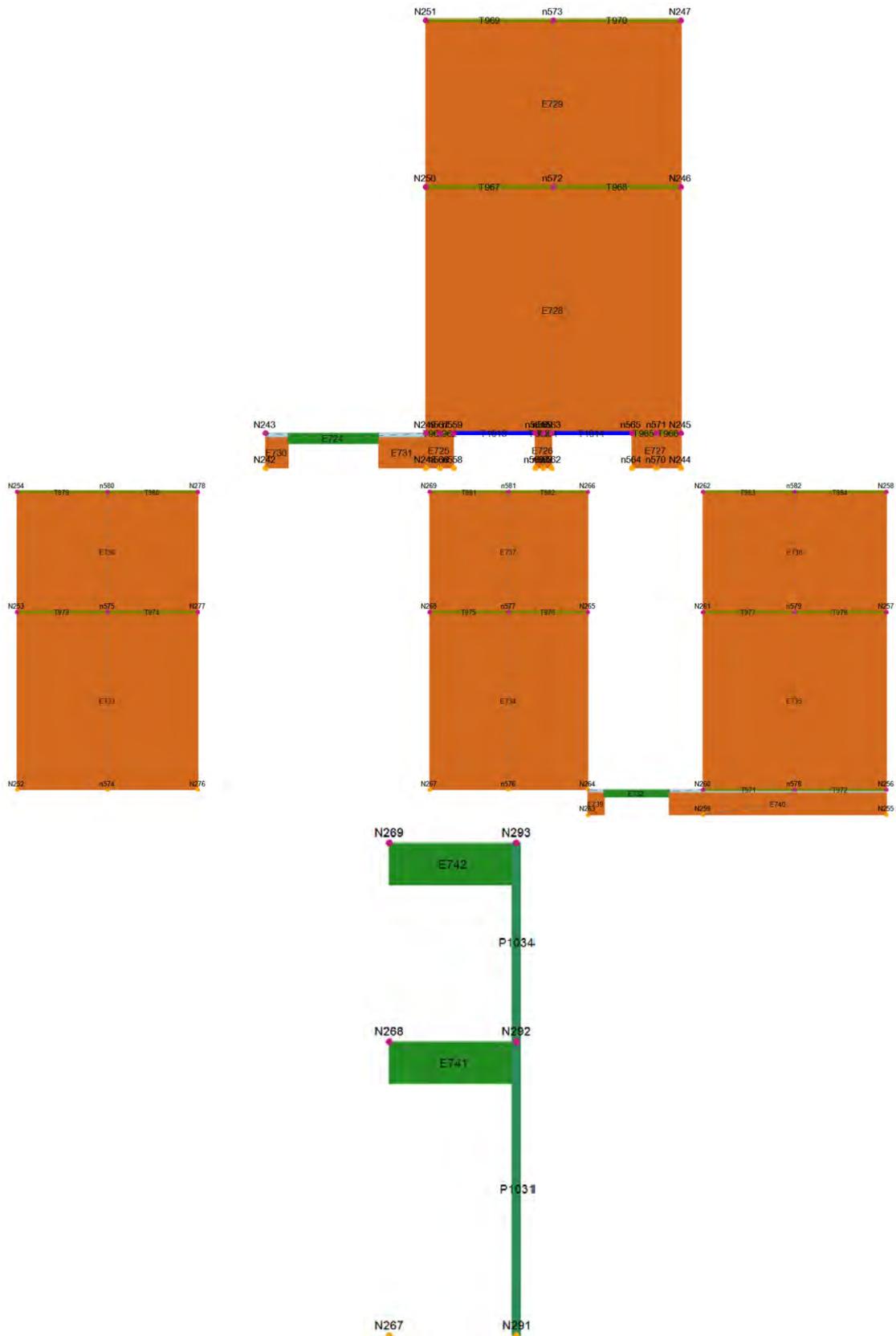
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017



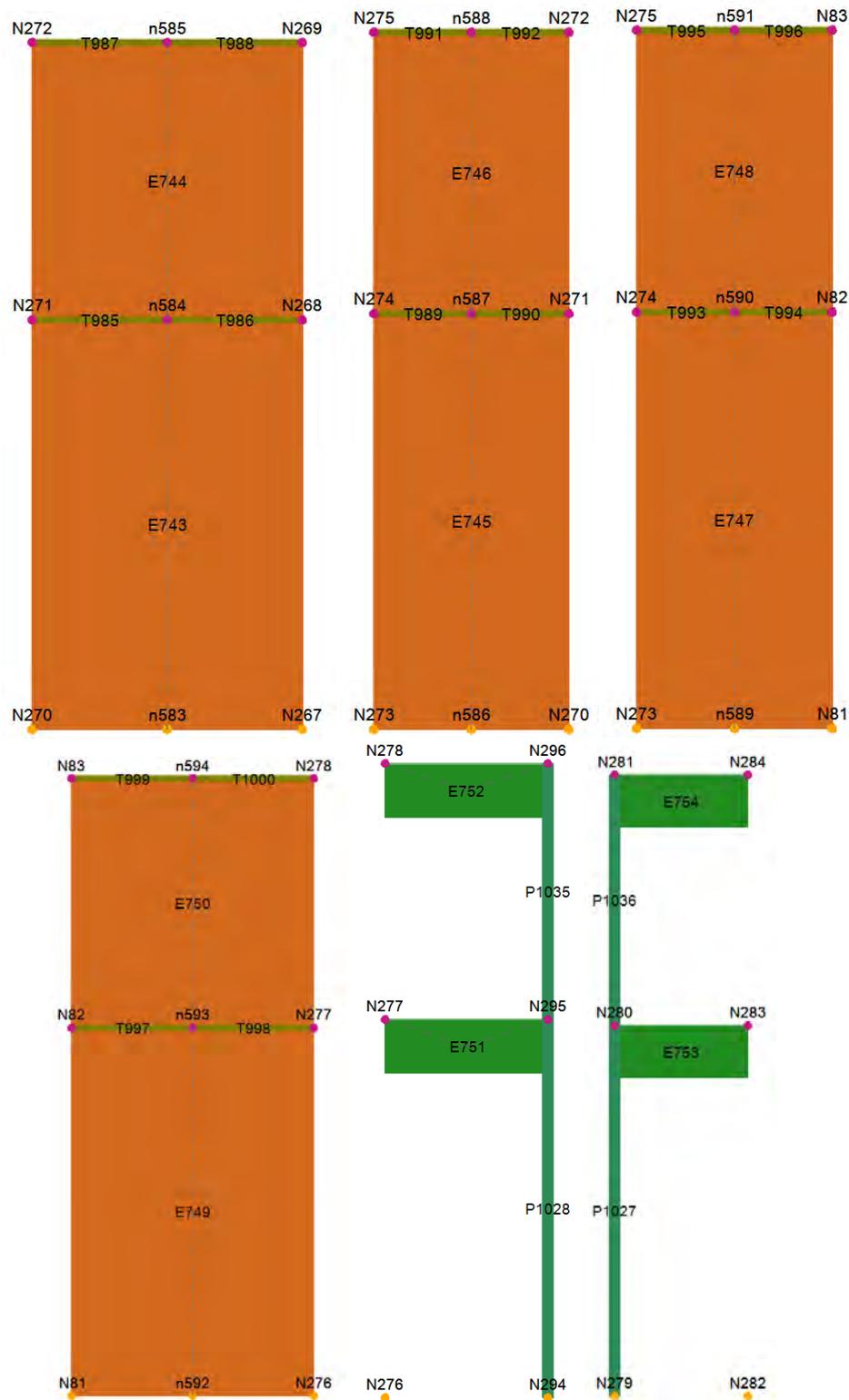
Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

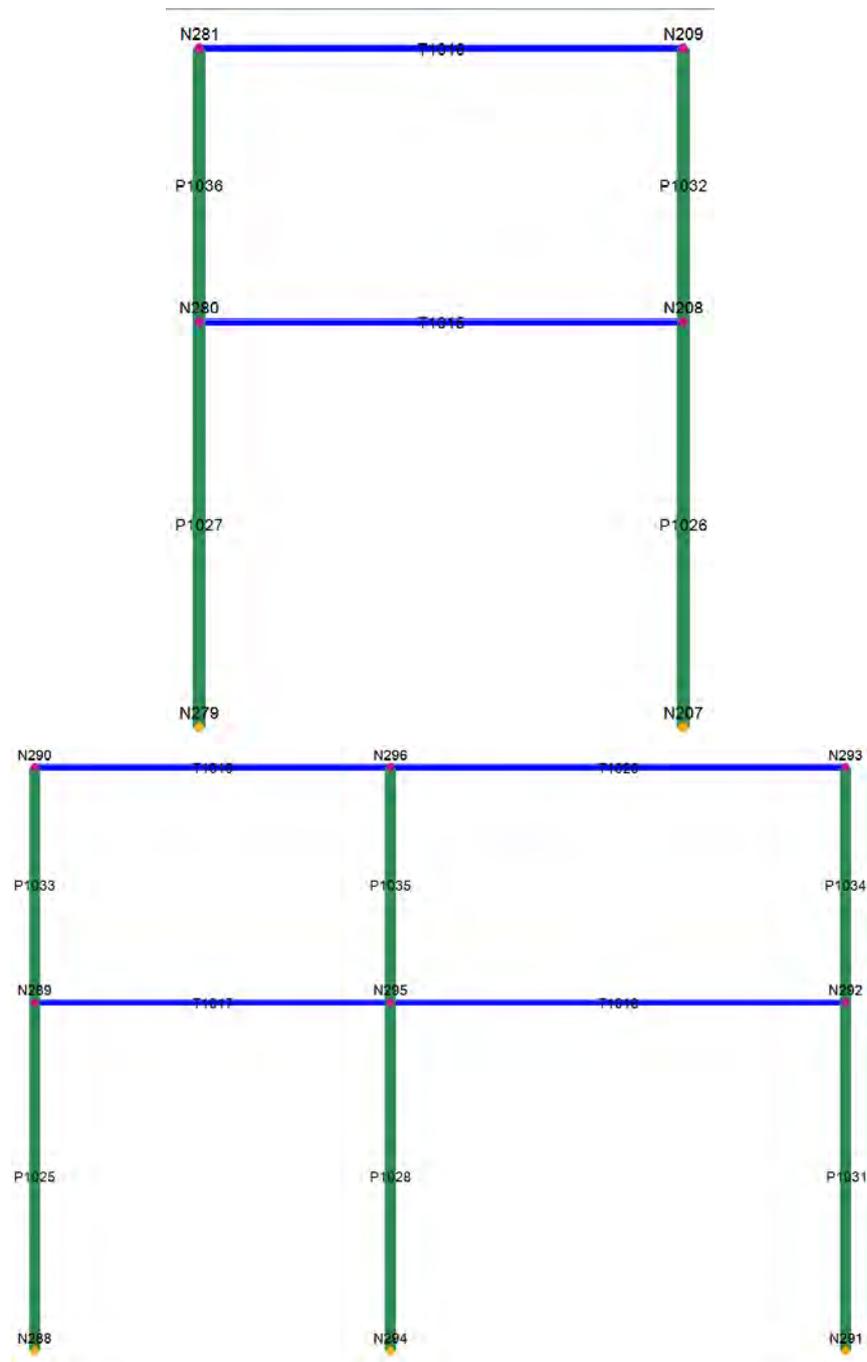


Figura 10.5: Telai equivalenti (le pareti si susseguono secondo l'ordine di numerazione da 1 a 45)

Mediante tale modello si è proceduto alla valutazione delle vulnerabilità specifiche del fabbricato in termini di carichi verticali (verifica statica) ed al calcolo del livello di sicurezza espresso dagli indicatori di rischio, calcolati sia rispetto alla risposta globale sia rispetto ai meccanismi locali. La vulnerabilità sismica del fabbricato è rappresentata dalla minima delle due risposte.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

10.2 Verifiche statiche per le murature

Le verifiche sono condotte con il metodo proposto nel punto 4.5.4 delle norme tecniche in cui si deve verificare:

- Snellezza della muratura
- Eccentricità dei carichi
- La verifica al carico verticale

La verifica di snellezza è eseguita in accordo con quanto riportato al punto 4.5.4. del D.M.2008: si definisce snellezza di una muratura il rapporto h_0/t in cui:

- h_0 : lunghezza libera di inflessione del muro pari a $r \cdot h$;
- t : spessore del muro
- h : l'altezza interna di piano
- ρ : il fattore laterale di vincolo.

La verifica di snellezza risulta soddisfatta se risulta verificata la seguente relazione: $h_0/t < 20$ che permette di trovare valori ammissibili nella tabella 4.5.III del D.M.2008.

La verifica ai carichi verticali è subordinata alle seguenti condizioni precisate nella formula (4.5.12) del D.M.2008:

- $e_1/t \leq 0.33$
- $e_2/t \leq 0.33$

in cui:

- t : spessore del muro
- $e_1 = |e_s| + |e_a|$
- $e_2 = e_1/2 + |e_v|$
- e_s : eccentricità totale dei carichi verticali
- $e_a = h/200$
- e_v : eccentricità dovuta al vento $e_v = M_v / N$

La verifica ai carichi verticali risulta soddisfatta qualora risulti verificata la seguente: $N_d \leq N_r$ in cui:

- N_d : carico verticale agente
- N_r : carico verticale resistente; $N_r = \Phi f_d A$
- A : area della sezione orizzontale del muro al netto delle aperture;
- f_d : resistenza di calcolo della muratura;
- Φ : coefficiente di riduzione della resistenza del muro

Queste verifiche sono state eseguite in ogni maschio murario della struttura, nelle tre sezioni principali (inferiore, centrale, superiore).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

I valori dello sforzo normale resistente saranno calcolabili solamente se le verifiche di snellezza ed eccentricità dei carichi risultano soddisfatte.

Si assumerà un fattore di vincolo laterale ρ unitario a favore di sicurezza, pertanto la snellezza convenzionale sarà valutata con riferimento all'interpiano stesso che fornirà il valore h_0 .

Il valore di Φ è valutato in automatico dal programma per ogni maschio murario, procedendo quindi, sempre in automatico, alla verifica nelle sezioni di interesse (superiore, centrale ed inferiore) della normale agente N_d rispetto alla normale resistente N_r . Quest'ultima è calcolata moltiplicando la sezione per la resistenza di progetto f_d e per il fattore riduttivo Φ .

Il valore di f_d per la muratura esistente è valutato considerando il coefficiente parziale di sicurezza γ_M a riduzione della resistenza valutata con il fattore di confidenza di LC2. L'uso del valor medio della resistenza ridotto col fattore di confidenza in luogo del valore caratteristico come invece indicato nel capitolo 4 di NTC08 e motivato dal fatto che quest'ultimo non è significativo per il calcolo di struttura esistente in cui il materiale, a meno delle incertezze dovute alla conoscenza è certo. Tale procedura è giustificata inoltre da quanto riportato nel paragrafo C8.7.1.7 della circolare 617/2009. Il paragrafo è relativo al calcolo di edificio semplice tuttavia propone una corrispondenza fra il valore caratteristico, usato nel calcolo del nuovo ed il valore medio usato nel calcolo dell'esistente.

È consentito applicare le norme semplificate di cui al § 7.8.1.9 delle NTC, utilizzando al posto della resistenza caratteristica a compressione f_k il valore medio f_m , diviso per il fattore di confidenza.

Complessa è anche la scelta del coefficiente parziale di sicurezza γ_M : nuovamente il testo normativo è lacunoso in ambito di calcolo su esistente. Il coefficiente parziale di sicurezza γ_M è definito al paragrafo 4.5.6.1 mediante la tabella Tabella 4.5.II. L'approccio è però applicabile solo al nuovo poiché le riduzioni sono possibili nel caso di controllo delle fasi costruttive in base alle procedure normalizzate odierne. In tal senso resterebbe applicabile solo il valore massimo di γ_M pari a 3. Tale valore comporterebbe dunque un valore di calcolo pari a:

$$f_d = \frac{f_{md}}{\gamma_M} = 0.71 \text{ MPa}$$

Il significato di tale riduzione nel caso di edifici nuovi è giustificata dall'incertezza dei processi di costruzione e dalla eventuale mancanza di certificazioni sui materiali. Nel caso in esame la struttura è già realizzata, le indagini svolte hanno permesso infatti di caratterizzare sia la tipologia sia le proprietà meccaniche della muratura. Si ritiene più verosimile applicare un coefficiente analogo a quanto previsto per il calcolo sismico dove il coefficiente di sicurezza γ_M è posto pari a 2:

$$f_d = \frac{f_{md}}{\gamma_M} = 1.07 \text{ MPa}$$

È presumibile che la revisione delle norme tecniche attualmente in corso superi l'attuale carenza di indicazioni circa l'applicazione delle specifiche di calcolo previste per materiali di nuova costruzione nel caso si operi su edifici esistenti.

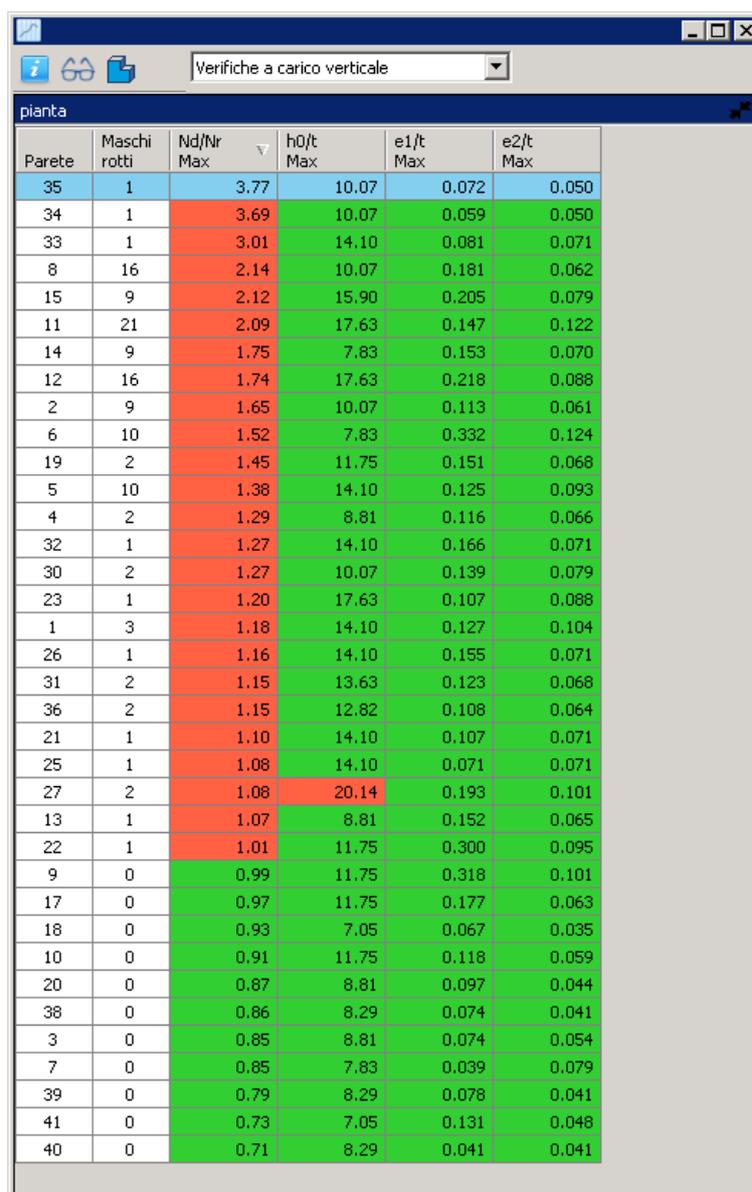
Il calcolo sarà eseguito in entrambe le ipotesi: γ_M pari a 3 e pari a 2.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Il programma procede inoltre a controllare i limiti di eccentricità e snellezza: per ogni maschio murario significativo, provvede cioè a verificare che l'eccentricità (e_1 ed e_2) indotta non ecceda il valore limite di $0.33 \cdot t$, dove t è lo spessore, come indicato nelle norme al punto (4.5.12), né che la snellezza $\lambda = h_0/t$ superi il valore massimo tabulato ovvero 20.

10.2.1 Risultanza delle verifiche nel caso più conservativo (γ_M pari a 3)

Le verifiche NON risultano soddisfatte in molteplici elementi: si veda il fascicolo dei calcoli strutturali per i dettagli (Allegato 14). Nella figura seguente si riporta la tabella prodotta dal programma con l'esito delle verifiche statiche su ogni parete.



Parete	Maschi rotti	Nd/Nr Max	h_0/t Max	e_1/t Max	e_2/t Max
35	1	3.77	10.07	0.072	0.050
34	1	3.69	10.07	0.059	0.050
33	1	3.01	14.10	0.081	0.071
8	16	2.14	10.07	0.181	0.062
15	9	2.12	15.90	0.205	0.079
11	21	2.09	17.63	0.147	0.122
14	9	1.75	7.83	0.153	0.070
12	16	1.74	17.63	0.218	0.088
2	9	1.65	10.07	0.113	0.061
6	10	1.52	7.83	0.332	0.124
19	2	1.45	11.75	0.151	0.068
5	10	1.38	14.10	0.125	0.093
4	2	1.29	8.81	0.116	0.066
32	1	1.27	14.10	0.166	0.071
30	2	1.27	10.07	0.139	0.079
23	1	1.20	17.63	0.107	0.088
1	3	1.18	14.10	0.127	0.104
26	1	1.16	14.10	0.155	0.071
31	2	1.15	13.63	0.123	0.068
36	2	1.15	12.82	0.108	0.064
21	1	1.10	14.10	0.107	0.071
25	1	1.08	14.10	0.071	0.071
27	2	1.08	20.14	0.193	0.101
13	1	1.07	8.81	0.152	0.065
22	1	1.01	11.75	0.300	0.095
9	0	0.99	11.75	0.318	0.101
17	0	0.97	11.75	0.177	0.063
18	0	0.93	7.05	0.067	0.035
10	0	0.91	11.75	0.118	0.059
20	0	0.87	8.81	0.097	0.044
38	0	0.86	8.29	0.074	0.041
3	0	0.85	8.81	0.074	0.054
7	0	0.85	7.83	0.039	0.079
39	0	0.79	8.29	0.078	0.041
41	0	0.73	7.05	0.131	0.048
40	0	0.71	8.29	0.041	0.041

Figura 10.6: Report del programma con i valori di verifica

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Assumendo il coefficiente di sicurezza più cautelativo la struttura presenterebbe gravi carenze di tipo statico. I coefficienti di sfruttamento (N_d/N_r) sono ampiamente superiori all'unità nella maggior parte delle pareti presenti, superando in alcune zone della fondazione il valore di 3 (ovvero il valore corrispondente al coefficiente di sicurezza del materiale)

Risulta disatteso il limite di eccentricità su un paramento murario che tuttavia risulta più assimilabile ad una tramezza.

Nella figura seguente si riporta una vista 3D del modello con indicazione degli elementi non verificati.

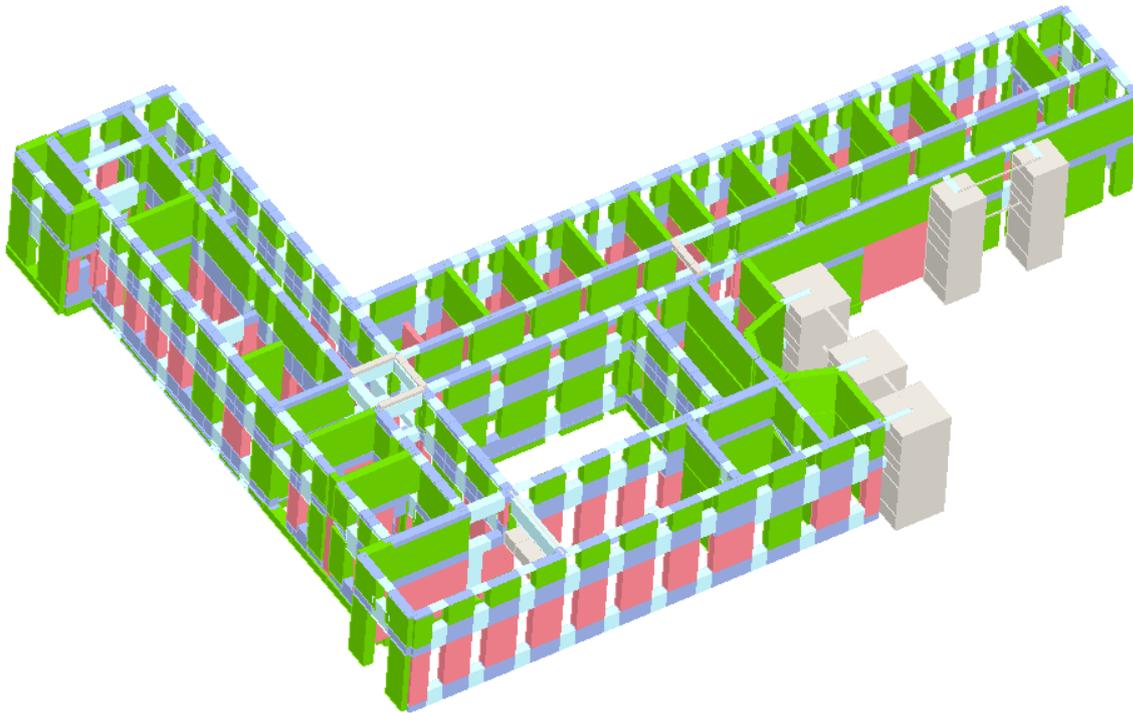


Figura 10.7: Individuazione (in rosso) dei maschi non verificati

10.2.2 Risultanza delle verifiche nel caso meno conservativo (γ_M pari a 2)

Le verifiche risultano ancora non soddisfatte in alcuni elementi dell'interrato ma soddisfatte in buona parte dell'edificio: si veda il fascicolo dei calcoli strutturali per i dettagli (Allegato 14).

Nella figura seguente si riporta la tabella prodotta dal programma con l'esito delle verifiche statiche su ogni parete.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



Parete	Maschi rotti	Nd/Nr Max	h0/t Max	e1/t Max	e2/t Max
35	1	2.51	10.07	0.072	0.050
34	1	2.46	10.07	0.059	0.050
33	1	2.01	14.10	0.081	0.071
8	1	1.43	10.07	0.174	0.060
15	1	1.41	15.90	0.205	0.079
11	6	1.39	17.63	0.147	0.122
14	4	1.17	7.83	0.153	0.070
12	3	1.16	17.63	0.218	0.088
2	1	1.10	10.07	0.113	0.061
6	1	1.01	7.83	0.332	0.124
19	0	0.97	11.75	0.151	0.068
5	0	0.92	14.10	0.125	0.093
4	0	0.86	8.81	0.093	0.056
30	0	0.85	10.07	0.139	0.079
32	0	0.85	14.10	0.166	0.071
23	0	0.80	17.63	0.107	0.088
1	0	0.79	14.10	0.127	0.104
36	0	0.77	12.82	0.108	0.064
31	0	0.77	13.63	0.123	0.068
26	0	0.77	14.10	0.155	0.071
21	0	0.73	14.10	0.107	0.071
25	0	0.72	14.10	0.071	0.071
27	1	0.72	20.14	0.193	0.101
13	0	0.71	8.81	0.152	0.065
22	0	0.68	11.75	0.300	0.095
9	0	0.66	11.75	0.318	0.101
17	0	0.65	11.75	0.177	0.063
18	0	0.62	7.05	0.067	0.035
10	0	0.61	11.75	0.118	0.059
20	0	0.58	8.81	0.097	0.044
38	0	0.57	8.29	0.074	0.041
3	0	0.57	8.81	0.074	0.054
7	0	0.56	7.83	0.039	0.079
39	0	0.52	8.29	0.078	0.041
41	0	0.49	7.05	0.131	0.048
40	0	0.48	8.29	0.041	0.041

Figura 10.8: Report del programma con i valori di verifica

In questo approccio la struttura non presenta situazioni particolarmente critiche che ne pregiudichino in modo sostanziale la sicurezza. I coefficienti di sfruttamento (N_d/N_r) sono generalmente inferiori all'unità (condizione di verifica soddisfatta), superano il valore uno solo in alcuni casi isolati mentre eccedono il valore di 2 (corrispondente al coefficiente di sicurezza del materiale) solo in fondazione nelle aree dove effettivamente si sono osservate le lesioni del pilastro.

Nella figura seguente si riporta una vista 3D del modello con indicazione degli elementi non verificati.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

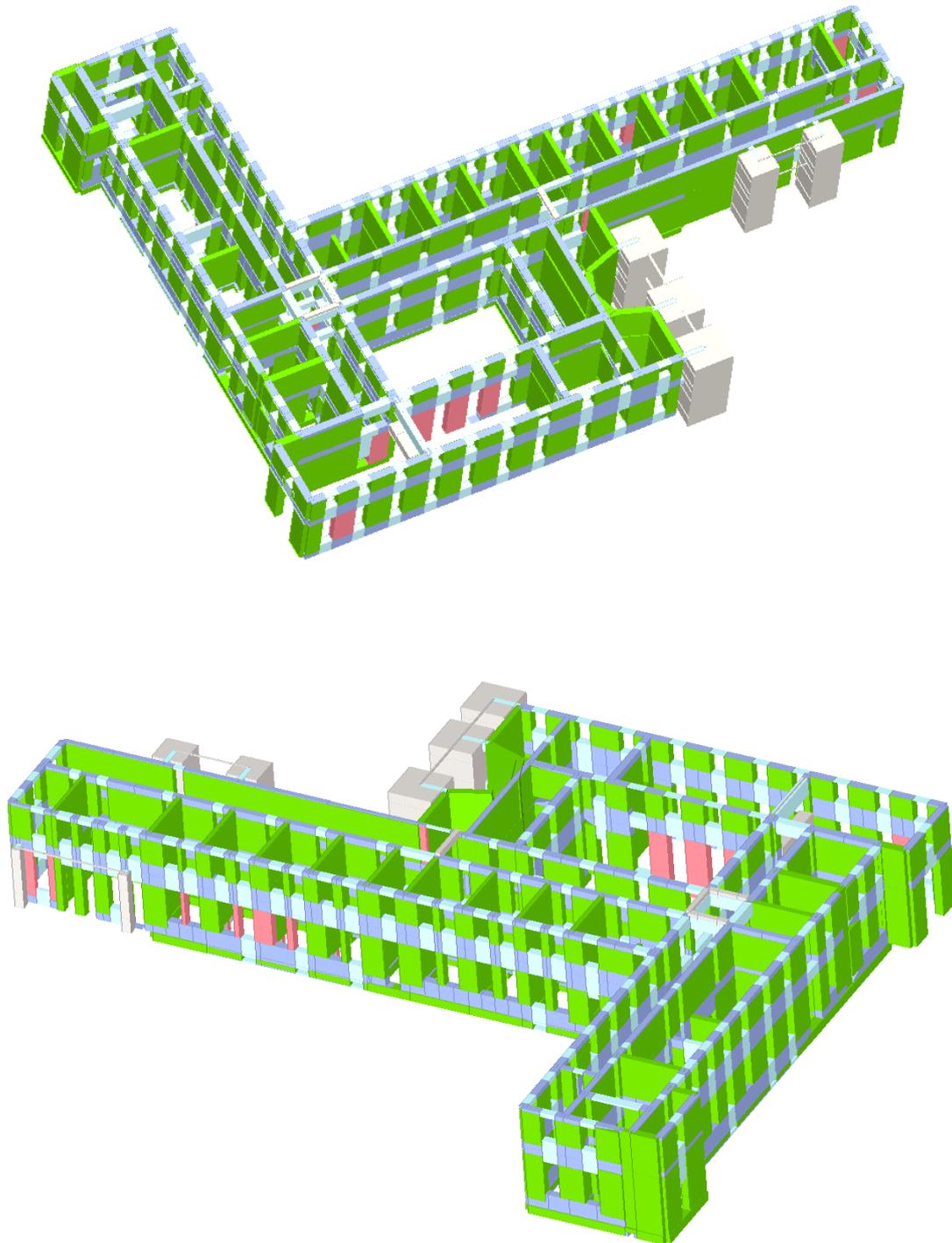


Figura 10.9: Individuazione (in rosso) dei maschi non verificati

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

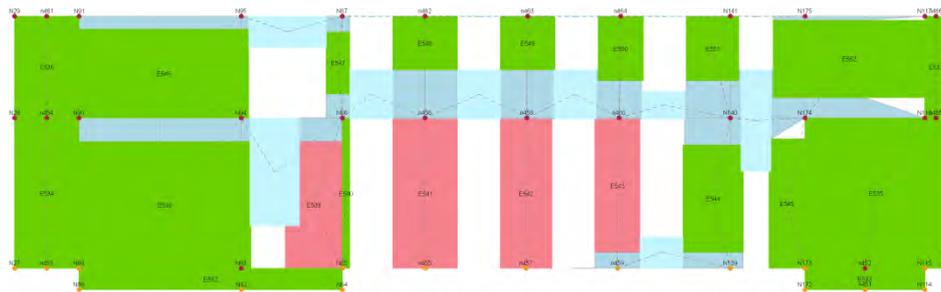


Figura 10.12: Individuazione dei maschi non verificati (in rosso) per la muratura del prospetto nord (parete 14)

Come già esposto, a parte i pilastri, non si tratta di valori di coefficienti di sfruttamento (N_d/N_r) particolarmente superiori all'unità: è possibile che con una modellazione più approfondita localmente si possa rientrare nei criteri di verifica.

Certamente nel caso di un progetto di consolidamento la statica di questi elementi andrà riconsiderata.

10.3 Risposta sismica globale

Il modello ha tenuto conto della tipologia degli orizzontamenti modellati secondo la propria rigidezza mediante un modello di membrana ortotropa.

Secondo quanto indicato nel capitolo 7 delle Norme Tecniche, le analisi statiche non lineari devono essere condotte secondo due direzioni di calcolo coincidenti con gli assi del modello, secondo due distribuzioni di forze (proporzionale alle masse ed e proporzionale alle forze statiche) considerando eccentricità accidentali positive e negative per un totale di 24 combinazioni.

Nel caso specifico risulta particolarmente complessa la valutazione della risposta nella direzione Y (orientamento N-S) per la presenza del contrasto esercitato dalla chiesa sul lato nord e dalla palestra sul lato sud.

Per confronto è stato sviluppato un ulteriore modello privo di vincoli di continuità da impiegarsi per valutare l'incidenza del contrasto sulla risposta numerica.

Da tali analisi, condotte mediante il software TREMURI, si possono ottenere le curva di capacità nelle varie direzioni di calcolo, i valori di accelerazione massima sopportabile allo stato limite ultimo ed i coefficienti di sicurezza.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Du SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	a SLV	a SLD	a SLO
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	0.00	1.97	4.62	1.50	0.66	3.12	0.49	2.16	2.001	4.702	4.417
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	0.00	2.38	4.62	1.73	0.80	2.01	0.59	2.01	1.738	2.503	3.390
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	0.00	2.01	4.64	1.49	0.68	2.02	0.50	2.02	2.012	2.983	4.040
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	0.00	2.42	4.09	1.64	0.81	2.32	0.60	2.32	1.691	2.850	3.860
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	0.00	2.18	2.20	1.49	0.73	2.20	0.54	2.20	1.012	3.001	4.065
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	0.00	2.60	2.57	1.71	0.88	2.57	0.65	2.57	0.987	2.927	3.965
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	0.00	2.16	3.03	1.59	0.73	2.34	0.54	2.34	1.404	3.214	4.353
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	0.00	2.58	3.34	1.81	0.87	2.62	0.64	2.62	1.297	3.016	4.085
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	319.51	2.01	4.47	1.49	0.68	3.32	0.50	2.31	2.016	4.884	4.611
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Masse	-319.51	1.98	3.17	1.39	0.67	2.49	0.49	1.73	1.603	3.740	3.505
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	319.51	2.41	4.82	1.88	0.81	3.32	0.60	2.26	1.599	4.086	3.774
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	1° modo	-319.51	2.37	3.91	1.59	0.80	2.74	0.59	1.88	1.652	3.440	3.185
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	319.51	2.02	3.52	1.83	0.68	1.60	0.50	1.60	1.641	2.339	3.168
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Masse	-319.51	1.99	3.48	1.40	0.67	2.78	0.50	2.78	1.749	4.147	5.616
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	319.51	2.44	3.87	1.97	0.82	1.70	0.61	1.70	1.520	2.061	2.792
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	1° modo	-319.51	2.38	3.69	1.54	0.80	3.29	0.59	3.29	1.551	4.108	5.564
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	438.96	2.20	1.51	1.83	0.74	1.51	0.55	1.51	0.684	2.030	2.750
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	-438.96	2.16	3.35	1.40	0.73	2.65	0.54	2.65	1.553	3.638	4.928
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	438.96	2.61	1.69	2.03	0.88	1.69	0.65	1.69	0.645	1.915	2.593
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	-438.96	2.61	4.06	1.64	0.88	3.08	0.65	3.08	1.556	3.498	4.738
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	438.96	2.18	1.54	1.82	0.74	1.54	0.54	1.54	0.703	2.087	2.827
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	-438.96	2.12	2.84	1.58	0.72	2.19	0.53	2.19	1.339	3.058	4.142
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	438.96	2.57	2.99	2.04	0.87	1.86	0.64	1.86	1.162	2.144	2.904
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-438.96	2.55	3.27	1.77	0.86	2.79	0.63	2.79	1.282	3.249	4.401

Legenda colori:
 Verificato Non verificato Non converge a p.p. Analisi più gravosa

Figura 10.13: Report del programma con i valori di verifica

Per i dettagli si consulti il fascicolo dei calcoli strutturali (Allegato 14); segue un riepilogo sintetico dei parametri significativi delle varie analisi e le curve taglio-spostamento delle condizioni critiche nelle due direzioni di calcolo.

La verifica di sicurezza è operata secondo quanto indicato nelle norme tecniche al punto 7.3.4.1, integrate dalla circolare al punto C.7.3.4.1 e C8.7.1: ovvero, si procede al confronto fra la domanda di spostamento d_{max}^* (per lo stato limite considerato) e la capacità di spostamento d_u^* . La condizione $d_{max}^* \leq d_u^*$ è esaustiva; non sono cioè necessarie ulteriori verifiche sugli elementi (i criteri di resistenza sono infatti implicitamente considerati nel modello di calcolo secondo l'analisi statica non lineare).

I valori dell'indice di rischio indicano il livello di sicurezza (valori minori dell'unità, presenti in corrispondenza di $d_{max}^* > d_u^*$ denotano condizioni di non verifica, ovvero vulnerabilità eccessive del fabbricato).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	SLV ver.	Dmax SLD [cm]	Dd SLD [cm]	SLD ver.	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	SLO ver.
1	+X	Masse	0	1.97	4.62	1.5	Si	0.66	3.12	Si	0.49	2.16	Si
2	+X	1° modo	0	2.38	4.62	1.73	Si	0.8	2.01	Si	0.59	2.01	Si
3	-X	Masse	0	2.01	4.64	1.49	Si	0.68	2.02	Si	0.5	2.02	Si
4	-X	1° modo	0	2.42	4.09	1.64	Si	0.81	2.32	Si	0.6	2.32	Si
5	+Y	Masse	0	2.18	2.2	1.49	Si	0.73	2.2	Si	0.54	2.2	Si
6	+Y	1° modo	0	2.6	2.57	1.71	No	0.88	2.57	Si	0.65	2.57	Si
7	-Y	Masse	0	2.16	3.03	1.59	Si	0.73	2.34	Si	0.54	2.34	Si
8	-Y	1° modo	0	2.58	3.34	1.81	Si	0.87	2.62	Si	0.64	2.62	Si
9	+X	Masse	319.5	2.01	4.47	1.49	Si	0.68	3.32	Si	0.5	2.31	Si
10	+X	Masse	-319.5	1.98	3.17	1.39	Si	0.67	2.49	Si	0.49	1.73	Si
11	+X	1° modo	319.5	2.41	4.82	1.88	Si	0.81	3.32	Si	0.6	2.26	Si
12	+X	1° modo	-319.5	2.37	3.91	1.59	Si	0.8	2.74	Si	0.59	1.88	Si
13	-X	Masse	319.5	2.02	3.52	1.83	Si	0.68	1.6	Si	0.5	1.6	Si
14	-X	Masse	-319.5	1.99	3.48	1.4	Si	0.67	2.78	Si	0.5	2.78	Si
15	-X	1° modo	319.5	2.44	3.87	1.97	Si	0.82	1.7	Si	0.61	1.7	Si
16	-X	1° modo	-319.5	2.38	3.69	1.54	Si	0.8	3.29	Si	0.59	3.29	Si
17	+Y	Masse	439	2.2	1.51	1.83	No	0.74	1.51	Si	0.55	1.51	Si
18	+Y	Masse	-439	2.16	3.35	1.4	Si	0.73	2.65	Si	0.54	2.65	Si
19	+Y	1° modo	439	2.61	1.69	2.03	No	0.88	1.69	Si	0.65	1.69	Si
20	+Y	1° modo	-439	2.61	4.06	1.64	Si	0.88	3.08	Si	0.65	3.08	Si
21	-Y	Masse	439	2.18	1.54	1.82	No	0.74	1.54	Si	0.54	1.54	Si
22	-Y	Masse	-439	2.12	2.84	1.58	Si	0.72	2.19	Si	0.53	2.19	Si
23	-Y	1° modo	439	2.57	2.99	2.04	Si	0.87	1.86	Si	0.64	1.86	Si
24	-Y	1° modo	-439	2.55	3.27	1.77	Si	0.86	2.79	Si	0.63	2.79	Si

Tabella 10.1: Riepilogo delle risultanze di verifica

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scivia	Data:	31.03.2017

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	Ecc. [cm]	α' SLV	α' SLD	α' SLO
1	+X	Masse	0	2.001	4.702	4.417
2	+X	1° modo	0	1.738	2.503	3.39
3	-X	Masse	0	2.012	2.983	4.04
4	-X	1° modo	0	1.691	2.85	3.86
5	+Y	Masse	0	1.012	3.001	4.065
6	+Y	1° modo	0	0.987	2.927	3.965
7	-Y	Masse	0	1.404	3.214	4.353
8	-Y	1° modo	0	1.297	3.016	4.085
9	+X	Masse	319.5	2.016	4.884	4.611
10	+X	Masse	-319.5	1.603	3.74	3.505
11	+X	1° modo	319.5	1.599	4.086	3.774
12	+X	1° modo	-319.5	1.652	3.44	3.185
13	-X	Masse	319.5	1.641	2.339	3.168
14	-X	Masse	-319.5	1.749	4.147	5.616
15	-X	1° modo	319.5	1.52	2.061	2.792
16	-X	1° modo	-319.5	1.551	4.108	5.564
17	+Y	Masse	439	0.684	2.03	2.75
18	+Y	Masse	-439	1.553	3.638	4.928
19	+Y	1° modo	439	0.645	1.915	2.593
20	+Y	1° modo	-439	1.556	3.498	4.738
21	-Y	Masse	439	0.703	2.087	2.827
22	-Y	Masse	-439	1.339	3.058	4.142
23	-Y	1° modo	439	1.162	2.144	2.904
24	-Y	1° modo	-439	1.282	3.249	4.401

Tabella 10.2: Riepilogo dei coefficienti di sicurezza α' (indicatori di rischio a forma spettrale costante)

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

N.	Dir. sisma	Car. sismico prop.	pga^{SLV} [g]	TR^{SLV} [anni]	α^{SLV}	αTR^{SLV}	pga^{SLD} [g]	TR^{SLD} [anni]	α^{SLD}	αTR^{SLD}	pga^{SLO} [g]	TR^{SLO} [anni]	α^{SLO}	αTR^{SLO}
1	+X	Masse	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	>0.207	>2475	>3.98	>4.19	0.145	923	3.51	3.45
2	+X	1° modo	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.11	465	2.12	2.11	0.110	465	2.67	2.61
3	-X	Masse	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.133	737	2.55	2.55	0.133	737	3.21	3.15
4	-X	1° modo	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.125	651	2.41	2.43	0.125	651	3.04	2.99
5	+Y	Masse	0.134	751	1.03	1.02	0.134	751	2.57	2.57	0.134	751	3.23	3.17
6	+Y	1° modo	0.129	697	1	0.99	0.129	697	2.49	2.49	0.129	697	3.14	3.08
7	-Y	Masse	0.185	1785	1.42	1.46	0.143	889	2.75	2.76	0.143	889	3.46	3.40
8	-Y	1° modo	0.17	1439	1.31	1.33	0.134	759	2.57	2.58	0.134	759	3.23	3.18
9	+X	Masse	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	>0.207	>2475	>3.98	>4.19	0.151	1033	3.65	3.61
10	+X	Masse	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.166	1333	3.2	3.25	0.114	511	2.77	2.71
11	+X	1° modo	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.181	1694	3.49	3.59	0.123	617	2.99	2.93
12	+X	1° modo	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.153	1061	2.94	2.96	0.106	425	2.57	2.51
13	-X	Masse	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.105	419	2.02	2.02	0.105	419	2.54	2.50
14	-X	Masse	>0.207	>2475	>1.59	>1.67	0.051	1762	0.98	3.65	0.041	1762	0.99	4.50
15	-X	1° modo	0.2	2194	1.54	1.59	0.093	307	1.78	1.78	0.093	307	2.25	2.20
16	-X	1° modo	0.204	2350	1.57	1.63	0.182	1719	3.51	3.61	0.182	1719	4.42	4.45
17	+Y	Masse	0.092	295	0.71	0.70	0.092	295	1.76	1.75	0.092	295	2.22	2.16
18	+Y	Masse	0.204	2359	1.57	1.63	0.161	1237	3.1	3.16	0.161	1237	3.90	3.89
19	+Y	1° modo	0.087	257	0.67	0.66	0.087	257	1.67	1.66	0.087	257	2.10	2.04
20	+Y	1° modo	0.205	2372	1.58	1.64	0.155	1111	2.98	3.02	0.155	1111	3.75	3.72
21	-Y	Masse	0.094	316	0.72	0.72	0.094	316	1.8	1.8	0.094	316	2.27	2.22
22	-Y	Masse	0.176	1567	1.36	1.38	0.136	785	2.61	2.62	0.136	785	3.28	3.23
23	-Y	1° modo	0.153	1068	1.18	1.18	0.097	339	1.86	1.86	0.097	339	2.35	2.29
24	-Y	1° modo	0.168	1395	1.29	1.32	0.144	915	2.76	2.79	0.144	915	3.48	3.44

Tabella 10.3: Riepilogo degli indici di rischio richiesti dalla scheda DPC

Seguono i grafici delle verifiche in spostamento delle analisi più punitive nelle due direzioni come richiesto dalla normativa.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

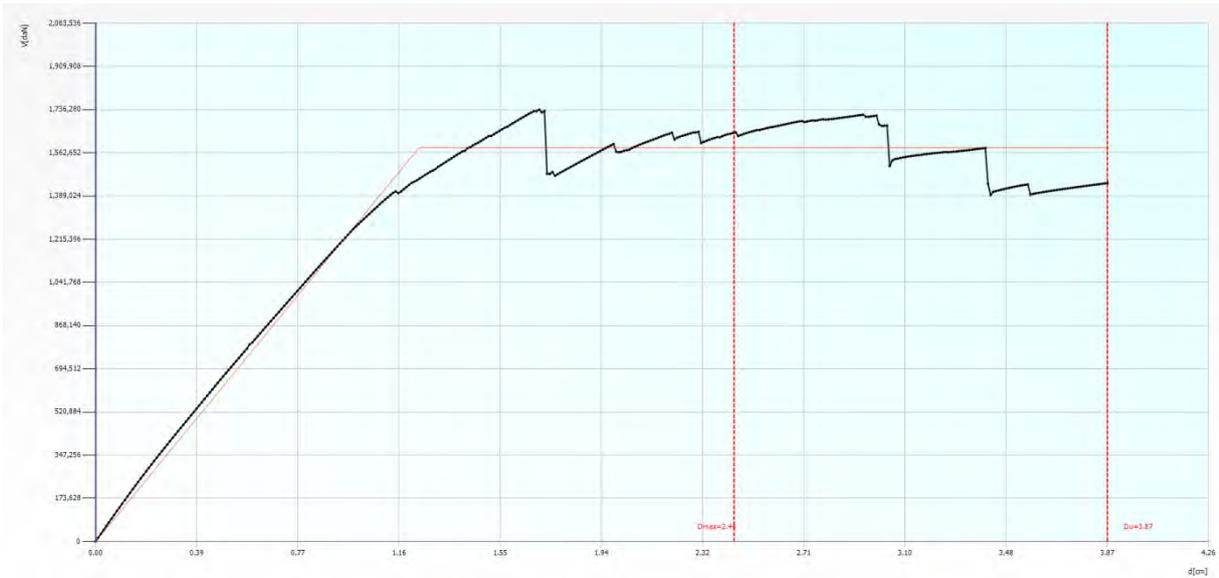


Figura 10.14: Curva pushover critica relativa alla direzione x (condizione 15)

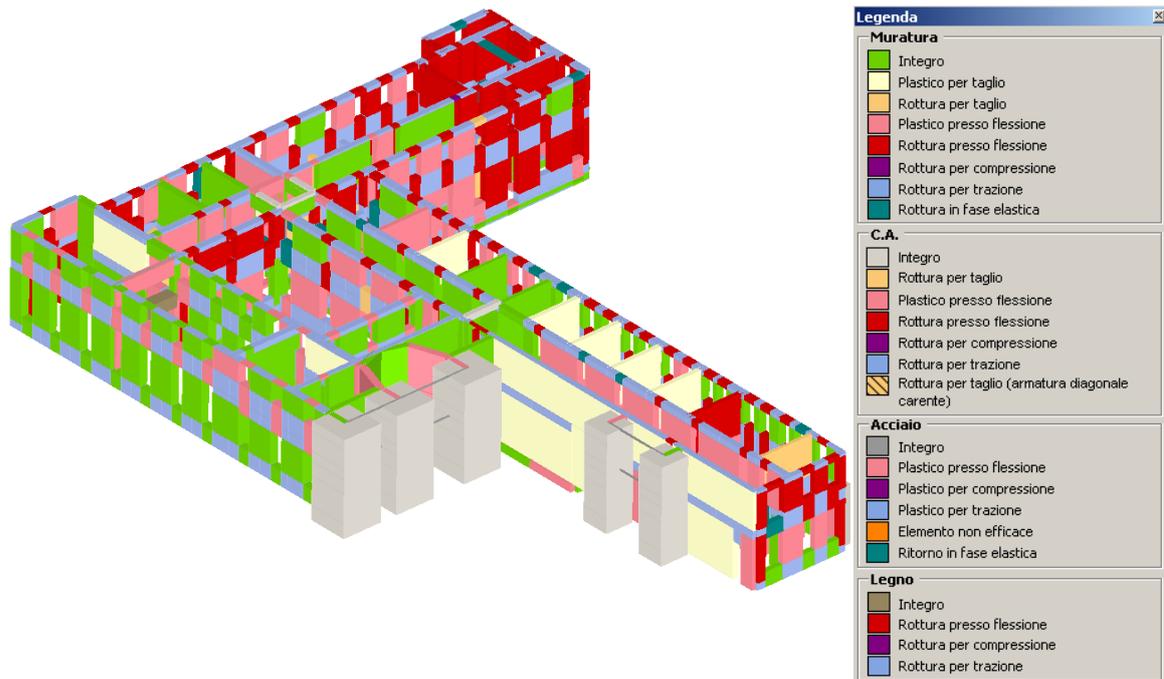


Figura 10.15: Quadro fessurativo relativo alla direzione x (condizione 15)

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

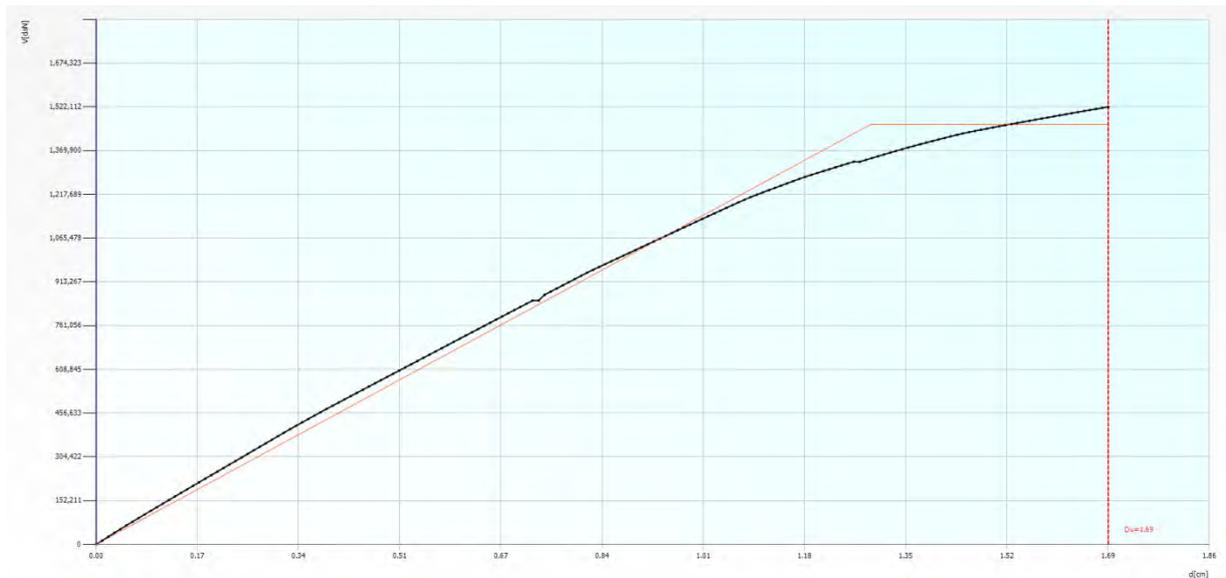


Figura 10.16: Curva pushover relativa alla direzione y (condizione 19)

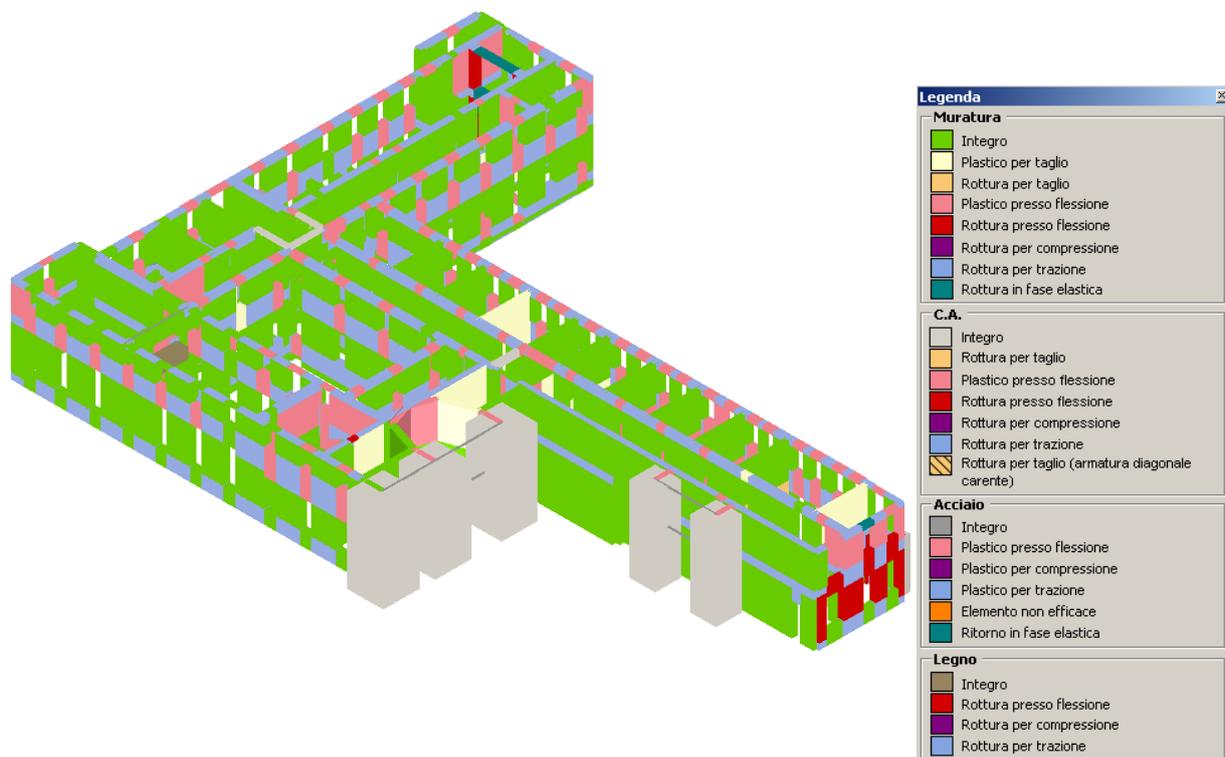


Figura 10.17: Quadro fessurativo relativo alla direzione y (condizione 19)

Si osserva come nella direzione X la struttura manifesti una crisi diffusa dei vari elementi potendo raggiungere e superare la capacità prestazionale richiesta. Lungo Y invece nella porzione Ovest si riscontra una crisi più fragile della facciata. Tale porzione è interessata dall'interazione con i corpi adiacenti; per valutare l'effettiva rilevanza di tale interazione sul risultato segue l'analisi della struttura ipotizzando di escludere tale porzioni.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

10.3.1 Confronto col modello senza fabbricati adiacenti

La vulnerabilità emersa è localizzata sull'ala est del fabbricato dove la struttura si allunga all'interno del cortile. Le analisi condotte nella direzione Y con eccentricità tale da sollecitare la facciata Est risultano appunto le più vulnerabili con coefficienti di sicurezza globali inferiori all'unità.

È opportuno il confronto con il modello privo di elementi di contrasto (a simulare i fabbricati limitrofi) in modo da valutare l'impatto di tali elementi. La figura seguente riporta una vista 3D del modello TREMURI senza i fabbricati adiacenti.

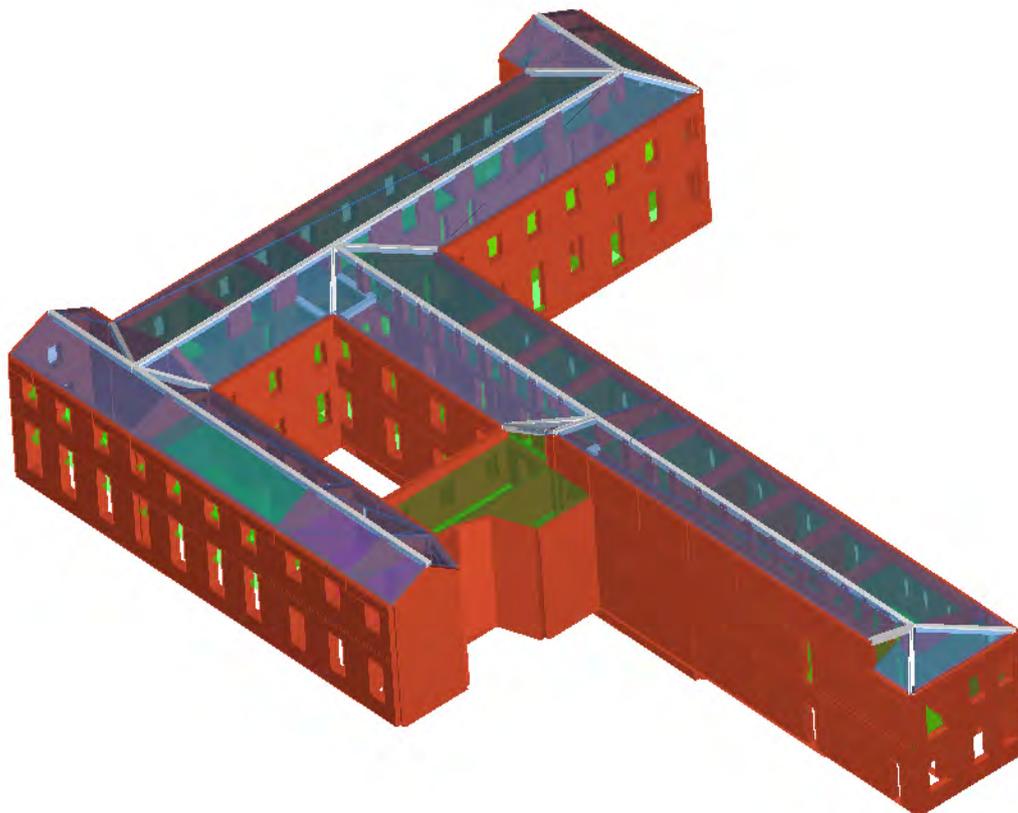


Figura 10.18: Modello tridimensionale senza le strutture adiacenti

Il modello qui riportato non è significativo della struttura effettiva, è tuttavia un riscontro numerico per appurare l'incidenza delle strutture limitrofe: le ipotesi di contiguità sono state cautelative, tuttavia è opportuno appurare quanto queste possano aver condizionato la verifica.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

N.	Inserisci in relazione	Dir. sisma	Carico sismico proporzionale	Eccentricità [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	Dmax SLD [cm]	Du SLD [cm]	Dmax SLO [cm]	Do SLO [cm]	α SLV	α SLD	α SLO
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	438.96	2.16	1.22	2.05	0.73	1.17	0.54	1.17	0.565	1.604	2.172
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Masse	-438.96	2.18	3.08	1.41	0.73	2.66	0.54	2.66	1.416	3.622	4.905
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	438.96	2.57	1.36	2.22	0.86	1.30	0.64	1.30	0.529	1.507	2.041
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	1° modo	-438.96	2.62	3.64	1.63	0.88	3.16	0.65	3.16	1.389	3.579	4.848
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	438.96	2.17	1.30	2.00	0.73	1.27	0.54	1.27	0.597	1.735	2.350
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Masse	-438.96	2.16	2.97	1.52	0.73	2.46	0.54	2.46	1.371	3.378	4.576
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	438.96	2.58	2.83	2.32	0.87	1.38	0.64	1.38	1.100	1.586	2.149
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	1° modo	-438.96	2.59	3.31	1.74	0.87	2.81	0.64	2.81	1.278	3.216	4.357

Figura 10.19: Layout del programma 3muri per il modello senza vincoli di contrasto (direzione Y con eccentricità)

Si nota come le analisi critiche risultino le medesime del modello con l'interazione pur con coefficienti globali di sicurezza di poco inferiori.

Si conclude che la modellazione delle strutture adiacenti non è risultata determinante ai fini di conseguire la verifica, tuttavia la presenza di tali fabbricati risulta benefica nei confronti della risposta globale (fatti salvi fenomeni di martellamento non appurabili al momento).

Nell'ottica di un progetto di consolidamento dovrà essere ulteriormente approfondita l'interazione coi due fabbricati: è possibile infatti che il contributo sia anche maggiore di quanto ora evidenziato (a favore di sicurezza si è considerato non efficace l'ammorsamento fra i corpi).

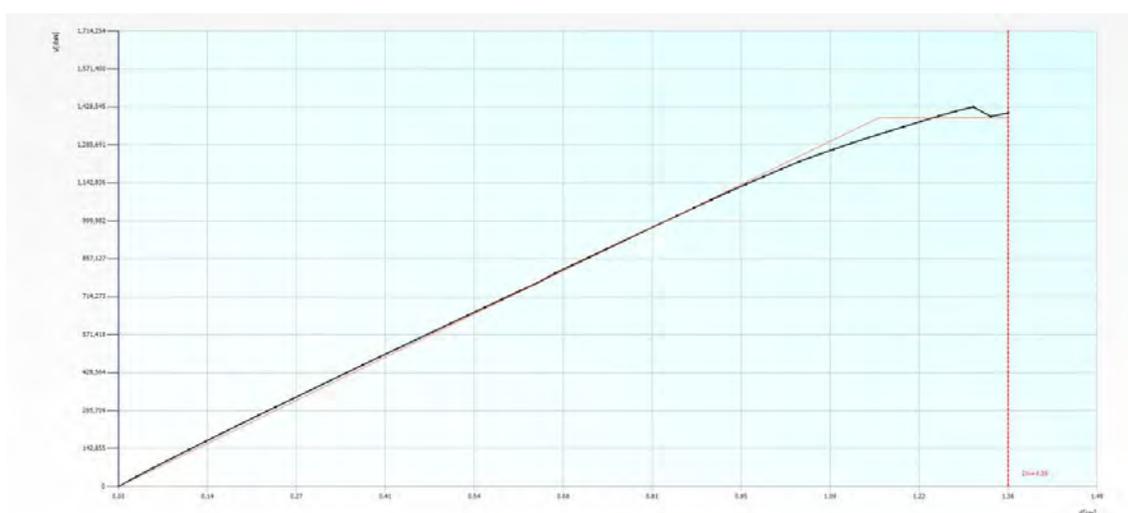


Figura 10.20: Curva pushover critica relativa alla direzione y (condizione 19) nel modello senza vincoli di interazione

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

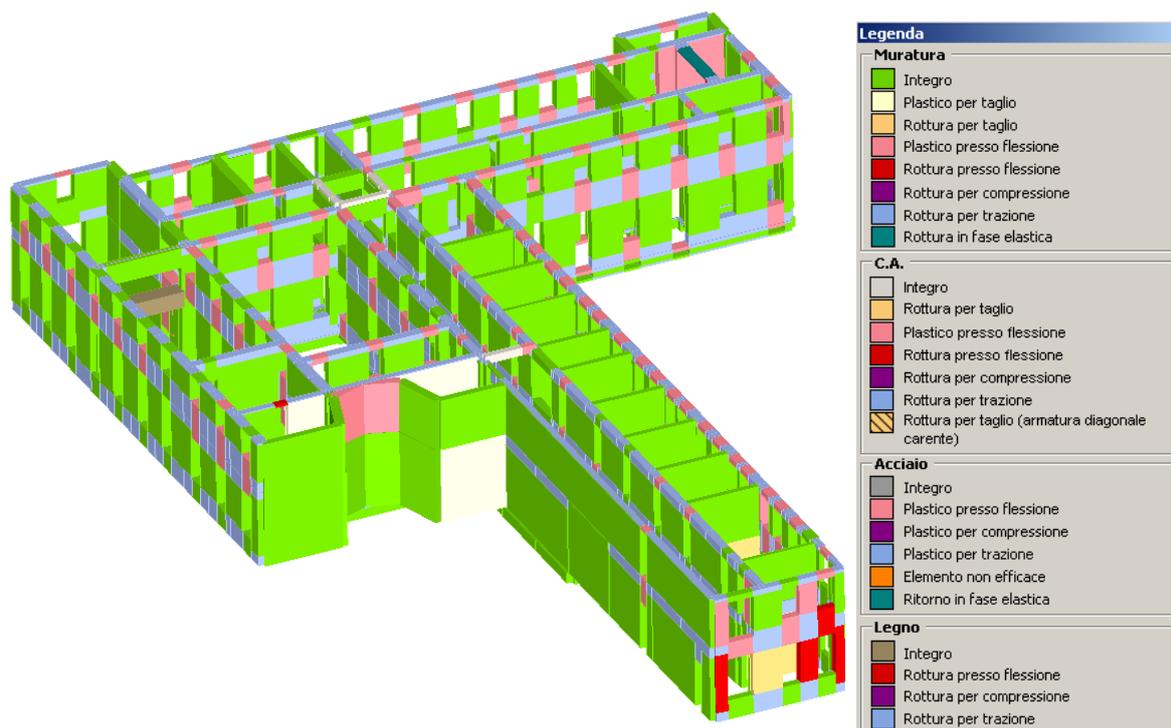


Figura 10.21: Quadro fessurativo relativo alla direzione y (condizione 19) nel modello senza vicoli di interazione

10.3.2 Considerazioni sulla vulnerabilità sismica

Dai risultati ottenuti è possibile concludere che il coefficiente di sicurezza che governa la risposta globale è pari a 0.67, che corrisponde a un periodo di ritorno di 257 anni.

La modellazione delle strutture adiacenti non è risultata determinante ai fini di conseguire la verifica, tuttavia la presenza di tali fabbricati risulta benefica nei confronti della risposta globale (fatti salvi fenomeni di martellamento non appurabili al momento).

In particolare nell'ottica di un intervento di consolidamento potrebbe essere opportuno approfondire l'interazione: è possibile che con ipotesi meno conservative possa essere considerata una maggior collaborazione fra le parti garantendo quindi la verifica.

Per maggiori dettagli si consulti la relazione di calcolo automatica, prodotta dal software Tremuri presente nel fascicolo dei calcoli strutturali, allegati alla presente (Allegato 14).

10.4 Cinematismi Locali

Si sono studiati i cinematismi locali più probabili: l'assenza di dispositivi di cerchiatura in sommità (cordolo) rende possibili i ribaltamenti delle facciate; la presenza di un tetto pesante e spingente aggrava tali meccanismi.

Il cinematismo di riferimento è localizzato sulla facciata Sud (cortile) dove al primo piano sono state eliminate le catene originarie. Sono presenti alcune catene al livello inferiore ma tuttavia non si è certi della loro efficacia ad inibire il ribaltamento della facciata (e comunque non collegano tra loro le pareti esterne della manica di fabbricato). L'efficacia di tali catene è stata però considerata nell'azione di assorbimento della spinta delle volte (che si sono assunte per tale ragione non spingenti).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Il cinematismo di riferimento è riportato nella figura seguente: il vincolo considerato sarà quindi il piano campagna; potendosi poi attivare anche a partire dal primo solaio è necessario considerare anche la verifica C8A.4.10. relativa all'innescio in quota. Si trascura la presenza delle catene al livello inferiore qualora tale cinematismo non risulti dimensionante (nel caso cioè senza catene il cinematismo di attivazione risultasse differente non sarebbe dimensionante l'effetto delle catene). Per completezza di trattazione viene considerato anche il livello del sottotetto anche se le porzioni di muratura potenzialmente soggetta a ribaltamento risulta modesta.

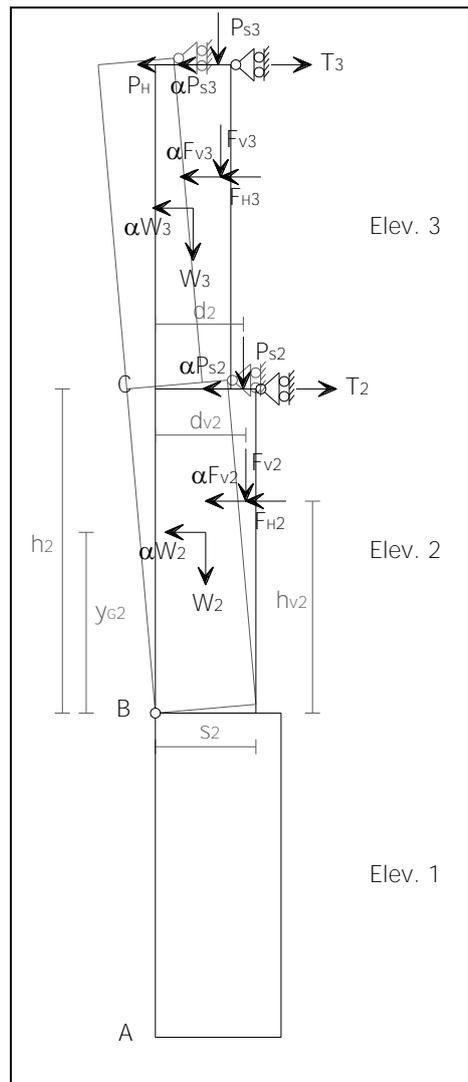


Figura 10.22: Schema del cinematismo di ribaltamento (tratto da "Repertorio dei meccanismi di danno, delle tecniche di intervento e dei relativi costi negli edifici in muratura". Parte Seconda - Modelli cinematici per l'analisi strutturale degli edifici in muratura. Sisma Marche 1997 - Decreto del Commissario Delegato per gli interventi di Protezione Civile n. 28 del 10 aprile 2002).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

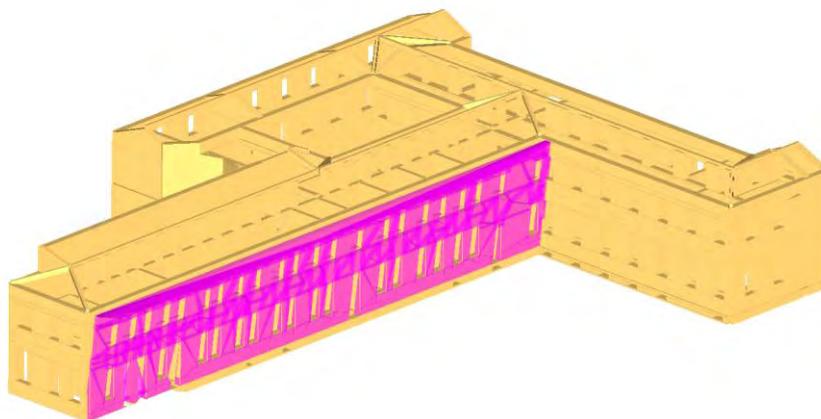


Figura 10.23: Schema del cinematismo (attivazione al piano campagna)

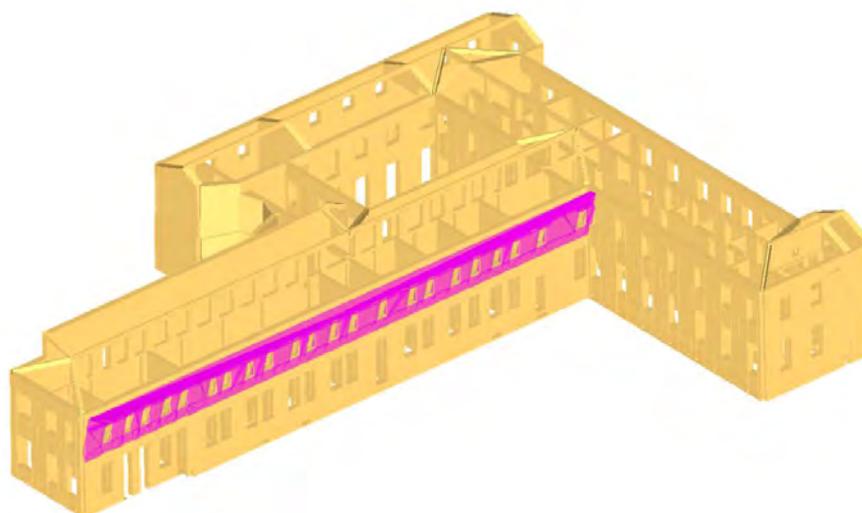


Figura 10.24: Schema del cinematismo (attivazione al piano primo)

Geometria del Cinematismo					
Simbolo	Descrizione	piano terra	piano primo	timpano	u.m.
W	Peso della parete	107.9	73.0	15.3	kN/m
Ps	Carico del solaio a copertura del livello	53.0	10.0	16.7	kN/m
Ph	Spinta orizzontale	0.0	0.0	3.5	kN/m
h	Altezza interpiano	7.05	4.77	1.00	m
s	spessore medio delle pareti	0.85	0.85	0.85	m
d	Braccio orizzontale del carico del solaio	0.57	0.13	0.57	m

Tabella 10.4: Geometria del cinematismo

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Calcolo del Cinematismo e Verifica Sismica			
Ribaltamento complessivo			
Simbolo	Descrizione	Valore	u.m.
α_0	Moltiplicatore di collasso	0.04	
M^*	Massa partecipante	23.20	
e^*	frazione di massa partecipante	0.83	
a_0^*	Accelerazione spettrale	0.35	ms^{-2}
FC	Fattore di confidenza	1.35	ms^{-2}
S	amplificazione spettrale	1.50	
q	Fattore di struttura	2.00	
a_g^{SLV}	Accelerazione al suolo secondo il sito SLV	0.850	ms^{-2}

C8A.4.9 Verifica piano di campagna SLV $a_0^* \geq a_g^{SLV} S / q$			
α_u	Coefficiente di sicurezza SLV	0.55	< 0.64NO!
<i>COEFFICIENTI DI SICUREZZA SCHEDA DPC (SLV)</i>			
pga^u	Accelerazione di collasso (Capacità)	0.07	g
pga^{rifSLV}	Accelerazione di riferimento (Domanda)	0.130	g
α_u	Coefficiente di sicurezza (PGA_{LV}^C / PGA_{LV}^D)	0.55	
T_R^C	Periodo Ritornto (Capacità)	167	anni
T_R^D	Periodo Ritornto (Domanda)	712	anni
$\alpha_{u(TR)}$	Coefficiente di sicurezza (TR_{LV}^C / TR_{LV}^D) ^0.41	0.55	

Calcolo del Cinematismo e Verifica Sismica			
Ribaltamento dal piano primo			
Simbolo	Descrizione	Valore	u.m.
α_0	Moltiplicatore di collasso	0.07	
M^*	Massa partecipante	9.98	
e^*	frazione di massa partecipante	0.85	
a_0^*	Accelerazione spettrale	0.60	ms^{-2}
FC	Fattore di confidenza	1.35	
S	amplificazione spettrale	1.50	
q	Fattore di struttura	2.00	
a_g^{SLV}	Accelerazione al suolo secondo il sito SLV	0.850	ms^{-2}

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

C8A.4.9		Verifica piano di campagna SLV $a_0^* \geq a_g^{SLV} S/q$	0.60	< 0.64 NO!
α'_u	Coefficiente di sicurezza SLV		0.93	
<i>COEFFICIENTI DI SICUREZZA SCHEDA DPC (SLV)</i>				
$pga^u g$	Accelerazione di collasso (Capacità)		0.12	g
pga^{rifSLV}	Accelerazione di riferimento (Domanda)		0.130	g
α_u	Coefficiente di sicurezza (PGA^C_{LV}/PGA^D_{LV})		0.93	
T_R^C	Periodo Ritornto (Capacità)		603	anni
T_R^D	Periodo Ritornto (Domanda)		712	anni
$\alpha_{u(TR)}$	Coefficiente di sicurezza (TR^C_{LV}/TR^D_{LV}) ^0.41		0.93	
n	Numero piani dell'edificio		3	
Z	Baricentro linee di vincolo		7.05	m
Γ	Coefficiente di partecipazione modale		1.29	
T_1 [sec]	Primo periodo di vibrazione dell'intera struttura		0.34	sec
Se(T1)	Spettro elastico per a_g^{SLV} e T_1		3.17	
$\Psi(Z)$	Deformata primo modo (semplificata)		0.55	

C8A.4.10		Verifica quota SLV $a_0^* \geq S^{SLV} e(T_1) \Psi \gamma / q$	0.60	< 1.12 NO!
α'_u	Coefficiente di sicurezza SLV		0.53	
<i>COEFFICIENTI DI SICUREZZA SCHEDA DPC (SLV)</i>				
$pga^u g$	Accelerazione di collasso (Capacità)		0.07	g
pga^{rifSLV}	Accelerazione di riferimento (Domanda)		0.130	g
α_u	Coefficiente di sicurezza (PGA^C_{LV}/PGA^D_{LV})		0.53	
T_R^C	Periodo Ritornto (Capacità)		151	anni
T_R^D	Periodo Ritornto (Domanda)		712	anni
$\alpha_{u(TR)}$	Coefficiente di sicurezza (TR^C_{LV}/TR^D_{LV}) ^0.41		0.53	

Calcolo del Cinematismo e Verifica Sismica			
Ribaltamento dal timpano			
Simbolo	Descrizione	Valore	u.m.
α_0	Moltiplicatore di collasso	0.51	
M^*	Massa partecipante	2.95	
e^*	frazione di massa partecipante	0.90	
a_0^*	Accelerazione spettrale	4.11	ms^{-2}
FC	Fattore di confidenza	1.35	
S	amplificazione spettrale	1.50	
q	Fattore di struttura	2.00	
a_g^{SLV}	Accelerazione al suolo secondo il sito SLV	0.850	ms^{-2}

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

C8A.4.9	Verifica piano di campagna SLV $a_0 \geq a_g^{SLV} S/q$	4.11	≥ 0.64 ok
α_u	Coefficiente di sicurezza SLV	6.42	
<i>COEFFICIENTI DI SICUREZZA SCHEDA DPC (SLV)</i>			
$pga^u g$	Accelerazione di collasso (Capacità)	0.21	g
pga^{rifSLV}	Accelerazione di riferimento (Domanda)	0.130	g
α_u	Coefficiente di sicurezza (PGA_{LV}^C/PGA_{LV}^D)	1.59	
T_R^C	Periodo Ritorno (Capacità)	2475	anni
T_R^D	Periodo Ritorno (Domanda)	712	anni
$\alpha_{u(TR)}$	Coefficiente di sicurezza (TR_{LV}^C/TR_{LV}^D) ^{0.41}	1.67	
n	Numero piani dell'edificio	3	
Z	Baricentro linee di vincolo	11.82	m
Γ	Coefficiente di partecipazione modale	1.29	
T_1 [sec]	Primo periodo di vibrazione dell'intera struttura	0.34	sec
Se(T1)	Spettro elastico per a_g^{SLV} e T_1	3.17	
$\Psi(Z)$	Deformata primo modo (semplificata)	0.92	
C8A.4.10	Verifica quota SLV $a_0 \geq S^{SLV} e(T_1) \Psi \gamma /q$	4.11	≥ 1.88 ok
α_u	Coefficiente di sicurezza SLV	2.18	
<i>COEFFICIENTI DI SICUREZZA SCHEDA DPC (SLV)</i>			
$pga^u g$	Accelerazione di collasso (Capacità)	0.21	g
pga^{rifSLV}	Accelerazione di riferimento (Domanda)	0.130	g
α_u	Coefficiente di sicurezza (PGA_{LV}^C/PGA_{LV}^D)	1.59	
T_R^C	Periodo Ritorno (Capacità)	2475	anni
T_R^D	Periodo Ritorno (Domanda)	712	anni
$\alpha_{u(TR)}$	Coefficiente di sicurezza (TR_{LV}^C/TR_{LV}^D) ^{0.41}	1.67	

Tabella 10.5: Calcolo del Cinematismo con i valori dell'indice di rischio

Le verifiche NON risultano soddisfatte: in particolare, governa il ribaltamento a partire dal primo livello; pertanto risulta ininfluenza, ai fini del calcolo del coefficiente complessivo di sicurezza, l'efficacia delle catene poste al piano terreno. In particolare il coefficiente di sicurezza nei confronti del meccanismo che governa la risposta locale è pari a 0.53, che corrisponde a un periodo di ritorno di 151 anni.

La presenza del tetto spingente, unito alla rimozione delle catene presenti in origine, hanno indotto una vulnerabilità significativa al fabbricato. Un eventuale intervento di consolidamento che sani tale condizione dovrà prevedere il ripristino della cerchiatura dei vani.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

10.5 Modellazione numerica e verifica analitica delle volte dell'interrato

La modellazione numerica delle volte n.1 e n.2 viene eseguita tramite il software Midas Gen (licenza n. U001-02802), seguendo le geometrie, i carichi ed il legame costitutivo del materiale descritti al §9.6.

10.5.1 Volta n.1 - Volta Calzaturificio

Come indicato al §5.1.1, a volta n.1 si presenta come una volta a botte, di spessore 24 cm, impostata a quota 135 cm su muri ed archi di notevole spessore (dell'ordine di 1 m) e dotata di due lunette laterali.

Alcune volte limitrofe presentano uno spessore di 24 cm alle reni e 12 cm in chiave: per tale motivazione, viene eseguita una doppia modellazione della volta n.1 considerando le due diverse configurazioni di spessore. Per entrambe la mesh adottata è quella descritta al §9.6.4.

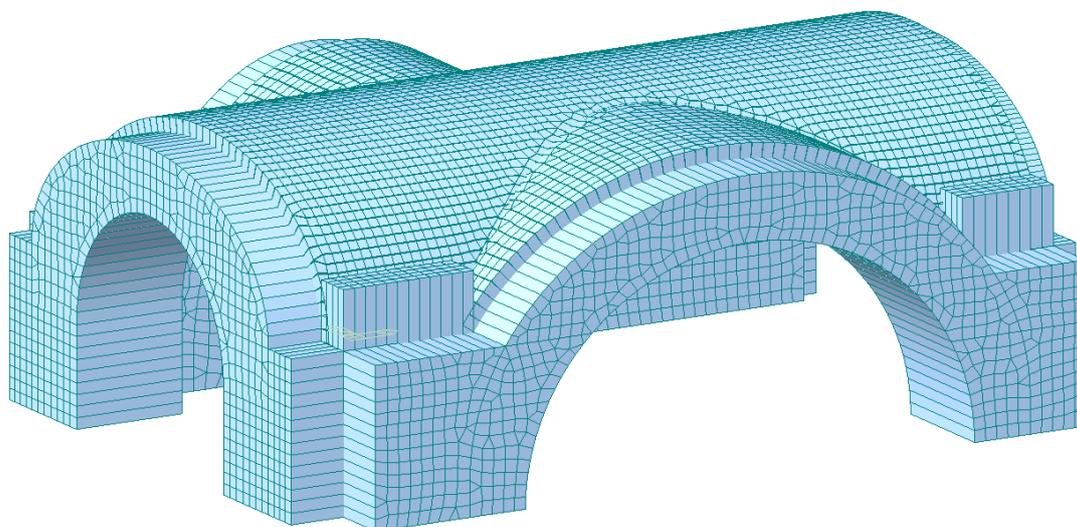


Figura 10.25: modello FEM della volta n.1 - Configurazione A: spessore 24 [cm]

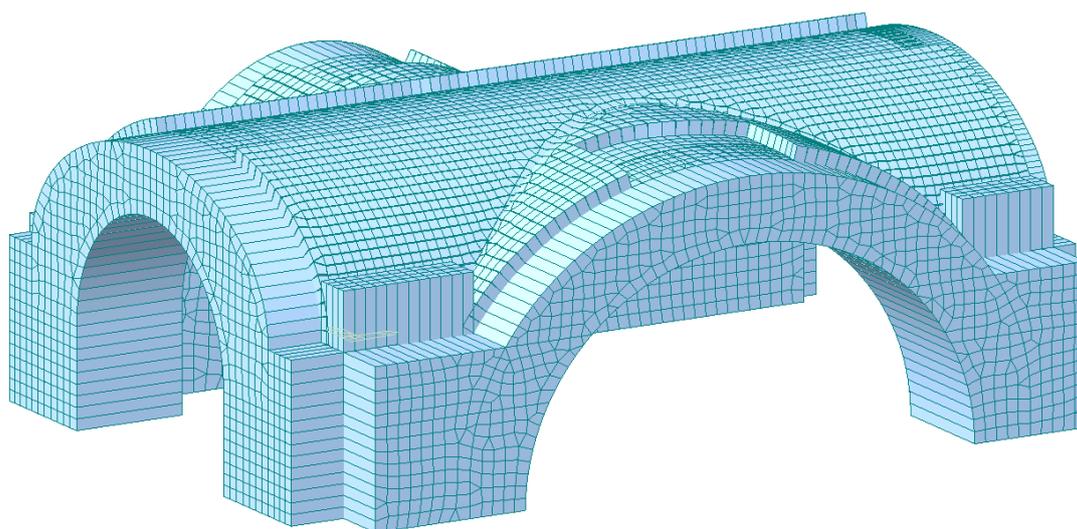


Figura 10.26: modello FEM della volta n.1 - Configurazione B: spessore 24 [cm] alle reni, 12 [cm] in chiave

Entrambi i modelli sono realizzati con 6124 nodi e 6117 elementi plate-shell.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Oltre ai vincoli verticali al piede dei muri, nei modelli sono inseriti vincoli orizzontali per simulare la presenza di muri in prosecuzione di quelli del vano considerato.

L'analisi a cui i modelli sono sottoposti è di tipo statico con non linearità del materiale. Il metodo di iterazione utilizzato è il Newton-Raphson ed il criterio di convergenza è in controllo di forza.

Per entrambi i modelli l'analisi non lineare è stata condotta considerando la combinazione SLE quasi permanente e la combinazione SLU.

Le principali risultanze del quadro deformativo e tensionale dei due modelli sono riportate nelle seguenti figure.

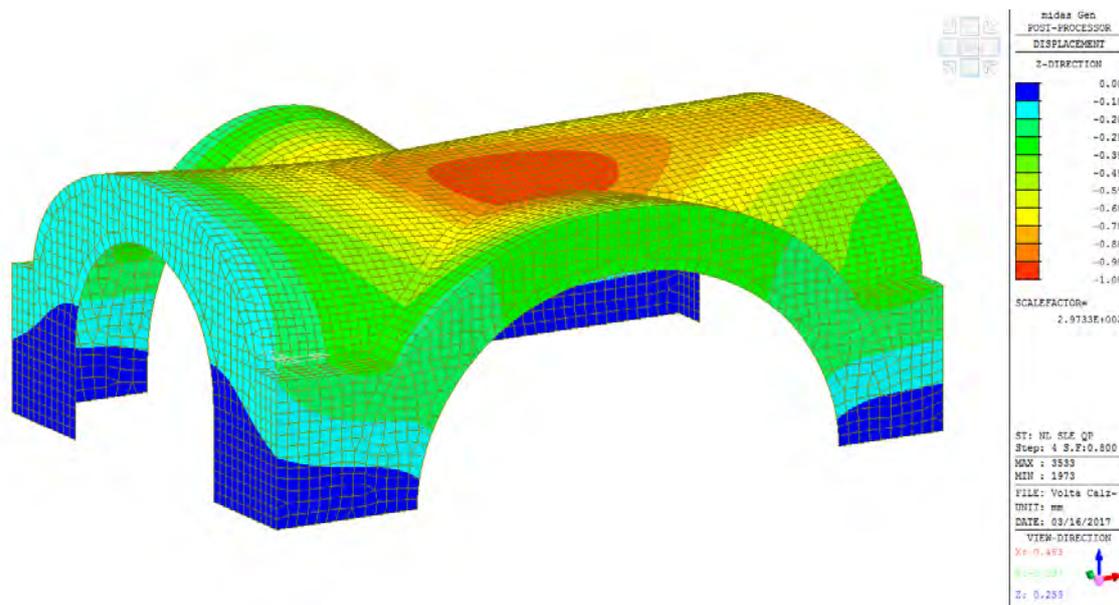


Figura 10.27: volta n.1 - Configurazione A: deformata con valori di traslazione verticale per SLE QP

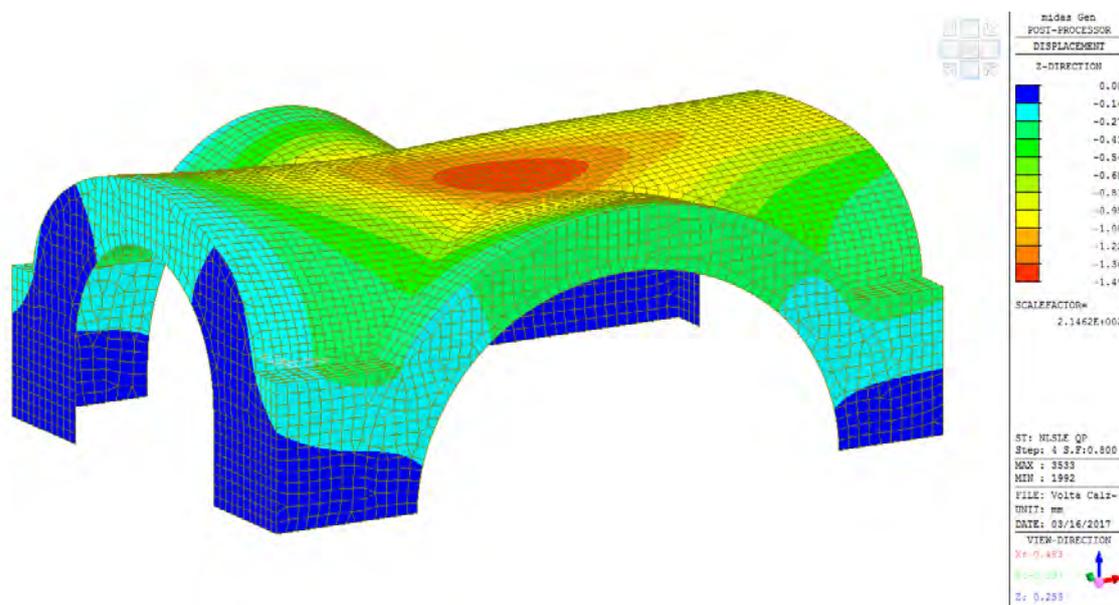


Figura 10.28: volta n.1 - Configurazione B: deformata con valori di traslazione verticale per SLE QP

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Come si può rilevare nelle precedenti figure, la configurazione deformata è simile per i due spessori analizzati, con un valore di spostamento verticale di poco superiore per la volta con lo spessore di 12 cm in chiave.

L'entità della freccia massima (1.50 mm) denota che la volta non ha subito particolari assestamenti dovuti ai carichi nel tempo, segnale di una corretta impostazione geometrica all'atto della costruzione.

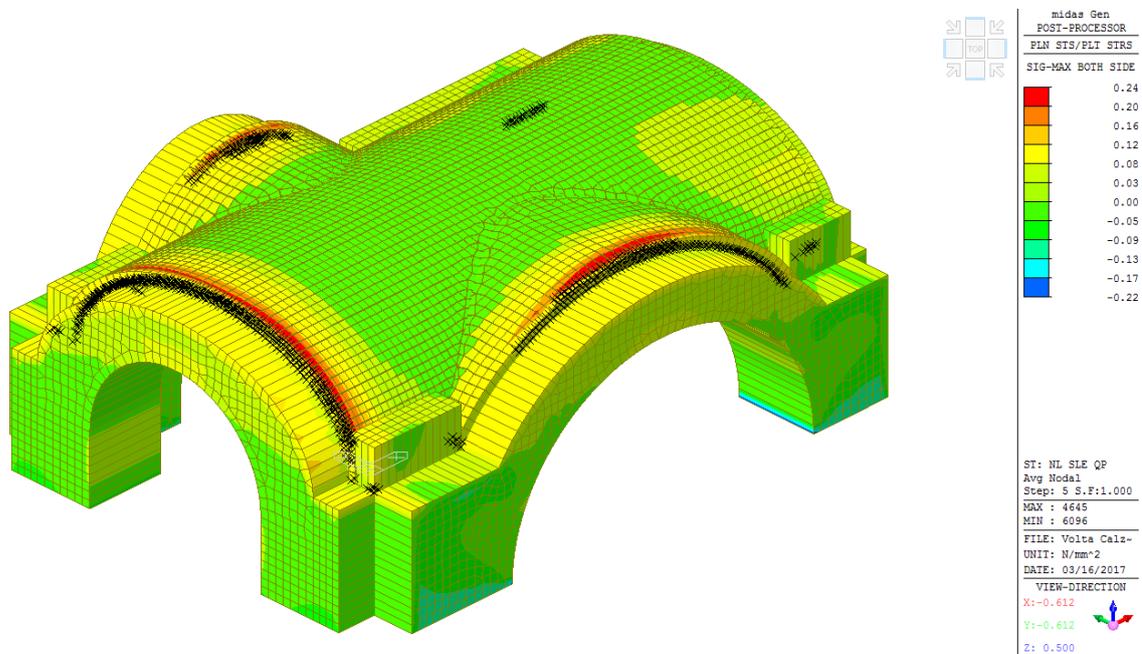


Figura 10.29: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'estradosso per SLE QP

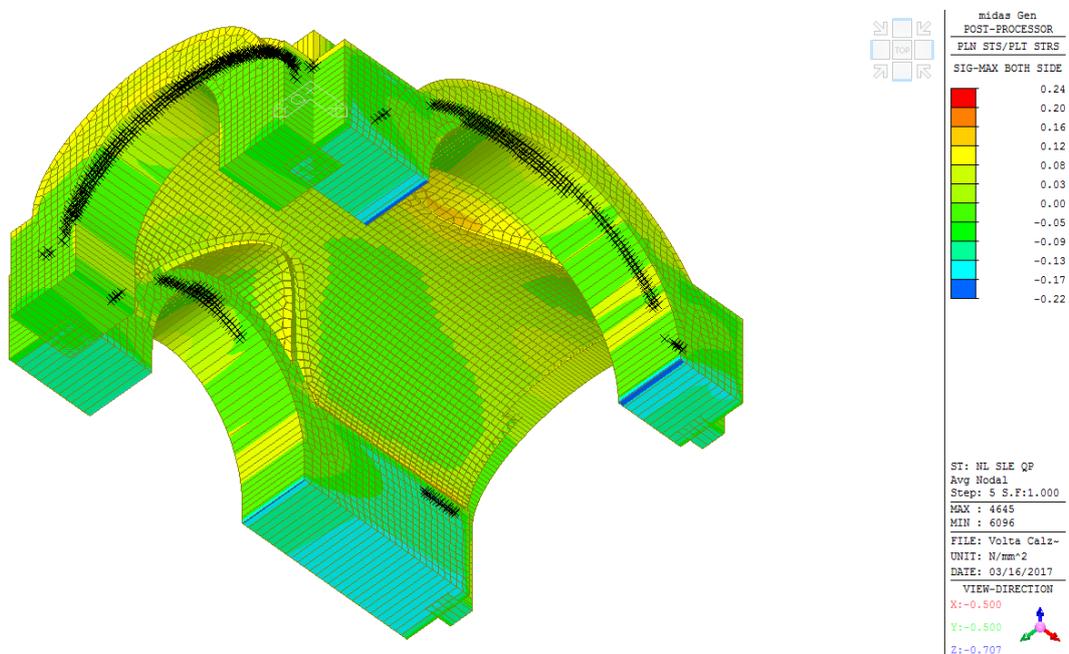


Figura 10.30: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'intradosso per SLE QP

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

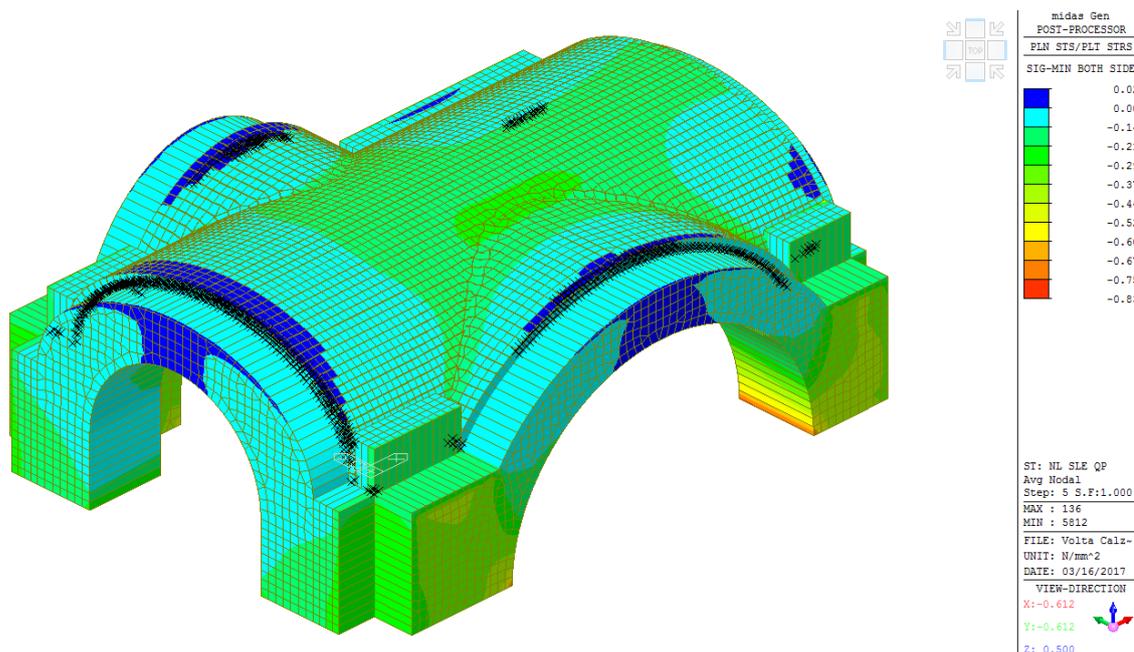


Figura 10.31: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'estradosso per SLE QP

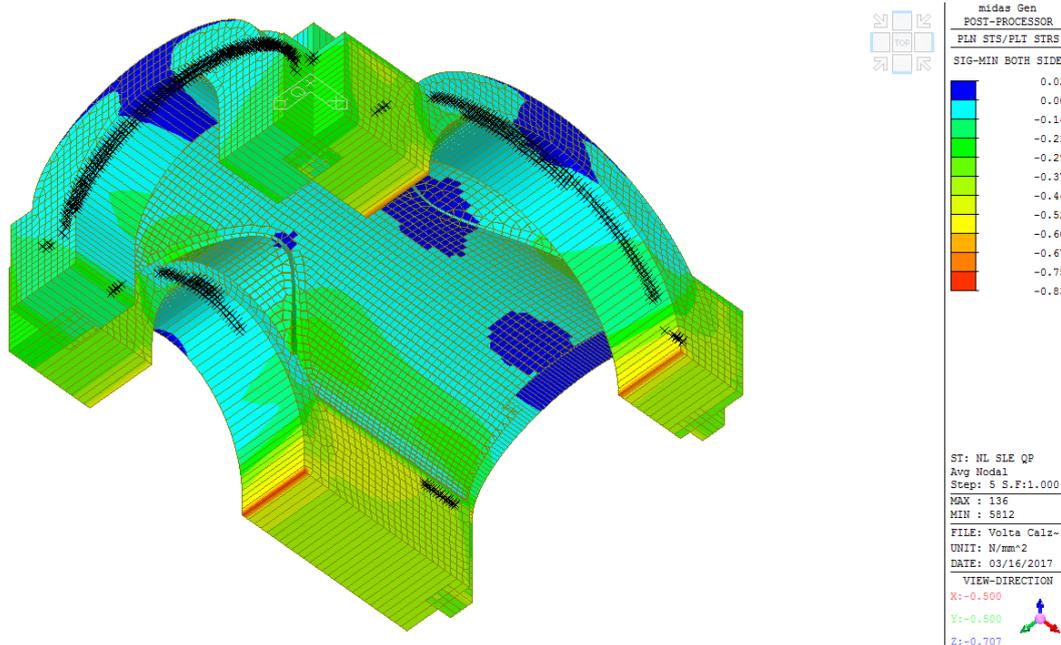


Figura 10.32: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'intradosso per SLE QP

Come si può rilevare, nella combinazione di carico di esercizio, la volta presenta un quadro tensionale in linea con le aspettative, senza evidenziare particolari criticità.

Il valore assunto per la resistenza a trazione della muratura viene superato quasi esclusivamente in corrispondenza del collegamento tra le volte e gli archi di elevato spessore: nella realtà si può infatti osservare che la muratura della volta e quella degli archi sono sostanzialmente scollegate. Probabilmente già in fase di costruzione non sono state collegate, ma qualora lo fossero state e si fossero manifestate le lesioni evidenziate nelle precedenti figure, il comportamento statico della volta non verrebbe compromesso.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

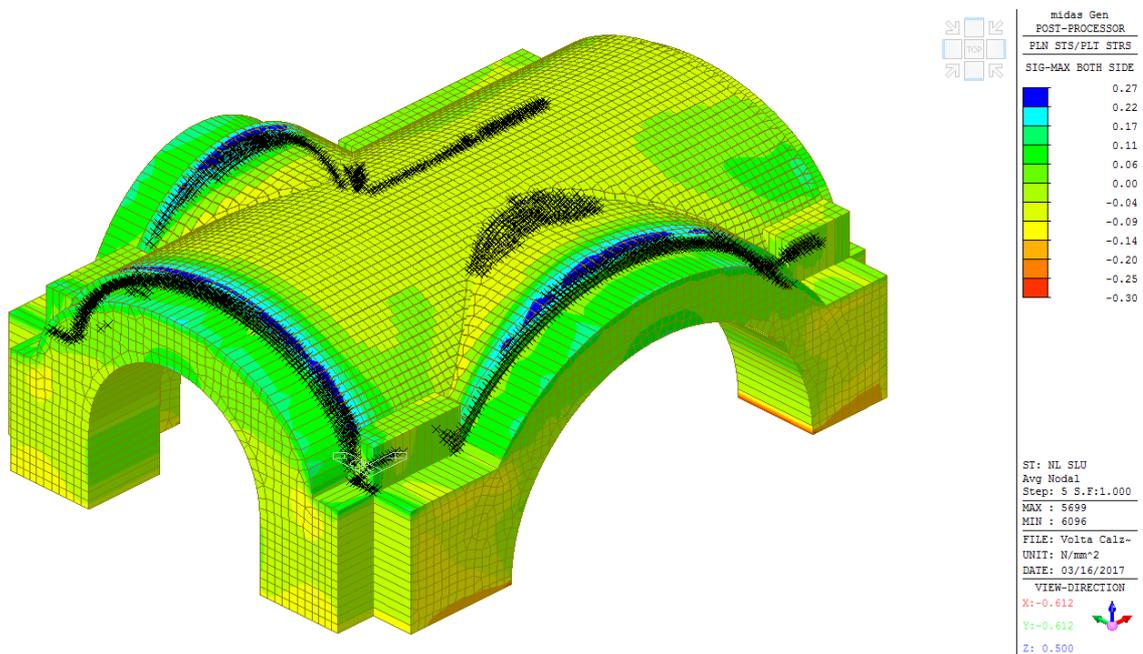


Figura 10.33: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'estradosso per SLU

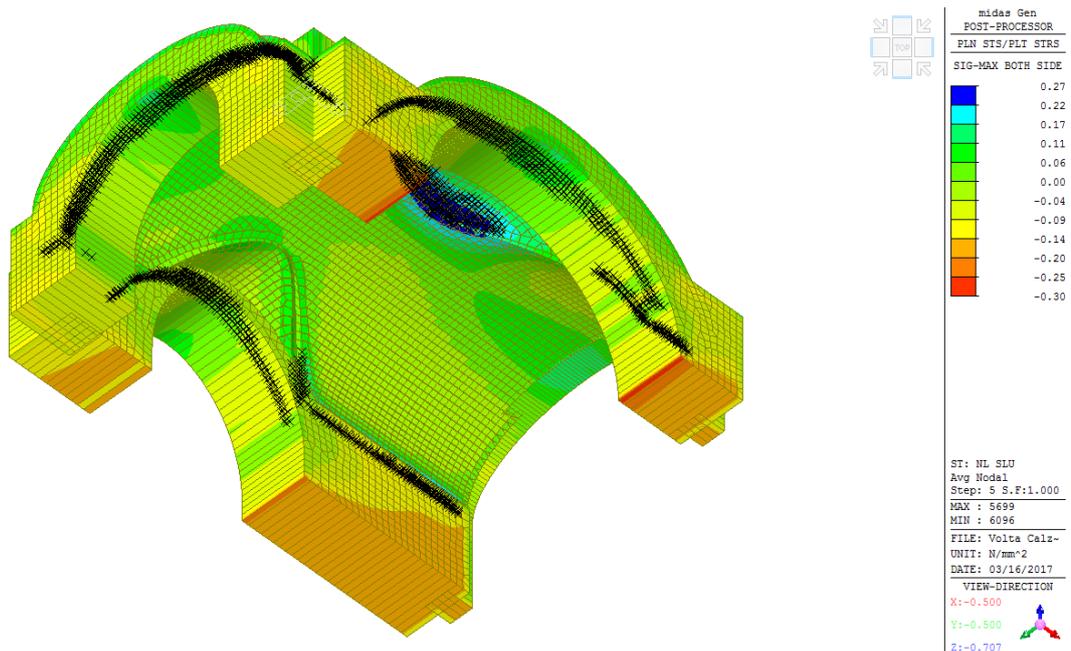


Figura 10.34: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'intradosso per SLU

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

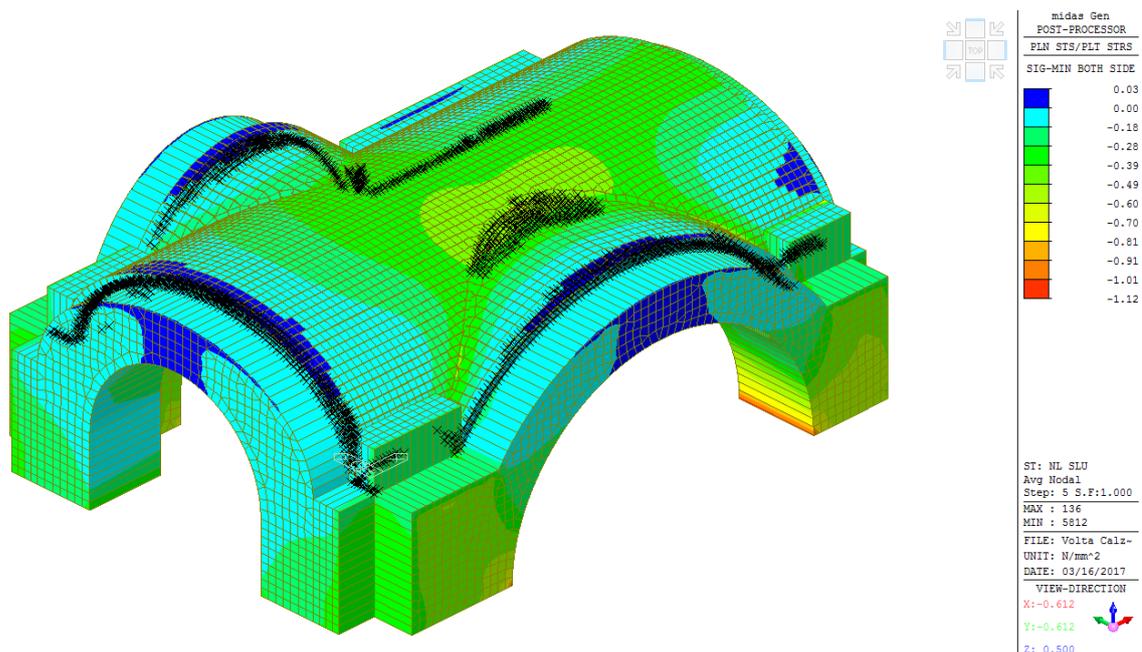


Figura 10.35: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'estradosso per SLU

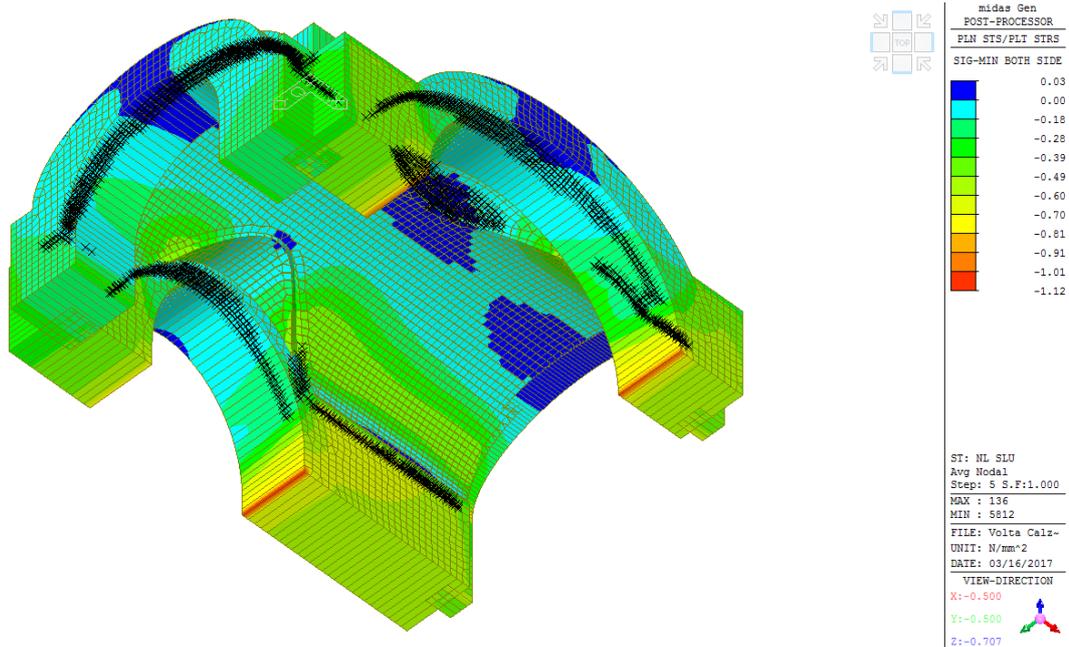


Figura 10.36: volta n.1 - Configurazione A: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'intradosso per SLU

Incrementando i carichi fino a raggiungere i valori tipici dell'SLU, si nota un aumento della zona tesa al confine tra archi e volte e l'insorgere di importanti trazioni nell'intersezione tra una lunetta e la volta a botte.

In tale zona, la struttura voltata, che non presenta particolari criticità in condizioni di esercizio, potrebbe invece presentare un importante quadro fessurativo in condizioni ultime. Tale evidenza, anche se non parrebbe compromettere la staticità della struttura, suggerisce di condurre un approfondimento di indagine per conoscere la reale geometria delle volte e l'entità esatta dei carichi, in modo da valutare in modo più circostanziato se sia necessario un intervento di consolidamento localizzato.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

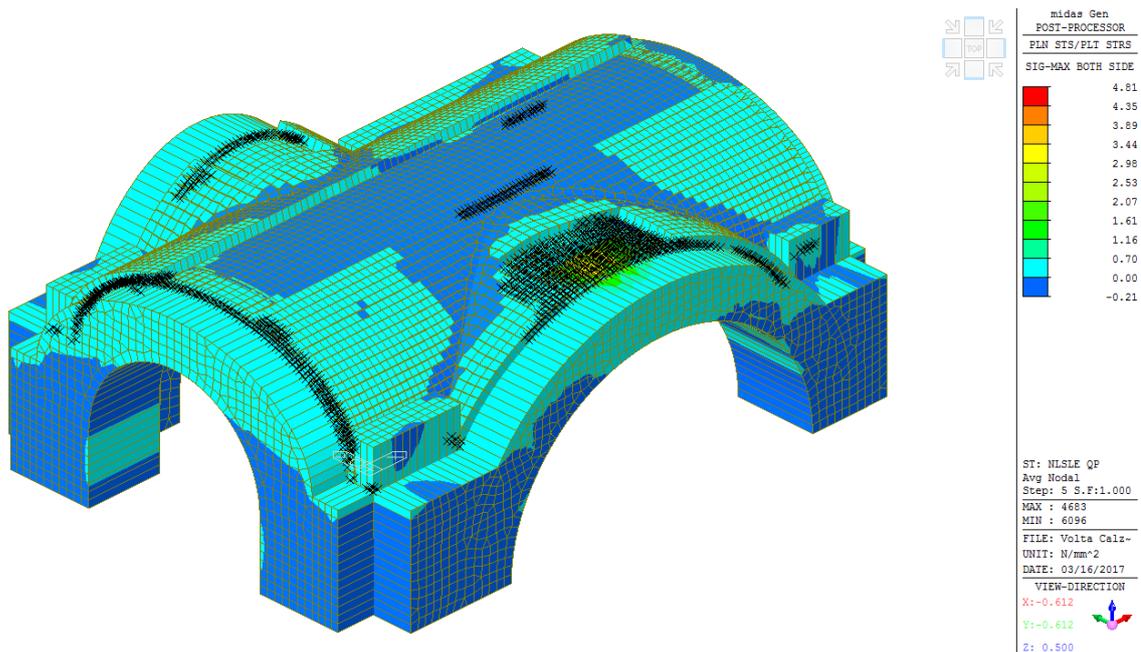


Figura 10.37: volta n.1 - Configurazione B: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'estradosso per SLE QP

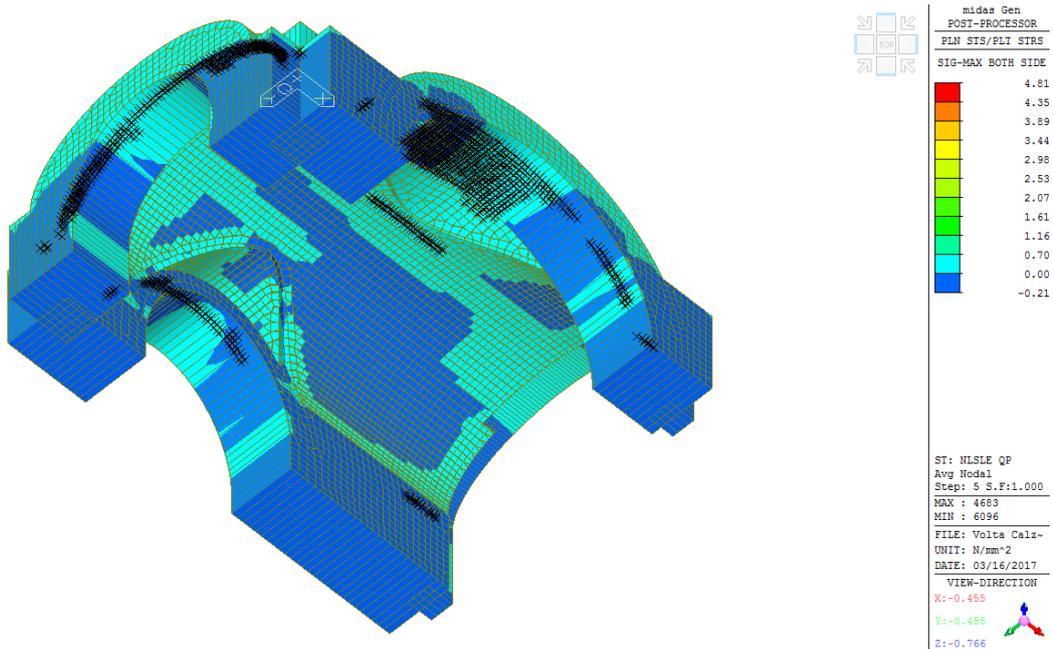


Figura 10.38: volta n.1 - Configurazione B: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'intradosso per SLE QP

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

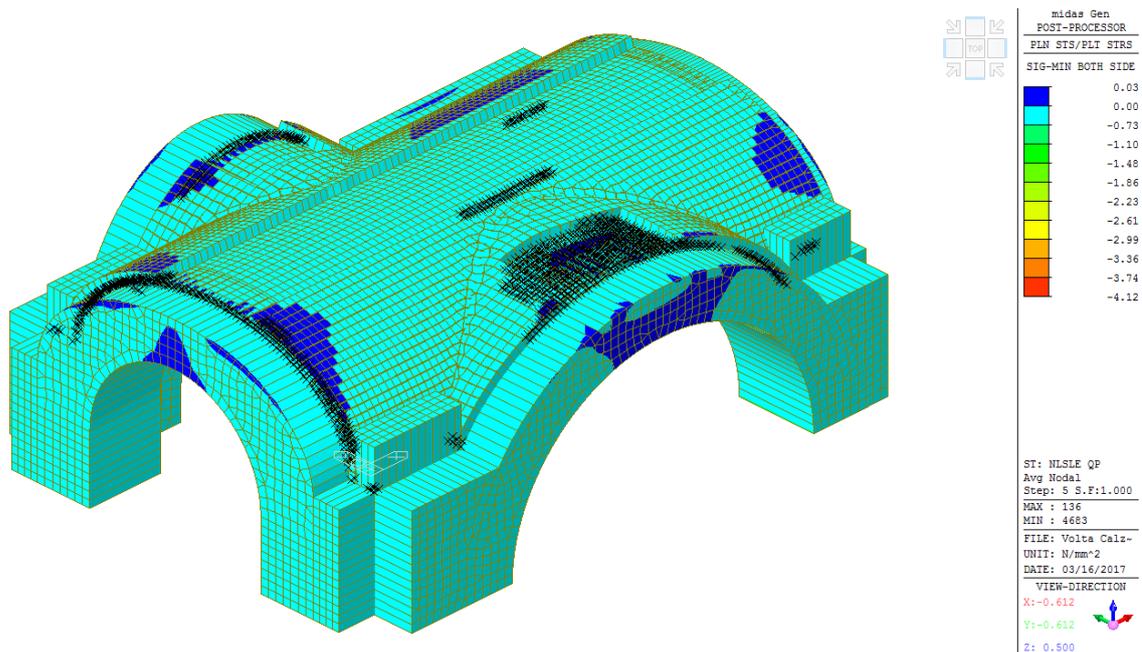


Figura 10.39: volta n.1 - Configurazione B: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'estradosso per SLE QP

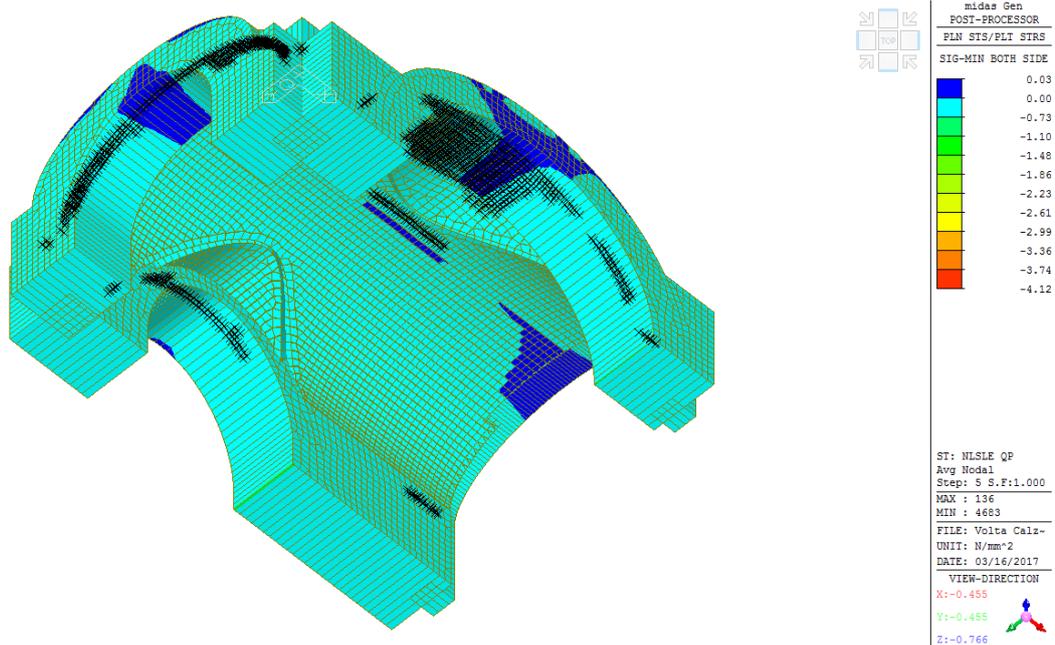


Figura 10.40: volta n.1 - Configurazione B: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'intradosso per SLE QP

Nell'ipotetica configurazione con spessore di volta 12 cm in chiave, a SLE QP si conferma il quadro fessurativo tra volte ed archi e si evidenzia una criticità in chiave in una delle due lunette, che presenterebbe un evidente quadro fessurativo.

Nella realtà tale quadro non è presente: è quindi probabile che le lunette presentino spessore di 24 cm, oppure che il carico al di sopra di essere sia di entità inferiore.

In tale configurazione geometrica, che evidentemente non rispecchia la realtà, incrementando i carichi per raggiungere l'SLU, il modello denoterebbe una lesione completa della lunetta.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

In conclusione, per la volta n.1 (rappresentativa della tipologia ricorrente nell'ala del fabbricato al di sotto del refettorio) si può rilevare che sotto i carichi di esercizio non si evidenziano particolari criticità.

Incrementando i carichi fino ad arrivare a SLU, potrebbero presentarsi problemi su una delle due lunette, soprattutto se presentasse uno spessore di 12 cm in chiave.

Per definire l'effettivo comportamento statico locale della volta e predisporre gli eventuali interventi di rinforzo (qualora ritenuti necessari) sarebbe necessario indagare molto dettagliatamente la geometria ed i carichi, infittendo le endoscopie o rimuovendo localmente la pavimentazione. Tale operazione, nell'ottica di ottenere una verifica globale a SLU di tutte le volte, andrebbe estesa a tutte le diverse geometrie presenti nell'interrato del fabbricato, per identificare eventuali singolarità.

10.5.2 Volta n.2 - Volta con Pilastro

Come indicato al §5.1.1, la volta n.2 si presenta come una volta a botte, di spessore 12 cm (con tratti alle reni da 24 cm), impostata radente al terreno (a quota 35 cm) su muri ed archi di notevole spessore (dell'ordine di 1 m) e dotata di due lunette laterali.

Non avendo informazioni esatte su dove vi sia il cambio di spessore tra 24 e 12 cm, cautelativamente si assume uno spessore di 12 cm per tutta la volta. La mesh adottata è quella descritta al §9.6.4.

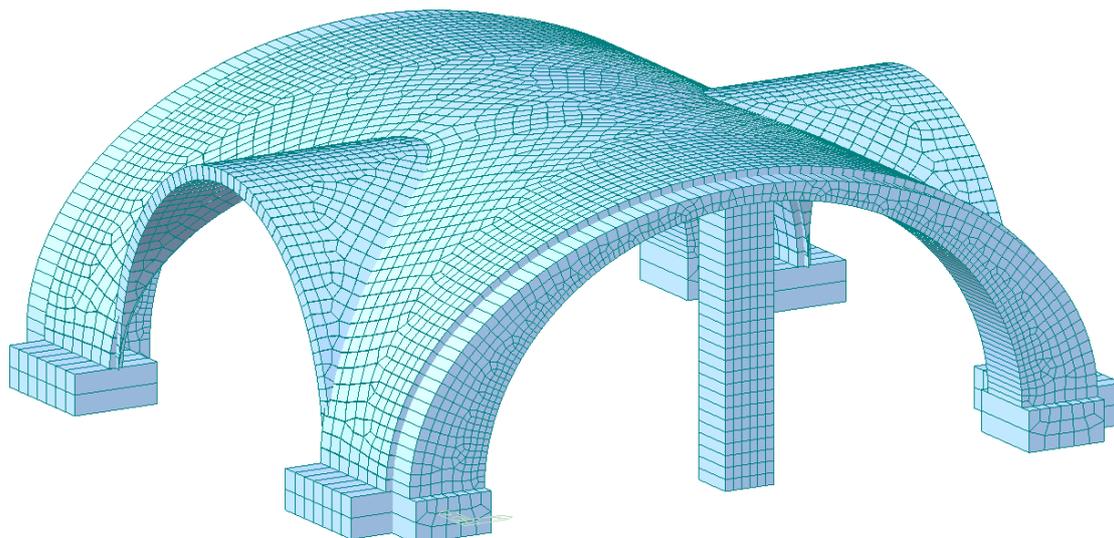


Figura 10.41: modello FEM della volta n.2, assunta di spessore costante 12 [cm]

Il modello è realizzato utilizzando 5180 nodi e 4990 elementi plate-shell.

Oltre ai vincoli verticali al piede dei muri, nei modelli sono inseriti vincoli orizzontali per simulare la presenza di muri in prosecuzione di quelli del vano considerato. Non è stata modellata la muratura di tamponamento in corrispondenza di uno dei suoi pilastri in quanto, anche se realizzata con mattoni pieni, è scollegata dall'arco e quindi non svolge funzioni strutturali.

Per indagare in modo più accurato lo stato tensionale dell'arco con pilastro oggetto di rinforzo provvisorio, si considera anche il modello in stato piano di tensione descritto al §9.6.1 e rappresentato nella seguente figura.

Il modello è realizzato utilizzando 2955 nodi e 2861 elementi plate-shell.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

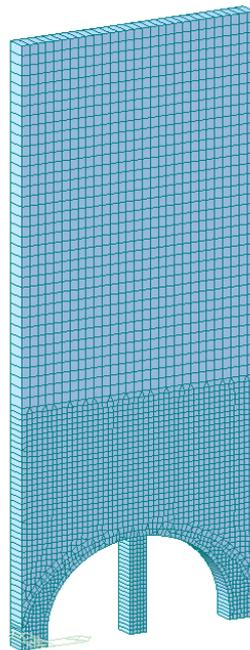


Figura 10.42: modello FEM in stato piano di tensione della parete al di sopra dell'arco con pilastro oggetto di opera provvisoria

L'analisi a cui i modelli sono sottoposti è di tipo statico con non linearità del materiale. Il metodo di iterazione utilizzato è il Newton-Raphson ed il criterio di convergenza è in controllo di forza.

Per entrambi i modelli l'analisi non lineare è stata condotta considerando la combinazione SLE quasi permanente e la combinazione SLU.

Le principali risultanze del quadro deformativo e tensionale dei due modelli sono riportate nelle seguenti figure.

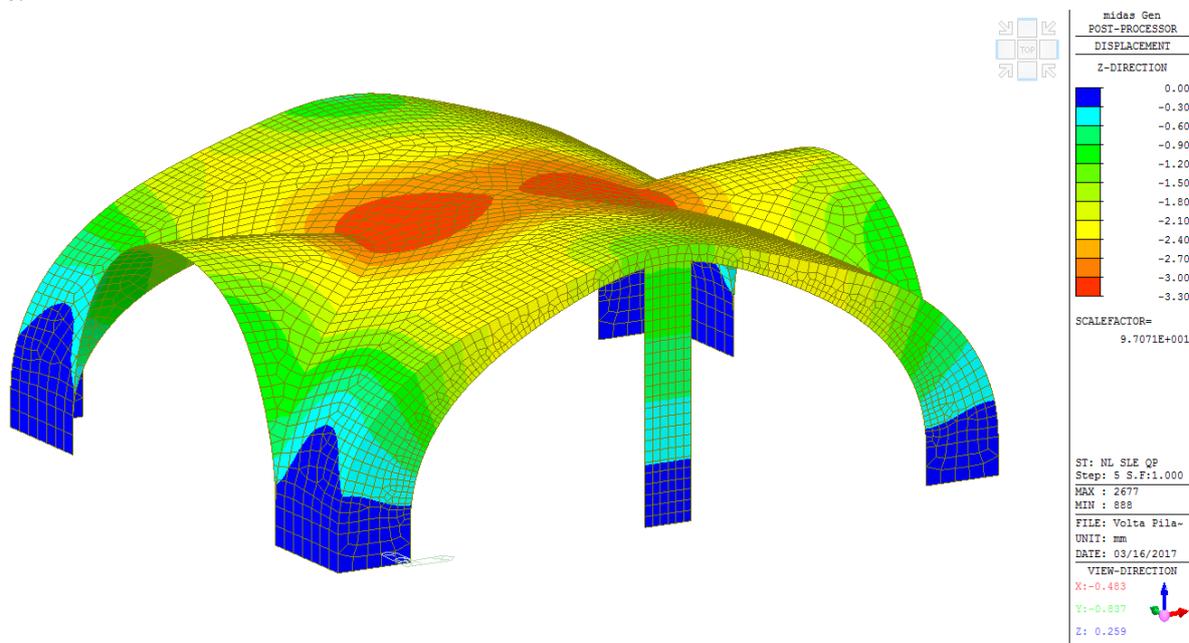


Figura 10.43: volta n.1 - Configurazione A: deformata con valori di traslazione verticale per SLE QP

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

L'entità della freccia massima (3.30 mm) denota che la volta non ha subito particolari assestamenti dovuti ai carichi nel tempo, segnale di una corretta impostazione geometrica all'atto della costruzione.

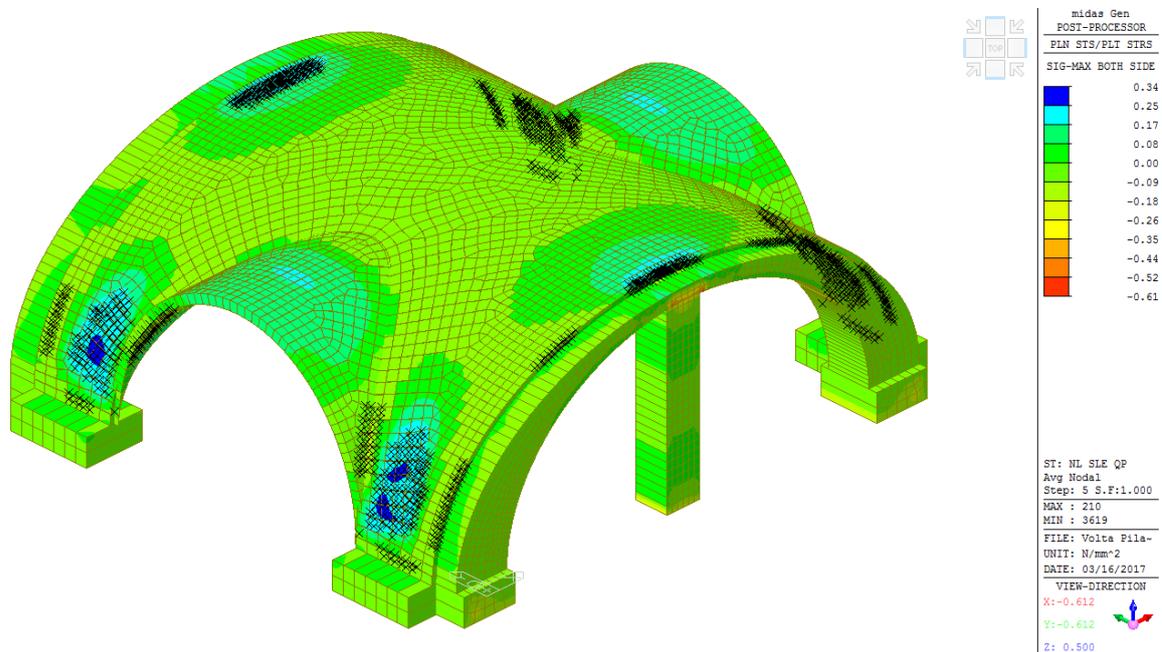


Figura 10.44: volta n.2: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'estradosso per SLE QP

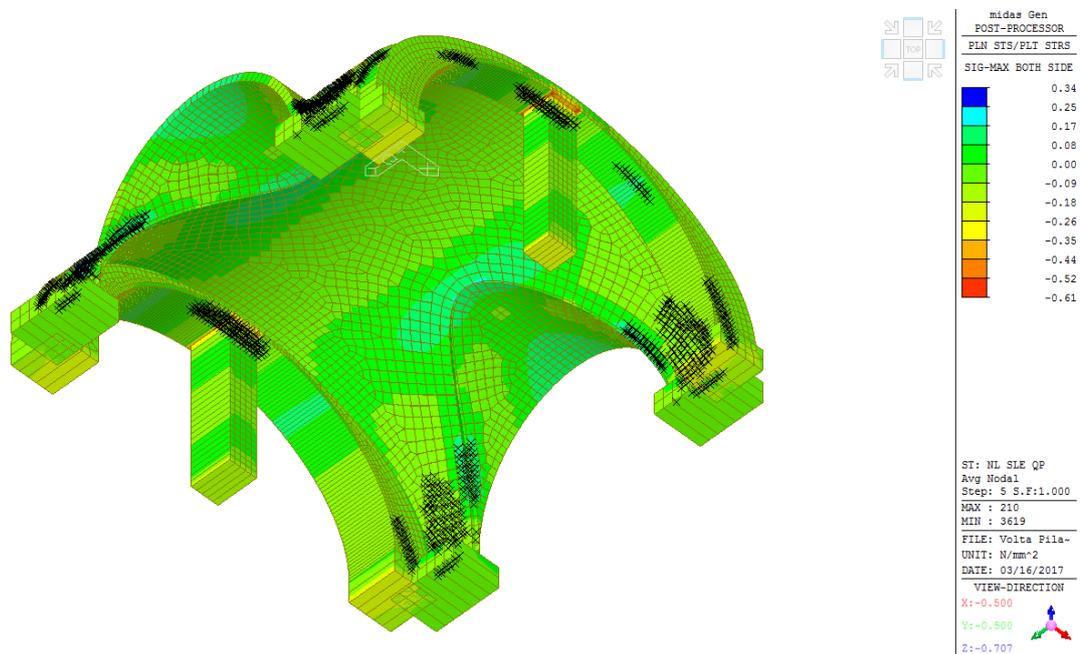


Figura 10.45: volta n.2: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'intradosso per SLE QP

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

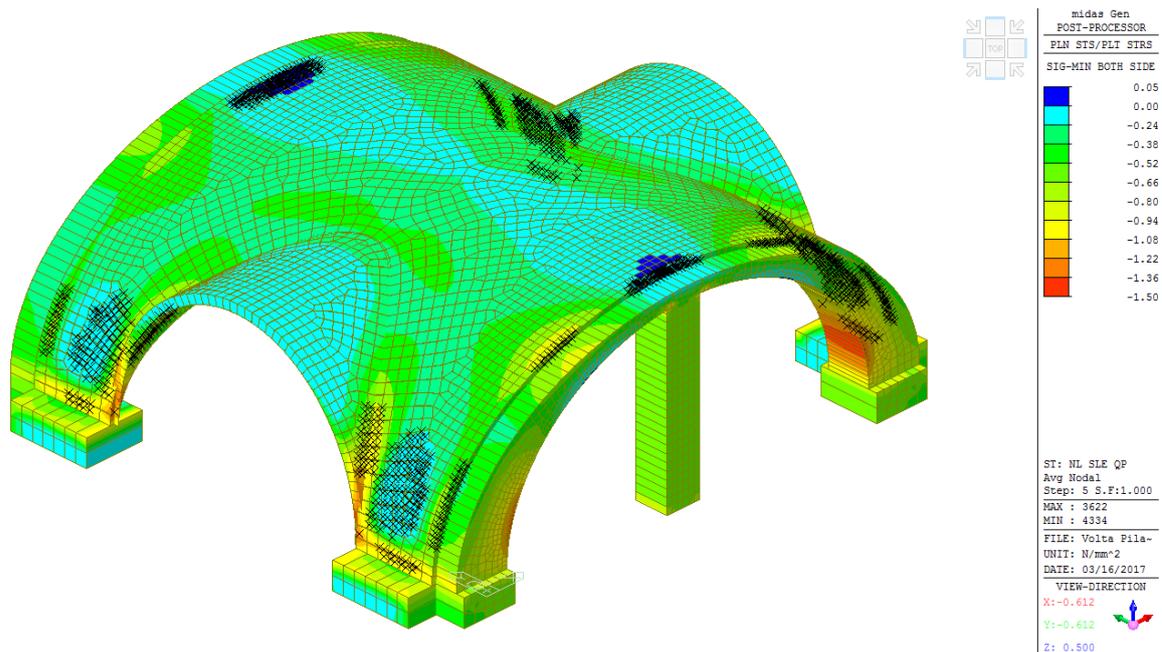


Figura 10.46: volta n.2: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'estradosso per SLE QP

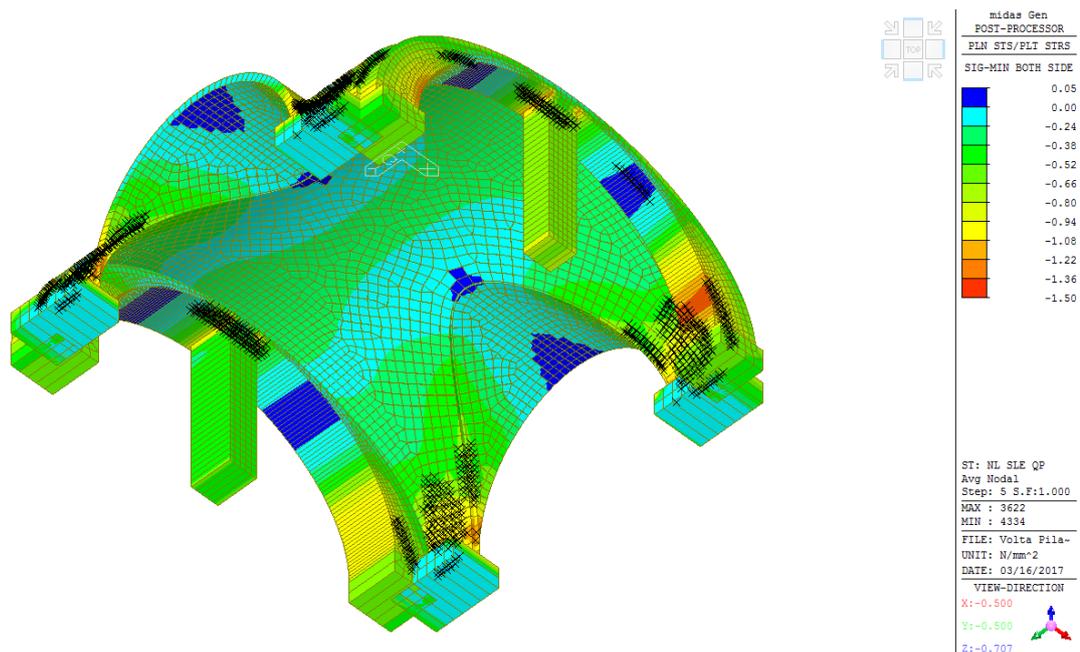


Figura 10.47: volta n.2: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'intradosso per SLE QP

Come si può rilevare, nella combinazione di carico di esercizio, la volta presenta un quadro tensionale in linea con le aspettative, senza evidenziare particolari criticità.

Il valore assunto per la resistenza a trazione della muratura viene superato principalmente in corrispondenza dell'appoggio degli archi sui pilastri, segno evidente dell'effetto perturbativo da essi indotto sul comportamento statico complessivo.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Risultano in zona tesa oltre il limite di rottura anche le imposte della volta a botte: occorre però precisare che in tali zone la tessitura della volta è strettamente connessa agli spessi muri perimetrali (non inseriti nel modello) e pertanto il quadro tensionale complessivo risulti non fessurato.

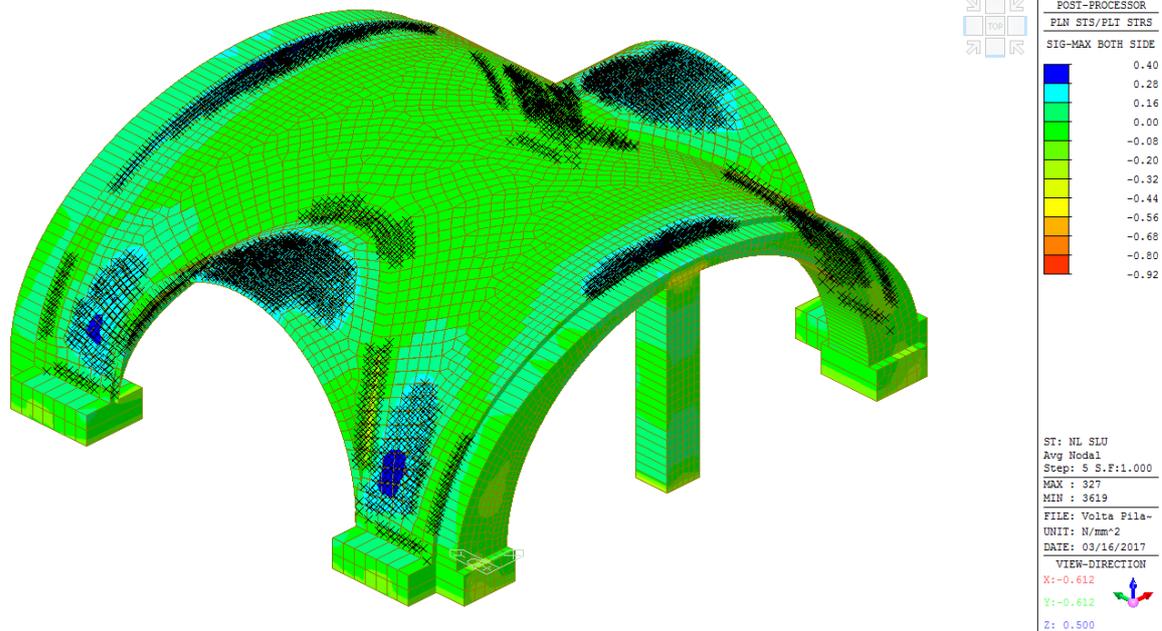


Figura 10.48: volta n.2: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'estradosso per SLU

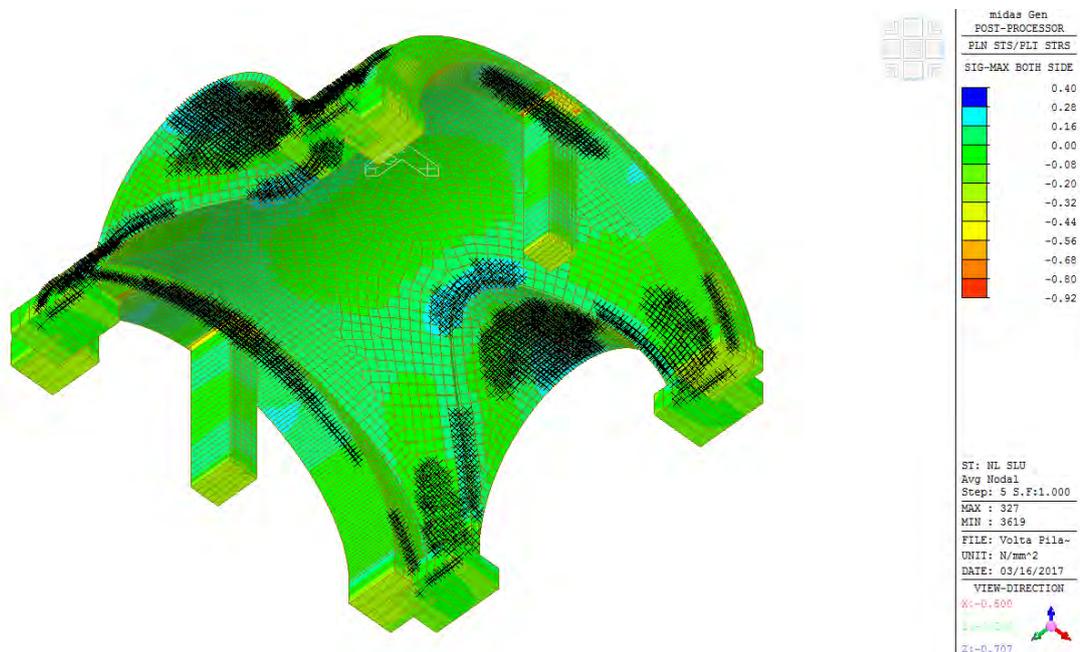


Figura 10.49: volta n.2: mappa delle tensioni principali massime (trazione positiva) all'intradosso per SLU

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

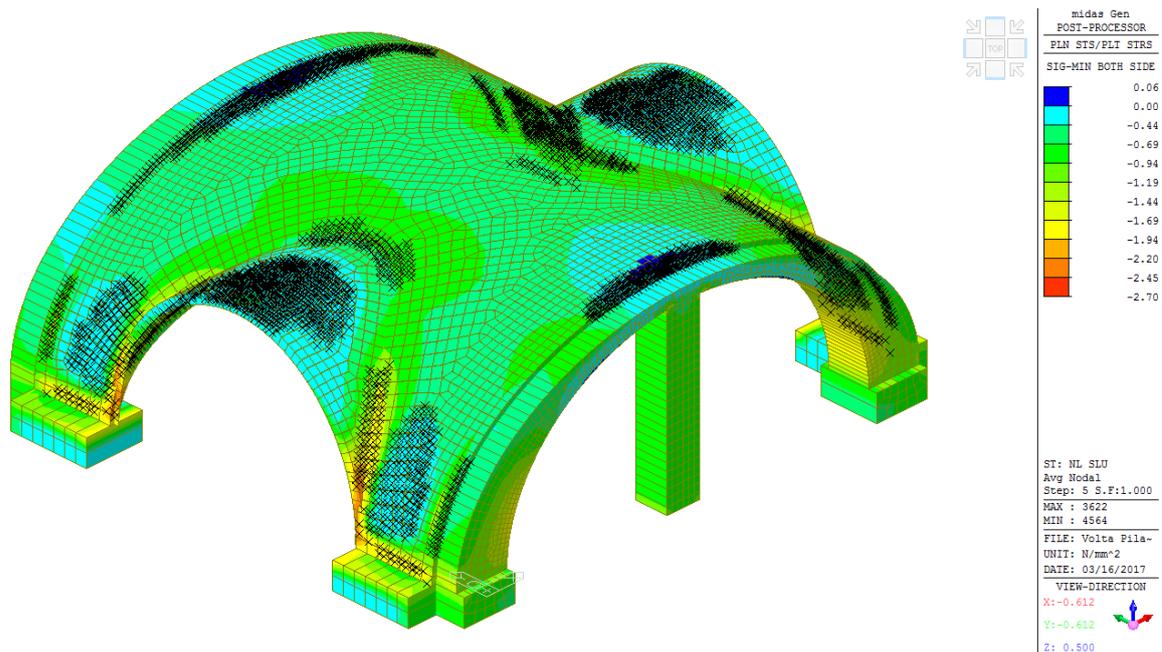


Figura 10.50: volta n.2: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'estradosso per SLU

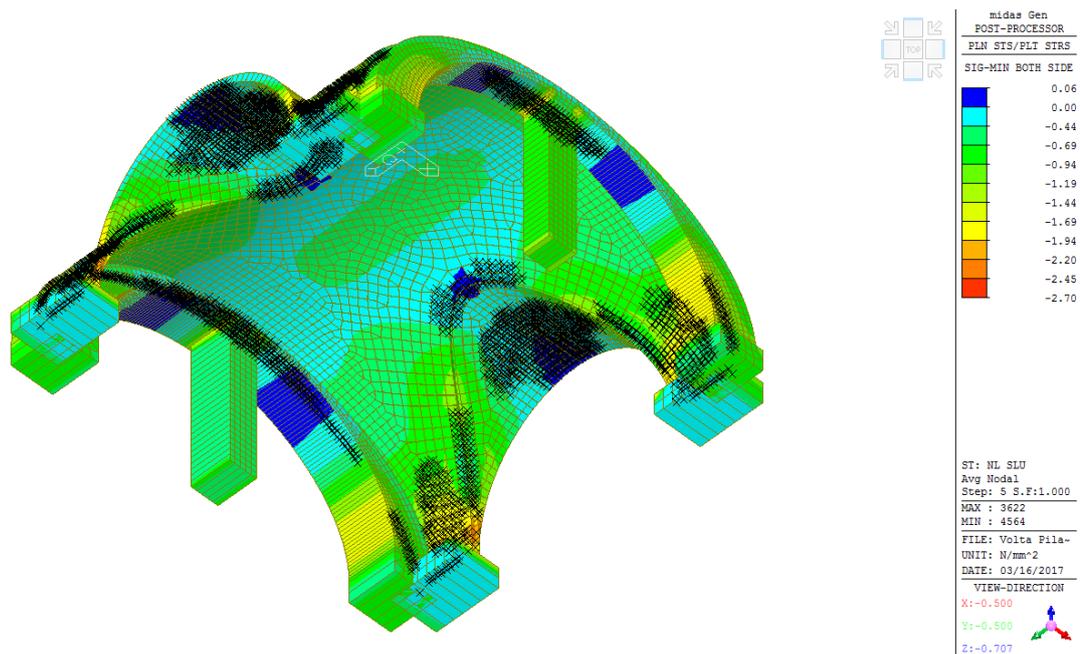


Figura 10.51: volta n.2: mappa delle tensioni principali minime (trazione positiva) all'intradosso per SLU

Incrementando i carichi fino a raggiungere i valori tipici dell'SLU, si nota un aumento delle zone tese individuate nei pressi dei pilastri e la creazione di una più ampia zona tesa al confine tra archi e volte; inoltre insorgono importanti trazioni nelle lunette e nella loro intersezione con la volta a botte.

Attualmente le lunette non presentano particolari criticità in condizioni di esercizio, mentre potrebbero evidenziare un importante quadro fessurativo in condizioni ultime. Tale eventualità, anche se non parrebbe compromettere la staticità della struttura, suggerisce di condurre un approfondimento di indagine per conoscere la reale geometria delle volte (soprattutto per quanto riguarda gli spessori dei paramenti) e l'entità

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

esatta dei carichi, in modo da valutare in modo più circostanziato se sia necessario un intervento di consolidamento localizzato.

Il dettaglio che merita maggiore attenzione, su entrambi i lati della volta, è la zona di intersezione tra arco e pilastro: sia i modelli globali della volta che quello locale della parete evidenziano una concentrazione di tensioni piuttosto elevata, come è possibile rilevare nella seguente figura.

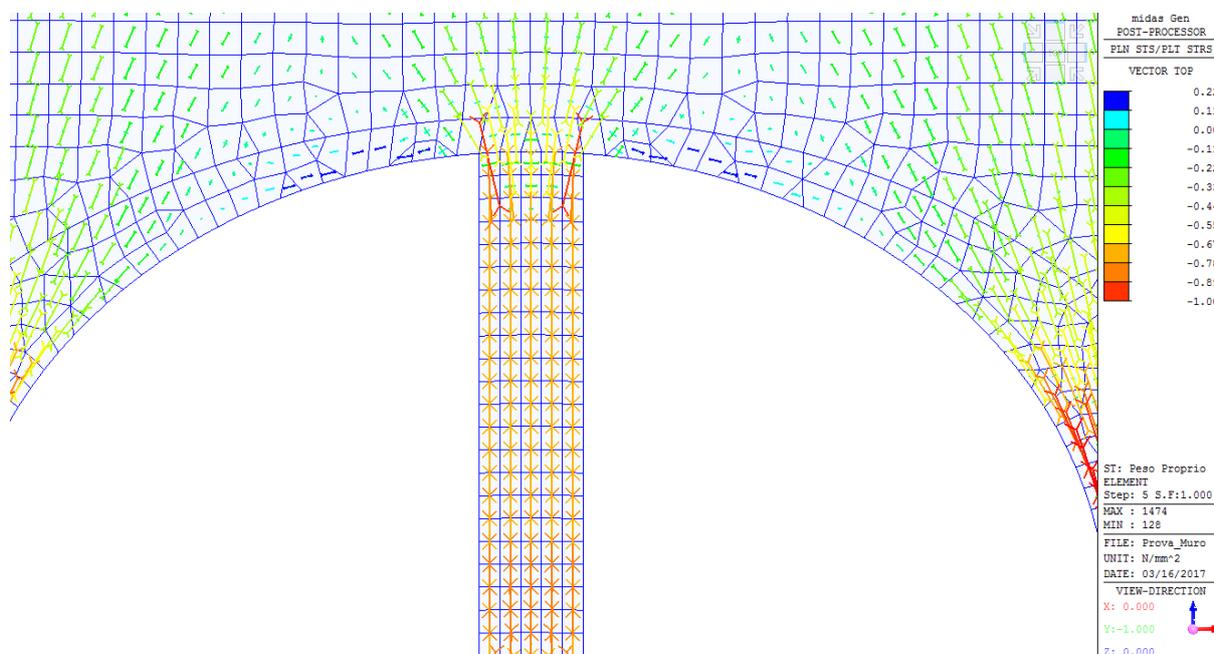


Figura 10.52: direzione delle tensioni principali nella muratura e relativi valori in corrispondenza dell'intersezione tra arco e pilastro in combinazione SLE QP

Le due principali evidenze sono la concentrazione di compressione verticale in corrispondenza dell'appoggio dell'arco sul pilastro e le evidenti trazioni al lembo inferiore dell'arco ai fianchi del pilastro.

La compressione media sul pilastro a SLE QP è di circa 0.85 MPa, che diventano circa 1.15 MPa in combinazione SLU. Tale valore, in corrispondenza di murature di scarsa qualità realizzativa, può portare a dissesti quali quello verificatosi nel pilastro oggetto di intervento provvisorio.

Allo stato attuale il dissesto pare essere limitato solamente a tale pilastro; appare opportuno comunque tenere monitorato il comportamento degli altri pilastri e prevedere un idoneo intervento di consolidamento.

10.5.3 Conclusioni

Con riferimento alle due tipologie di volte analizzate, si può rilevare che sotto i carichi di esercizio non si evidenziano particolari criticità.

Incrementando i carichi fino ad arrivare a SLU, potrebbero presentarsi problemi localizzati, in particolar modo sulle lunette (soprattutto se lo spessore in chiave fosse di 12 cm).

Per definire l'effettivo comportamento statico locale di ogni singola volta e predisporre gli eventuali interventi di rinforzo (qualora ritenuti opportuni), sarebbe necessario indagare molto dettagliatamente la geometria ed i carichi, infittendo le endoscopie o preferibilmente rimuovendo localmente la pavimentazione. Tale operazione, nell'ottica di ottenere una verifica globale a SLU di tutto l'impalcato, andrebbe estesa a tutte le diverse geometrie presenti nell'interrato del fabbricato, per identificare eventuali singolarità (dovute, ad esempio, alle demolizioni effettuate durante l'installazione degli impianti).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017



Un'operazione di questa portata dovrebbe collocarsi all'interno di un intervento di adeguamento dell'edificio: rimuovendo la pavimentazione, si potrebbero valutare con esattezza spessori delle volte ed eventuali lesioni, indirizzando quindi correttamente gli eventuali interventi di rinforzo. Inoltre, nella ricostituzione della pavimentazione, si utilizzerebbero riempimenti e sottofondi alleggeriti, che omogeneizzerebbero e ridurrebbero notevolmente i carichi applicati sulle volte, con conseguenti vantaggi statici.

Per quanto concerne le volte con pilastri, la presenza di tali elementi verticali causa un'evidente alterazione locale del quadro tensionale, con conseguente concentrazione di compressione verticale in corrispondenza dell'appoggio degli archi sui pilastri ed evidenti trazioni al lembo inferiore degli archi ai fianchi dei pilastri.

La compressione media sul pilastro può portare, in corrispondenza di murature di scarsa qualità realizzativa, a dissesti quali quello verificatosi nel pilastro oggetto di intervento provvisoriale. Allo stato attuale il dissesto pare essere limitato solamente a tale pilastro; appare opportuno comunque tenere monitorato il comportamento degli altri pilastri e prevedere un idoneo intervento di consolidamento.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

11. VERIFICHE STATICHE SULLA PALESTRA IN CALCESTRUZZO ARMATO

Nel presente capitolo si riportano le risultanze delle verifiche di sicurezza statiche condotte sulla palestra in calcestruzzo armato, oggetto della campagna diagnostica di cui al §8.

Le verifiche di vulnerabilità sismica del fabbricato esulano dal presente incarico; nelle conclusioni verranno comunque qualitativamente evidenziate le possibili criticità che potrebbero emergere da un'analisi del fabbricato soggetto a sollecitazioni sismiche.

11.1 Caratteristiche dei materiali

I materiali assunti per le analisi strutturali derivano dalla campagna diagnostica condotta sul fabbricato; le tipologie determinate ed i valori di resistenza media sono riassunti in Tabella 8.4, che viene di seguito riportata per maggior chiarezza espositiva.

Elementi strutturali	Calcestruzzo	Acciaio
Pilastri	$R_{cm} = 30 \text{ MPa}$	AQ 50 (liscio), $f_{ym} = 370 \text{ MPa}$
Travi Perimetrali	$R_{cm} = 18 \text{ MPa}$	AQ 50 (liscio), $f_{ym} = 370 \text{ MPa}$
Travi Scala e Ingresso	$R_{cm} = 25 \text{ MPa}$	AQ 50 (liscio), $f_{ym} = 370 \text{ MPa}$
Travi e Soletta di Copertura	$R_{cm} = 25 \text{ MPa}$	A 38 (ad. migl.), $f_{ym} = 380 \text{ MPa}$
Catene Copertura	-	AQ 50, $f_{ym} = 370 \text{ MPa}$

Tabella 11.1: Materiali adottati per le verifiche di sicurezza strutturali

Nella determinazione delle resistenze di calcolo si fa riferimento ad un fattore di confidenza $FC=1.2$, compatibile con un livello di conoscenza LC2 (Conoscenza adeguata secondo quanto indicato nel paragrafo C8A.1.8.3 della circolare esplicativa n.617/2009).

11.2 Analisi dei carichi

Per l'analisi statica, le azioni rilevanti per la struttura in esame sono costituite dai carichi permanenti strutturali, dai carichi permanenti portati, dal carico di esercizio e dalle azioni atmosferiche di vento e neve.

11.2.1 Carichi permanenti.

Per una corretta analisi statica del fabbricato è fondamentale un'accurata definizione delle azioni permanenti, che rappresentano la quota parte maggiore delle azioni statiche.

Per determinare i carichi permanenti si è fatto riferimento agli elaborati del progetto originario, alla manualistica RDB ed alle risultanze emerse dalla campagna diagnostica.

I carichi permanenti sul fabbricato in oggetto sono rappresentati dai pesi propri dei materiali strutturali (G_1 , §3.1.2 del D.M 2008) e da quelli dei materiali non strutturali (G_2 , §3.1.3 del D.M. 2008), utilizzati per le opere di finizione. Essendo questi ultimi carichi compiutamente definiti (in quanto verificati dalle indagini in situ), con riferimento alla tabella 2.6.I del D.M. 2008, vengono equiparati, a livello probabilistico, ai carichi permanenti strutturali (quindi di tipo G_1).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Per il peso proprio degli elementi strutturali e non strutturali in calcestruzzo armato si assume cautelativamente $\gamma_{c.a.} = 25.00$ [kN/m³], in accordo con il punto 3.1.2 del D.M. 2008, anche se le risultanze della campagna di indagini condotta (peso specifico delle carote estratte e percentuali di armatura) porterebbero ad un valore compreso tra 23.50 e 24.00 kN/m³.

Per gli elementi non armati, si assume cautelativamente $\gamma_{cls} = 24.00$ kN/m³.

Gli elementi strutturali in calcestruzzo non armato sono rappresentati da: fondazioni e muri in elevazione controterra.

Gli elementi strutturali in calcestruzzo armato sono rappresentati da: cordoli, pilastri, travi e solette (piene ed in struttura latero-cementizia).

Gli elementi non strutturali in calcestruzzo armato sono rappresentati da: muri di tamponamento e cornicioni; questi ultimi vengono inseriti nel modello solo come carichi sulle travi di bordo (2.50 kN/m).

Per le catene in acciaio delle capriate di copertura si assume $\gamma_{acciaio} = 78.50$ kN/m³.

Per il tamponamento in doppio paramento di mattoni forati. con relativo intonaco. si assume un carico di 3.00 kN/m².

11.2.2 Carichi di progetto sugli orizzontamenti

Dalle indagini eseguite e dalla documentazione progettuale è stato possibile stimare la stratigrafia dei solai, pertanto è possibile valutarne il carico permanente sommando il contributo dei vari strati.

Nel dettaglio si è adottato:

Corridoio - Prima Soletta

Carichi permanenti strutturali (G_{1k})	2.00 [kN/m ²]
Carichi permanenti non strutturali (G_{2k})	2.00 [kN/m ²]
Carichi Variabili C2 (Q)	4.00 [kN/m ²]

Corridoio - Soletta Scala

Carichi permanenti strutturali (G_{1k})	2.75 [kN/m ²]
Carichi permanenti non strutturali (G_{2k})	2.25 [kN/m ²]
Carichi Variabili C2 (Q)	4.00 [kN/m ²]

Corridoio - Soletta di Copertura

Carichi permanenti strutturali (G_{1k})	2.00 [kN/m ²]
Carichi permanenti non strutturali (G_{2k})	1.50 [kN/m ²]
Carichi Variabili H1 (Q)	0.50 [kN/m ²]

Soletta di Copertura a Paraboloide Iperbolico RDB

Carichi permanenti strutturali (G_{1k})	1.20 [kN/m ²]
Carichi permanenti non strutturali (G_{2k})	1.00 [kN/m ²]
Carichi Variabili H1 (Q)	0.50 [kN/m ²]

11.2.3 Azioni della neve e del vento.

Per la valutazione delle azioni della neve e del vento si fa riferimento a quelle calcolate ai paragrafi 9.2.4 e 9.2.5, cautelativamente riferite ad una vita utile della struttura di ulteriori 50 anni e ad un periodo di ritorno

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

convenzionale di 100 anni. Si ricorda che per poter considerare una vita utile così lunga per un fabbricato che ad oggi sfiora i 50 anni, è necessario effettuare opportuni interventi manutentivi che blocchino il degrado del calcestruzzo armato.

Per quanto concerne le azioni del vento si rileva che la facciata in adiacenza (e parziale aderenza) al fabbricato in muratura non è soggetta ad azioni eoliche.

11.3 Criteri di calcolo e di verifica per le azioni statiche

In assenza di specifiche indicazioni normative sul calcolo statico delle strutture esistenti, le verifiche vengono eseguite con riferimento a quanto previsto dalle NTC 2008 per gli edifici di nuova costruzione, riducendo le resistenze dei materiali per tener conto del livello di conoscenza della struttura a disposizione.

Le verifiche di sicurezza degli elementi strutturali alle *azioni statiche* sono quindi effettuate tramite il D.M. 14 gennaio 2008, secondo il *criterio semiprobabilistico degli stati limite*.

Tale norma, al paragrafo 2.1, prevede infatti che la sicurezza e le prestazioni di un'opera, o di una parte di essa, debbano essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

In particolare, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU)*: capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- *sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE)*: capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- *robustezza nei confronti di azioni eccezionali*: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

Secondo il paragrafo 2.2.3 del D.M. 2008, le opere strutturali devono essere verificate:

- a) per gli stati limite ultimi che possono presentarsi, in conseguenza alle diverse combinazioni delle azioni;
- b) per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese.

Trattandosi di struttura esistente, per le verifiche in stato limite di esercizio (SLE), non essendo presenti evidenti criticità deformative o di comfort, non è richiesto il rispetto di particolari criteri.

In conformità al punto 2.3 del D.M. 2008, per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati, quale il metodo di primo livello denominato metodo semiprobabilistico agli stati limite.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il *metodo dei coefficienti parziali* di sicurezza espresso dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

dove:

R_d è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali ed ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

I coefficienti parziali di sicurezza, associati ai materiali ed alle azioni, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche ed alla affidabilità del modello di calcolo.

11.3.1 Metodologie di calcolo adottate

Esaminata la tipologia delle strutture in studio, si è deciso di utilizzare l'analisi elastica lineare senza redistribuzione delle caratteristiche di sollecitazione, in conformità con quanto previsto dal D.M. 2008 al paragrafo 4.1.1.1 ed in piena analogia con quanto previsto dall'EN 1992-1-1 al punto 5.4.

Per la determinazione degli effetti delle azioni, le analisi saranno effettuate assumendo:

- sezioni interamente reagenti con rigidezze valutate riferendosi al solo calcestruzzo;
- relazioni tensione deformazione lineari;
- valori medi del modulo d'elasticità.

11.3.2 Combinazioni delle azioni

Al fine delle verifiche agli stati limite ultimi, le combinazioni utilizzate seguono la definizione della combinazione fondamentale di cui al §2.5.3. delle NTC 2008:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

I coefficienti parziali per le azioni vengono cautelativamente assunti pari a quelli delle strutture nuove, anche se per i carichi permanenti, a seguito delle indagini condotte, sarebbe più realistico adottare coefficienti unitari per l'amplificazione dei carichi.

I carichi permanenti non strutturali vengono assunti come compiutamente definiti.

Tipi di Carico	Effetto del Carico	Coefficiente γ_F	STR
Permanenti	Favorevoli	γ_{G1}	1.0
	Sfavorevoli		1.3
Permanenti non Strutturali	Favorevoli	γ_{G2}	0.0
	Sfavorevoli		1.5
Variabili	Favorevoli	γ_Q	0.0
	Sfavorevoli		1.5

Tabella 11.2: tabella 2.6.1 del D.M. 2008 - coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni nelle verifiche a SLU

11.4 Modelli di calcolo adottati

Per la valutazione delle sollecitazioni agenti sulle strutture degli orizzontamenti in studio sotto l'azione dei carichi statici, si adottano gli schemi di calcolo descritti nei paragrafi seguenti.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

11.4.1 Metodi di analisi utilizzati

Per la valutazione delle caratteristiche di sollecitazione prodotte dalle azioni statiche si utilizza un modello di calcolo agli elementi finiti.

Il modello adottato riproduce accuratamente tutti gli elementi strutturali in calcestruzzo armato in elevazione, compresi i tamponamenti in tale materiale, che non hanno specifiche funzioni strutturali, se non di portare i serramenti.

Non viene modellata la fondazione, in calcestruzzo non armato, in quanto l'intera struttura è impostata su un muro di cantina che, seppur non armato, offre elevata rigidità ed omogeneità i carichi in fondazione. Non sono infatti stati rilevati quadri fessurativi riconducibili a cedimenti differenziali in fondazione, anche in virtù dei limitati carichi trasmessi.

Nel modello non viene incluso il piccolo locale tecnologico al di sopra del corridoio di ingresso, realizzato in muratura e non collaborante con la struttura in calcestruzzo armato; viene unicamente considerato come carico applicato sulla soletta di copertura del corridoio.

11.4.2 Note sul metodo agli elementi finiti e sul codice di calcolo adottato

Il metodo agli elementi finiti si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti, denominati nodi. I nodi sono definiti da tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale.

Le incognite del problema statico (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno a X, Y, Z).

La soluzione del problema statico si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari, i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura, opportunamente concentrati ai nodi:

$$\mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{F}$$

dove:

- K è la matrice di rigidità;
- u è il vettore degli spostamenti nodali;
- F è il vettore delle forze nodali.

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema, vengono dedotte le caratteristiche di sollecitazione di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa X Y Z. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Il codice di calcolo adottato è *PRO-SAP Professional Structural Analysis Program*, prodotto dalla *2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria S.r.l.* di Ferrara.

La licenza utilizzata per le analisi eseguite nella presente relazione è la dsi 2231; il software utilizzato è nella versione 16.2.0.

Il programma PRO-SAP applica il metodo degli elementi finiti a strutture di forma qualunque, comunque caricate e vincolate.

La risoluzione del sistema $\mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{F}$ è condotta con l'algoritmo di Gauss modificato sulla matrice K globale suddivisa in blocchi.

La risoluzione delle equazioni del moto, ed in particolare l'applicazione dell'analisi dinamica prevista per il calcolo in zona sismica, è condotta con il metodo dello spettro di risposta.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

Nella produzione del solutore FEM, 2S.I. implementa componenti sviluppati da CM2 - Computing Objects SARL, spin-off dell'École Centrale Paris, France. E' disponibile la documentazione di affidabilità di tali componenti all'indirizzo web:

http://www.2si.it/software/download/manuali/pro_sap_quaderni/Affidabilità/benchmarks_e_sap.zip.

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l' idoneità al caso specifico. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione.

Sul software sono inoltre stati eseguiti test di affidabilità e validazione delle verifiche ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 paragrafo 10.2 da parte del Prof. Ing. Antonio Tralli del dipartimento di Ingegneria dell'Università degli studi di Ferrara e del Prof. Ing. Giulio Dondi del dipartimento Distrat dell'Università di Bologna.

11.4.3 Modello ad elementi finiti per l'esecuzione delle analisi statiche

Il modello FEM realizzato è caratterizzato da un livello di discretizzazione di medio-alta accuratezza, utilizzando 1638 nodi, 1286 elementi di tipo beam (per travi, pilastri e travetti della soletta di copertura), 812 elementi shell (per muri perimetrali controterra e muri di tamponamento) e 7 elementi di tipo solaio.

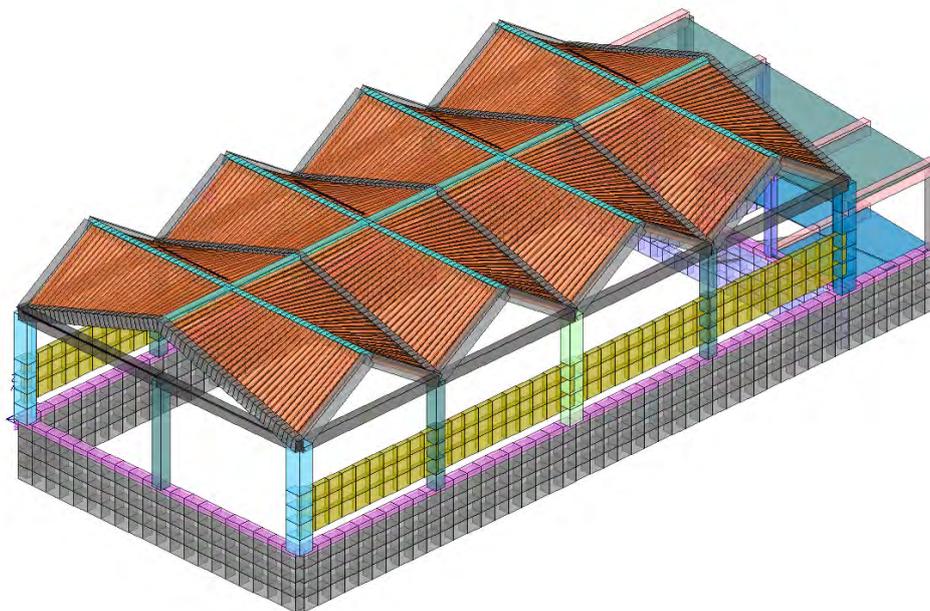


Figura 11.1: modello tridimensionale ad elementi finiti utilizzato per le analisi della struttura della palestra

Si sottolinea che la modellazione della copertura a falde di paraboloide iperbolico è stata effettuata tramite elementi beam che idealizzano ogni singolo travetto: non è stato infatti possibile adottare un elemento solaio in quanto le falde non sono piane.

Lo stesso modello è stato preventivamente utilizzato per completare, tramite progetto simulato (vedere §8.1), le informazioni sulla struttura esistente.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

Nella fase di progetto simulato, si sono utilizzati i materiali presenti sulle tavole strutturali dell'Ing. Barbieri, sono stati modificati i vincoli per ricondurre la struttura agli schemi statici risolvibili manualmente (o da prontuario) ed è stato impostato il criterio di verifica alle tensioni ammissibili, secondo le normative dell'epoca.

11.5 Modelli di verifica adottati

In questo paragrafo si trattano i principali modelli di calcolo utilizzati nel corso delle verifiche, secondo quanto previsto dal D.M. 14 gennaio 2008 (NTC 2008) ed in accordo con l'EN 1992-1-1 (Eurocodice 2).

Le prescrizioni delle norme si riferiscono (D.M. 2008, punto 4.1.2.1.2.1) ad elementi con armature aderenti, monodimensionali a prevalente sviluppo lineare e, per quanto possibile, agli elementi bidimensionali.

Si adottano le seguenti ipotesi:

- conservazione delle sezioni piane;
- perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione, con deformazione massima del calcestruzzo compresso pari -0.0035 nel caso di flessione semplice e composta con asse neutro reale, e variabile dal valore predetto a -0.002 quando l'asse neutro, esterno alla sezione, tende all'infinito (valido per classi di resistenza pari o inferiori a C50/60);
- rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima, con deformazione massima dell'armatura tesa pari al valore di calcolo $\varepsilon_{ud} = 0.9 \varepsilon_{uk}$ della deformazione uniforme ultima.

Per il calcestruzzo, si utilizza il diagramma parabola rettangolo di tipo (a) del punto 4.1.2.1.2.2 del D.M. 2008, mentre per l'acciaio si utilizza un diagramma bilatero non incrudente (tipo (b) del punto 4.1.2.1.2.3 del D.M. 2008), con una limitazione dell'allungamento a rottura all'1%, concordemente a quanto previsto dalle precedenti normative (D.M. 9 gennaio 1996 ed Eurocodice 2 versione ENV del 1993).

Per l'acciaio, non si considera quindi il ramo incrudente caratterizzato dalla tensione di snervamento f_{yd} e dal rapporto di sovrarresistenza $k = (f_t/f_y)_k$.

Trattandosi di una struttura esistente, le resistenze dei materiali devono essere ridotte in funzione della tipologia di meccanismo di rottura; in particolare, la Tabella C8.4 della circolare 617/2009 prevede, in caso di modello di analisi lineare, l'utilizzo delle seguenti proprietà dei materiali per il calcolo della capacità per le verifiche di sicurezza:

- meccanismi duttili (verifiche a flessione): valori medi;
- meccanismi fragili (verifiche a taglio): valori medi divisi per FC e γ_M .

Nell'esecuzione delle verifiche di resistenza a flessione, anche se non strettamente richiesto, i valori medi delle resistenze dei materiali sono cautelativamente divisi per il fattore di confidenza FC.

Con riferimento al punto 4.1.2.1.2.4 del D.M. 2008, la verifica di resistenza (SLU) di una sezione pressoinflessa si esegue controllando che:

$$M \leq M_{Rd} \leq M_{Ed}$$

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

dove:

- M_{Rd} è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a N_{Ed} ;
 N_{Ed} è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;
 M_{Ed} è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

Per quanto riguarda il taglio, la verifica di resistenza (SLU) si pone con:

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

dove:

- V_{Rd} è il valore di calcolo della resistenza a taglio;
 V_{Ed} è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, si utilizzano le seguenti relazioni per la determinazione dei vari contributi di resistenza di un elemento.

- Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura trasversale:

$$V_{Rds} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

- Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del calcestruzzo d'anima:

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

L'inclinazione θ dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i seguenti limiti:

$$1 \leq \text{ctg} \theta \leq 2.5$$

Per le strutture esistenti si pone convenientemente tale valore pari a 1.

Per elementi con armature trasversali resistenti a taglio, la resistenza a taglio della trave è la minore tra:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Infine, trattandosi di struttura esistente, per le verifiche in stato limite di esercizio (SLE), non essendo presenti evidenti criticità deformative o di comfort, non è richiesto il rispetto di particolari criteri.

11.6 Interpretazione dei risultati dei modelli di calcolo

Nel presente paragrafo si riportano i risultati più significativi delle analisi e statiche condotte sul modello di calcolo descritto nel §11.4.3.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

11.6.1 Analisi deformativa globale

Per verificare la correttezza della modellazione utilizzata, si valuta qualitativamente la deformata della struttura completa sottoposta ai principali gruppi di azioni in combinazioni di esercizio: carichi verticali e vento nelle due direzioni coordinate X e Y.

Le deformate riportate nelle seguenti figure rispecchiano il comportamento atteso per la struttura.

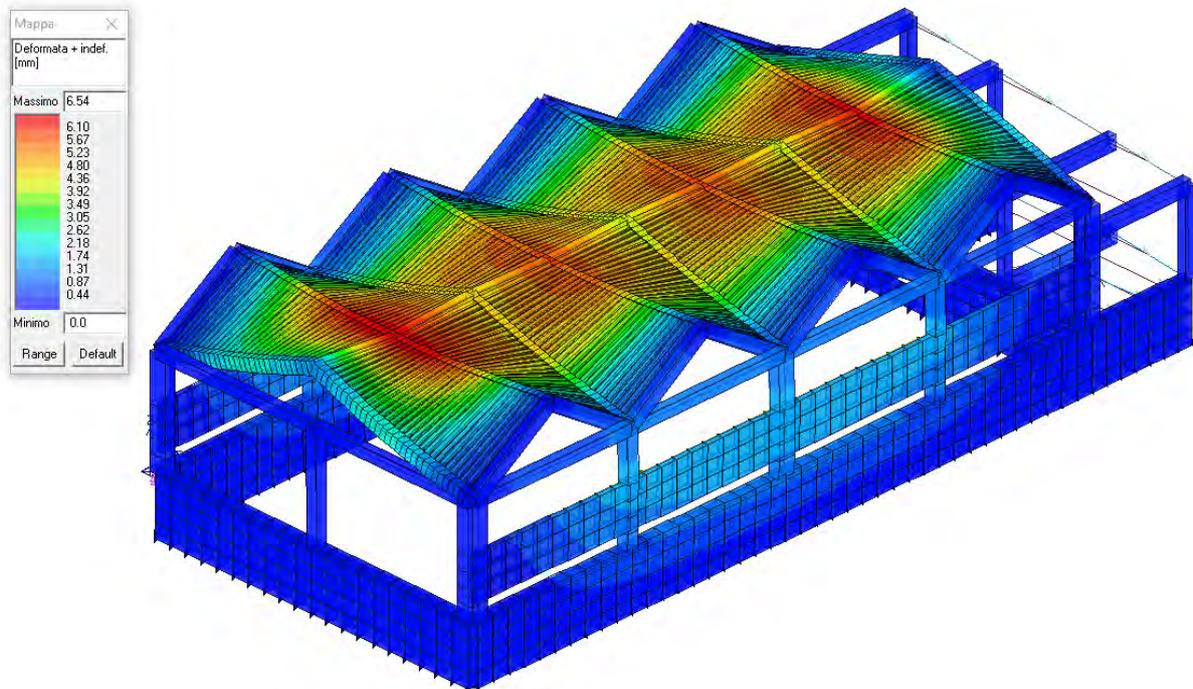


Figura 11.2: deformata del modello di calcolo sotto l'azione dei carichi gravitazionali in combinazione SLE Rara

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

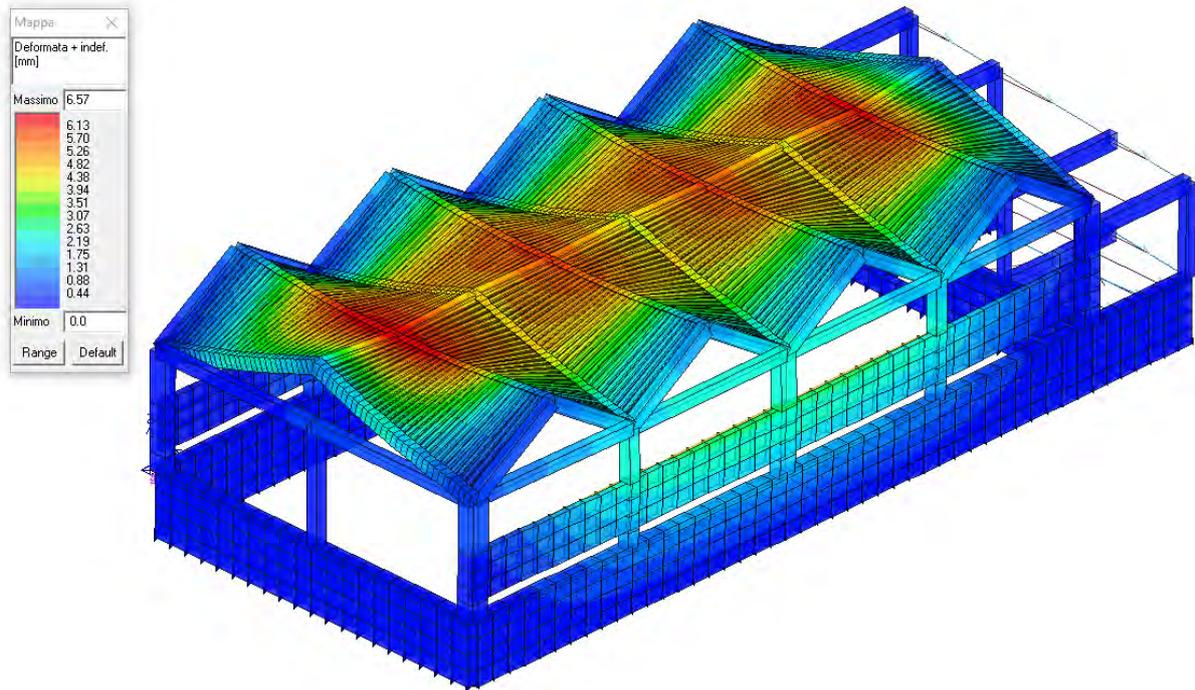


Figura 11.3: deformata del modello di calcolo sotto l'azione dei carichi gravitazionali e del vento in direzione X + in combinazione SLE Rara

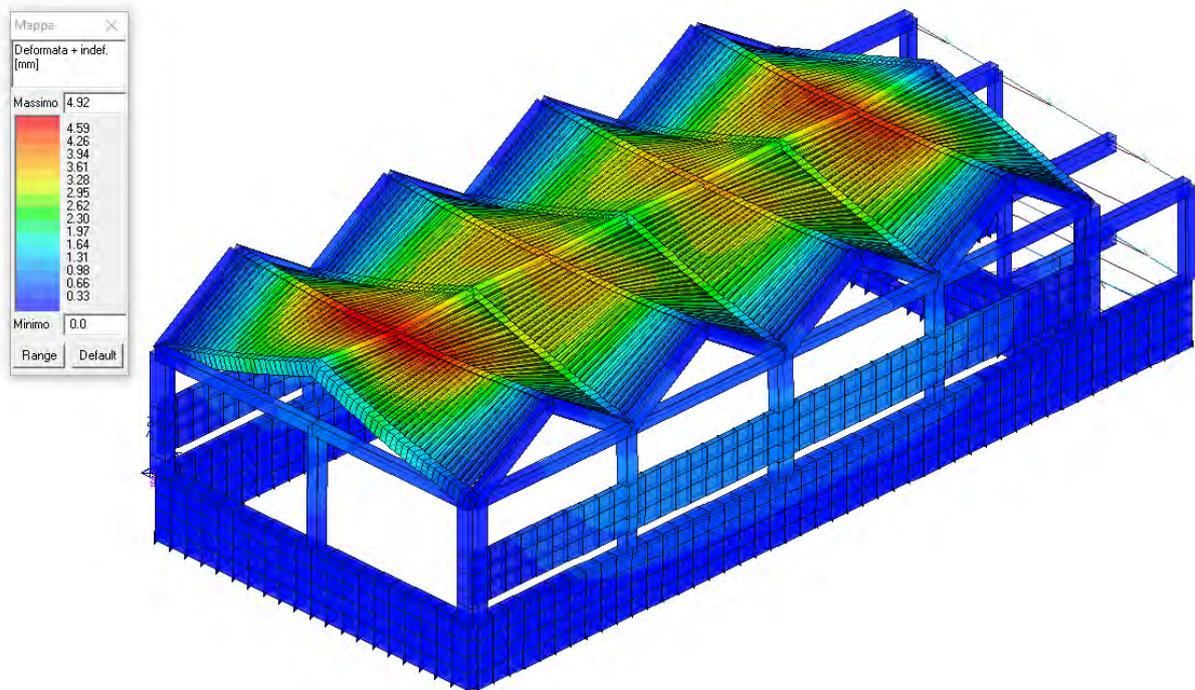


Figura 11.4: deformata del modello di calcolo sotto l'azione dei carichi gravitazionali e del vento in direzione Y + in combinazione SLE Rara

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

11.6.2 Caratteristiche di sollecitazione sugli elementi

Per quanto concerne le travi dei vari impalcati, si riportano i diagrammi involuppo del taglio e del momento flettente, ottenuti sovrapponendo i diagrammi delle combinazioni di carico più gravose.

In sede di verifica, oltre alle caratteristiche di sollecitazione di cui si sono riportati i diagrammi, si considerano anche eventuali sforzi normali, tagli e momenti ortogonali al piano principale di sollecitazione e momenti torcenti.

Inoltre si analizzano tutte le altre combinazioni di carico non comprese nell'involuppo riportato, in modo da considerare eventuali incrementi locali delle caratteristiche di sollecitazione dovuti a particolari situazioni.

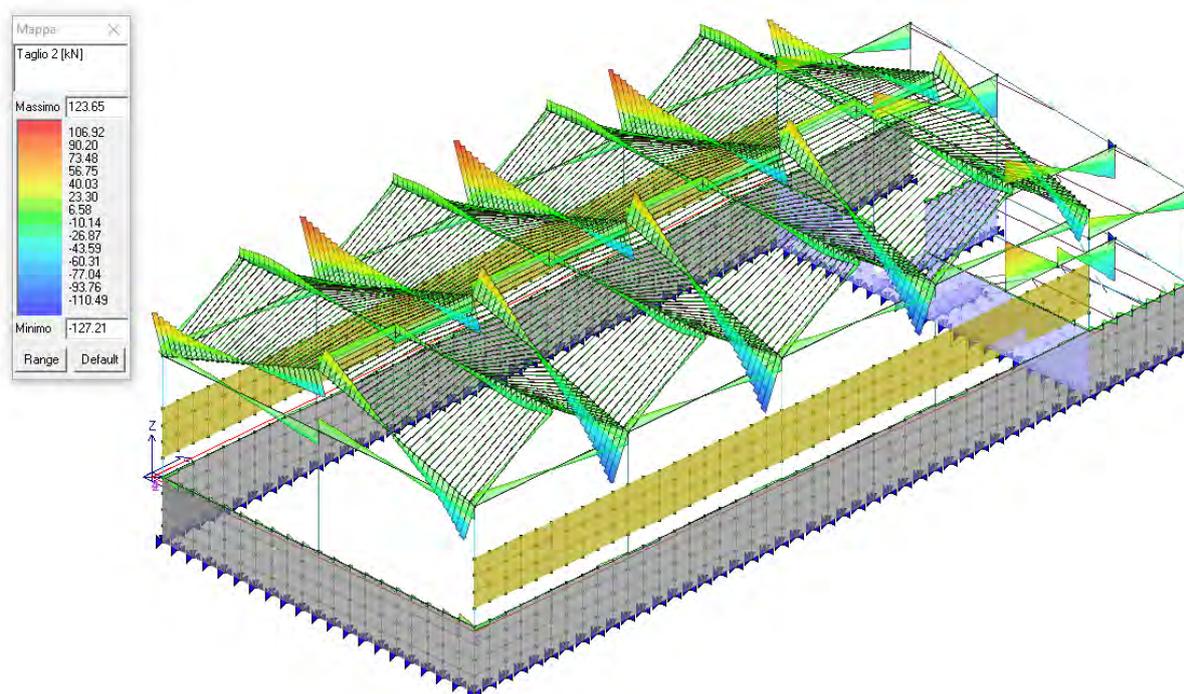


Figura 11.5: diagramma involuppo dello sforzo di taglio nelle travi a SLU

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

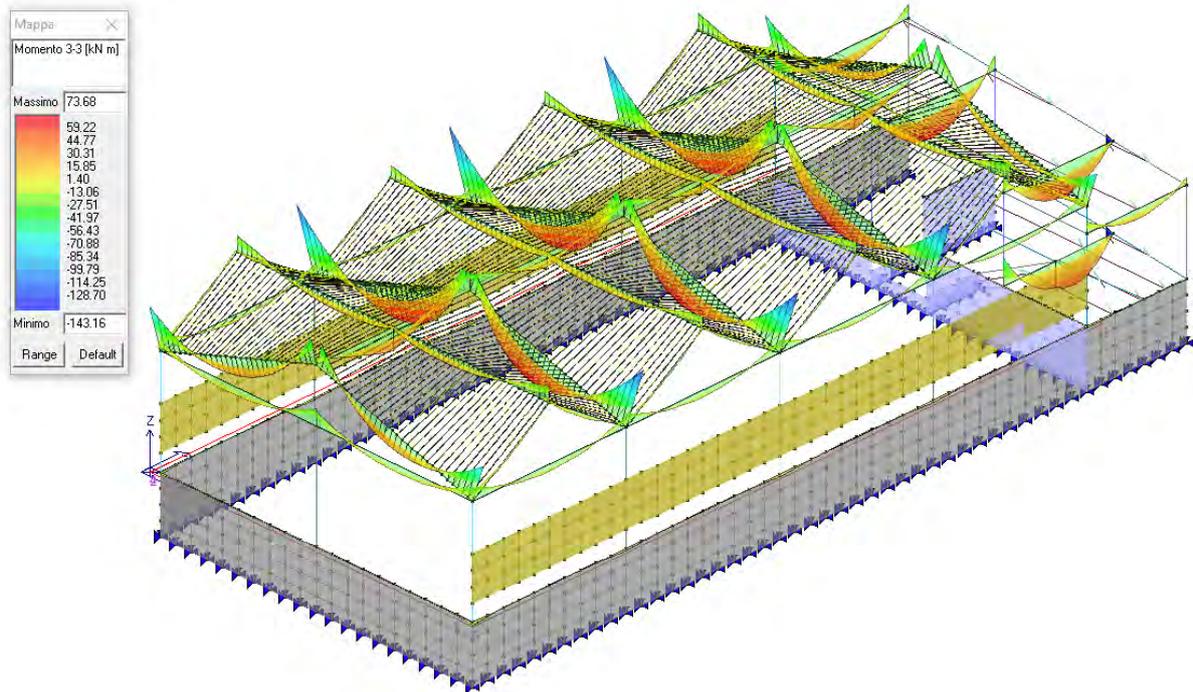


Figura 11.6: diagramma involuppo del momento flettente nelle travi a SLU

Nelle seguenti figure si riportano gli involuppi degli sforzi normali nei pilastri, dei tagli e dei momenti flettenti nelle due direzioni X ed Y.

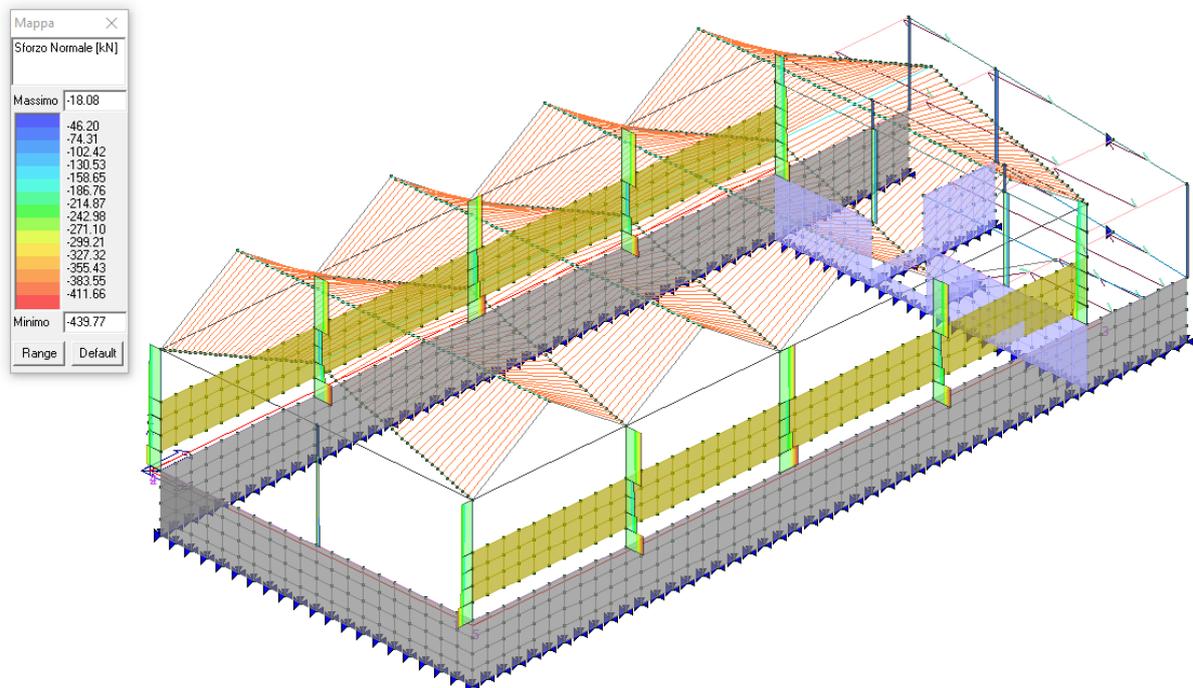


Figura 11.7: diagramma involuppo dello sforzo normale nei pilastri a SLU

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

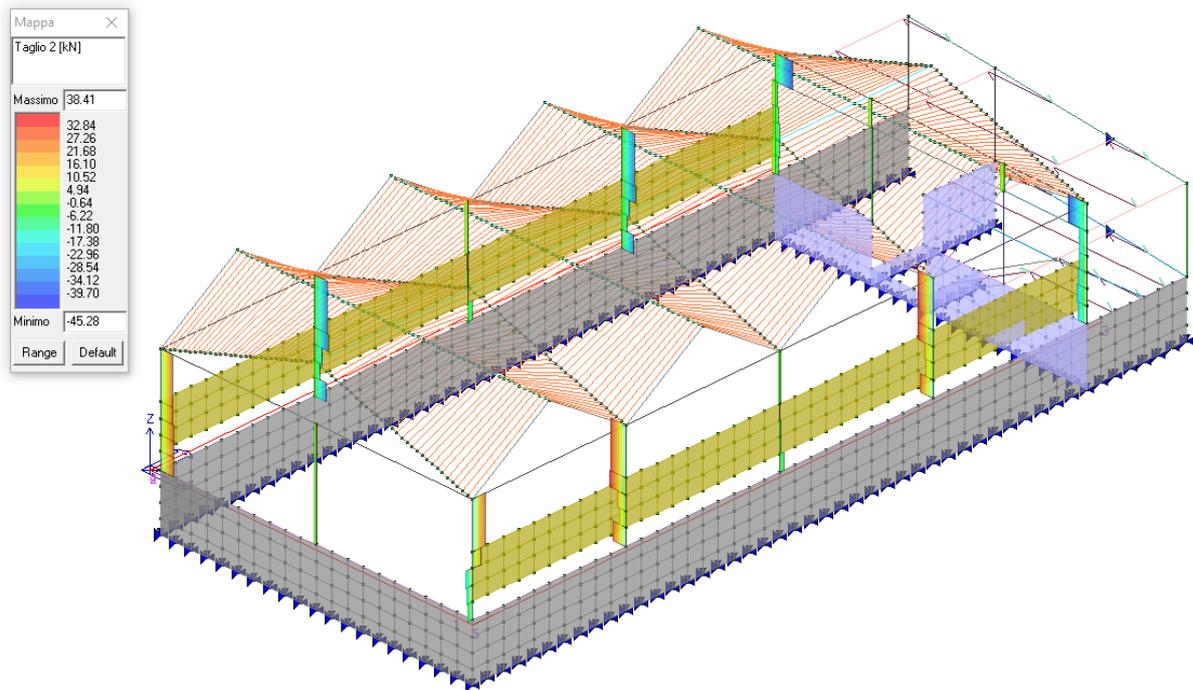


Figura 11.8: diagramma involucro dello sforzo di taglio in direzione dell'asse locale X nei pilastri a SLU

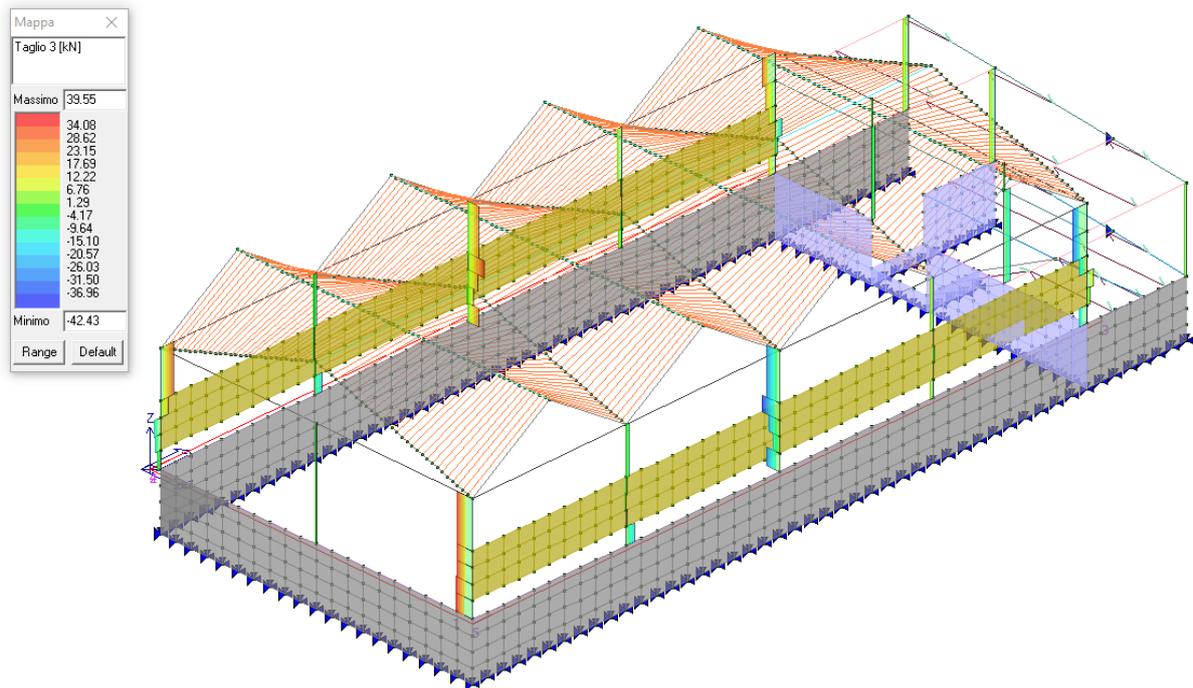


Figura 11.9: diagramma involucro dello sforzo di taglio in direzione dell'asse locale Y nei pilastri a SLU

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

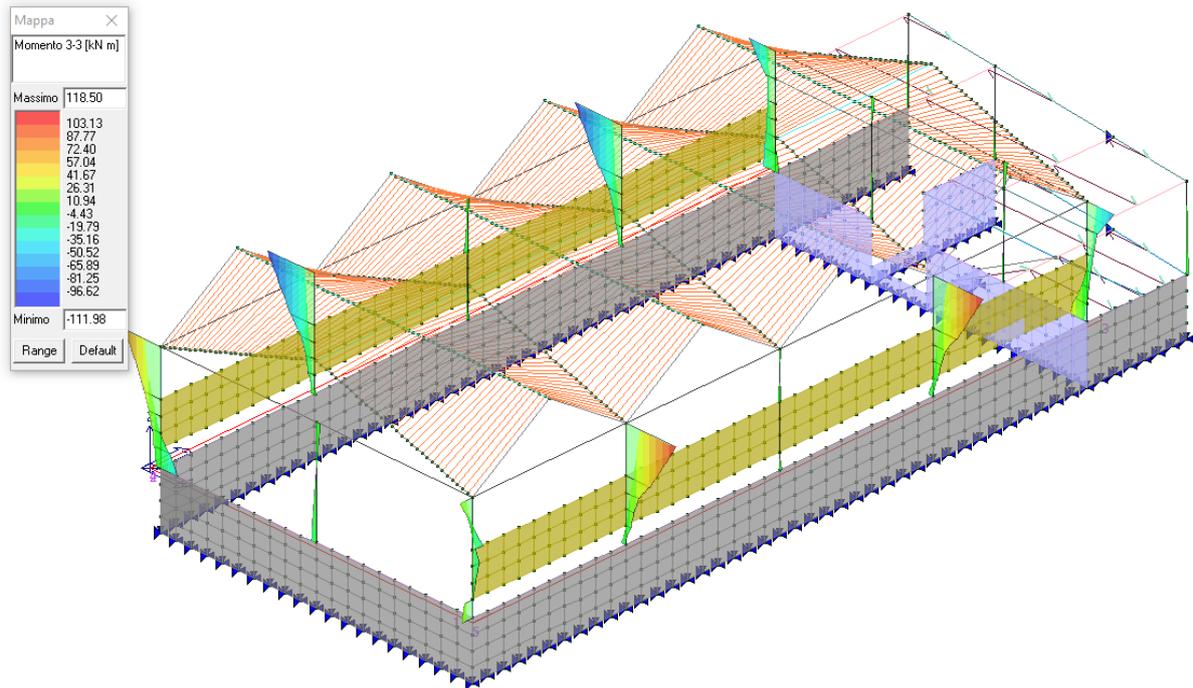


Figura 11.10: diagramma involufo del momento flettente in direzione dell'asse locale X nei pilastri a SLU

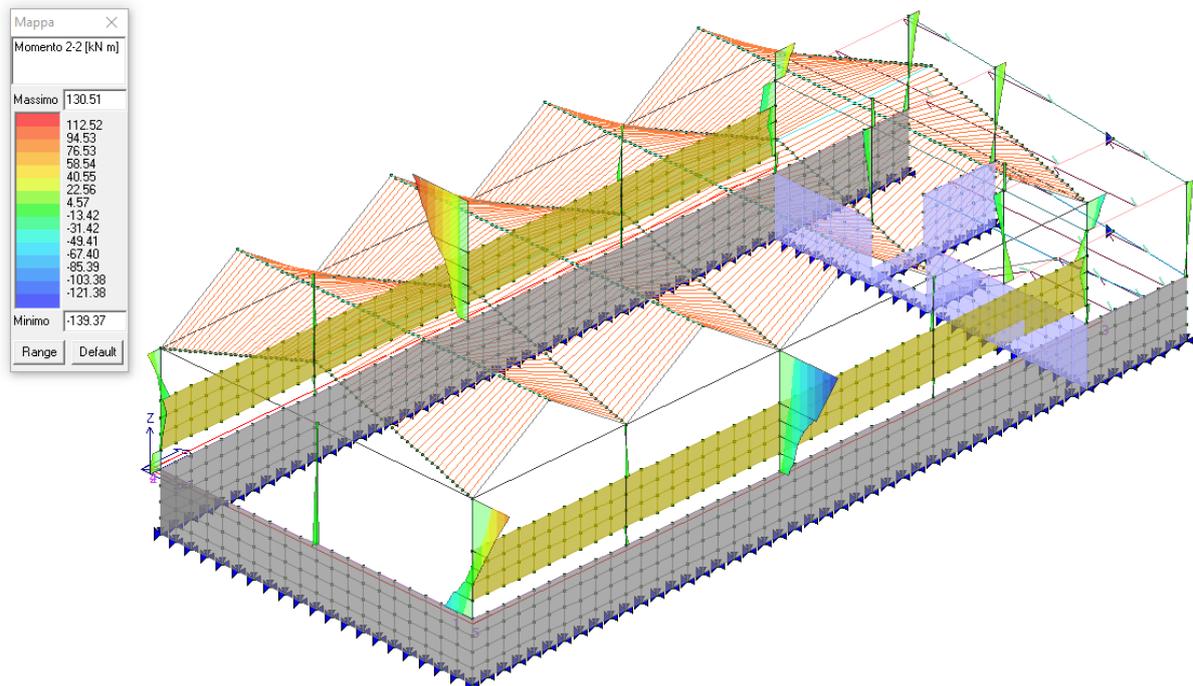


Figura 11.11: diagramma involufo del momento flettente in direzione dell'asse locale Y nei pilastri a SLU

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

11.7 Verifiche statiche degli elementi strutturali

Le travi ed i pilastri vengono analizzati secondo i criteri di verifica agli stati limite ultimi per flessione e taglio.

Nella relazione si riportano diagrammi riassuntivi delle verifiche a taglio e momento flettente, nei quali viene diagrammato il rapporto tra la sollecitazione e la resistenza di calcolo. Valori minori di 1 indicano quindi verifica positiva, valori maggiori di 1 verifica non soddisfatta (il valore diagrammato rappresenta il reciproco del fattore di sicurezza 1/FS).

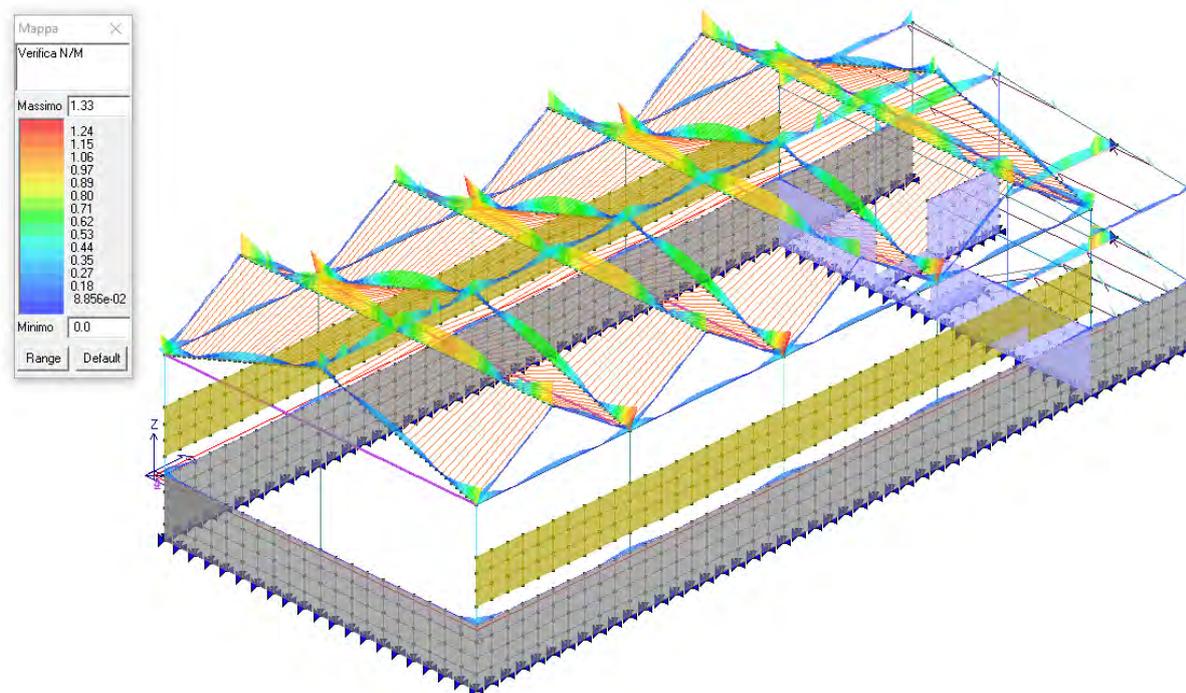


Figura 11.12: travi - rapporto tra le sollecitazioni normali e flettenti di calcolo e quelle ultime in riferimento al dominio di rottura (valori minori o uguali a 1 indicano verifica positiva).

Come si può rilevare, le verifiche a pressoflessione delle travi risultano sostanzialmente soddisfatte. I tratti fuori verifica corrispondono all'innesto delle capriate sui pilastri, zona in cui la sezione di calcestruzzo si allarga (tale allargamento non è presente nel modello di calcolo).

Inoltre le verifiche sono state condotte nella cautelativa ipotesi di amplificare per 1.3 i carichi permanenti e di ridurre per FC le resistenze dei materiali: come argomentato in §11.3.2 e §11.5, tali coefficienti possono essere assunti unitari per le verifiche a pressoflessione, che pertanto possono ritenersi mediamente soddisfatte.

Le verifiche alle sollecitazioni tangenziali, riportate nelle seguente figure, risultano fortemente condizionate dalla presenza di un consistente momento torcente nelle capriate di testata. Nella realtà tali elevate sollecitazioni si esplicano solamente in assenza di fessurazione del calcestruzzo e qualora i travetti della soletta di copertura siano in grado di trasmettere un momento di incastro: situazione che si ritiene non sia facilmente verificabile in realtà e che eventualmente può essere approfondita mediante verifiche con modelli non lineari.

Le verifiche a sollecitazione di taglio semplice risultano tutte soddisfatte.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

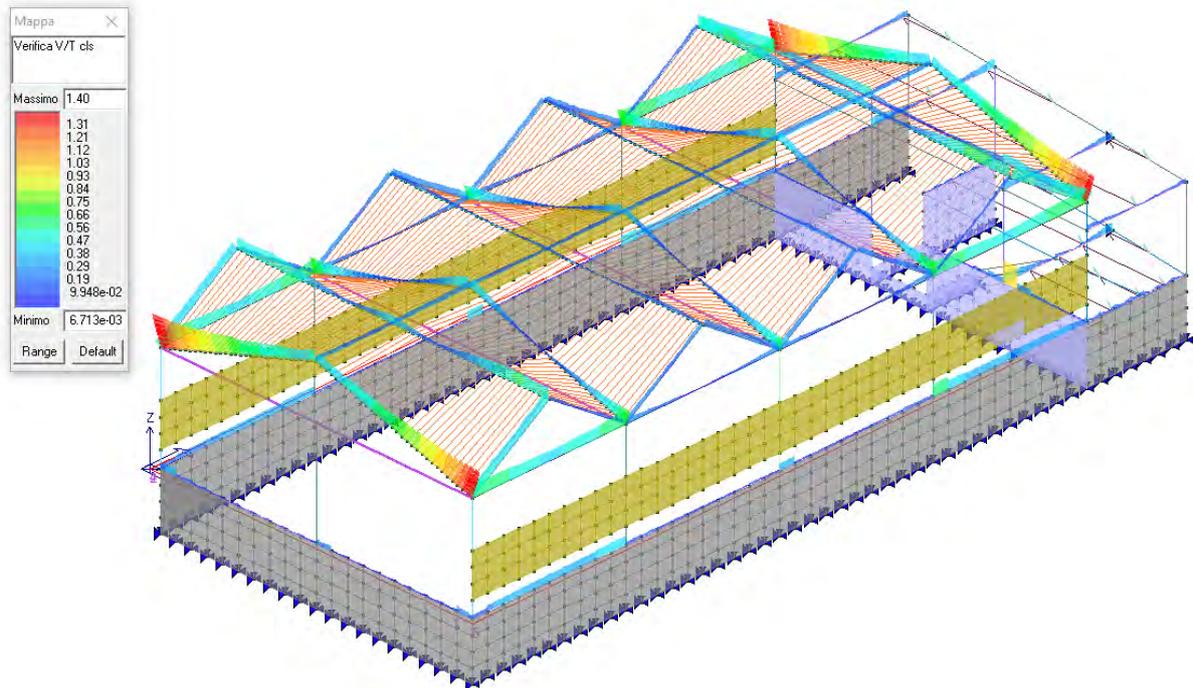


Figura 11.13: travi - rapporto tra le sollecitazioni taglianti e torcenti di calcolo e quelle ultime in riferimento alla resistenza del calcestruzzo (valori minori o uguali a 1 indicano verifica positiva).

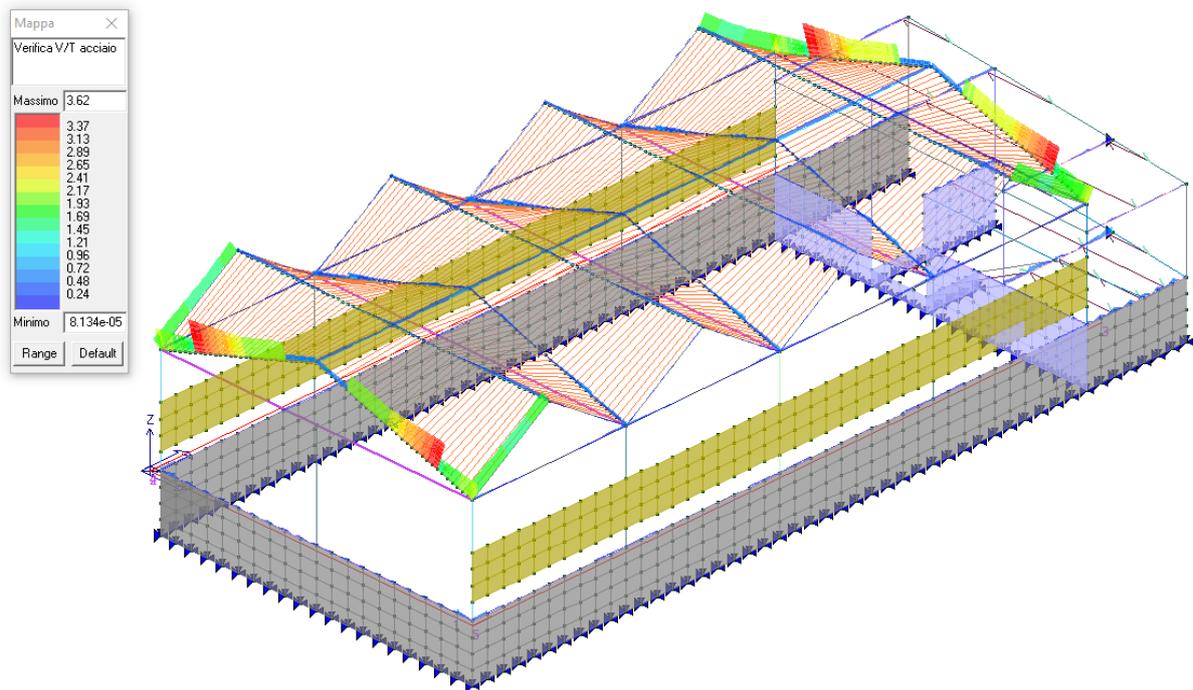


Figura 11.14: travi - rapporto tra le sollecitazioni taglianti e torcenti di calcolo e quelle ultime in riferimento alla resistenza dell'acciaio (valori minori o uguali a 1 indicano verifica positiva).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

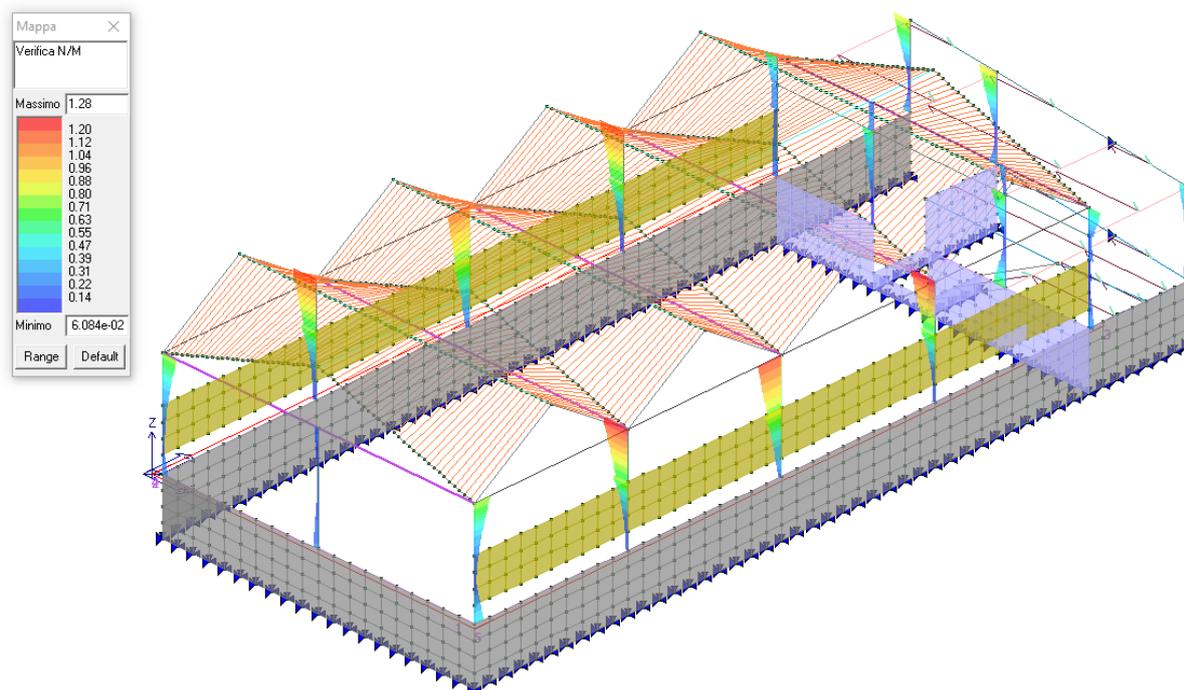


Figura 11.15: pilastri - rapporto tra le sollecitazioni normali e flettenti di calcolo e quelle ultime in riferimento al dominio di rottura (valori minori o uguali a 1 indicano verifica positiva).

Come si può rilevare, anche le verifiche a pressoflessione dei pilastri risultano sostanzialmente soddisfatte. I tratti fuori verifica corrispondono alla parte sommitale dei pilastri, in corrispondenza dell'innesto delle capriate.

Ricordando che le verifiche sono state condotte nella cautelativa ipotesi di amplificare per 1.3 i carichi permanenti e di ridurre per FC le resistenze dei materiali, qualora si assumano tali coefficienti come unitari, le verifiche a pressoflessione possono ritenersi mediamente soddisfatte.

Le verifiche a taglio, come rilevabile nelle seguenti figure, risultano soddisfatte.

Occorre osservare che, qualora si intenda verificare la vulnerabilità sismica della struttura, è molto probabile che i tratti sommitali dei pilastri (al di sopra della muratura di tamponamento in calcestruzzo) presentino criticità alle azioni taglianti, avendo una luce libera ridotta.

Pertanto, nell'ottica di un potenziale intervento di miglioramento sismico del fabbricato, è verosimile che il tratto terminale dei pilastri risulti da rinforzare a taglio: in tale sede potrebbe quindi essere valutato un intervento che aumenti la capacità dei pilastri anche per le sollecitazioni di pressoflessione.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

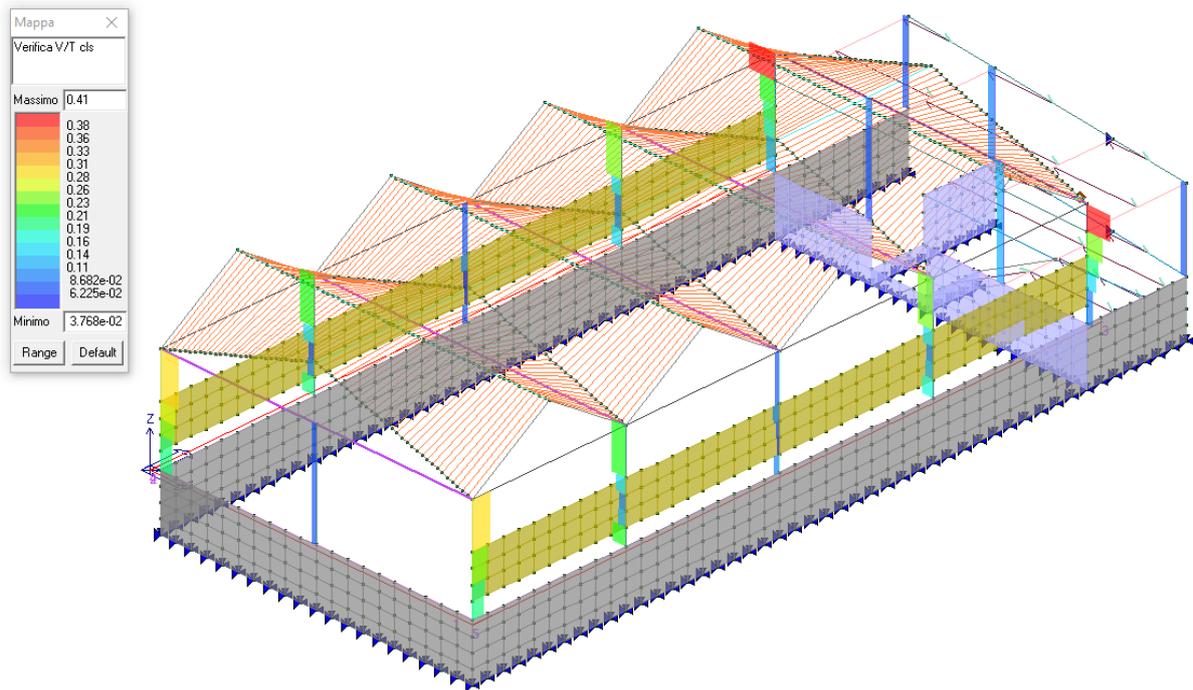


Figura 11.16: pilastri - rapporto tra le sollecitazioni taglianti e torcenti di calcolo e quelle ultime in riferimento alla resistenza del calcestruzzo (valori minori o uguali a 1 indicano verifica positiva).

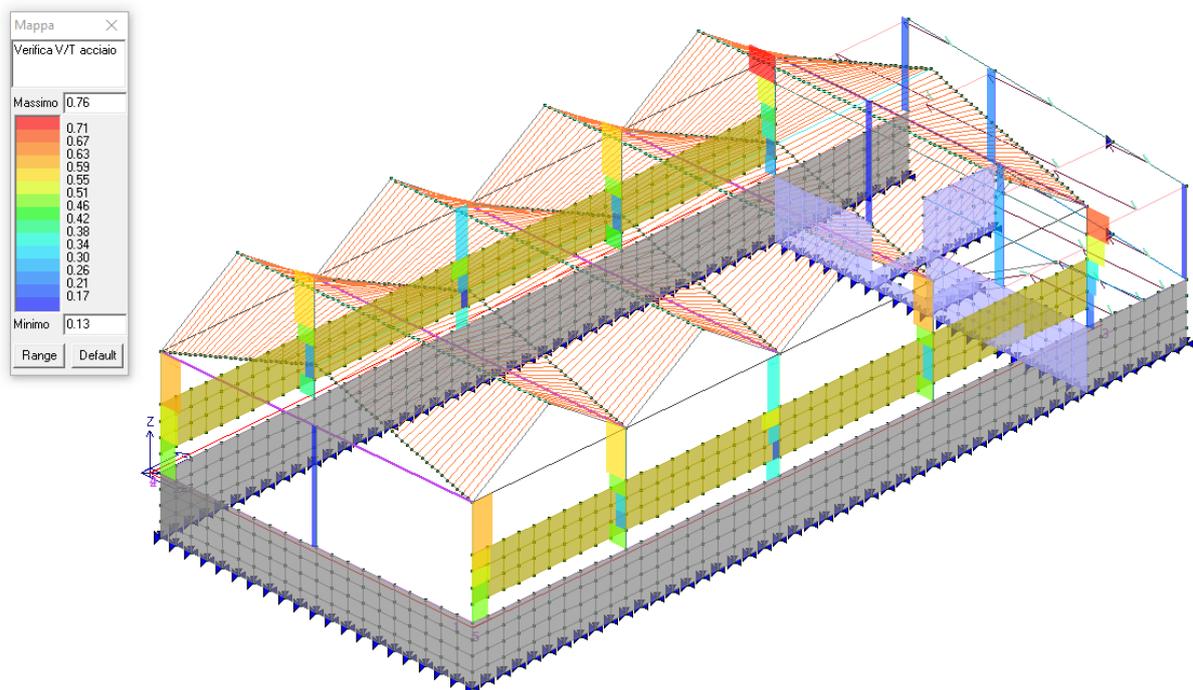


Figura 11.17: pilastri - rapporto tra le sollecitazioni taglianti e torcenti di calcolo e quelle ultime in riferimento alla resistenza dell'acciaio (valori minori o uguali a 1 indicano verifica positiva).

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

11.8 Conclusioni

Le verifiche di sicurezza statiche degli elementi strutturali in calcestruzzo armato della palestra sono state condotte assumendo cautelative ipotesi sui carichi e sui materiali.

Le verifiche a pressoflessione di travi e pilastri possono considerarsi sostanzialmente soddisfatte. I tratti fuori verifica, sia delle travi che dei pilastri corrispondono alla zona di innesto delle capriate. Le verifiche sono state condotte nella cautelativa ipotesi di amplificare per 1.3 i carichi permanenti e di ridurre per FC le resistenze dei materiali, pertanto qualora si assumano tali coefficienti come unitari, le verifiche a pressoflessione possono ritenersi mediamente soddisfatte.

Le verifiche alle sollecitazioni tangenziali delle travi risultano fortemente condizionate dalla presenza di un consistente momento torcente nelle capriate di testata. Nella realtà tali elevate sollecitazioni si esplicano solamente in presenza di condizioni di vincolo che si ritiene non siano facilmente verificabili; tale problematica può eventualmente essere approfondita mediante verifiche con modelli non lineari, per determinare se sia opportuno eseguire un rinforzo locale.

Per i pilastri, le verifiche a taglio risultano soddisfatte, in quanto le azioni orizzontali statiche (vento) non sono di elevata entità. Qualora si intenda in futuro verificare la vulnerabilità sismica della struttura, è molto probabile che i tratti sommitali dei pilastri (al di sopra della muratura di tamponamento in calcestruzzo) presentino criticità alle azioni taglianti, avendo una luce libera ridotta. Pertanto, nell'ottica di un potenziale intervento di miglioramento sismico del fabbricato, è verosimile che il tratto terminale dei pilastri risulti da rinforzare a taglio: in tale sede potrebbe quindi essere valutato un intervento che aumenti la capacità dei pilastri anche per le sollecitazioni di pressoflessione.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

12. CONCLUSIONI

Nel presente capitolo vengono riassunte le principali evidenze emerse dalle operazioni di diagnostica e di verifica strutturale eseguite sulla struttura in muratura della scuola materna “Guerra” ed elementare “Bandello” e sull’annessa palestra in calcestruzzo armato.

12.1 Struttura in muratura

La costruzione dell’edificio in muratura che attualmente ospita le scuole materna ed elementare risale al 1600, ad opera dei Gesuiti; la struttura è rimasta sostanzialmente inalterata fino al XX secolo, quando sono stati effettuati i cambiamenti più significativi.

L’intervento più invasivo risale agli anni ’60, quando durante i lavori di “ammodernamento” del complesso scolastico, sono stati apportate le seguenti modifiche:

- sostituzione della copertura lignea originaria con soletta in latero-cemento
- sostituzione delle volte a copertura del piano primo con un solaio piano in latero-cemento
- inserimento al di sotto delle volte delle aule del piano terra di solette in latero-cemento- realizzazione di nuovi impianti nel piano interrato.

Ciascuno degli interventi eseguiti ha causato criticità al comportamento locale e globale della struttura, come descritto nei seguenti paragrafi. Occorre sottolineare come tali tipologie di intervento (sostituzione di volte e coperture lignee con solette latero-cementizie) fossero una pratica piuttosto diffusa in quel periodo storico.

Considerando la struttura del fabbricato, se dal punto di vista statico tali interventi, se ben realizzati, non creano particolari problematiche, dal punto di vista sismico, l’aumento dei carichi in copertura accresce la vulnerabilità globale della struttura, come ampiamente dimostrato negli eventi sismici occorsi nell’Italia centrale negli ultimi 20 anni.

Inoltre, nel caso in esame, molti degli interventi non sono stati realizzati con la dovuta cura; in particolare si segnalano:

- mancata realizzazione del cordolo del solaio di sottotetto (i travetti della soletta sono appoggiati in breccia)
- erroneo posizionamento di appoggi della struttura in calcestruzzo armato del tetto (in alcuni casi vi sono travi che appoggiano sui soprafinestra)
- rimozione di molte delle catene in copertura
- appoggio delle solette al di sotto delle volte del piano terra su una porzione molto limitata di muratura
- esecuzione di crene e piccole demolizioni parziali delle volte dell’interrato per il passaggio degli impianti.

Nei seguenti paragrafi si dettagliano le criticità di ogni singola parte strutturale esaminata, suggerendo alcuni provvedimenti da adottare.

12.1.1 Orizzontamenti dell’edificio in muratura

12.1.1.1 VOLTE DEL PIANO INTERRATO

L’orizzontamento di pavimentazione della scuola dell’infanzia (piano terra) è costituito dalle volte strutturali seicentesche in mattoni di copertura del piano interrato; la stratigrafia ricorrente mostra uno spessore strutturale variabile tra 12 e 24 cm a seconda delle zone, su cui è posizionato un riempimento di spessore variabile a livellare l’orizzontamento fino al pavimento originariamente costituito da elementi di

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare “Bandello” e Materna “Guerra”	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

laterizio. Il pavimento originario non è in generale più visibile, in parte ricoperto dal linoleum o sostituito da pavimentazioni moderne.

Alcune volte presentano crene o piccole demolizioni locali a causa dell'esecuzione (molto invasiva) degli impianti. Nella maggioranza dei casi, tali opere non inficiano il comportamento statico delle volte; si suggerisce comunque un monitoraggio delle zone interessate per verificare l'evoluzione di eventuali quadri fessurati locali.

Per quanto concerne la struttura delle volte, con riferimento alle due tipologie analizzate, si può rilevare che sotto i carichi di esercizio non si evidenziano particolari criticità.

Incrementando i carichi fino ad arrivare allo stato limite ultimo, potrebbero presentarsi problemi localizzati, in particolar modo sulle lunette (soprattutto se lo spessore in chiave fosse di 12 cm).

Nelle volte con pilastri, la presenza di tali elementi verticali causa un'evidente alterazione locale del quadro tensionale, con conseguente concentrazione di compressione verticale in corrispondenza dell'appoggio degli archi sui pilastri e rilevanti trazioni al lembo inferiore degli archi ai fianchi dei pilastri.

La compressione media sul pilastro può portare, in corrispondenza di murature di scarsa qualità realizzativa, a dissesti quali quello verificatosi nel pilastro oggetto di intervento provvisorio. Allo stato attuale la problematica pare essere limitata solamente a tale pilastro; si suggerisce comunque di tenere monitorato periodicamente il comportamento degli altri pilastri.

12.1.1.2 ORIZZONTAMENTI PIANO TERRA

L'orizzontamento di copertura della scuola dell'infanzia (piano terra) è costituito dalle volte strutturali seicentesche in mattoni; nella maggioranza dei locali, alla quota di imposta delle volte è posizionato un solaio in latero-cemento con travetti precompressi, con funzione di controsoffitto non strutturale. Tale solaio è soggetto al solo peso proprio, non essendo accessibile e, in generale, neppure ispezionabile.

Dai quadri fessurativi e dalle indagini condotte non si sono ravvisati, allo stato attuale, fenomeni di sfondellamento; la natura improvvisa del fenomeno non permette, tuttavia, di poter escludere a priori il suo verificarsi in futuro.

La principale vulnerabilità riscontrata risiede nella scarsa connessione del solaio con la struttura muraria preesistente, sulla quale appoggia per pochi centimetri. A questo va aggiunto che le murature di appoggio delle solette presentano, in alcune zone, lesioni dovute allo scarso immorsamento, che quindi potrebbero aggravarsi in futuro.

A causa di tali evidenze, nel gennaio 2016 si è ritenuto opportuno intervenire su due aule con un'opera provvisoria di messa in sicurezza. Il peso del controsoffitto, che pur avendo funzione non strutturale è pur sempre un solaio latero-cementizio, è ulteriore causa di vulnerabilità, specialmente nel caso di un evento sismico, durante il quale le pareti adiacenti potrebbero subire spostamenti tali da pregiudicare la base di appoggio dei solai, con conseguente crollo parziale o completo dei medesimi.

Per le ragioni sopra esposte, i controsoffiti in latero-cemento costituiscono una vulnerabilità rilevante per la scuola dell'infanzia.

In attesa di valutare un opportuno intervento di messa in sicurezza, andrebbero monitorate le lesioni: tale monitoraggio può essere in prima battuta operato anche solo visivamente grazie al confronto con lo stato fessurativo immortalato sulle fotografie zenitali delle diverse aule. Il dettaglio delle immagini (consegnate in digitale in alta risoluzione su supporto informatico al Comune) permette infatti di avere un quadro preciso dello stato delle lesioni aggiornato a settembre 2016.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

12.1.1.3 ORIZZONTAMENTI PRIMO PIANO

L'impalcato di calpestio (pavimento) della scuola elementare (primo piano) è costituito dalle volte strutturali seicentesche in mattoni, poste a copertura della scuola dell'infanzia "Guerra" e descritte al paragrafo precedente

L'impalcato di copertura (soffitto) invece è costituito da solai in latero-cemento, soggetti a carichi modesti (il sottotetto non è utilizzato), realizzati negli anni '60 in sostituzione delle volte preesistenti. La sostituzione delle volte ha indotto carichi inattesi sulla struttura muraria sottostante, che presenta un quadro fessurativo importante.

Durante i lavori di sostituzione delle volte, sono sistematicamente state rimosse le catene metalliche (ad eccezione dell'ala sud), con conseguente aumento della vulnerabilità globale del fabbricato: le catene non solo contribuivano al buon funzionamento delle strutture voltate, ma costituivano un presidio antisismico nei confronti di potenziali fenomeni torsionali delle pareti perimetrali. Occorre infatti rilevare che attualmente il vincolo sommitale al ribaltamento delle pareti è assente, in quanto durante la realizzazione della copertura in calcestruzzo armato non è stato realizzato il cordolo sommitale di collegamento con la muratura esistente.

I solai in latero-cemento presentano alcuni fenomeni fessurativi che devono essere tenuti sotto osservazione, monitorando nel tempo un'eventuale progredire della fessurazione. Le lesioni sono in parte riconducibili al dissesto delle murature su cui appoggiano i solai; tale dissesto è principalmente dovuto ai carichi indotti dalle strutture di calcestruzzo armato posizionate nel sottotetto a seguito della demolizione delle volte.

Inoltre, la presenza di carichi concentrati rilevanti costituisce un pericolo soprattutto in caso di sisma, in quanto si avrebbe una massa importante che grava su una muratura già lesionata.

12.1.2 Rischio Statico della struttura in muratura

Il calcolo è stato eseguito in entrambe le ipotesi sul coefficiente di sicurezza: γ_M pari a 3 e pari a 2.

Assumendo il coefficiente di sicurezza più cautelativo (γ_M pari a 3), la struttura presenterebbe gravi carenze di tipo statico, in contrasto con il quadro fessurativo reale, che non mostra diffuse sofferenze dei paramenti murari per carichi statici (ad eccezione dei pilastri delle volte del piano interrato e di alcuni architravi del piano primi soggetti a carichi concentrati della copertura).

Viceversa, con l'approccio meno cautelativo (γ_M pari a 2) la struttura non presenta situazioni particolarmente critiche che ne pregiudichino in modo sostanziale la sicurezza. I coefficienti di sfruttamento (N_d/N_r) sono generalmente inferiori all'unità (condizione di verifica soddisfatta) e superano tale soglia solo in alcuni casi isolati; la verifica eccede il valore di 2 (corrispondente al coefficiente di sicurezza del materiale) solo nel piano interrato, nelle aree dove effettivamente si sono osservate le lesioni dei uno dei pilastri delle volte.

Appare quindi più realistico considerare i risultati del calcolo ottenuti impiegando il coefficiente di sicurezza 2.

L'esito negativo della verifica (N_d/N_r), pur effettuata con il meno cautelativo valore del coefficiente parziale di sicurezza del materiale (2), indica un'evidente criticità per i pilastri delle volte in muratura, che necessita di opportuni approfondimenti.

Allo stato attuale il dissesto pare essere limitato solamente al pilastro oggetto dell'intervento di cerchiatura nel 2015; appare opportuno comunque tenere monitorato il comportamento degli altri pilastri e prevedere un idoneo intervento di consolidamento, che ragionevolmente sani la criticità su tutti e tre gli elementi.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017

È ragionevole che un eventuale progetto di consolidamento sani definitivamente tale criticità su tutti e tre gli elementi interessati.

Gli altri elementi che presentano verifiche (N_d/N_r) non soddisfatte, sono caratterizzati da coefficienti di sfruttamento non particolarmente superiori all'unità: è possibile che con una modellazione più approfondita localmente si possa rientrare nei criteri di verifica. Certamente nel caso di un progetto di consolidamento la statica di questi elementi dovrà essere riconsiderata.

12.1.3 Rischio Sismico della struttura in muratura

La vulnerabilità emersa è localizzata sull'ala est del fabbricato, dove la struttura si allunga all'interno del cortile; le analisi condotte nella direzione Y con eccentricità tale da sollecitare la facciata Est conducono a coefficienti di sicurezza globali inferiori all'unità ($\alpha_u \cong 0.7$).

Dal confronto con il modello senza le strutture adiacenti (palestra e chiesa) si può concludere che la modellazione di tali strutture non risulta determinante ai fini di conseguire la verifica; tuttavia la presenza di tali fabbricati risulta benefica nei confronti della risposta globale, fatti salvi fenomeni di martellamento non appurabili al momento e sui quali è necessario approfondire le informazioni nell'ottica di un intervento globale sul fabbricato.

Sempre nell'ottica di un intervento di consolidamento globale, potrebbe essere opportuno approfondire l'interazione tra la scuola e gli altri fabbricati: è possibile che con ipotesi meno conservative (a favore di sicurezza si è considerato non efficace l'ammorsamento fra i corpi) possa essere considerata una maggior collaborazione fra le parti, garantendo quindi un miglior comportamento scatolare d'insieme (e quindi soddisfacendo la verifica).

Nell'ambito dei meccanismi locali si sono studiati i cinematismi più probabili: l'assenza di dispositivi di cerchiatura in sommità (cordolo) rende possibili i ribaltamenti delle facciate. Il cinematismo di riferimento è localizzato sulla facciata Sud (cortile), dove al primo piano sono state eliminate le catene originarie. Le verifiche non risultano soddisfatte: in particolare governa il ribaltamento a partire dal primo livello (pertanto risulta ininfluenza, ai fini del calcolo del coefficiente complessivo di sicurezza, l'efficacia delle catene poste al piano terreno, sulle quali non si dispone di sufficienti informazioni).

La presenza del tetto spingente, unito alla rimozione delle catene presenti in origine, hanno indotto una vulnerabilità significativa al fabbricato. Un eventuale intervento di consolidamento che sani tale condizione dovrà prevedere il ripristino della cerchiatura dei vani.

La risposta complessiva è governata dai cinematismi locali (come mostrato dai valori dei coefficienti di sicurezza riassunti nella tabella seguente): il prevalere della risposta locale è peraltro indice di un cattivo funzionamento strutturale. Viene infatti a mancare la "scolarità" del fabbricato, ovvero, risultando vulnerabile alle azioni di primo modo, non risulta possibile l'instaurarsi di una risposta di insieme. L'assenza di una cordolatura sommitale o in generale di catene efficaci espone infatti il fabbricato al rischio di innesco di cinematismi locali anche per accelerazioni inferiori a quelle che potrebbe raggiungere con una corretta collaborazione fra gli elementi strutturali.

$\alpha_u^{SLV}(X)$	$\alpha_u^{SLV}(Y)$	$\alpha_u^{SLV}(Loc)$	$\alpha_u^{SLV}(MIN)$
1.54	0.71	0.53	0.53

Tabella 12.1: Riepilogo dei coefficienti di sicurezza alle azioni sismiche

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

12.1.4 Provvedimenti suggeriti

12.1.4.1 VOLTE DEL PIANO INTERRATO.

Per definire l'effettivo comportamento statico locale di ogni singola volta e predisporre gli eventuali interventi di rinforzo (qualora ritenuti opportuni), sarebbe necessario indagare molto dettagliatamente la geometria ed i carichi, infittendo le endoscopie o preferibilmente rimuovendo localmente la pavimentazione. Tale operazione, nell'ottica di ottenere una verifica globale a stato limite ultimo di tutto l'impalcato, andrebbe estesa a tutte le diverse geometrie presenti nell'interrato del fabbricato, per identificare eventuali singolarità (dovute, ad esempio, alle demolizioni effettuate durante l'installazione degli impianti).

Un'operazione di questa portata dovrebbe collocarsi all'interno di un intervento di messa in sicurezza globale dell'edificio: rimuovendo la pavimentazione, si potrebbero valutare con esattezza spessori delle volte ed eventuali lesioni, indirizzando quindi correttamente gli eventuali interventi di rinforzo. Inoltre, nella ricostituzione della pavimentazione, si utilizzerebbero riempimenti e sottofondi alleggeriti, che omogeneizzerebbero e ridurrebbero notevolmente i carichi applicati sulle volte, con conseguenti vantaggi statici.

Per quanto concerne le volte con pilastri, allo stato attuale la problematica di disseto pare essere limitata solamente al pilastro che è stato oggetto di intervento di rinforzo provvisorio; appare opportuno comunque tenere monitorato il comportamento degli altri pilastri e prevedere un idoneo intervento di consolidamento.

12.1.4.2 CONTROSOFFITTI PIANO TERRA

Gli interventi possibili, da includersi preferibilmente in un progetto più ampio di messa in sicurezza globale del fabbricato, possono essere sia un intervento analogo a quello realizzato nel gennaio 2016 (con profili metallici per aumentare la base di appoggio dei travetti e con reti di protezione antisfondellamento), sia un'operazione più radicale, che preveda la demolizione dei controsoffitti e la loro sostituzione con strutture leggere.

La prima opzione potrebbe essere integrata nelle opere di miglioramento sismico globale del fabbricato utilizzando i profili metallici, opportunamente ancorati alla facciata, come dispositivi di inibizione del ribaltamento. La seconda opzione permetterebbe di porre in opera controsoffitti di nuova generazione, con una generale riduzione del carico e miglioramenti in termini di contenimento energetico e protezione antincendio.

12.1.4.3 SOLAIO DI SOTTOTETTO E COPERTURA

Alla luce di quanto emerso, si suggerisce di valutare una strategia di consolidamento che possa rimuovere le criticità indotte dagli interventi degli anni '60, cercando inoltre di ripristinare i presidi antisismici originari (catene), eventualmente integrandoli con altri ritenuti necessari.

Si suggerisce inoltre di valutare un consolidamento mirato in corrispondenza delle zone in cui gravano carichi concentrati, ossia dove sono posizionate le travi in calcestruzzo della soletta di sottotetto e di copertura.

Il consolidamento potrà, ad esempio, essere eseguito migliorando la distribuzione del carico sulla muratura inserendo degli architravi metallici di rinforzo, valutando inoltre la fattibilità di eliminare gli elementi pesanti (catene in cemento armato poste a pavimento) sostituendoli con strutture metalliche, per garantire la legatura delle pareti (già compromessa dall'eliminazione delle catene).

Il rilievo del quadro fessurativo dell'intradosso della soletta di sottotetto non ha evidenziato lesioni riconducibili a fenomeni di sfondellamento delle pignatte; tuttavia, in considerazione del fatto che il sottotetto non è coibentato, non si esclude la possibilità che tali fenomeni possano verificarsi in futuro.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017

Per tale ragione può essere opportuno porre in opera controsoffitti antisfondellamento, che eventualmente potrebbero integrarsi in un contesto di miglioramento generale delle prestazioni energetiche del fabbricato.

Per completezza di informazione, si rileva che dal punto di vista strutturale, le solette non presentano una rilevante vulnerabilità intrinseca; tuttavia l'intervento di sostituzione delle volte e della copertura con opere in calcestruzzo armato ha indotto rilevanti carichi sulla struttura muraria che risulta pertanto lesionata in modo significativo.

12.2 Palestra in calcestruzzo armato

Dalla campagna di indagini condotta emerge che il fabbricato, che si avvia verso i 50 anni di vita, sia in discreto stato di conservazione.

Gli elementi strutturali principali (pilastri, travi, solette) si presentano visivamente integri, senza fenomeni evidenti di degrado. Tuttavia, le analisi eseguite sulle carote estratte denotano un'elevata penetrazione della carbonatazione, dell'ordine dei 60-70 mm, tipica dei calcestruzzi porosi quali quello presente nella struttura della palestra,

Il fenomeno della carbonatazione non è, di per sé, dannoso per il calcestruzzo che, anzi, migliora le sue caratteristiche meccaniche; tuttavia porta alla corrosione delle barre dell'acciaio da armatura, con conseguente riduzione della sezione resistente, oltre a fenomeni collaterali quali l'aumento di volume dell'acciaio e conseguente espulsione del copriferro.

E' importante rilevare che le barre (sia lisce che ad aderenza migliorata) degli elementi strutturali dei quali è stato scrostato il copriferro non hanno evidenziato fenomeni di corrosione (ad eccezione di qualche staffa). Il dato è molto positivo, in quanto dimostra che la struttura non ha ancora iniziato la fase di decadimento delle sue risorse di resistenza. L'elevata carbonatazione dimostra però che si è prossimi alla fase di innesco della corrosione, pertanto è necessario, qualora si intenda prolungare la vita utile della struttura, provvedere ad idonei trattamenti preventivi del fenomeno di corrosione.

Discorso differente riguarda le barre di armatura degli elementi secondari (cornicioni, muri di tamponamento), che essendo dotate di scarsissimo copriferro, si presentano spesso a vista e con evidenti segni di corrosione. Non è da escludere che alcuni frammenti di copriferro dei cornicioni possano in futuro staccarsi e cadere a terra, con relativo pericolo.

Per tali elementi, anche se secondari, è necessario un intervento in tempi rapidi per arrestare la corrosione in essere, proteggere le barre di armatura e ripristinare il copriferro danneggiato.

Per quanto riguarda le verifiche di sicurezza statiche degli elementi strutturali in calcestruzzo armato si può rilevare che, pur essendo state condotte assumendo cautelative ipotesi sui carichi e sui materiali, risultano sostanzialmente soddisfatte.

Le verifiche a pressoflessione di travi e pilastri presentano brevi tratti fuori verifica nella zona di innesto delle capriate; si rileva che, qualora si fossero adottate ipotesi meno cautelative (comunque ammesse dalle NTC 2008), le verifiche di tali elementi sarebbero risultate soddisfatte.

Le verifiche alle sollecitazioni tangenziali delle travi risultano fortemente condizionate dalla presenza di un consistente momento torcente nelle capriate di testata, dovute a condizioni di vincolo che si ritiene non siano facilmente verificabili. Tale problematica può eventualmente essere approfondita mediante verifiche con modelli non lineari, per determinare se sia opportuno eseguire un rinforzo locale.

Per i pilastri, le verifiche a taglio risultano soddisfatte, in quanto le azioni orizzontali statiche (vento) non sono di elevata entità. Qualora si intenda in futuro verificare la vulnerabilità sismica della struttura, è molto probabile che i tratti sommitali dei pilastri (al di sopra della muratura di tamponamento in calcestruzzo) presentino criticità alle azioni taglianti, avendo una luce libera ridotta. Pertanto, nell'ottica di un potenziale

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scriveria	Data:	31.03.2017



Dott. Ing. Alessandro Galasco
Ph.D in Ingegneria Strutturale

Via De Giorgi 7 - 15121 ALESSANDRIA
tel.: 335.5251322 - e-mail: alessandro.galasco@sismica360.it

Ing. Martina Mandirola
M.Sc in Earthquake Engineering

Via Dossola 2 - 15057 TORTONA (AL)
tel.: 348.5120965 - e-mail: martina.mandirola@sismica360.it

intervento di miglioramento sismico del fabbricato, è verosimile che il tratto terminale dei pilastri risulti da rinforzare a taglio: in tale sede potrebbe quindi essere valutato un intervento che aumenti la capacità dei pilastri anche per le sollecitazioni di pressoflessione.

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017



13. ALLEGATI

Completano la relazione i seguenti allegati:

- 1) Allegato 1: Rilievo geometrico piano interrato
- 2) Allegato 2: Rilievo fessure piano interrato
- 3) Allegato 3: Rilievo geometrico piano terra
- 4) Allegato 4: Rilievo fessure piano terra
- 5) Allegato 5: Rilievo geometrico piano primo e secondo
- 6) Allegato 6: Rilievo fessure piano primo e secondo
- 7) Allegato 7: Rilievo geometrico sottotetto
- 8) Allegato 8: Prospetti aggiornati
- 9) Allegato 9: Rilievo fotografico interrato
- 10) Allegato 10: Estratto dal manuale RDB
- 11) Allegato 11: Schede tecniche carote
- 12) Allegato 12: Foto zenitali (piano terra)
- 13) Allegato 13: Foto zenitali (primo piano)
- 14) Allegato 14: Relazione di calcolo automatica, prodotta dal software Tremuri
- 15) SCHEDE di secondo livello del Dipartimento di Protezione Civile

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrvia	Data:	31.03.2017

14. BIBLIOGRAFIA.

Unitamente alle normative tecniche, indicate nel capitolo 2, nella stesura della relazione si è fatto riferimento ai testi, dispense ed articoli di seguito elencati, suddivisi per argomento.

14.1 Analisi Strutturale.

- [1] Bares R., *Calcolo di lastre e piastre con la teoria elastica lineare*, Politecnica-Maggioli, Santarcangelo di Romagna (RN), 2008 (ristampa anastatica Clup 1986);
- [2] Giangreco E., *Ingegneria delle strutture - Vol. I: Basi della progettazione*, UTET, Torino, 2002;
- [3] Giangreco E., *Ingegneria delle strutture - Vol. II: Metodi di analisi*, UTET, Torino, 2002;

14.2 Strutture in Calcestruzzo Armato.

- [4] Biasioli F., Doimo C., *Raccolta di Quaderni Tecnici 0-5 - Progettare le costruzioni di calcestruzzo con il metodo degli Stati Limite*, Torino, 2009; Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2014;
- [5] Catania M., *Sfondellamento dei solai in Latero-cemento*,
- [6] Collepardi M., Collepardi S., Troli R., *Il nuovo calcestruzzo*, Edizioni Tintoretto, Ponzano Veneto, 2009;
- [7] Colombini S., *Vulnerabilità sismica di edifici esistenti in cemento armato e muratura*, EPC Editore, Roma, 2014;
- [8] Coppola L., *Concretum*, McGraw-Hill, Milano, 2007;
- [9] Cosenza E., Manfredi G., Pecce M., *Strutture in cemento armato - Basi della progettazione*, Hoepli, Milano, 2008;
- [10] Gherzi A., *Il Cemento Armato*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2005;
- [11] Leonhardt F., *C.a. & C.a.p. Calcolo di progetto e Tecniche costruttive*, vol. 1-4, Springer Verlag, Berlino, 1989;
- [12] Lombardo S., *Valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici esistenti in cemento armato*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012
- [13] Meditto G., *Fessurazioni nelle strutture*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2010;
- [14] Morabito G., Podestà S., *Edifici storici in conglomerato cementizio armato*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2015
- [15] Pisani M. A., *Consolidamento delle strutture - Guida ai criteri, ai materiali e alle tecniche più utilizzate*, II Edizione, Hoepli, Milano, 2012
- [16] Musso S. F., *Recupero e restauro degli edifici storici*, III Edizione, EPC Libri, Roma, 2010
- [17] Sigmund C. - *Cemento Armato*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2008;
- [18] Toniolo G., Di Prisco M., *Tecnica delle Costruzioni*, vol. 2a e 2b, Masson, Milano, 1997-1998;
- [19] Tritto R., *Programmi per il calcolo agli stati limite delle sezioni in c.a.*, ProTec Editrice, Foggia, 2003;
- [20] Verderame G.M., Ricci P., Esposito M., Sansiviero F.C., *Le caratteristiche meccaniche degli acciai impiegati nelle strutture in c.a. realizzate dal 1950 al 1980*, Atti del XXVI Convegno Nazionale AICAP "Le prospettive di sviluppo delle opere in calcestruzzo strutturale nel terzo millennio", Padova, 19-21 maggio 2011.

14.3 Strutture in Muratura.

- [21] Tritto R., *Programmi per il calcolo agli stati limite delle sezioni in c.a.*, ProTec Editrice, Foggia, 2003;
- [22] Bonaldi P., Jurina L., Rossi P.P., *Indagini sperimentali e numeriche sui dissesti del Palazzo della regione di Milano*, XIV Congr. Naz. Geotecnica, Firenze, 1980.
- [23] Rossi P.P., *L'impiego dei martinetti piatti nello studio delle murature*, Seminario "Sperimentazione su struttura, attualità ed affidabilità delle metodologie di indagine", Venezia 1993
- [24] Binda L., Tiraboschi C., *Flat jack method applied to historic masonries*, Proc. Int. RILEM Workshop On Site control and Non destructive evaluation of masonry conference (10NAMC), St. Louis, Missouri, 3-6/06/07, Session 6C, pp.791-803, 2007

Progetto:	Studio di vulnerabilità statica e sismica degli edifici scolastici comunali: elementare "Bandello" e Materna "Guerra"	Oggetto:	RELAZIONE CONCLUSIVA
Ubicazione:	PIAZZA Vittorio Veneto - 15053 CASTELNUOVO SCRIVIA (AL)	Codice ID:	Determina n. 9/UT2 del 20/01/2016
Committente:	Comune di Castelnuovo Scrivia	Data:	31.03.2017