

Provincia di Brescia

Settore EDILIZIA SCOLASTICA E DIREZIONALE

Ufficio Progettazione Edilizia Scolastica e Direzione dei Lavori

Edificio scolastico:

I.I.S. "L. Cerebotani"

Ubicazione:

Comune di Lonato del Garda, via G. Galilei, 1

Intervento:

LAVORI DI ADEGUAMENTO SISMICO
PRIMO STRALCIO



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

Oggetto:

RELAZIONE TECNICA SUGLI
INTERVENTI STRUTTURALI

Scala:

Numero:

Fase/Pratica Edilizia:

R08

Il Direttore del Settore Edilizia Scolastica e Direzionale:

Dott. Arch. Giovan Maria Mazzoli

R.U.P.:

Arch. Daniela Massarelli

Progettista:

Ing. Fabio Trevisani

Direttore Lavori:

Collaboratori:

Ing. Adriano Bazzoli
Ing. Andrea Mondinelli
P.I. Paolo Andreassi

Progettista Strutture:

Ing. Fabio Trevisani

Coordinatore Sicurezza:

CSP Ing. Fabio Trevisani
CSE Ing. Giovanni Boldrini

Nome File:

Redatto da:

Verificato da:

Data:

Settembre 2022

Data e Numero Revisione:

AREA
DEL
TERRITORIO



PROGETTO ESECUTIVO

INDICE

- 1. GENERALITA'**
- 2. DESCRIZIONE STATO DI FATTO STRUTTURE**
- 3. INDAGINI ESEGUITE**
- 4. DESCRIZIONE VULNERABILITA' STRUTTURALI RISCONTRATE**
- 5. PROPOSTA DI INTERVENTO**

1. GENERALITA'

Il progetto riguarda l'adeguamento sismico dell'I.I.S. Cerebotani in Lonato del Garda (BS), primo stralcio.

La presente relazione strutturale ha lo scopo di:

- fornire un cenno riguardo alla genesi storica dell'edificio ed agli interventi eseguiti nel corso del tempo;
- presentare le caratteristiche attuali dell'immobile, mettendone in luce le principali criticità strutturali;
- descrivere l'intervento proposto per gli scopi indicati.

Il plesso scolastico è costituito da n. 3 corpi di fabbrica principali, così come individuati nella illustrazione che segue.

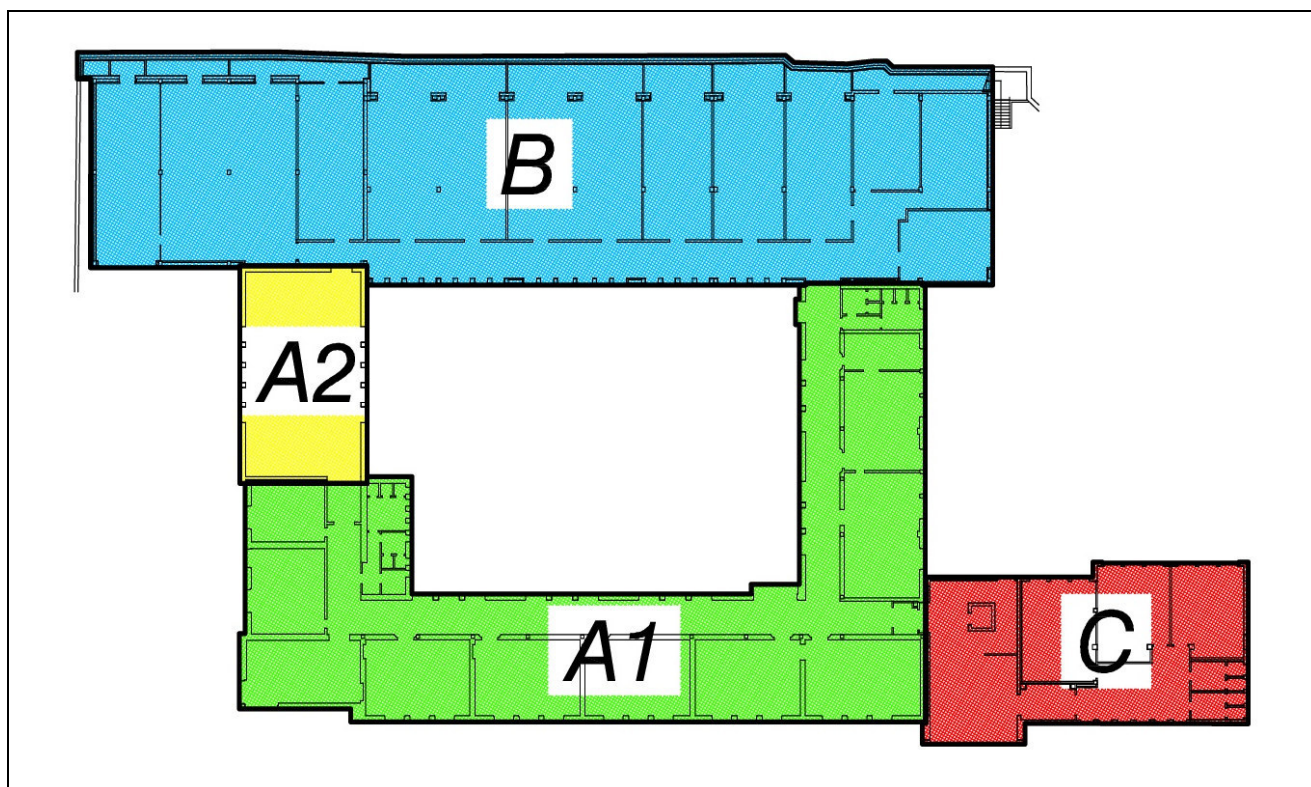


Fig. 1: divisione plesso scolastico in corpi di fabbrica

Le caratteristiche principali dei corpi di fabbrica sono riportate nella seguente tabella:

Caratteristica	Corpo A1	Corpo A2	Corpo B
N. piani	3 (2 per parte posteriore)	2	2
Principali destinazioni d'uso	Piano terra: uffici e servizi Piano 1°: aule e laboratori Piano 2°: aule e laboratori	Piano terra: - Piano 1°: aula magna Piano 2°: aule	Piano terra: - Piano 1°: laboratori Piano 2°: aule
Epoca costruzione	1930 ~	1930 ~	Piano 1°: 1970 Piano 2°: 1998 (sovralzo)
Tipologia di struttura sismo-resistente	In muratura	In muratura	Intelaiata in c.a.
Tipologia solai	In laterocemento	In laterocemento	1° solaio: prefabbricato (doppio) Copertura: in legno lamellare

Le opere di cui al presente progetto riguardano principalmente i corpi A2 e B; il corpo A1 ne sarà interessato solo marginalmente in quanto il suo adeguamento sismico è rimandato ad un secondo stralcio di intervento mentre il corpo C non verrà preso in esame per le ragioni di seguito specificate.

L'edificio originario nasce negli anni '30 del secolo scorso, e comprende l'intero corpo A (A1+A2). L'edificio B sorge successivamente, nel 1970 come corpo di fabbrica ad un solo piano, e viene sovralzato negli anni 1997-1998 quando ancora il Comune di Lonato non era considerato zona sismica. Infine, il corpo C nasce nei primi anni 2000, è dotato di giunto sismico rispetto al resto della costruzione e dal punto di vista costruttivo è stato realizzato secondo la norma sismica vigente, ragion per cui non è oggetto del presente progetto e non verrà più trattato nel seguito.

2. DESCRIZIONE STATO DI FATTO STRUTTURE

2.1 Introduzione

Gli edifici A1 e A2 sono realizzati con struttura portante e sismoresistente in muratura perimetrale e struttura intelaiata centrale, con solai generalmente in laterocemento. Il corpo B, invece, è costituito da una struttura intelaiata in c.a. con tegoli prefabbricati (1° solaio) e da una copertura in legno lamellare (2° solaio).

Per i dettagli si fa riferimento ai paragrafi che seguono, nei quali si prendono in considerazione solo le principali zone oggetto di intervento con il presente intervento (corpi A2 e B).

2.2 Corpo A2

L'edificio, costruito intorno al 1930 e disposto su 2 livelli (piani 1° e 2°), è a pianta rettangolare, molto semplice, e presenta una struttura portante perimetrale in muratura di pietrame.

Sia il 1° che il 2° solaio sono in laterocemento, con luce rilevante (circa 10 m). La copertura inclinata, realizzata al di sopra dell'ultimo solaio piano senza gronde, è costituita a sua volta da un ulteriore solaio in laterocemento, con manto di copertura in tegole marsigliesi, come visibile dalle immagini seguenti, tratte durante le indagini eseguite.



Foto n. 1: copertura aula magna



Foto n. 2: copertura aula magna - particolare

Il corpo di fabbrica è solidale in lato sud al corpo A1, rispetto al quale presenta quote di solaio sfalsate; in lato nord, viceversa, confina con il corpo B dal quale è staccato mediante giunto con valenza unicamente di dilatazione, viste le dimensioni assai ridotte, valutabili in circa 2 cm (vedi immagini di seguito).



Foto nn. 3-4: giunto dilatazione corpi A2-B

2.3 Corpo B

L'edificio nasce nel 1970 su un unico piano e viene realizzato di fatto come una sorta di capannone semi-prefabbricato. Come accennato, la costruzione del secondo livello risale invece agli anni 1997-98.

Nel dettaglio, la costruzione originaria era costituito da 3 ordini di pilastri, travi gettate in opera ordite nella direzione longitudinale dell'edificio e solaio di copertura con tegoli prefabbricati, posati a secco e poggianti sulla testa delle travi.

In occasione del sovrалzo, che peraltro riguarda solo una parte (pur preponderante) dell'edificio, probabilmente per ragioni di continuità didattica il solaio di copertura originario non fu demolito ma venne realizzato un nuovo contro-solaio, staccato da quello esistente tramite un pannello di isolante di piccolo spessore (circa 3 cm), come visibile nell'immagine che segue:

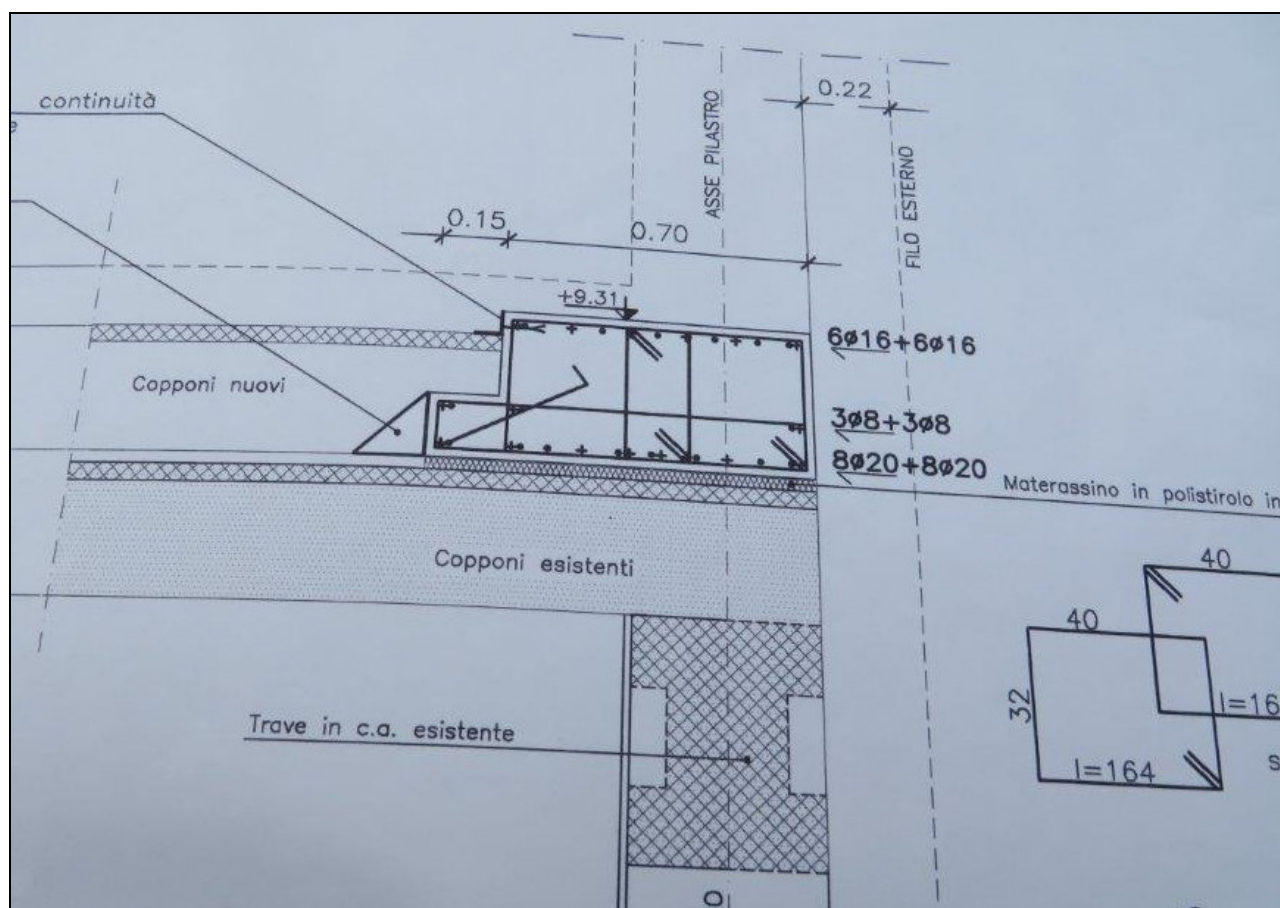


Fig. 2: particolare costruttivo sovrалzo corpo B (intervento anni 1997-98)

In particolare:

- i pilastri esistenti furono sovralzati innestando 4 ferri Ø12 verticali nelle travi sottostanti (e si è pure constatato che non sempre l'inghisaggio ed il centraggio ebbero successo);
- vennero gettate n. 3 travi longitudinali in opera in corrispondenza delle pilastrate esistenti, sopra al solaio originario (vedi figura sopra riportata);
- il nuovo solaio venne realizzato anch'esso con tegoli prefabbricati in semplice appoggio sulle travi realizzate in opera;
- il collegamento reciproco venne realizzato con angolari in acciaio saldati ad una piastra ammarata all'estradosso del tegolo e spinottati sulle nuove travi in c.a., peraltro in maniera assai precaria, come documentato nell'immagine che segue, pure tratta dalle indagini eseguite in loco:



Foto n. 5: particolare sondaggio contro-solaio superiore (1° solaio) corpo B

Nella parte alta dell'immagine si vede la trave perimetrale (di cui alla sezione riportata in precedenza), con le sue armature trasversali (staffe) affioranti dal getto; nella parte bassa si nota invece l'angolare metallico disposto all'estremità e solidale al tegolo prefabbricato,

che costituisce l'unica connessione reciproca tra trave e coppone. Questi ultimi, peraltro, sono disposti a secco, senza alcun getto collaborante.

Contemporaneamente, sempre nel corpo B, venne chiuso lo spazio esistente tra corpo laboratori e muro sostegno posteriore mediante la realizzazione di una soletta piana a quota intermedia tra le fondazioni ed il primo solaio originario, come ben visibile dagli elaborati grafici.

Come forse si può già intuire, le medesime opere di sovrizzo del 1998, certamente in virtù del vuoto normativo relativo alla classificazione del sito al riguardo, non seguono alcun criterio antisismico introducendo anzi ulteriori vulnerabilità strutturali, come verrà meglio specificato nel seguito.

3. INDAGINI ESEGUITE

La conoscenza dell'immobile e dello stato di fatto, con particolare riguardo alle strutture esistenti, è stata ottenuta acquisendo innanzitutto la documentazione tecnica disponibile presso gli archivi della Amministrazione Provinciale di Brescia e presso il Comune di Lonato del Garda, consistente in una serie di documenti di progetto e di rilievo, nonché una serie di recenti indagini eseguite in situ a cura di laboratori autorizzati (P&P Consulting Engineers). In particolare, una serie di prove fisiche e di indagini diagnostico-conoscitive fra le quali alcune endoscopie su murature e solai, una prova con martinetti piatti, rilievi localizzati di armature di elementi in c.a., indagini pacometriche, prove su carote di calcestruzzo, analisi di carbonatazione, prove sclerometriche e soniche, prove durometriche sugli acciai e prove su legno. Sono state infine eseguite alcune indagini specifiche riguardanti i solai esistenti ed il relativo rischio di sfondellamento (Tecnoindagini s.r.l.).

Fra i documenti di progetto è stato esaminato in particolare il progetto di sopraelevazione del corpo B realizzato negli anni 1997-98 a cura dell'arch. Maffei, sia nei suoi aspetti architettonici che strutturali.

In assenza di informazioni dettagliate e di riscontri oggettivi, inoltre, sono stati eseguiti dei sondaggi specifici, con lo scopo di verificare alcuni aspetti strutturali di particolare rilievo, in grado di caratterizzare il comportamento sismico atteso dell'edificio nonché di orientare la progettazione strutturale. In particolare:

- 1) corpo B: un sondaggio sul controsoffitto (1° livello);
- 2) corpo B: la verifica della copertura in legno e della tipologia degli appoggi delle relative travi lamellari;
- 3) corpo B: la verifica del sovrizzo dei pilastri esistenti eseguito negli anni 1997-98;
- 4) corpo A2: la verifica dello spessore della cappa collaborante dei solai in laterocemento;
- 5) corpo A2: la verifica della tipologia di copertura inclinata.

Con riferimento alla numerazione sopra riportata, in estrema sintesi i risultati sono stati i seguenti:

- 1) controsoffitto corpo B (1° orizzontamento): realizzato con tegole accostate senza getto collaborante e con connessioni totalmente inaffidabili alle travi di appoggio, quindi non utilizzabile come piano rigido (cfr. foto n. 5);
- 2) modalità di appoggio delle travi in legno lamellare ai pilastri del corpo B: in effetti conformi al progetto (fori ovalizzati), quindi tali da evitare spinte orizzontali sui pilastri in c.a.;

- 3) sovrizzo dei pilastri esistenti eseguito negli anni 1997-98 nel corpo B: eseguito con 4Ø12 (!) ancorati nella struttura sottostante; in alcuni casi i ferri di ancoraggio sono finiti nel vuoto invece che nella sottostante trave (o pilastro), il che lascia intendere che il già labile collegamento non possieda alcuna affidabilità;
- 4) spessore cappa collaborante solai corpo A2: è stato eseguito un sondaggio all'estradosso del 1° solaio, trovando il sottofondo del pavimento fino quasi alla quota di estradosso dell'alleggerimento in laterizio; ciò significa quantomeno che non esiste una cappa collaborante planare e di spessore certo e che pertanto nemmeno il 1° solaio del corpo A2 può attualmente essere considerato come infinitamente rigido;
- 5) copertura inclinata corpo A2: come già visto nelle fotografie nn. 1-2 si tratta di un altro solaio in laterocemento.

Per quanto riguarda le considerazioni conseguenti e le conclusioni tratte dalle indagini si fa riferimento ai paragrafi successivi.

4. DESCRIZIONE VULNERABILITA' STRUTTURALI RISCONTRATE

4.1 Introduzione

Si indicano sinteticamente di seguito i principali problemi emersi nel corso delle indagini e dei calcoli eseguiti.

Non trattandosi di criticità strutturali in senso stretto, non vengono qui citati i problemi di sfondellamento dei vecchi solai in laterocemento, per i quali la Amministrazione Committente ha già fatto eseguire uno studio specifico. In ogni caso il progetto prevede il risanamento delle zone segnalate come pericolose mediante la installazione di un controsoffitto antisfondellamento.

Si procede schematicamente riprendendo per sommi capi le caratteristiche strutturali descritte nel corso dei precedenti paragrafi.

4.2 Vulnerabilità strutturali e sismiche corpo A2 (aula magna)

I principali problemi emersi sono i seguenti:

- sia il primo che il secondo solaio esistenti non possono essere considerati come piano rigido a causa della dimensione molto limitata della cappa collaborante del solaio in laterocemento (le indagini ne hanno rivelato la irregolarità ed in alcuni punti sembra che sia solo “rasata” la pignatta);
- il primo solaio presenta una grave carenza di acciaio teso in campata e, nonostante sia stata eseguita una prova di carico con esito abbastanza confortante, risulta eccessivamente caricato rispetto alla propria capacità resistente;
- è presente una copertura inclinata molto pesante (si tratta di un vero e proprio ulteriore solaio in laterocemento), che determina elevate azioni sismiche proprio nella parte alta dell'edificio (si rammenta che le azioni sismiche sono proporzionali alle masse);
- nella direzione corta del corpo di fabbrica è presente una sezione muraria resistente del tutto insufficiente per garantire la resistenza alle azioni orizzontali; né essa è facilmente aumentabile a causa della impossibilità di introdurre nuove murature all'interno dell'edificio a causa del layout interno (l'aula magna è costituito da un unico grande locale);
- la presenza di un giunto di dilatazione rispetto al corpo B di larghezza molto carente (circa 2÷3 cm); tale dimensione è del tutto insufficiente ad assicurare la

assenza di fenomeni di martellamento sismico (i due edifici, vibrando, si “scontrano”), particolarmente dannosi in caso di sisma;

- la presenza di quote sfalsate dei solai rispetto al corpo A1, con il quale l’edificio è solidale, anche in questo caso con rischio di oscillazione in controfase sismica e di elevate sollecitazioni di taglio localizzate.

4.3 Vulnerabilità strutturali e sismiche corpo B (laboratori)

I principali problemi emersi sono i seguenti:

- il piano superiore non è praticamente ancorato al piano inferiore, e di fatto “galleggia” sulla struttura sottostante (che peraltro non era nata per le azioni sismiche); tutto bene finché si tratta di resistere alle normali azioni di esercizio (verticali) ma in presenza di sollecitazioni orizzontali la musica cambia decisamente, come è piuttosto facile immaginare;
- non esiste un piano rigido in quanto il solaio intermedio prefabbricato (sia quello originario che il contro-solaio) non è dotato di un getto collaborante; i tegoli prefabbricati sono invece tutti staccati l’uno dall’altro, come emerso dal sondaggio eseguito; in tal modo, quindi ogni elemento verticale (pilastro) rischia di andare molto presto in crisi, dovendo sopportare la azione sismica di competenza; come noto, viceversa, la presenza di un piano rigido ha la fondamentale funzione di redistribuzione delle azioni sismiche sui vari elementi verticali in proporzione alle rispettive rigidezze e consente quindi di “cooptare” tutte le risorse resistenti dell’edificio;
- in ogni caso vi è una grave carenza di elementi verticali sismo-resistenti in quanto i pilastri in c.a. esistenti sono all’uopo largamente insufficienti;
- il corpo di fabbrica è suddiviso in 3 sottocorpi separati vicendevolmente da giunti di dilatazione di dimensione di circa 2 cm, con i conseguenti problemi di martellamento sismico già segnalati per il corpo A2;
- lo stesso problema esiste nei confronti del corpo A1 su un lato (est) e del corpo A2 sull’altro (ovest): nonostante la dimensione dei giunti di dilatazione sia leggermente superiore ($2\div 3$ cm), essa resta comunque del tutto insufficiente;
- la presenza del solaio di ammezzato nella parte posteriore (copertura cunicolo) è in grado di creare gravi crisi di taglio sismico sui pilastri in c.a. del piano inferiore, innescando meccanismi di rottura di tipo fragile, particolarmente pericolosi;

- analogo problema potrebbe essere determinato dalla completa sconnessione esistente tra il solaio intermedio originario e ed il nuovo contro-solaio; ciò potrebbe provocare, infatti, la oscillazione sismica in controfase (un solaio si muove in un senso e l'altro in quello opposto), anche in tal caso provocando localmente sollecitazioni di taglio elevatissime sui pilastri esistenti, con rotture di tipo fragile;
- la presenza di quote sfalsate rispetto al corpo A1, che potrebbe determinare ulteriori rotture di tipo fragile sui pilastri o ulteriori fenomeni di martellamento;
- la copertura in legno non possiede una rigidità adeguata alla ripartizione dei carichi sismici;
- la carenza dei collegamenti tra la struttura portante ed i tamponamenti, con la probabile espulsione di questi ultimi in fase sismica;
- infine, la grande snellezza delle pareti divisorie del piano inferiore (laboratori e corridoio), con elevato rischio di espulsione o crollo fuori piano degli stessi in fase sismica.

4.4 Considerazioni finali

In estrema sintesi, per i corpi A2 e B si tratta di una situazione strutturale piuttosto delicata dal punto di vista sismico perché le criticità sono estese su tutti i fronti del fabbricato e riguardano praticamente tutti gli elementi strutturali: pilastri e muri, solai, travi e copertura.

Non solo, ma soprattutto per il corpo B in caso di sisma paiono esservi quasi delle labilità ed un elevato rischio di rotture (e crolli) di tipo fragile.

Il fatto pare particolarmente rilevante se si pensa che nel solo corpo B, durante gli orari di massima occupazione, potrebbero essere presenti più di 500 persone, gran parte delle quali studenti.

5. IDEA PROGETTUALE

5.1 Introduzione

Le opere di adeguamento dovranno contrastare i meccanismi di rottura e le criticità elencate nei paragrafi precedenti. L'idea progettuale riguarda l'*adeguamento sismico* ai sensi delle NTC 2018 dei corpi A2 e B, e solo marginalmente il corpo A1, la cui sistemazione è rimandata ad una fase successiva.

Si elencano quindi di seguito le linee principali dell'intervento che si intende proporre, sottolineando fin d'ora che la impossibilità di operare sull'estradosso del solaio intermedio (originario) del corpo B rende di fatto obbligatorio l'approccio progettuale che si intende perseguire, come schematicamente descritto nel seguito.

5.2 Corpo A1

Il corpo di fabbrica è coinvolto solo marginalmente nell'ambito delle opere. In particolare, non vengono eseguite vere e proprie opere di *adeguamento sismico* che, come già segnalato, sono riservate ad un progetto successivo.

Lo stralcio attuale delle opere, tuttavia, prevede la creazione di giunti sismici di opportune dimensioni rispetto ai corpi A2 e B, risolvendo quindi i problemi di sfalsamento di quota oggi esistenti e consentendo, nel progetto che seguirà, di concentrare l'attenzione esclusivamente sulle criticità strutturali interne.

Sono inoltre previsti la demolizione ed il completo rifacimento del gruppo bagni posto a ridosso del corpo B per consentire l'alloggiamento di una parte della nuova struttura controventante a servizio di quest'ultimo. Nel dettaglio, la muratura di testa verrà arretrata e ricostruita con minore spessore ma maggiore capacità resistente utilizzando blocchi di tipo semipieno (doppioUni) mentre i solai verranno ricostruiti, sempre con tipologia in laterocemento. La copertura in acciaio e lamiera verrà ripristinata come la attuale.

5.3 Corpo A2 (aula magna)

Le opere previste sono le seguenti:

- fondazioni della nuova struttura sismo-resistente, interamente su pali, con plinti e travi continue;
- creazione di giunti sismici di corretta dimensione rispetto ai corpi B e A1;
- integrazione dei muri portanti nella direzione lunga del corpo di fabbrica, con tamponamento di alcune aperture esistenti;

- rinforzo sismico delle murature stesse eseguito con tecnica di tipo tradizionale e conservativo;
- introduzione di un nuovo sistema sismo-resistente nella direzione corta del corpo di fabbrica, costituito da n. 2 setti in c.a. interni, disposti ai lati del corpo di fabbrica (vedi disegni strutturali);
- rinforzo statico del 1° solaio con demolizione di una pignatta ogni 3 e creazione di una trave armata in c.a. al suo posto, con getto in calcestruzzo strutturale alleggerito;
- creazione di un piano rigido con getto collaborante alleggerito sul 1° solaio;
- creazione di un piano rigido con getto collaborante alleggerito sul 2° solaio esistente;
- ripristino della copertura inclinata con struttura leggera in legno.

5.4 Opere da eseguire corpo B (laboratori)

Le opere necessarie all'*adeguamento sismico* sono le seguenti:

- fondazioni della nuova struttura sismo-resistente, interamente su pali, con plinti e travi continue;
- creazione di giunti sismici di adeguata dimensione rispetto ai corpi A2 ed A1;
- eliminazione dei giunti di dilatazione interni e solidarizzazione dell'intero edificio;
- creazione di un piano rigido mediante la realizzazione di un getto collaborante (alleggerito) all'estradosso del 1° solaio (contro-solaio);
- introduzione di una nuova struttura sismo-resistente con telai in acciaio completamente esterni al sedime del fabbricato (esoscheletro);
- creazione di una struttura metallica perimetrale di contrasto delle oscillazioni orizzontali del 1° solaio (originario+contro-solaio) e di efficaci collegamenti tra solaio originario e contro-solaio per evitare movimenti sismici in controfase;
- creazione di collegamenti metallici tra la copertura in legno esistente e la nuova struttura sismo-resistente;
- demolizione e ricostruzione del solaio di copertura del camminamento posteriore, con ricostruzione finale sconnessa rispetto alla struttura portante dell'edificio.

5.5 Opere accessorie e conseguenti

Come è facile intuire, pur avendo ideato la introduzione di un sistema sismo-resistente totalmente esterno al corpo B, l'intervento complessivo presenta comunque caratteristiche di spiccata invasività. Esso richiede infatti l'esecuzione di una serie di opere di impatto molto rilevante, sia in termini economici che di disagio logistico.

La loro elencazione, tuttavia, non fa parte degli scopi del presente documento e per esse si rimanda perciò alla relazione generale allegata al progetto.

6. OPERE PREVISTE NEL PRESENTE STRALCIO

La disponibilità economica attuale non consente la esecuzione di tutte le opere elencate nel paragrafo precedente: nel presente appalto è quindi prevista la completa esecuzione dei lavori strutturali citati solo sui corpi A1 e A2 mentre sul corpo B verranno realizzate solamente alcune delle opere sopra citate.

In particolare, per quest'ultimo fabbricato si interverrà introducendo i giunti sismici rispetto al corpi A1 e A2 e realizzando la struttura controventante, con le relative fondazioni, sul solo lato sud mentre le opere sui restanti lati e quelle interne (fra le quali la realizzazione del piano rigido a livello del solaio intermedio) sono demandate ad una fase successiva.

E' evidente che in tal modo si consegue un miglioramento solo parziale della situazione ma è pur vero, in ogni caso, che vengono immediatamente ottenuti alcuni risultati particolarmente significativi dal punto di vista strutturale:

- l'*adeguamento sismico* del corpo A2 (aula magna) ai sensi delle NTC 2018;
- il distanziamento del corpo A1 rispetto ai corpi A2 e B, limitando da subito possibili fenomeni di martellamento sismico, particolarmente pericolosi in caso di sisma severo.

A ciò si aggiunge il fatto, certo non trascurabile dal punto di vista funzionale, che i lavori comporteranno solo una limitata chiusura degli spazi di attività scolastica e che per il futuro completamento degli stessi non saranno più coinvolti né l'ampia corte interna scoperta né il corpo A2 (aula magna).