

LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA

IV SETTORE - LAVORI PUBBLICI ED INFRASTRUTTURE

INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI DI PROPRIETÀ DEL LIBERO CONSORZIO COMUNALE DI RAGUSA

LOTTO 3 - CIG 9165541BB2

ADEGUAMENTI SISMICO DELL'I.I.S. G. CURCIO IN VIA DEGLI STUDI - ISPICA (RG)
Finanziato dall'Unione Europea - NextGenerationEU

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROFESSIONISTI

CAPOGRUPPO

Ing. Luciano Lentini

R.U.P. Ing. Filippo Agosta

MANDANTI

Arch. Giuseppe Marotta
SG.Inarch srls
Ing. Antonino Carmelo Allegra Filosico
Arch. Francesca Cuva



RELAZIONE TECNICA GENERALE

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

DATA EMISSIONE

SETTEMBRE 2022

SCALA

-

DOCUMENTO

A	R	C	0	0	1
---	---	---	---	---	---

RELAZIONE TECNICA GENERALE

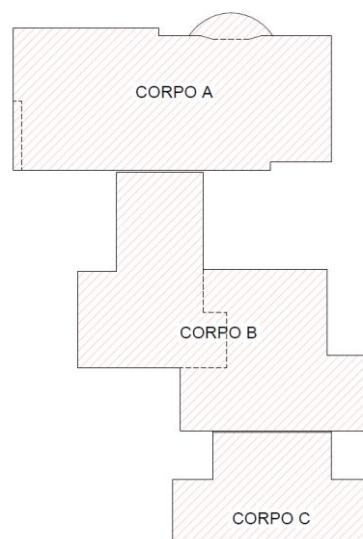
1. PREMESSA

La presente relazione forma parte iniziale ed integrante dei documenti progettuali per il servizio tecnico di "Adeguamento sismico dell'I.I.S. G. Curcio sito in Ispica (RG) Via degli Studi - Lotto n. 3 (CIG 9165541BB2)", aggiudicato allo scrivente RTP con determinazione dirigenziale prot. n. 12612 del 22/06/2022.

Il presente elaborato segue una prima fase di studio, relativa alla "Valutazione di vulnerabilità sismica" redatta dal R.T.P. rappresentato dall'Ing. Salvatore Misuraca che ha determinato, sulla base delle calcolazioni effettuate, gli interventi necessari per l'adeguamento strutturale del plesso scolastico sito in Via degli Studi - Ispica (RG), secondo quanto stabilito dall'Ordinanza del P. C. M. n. 3274 del 2003 che ha reso obbligatoria la verifica sismica degli edifici strategici e sulla base del D. M. 17/01/2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC 2018" che ha fissato i parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto, calcolati direttamente per il sito in esame.

Tale complesso strutturale oggetto di trattazione è attualmente adibito in parte a scuola materna di competenza comunale e in parte alla sezione Servizi per l'enogastronomia e l'Ospitalità Albergheria, e risulta architettonicamente come un unico fabbricato costituito da tre corpi di fabbrica (vedi foto) opportunamente giuntati.

Di seguito viene dettagliatamente descritto il percorso seguito nell'elaborazione del progetto definitivo-esecutivo.



2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il complesso scolastico I.I.S.S Gaetano Curcio è ubicato in una zona periferica della città ed insiste su un'area in declivio che segue le pendici del costone roccioso caratteristico della zona. Esso è ubicato tra la via degli Studi e la via della Pittura.

L'area di ingresso all'edificio è destinata ad attività ricreative mentre la parte compresa tra i corpi

A e B è attrezzata per le attività sportive all'aperto, con un campo da gioco polivalente.



Figura 1 - Corografia con localizzazione edificio

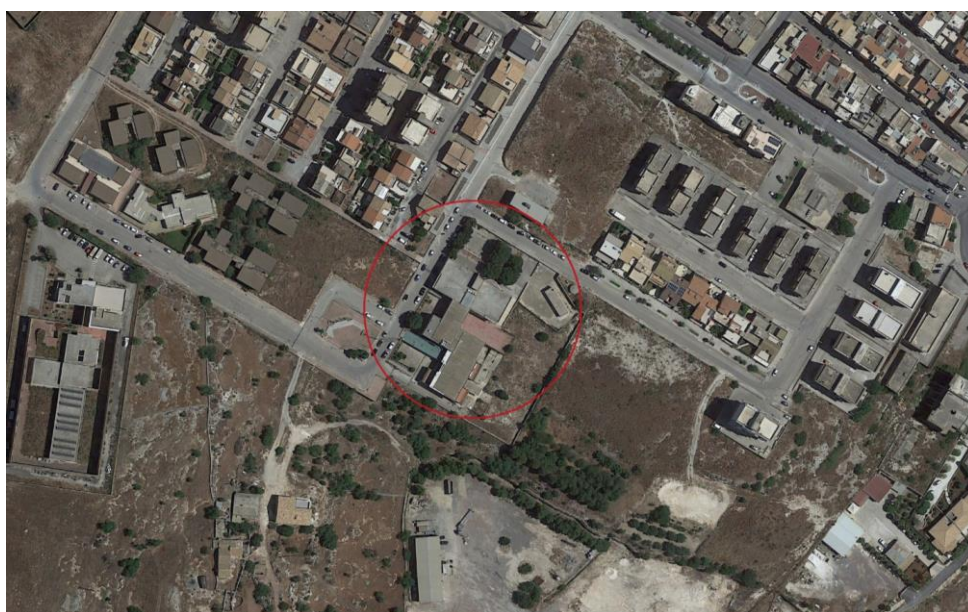


Figura 2 - Aerofoto con localizzazione edificio

3. DESCRIZIONE DEI CORPI DI FABBRICA

Il complesso scolastico è composto da 3 corpi di fabbrica, posti a quote differenti, denominati per facilitarne la descrizione come segue: **Corpo A**, **Corpo B** e **Corpo C**. La tipologia strutturale è comune a tutti i corpi di fabbrica ed è identificabile come struttura in cemento armato di tipo intelaiato (travi e pilastri) con solai in parte in gettati in opera e in parte prefabbricati.

Attraverso l'ingresso principale del complesso scolastico, prospiciente la via degli Studi, si accede all'Istituto Professionale Alberghiero mentre l'ingresso alla sezione adibita a Scuola Materna è

ubicato sul prospetto prospiciente la via della Pittura. Gli altri prospetti si affacciano su terreni confinanti e su fabbricati principalmente a destinazione residenziale. Il complesso scolastico si sviluppa su 3 livelli fuori terra ed è composto da 3 distinti corpi di fabbrica giuntati: corpo A, corpo B e corpo C. I vari corpi di fabbrica (vedi figura sopra) che costituiscono il complesso scolastico, sono tutti separati mediante giunti tecnici di dimensioni di circa 10 cm. Gli ingressi ai vari corpi diversamente destinati sono del tutto autonomi e indipendenti. I corpi di fabbrica che costituiscono il complesso scolastico sono così distinti: - Il "corpo A" adibito a Istituto professionale per servizi commerciali e turistici con particolare destinazione ai servizi per l'enogastronomia e ospitalità alberghiera, è costituito da aule didattiche, uffici di presidenza e servizi igienici. Alla stessa quota del corpo A si trova parte del "corpo B" (con copertura precaria) che è costituito da aule didattiche, laboratori, servizi igienici e spogliatoi; Inoltre la prima elevazione del corpo B è costituita da un portico coperto che collega l'area costituita da aule didattiche con l'area costituita dai laboratori. Il "corpo C" si trova a piano terra ed è destinato a laboratori, bidelleria e servizi igienici a servizio dell'Istituto professionale Alberghiero. Il piano primo è adibito a scuola materna di competenza comunale.

Ad eccezione dei due blocchi dorsali e paralleli che hanno il tetto a due spioventi, il resto della copertura è a terrazza non calpestabile.

4. DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DEL SITO

I risultati delle indagini effettuate, degli studi eseguiti e delle valutazioni geotecniche operate, parte integrante degli elaborati di verifica in oggetto, fanno riferimento per le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione ai dati riportati nella **Relazione geologica** redatta dal Dott. Geol. Domenico Lazzara.

Per definire la natura geolitologica del substrato su cui insistono le fondazioni dell'edificio scolastico si è fatto riferimento ai numerosi dati desunti dalla bibliografia e dai precedenti studi geologici, corredati da indagini geognostiche, effettuati nel territorio comunale.

La zona, comprendente l'area in esame, ricade nel settore sud occidentale della tavoletta al 25.000 "ISPICA", II N.E. F°276 e si trova in Via degli Studi nella periferia meridionale del centro abitato. L'assetto morfologico della zona, riflette la natura litologica dei terreni affioranti, quindi il loro grado di resistenza ai processi erosivi e l'intensità di quest'ultimi è il risultato dell'erosione chimica e meccanica dei terreni carbonatici da parte delle acque di ruscellamento superficiale ed incalanate.

Per rilevare la natura geolitologica dell'area in esame e di un suo ampio intorno, definire i rapporti giacitureali degli affioramenti è stato eseguito un rilevamento geolitologico di campagna che ha portato al riconoscimento di rocce sedimentarie di natura calcarea in strati suborizzontali appartenenti alla "formazione Ragusa".

Tale formazione di età Miocenica si presenta sotto forma di banconi calcarenitici alterati e calcari semi-cristallini che tendono a diventare sempre più cristallini via via che si procede con la profondità.

Le calcareniti in superficie e per una profondità di circa un metro si presentano alterate e friabili per l'azione degli agenti atmosferici.

In particolare, l'area in esame è caratterizzata da un'alternanza calcarenitico-marnosa composta da calcareniti a macroforaminiferi biancastri, ben cementati, aventi generalmente spessore compreso tra i 30 e i 60 cm, tali calcareniti sono alternati a strati calcareo-marnosi bianco giallastro di spessore compreso tra 5 e 30 cm.

Questi terreni hanno una permeabilità relativa media alta per fessurazione e carsismo.

Categoria di suolo e condizioni topografiche ai sensi delle NTC 2018 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, è stata valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di suolo e le condizioni topografiche del sito di interesse. La determinazione del tipo di suolo, secondo normativa, può essere basata sulla stima dei valori della velocità media di propagazione delle onde di taglio VS_{30} entro i primi 30 metri di profondità ovvero sul numero medio di colpi $NSPT_{30}$ ottenuti da prove penetrometriche dinamiche nei terreni ovvero sulla coesione non drenata media c_{u30} .

Per quanto riguarda l'aspetto legato all'amplificazione dei terreni in relazione all'azione sismica, l'elaborazione dei risultati ha evidenziato che la **categoria di suolo di fondazione può essere assunta di tipo B**.

Per ogni ulteriore approfondimento si rimanda alla citata relazione geologica e relativi allegati.

5. PROCEDURA ADOTTATA PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Secondo quanto riportato nelle normative di riferimento:

- DECRETO 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Circ. C.S.LL.PP. 21 gennaio 2019, n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- Circ. C.S.LL.PP. 2 febbraio 2009, n. 617 Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008, pubblicata su S.O. n°27 alla G.U. 26 febbraio 2009, n°47, di seguito Circ.09;
- DPCM 21 ottobre 2003 - Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica», pubblicato sulla G.U. n° 252 del 29 ottobre 2003. Agli artt. 8.5 e C8.5.2.2, per la valutazione dei livelli di adeguatezza sismica dell'edificio in esame sono state applicate le procedure esposte nell'allegata relazione strutturale.

6. ANALISI STORICO-CRITICA DELL'EDIFICIO (punto 8.5.1. NTC)

Si è fatto riferimento al lavoro di ricerca documentale richiamato nello studio di vulnerabilità sismica messo a disposizione dalla Stazione Appaltante. Da quanto si rileva, i professionisti che si sono occupati della valutazione preventiva del rischio sismico dell'edificio scolastico in oggetto, hanno fatto riferimento alla documentazione rinvenuta presso gli archivi dell'Ufficio del Genio Civile di Ragusa e degli elaborati consultati presso gli archivi del Comune di Ispica, riuscendo in tal modo a ricostruire la storia partendo dall'epoca di costruzione.

Per semplicità, si richiama di seguito parte dell'analisi storica contenuta nello studio allegato al progetto.

Il primo progetto relativo ai "Lavori di un plesso per la Scuola Elementare Rionale nel quartiere "167" nel Comune di Ispica fu redatto dall'arch. Alberto Agnello nel 1976 e prevedeva la realizzazione del Corpo A. Fu nominato come direttore dei lavori l'ing. Antonino Savarino. I calcoli statici delle strutture in c.a. furono redatti dall'ing. Pasquale Manganaro. La denuncia dei lavori al Genio Civile di Ragusa ai sensi della legge 5-11-1971 n.1086 fu depositata in data 15-09-1977. I lavori furono appaltati all'impresa Midolo con contratto n.1044 di rep. in data 01-03-1977 e furono consegnati in data 16-04-1977. Il termine di consegna era fissato per il 15-03-1978. Si evince dal carteggio rinvenuto che il collaudatore delle strutture è stato l'ing. Vincenzo Arancio. In data 04-11-1977 fu depositata anche una variante parziale relativa alle strutture in fondazione ed in elevazione. Le opere in c.a. furono ultimate in data 30-04-1979. L'opera fu dichiarata collaudabile in data 30-08-1982.

Il secondo progetto relativo ai "Lavori di costruzione di una scuola materna a tre sezioni nel Comune di Ispica" fu redatto dall'arch. Corrado Moltisanti, in data 30-08-1976 ed approvato con D.A. n.3673 del 05-11-1977, registrato alla Corte dei Conti il 17-11-1977. L'ing. Corrado Moltisanti fu nominato anche come direttore dei lavori. Il progettista delle strutture era l'ing. Vincenzo Gugliotta. I lavori furono appaltati all'impresa Gugliotta Giorgio con contratto registrato il 31-03-1976 e riguardavano nello specifico i Corpi B e C. Oltre il progetto principale furono redatte due perizie di variante e suppletive: la prima in data 02-12-1978 che comportò l'aumento dell'importo contrattuale integrato con atto di sottomissione del 17-05-1980. La seconda perizia fu redatta nel 1980 e l'importo contrattuale fu integrato con atto di sottomissione del 18-12-1982. I lavori furono consegnati in data 20-07-1978. Il tempo contrattuale era fissato per 12 mesi consecutivi a partire dalla data del verbale di consegna dei lavori del 20-07-1978. Il termine di consegna era fissato per il 19-07-1979. A causa di una sospensione e di una proroga concessa la scadenza definitiva coincidente con la data di ultimazione dei lavori avveniva il 18-11-1982. Si evince dal carteggio rinvenuto che il collaudatore delle strutture fu l'ing. Antonino Savarino. L'opera fu dichiarata collaudabile in data 09-06-1983.

Si riporta in forma tabellare l'elenco della documentazione reperita relativa al Corpo A:

DOCUMENTO	DATA	DESCRIZIONE
Progetto I stralcio	1976	Lavori di un plesso per la scuola Elementare Rionale nel Quartiere "167" nel Comune di Ispica (RG) (Corpo A)
Progetto di variante relativa alle strutture in fondazione ed elevazione	31-10-1977	Lavori di un plesso per la scuola Elementare Rionale nel Quartiere "167" nel Comune di Ispica (RG) (Corpo A)
Progetto di variante parziale relativa al solaio di copertura	31-01-1978	Lavori di un plesso per la scuola Elementare Rionale nel Quartiere "167" nel Comune di Ispica (RG) (Corpo A)
Relazione a struttura ultimata I stralcio	26-06-1979	Lavori di un plesso per la scuola Elementare Rionale nel Quartiere "167" nel Comune di Ispica (RG) – Progettista arch. Alberto Agnello e D.L. ing. Antonino Savarino. Impresa: Midolo (Corpo A)
Certificato collaudo statico strutture in c.a.	30-08-1982	Lavori di un plesso per la scuola Elementare Rionale nel Quartiere "167" nel Comune di Ispica (RG) – Progettista arch. Alberto Agnello e D.L. ing. Antonino Savarino. Impresa: Midolo (Corpo A)

Si riporta in forma tabellare l'elenco della documentazione reperita relativa al Corpo B e C:

DOCUMENTO	DATA	DESCRIZIONE
Progetto II stralcio	30-08-1976	Lavori per la costruzione del plesso per una scuola materna a tre sezioni nel Comune di Ispica (RG) (Corpi B e C)
Contratto di appalto	31-03-1978	Contratto di appalto del 31/03/1978 dell'impresa Midolo Giuseppe completo di allegati; (Corpi B e C)
Autorizzazione Genio Civile Ragusa II stralcio	11-12-1979	Autorizzazione rilasciata ai sensi della legge 05-11-1971 1086. (citata nel documento relazione a struttura ultimata ma non reperita) (Corpi B e C)
Relazione sul conto finale	18-11-1982	Progetto per la costruzione del plesso per una scuola

7. RILIEVO (punto 8.5.2. NTC)

I sottoscritti affidatari del servizio di progettazione esecutiva, sulla scorta delle elaborazioni grafiche redatte dal RTP che si è precedentemente occupato del servizio di verifica sismica preventiva, ha condotto un accertamento delle dimensioni geometriche dei corpi di fabbrica che compongono il complesso scolastico.

Le dimensioni delle travi e dei pilastri in cemento armato sono state desunte:

- dagli elaborati grafici esecutivi;
- da rilievi geometrici e saggi esplorativi eseguiti a campione ed in corrispondenza dei punti di carotaggio.

Gli schemi relativi alle carpenterie per i vari corpi di fabbrica esaminati sono illustrati negli elaborati grafici allegati al presente rapporto. La tipologia prevalente strutturale è intelaiata con solai prevalentemente in latero-cemento con travetti gettati in opera di spessori variabili:

- **Corpo A:** solaio gettato in opera di spessore pari a 35 cm (30+5) per le coperture;

- **Corpo B:** solaio gettato in opera di spessore pari a 35 cm (30+5) per le coperture, solaio gettato in opera di spessore pari a 26 cm (20+6) per l'impalcato intermedio e pannelli prefabbricati di spessore pari a 40,5 cm per il tunnel di collegamento;
- **Corpo C:** solaio gettato in opera di spessore pari a 35 cm (30+5) per le coperture, solaio gettato in opera in parte di spessore pari a 26 cm (20+6) ed in parte di spessore pari a 30 cm (24+6) per il piano di calpestio di copertura del piano terra.

Il corpo A ha una distribuzione planimetrica sostanzialmente regolare ed è composto da un'unica elevazione fuori terra (è presente un torrino scala per l'accesso alla copertura). La copertura è del tipo piano. L'altezza interna è pari a 3,60 m.

Il corpo B ha una distribuzione planimetrica irregolare ed è composto da due elevazioni fuori terra e con copertura è del tipo piano. L'altezza interna varia da 3,15 m a 3,65 m.

Il corpo C ha una distribuzione planimetrica pressoché regolare ed è composto da due elevazioni fuori terra con copertura del tipo piano (è presente in realtà un ulteriore vano a quota più bassa adibito a locale tecnico). L'altezza interna è pari a 3,65 m.

In buona parte delle coperture dei corpi B e C è presente un sottotetto non accessibile (presumibilmente realizzato in epoca postuma rispetto all'impianto originario) composto da pannelli prefabbricati in fibro cemento o simili. Per ovvie ragioni connesse al rispetto delle norme sulla sicurezza, non è stato possibile, in questa sede, accertare la natura effettiva del materiale e dunque escludere l'eventuale presenza di amianto, né tanto meno verificare il sistema di appoggio degli stessi pannelli.

Sulla scorta della documentazione consultata al Genio Civile di Ragusa e degli altri atti rinvenuti presso gli archivi del Comune di Ispica si evince che la fondazione dell'intero complesso scolastico è di tipo diretto (plinti isolati).

8. CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI DELLE STRUTTURE ESISTENTI (punto 8.5.3. NTC)

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si è basati sulla documentazione fornita dal Libero Consorzio Comunale di Ragusa a seguito delle verifiche sismiche e SFTE redatti dal R.T.P. rappresentato dall'Ing. Salvatore Misuraca.

L'ispezione visiva di dettaglio eseguita sui corpi di fabbrica oggetto della verifica sismica ha consentito di accertare lo stato di conservazione degli elementi strutturali principali e secondari. Sia pilastri che travi indistintamente per tutti i corpi di fabbrica esaminati tenuto conto dell'età, delle tecniche costruttive del tempo, delle prestazioni dei materiali da costruzione del tempo si presentano in buono stato di conservazione.

Tuttavia nel corso dei rilievi strutturali di dettaglio è stata accertata la presenza di alcune criticità che di seguito si richiamano (vedi foto di seguito riportate):

- esiste presuntivamente un problema legato alla regimentazione delle acque meteoriche di

infiltrazione provenienti da monte non adeguatamente regimentate. Gran parte dei prospetti sono infatti interessati da fenomeni di risalita capillare;

- Travi e pilastri relativi ai telai esterni in corrispondenza della pensilina sono caratterizzati da uno stato di degrado diffuso delle parti corticali di calcestruzzo.



Prove sui calcestruzzi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti relativamente alle prove eseguite sui conglomerati cementizi in opera per il Corpo A:

Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra 4 e 14

Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R _c [N/mm ²]	F _d	R _{c, is} [N/mm ²]
C1	Pilastro quota 0,00	94,0	94,2	1	11,55	1,13	13,10
C2	Pilastro quota 0,00	94,0	94,3	1	11,18	1,14	12,69
C3	Trave quota 0,00	94,0	94,4	1	14,64	1,12	16,42
C4	Trave quota 0,00	94,0	94,3	1	14,63	1,12	16,41

Si richiama invece di seguito il calcolo della resistenza a compressione cubica caratteristica e media determinate a partire dai risultati di laboratorio ottenuti secondo le indicazioni contenute nelle “LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA” versione Settembre 2017, documento licenziato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

CORPO A							
Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra 4 e 14							
Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R _c [N/mm ²]	F _d	R _{c, is} [N/mm ²]
C1	Pilastro quota 0,00	94,0	94,2	1	11,55	1,13	13,10
C2	Pilastro quota 0,00	94,0	94,3	1	11,18	1,14	12,69
C3	Trave quota 0,00	94,0	94,4	1	14,64	1,12	16,42
C4	Trave quota 0,00	94,0	94,3	1	14,63	1,12	16,41
						14,65	f _{m(n), is}
						12,69	f _{is, lowest}

la resistenza cilindrica (cubica) caratteristica in sito $f_{ck, is}$ ($R_{ck, is}$) è il valore inferiore tra:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k$$

$$f_{ck, is} = f_{is, lowest} + 4$$

dove:

k = 5 per n (numero di campioni prelevati) compreso tra 10 e 14

k = 6 per n compreso tra 7 e 9

k = 7 per n compreso tra 4 e 6 (caso da prendere in considerazione solo per opere di particolare semplicità).

$$k = 7$$

$$f_{ck, is} = 7,65 \quad \text{N/mm}^2$$

$$f_{ck, is} = 16,69 \quad \text{N/mm}^2$$

$$R_{ck, is} = 7,65 \quad \text{N/mm}^2$$

$$R_m = 14,65 \quad \text{N/mm}^2$$

Come si evince dai risultati del calcolo si è ottenuto un valore di resistenza a compressione caratteristica pari a **7,65 N/mm²** e un valore di resistenza a compressione medio pari a **14,65 N/mm²**.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti relativamente alle prove eseguite sui conglomerati cementizi in opera per i Corpi B + C:

CORPO B+C							
Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra maggiore o eguale a 15							
Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R _c [Mpa]	Fd	R _{c,is} [Mpa]
C5	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,5	1	10,70	1,14	12,17
C6	<i>Trave quota m-2,50</i>	94,0	94,4	1	12,16	1,13	13,76
C7	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	14,72	1,12	16,50
C8	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,3	1	13,51	1,13	15,21
C9	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,5	1	16,16	1,12	18,02
C10	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,3	1	10,36	1,14	11,80
C11	<i>Trave quota m-2,50</i>	94,0	94,5	1	13,65	1,13	15,36
C12	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,4	1	12,23	1,13	13,83
C13	<i>Pilastro quota m-2,50</i>	94,0	94,5	1	13,42	1,13	15,12
C14	<i>Pilastro quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	11,30	1,13	12,82
C15	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,3	1	15,47	1,12	17,30
C16	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,2	1	11,12	1,14	12,63
C17	<i>Pilastro quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	15,33	1,12	17,15
C18	<i>Trave quota m-6,50</i>	94,0	94,1	1	15,09	1,12	16,90
C19	<i>Pilastro quota m-6,50</i>	94,0	94,4	1	13,17	1,13	14,85

Nella tabella sottostante si riporta il calcolo della resistenza a compressione cubica caratteristica e media determinate a partire dai risultati di laboratorio ottenuti secondo le indicazioni contenute nelle “**LINEE GUIDA PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL CALCESTRUZZO IN OPERA**” versione Settembre 2017, documento licenziato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

CORPO B+C							
Risultati prove di schiacciamento provini cilindrici (Linee Guida Settembre 2017) - numero carotaggi tra maggiore o eguale a 15							
Provino	Ubicazione	Diametro provino [mm]	Lunghezza provino [mm]	Rapporto h/d	R _c [Mpa]	F _d	R _{ck} [Mpa]
C5	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,5	1	10,70	1,14	12,17
C6	Trave quota m-2,50	94,0	94,4	1	12,16	1,13	13,76
C7	Trave quota m-6,50	94,0	94,1	1	14,72	1,12	16,50
C8	Trave quota m-6,50	94,0	94,3	1	13,51	1,13	15,21
C9	Trave quota m-6,50	94,0	94,5	1	16,16	1,12	18,02
C10	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,3	1	10,36	1,14	11,80
C11	Trave quota m-2,50	94,0	94,5	1	13,65	1,13	15,36
C12	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,4	1	12,23	1,13	13,83
C13	Pilastro quota m-2,50	94,0	94,5	1	13,42	1,13	15,12
C14	Pilastro quota m-6,50	94,0	94,1	1	11,30	1,13	12,82
C15	Trave quota m-6,50	94,0	94,3	1	15,47	1,12	17,30
C16	Trave quota m-6,50	94,0	94,2	1	11,12	1,14	12,63
C17	Pilastro quota m-6,50	94,0	94,1	1	15,33	1,12	17,15
C18	Trave quota m-6,50	94,0	94,1	1	15,09	1,12	16,90
C19	Pilastro quota m-6,50	94,0	94,4	1	13,17	1,13	14,85
							14,89
							11,80
							1,94
							f _{m(n),is}
							f _{is,lowest}
							s

la resistenza cilindrica (cubica) caratteristica in sito $f_{ck,is}$ ($R_{ck,is}$) è il valore inferiore tra:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - 1.48 * s$$

$$f_{ck,is} = f_{is,lowest} + 4$$

dove:

n = numero di campioni prelevati

$f_{m(n),is}$ = valore medio della resistenza a compressione degli n campioni (rammentando che per ciascun campione (i), la resistenza $f_{(i)}$ deve essere moltiplicata per il relativo Fattore di disturbo $F_{d(i)}$)

$f_{is,lowest}$ = valore minore fra le resistenze degli n campioni

s = scarto quadratico medio

$$f_{ck,is} = 12,02 \text{ Mpa}$$

$$f_{ck,is} = 15,80 \text{ Mpa}$$

$$R_{ck,is} = 12,02 \text{ Mpa}$$

$$R_m = 14,89 \text{ Mpa}$$

Come si evince dai risultati del calcolo si ottiene il valore di resistenza a compressione caratteristica pari a **12,02 N/mm²** e il valore di resistenza a compressione medio pari a **14,89 N/mm²**.

Prove sulle armature metalliche

Nel corso della campagna di indagini eseguita nell'ambito del servizio di verifica sismica preventiva, sono stati eseguiti un totale di **n.4 estrazioni di campioni di armatura metallica** in corrispondenza di travi e pilastri (n. 1 campione estratto dal Corpo A e n. 3 campioni estratti dai Corpi B e C).

Da ciascun campione metallico prelevato è stato ricavato un provino da sottoporre a prova di trazione secondo la UNI ISO 15630/1, UNI EN ISO 6892-1 e UNI EN ISO 7438. I risultati delle prove di laboratorio sono riportati nel certificato di prova n. 620/20-b del 16-11-2020 e sono allegati in appendice alla relazione sulle indagini (anch'essa allegata al presente progetto).

Nella tabella seguente, vengono illustrati i risultati delle prove di trazione condotte sul campione estratto dal Corpo A.

Sigla	Posizione in opera	Diametro provino (mm)	Data prova	Tipo di acciaio	Tensione di snervamento (N/mm ²)	Tensione di rottura (N/mm ²)	Ag (%)
A1	Pilastro quota 0,00	14	10-11-2020	liscio	317,46	444,93	29,7

Nella scheda di calcolo seguente, vengono illustrate invece le calcolazioni relative alla determinazione dei valori medi della tensione di snervamento e della tensione di rottura.

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio in opera, desunte dalle prove di laboratorio eseguite, consentono di identificare la tipologia di acciaio per il corpo A oggetto di verifica.

Resistenza caratteristica a trazione acciaio in opera					
Riferimento :		Corpo A			
	RESISTENZA sperimentale	F_y	F_t	Certificato n.	
		<i>Mpa</i>	<i>Mpa</i>		
	valori medi:	317,00	444,00		
1	A1	317,00	444,00	620-20-b	
Snervamento medio in opera Resistenza a rottura media		F _y F _t	<div style="display: inline-block; background-color: #cccccc; padding: 2px 10px; margin-right: 10px;">317,00</div> N/mm ² 444,00 N/mm ²		

Ai fini delle verifiche strutturali si è fatto riferimento ad un **acciaio Feb32k**.

Nella tabella seguente, vengono illustrati i risultati delle prove di trazione condotte sui campioni estratti dai Corpi B e C.

Sigla	Posizione in opera	Diametro provino (mm)	Data prova	Tipo di acciaio	Tensione di snervamento (N/mm ²)	Tensione di rottura (N/mm ²)	Ag (%)
A2	Trave a quota -2,50	12	10-11-2020	a.m.	459,2	574,9	14,65
A3	Trave a quota -6,50	20	10-11-2020	a.m.	608,21	656,45	4,8
A4	Pilastro a quota -6,50	16	10-11-2020	a.m.	573,30	643,71	20,5

Nella scheda di calcolo seguente, vengono illustrate invece le calcolazioni relative alla determinazione dei valori medi della tensione di snervamento e della tensione di rottura.

Resistenza caratteristica a trazione acciaio in opera				
Riferimento :		Corpi B e C		
RESISTENZA sperimentale	Fy	Ft	Certificato n.	
	Mpa	Mpa		
valori medi:	570,67	643,67		
1 A2	531,00	632,00	620-20-b	
2 A3	608,00	656,00	620-20-b	
3 A4	573,00	643,00	620-20-b	
Snervamento medio in opera		Fy	570,67	N/mm ²
Resistenza a rottura media		Ft	643,67	N/mm ²

Le caratteristiche meccaniche dell'acciaio in opera, desunte dalle prove di laboratorio eseguite, consentono di identificare la tipologia di acciaio in opera per i corpi di fabbrica. Ai fini delle verifiche strutturali si è fatto riferimento ad un **acciaio Feb44k**.

9. LIVELLI DI CONOSCENZE E FATTORI DI CONFIDENZA (punto 8.5.4. NTC)

La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi di miglioramento o adeguamento sulle costruzioni esistenti, secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018, vanno eseguite nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU), con specifico riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana (SLV), o in alternativa, allo Stato Limite di Collasso (SLC). Nel caso in cui si effettui la verifica anche nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE), i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal Progettista in accordo con il Committente.

La valutazione della sicurezza di una costruzione esistente è strettamente legata alla conoscenza della medesima. Le Norme Tecniche per le Costruzioni e la relativa Circolare Esplicativa ed Appendice definiscono diversi Livelli di Conoscenza; in funzione di tale Livello di Conoscenza è necessario applicare un ulteriore coefficiente di sicurezza del materiale, chiamato Fattore di Confidenza, e stabilire il tipo di analisi che è possibile svolgere.

I Livelli di Conoscenza, definiti in normativa, sono di seguito riportati:

- **LC1: Conoscenza Limitata;**
- **LC2: Conoscenza Adeguata;**
- **LC3: Conoscenza Accurata.**

Gli aspetti che definiscono i livelli di conoscenza sono:

- **Geometria**, ossia le caratteristiche geometriche degli elementi strutturali,
- **Dettagli strutturali**, ossia la quantità e disposizione delle armature, compreso il passo delle staffe e la loro chiusura, per il c.a., i collegamenti per l'acciaio, i collegamenti tra elementi strutturali diversi, la consistenza degli elementi non strutturali collaboranti,
- **Materiali**, ossia le proprietà meccaniche dei materiali.

Il Livello di Conoscenza acquisito determina il metodo di analisi ed i Fattori di Confidenza da applicare alle proprietà dei materiali. Le procedure per ottenere i dati richiesti sulla base dei disegni di progetto e/o di prove in- situ sono descritte nel seguito per gli edifici in c.a. e acciaio. La relazione tra livelli di conoscenza, metodi di analisi e fattori di confidenza è illustrata nelle tabelle di seguito riportate.

LC1: Conoscenza limitata

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.

I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare.

Dettagli costruttivi: i dettagli non sono disponibili da disegni costruttivi e sono ricavati sulla base di un progetto simulato eseguito secondo la pratica dell'epoca della costruzione. È richiesta una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire verifiche locali di resistenza.

Proprietà dei materiali: non sono disponibili informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali, né da disegni costruttivi né da certificati di prova. Si adottano valori usuali della pratica costruttiva dell'epoca convalidati da limitate prove in-situ sugli elementi più importanti.

La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza limitata viene in genere eseguita mediante metodi di analisi lineare statici o dinamici.

LC2: Conoscenza adeguata

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso viene effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni.

I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono noti da un'estesa verifica in-situ oppure parzialmente noti dai disegni costruttivi originali incompleti. In quest'ultimo caso viene effettuata una limitata verifica insitu delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Proprietà dei materiali: informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali di prova, o da estese verifiche in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite limitate prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite estese prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

La valutazione della sicurezza nel caso di conoscenza adeguata è eseguita mediante metodi di analisi lineare o non lineare, statici o dinamici.

LC3: Conoscenza accurata

Geometria: la geometria della struttura è nota o in base a un rilievo o dai disegni originali. In quest'ultimo caso è effettuato un rilievo visivo a campione per verificare l'effettiva corrispondenza del costruito ai disegni. I dati raccolti sulle dimensioni degli elementi strutturali, insieme a quelli riguardanti i dettagli strutturali, saranno tali da consentire la messa a punto di un modello strutturale idoneo ad un'analisi lineare o non lineare.

Dettagli costruttivi: i dettagli sono noti o da un'esauritiva verifica in-situ oppure dai disegni costruttivi originali. In quest'ultimo caso è effettuata una limitata verifica in-situ delle armature e dei collegamenti presenti negli elementi più importanti. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Proprietà dei materiali: informazioni sulle caratteristiche meccaniche dei materiali sono disponibili in base ai disegni costruttivi o ai certificati originali, o da esauritive verifiche in-situ. Nel primo caso sono anche eseguite estese prove in-situ; se i valori ottenuti dalle prove in-situ sono minori di quelli disponibili dai disegni o dai certificati originali, sono eseguite esauritive prove in-situ. I dati raccolti saranno tali da consentire, nel caso si esegua un'analisi lineare, verifiche locali di resistenza, oppure la messa a punto di un modello strutturale non lineare.

Le prove opportune nei diversi casi sono riportate nelle seguenti tabelle:

Tabella C8.5.V – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di c.a.

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei dettagli costruttivi) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro)	
<i>limitato</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 15% degli elementi	1 provino di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 1 campione di armatura per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 35% degli elementi	2 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 2 campioni di armatura per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	La quantità e disposizione dell'armatura è verificata per almeno il 50% degli elementi	3 provini di cls. per 300 m ² di piano dell'edificio, 3 campioni di armatura per piano dell'edificio

Tabella C8.5.VI – Definizione orientativa dei livelli di rilievo e prova per edifici di acciaio

Livello di Indagini e Prove	Rilievo (dei collegamenti) ^(a)	Prove (sui materiali) ^{(b)(c)(d)}
	Per ogni elemento "primario" (trave, pilastro...)	
<i>limitato</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 15% degli elementi	1 provino di acciaio per piano dell'edificio, 1 campione di bullone o chiodo per piano dell'edificio
<i>esteso</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 35% degli elementi	2 provini di acciaio per piano dell'edificio, 2 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio
<i>esaustivo</i>	Le caratteristiche dei collegamenti sono verificate per almeno il 50% degli elementi	3 provini di acciaio per piano dell'edificio, 3 campioni di bullone o chiodo per piano dell'edificio

Si evidenzia, che le percentuali di elementi da indagare ed il numero di provini da estrarre e sottoporre a prove di resistenza riportati nelle Tabelle C8.5.V e C8.5.VI hanno valore indicativo e vanno adattati ai singoli casi, tenendo conto dei seguenti aspetti:

- Nel controllo del raggiungimento delle percentuali di elementi indagati ai fini del rilievo dei dettagli costruttivi si tiene conto delle eventuali situazioni ripetitive, che consentano di estendere ad una più ampia percentuale i controlli effettuati su alcuni elementi strutturali facenti parte di una serie con evidenti caratteristiche di ripetibilità, per geometria e ruolo uguali nello schema strutturale;
- Le prove sugli acciai sono finalizzate all'identificazione della classe dell'acciaio utilizzata con riferimento alla normativa vigente all'epoca di costruzione;
- Il numero di provini riportato nelle tabelle C8.5.V e C8.5.VI può esser variato, in aumento o in diminuzione, in relazione alle caratteristiche di omogeneità del materiale.

In riferimento a quanto riportato nella tabella C8.5.IV della Circolare n. 2 del 11 Febbraio 2019, **nelle analisi computazionali si è scelto di assumere un fattore di confidenza pari a 1 limitatamente al Corpo C.** Tale scelta è dettata dalle chiare indicazioni riportate nella suddetta circolare ed in particolare con riferimento a quanto riportato nel par. C8.5.4 che recita: *"ci si può riferire alla documentazione in atti, qualora per essa siano stati adempiuti gli obblighi della L. 1086/71 o 64/74 e s.m.i., ma solo dopo adeguata giustificazione eventualmente integrata da indagini in opera. Per la caratterizzazione meccanica dei materiali si possono adottare, motivatamente, i valori caratteristici assunti nel progetto originario o quelli ridotti risultanti dalla documentazione disponibile sui materiali in opera. In questo caso i fattori di confidenza si assumono unitari."* **Nel caso invece dei Corpi A e B è stato assunto cautelativamente un fattore di confidenza pari a 1.20.**

10. INTERVENTI PROGETTUALI

Premessa

Le analisi computazionali alla base del presente progetto di adeguamento sismico, non possono che partire dalle analisi già svolte in occasione della valutazione preventiva del rischio sismico. Per i soli **Corpi A e C**, tenuto conto che per questi si è proceduto con un progetto di adeguamento sismico, si è omesso di richiamare l'analisi computazionale in presenza dei soli carichi gravitazionali rimandando per i dettagli al rapporto conclusivo allegato alla verifica sismica preventiva. Tuttavia è il caso di ricordare che il Corpo A presentava lievi deficienze strutturali anche in presenza dei soli carichi gravitazionali.

Differente è la situazione per il **Corpo B**. Per il Corpo B, nella disponibilità economica dell'intervento, e su indirizzo dettato dalla Stazione Appaltante, ci si è limitati e "colmare" le deficienze strutturali mediante interventi locali finalizzati a rinforzare gli elementi in ca non verificati per soli carichi verticali, così come peraltro evidenziato nella verifica sismica preventiva.

Nella nuova valutazione delle accelerazioni di collasso sismico ante e post operam, per i vari corpi di fabbrica che compongono l'edificio scolastico, si è fatto riferimento al metodo di calcolo **"analisi statica non lineare (push over)"**.

Pilastri da rinforzare con ringrosso in c.a.


Per tutti i pilastri del **CORPO A** che hanno rilevato carenze ad assorbire le sollecitazioni a pressoflessione e a taglio a causa dell'inadeguatezza della loro sezione e della scarsa resistenza del calcestruzzo si prevede il ringrosso della loro sezione attraverso guscio in calcestruzzo armato ad elevata resistenza, con armatura longitudinale inghisata all'estremità sulle travi di fondazioni e di copertura dell'impalcato superiore e connesse al pilastro esistente con diffuse spinottature facendo uso di ancorante chimico. Con tale tecnica di rinforzo, prestando particolare cura ai dettagli costruttivi si ottengono contemporaneamente una serie di benefici per la correzione dei difetti costruttivi riscontrati, come l'aumento della rigidità, l'incremento delle resistenze a flessione e a taglio, l'accrescimento della duttilità.

La soluzione più diffusa prevede un ringrosso perimetrale in spessore di 8 cm con la costituzione di un'armatura longitudinale composta da ferri Ø 12 e staffe Ø 8 con passo di 10 cm. Per tale rinforzo è previsto l'utilizzo di una malta cementizia fibrorinforzata ad alta resistenza e colabile.

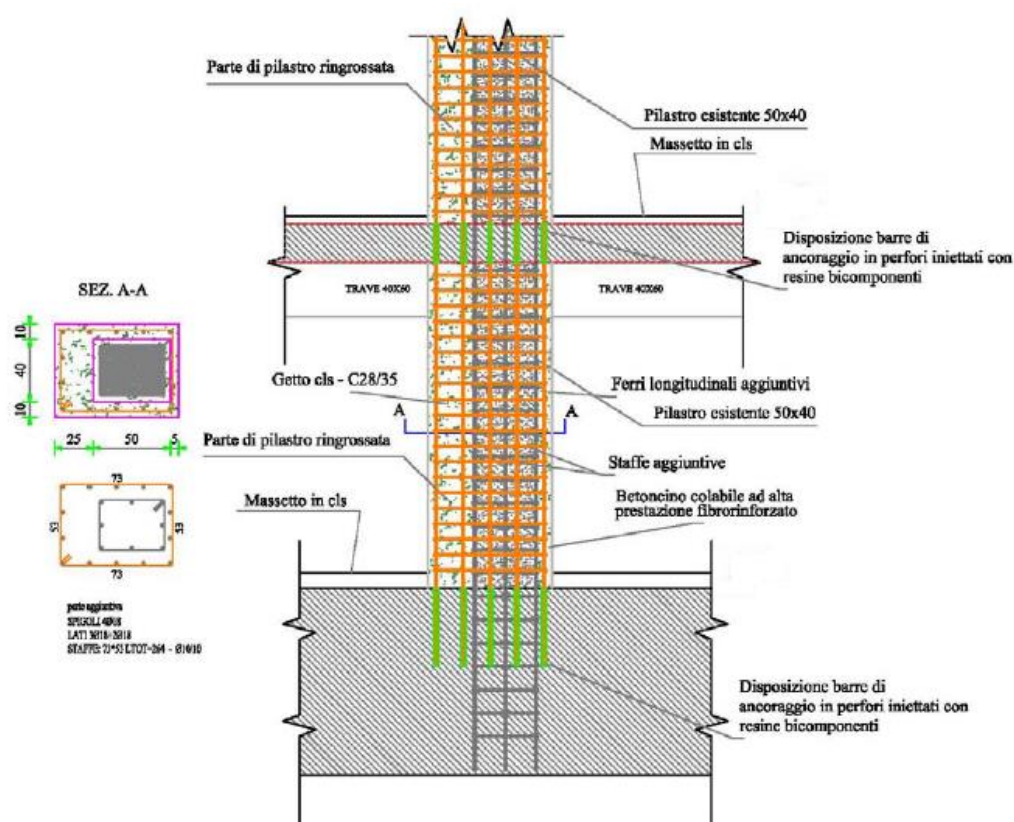
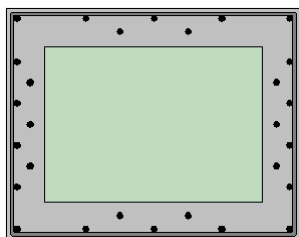
Affinché le barre longitudinali possano effettivamente contribuire all'incremento della capacità flessionale, deve essere assicurato l'ancoraggio sia al piede che in testa dell'elemento. A tal fine devono essere praticate delle forature negli elementi strutturali adiacenti, per una profondità compatibile con il tipo di ancorante chimico usato in modo da sviluppare un'efficace tensione di aderenza, avendo cura che questi non vadano ad interferire con le barre d'armatura già

presenti nell'elemento.

Più specificatamente le fasi e le modalità di esecuzione sono così sintetizzabili:

- Puntellamento delle travi e del solaio gravanti sul pilastro, per permettere lo scarico dell'elemento e poter lavorare in condizioni di sicurezza;
- Rimozione dell'intonaco e rimozione corticale con idonei mezzi meccanici non battenti del c.a. ammalorato (ove presente). Intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare;
- Pulizia per la rimozione di ogni residuo di lavorazione. Intervento da estendere all'intera superficie del pilastro;
- Demolizione dei tramezzi o dei tamponamenti confinanti con il pilastro per consentirne e agevolare tutte le lavorazioni successive;
- Inghisaggio delle barre longitudinali, divise in due tratti con sovrapposizione in mezzeria, al piede (sulle strutture di fondazione o sulle travi dell'impalcato di calpestio), e in testa (all'intradosso delle travi dell'impalcato superiore e sulle avendo cura di confinare il nodo nella sua interezza in modo da garantirne la continuità; l'inghisaggio deve avvenire tramite ancorante chimico da iniettare su fori precedentemente puliti da impurità e polvere;
- Montaggio delle staffe sagomate a "L" con prolungamento delle estremità di 10 volte il diametro da piegare a 135° in corrispondenza delle barre di spigolo, o in alternativa, da sovrapporre e saldare;
- Ancoraggio di alcuni nodi costituiti dalla sovrapposizione della barre longitudinali con le staffe al pilastro esistente tramite uncini Ø8 sagomati ad uncino da inghisare sulla superficie del pilastro esistente (8/mq);
- Realizzazione del foro su solaio in corrispondenza del pilastro da utilizzare per la successiva fase di getto;
- Preparazione della casseratura costituita da tavole o pannelli di legno, previo trattamento con un agente disarmante; gli elementi costituenti il cassero devono essere connessi correttamente e i giunti sigillati con materiali idonei;
- Bagnatura dei casseri 30' prima del getto;
- Getto dal foro sommitale, tramite tubo da 60 mm, collegato a pompa da cantiere (o  a imbuto a tramoggia, nel caso si proceda a gravità), da insinuare all'interno dell'intercapedine e da alzare progressivamente con il riempimento del cassero; durante l'operazione di getto il cassero va leggermente battuto;
- Il disarmo potrà avvenire dopo 3 giorni; lo smontaggio dei puntelli e la loro ricollocazione non deve avvenire prima di 5 giorni.

Si riporta un esempio dell'intervento proposto, rimandando alle relazioni specialistiche ed agli esecutivi grafici gli aspetti qualitativi, quantitativi ed all'individuazione puntuale di ogni singolo intervento.



Rinforzo dei pilastri mediante incamiciature in acciaio

Limitatamente ai corpi B e C, nei casi in cui i pilastri presentano criticità a taglio lato acciaio e/o a pressoflessione, è stato previsto un intervento di rinforzo degli elementi strutturali interessati mediante incamiciatura in acciaio.

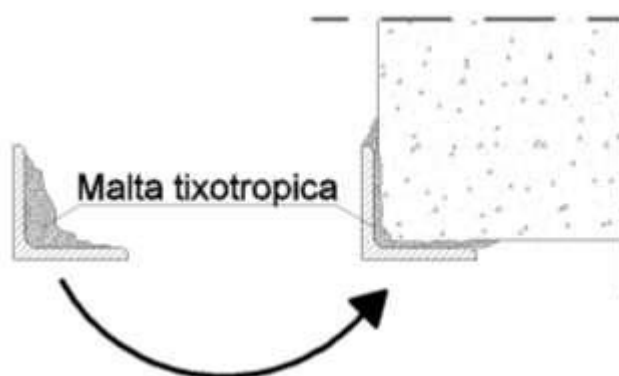
Tale intervento permette di ottenere un aumento della resistenza a taglio e della capacità portante assiale per l'effetto confinamento.

Questa tecnica prevede di ottenere il confinamento del pilastro tramite quattro angolari LU 70x7 disposti lungo l'intera lunghezza del pilastro e calastrelli aventi spessore di 7 mm e altezza di 80

mm, da saldare direttamente sugli angolari con un passo di 280 mm.

Le fasi dell'intervento prevedono:

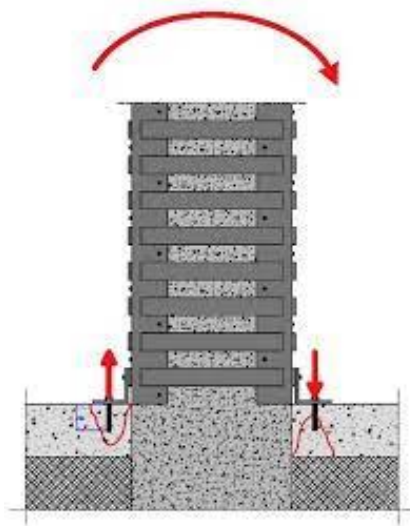
1. Puntellamento delle travi e del solaio gravanti sul pilastro, per permettere lo scarico dell'elemento e poter lavorare in condizioni di sicurezza;
2. Demolizione del copriferro del calcestruzzo se fessurato e/o ammalorato; nel caso contrario picchettatura della superficie del pilastro con asportazione completa dell'intonaco di finitura;
3. Demolizione dei tramezzi o dei tamponamenti confinanti con il pilastro per consentirne l'aumento della sezione e agevolare le lavorazioni successive;
4. Smusso degli spigoli;
5. Collocazione degli angolari previo riempimento parziale degli stessi con malta tixotropica ad alta adesione fibrorinforzata al fine di conferire agli stessi una curvatura opportuna;



6. Applicazione degli angolari e loro temporaneo bloccaggio con morsetti;
7. Rasatura con malta delle facce del pilastro per l'intero spessore degli angolari;
8. Saldatura a cordone d'angolo delle bande previo loro riscaldamento.

Per i pilastri di spigolo a L del fabbricato, tenuto conto della geometria, si dovrà prestare particolare attenzione ai particolari costruttivi.

Si riporta un esempio dell'intervento proposto, rimandando agli esecutivi grafici gli aspetti qualitativi, quantitativi ed all'individuazione puntuale degli interventi.



Rinforzo a flessione e taglio di travi mediante sistemi compositi in FRF (fiber reinforced polymer)

Per il rinforzo a taglio di alcune travi, carenti di armatura a taglio e a flessione, in ragione della necessità di adottare un sistema efficace, economico e speditivo, si è scelto di utilizzare il sistema composito polimerico con fibre di carbonio (FRP) a base di resine termoindurenti, in particolare resine epossidiche.

Si descrivono di seguito le lavorazioni da eseguire per l'installazione a regola d'arte del sistema di fibrorinforzo, i cui particolari costruttivi sono riportati negli allegati grafici allegati al progetto.

I tessuti da utilizzare nella fattispecie sono di tipo unidirezionale, cioè con unico orientamento delle fibre nella direzione della lunghezza del rotolo e tenute insieme da una trama leggera di tipo non strutturale. Si utilizzeranno grammature di 300 g/mq, singolarmente o accoppiate.

Per la realizzazione degli interventi di rafforzamento con utilizzo di materiali compositi fibrorinforzati (FRP), si dovranno utilizzare esclusivamente prodotti specifici (kit composto da primer, stucco epossidico, adesivo epossidici strutturali, tessuto in fibre di carbonio) ad elevata e documentata compatibilità chimico-fisica, in possesso di Certificazione di Valutazione Tecnica rilasciata dal S.T.C. del C.S.LL.PP. Si rimanda alla relazione sui materiali e al Capitolato Speciale per identificare le caratteristiche specifiche dei vari componenti.

Il ciclo di applicazione del composito fibrorinforzato a base di fibre di carbonio in forma di tessuto unidirezionale in fibre di carbonio ad elevato modulo elastico ed alta resistenza meccanica a trazione da impregnarsi in opera con sistema "a secco", si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- Rimozione dell'intonaco (ove presente) e rimozione corticale con idonei mezzi meccanici non battenti del c.a. ammalorato (ove presente). Intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare.
- Pulizia per la rimozione di ogni residuo di lavorazione. Intervento da estendere all'intera superficie da rinforzare.
- Riprofilatura degli spigoli vivi della sezione in c.a. delle travi per il tratto interessato dall'intervento in corrispondenza delle parti dove sarà applicato il rinforzo in FRP. La riprofilatura sarà eseguita a mano o con idonei utensili meccanici non battenti. La riprofilatura dovrà garantire $r_{min} = 20 \text{ mm}$.

Nel caso in cui gli elementi interessati dall'intervento nel tratto da rinforzare, risultino particolarmente degradati con lesioni e distacchi di copriferro, si dovrà procedere come descritto nelle successive fasi di cui ai punti 4, 5, e 6. Si osserva che, relativamente alle fasi in parola, qualora si dovessero utilizzare malte o comunque prodotti di ripristino che necessitano di bagnatura, si dovrà necessariamente attendere l'avvenuta perfetta asciugatura del supporto prima di procedere all'esecuzione delle fasi previste per l'applicazione del rinforzo in FRP. Di seguito si elencano le ulteriori fasi.

- Rimozione del copriferro e trattamento (ove necessario) delle armature originarie degli

elementi strutturali in c.a., per inibizione della corrosione, con malta cementizia anticorrosiva;

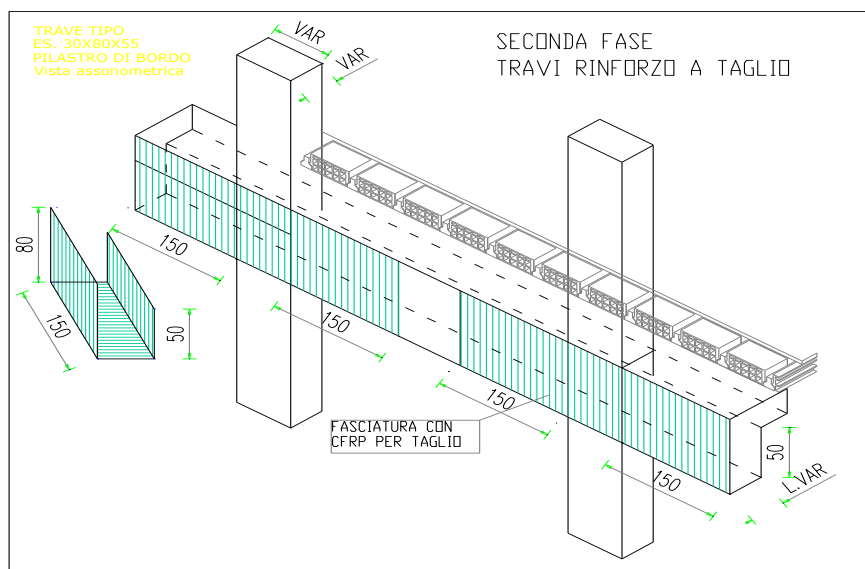
- Riparazione di fessure strutturali (ove presenti) con utilizzo di resine epossidiche di adeguata viscosità e fluidità,
- Ripristino del c.a. (strato corticale ammalorato) (ove necessario) con applicazione di malta a ritiro controllato tissotropica. Il ripristino corticale dovrà in ogni caso essere eseguito in corrispondenza degli spigoli vivi della sezione in c.a. (pilastro, trave) laddove sarà applicato il rinforzo in FRP, provvedendo ad eseguire una riprofilatura (sguscia) con $r_{min} = 20$ mm.
- Per ottimizzare l'efficacia dell'adesione del sistema complessivo di rinforzo in FRP al supporto – sia che si tratti di ripristino sia che si tratti di calcestruzzo esistente – si dovrà effettuare una preparazione del substrato attraverso l'imprimatura (primerizzazione) del sottofondo, a rullo o a pennello, di primer epossidico bicomponente superfluido, avente funzione di appretto sulla superficie di calcestruzzo pulita ed asciutta. La larghezza della fascia trattata deve essere pari alla larghezza della fascia di composito applicare.
- Per ottimizzare l'efficacia dell'adesione del sistema complessivo di rinforzo in FRP al supporto tramite la preparazione del substrato (eliminazione delle irregolarità presenti sulla superficie di calcestruzzo all'interfaccia), si dovrà procedere alla rasatura di livellamento mediante riporto diretto di stucco epossidico a consistenza tissotropica. L'applicazione del prodotto deve essere eseguita su primer ancora "fresco" con una spatola dentata in uno spessore di circa 1-2 mm. In questa fase si procederà, utilizzando lo stesso prodotto, ad arrotondare (ove presenti) gli spigoli vivi esterni ($r_{min} = 20$ mm). Larghezza della fascia trattata pari alla larghezza della fascia di composito da montare.
- Applicazione di un primo strato di adesivo epossidico di media viscosità. L'applicazione dell'impregnante del tessuto deve essere eseguita a pennello o a rullo a pelo corto, sullo strato di stucco ancora "fresco", per uno strato, in spessore uniforme, di circa 0,50 mm. Larghezza della fascia trattata deve essere pari alla larghezza della fascia di composito da montare.
- Taglio delle fasce di tessuto secco a rotolo aventi larghezza di 20 cm della lunghezza prevista nei particolari costruttivi. Le fasce saranno conservate a piè d'opera ed ordinate secondo la sequenza applicativa, avendo cura di assicurare un'adeguata protezione dal contatto diretto con polveri.
- Posizionamento delle fasce di tessuto immediatamente dopo l'applicazione del primo strato di impregnante, avendo cura di stenderle senza formare grinze, con le mani protette da guanti di gomma impermeabili.
- Rullatura della resina attraverso le fibre (impregnazione) per favorire la penetrazione dell'adesivo nel tessuto, agendo con apposito rullino metallico.
- Applicazione di secondo strato di adesivo epossidico di media viscosità. L'applicazione dell'impregnante del tessuto deve essere eseguita a rullo, al di sopra del precedente strato di adesivo ancora fresco, in spessore uniforme, di circa 0,50 mm a completa ricopertura della fascia di tessuto. Favorire l'impregnazione pressando bene il tessuto, ripassando più volte sul

tessuto impregnato il rullino metallico per eliminare le eventuali bolle d'aria occluse durante le precedenti lavorazioni e per distendere le fibre della fascia di tessuto secondo la relativa orditura.

- Per l'applicazione di nuovi strati di tessuto in sovrapposizione, occorre ripetere le fasi da 10 a 13, tante volte, quanti sono gli strati da applicare.
- Qualora si dovesse interrompere la sequenza applicativa, provvedere a "spagliare" della sabbia fine al quarzo sull'ultimo strato di resina applicato, al fine di assicurare il futuro idoneo aggrappo delle resine per le successive lavorazioni di completamento. Lo spaglio sarà eseguito a mano o meccanicamente.
- Per migliorare l'ancoraggio e quindi le condizioni di vincolo delle estremità libere del tessuto si prevede l'utilizzo e l'applicazione di fiocchi in fibre di carbonio da ancorare con resina epossidica al solaio in corrispondenza della fascia piena o di un travetto a filo della trave fine di non compromettere l'adesione durante le fasi di inghisaggio nel foro, la superficie di detta porzione, una volta impregnata, dovrà essere necessariamente spagliata a rifiuto con della sabbia di quarzo asciutta in modo da renderla ruvida. Ad indurimento avvenuto sarà poi possibile applicare il "fiocco" appena creato. L'ancoraggio del fiocco, nel caso di fissaggio su strutture in calcestruzzo, può avvenire mediante impiego di fissaggio chimico epossidico puro per carichi strutturali, la restante parte dei "fiocchi" (non inserita nei fori), deve essere disposta a ventaglio, al di sopra della struttura da collegare, facendo attenzione ad impregnare completamente le fibre e applicando una prima mano sul supporto prima di applicare il "fiocco".

Si riporta un esempio dell'intervento proposto, rimandando agli esecutivi grafici gli aspetti qualitativi, quantitativi ed all'individuazione puntuale degli interventi.





Rinforzo dei nodi in assenza di confinamento mediante sistemi compositi in FRF (fiber reinforced polymer)

Per il rinforzo dei nodi trave/pilastro in assenza di confinamento e in assenza di armatura specifica all'interno del nodo stesso, in ragione della necessità di adottare un sistema efficace, economico e speditivo, si è scelto di utilizzare il sistema composito polimerico con fibre di carbonio (FRP) a base di resine termoindurenti, in particolare resine epossidiche.

Le fasi esecutive sono sostanzialmente sovrapponibili con quelle già descritte nel caso delle travi. Tuttavia è opportuno a differenza delle travi, nel caso specifico, vengono utilizzate fibre al carbonio di tipo quadriassiale.

Riguardo nello specifico ai nodi trave/pilastro esterni (quelli che si trovano in corrispondenza delle facciate), si è reso necessario prevedere un ingrossamento parziale e limitato delle travi concorrenti nel nodo al fine di ridurre il valore delle tensioni di compressione.

Per quanto non meglio specificato nella presente relazione si rimanda agli esecutivi grafici gli aspetti qualitativi, quantitativi ed all'individuazione puntuale degli interventi.

Rinforzo dei nodi in assenza di confinamento mediante piastre metalliche

Limitatamente per i nodi parzialmente confinati all'interno del Corpo A, per il rinforzo dei nodi trave/pilastro si è scelto di fare ricorso a piastre metalliche di spessore pari a 10 mm ancorate agli elementi strutturali in ca mediante tirafondi metallici.

Il sistema è esecutivamente poco invasivo e consente di sopperire alla presenza di una piccola porzione di nodo non confinato in corrispondenza sia dell'impalcato di copertura del piano terra che dell'impalcato di copertura del piano primo.

Per quanto non meglio specificato nella presente relazione si rimanda agli esecutivi grafici gli aspetti qualitativi, quantitativi ed all'individuazione puntuale degli interventi.

Interventi sui solai mediante la messa in sicurezza dal fenomeno di “sfondellamento”

Il fenomeno chiamato “sfondellamento” è molto frequente, soprattutto in alcune tipologie di solai latero-cementizi. Esso si può intendere, nella sua accezione più generale, come un qualsiasi fenomeno di degrado che comporti la caduta di intonaci e laterizi dall'intradosso di un solaio di qualsiasi tipologia. Pur non trattandosi di un intervento strutturale, questo tipo di rimedio consente di proteggere cose e persone da un potenziale rischio.

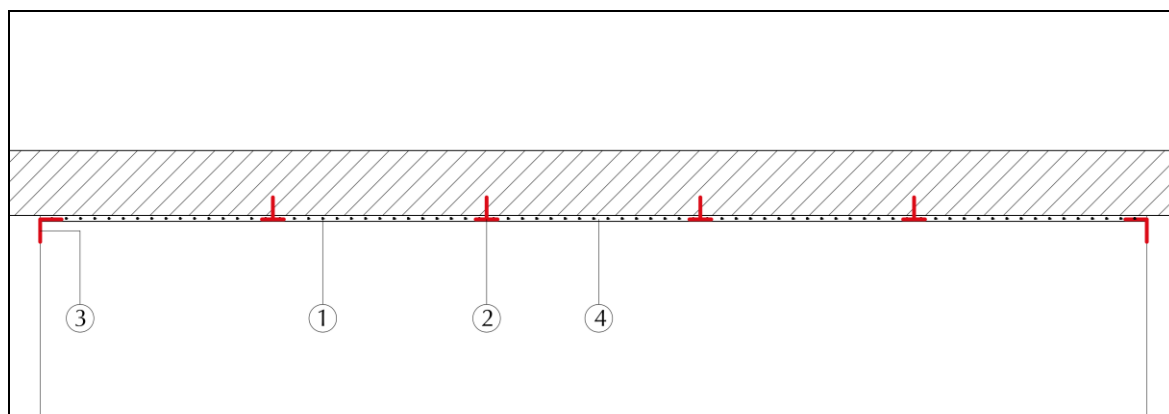
Per il **CORPO A** e il **CORPO C** è stato prevista la messa in sicurezza dei solai esistenti attraverso il sistema antisfondellamento, con la posa di rete in materiale composito GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer), con certificato di riciclabilità, a maglia principale di dimensione 66x66 mm e maglia secondaria di 33x66 mm.

Le reti GFRP sono costituite da barre in fibre di vetro impregnate con resina termoindurente. In fase di produzione vengono intersecate ortogonalmente diverse file di fibre, in modo da creare una maglia monolitica che possa fornire un solido supporto strutturale.

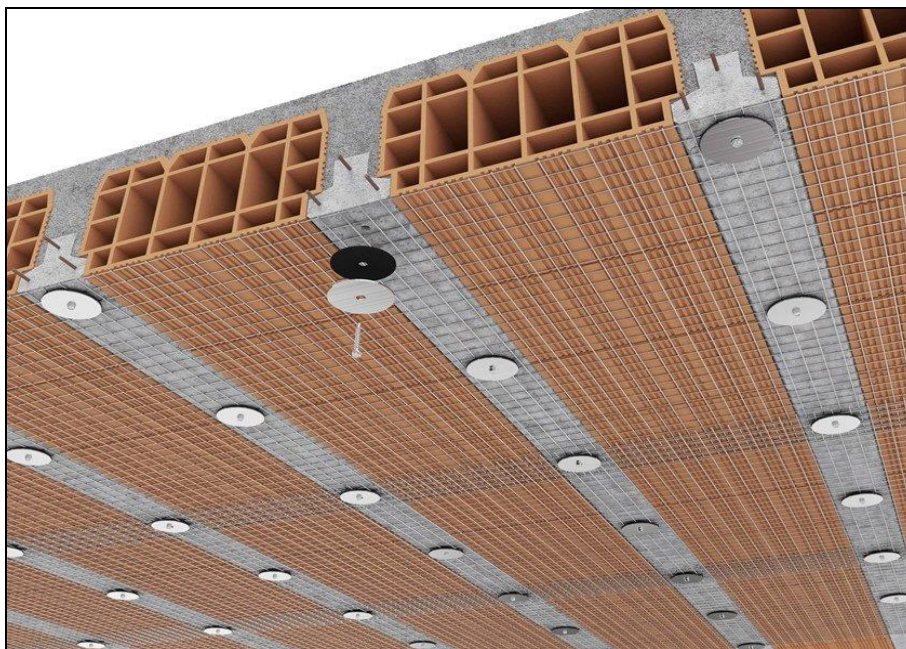
Il sistema verrà fissato sia al solaio esistente attraverso il fissaggio di connettori metallici ad espansione di dimensione 8x100 mm con tassello in Nylon, completi di rondella di diametro 50 mm, da applicare in misura di 4/m², sia alle pareti parallele all'orditura dei travetti con fissaggio angolare, con interasse massimo di 100 cm, conteggiato in misura del 50% rispetto alla superficie totale.

Le fasi e le modalità di esecuzione sono così sintetizzabili:

- Demolizione dell'intonaco del solaio e di parti di laterizio distaccate o ammalorate e ripristino di eventuali vuoti;
- Pulizia e passivazione di ferri di armatura eventualmente ammalorati, ripristino delle superfici dei travetti stessi per mezzo di malte strutturali di adeguate prestazioni;
- Messa in opera della rete con sovrapposizione fra fasce di rete adiacenti è di circa 15-20 cm;
- Applicazione di connettori metallici ad espansione;
- Applicazione di elementi angolari di collegamento alle pareti perimetrali;
- Applicazione di circa 2 cm di malta da intonaco, strato di finitura e coloritura.



1. Rete preformata in materiale composito fibrorinforzato GFRP
2. Connettori metallici ad espansione
3. Piastra di fissaggio angolare
4. Intonaco, strato di finitura e coloritura



11. RISULTATI DELLE ANALISI ESEGUITE

Le analisi computazionali effettuate sull'edificio scolastico in oggetto hanno consentito di analizzare e approfondire le criticità già rilevate in fase di valutazione preventiva del rischio sismico. Sono stati progettati interventi di adeguamento sismico sui Corpi A e C e un intervento di messa in sicurezza per soli carichi gravitazionali sul Corpo B.

Sulla scorta delle risultanze delle analisi svolte, si è dunque pervenuti alle seguenti conclusioni:

- l'edificio scolastico è composto da n. 3 corpi di fabbrica. I Corpi B e C risultano separati tra loro mediante giunto tecnico di spessore pari a circa 10 cm, dimensione compatibile con gli spostamenti massimi determinati in presenza dell'azione sismica. I Corpi A e B sono separati da un giunto tecnico di spessore inferiore che va opportunamente risagomato al fine di ottenere un giunto di separazione di ampiezza non inferiore a 10 cm. In fase esecutiva, benchè il Corpo B non sia oggetto di interventi di adeguamento sismico, sarebbe opportuno risagomare l'elemento di contatto tra i Corpi A e B;
- è stata accertata la presenza diffusi ma modesti fenomeni di espulsione del copriferro connessi in linea di massima allo stato di deterioramento del calcestruzzo sui prospetti principali;

- le verifiche condotte in occasione della verifica sismica preventiva (commissionata dalla Stazione Appaltante) hanno consentito di valutare il comportamento dei vari corpi di fabbrica per effetto dei soli carichi gravitazionali. Sia il Corpo A che il Corpo B presentavano deficienze strutturali anche per soli carichi gravitazionali;
- per entrambi i vari corpi di fabbrica, in presenza dell'azione sismica, nell'analisi dei meccanismi fragili, si è accertato che le capacità resistenti vengono meno quasi immediatamente in conseguenza dell'estrema vulnerabilità della struttura per occorrenza di rotture per meccanismi fragili prevalentemente di trazione-compresione delle bielle di calcestruzzo nei nodi non confinati. L'ipotetica rottura del nodo (privo di armatura) per mancato confinamento in presenza di un'azione sismica rappresenta notoriamente una criticità rilevante in termini di vulnerabilità sismica;
- nei vari corpi di fabbrica esaminati, sono state rilevate carenze legate al manifestarsi in presenza dell'azione sismica di meccanismi di rottura di tipo fragile e duttile che interessano elementi strutturali principali (travi e pilastri);
- le verifiche strutturali condotte sulla vulnerabilità sismica dei sistemi di tompagnatura esistenti, come già accertato in fase di verifica sismica preventiva, non risultano pienamente soddisfatte. Tuttavia non è stato possibile prevedere interventi di antiribaltamento sulle strutture di tompagnamento secondarie per i limiti imposti dalla disponibilità finanziaria della Stazione Appaltante. Sarebbe dunque auspicabile in fase esecutiva, per completezza dell'intervento, prevedere risorse finanziarie per integrare un intervento di mitigazione del rischio ribaltamento in fase sismica;
- per i Corpi A e C sono stati previsti nell'intervento di "adeguamento sismico" rinforzi finalizzati a colmare le criticità rilevate nella configurazione "ante operam". Nello specifico sono state previste le seguenti tipologie di interventi di rinforzo: incamiciatura dei pilastri mediante armatura metallica integrativa e malta cementizia ad elevata resistenza, incamiciatura di pilastri mediante elementi in acciaio, rinforzi a flessione e taglio su travi con materiali compositi FRP, confinamento dei nodi trave-pilastro con tessuti FRP e piastre in acciaio, confinamento di pilastri mediante tessuti FRP, ingrossamento della sezione trasversale di travi. Le stesse tipologie di intervento sono state estese al Corpo B limitatamente agli elementi strutturali non verificati per soli carichi gravitazionali;
- limitatamente ai Corpi A e C, le analisi strutturali "post operam" condotte sui due corpi di fabbrica hanno consentito di effettuare la classificazione del rischio sismico secondo le "*Linee Guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni*" approvate con D.M. n. 58 del 28/02/2017. In particolare si sono determinati i seguenti valori di IS-V: **Corpo A >> 80.50 %;**
Corpo C >> 81.10 %.

Si riporta di seguito una tabella comparativa per i Corpi A e C. Nella tabella viene illustrato un confronto in termini di indicatori sismici nelle due configurazioni "ante operam" e "post operam".

CONFRONTO STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO (CORPO A)

Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	D _{PGA}		C.Min _{PGA}			$\zeta_B (\alpha_{PGA})$	
	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO		FATTO	PROGETTO
SLO	0.0444	0.0444	0.1236	0.1952		2.785	1.990
SLD	0.0614	0.0614	0.0864	0.1695		1.406	1.288
SLV	0.2272	0.2272	0.0403	0.1830		0.177	0.805

LEGENDA: Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite di collasso.
D_{PGA}	Domanda espressa in termini di Accelerazione al suolo
C.Min_{PGA}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Accelerazione al Suolo
C.Min_{TR}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Periodo di Ritorno
$\zeta_B (\alpha_{PGA})$	Indicatori di Rischio in termini di Accelerazione al Suolo

CONFRONTO STATO DI FATTO - STATO DI PROGETTO (CORPO C)

Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	D _{PGA}		C.Min _{PGA}			$\zeta_B (\alpha_{PGA})$	
	FATTO	PROGETTO	FATTO	PROGETTO		FATTO	PROGETTO
SLO	0.0345	0.0444	0.1364	0.1315		3.951	2.962
SLD	0.0473	0.0614	0.0804	0.1082		1.699	1.762
SLV	0.1829	0.2272	0.0423	0.1842		0.231	0.811

LEGENDA: Tabella di confronto dati di FATTO - dati di PROGETTO

SL	Stato limite raggiunto per il tipo di rottura considerato: [SLV] = stato limite di salvaguardia della vita - [SLD] = stato limite di danno - [SLO] = stato limite di operatività - [SLC] = stato limite di collasso.
D_{PGA}	Domanda espressa in termini di Accelerazione al suolo
C.Min_{PGA}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Accelerazione al Suolo
C.Min_{TR}	Capacità minima dell'edificio espressa in termini di Periodo di Ritorno
$\zeta_B (\alpha_{PGA})$	Indicatori di Rischio in termini di Accelerazione al Suolo

Da quanto ottenuto tramite le verifiche strutturali in condizioni POST intervento si può senz'altro affermare che le opere previste in progetto sono efficaci.

12. COSTO DELL'INTERVENTO E QUADRO ECONOMICO

Il costo dell'intervento è stato determinato con riferimento alle lavorazioni sopra riportate, giungendo alla definizione dell'importo complessivo di **€ 1.249.253,82** come evidenziato nel seguente quadro economico.

Si evidenzia che la definizione dei costi di ripristino degli impianti tecnologici, in assenza di elaborati esecutivi degli stessi, è stata determinata tenendo conto di quanto visibile e dal confronto con lavorazioni similari eseguiti dallo scrivente RTP in altri edifici scolastici.

A. IMPORTO DEI LAVORI	A. Importo dei Lavori			
	A.1	Lavori a base d'asta soggetti a ribasso	€ 1.215.927,57	
	A.2	Oneri sicurezza a sommare	€ 33.326,25	
		Totale importo dei lavori	€ 1.249.253,82	€ 1.249.253,82
B. SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE	B. Somme a disposizione dell'Amministrazione			
	B.1	I.V.A. sui lavori 10%	€ 124.925,38	
	B.2	Competenze tecniche progettazione definitiva, esecutiva e coordinamento in fase di progettazione (IVA e oneri previdenziali compresi)	€ 47.913,86	
	B.3	Spese per il reclutamento di personale specificamente destinato a realizzare i progetti, da rendicontare a carico del PNRR, ai sensi del c. 1 dell'art. 1 del D.L. 80/2021 come convertito dalla L. 113/2021	€ 84.000,00	
	B.4	Competenze tecniche art.113, comma 2, legge n. 50/2016 (1% di A)	€ 12.492,54	
	B.5	Spese di laboratorio, IVA compresa	€ 4.000,00	
	B.6	Spese per pubblicazione bando di gara ed imposte relative	€ 3.000,00	
	B.7	Imprevisti IVA compresa e arrotondamenti	€ 97.403,39	
	B.8	Indagini strutturali e geologiche a supporto della progettazione (IVA e oneri di legge inclusi)	€ 82.991,31	
	B.9	Oneri conferimento a discarica	€ 4.500,00	
	B.10	Tassa autorità di vigilanza LL.PP.	€ 600,00	
	B.11	Pareri autorizzazioni (certificati)	€ 8.000,00	
	B.12	Spese pubblicità (targa commemorativa)	€ 500,00	
	B.13	Spese per risoluzione interferenze	€ 2.000,00	
		Totale Somme a disposizione dell'Amministrazione (B1+...+B11)	€ 472.326,48	€ 472.326,48
TOTALE COMPLESSIVO RICHIESTO A FINANZIAMENTO (A+B)			€ 1.721.580,30	