

# Provincia di Brescia

## Settore EDILIZIA SCOLASTICA E DIREZIONALE

Ufficio Progettazione Edilizia Scolastica e Direzione dei Lavori

Edificio scolastico:

Liceo scientifico "N. COPERNICO"

Ubicazione:

Viale Duca degli Abruzzi, 17 - Brescia

Intervento:

Intervento di adeguamento sismico  
Primo Stralcio



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU

Oggetto:

Relazione tecnica generale e QTE

Scala:

Numero:

Fase/Pratica Edilizia:

02RT+QTE

PROG. ESECUTIVO

Il Direttore del Settore Edilizia Scolastica e Direzionale:

Dott. Arch. Giovan Maria Mazzoli

R.U.P.:

Progettista:

Direttore Lavori:

Arch. Daniela Massarelli

Ing. Fabio Macobatti

Ing. Fabio Macobatti

Collaboratori:

Progettista Strutture:

Coordinatore Sicurezza:

Ing. Fabio Macobatti

Ing. Fabio Macobatti

Nome File:

Redatto da:

Verificato da:

Ing. Fabio Macobatti

Data:

Data e Numero Revisione:

Luglio 2022

AREA DEL  
TERRITORIO



PROVINCIA  
DI BRESCIA

PROGETTO ESECUTIVO

Doc:	Liceo Scientifico Statale "Niccolò Copernico" Viale Duca degli Abruzzi, 17 - Brescia (BS)
Data:	04/07/2022
Pagina:	2/19

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>5</b>
1.1	Oggetto.....	5
1.2	Normative di riferimento .....	7
1.3	Documentazione di riferimento .....	7
<b>2</b>	<b>RELAZIONE ILLUSTRATIVA .....</b>	<b>8</b>
2.1	Descrizione dei corpi di fabbrica .....	8
2.2	Carenze sismiche individuate .....	9
2.3	Valutazione della sicurezza statica: metodo di analisi e approccio di verifica .....	10
2.4	Analisi del comportamento sismico: metodo di analisi e approccio di verifica .....	10
2.5	Descrizione degli interventi di rinforzo proposti .....	11
2.5.1	Telaio sismo-resistente in acciaio .....	12
2.5.2	Incamiciatura pilastri non verificati ai carichi verticali (oggetto di futuro intervento).....	14
2.5.3	Interventi locali Unità Strutturale 5 - Palestra .....	15
<b>3</b>	<b>QUADRO TECNICO ECONOMICO – QTE .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>CRONOPROGRAMMA DELLE FASI ATTUATIVE.....</b>	<b>18</b>

Doc:	Liceo Scientifico Statale "Niccolò Copernico" Viale Duca degli Abruzzi, 17 - Brescia (BS)
Data:	04/07/2022
Pagina:	4/19

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Oggetto

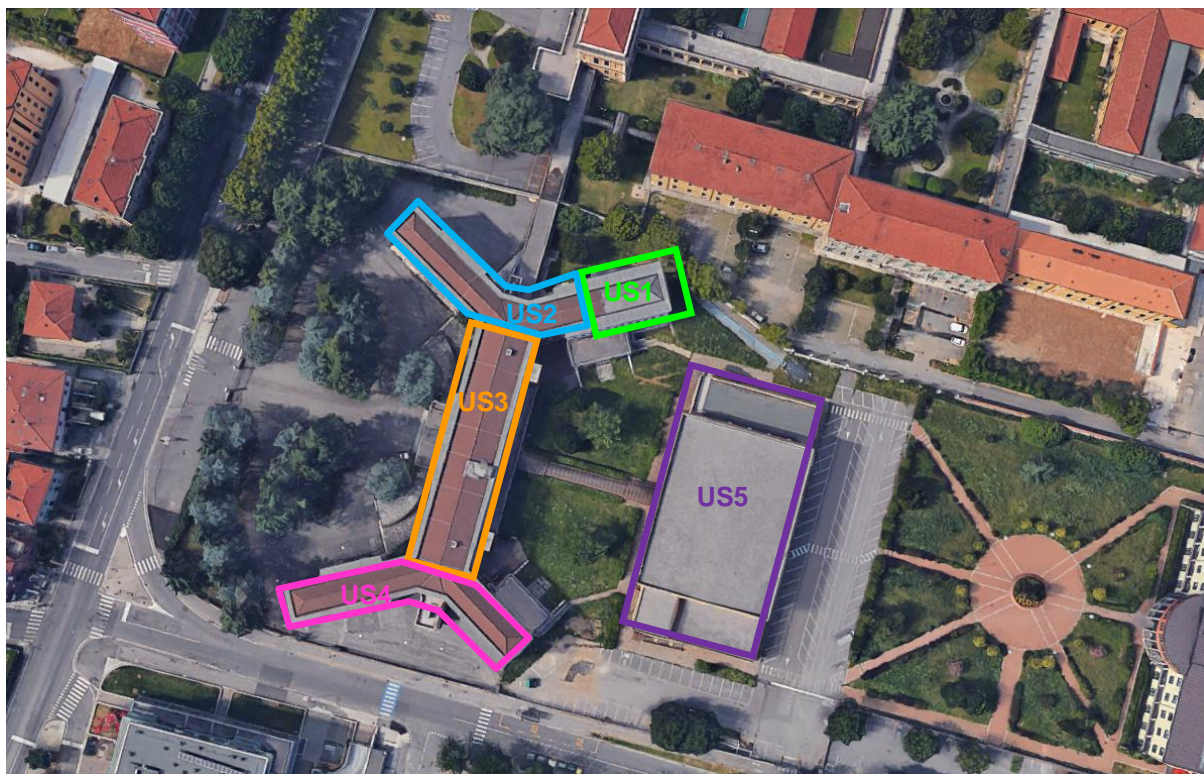
Oggetto dell'incarico è il progetto esecutivo relativo all'adeguamento sismico di parte degli edifici che costituiscono il Liceo Scientifico Niccolò Copernico (BS), sito in Viale Duca degli Abruzzi, 17 (Figura 1). In particolare, il presente incarico prevede un intervento totale sull'edificio individuato alla zona US5 (palestra) ed US1, e su parti della zona US3. Non sono invece previsti, nel primo stralcio, interventi nelle zone US2 ed US4. Le Unità Strutturali di cui sopra sono riportate in Figura 2, così come individuate in sede di analisi di vulnerabilità [6]. La progettazione degli interventi verrà sviluppata sulla base delle principali criticità emerse in sede di analisi di vulnerabilità e sulle indicazioni riportate nel progetto di fattibilità [10].

Data la complessità dell'impianto planimetrico dell'edificio principale, destinato alla didattica e composto da 4 edifici, è importante sottolineare che l'attuale progetto di adeguamento non può prescindere da un approccio di tipo globale che consideri le interazioni tra le diverse sottostrutture (US1, US2, US3 ed US4). Per tale motivo la concezione progettuale si è basata sull'adeguamento sismico dell'intero complesso, così come descritto nei paragrafi seguenti e più dettagliatamente nella relazione di calcolo. Sulla base dei risultati finali ed in funzione delle somme a disposizione è stato quindi proposto uno schema di intervento che tenga conto delle criticità evidenziate dalle singole unità strutturali oggetto di intervento ma che, allo stesso tempo, sia coerente con la risposta globale dell'intero complesso di edifici e soprattutto compatibile con le prossime fasi di progettazione.



*Figura 1 – Inquadramento del complesso scolastico oggetto di analisi.*





*Figura 2 – Suddivisione del complesso scolastico oggetto di analisi in Unità Strutturali (US1 in verde, US2 in azzurro, US3 in arancione, US4 in rosa, US5 in viola).*

## 1.2 Normative di riferimento

Le normative di riferimento sono le seguenti:

- [1] Decreto Ministeriale del 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18).
- [2] Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [3] FEMA 273 (1997). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency.

## 1.3 Documentazione di riferimento

Per l'edificio nello specifico la documentazione tecnica di riferimento è stata:

- [4] Relazione geologica - Prospezione sismica M.A.S.W.; TECNOINDAGINI S.r.l. con il supporto tecnico del Dr. Marco Crippa, 2019.
- [5] Relazione geologica e geologico-tecnica relativa alla definizione dei caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici del settore d'interesse progettuale sito nel territorio comunale di Brescia (BS) – località via Duca degli Abruzzi, civico n° 17 e finalizzata agli interventi di adeguamento sismico dell'edificio scolastico Liceo Scientifico Niccolò Copernico ivi ubicato. Dr. Marco Crippa, 2021.
- [6] Verifica vulnerabilità sismica - Relazione tecnica; TECNOINDAGINI S.r.l. con il supporto tecnico del Ing. Mattia Vidus Rosin. Dott. Ing. Marco Gallotta, 2019.
- [7] Verifica vulnerabilità sismica - Elaborati grafici; TECNOINDAGINI S.r.l. con il supporto tecnico del Ing. Mattia Vidus Rosin, 2019.
- [8] Verifica vulnerabilità sismica - Tabulati di calcolo; TECNOINDAGINI S.r.l. con il supporto tecnico del Ing. Mattia Vidus Rosin, 2019.
- [9] Verifica vulnerabilità sismica - Stima preliminare costi possibile intervento di adeguamento sismico; TECNOINDAGINI S.r.l. con il supporto tecnico del Ing. Mattia Vidus Rosin, 2019. Dott. Ing. Marco Gallotta, 2019.
- [10] Progetto di fattibilità: L.S. "N. Copernico", in Comune di Brescia - Intervento di adeguamento sismico, Primo Stralcio. Dott. Arch. Daniela Massarelli, 2019.
- [11] Progetto definitivo di adeguamento sismico del liceo scientifico Niccolò Copernico (BS) - I STRALCIO, 2021. Ing. Fabio Macobatti, 2021.
- [12] Studio teorico e sperimentale sul comportamento ciclico di controventi concentrici a X. Gelfi Piero, Giovanni Metelli. Convegno CTA (Collegio dei Tecnici dell'Acciaio), 2009.
- [13] Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici. UNI EN 1998-1:2005.

Nei paragrafi successivi, le informazioni acquisite dai documenti di riferimento di cui sopra, quindi riportate nel contenuto della presente relazione, sono citate con la rispettiva referenza "[n°]".

## 2 RELAZIONE ILLUSTRATIVA

### 2.1 Descrizione dei corpi di fabbrica

Sulla base delle informazioni consultabili dall'analisi di vulnerabilità [6], il complesso scolastico è composto da: i) un fabbricato principale destinato ad uso didattico e ii) una palestra. Dalla documentazione a disposizione è stato possibile determinare che il corpo principale, contenente le aule didattiche, è stato costruito precedentemente all'anno 1959 con la destinazione d'uso di Ospedale Psichiatrico Provinciale, mentre la palestra è stata costruita successivamente. Il corpo principale dispone inoltre di un ampliamento realizzato nel 1978.

Il corpo principale, avente forma a doppia "Y", è costituito da quattro sottostrutture ed è organizzato su tre piani fuori terra oltre ad un piano seminterrato. La palestra invece, si sviluppa prevalentemente su un unico piano con altezze d'interpiano differenti. In particolare, la porzione che ospita il campo da gioco e gli spalti è mono-piano a doppia altezza, mentre la porzione che ospita gli spogliatoi e la palestrina secondaria è mono-piano a singola altezza. Il collegamento verticale tra i piani, sia del corpo principale sia della palestra, è garantito da vani scala interni ed esterni. La struttura portante verticale del corpo principale è costituita da un sistema perimetrale di tipo massivo realizzato con setti in muratura di mattoni semipieni ed un telaio interno di spina realizzato con pilastri in calcestruzzo armato gettato in opera. L'ampliamento, invece, è costituito da un sistema strutturale a telaio con pilastri e travi in calcestruzzo armato gettato in opera. La palestra è realizzata con un sistema misto che prevede la presenza di pilastri in calcestruzzo armato gettato in opera nel corpo centrale e setti in muratura di mattoni semipieni nei corpi laterali. Gli orizzontamenti (solai d'interpiano e copertura) del corpo principale sono in latero-cemento. La palestra, invece, presenta orizzontamenti realizzati con diverse tecnologie: latero-cemento, calcestruzzo armato gettato in opera, lastre alveolari e legno lamellare. Il sistema di fondazione dell'ampliamento del corpo principale è realizzato con un sistema misto di plinti isolati e collegati mediante travi rovesce.

In Tabella 1 sono specificate le caratteristiche dell'intero complesso, del quale sono indicati: dimensione planimetrica, numero di piani, altezza d'interpiano, volume e tipologia strutturale.

*Tabella 1 – Indicazione degli edifici che compongono il complesso edilizio.*

Fabbricato	Unità Strutturale	Area [m <sup>2</sup> ]	n° piani	h interpiano [m]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Tipologia strutturale
Edificio scolastico	US1	110	4	3.4	1496	Telaio in c.a. tamponato
	US2	560	4	3.4	7616	Sistema perimetrale a setti in muratura e telaio in c.a di spina
	US3	790	4	3.4	10744	Sistema perimetrale a setti in muratura e telaio in c.a di spina
	US4	550	4	3.4	7480	Sistema perimetrale a setti in muratura e telaio in c.a di spina
Palestra	US5	1268	1	9.5	12046	Corpo centrale: pilastri in c.a. Corpi laterali: setti in muratura



## **2.2 Carenze sismiche individuate**

Sulla base dei risultati ottenuti dall'indagine di vulnerabilità e dall'analisi documentale si evince come, a causa dell'articolata evoluzione storica dell'insediamento, il complesso edilizio sia privo di una concezione strutturale atta ad incassare forze orizzontali come quelle di origine sismica. Le strutture resistenti sono caratterizzate dalla presenza di telai in c.a. gettati in opera non progettati secondo le moderne tecniche di progettazione antisismica (inadeguato passo delle staffe, confinamento delle zone nodali insufficiente o assente, carenza nei dettagli costruttivi, ecc.) e da pareti in muratura portante. Per le Unità Strutturali US2, US3, US4 risulta altresì evidente l'assenza di un sistema sismo-resistente organizzato: in particolare in direzione trasversale (rispetto alla direttrice principale che contraddistingue lo sviluppo in pianta di ciascuna sottostruttura). Come riportato nel documento di vulnerabilità le principali criticità emerse sono:

- a) Possibile martellamento tra le Unità Strutturali US1, US2, US3 e US4;
- b) Assenza di elementi appartenenti al sistema sismo-resistente in direzione trasversale nelle Unità Strutturali US2, US3 e US4;
- c) Impossibilità di indagare il grado di ammorsamento tra pilastri e gronda in sommità ad ogni Unità Strutturale. L'assenza di un corretto collegamento potrebbe essere causa di un possibile cinematismo di ribaltamento in sommità in caso di evento sismico;
- d) Impossibilità di verificare l'efficacia delle connessioni tra elementi lignei e strutturali in calcestruzzo armato della palestra;
- e) Copertura lignea della palestra non conforme alla definizione di diaframma rigido;
- f) Elementi snelli che non collegano efficacemente le porzioni di muratura sotto e sopra-finestra e determinano, in caso di evento sismico, la possibilità di ribaltamento delle finestre della palestra;
- g) Tamponamenti perimetrali della palestra snelli che, in caso di evento sismico, possono essere soggetti a fenomeni di ribaltamento se non ben collegati alla struttura.

Alle vulnerabilità sismiche appena elencate si aggiungono inoltre alcune criticità legate al comportamento delle strutture rispetto ai carichi verticali. In particolare, per l'Unità Strutturale US1 le precedenti indagini sottolineano la non conformità di 7 pilastri in c.a., che risultano non idonei a sorreggere i carichi verticali in condizioni SLU. In riferimento all'Unità Strutturale US3 invece, le indagini di vulnerabilità hanno evidenziato una situazione critica per 7 maschi murari e 41 pilastri in c.a..

Le vulnerabilità elencate in precedenza sono state analizzate nel dettaglio nel progetto definitivo [11] dove sono stati ipotizzati una serie di interventi atti a sanare le vulnerabilità riscontrate. Nel presente progetto esecutivo, sono stati quindi studiati tutti i dettagli necessari a realizzare gli interventi di adeguamento sismico proposti.

## 2.3 Valutazione della sicurezza statica: metodo di analisi e approccio di verifica

Per la valutazione della sicurezza statica è stata condotta un'analisi elastica lineare prendendo in considerazione le azioni e le combinazioni di carico nella condizione di Stato Limite Ultimo (SLU). In particolare:

- per le strutture con sistema resistente realizzato in calcestruzzo armato si considera una verifica di resistenza statica nella condizione di stato limite ultimo (SLU);
- per le strutture con sistema resistente realizzato in muratura si considera una verifica statica di presso-flessione nella condizione di stato limite ultimo (SLU). In tale circostanza le verifiche vengono condotte nell'ipotesi di comportamento elastico dei materiali. Per tale motivo la sollecitazione è confrontata con la resistenza a compressione del materiale ridotta del coefficiente di sicurezza  $\gamma_M$  pari a 3.

Le verifiche di sicurezza statica relative agli elementi verticali che compongono il sistema strutturale verticale saranno esplicitate in funzione del parametro  $\zeta_{v,i}$ , definito dalle NTC 2018 al §8.3, che rappresenta il rapporto tra resistenza e sollecitazione

## 2.4 Analisi del comportamento sismico: metodo di analisi e approccio di verifica

Per quanto riguarda la valutazione della sicurezza nei confronti dell'azione sismica sono state adottate due diverse metodologie di analisi, coerentemente a quanto effettuato in sede di analisi di vulnerabilità.

Per il corpo di fabbrica principale a cui appartengono le Unità Strutturali US1, US2, US3 ed US4, è stato utilizzato il metodo dell'analisi statica non lineare (o *pushover*). Le analisi si riferiscono allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e di Danno (SLD), e sono funzionali alla valutazione del comportamento d'insieme.

Per l'edificio adibito a palestra è stata invece adottato il metodo dell'analisi dinamica lineare a spettro di risposta.

Ciascuna verifica verrà quindi esplicitata attraverso il coefficiente di sicurezza,  $\zeta_E$ , dato dal rapporto tra capacità e domanda. Sulla base di quanto riportato al §8.4.3 [1] e §C8.4.3 [2], la struttura viene considerata adeguata per valori di  $\zeta_E$  superiori o uguali a 0.8. L'intervento di adeguamento prevede infatti due possibili valori minimi per il parametro  $\zeta_E$ , pari ad 1 oppure a 0.8 a seconda del tipo di intervento o di costruzione.

Nei casi di i) sopraelevazione della costruzione, ii) ampliamento della costruzione mediante opere strutturalmente connesse alla costruzione esistente ed iii) esecuzioni di interventi strutturali che modifichino la costruzione portandola ad un sistema strutturale diverso dal precedente (nel caso degli edifici, effettuare interventi strutturali che trasformano il sistema strutturale mediante l'impiego di nuovi elementi verticali portanti su cui grava almeno il 50% dei carichi gravitazionali complessivi riferiti ai singoli piani), il coefficiente  $\zeta_E$ , valutato nello scenario post-intervento, dovrà essere maggiore o uguale a 1.

Nei casi quali i) variazioni di destinazioni d'uso che determinino un aumento dei carichi globali in fondazione superiore al 10%, ii) modifiche della classe d'uso che portino a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV e iii) adeguamento sismico deciso dal proprietario del fabbricato in seguito ad inadeguatezza riscontrata dall'analisi di vulnerabilità, il valore  $\zeta_E$  valutato nello scenario post-intervento deve essere maggiore o uguale a 0.80.

## **2.5 Descrizione degli interventi di rinforzo proposti**

Per quanto riguarda il corpo principale, l'intervento di rinforzo proposto ha lo scopo di realizzare un sistema resistente indipendente rispetto alla struttura esistente, realizzando, sul perimetro dell'edificio, una serie di telai in acciaio controventati con piatti metallici al fine di incrementare la risposta strutturale nei confronti della sollecitazione sismica, ottimizzando allo stesso tempo (per quanto possibile) il rapporto tra resistenza e rigidità. Tale soluzione prevede infatti di realizzare le suddette strutture di contrasto distaccate dall'edificio (quindi non all'interno dei telai in c.a.), collegandole alla struttura esistente in corrispondenza degli orizzontamenti per mezzo di diaframmi di piano costituiti da diagonali, correnti e lesene realizzati con profili in acciaio a loro volta spinottati ai cordoli ed alle travi di bordo esistenti, e collegati ai solai esistenti per mezzo di piatti in acciaio.

Tale soluzione:

- permette di limitare il più possibile le interferenze delle lavorazioni con la normale attività all'interno del corpo di fabbrica principale;
- garantisce l'integrazione architettonica tra le opere di rinforzo e la struttura esistente, lasciando spazio a nuove soluzioni di facciata;
- comporta un limitato numero di operazioni di demolizione e di ripristino dell'esistente;
- prevede che tutte le strutture in acciaio siano trattate con opportune vernici intumescenti per garantire idonea resistenza al fuoco.

In questa fase è previsto che i controventi e le relative strutture orizzontali di collegamento ai fabbricati esistenti siano connessi solamente alle Unità Strutturali oggetto di incarico (US1 ed US3). In questa fase si specifica inoltre di non provvedere alla solidarizzazione delle varie sottostrutture attraverso cucitura dei giunti. Tale operazione, indispensabile per far sì che le strutture di controvento siano totalmente efficaci, è da rimandare alle successive fasi di intervento, una volta portato a termine l'intero processo di adeguamento sismico (intervenedo anche sulle Unità Strutturali US2 ed US4).

Per tale motivo si specifica che gli interventi previsti in questa fase sono da ritenersi propedeutici ed essenziali al raggiungimento dell'adeguamento sismico del corpo di fabbrica principale (costituito dalle Unità Strutturali US1, US2, US3 ed US4). Tuttavia l'adeguamento sismico potrà ritenersi raggiunto solamente a compimento delle successive fasi progettuali e realizzative (intese come completamento del sistema resistente ex-novo in acciaio proposto anche per le parti afferenti alle Unità Strutturali US2 ed US4).

I risultati ottenuti per le sole Unità Strutturali US1 ed US3 sono quindi da intendersi come funzionali e propedeutici allo studio della risposta globale dell'edificio e non come il raggiungimento dell'adeguamento sismico della singola Unità Strutturale.

Oltre ai rinforzi sismici di tipo globale appena descritti, sono stati inoltre progettati interventi di tipo puntuale. In particolare in questa fase verranno realizzati:

- Rinforzo tramite la messa in opera al piano seminterrato di pilastri in acciaio a sostegno delle pareti murarie non verificate ai carichi verticali, da mettere in opera con apposita vernice intumescente o in alternativa da proteggere mediante pannelli in cartongesso intonacato;
- Rinforzo dei pilastri di gronda con relativa connessione alle strutture sottostanti e soprastanti.

Si rimanda invece alle future fasi realizzative la messa in opera dei seguenti interventi di rinforzo:

- Incamiciatura in acciaio (con relativa protezione mediante pannelli in cartongesso intonacato) per i pilastri in cemento armato gettato in opera che sono risultati non verificati ai carichi verticali;
- Rinforzo flessionale, a taglio ed incremento della duttilità locale dei pilastri in c.a. del piano rialzato dell'Unità Strutturale US1 (pilastri corti) tramite incamiciatura metallica attraverso l'uso di mascherine metalliche dallo spessore di 6 mm, opportunamente protette da vernice intumescente o pannelli in cartongesso intonacato.

Il progetto è elaborato sulla base delle attuali conoscenze; possibili modifiche saranno introdotte sulla base degli esiti delle indagini diagnostiche integrative. In particolare, si sottolinea che:

- in sede di esecuzione delle opere, la capacità portante reale dei pali di fondazione dovrà essere comprovata tramite la messa in opera di pali pilota con relativi collaudi mediante prove di carico in numero sufficiente come da normativa;
- in sede di esecuzione delle opere, sarà necessario indagare l'effettivo grado di ammassamento tra gli elementi lignei di copertura della palestra e quelli in c.a..

#### *2.5.1 Telaio sismo-resistente in acciaio*

L'intervento prevede:

- La realizzazione di un sistema resistente ex-novo caratterizzato da telai controventati principalmente con piatti metallici. Tali strutture saranno posizionate esternamente alla struttura esistente, con l'obiettivo di rendere la risposta sismica dell'intera struttura oggetto di intervento il più possibile omogenea in entrambe le direzioni principali (X e Y in pianta). L'obiettivo è quello di garantire un idoneo livello di resistenza e duttilità, ricentrando allo stesso tempo la posizione geometrica del centro di taglio rispetto al baricentro della struttura e limitando quindi il più possibile gli effetti torsionali. I telai controventati saranno posti in adiacenza alle strutture esistenti o, dove possibile, distanziati di circa 2.5m per permettere la creazione di un passaggio libero e conseguentemente la circolazione lungo il perimetro dei corpi di fabbrica esistenti;
- Connessione rigida tra i nuovi telai piani metallici e la struttura esistente, da realizzarsi lungo il perimetro degli edifici, in corrispondenza delle travi e dei cordoli in c.a.. Tale soluzione prevede la costituzione di diaframmi di piano da realizzarsi attraverso travature reticolari o controventi di piano e membrature in acciaio opportunamente spinottate alle cordolature esistenti in c.a. (tramite ancoraggio chimico);
- Connessione tra i nuovi telai piani metallici ed i solai della struttura esistente, da realizzarsi tramite la costruzione di lesene disposte ortogonalmente alle facciate. Tale soluzione prevede la costituzione di ripartitori di piano da realizzarsi attraverso piatti metallici opportunamente spinottati ai solai esistenti;
- Realizzazione di pali di fondazione a sostegno dei telai metallici controventati di nuova costruzione al fine di garantire la loro stabilità nei confronti delle azioni di ribaltamento (e quindi rispetto alle azioni di trazione sulle colonne) non contrastate dai carichi verticali statici dell'edificio (peso proprio e carichi variabili).

Nelle future fasi di progettazione gli interventi proposti saranno completati da ripristini estetici: in particolare, sui fronti esterni (in corrispondenza dei telai metallici di nuova realizzazione), sarà possibile prevedere la creazione di soluzioni architettoniche di rivestimento per mascherare le nuove strutture metalliche di rinforzo, mediante l'installazione di lamiere stirate simili a quella mostrata in Figura 3.



*Figura 3 – Lamiera stirata posata a protezione del telaio sismo-resistente in acciaio.*

Gli interventi proposti mirano a dare maggiore duttilità alla struttura esistente ed allo stesso tempo a sgravare dal ruolo di sistema resistente principale le attuali strutture in cemento armato e muratura portante, non progettate per rispondere a sollecitazioni di natura sismica. La scelta di usare piatti come elementi controventanti è stata adottata per soddisfare le prescrizioni normative sulla snellezza adimensionale dei controventi al fine di limitare il picco di sollecitazioni negli elementi non dissipativi del telaio quando, nei primi cicli di carico, entrambe le diagonali risultano attive. La necessità di rispettare sia un limite inferiore sia un limite superiore della snellezza implica l'esigenza di una valutazione realistica delle lunghezze di libera inflessione, contrariamente alla pratica progettuale usuale che, dovendo garantire solo una sufficiente resistenza a compressione, considera a favore di sicurezza una stima per eccesso della snellezza [12]. Inoltre, l'impiego di piatti disposti con il lato maggiore in direzione perpendicolare al controvento permette di evitare facilmente l'instabilità fuori piano, che può provocare gravi danni ai tamponamenti (nei casi in cui i controventi sono disposti in adiacenza alla struttura esistente).

Gli elementi costituenti il nuovo sistema in acciaio sismo-resistente sono costituiti principalmente da telai con controventi concentrici ad X disposti lungo il perimetro degli edifici: i) colonne del tipo HEB240 e ii) travi IPE300 ad eccezione del livello del primo impalcato (+0.75m) dove sono state utilizzate travi IPE330. Come anticipato i controventi sono costituiti da piatti di dimensioni variabile (100x25mm e 80x25mm). Oltre ad i controventi concentrici diffusi lungo il perimetro, per il solo corpo di fabbrica US3 sono stati previsti 4 telai (Y-F1, Y-F2, Y-G1 e Y-G2) disposti in direzione Y. Tali strutture sono funzionali a irrigidire la struttura del corpo centrale in direzione trasversale, riducendo la massa di competenza dei controventi sismo-resistenti più esterni. Per permettere l'accesso alla struttura in corrispondenza del livello interrato e per mantenere la fruibilità degli spazi, per i soli telai

posti sul fronte Ovest (Y-F2 e Y-G2), al livello inferiore è stata prevista la messa in opera di una struttura a telaio realizzata con profili del tipo HEM240. I piani superiori vedono invece la presenza di strutture reticolari controventate con diagonali disposti a X secondo lo schema di intervento adottato per gli altri sistemi di irrigidimento.

Per consentire il trasferimento dell'azione sismica, i telai in acciaio vengono connessi alla struttura esistente mediante profili HEA160 che si innestano su profili UPN220 a loro volta connessi alle travi perimetrali esistenti in c.a. mediante spinotti M20 a passo 30cm. Il nuovo piano orizzontale che si viene a creare verrà poi controventato con profili in acciaio del tipo HEA160; il tutto verrà poi completato mediante un grigliato pressato in acciaio con funzione di piano di calpestio. Per i soli controventi di spina (Y-F2 e Y-G2) si prevede inoltre l'utilizzo di profili HEA260 per le travi di bordo. I controventi perimetrali verranno inoltre connessi puntualmente agli impalcati esistenti, in direzione ortogonale rispetto al piano di facciata, attraverso la realizzazione di lesene costituite da piatti in acciaio di dimensioni variabili tra 100x15mm e 150x25mm, da connettere ai solai di piano tramite spinottatura.

I nuovi telai metallici avranno fondazioni indipendenti realizzate su pali. In Figura 4 si riporta uno schema esemplificativo che illustra la disposizione in pianta di tutti i controventi con il relativo codice identificativo. Si precisa che la progettazione dei telai di controvento posti a ridosso dei corpi di fabbrica US2 e US4 non sono parte del presente incarico e la loro disposizione in pianta potrà essere oggetto di future modifiche.

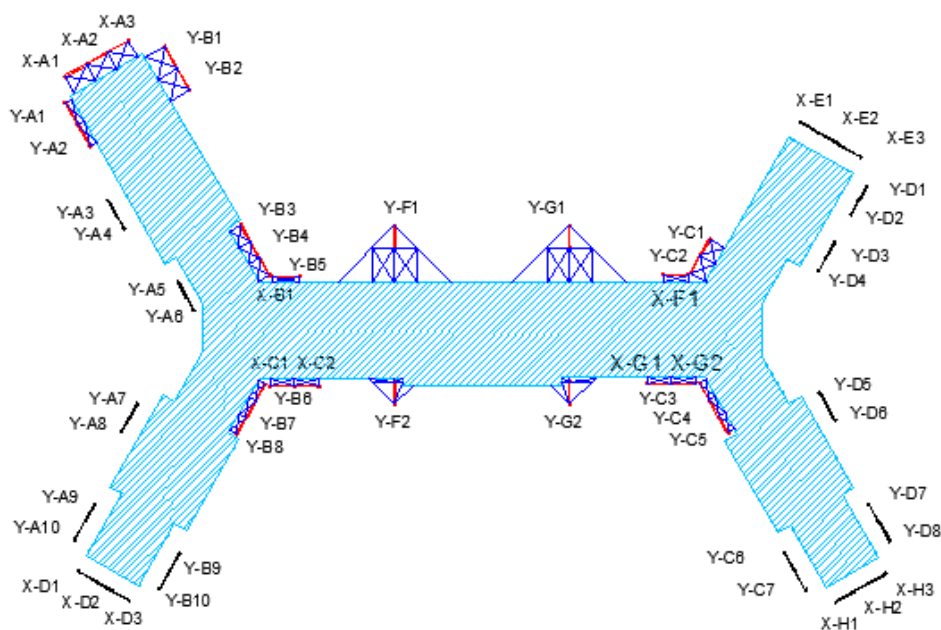


Figura 4 – Schema in pianta del nuovo sistema sismo-resistente in acciaio.

#### 2.5.2 Incamiciatura pilastri non verificati ai carichi verticali (oggetto di futuro intervento)

L'analisi di vulnerabilità ha evidenziato alcuni pilastri in c.a. non verificati alle azioni verticali. Per tale motivo si prevede l'incamiciatura di alcuni dei sopracitati elementi tramite la messa in opera di rinforzi in acciaio costituiti da profili angolari connessi da piatti metallici (calastrelli). Sia per l'Unità Strutturale US1 sia per l'US3 si prevede l'impiego di profili angolari metallici di sezione a "L" 70x70x6mm da posizionare longitudinalmente a ridosso degli spigoli dei pilastri. Gli angolari saranno poi collegati tramite piatti metallici di sezione 40x3mm disposti ogni 200mm in altezza.



### 2.5.3 Interventi locali Unità Strutturale 5 - Palestra

Alla luce delle vulnerabilità riscontrate in fase di analisi e brevemente riassunte al paragrafo precedente, per la palestra sono previsti i seguenti interventi, che inibendo i meccanismi locali consentono alla palestra di manifestare un comportamento di insieme:

- **Realizzazione di nuovi controventi di falda in acciaio:** la copertura lignea attuale presenta controventi di falda soltanto in una direzione, con tale intervento si prevede di creare il diaframma rigido andando ad aggiungere i controventi di falda mancanti mediante l'utilizzo di profili ad "L" accoppiati aventi sezione pari a 120x120x10mm in acciaio S275.
- **Realizzazione nuove squadrette metalliche:** al fine di garantire un adeguato ammassamento tra gli elementi lignei e strutturali in calcestruzzo armato verranno realizzati collegamenti mediante l'impiego di squadrette metalliche fissate con M16 sui fianchi delle travi in c.a. esistente e ai lati delle travi in legno.
- **Creazione di rompitratta perimetrali in acciaio:** in assenza di dettagli relativi al sistema di connessione tra le pareti perimetrali e i pilastri in c.a., si prevede il posizionamento di un doppio profilo in acciaio S275 del tipo UPN120 opportunamente fissato alle pareti così da creare un cordolo rompitratta in acciaio ed evitare il ribaltamento fuori piano degli elementi perimetrali in caso di sisma. Tale profilo viene previsto anche come collegamento tra gli elementi sopra e sotto finestra così da collegare opportunamente le due parti di struttura ed evitare così il ribaltamento fuori piano delle finestre.
- **Rinforzo localizzato dei pilastri con risposta non efficace nei confronti dell'azione sismica:** i pilastri che hanno mostrato un comportamento non adeguato vengono rinforzati localmente mediante l'impiego di profili angolari aventi sezione ad "L" 60x60x6mm posti sui quattro spigoli e collegati tra loro mediante calastrelli in acciaio realizzati con piatti 50x4mm posti a passo 160mm. Inoltre, vengono inseriti controventi di parete in acciaio formati da profili ad "L" accoppiati aventi dimensioni 120x120x10mm, così come mostrato in Figura 5; tali controventi hanno il compito di sgravare l'azione di taglio che si genera sul pilastro in caso di sisma. Infine, per evitare il fenomeno del pilastro corto per gli elementi 11001, 11009 e 11021 evidenziati in Figura 6, si prevede la realizzazione di un giunto sismico così da sconnettere tali pilastri dai diaframmi rigidi con essi interferenti.

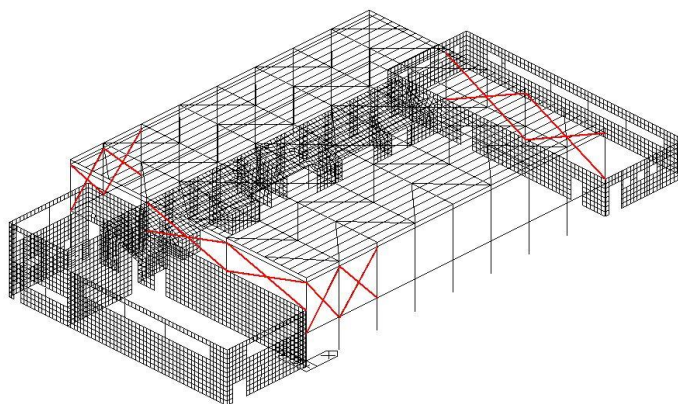
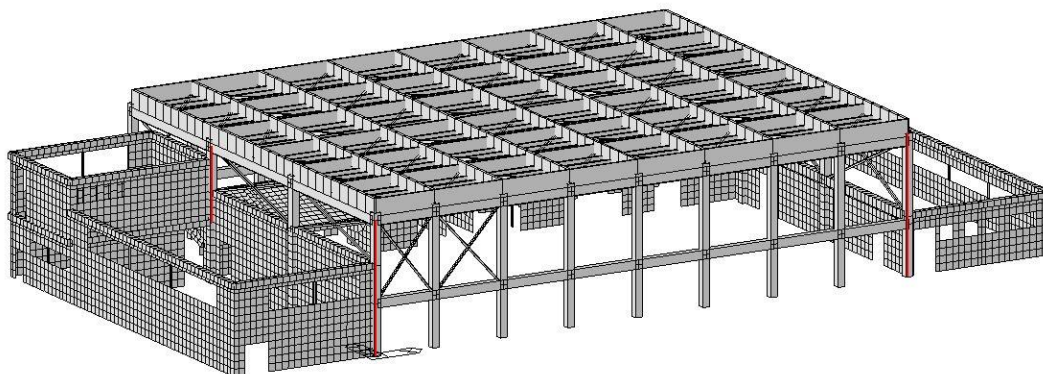


Figura 5 – Nuovi controventi di parete.



*Figura 6 – Pilastrini da sconnettere dalla struttura.*

- **Rinforzo a taglio pareti in muratura:** si prevede di rinforzare le pareti in muratura dei corpi più bassi affiancati alla palestra intervenendo mediante betoncino armato che verrà applicato soltanto sul lato esterno così da non intralciare il normale utilizzo della struttura. Soltanto per la parete di spina tra la palestra più piccola e gli spogliatoi bisognerà intervenire dall'interno, per motivi di sicurezza quindi durante le fasi di lavorazione la palestra più piccola non potrà essere accessibile.

### 3 QUADRO TECNICO ECONOMICO – QTE

<b>PROGETTO ESECUTIVO DI ADEGUAMENTO SISMICO DEL LICEO SCIENTIFICO NICCOLO' COPERNICO IN COMUNE DI BRESCIA – I STRALCIO</b>	
<b>QTE - QUADRO TECNICO ECONOMICO</b>	
<b>A)</b>	
<b>OPERE A BASE D'ASTA</b>	
OPERE EDILI (OG1)	€ 1 497 794.09
<b>TOTALE LAVORI</b>	<b>€ 1 497 794.09</b>
<b>B)</b>	
<b>SICUREZZA</b>	
ONERI PER LA SICUREZZA	€ 95 130.00
<b>TOTALE ONERI SICUREZZA</b>	<b>€ 95 130.00</b>
<b>C)</b>	
<b>TOTALE LAVORI E SICUREZZA</b>	<b>€ 1 592 924.09</b>
<b>D)</b>	
<b>SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE</b>	
IVA 10%	€ 159 292.41
SPESE TECNICHE PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA, ESECUTIVA E COLLAUDO STATICO (compreso di IVA e CNPAIA)	€ 190 271.70
FONDO INCENTIVANTE 2%	€ 31 858.48
IMPREVISTI/ALLACCIAMENTI	€ 25 653.32
<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE</b>	<b>€ 407 075.91</b>
<b>TOTALE SOMME C) + D)</b>	<b>€ 2 000 000.00</b>

Doc:	Liceo Scientifico Statale "Niccolò Copernico" Viale Duca degli Abruzzi, 17 - Brescia (BS)
Data:	04/07/2022
Pagina:	18/19

## **4 CRONOPROGRAMMA DELLE FASI ATTUATIVE**

Alcune lavorazioni interferiscono con la normale attività scolastica, per cui al fine di minimizzare le interferenze sono previste aree di lavoro ridotte che prolungano le attività di lavorazione.

Pos.	Descrizione attività	Inizio	Fine	MESI																	
				Mese 1	Mese 2	Mese 3	Mese 4	Mese 5	Mese 6	Mese 7	Mese 8	Mese 9	Mese 10	Mese 11	Mese 12	Mese 13	Mese 14	Mese 15	Mese 16	Mese 17	Mese 18
1	Allestimento cantiere e individuazione percorsi sicuri e protetti	Mese 1	Mese 1																		
2	Demolizione pavimentazione esterna	Mese 2	Mese 2																		
3	Realizzazione nuove fondazioni (scavo, infissione pali e getto cordolo di collegamento in c.a.) ed eventuale spostamento sottoservizi - corpi US1 e US3	Mese 3	Mese 7																		
4	Montaggio-smontaggio ponteggio esterno	Mese 3	Mese 14																		
5	Realizzazione telaio in acciaio esterno - corpi US1 e US3	Mese 3	Mese 13																		
6	Formazione nuovi pilastri in acciaio piano seminterrato corpo US3	Mese 3	Mese 5																		
7	Formazione lesene interne per collegamento nuovi telai esterni al diaframma di piano - corpi US1 e US3	Mese 5	Mese 13																		
8	Rinforzo pilastri di gronda - corpo US3	Mese 6	Mese 6																		
9	Installazione rinforzi locali palestra US5	Mese 11	Mese 13																		
10	Installazione controventi di copertura palestra US5	Mese 13	Mese 13																		
11	Rispristino esterni	Mese 14	Mese 17																		
12	Chiusura cantiere	Mese 18	Mese 18																		

Inizio attività e fasi iniziali

Apprestamenti

Intervento sull'esistente (demolizioni o ripristini)

Installazione nuovi elementi (Rinforzi sismici in acciaio)

Fasi conclusive e fine attività

Fase interferenziale con le attività scolastiche interne