



COMMITTENTE

COMUNE DI VILLA DI SERIO (BG)

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA ED EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DELLA SCUOLA
SECONDARIA DI PRIMO GRADO DI VILLA DI SERIO (BG)
CODICE CUP: J16F22000020001 – CODICE CIG 9619599837
INTERVENTO PNRR – M4C1 3.3



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU

PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO**B.F. Progetti Società di
Ingegneria s.r.l.**

INGEGNERIA, ARCHITETTURA E GEOLOGIA
di Ing. Pierluigi Betti, Ing. Andrea Fedi, Ing. Luciano
Lambroia, Ing. Giacomo Martinelli, Arch. Chiara Nostrato,
Geol. Sandro Pulcini, Arch. Rachele Guccini
viale Adua 320, 51100 PISTOIA Tel e fax 0573/24323
C.F. e P.IVA 01579540475 e-mail. info@bfprogetti.eu
pec. bfprogetti@pec.it
www.bfprogetti.eu

Responsabile del Procedimento:
Arch. Paola Facchinetti

I Progettisti:
Ing. Luciano Lambroia

II Direttore Tecnico:
Ing. Andrea Fedi

Collaboratori:
Dott. Filippo Dorandi
Arch. Patrizio Biagini
Arch. Alessandra Gullo
Arch. Serena Ferrari

(Timbro e firma)

Elaborato:

3.RS.S

Data emissione: Giugno 2023

Rev.n.

Data:

Descrizione:

OGGETTO:

**STATO DI PROGETTO
RELAZIONE SPECIALISTICA
OPERE STRUTTURALI**

SCALA: -

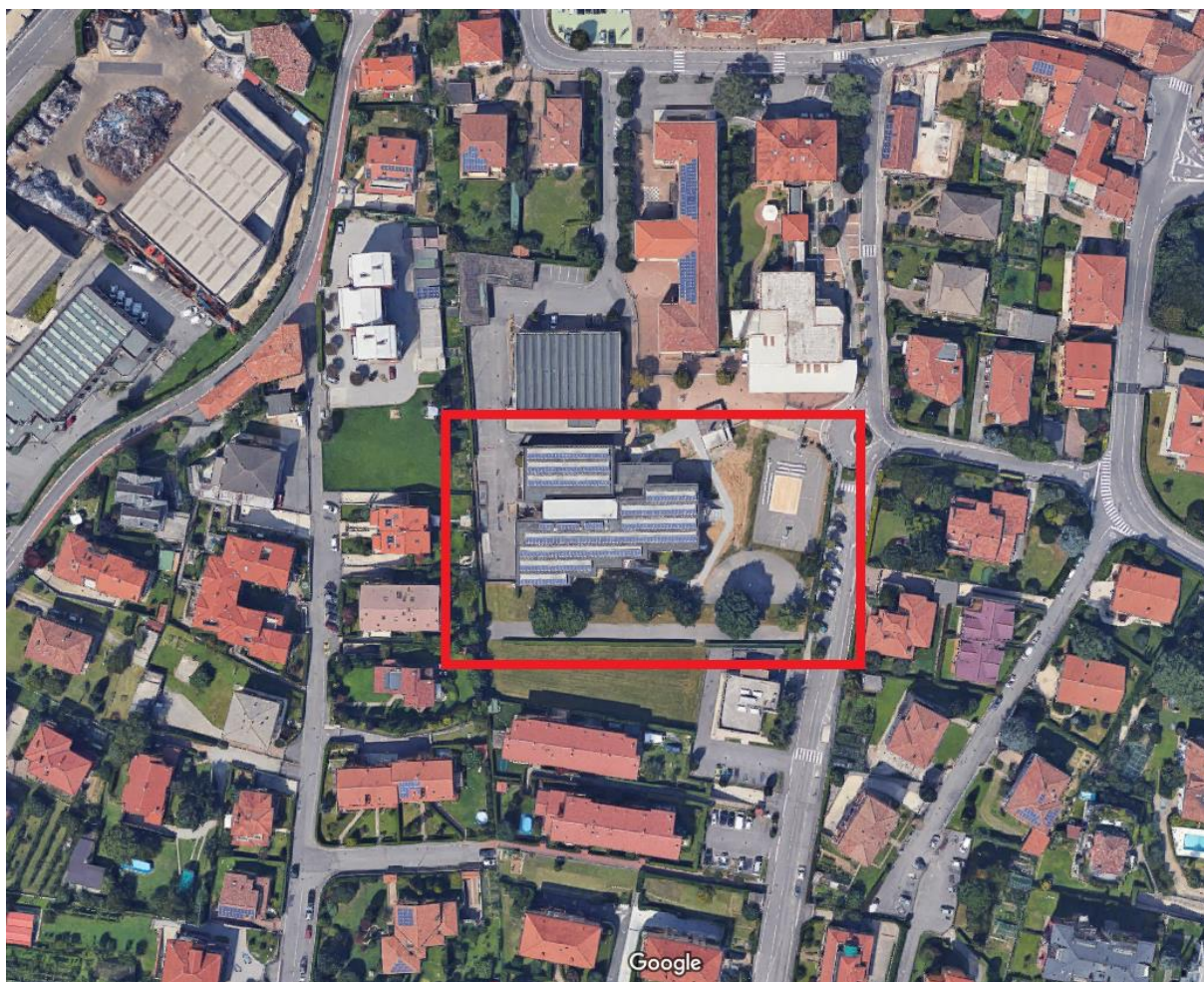
Il presente elaborato, ai sensi di legge, non può essere riprodotto o divulgato senza l'espressa autorizzazione dello Studio

COMUNE DI VILLA DI SERIO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLA SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO DI VILLA DI SERIO, VIA DOSIE 6, VILLA DI SERIO (BG)

RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA OPERE STRUTTURALI-PROGETTO ESECUTIVO

La presente relazione tratta le opere relative all'intervento di **adeguamento sismico della Scuola secondaria di primo grado di Villa di Serio**, ubicata nell'omonimo Comune di Villa di Serio, in Provincia di Bergamo, in via Dosie 6.



Inquadramento planimetrico della struttura oggetto di verifica

1. VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO ALLO STATO ATTUALE

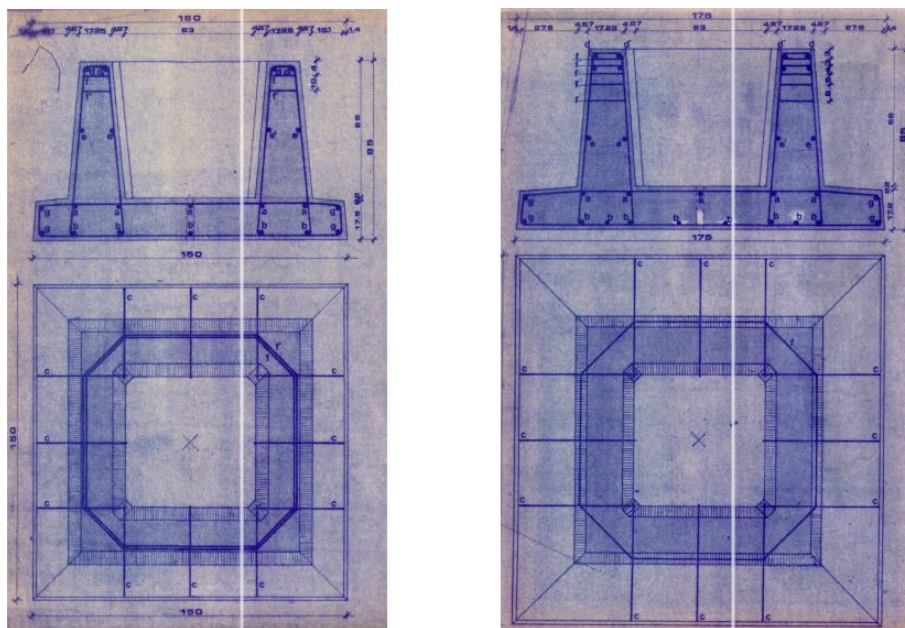
Caratteristiche strutturali allo stato attuale

Allo stato attuale la scuola si presenta composta da un unico corpo di fabbrica, di forma irregolare, con ingombro massimo in pianta pari a 51,4 x 35,8 m, il quale è composto sia da ambienti di destinazione d'uso scolastico, sia da una palestra con un ambiente a doppio volume. Dall'analisi delle strutture portanti del fabbricato è risultato che l'edificio è caratterizzato da uno schema strutturale in cemento armato prefabbricato, definito dalla Normativa vigente come *“struttura con pilastri incastrati alla base ed orizzontamenti ad essi incernierati”*. Dall'analisi della documentazione storica in nostro possesso e dal riscontro ottenuto dalle indagini effettuate in situ, per quanto concerne le strutture portanti verticali sono state individuate due differenti tipologie di pilastri prefabbricati a sezione pressoché quadrata (con due piccole rientranze disposte su due lati dell'elemento), di dimensioni 51x51 cm (pilastri della palestra) e 58,5x58,5 cm (pilastri della scuola), come è ben visibile nella successiva immagine.



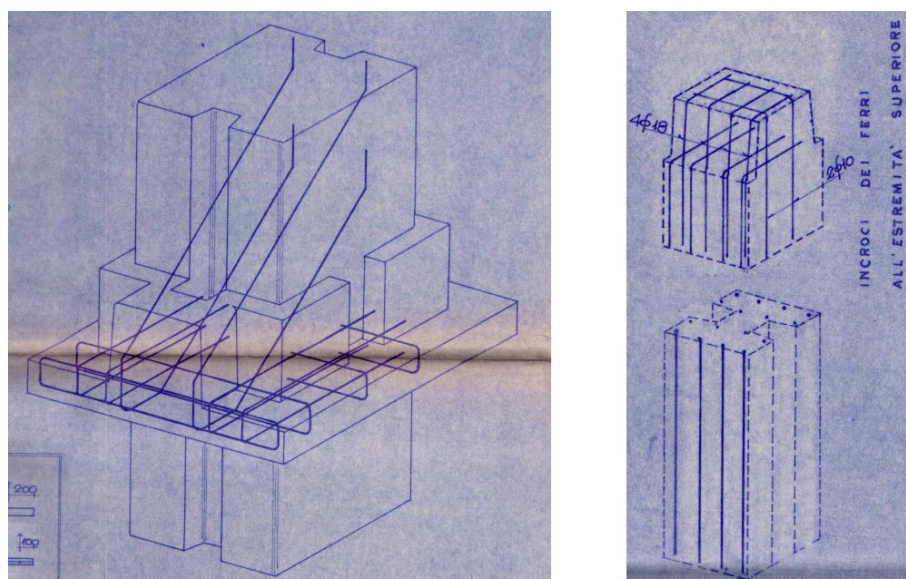
Pilastri prefabbricati della palestra (a sinistra) e della scuola (a destra)

I pilastri appena descritti vanno ad impostarsi a livello fondale su plinti a bicchiere, anch'essi di due diverse tipologie in analogia con quanto visto per i pilastri, i quali presentano una geometria visibile nella immagine successiva.



Plinti di fondazione per i pilastri della palestra (a sinistra) e per quelli della scuola (a destra)

In corrispondenza dei vari livelli di piano, troviamo delle particolari selle in c.a. gettato in opera, le quali fungono da alloggiamento per le travi di piano; in prossimità della copertura, invece, le travi vanno ad impostarsi direttamente sulla testa dei pilastri stessi, come è ben visibile nella successiva immagine.



Particolari selle in c.a. gettate in opera e testa dei pilastri in sommità

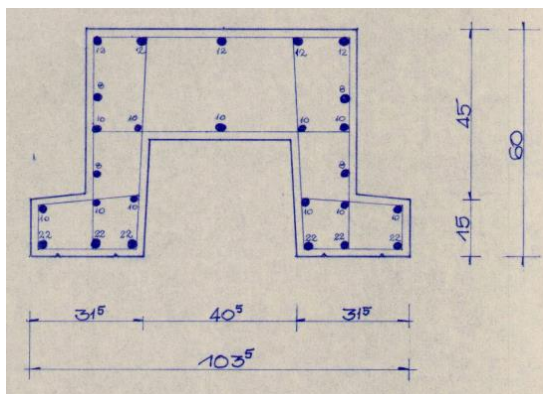
Per quanto riguarda invece gli elementi strutturali orizzontali, sono state individuate quattro differenti tipologie di travi. Sono tutti elementi strutturali di tipo prefabbricato, non precompresso, e presentano tutte uno schema statico in semplice appoggio tipico delle travate progettate per strutture prefabbricate:

- Una prima tipologia avente forma ad omega, prefabbricata, con dimensioni d'ingombro pari a 103,5x45 cm, situata totalmente in prossimità degli ambienti destinati ad uso scolastico (aule, uffici, segreteria, mensa, bagni). Come si può notare dalla immagine successiva, la sezione ad omega presenta forme fortemente diverse sia in prossimità degli appoggi sui pilastri, sia in prossimità della zona a sbalzo della zona sud-ovest del piano interrato, dove la sezione subisce un importante ringrosso;



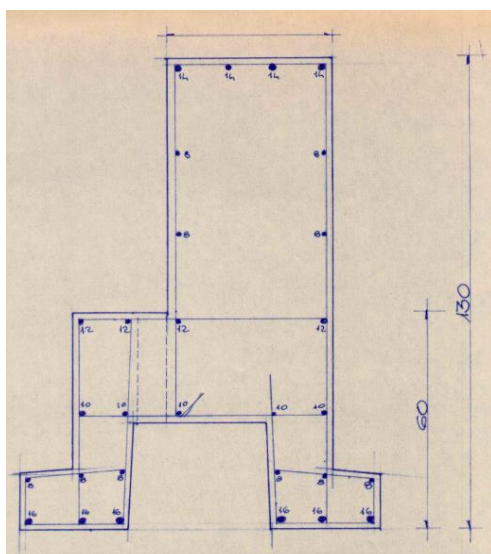
Travi ad omega (ambiente scolastico)

- Una seconda tipologia, sempre ad omega e prefabbricata, con dimensioni d'ingombro leggermente maggiori (pari a 103,5x60 cm), utilizzata sull'allineamento perimetrale della palestra che affaccia sull'esterno;



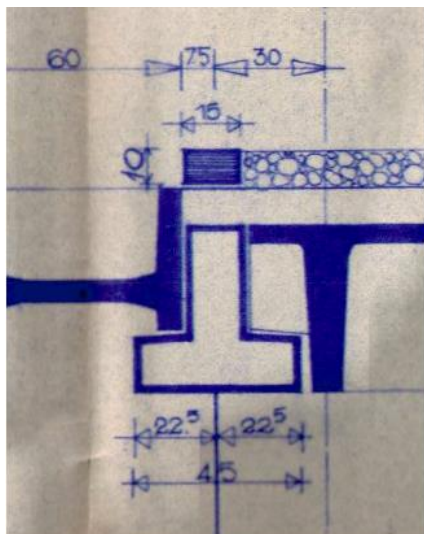
Trave ad omega (ambiente palestra)

- Una terza tipologia, sempre situata in palestra ma sull'allineamento opposto rispetto a quello descritto al punto precedente, la quale continua a presentare inferiormente una forma ad omega che va ad allungarsi in altezza in modo asimmetrico rispetto alla sezione trasversale dell'elemento;



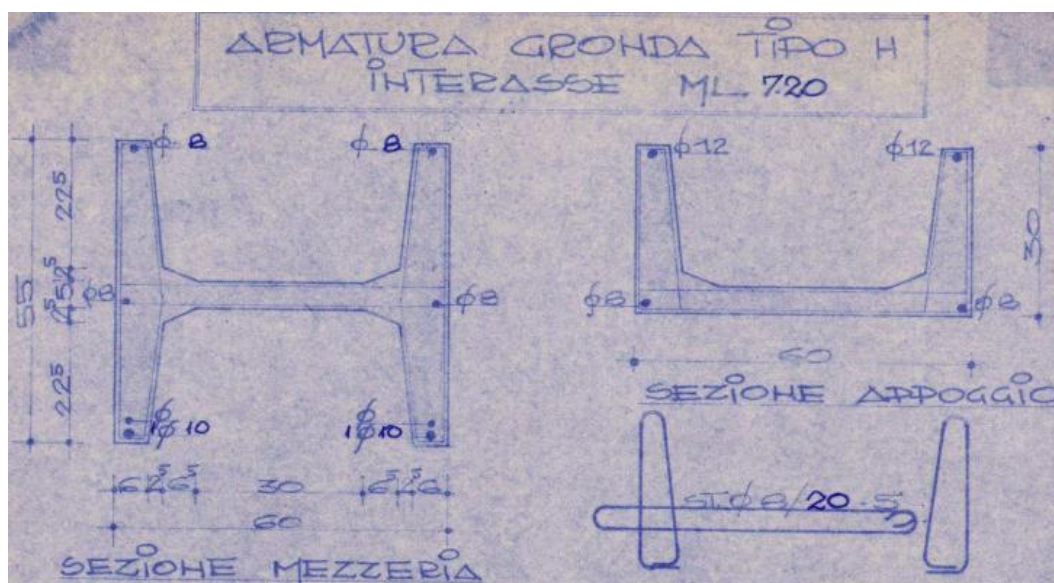
Trave ad omega allungata (ambiente palestra)

- Una quarta ed ultima tipologia riguarda travi con sezione trasversale a T rovescia, di base 45 cm x altezza 45 cm, le quali sono state individuate sia sul perimetro esterno a livello di copertura, ortogonalmente alle travi ad omega, sia in corrispondenza del locale a doppio volume adibito a palestra, dove vanno ad appoggiarsi direttamente sulla trave ad omega a sbalzo come è visibile dalla successiva immagine;



Trave a T rovescia in copertura (a sinistra) e in palestra (a destra)

- Infine, anche se non conteggiate all'interno delle tipologie delle travi, si riporta la presenza di gronde prefabbricate ad H in corrispondenza del lato nord e sud dell'edificio, a livello di copertura, la cui sezione geometrica è stata ricavata dalla documentazione originale in nostro possesso.



Gronda prefabbricata in c.a.

L'edificio oggetto di studio è caratterizzato da tre distinti livelli:

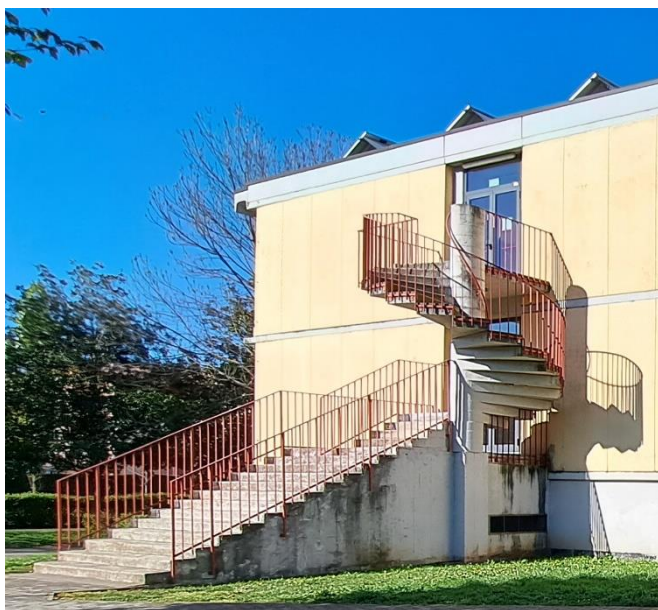
- un piano *seminterrato*, avente altezza interna sotto trave pari a 3,00 m, il quale in realtà affaccia sul giardino esterno in corrispondenza del lato sud della struttura;
- un piano *rialzato*, con altezza interna sotto trave pari a 2,85 m, il quale è raggiungibile esternamente da tre ingressi distinti: uno centrale, situato sul lato nord e composto da una rampa singola con pianerottolo intermedio; due laterali, rispettivamente a ovest ed est, caratterizzati ancora da una singola rampa ma senza pianerottolo intermedio;
- un piano *primo*, con altezza interna sotto trave pari a 2,85 m, anch'esso raggiungibile dall'esterno, sempre sui lati ovest ed est, ma con una doppia scala di forma elicoidale in calcestruzzo armato.



Vano scala esterno principale (lato nord)

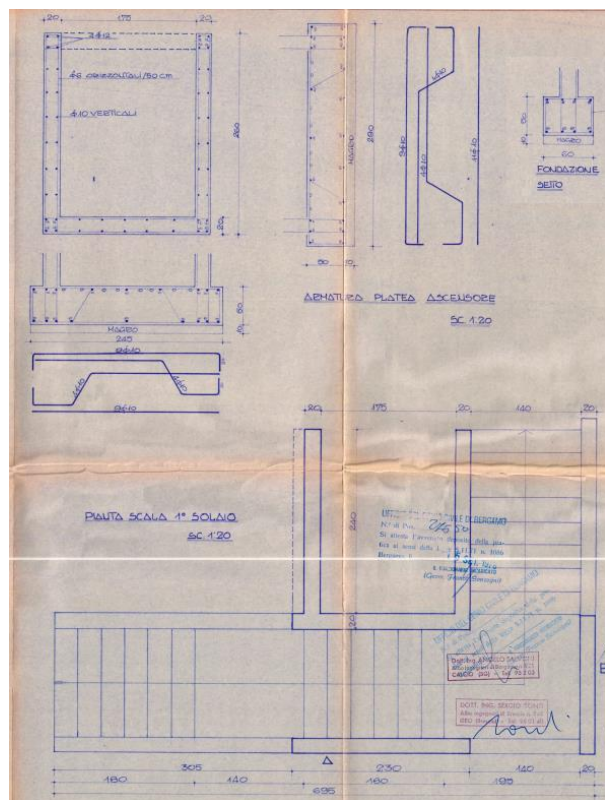


Vani scala esterni (lato ovest)



Vani scala esterni (lato est)

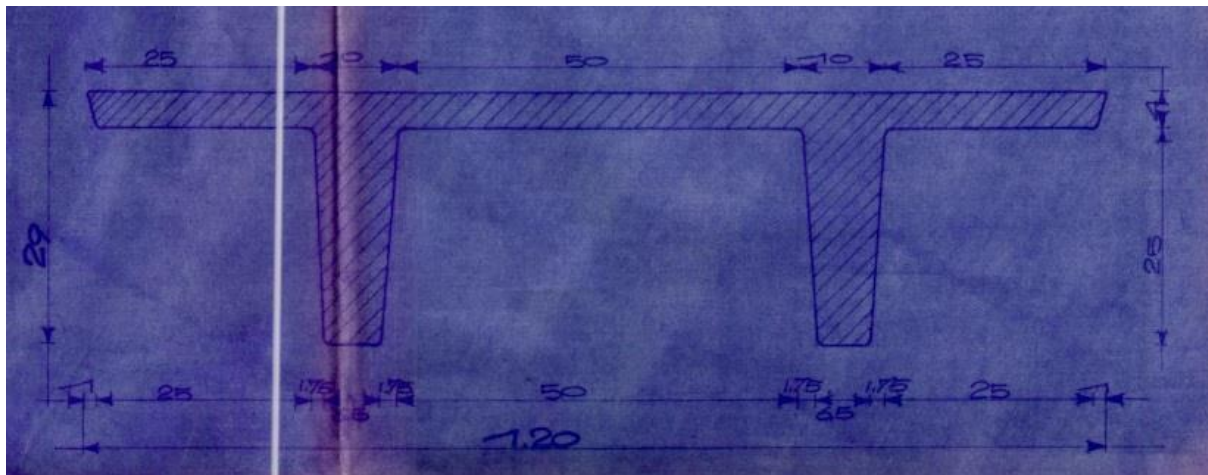
Per quanto riguarda i collegamenti interni tra i vari livelli della struttura, l'edificio è provvisto di un unico vano scala-ascensore caratterizzato da setti in c.a. spessi 20 cm (impostati su una platea di fondazione gettata in opera) e da solette rampanti, ancorate internamente agli adiacenti setti del vano ascensore ed esternamente ad ulteriori setti in c.a., aventi funzione di parapetto, i quali sono invece impostati su speciali fondazioni a cordolo.



Vano scala interno

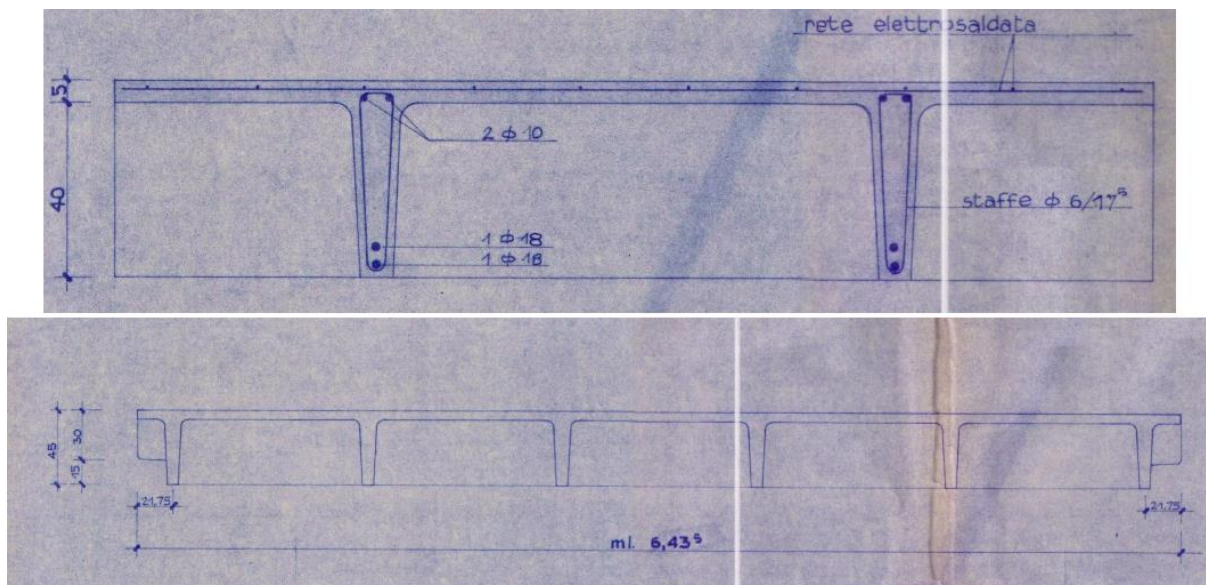
Passando adesso alla descrizione dei vari orizzontamenti costituenti la struttura, la ricerca documentale abbinata alle varie indagini svolte in situ ha permesso di individuare tre diverse tipologie geometriche principali:

- il solaio di calpestio del piano interrato e del piano rialzato è costituito da vari moduli prefabbricati, identici tra loro, affiancati lungo la direzione longitudinale: questi hanno un'altezza pari a 25 cm + 4 cm (corrispondente alla nervatura e alla soletta superiore), per una larghezza complessiva pari a 120 cm, con doppia nervatura sviluppata esclusivamente in direzione longitudinale. Entrambe le nervature di irrigidimento presentano al loro interno dei trefoli da precompressione, indispensabili per la realizzazione di diaframmi prefabbricati su luci importanti (nel nostro caso dell'ordine di 6÷7 m). In alcuni ambienti del piano interrato, questi sostengono anche controsoffitti sia a quadretti che a lastra;



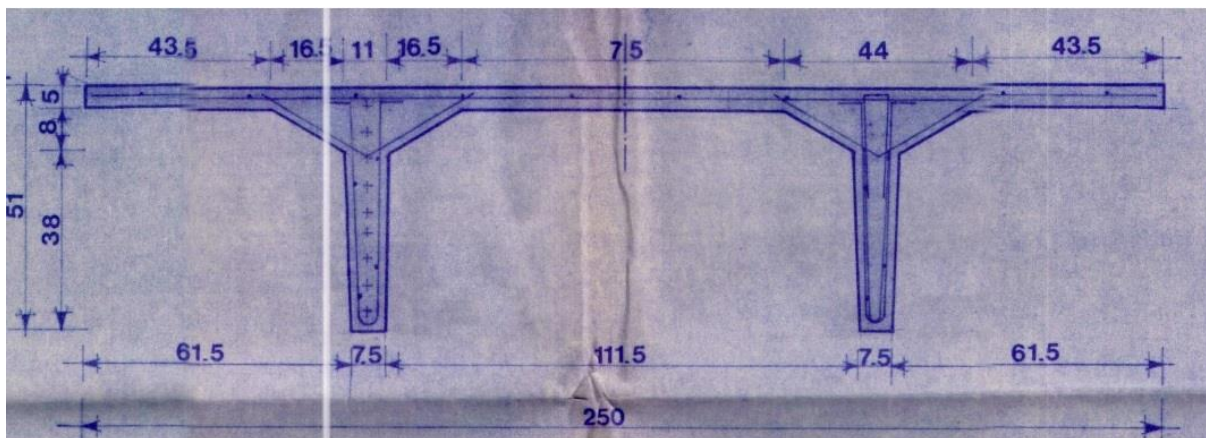
Solaio di calpestio (piano interrato e piano rialzato)

- il solaio di calpestio del piano primo e di copertura dello stesso è ancora costituito da vari moduli prefabbricati affiancati lungo la direzione longitudinale: questi hanno un'altezza pari a 40 cm + 5 cm (corrispondente alle nervature e alla soletta superiore), per una larghezza complessiva pari a 240 cm, con due nervature sviluppate in direzione longitudinale e sei nervature, di dimensioni analoghe, sviluppate in direzione trasversale. Questa tipologia di impalcato non presenta al suo interno alcuna armatura di precompressione, ma esclusivamente un'armatura lenta, con ferri longitudinali e particolari staffe a taglio;



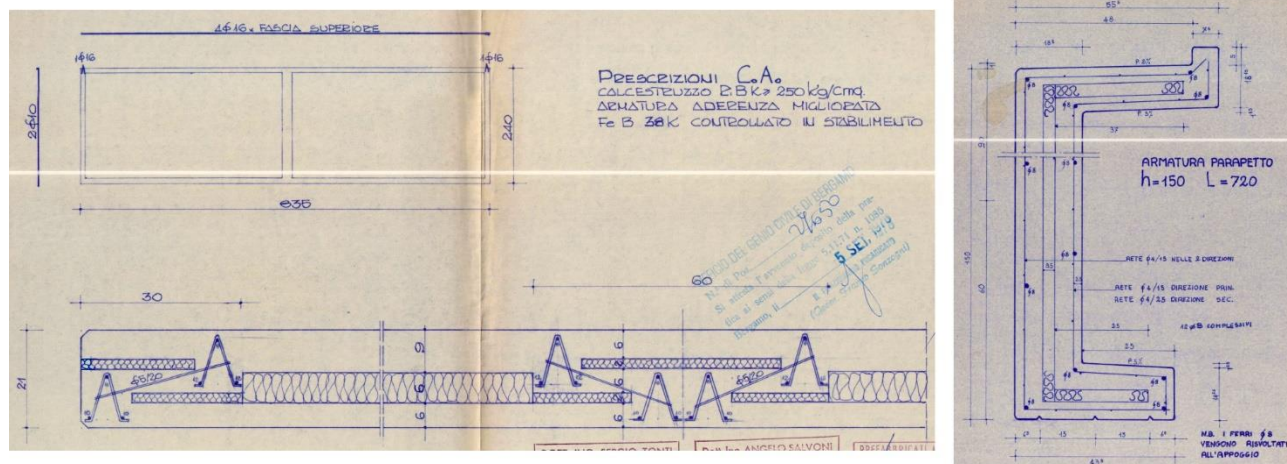
Solaio di calpestio (piano primo) e di copertura (ambiente scolastico)

- il solaio di copertura della palestra (ambiente a doppio volume) è di nuovo composto da moduli prefabbricati affiancati tra loro, aventi altezza pari a 46 cm + 5 cm (corrispondente alle nervature e alla soletta superiore), per una larghezza complessiva pari a 250 cm. La doppia nervatura, sviluppata esclusivamente in direzione longitudinale, contiene al suo interno dei trefoli da precompressione, i quali consentono di coprire una luce di circa 14,5 m;



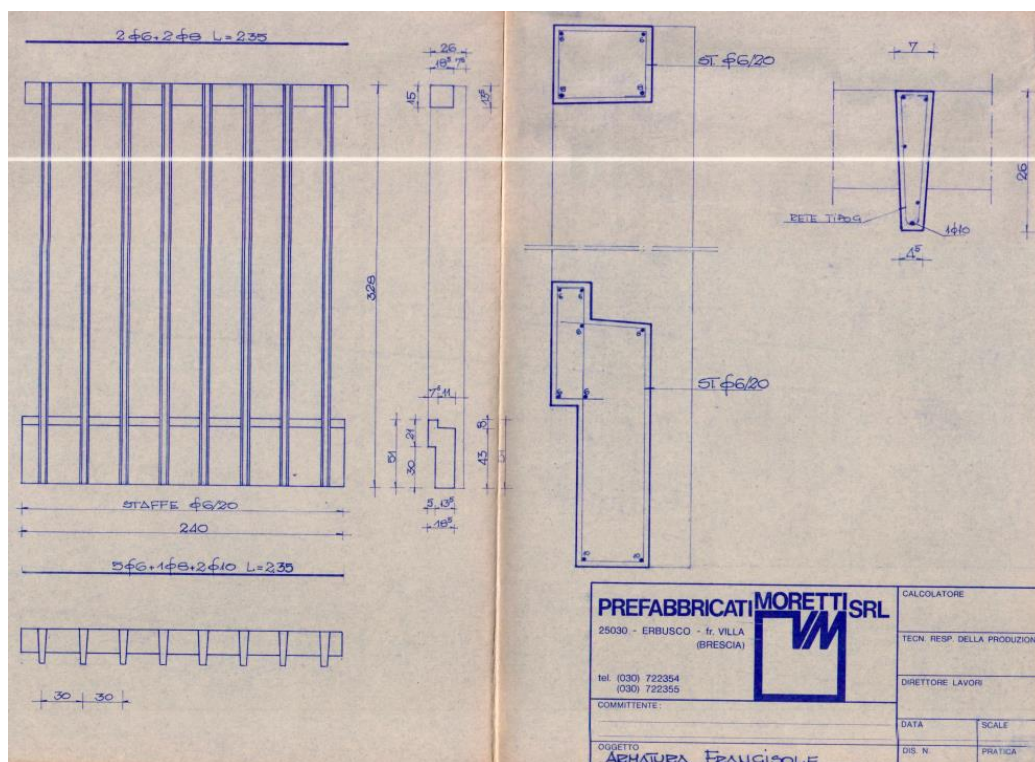
Solaio di copertura palestra (ambiente a doppio volume)

Per quanto riguarda i vari pannelli di tamponatura perimetrali, questi sono costituiti da elementi prefabbricati di spessore totale pari a 21 cm (suddivisi in due strati di calcestruzzo da 9 e 6 cm che inglobano a loro volta uno strato di isolante spesso 6 cm); per la sola parete della scuola posta ad ovest è stata rilevata la presenza di una fodera interna in mattoni forati di 12 cm, i quali portano lo spessore totale di tali elementi fino a 33 cm. Laddove siano presenti infissi a nastro in corrispondenza delle aule del plesso scolastico (prevalentemente sul lato sud dello stesso), questo vanno ad impostarsi su ulteriori pannelli prefabbricati con funzione di parapetto, di altezza pari a 150 cm e spessore 18,5 cm, anch'essi composti da due strati in calcestruzzo confinanti uno di coibente termico.



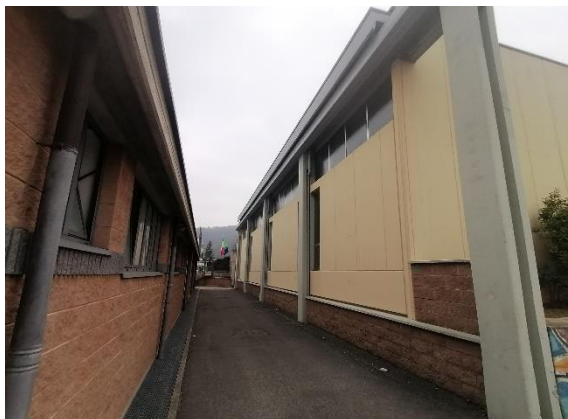
Pannelli di tamponatura e parapetti

In corrispondenza del lato sud-ovest dell'edificio, si riscontra la presenza di dispositivi frangisole, in c.a., prefabbricati, i quali sono compiutamente descritti sulle tavole tecniche originali di progetto, come dimostrato dalla seguente immagine.



Elementi frangisole prefabbricati

Per quanto riguarda la palestra della scuola, locale che abbiamo definito a doppio volume, questa presenta una pianta di forma rettangolare di dimensioni 15,30 x 25,30 m, altezza del locale sotto trave pari a 7,05 m e risulta avere come struttura verticale portante, così come precedentemente accennato, un totale di n.9 pilastri prefabbricati in c.a. di forma pressoché quadrata (51 x 51 cm): essi vanno a sostenere i pannelli prefabbricati di copertura che sono stati descritti alle pagine precedenti, i quali sono semplicemente appoggiati sulle travi principali, anch'esse già descritte in precedenza. Per quanto riguarda le pareti perimetrali, queste sono costituite dai medesimi pannelli prefabbricati esposti sopra; si rileva la presenza di finestre a nastro in sommità di tali pannelli, rivolte verso il lato nord dell'edificio, oltre a quattro aperture in direzione verticale, rivolte sul medesimo lato.



Corpo adibito a palestra, vista esterna



Palestra, vista interna

Infine, si segnala la presenza di un doppio volume volto a raccordare la scuola alla palestra: questo è coperto da una speciale copertura metallica, già prevista e realizzata nell'epoca di costruzione del manufatto, la quale è stata sostituita e dimensionata tramite un intervento progettuale datato 20/11/2014 a cura di M.C.Z. Ingegneria s.r.l.. I documenti progettuali originali in nostro possesso contengono una descrizione accurata della nuova struttura di copertura, la cui struttura portante è stata realizzata con travi in acciaio tipo IPE180 poggianti da un lato direttamente sulla struttura portante della copertura, e dall'altro su colonne in acciaio tipo HEA140. Per informazioni più dettagliate ed approfondite, si rimanda alla relazione di calcolo già consegnata in fase di studio di vulnerabilità sismica e redatta da Sicuring s.r.l. in data 12/11/2018.



Copertura metallica di raccordo



Copertura metallica di raccordo

Per quanto riguarda la copertura degli ambienti scolastici e della palestra, questa risulta essere di tipo piano, con guaina bituminosa all'estradosso a vista, in quanto non rivestita da alcun pacchetto architettonico. Si riporta la presenza di impianti fotovoltaici su tutte le porzioni di copertura appena descritte, tranne che sulla porzione sovrastante l'atrio di accesso principale sul lato nord.



Pannelli fotovoltaici in copertura

Si riportano adesso alcune immagini rappresentanti l'edificio allo stato di fatto.



Viste esterne con drone



Viste esterne lato nord e lato sud



Viste esterne lato ovest e lato est



Vista esterna copertura metallica



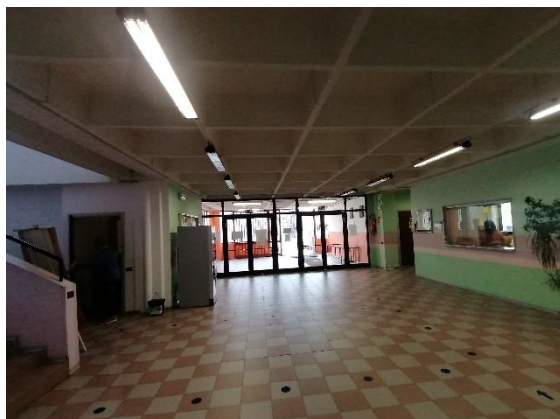
Particolari lato sud edificio



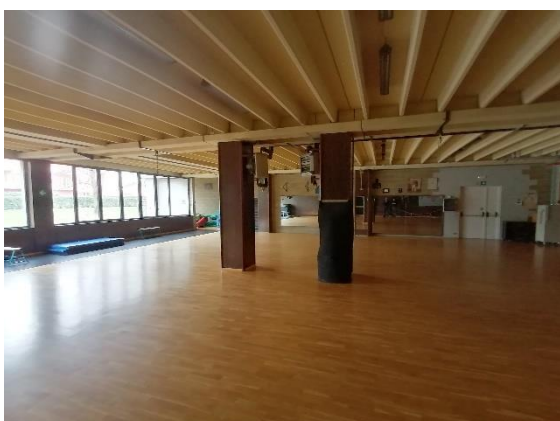
Viste estradossali in copertura



Atri di accesso zona nord (piano interrato e rialzato)



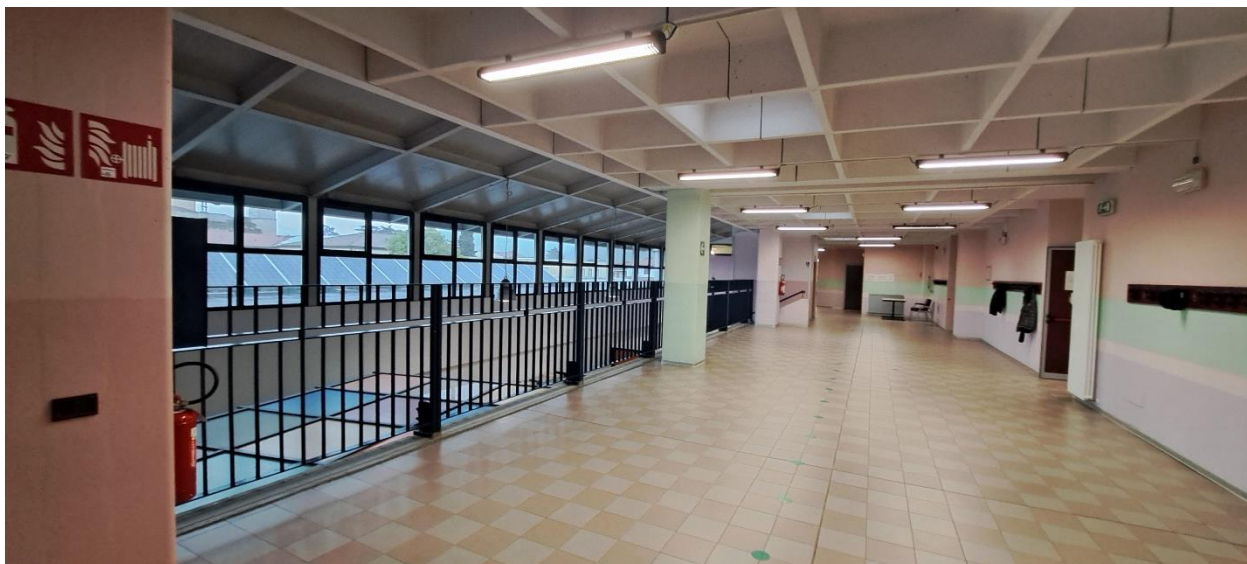
Zona di accesso principale e segreteria studenti (piano rialzato)



Palestrina fitness e aula mensa (piano interrato)



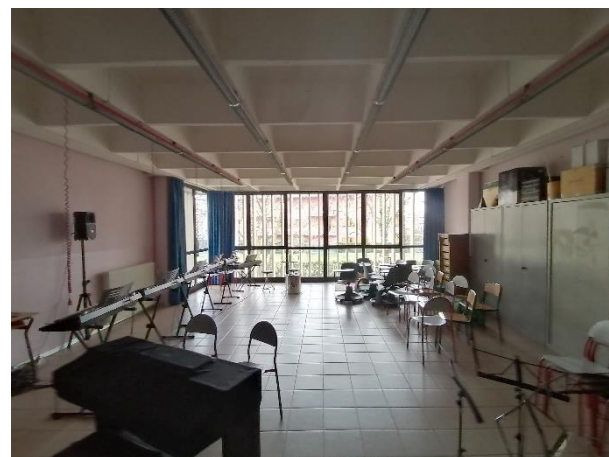
Atrio principale (piano rialzato)



Atrio principale (piano primo)



Aule tipo (piano primo e piano rialzato)



Aula informatica e aula musica (piano primo)



Servizi igienici (piano interrato e piano primo)



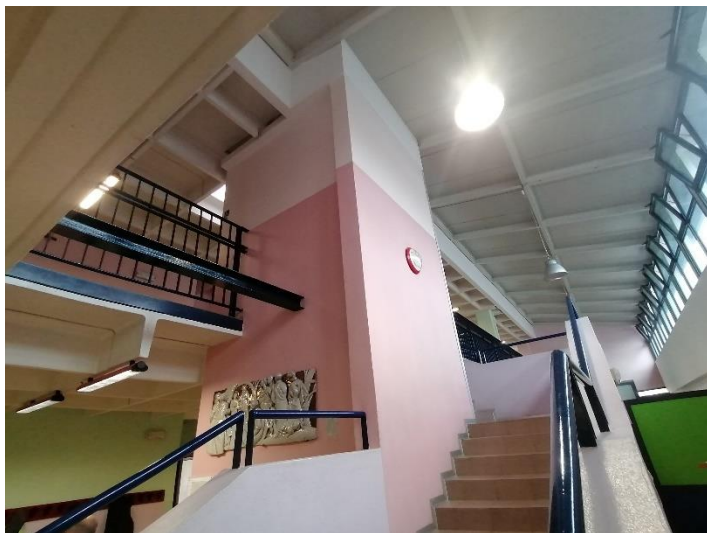
Particolari nodi travi-pilastri (piano interrato con sella e piano primo senza sella)



Centrale termica e ripostiglio (piano interrato)



Ambiente sottoscala (piano interrato)



Vano scala-ascensore (piano rialzato)



Indagini su interferenze esterne



Indagini su interferenze interne

Il progetto commissionato prevede l'**adeguamento sismico** dell'intero corpo strutturale.

Normativa di riferimento

Il quadro normativo complessivo di riferimento per la **progettazione strutturale** è rappresentato dalle **Aggiornamenti delle Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018)**, e dalla Circolare ministeriale n. 7 del 21 gennaio 2019.

Raccolta documentazione e analisi storico-critica


La ricerca documentale ha coinvolto i seguenti uffici:

- ufficio tecnico del Comune di Villa di Serio;
- Archivio impresa realizzatrice della scuola: Prefabbricati Moretti srl.

Di seguito si riporta l'elenco del materiale reperito, utile alla redazione del Progetto di Adeguamento Sismico:

- Certificato di prevenzione incendi, datato al 18 luglio 2017;
- Certificato di origine degli elementi prefabbricati, il quale attesta la rispondenza degli elementi in opera con quelli depositati al Ministero dei Lavori Pubblici nel 1973 n.11037 e nel 1976 n.14849;
- Denuncia delle opere in c.a., datata al 1978, nella quale è citata la presenza di una relazione tecnica illustrativa delle opere in c.a. e 26 tavole esplicative di progetto;
- Denuncia integrativa, datata al 1978, nella quale si legge che la struttura in esame non è soggetta al rilascio del certificato di idoneità tecnica in accordo con le normative vigenti dell'epoca;
- Relazione di calcolo, datata al 1978, nella quale sono citate le caratteristiche meccaniche dei materiali, il grado di vincolo utilizzato per il calcolo delle sollecitazioni dei vari elementi, oltre ai sovraccarichi utilizzati in sede di verifica;
- Ricevuta di deposito dei progetti al Genio Civile di Bergamo, datato 1978;
- Scheda catastale: foto 7, map.763 sub.5, datata 30 dicembre 1992;
- Verbale di visita e collaudo (n.27650 del 17 settembre 1979);
- n.23 tavole esecutive contenenti sezioni, dettagli di elementi strutturali e non, prospetti e la pianta del solo solaio di piano primo: delle 26 tavole denunciate ufficialmente, le 3 mancanti dovrebbero riferirsi alle piante degli altri piani;
- Una relazione generale descrittiva delle opere architettoniche e impiantistiche redatta da M.C.Z. Ingegneria s.r.l. datata 20 ottobre 2014;
- Progetto esecutivo (relazione di calcolo strutturale e tavola progettuale) della nuova struttura portante metallica sovrastante il lucernario di raccordo tra scuola e palestra, redatta dall'Ing. Denis Flaccadori dell'anno 2015;
- Tavola in formato .pdf e .dwg riguardanti il collocamento esterno dei vari locali tecnici, delle tubazioni fognarie e dei collegamenti elettrici, datata giugno 2015;
- Attestato di prestazione energetica n.21578 redatto dalla Regione Lombardia, a cura della certificatrice Veronica Piccoli, in data 29/09/2015, con valenza decennale;
- Attestato di certificazione dei serramenti sia per la scuola media che per la palestra, redatto da Bettoni Serramenti s.n.c. e datato Aprile 2016;
- Certificati di conformità per impianti elettrici, redatti in epoche differenti da imprese diverse: dall'impresa Tarcisio Madaschi s.r.l. (datati 1997, 2010 e 2012), dall'impresa Colman Luca elettroimpianti (1998), dall'impresa Guerini Santo (2000);
- Progetto definitivo dell'impianto fotovoltaico presente in copertura, redatta dal Dott. Ing. Gabriele Ghilardi in data 21/04/2009;
- Relazione tecnica dell'impianto elettrico (con allegate tavole) redatta da M.C.Z. Ingegneria s.r.l. in data 09 gennaio 2017;
- Sintesi conoscitiva e campagna di indagini (sia sugli elementi strutturali in c.a. prefabbricato che a livello geologico) redatta a cura dello studio Sicuring s.r.l. in data 12 novembre 2018;
- Studio di vulnerabilità sismica (composto da relazione tecnica, allegati di calcolo e schede di livello) redatto sempre da Sicuring s.r.l. in data 12 novembre 2018;

Si riportano di seguito una serie di immagini fotografiche relative alla documentazione reperita.


MINISTERO DELL'INTERNO
COMANDO PROVINCIALE DEI VIGILI DEL FUOCO DI
BERGAMO
CERTIFICATO DI PREVENZIONE INCENDI
ai sensi dell'art. 4 del DPR 151/2011

Spett.le
COMUNE DI VILLA DI SERIO
Sig. CEREIA SILVIO
PIAZZA PAPA GIOVANNI XXIII, 60
24020 – VILLA DI SERIO

Prot. n. 1586
Pratica n. 25332

Oggetto: Ditta: **COMUNE DI VILLA DI SERIO – SCUOLA MEDIA** sita nel comune di VILLA DI SERIO in VIA DOSIE, 6.
Segnalazione Certificata Inizio Attività prot. n. 24892 del 15/12/2015 per le attività individuate al num./cat. 67.2.B e 74.3.C del DPR 151/2011.
Il Funzionario istruttore del procedimento tecnico: Ing. Marco Pullara.

Con riferimento alla segnalazione in oggetto,

- visto i progetti prot. n. 16841 del 10/12/2010, approvato con nota del 16/03/2011 e prot. n. 14472 del 26/06/2015, approvato con nota prot. n. 20056 del 05/10/2015,
- visto l'esito del sopralluogo effettuato dal responsabile dell'istruttoria tecnica in data 18/07/2016,
- acquisite le certificazioni, le dichiarazioni e la documentazione integrativa pervenuta in data 10/03/2017 (ns prot. n. 5416) e in data 08/06/2017 (ns prot. n. 12594), attestanti la conformità delle attività in oggetto alla normativa di prevenzione incendi,

si rilascia il certificato di prevenzione incendi ai sensi del comma 3 dell'art. 4 del D.P.R. 151/2011 per l'attività dell'Allegato I al citato D.P.R. di categoria C a tempo elencata, dove è menzionata anche l'attività di categoria B non subordinata al rilascio del suddetto certificato ai sensi del comma 2 dell'art. 4 del citato D.P.R.

Per il proseguo dell'attività si ricordano gli adempimenti previsti dal nuovo DPR e successivi provvedimenti ministeriali di attuazione.

Nel merito si sottolineano gli obblighi del responsabile attività sul mantenimento delle condizioni di sicurezza e la pianificazione delle emergenze e quelli correlati a eventuali successive modifiche delle attività in questione di cui agli articoli 3 e 4 del citato DPR 151/2011.


Il Funzionario istruttore del procedimento tecnico
Ing. Marco Pullara

Il Comandante
Ing. Oreste Dodaro

BERGAMO, 18 LUG. 2017

Comune di Villa di Serio (BG)
Cod. 0007474 del 02-08-2017
Cat. 6 Classe 1/100

L'ufficio prevenzione incendi del Comando è aperto al pubblico: lunedì, martedì, mercoledì, giovedì e venerdì, dalle ore 8.30 alle ore 12.00. Pag. 1 di 2


MINISTERO DELL'INTERNO
COMANDO PROVINCIALE DEI VIGILI DEL FUOCO DI
BERGAMO
CERTIFICATO DI PREVENZIONE INCENDI
ai sensi dell'art. 4 del DPR 151/2011

Pratica n. 25332

Impianti, apparecchiature che presentano pericolo d'incendio - descrizione attività:

Attività 67.2.B: Scuola con n. 230 persone presenti;
Attività 74.3.C: Impianto per la produzione di calore, costituito da n. 2 generatori da 630 kW cad. e un generatore da 34 kW alimentati a gas metano, installati in apposito locale, per complessivi 1.694 kW;

Sostanze pericolose: Vedi attività.

Limitazioni e prescrizioni di esercizio: Oltre alle limitazioni/condizioni di esercizio previste dalle norme tecniche di prevenzione incendi vigenti, si prescrive che:
1) La palestra sia utilizzata esclusivamente per esercitazioni scolastiche e non per manifestazioni extrascolastiche;
2) I due locali annessi alla palestra, privi di aerazione, non devono essere utilizzati come depositi di materiali combustibili.

Sistemi, dispositivi e attrezzature antincendio:
n. 27 estintori 6 kg polvere;
n. 10 idranti a muro UNI 45;
n. 1 idrante a colonna UNI 70;
n. 1 attacco di mandata per autopompa VVF;

Il Funzionario istruttore del procedimento tecnico
Ing. Marco Pullara

Il Comandante
Ing. Oreste Dodaro

BERGAMO, 18 LUG. 2017

L'ufficio prevenzione incendi del Comando è aperto al pubblico: lunedì, martedì, mercoledì, giovedì e venerdì, dalle ore 8.30 alle ore 12.00. Pag. 2 di 2

Certificato di protezione incendi

CERTIFICATO D'ORIGINE

Si garantisce la rispondenza del prodotto, relativo alla fornitura di plinti, pilastri, travi, coperture e accessori per conto della ditta **COMUNE DI VILLA DI SERIO** alle caratteristiche di cui alla documentazione depositata al Ministero dei LL. PP. in data 28/5/73 racc. al numero 11037 e successivamente in data 31/5/76 raccolta al numero 14849.

PROGETTISTA PER LE OPERE IN C.A. E C.A.P.
Dott. Ing. SERGIO TONTI residente in ISEO, iscritto all'albo degli Ingg. della provincia di Brescia al n°548.

Firmato
Il produttore
PREFABBRICATI MORETTI S.R.L.
N° Codice Fiscale
00510630171

Firmato
Il responsabile della produzione
ING. ANGELO SALVONI
N° Codice Fiscale
000764337

Dott. Ing. ANGELO SALVONI
AP. Impresario - n°938
CALCO (BG) - Tel. 93233

Comune di Villa di Serio (BG)
Cod. 0007474 del 02-08-2017
Cat. 6 Classe 1/100

Spett.le UFFICIO
DEL GENIO CIVILE
di BERGAMO

DENUNCIA DI OPERE
IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO NORMALE
(ai sensi della Legge 5.11.1971, n°1086)

LA sottoscritta impresa... ICR...
corrente in... BRENO... via... 28 APRILE... 21

DENUNCIA
L'esecuzione di un'opera in C.A. normale
sita nel Comune di VILLA DI SERIO... vis...
ne è progettista per le opere in C.A. il DOTT. ING. SERGIO TONTI
residente in... ISEO...
iscritto all'albo d'ING. della provincia di BRESCIA...
al n° 548, ne è direttore dei lavori per la opera in C.A.
il DOTT. ING. ANGELO SALVONI... residente in CALO...
iscritto all'albo d'ING. della provincia di BERGAMO...
al n° 938, ne è committente. Il DOTT. ING. ANGELO SALVONI...
residente in... via...
La sottoscritta impresa dichiara, sotto la propria responsabilità, di essere iscritta alla C.C.I.A.A. di BERGAMO...
al n° 938, alla C.A.P.E. di BERGAMO... al n° 02526...
al Collegio costruttori di BERGAMO...

SI ALLEGA:
1) Relazione tecnico-illustrativa in duplice copia.
2) Progetto esecutivo delle opere denunciate, in duplice copia, costituito da n° 2... tavole.

L'IMPRESA
ICE
Impresario
Codice fiscale
00267150175

Certificato di origine degli elementi prefabbricati e denuncia delle opere in c.a.

MODULO LL. 99/1978

Ministero del Lavoro, Industria e Commercio
Presidenza del Consiglio Superiore
Servizio Tecnico Centrale

La Ditta
PREFABBRICATI MORETTI
25030 ERBUSCO - Fraz. Villa
Via Poffa (Brescia)

Proposta in data del 26/1/1978

N° 17406

OGGETTO: Legge 5/11/1971, n. 1086. Denuncia integrativa di produzione manufatti in serie di stabilimento.

Con riferimento alla nota emanata, si fa presente che la documentazione ad essa allegata viene considerata aggiuntiva dei precedenti depositi e recepita con il n. 17406, in data 28/1/1978.

Per realizzare edifici adoperando il sistema costruttivo risultante dall'assemblaggio degli elementi prefabbricati stessi, sarà necessario seguire la prassi prevista dall'art. 4 della legge 5/11/1971, n. 1086 (denuncia delle opere al Genio Civile competente) se trattasi di zona non sismica, mentre per le zone sismiche deve tener conto anche delle disposizioni previste dalla legge 2.2.1974 n. 64 e dei relativi decreti del 3.3.1975.

Tanto in quanto le strutture di che trattasi realizzano, assemblate, una costruzione tradizionale a pilastri e travi, non soggetta al rilascio di alcun certificato di idoneità tecnica da parte della Presidenza del Consiglio Superiore, bensì alla presentazione del calcolo statico delle strutture, giusta disposizioni prima menzionate.

PREFABBRICATI MORETTI S.r.l.
25030 ERBUSCO - Fraz. Villa (Brescia)
Tel. 030-722661-4 linee ric. aut.

IL SEGRETARIO GENERALE
F. De Caro

MODULO LL. 99/1978

Ministero del Lavoro, Industria e Commercio
Presidenza del Consiglio Superiore
Servizio Tecnico Centrale

1 GIU. 1978

La Ditta
PREFABBRICATI MORETTI S.r.l.
25030 ERBUSCO - Fraz. Villa (Brescia)
Tel. 030-722661-4 linee ric. aut.

Proposta in data del 26/1/1978

N° 14449

OGGETTO: Legge 5 novembre 1971 n. 1086, art. 9. Produzione in serie manufatti in serie di stabilimento.

La comunicazione di codesta ditta, relativa alla produzione in serie di manufatti in serie di stabilimento, fatta pervenire ai sensi dell'art. 9 della legge sopraindicata, è stata recepita da questo Servizio con il n. 14449 in data 1.6.1978.

IL SEGRETARIO GENERALE
F. De Caro

Denuncia integrativa e Ricevuta di deposito al Genio Civile

LEGGE 5-11-1971 n° 1086 - OPERE IN C. ARMATO

RELAZIONE TECNICO ILLUSTRATIVA

Opera situata nel Comune di ... VILLA DI SERIO ... (SERRAVALLE)
Via ... proprietà ... COMUNE DI VILLA DI SERIO

CARATTERISTICHE:

superficie cop. mq. 1397 altezza max f.t. m. 3,00
volume mc. 9722 n° piani entro e fuori terra 3
luci max: solai m. 4,80; travi m. 14,40; sbalzi m. 3,00
Dosaggio 3,8 qli/mc

DESCRIZIONE:

SCUOLA PREFABBRICATA A TRE PIANI CON ANNESSA PALESTRA

SOVRACCARICHI ACCIDENTALI:

Kg/mq. 150 copertura inapricabile 500 laboratori
150 calpestio sulle corridoi 400 terrazze praticabili

NOTE SINTETICHE SUGLI SCHEMI DI CALCOLO O SUI MOMENTI:

VINCULO CONSIDERATO PER L'ANCORAGGIO DEL PILASTRO GETTATO NEL FONTE DEL PLINTO: INCASTRO.
PER LA RIMANENTE STRUTTURA: SEMPLICE APPOGGIO.

TERRENO DI FONDAZIONE:

PIANT. DI FONDAZIONE PREFABBRICATI
Sigma max. 2,51 (fond. cont.) (fond. isol.)

CALCESTRUZZI: SI VEDANO DISEGNI ALLEGATI

resistenza caratt. Kg/cmq. SIGMA max considerato Kg/cmq.

CEMENTO: 525 PORTLAND INERTI: SABBIA CAVA MOCCO EDILE
GHIAIA CAVA MOCCO EDILE

BARRE FONDE LISCE:

Fe B 22 k 17200
Fe B 32 k 17600

BARRE AD ADERENZA MIGLIORATA:

Fe B 38 k non costr. stab. 1900
Fe B 44 k non 2200
Fe B 44 k 2600

RETE ELETTROSALDATA:

Rak(n) o Rak(0,2) X 2200 2200

ACCIAIO DI PRECOMPRESSIONE:

Trefoli qualificati 11880
Trefoli qual. e stabilizzati X 12540

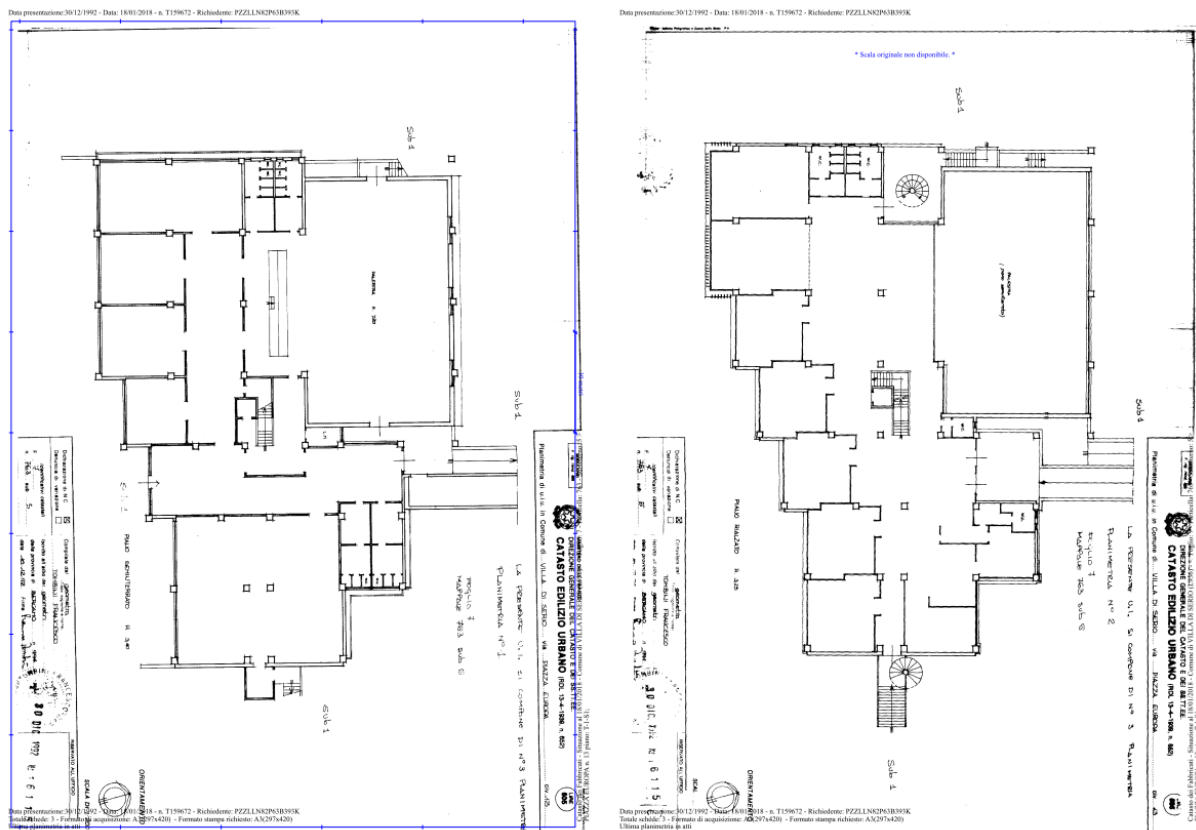
IL COSTRUTTORE
PREFABBRICATI MORETTI S.r.l.
25030 ERBUSCO - Fraz. Villa (Brescia)
Tel. 030-722661-4 linee ric. aut.

IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE
DOT. ING. SERGIO TONTI
Albo Ingegneri di Brescia n. 548
ISEO (Brescia) - Tel. 030-111111

IL DIRETT. LAV. DELLE STRUTTURE
PREFABBRICATE
Dott. Ing. ANTONIO SAVONI
Albo Ingegneri di Brescia n. 921
CANTÙ (BG) - Tel. 030-511111

ERBUSCO, 31/8/1978

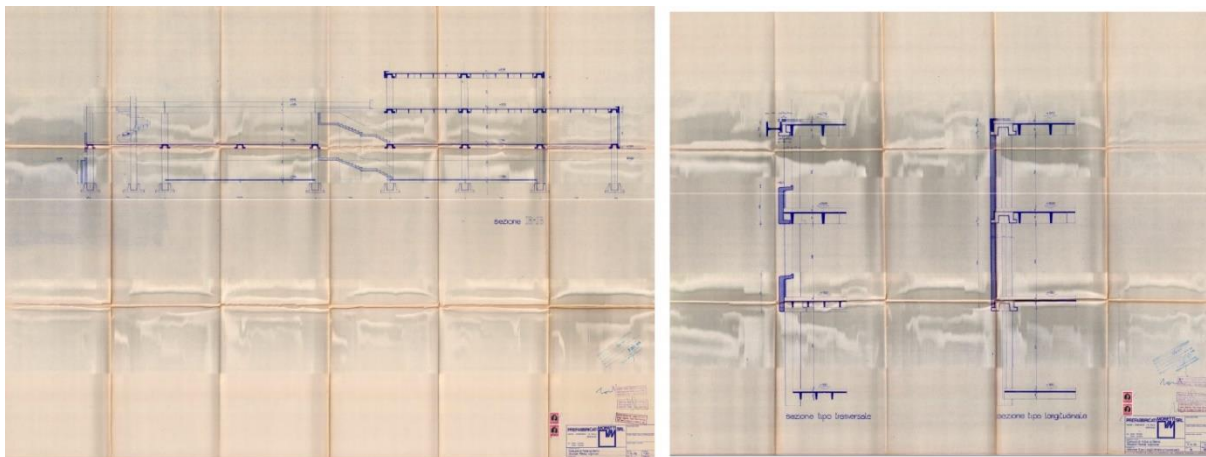
Relazione di calcolo



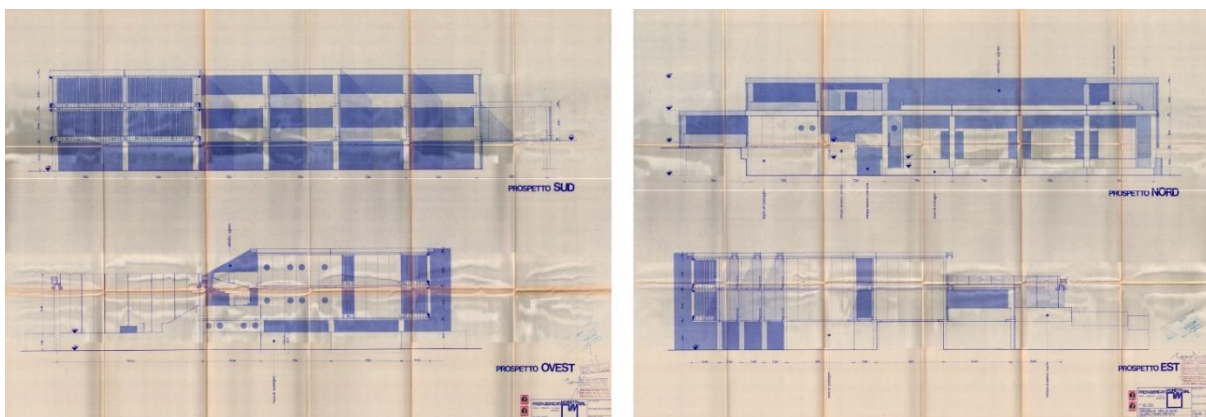
Scheda catastale

| | |
|---|--|
| <p>VERBALE DI VISITA E DI COLLAUDO</p> <p>delle opere in c.a. relative ai lavori di costruzione della Nuova Scuola Media del Comune di VILLA DI SERIO.</p> <p>Il sottoscritto ING. GIUSEPPE TOSCANI iscritto all'Albo degli Ingegneri della provincia di Brescia, al n° 647 e iscritto nell'elenco dei collaudatori della stessa provincia, in esecuzione ad incarico ricevuto ha proceduto al collaudo delle opere in c.a. della suddetta costruzione.</p> <p>DENUNCIA OPERE IN C.A. N° 27650 in data 3.5.9.1978</p> <p>PERSONE FISICHE E GIURIDICHE INTERESSATE</p> <p>Proprietà: COMUNE DI VILLA DI SERIO</p> <p>Progettista e calcolatore opere in c.a.: ING. SERGIO TONTI</p> <p>Direttore dei lavori: ING. ANGELO SALVONI</p> <p>Esecutore delle opere: PREFABBRICATI MORETTI s.r.l.</p> <p>DESCRIZIONE DELLE OPERE</p> <p>Trattasi di costruzione a un piano seminterrato e due piani fuori terra con struttura portante interamente in c.a. normale o precompresso con pilastri passanti da plinto a copertura con mensole interpieno incastrati nei plinti di fondazione prefabbricati. Le travi principali sono ad omega con armatura len-</p> | <p>ta a sostegno del solaio di colportio a pannello cassetonato in cemento armato normale vibrato. I pannelli di copertura della palestra e quelli di calpestio del piano seminterrato sono invece in cemento armato precompresso. Vi sono due scale esterne di sicurezza in cemento armato prefabbricato e una interna in cemento armato gettato in opera. I pannelli di tamponamento perimetrale sono in c.a.v. con coibentazione in polistirolo espanso. La struttura di sostegno della copertura in UGLASS è in ferro. Pure in ferro è il tirante di sostegno della trave a sostegno del solaio del primo piano affacciante sulla palestra.</p> <p>ESAME DEL PROGETTO ESECUTIVO E DELLE STRUTTURE IN C.A.</p> <p>Il sottoscritto ha eseguito un sopralluogo in cantiere il giorno 31.8.79 esaminando le strutture in c.a. I calcestruzzi apparivano di buona fattura senza difetti apparenti e consistenti. Il sottoscritto ha potuto esaminare alcune tavole del progetto esecutivo constatandone la corrispondenza delle dimensioni delle opere eseguite.</p> <p>VERBALE DI COLLAUDO</p> <p>Pur risultando essere state eseguite prove sui materiali impiegati nelle strutture in c.a., il sottoscritto collaudatore ha ritenuto opportuno procedere ad un attento e minuzioso esame delle strutture</p> |
|---|--|

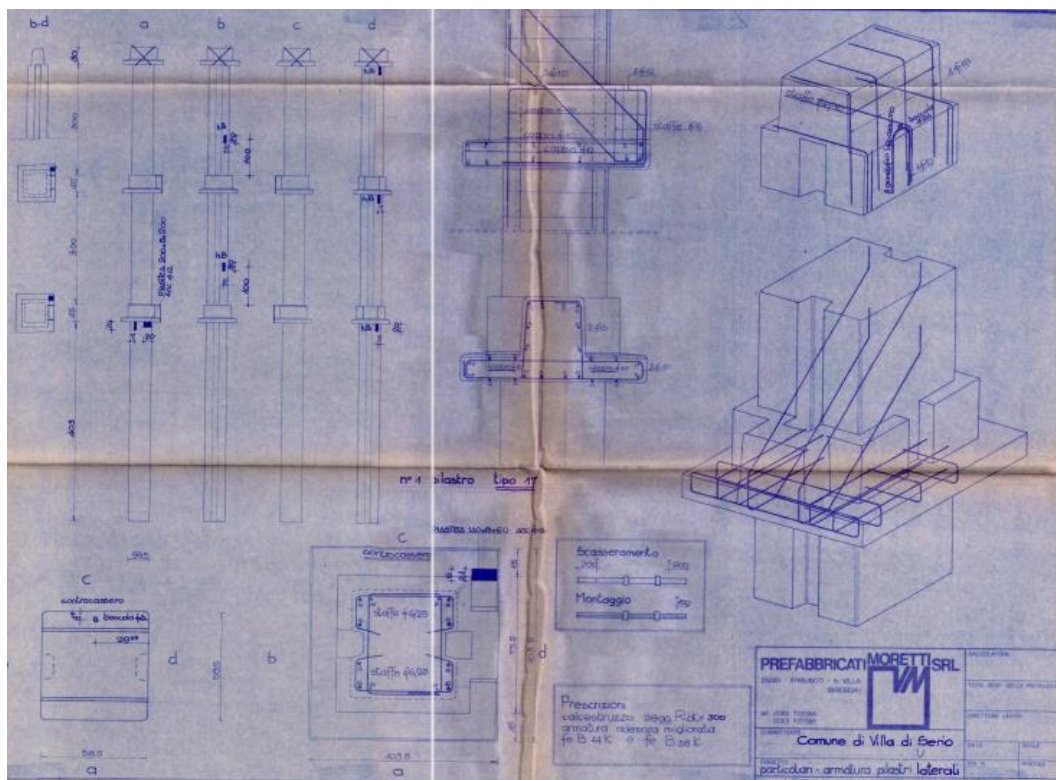
Verbale di visita e collaudo



Tavole originali: sezioni



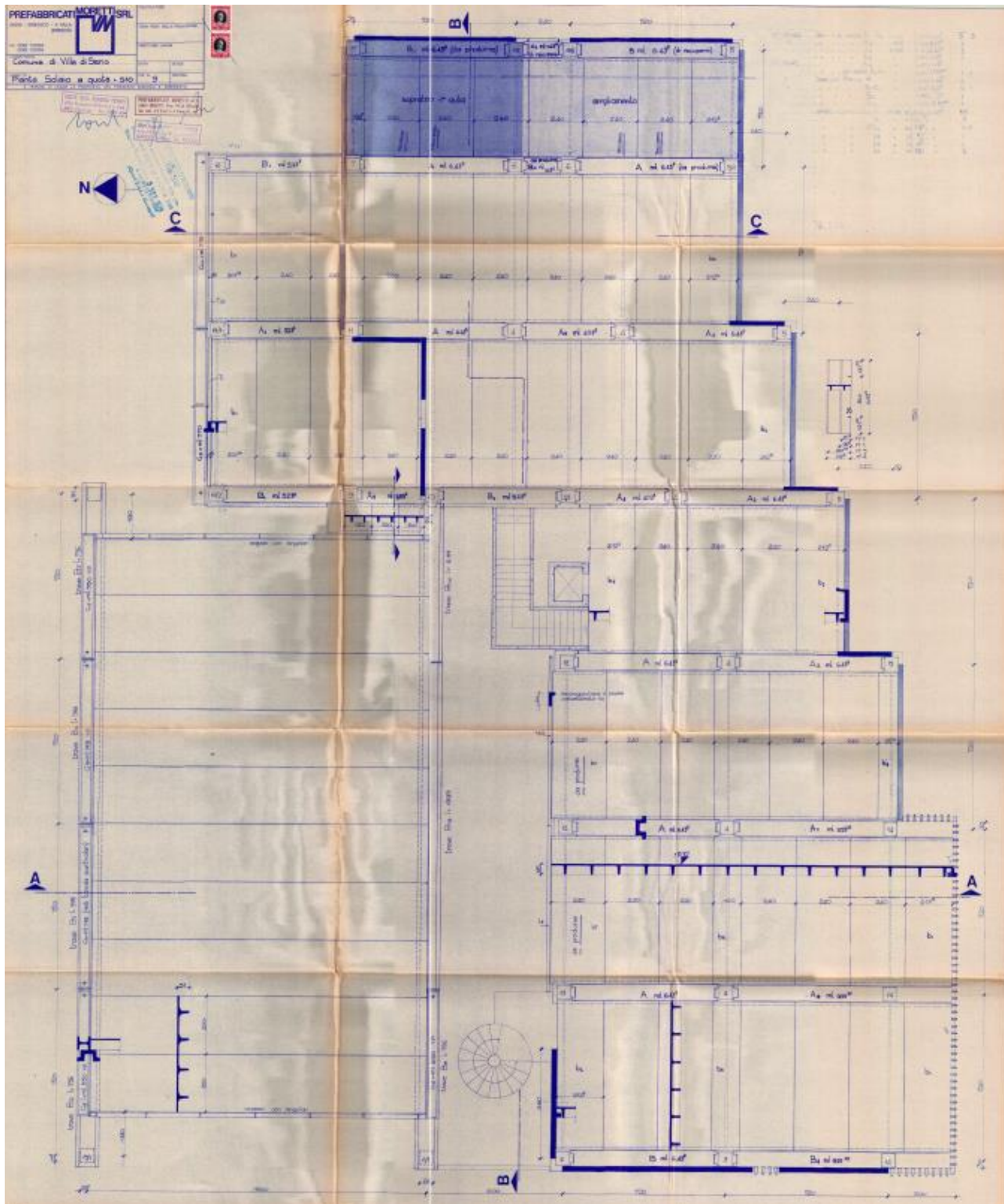
Tavole originali: prospetti



Tavole originali: pilastri prefabbricati

[illegible]

22



Tavole originali: pianta



M.C.Z. INGEGNERIA s.r.l.
Via Don Luigi Palazzolo, 9
24020 - Torre Boldone (Bg)
Tel. 035 36.29.51
Fax 035 80.31.421
e-mail info@mczingeria.it

M.C.Z. Ingegneria S.r.l.

RELAZIONE DESCRITTIVA OPERE ARCHITETTONICHE
E IMPIANTISTICHE

SOMMARIO

| | | |
|-------------|---|----|
| Capitolo 1 | DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DA REALIZZARE | 3 |
| Capitolo 2 | DESCRIZIONE DEL LUOGO DELL'INTERVENTO | 4 |
| Capitolo 3 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO | 5 |
| Capitolo 4 | DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI | 7 |
| Paragrafo 1 | SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI ESTERNI | 7 |
| Paragrafo 2 | Adeguamento Antincendio secondo il DM 26/08/92 | 14 |
| Paragrafo 3 | Adeguamento Impianto Elettrico di Sicurezza | 24 |
| Paragrafo 4 | Impianto di Riscaldamento e Condizionamento Segreteria e Presidenza | 25 |

Committente
COMUNE DI VILLA DI SERIO
Via Papa Giovanni XXIII, 60
Villa di Serio (BG)

Oggetto
**RIQUALIFICAZIONE E ADEGUAMENTO
NORMATIVO SCUOLA SECONDARIA DI
PRIMO GRADO COMUNE DI VILLA DI SERIO**
Via Dosie n. 6 – Villa di Serio (BG)

RELAZIONE DESCRITTIVA OPERE ARCHITETTONICHE E IMPIANTISTICHE RELAZIONE GENERALE

Il tecnico
Ing. Enrico Zambonelli

Torre Boldone, li 20 ottobre 2014

Tipo documento **Esecutivo**
Documento n° **RE ARC 01**
Commessa n° **14042**

pagina
di **1**
25

Non è permesso consegnare a terzi o riprodurre questo documento né, utilizzare il contenuto o renderlo comunque noto a terzi senza la nostra autorizzazione esplicita. Ogni infrazione comporta il risarcimento dei danni subiti. È fatta riserva di tutti i diritti derivanti da brevetti o modelli.

Documento n° **RE ARC 01**
Commessa n° **14042**

pagina
di **2**
25

Relazione generale descrittiva delle opere architettoniche

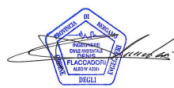


Comune di Villa di Serio
Provincia di BERGAMO

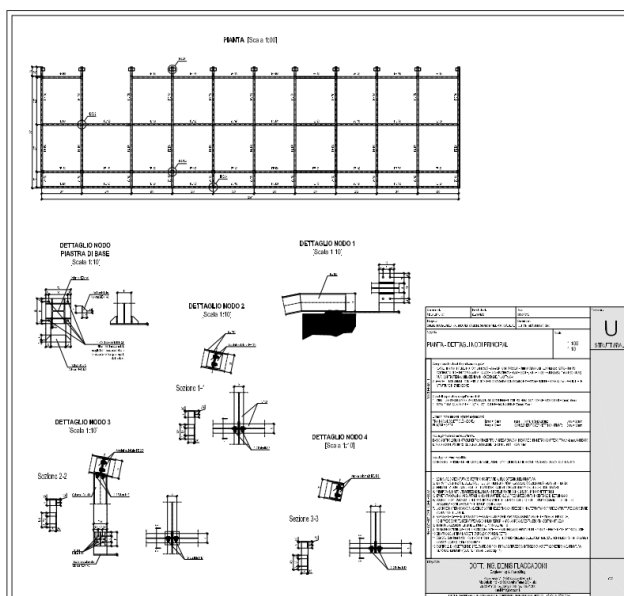
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

Committente:
Bettini Giovanni & C. s.n.c. – Via San Lorenzo in Cavallas – 24060 Casazza (BG)

Oggetto:
Dimensionamento struttura portante nuovo lucernario



dr. ing. Denis Faccadori
SEDE: via Garibaldi 21 - 24090 Giovanni Terme (Bg) - L'ESPRESSO, piazza Pirelli 1 - 24090 Casazza (Bg)
cell. 3382781978 - tel/fax 035 812130
info@faccadori.it - denis.faccadori@trasparco.it



Progetto esecutivo della nuova copertura metallica

Regione
Lombardia

ATESTATO DI
PRESTAZIONE ENERGETICA

Dati proprietario

Nome e cognome -
Regione sottosesto - Comune di Villa di Serio
Indirizzo - Via Papa Giovanni XXIII
N. civico 66
Comune VILLA DI SERIO
Provincia BERGAMO
C.A.P. 24026
Codice fiscale / Partita IVA 00972680169
Telefono 035654642

Catasto Energetico Edifici Regionali

Codice identificativo 16340 - 000069 / 15
Registrato il 29/09/2015
Valido fino al 29/09/2025

Dati Soggetto certificatore

Nome e cognome Veronica Piccoli
Numero di accreditamento 21578

Dati catastali

| Comune catastale | VILLA DI SERIO | | | | Sezione | Foglio | 7 | Particella | 763 |
|------------------|----------------|---|----|---|---------|--------|----|------------|-----|
| Subalterri | da | a | da | a | da | a | da | a | a |
| 5 | | | | | | | | | |

Dati edificio

Provincia BERGAMO
Comune VILLA DI SERIO
Indirizzo VIA DOSIE, 6
Periodo di attivazione dell'impianto 15 ottobre - 15 aprile
Grad. giorno 2460[60]
Categorie dell'edificio E 7
Anno di costruzione 1977-1992
Superficie utile 2860.78 [m²]
Superficie dipendente (S) 4112.71 [m²]
Volume lordo riscaldato (V) 13865.09 [m³]
Rapporto SV 0.36 [m²]
Progettista architettonico N.D.
Progettista impiantistico N.D.
Costruttore N.D.

Mappa

Classe energetica - EP_a Zona climatica E

60.42 kWh/m²

Atto edilizio

Valore limite del fabbisogno per la climatizzazione invernale:

14.28 [kWh/m²]

Classe energetica - ET_a

9.91 kWh/m²

Richiesta rilascio carta energetica

Il Secondo quanto sancito al punto 11 della DGR VIII/015 e s.m.i., si richiede, all'Organismo di accreditamento, il rilascio della carta

Emissioni di gas ad effetto serra in atmosfera - CO_{2e}

12.97 [kg/m²]

Infrastrutture
Lombardo

GENERED
Energy Generation and
Renewable Energy

www.cenest.it

Pagina 10

25

Provincia di Bergamo
Comune di Villa di Serio

**REALIZZAZIONE NUOVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO
DELLA POTENZA DI 57,375 kWp DA INSTALLARE SULLA COPERTURA DELLA
SCUOLA MEDIA IN VIA DESIO, 6.**

**PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE DESCRITTIVA E TECNICO-SPECIALISTICA**

| | |
|--|----------|
| 1. Premesse e normativa di riferimento..... | 1 |
| 1.1 Normativa di riferimento..... | 1 |
| 2. Il progetto..... | 3 |
| 2.1 Dimensionamento prestazioni e garanzie..... | 5 |
| 2.2 Radiazione solare..... | 6 |
| 2.3 Il gruppo di conversione..... | 10 |
| 2.4 Quadri Elettrici..... | 11 |
| 2.5 Impianto di messa a terra..... | 11 |

1. Premesse e normativa di riferimento

Il presente progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico connesso in rete della potenza di 57,375 kWp installato sulla copertura della scuola media di Villa di Serio in via Desio, 6.

Prima di illustrare le caratteristiche dell'impianto, ritengo utile riportare la normativa e le leggi di riferimento adoperate per la progettazione e una breve descrizione degli impianti solari fotovoltaici.

1.1 Normativa di riferimento

- norme CEI/IEC per la parte elettrica convenzionale;
- norme CEI/IEC e/o JRC/ESTI per i moduli fotovoltaici; in particolare, la CEI EN 61215 per moduli al silicio cristallino e la CEI EN 61646 per moduli a film sottile;
- conformità al marchio CE per i moduli fotovoltaici e per il convertitore c.a./c.a.;
- UNI 10349, o Atlante Europeo della Radiazione Solare, per il dimensionamento del campo fotovoltaico;

- UNI/ISO per le strutture meccaniche di supporto e di ancoraggio dei moduli fotovoltaici.

Si richiamano, inoltre, le norme EN 60439-1 e IEC 439 per quanto riguarda i quadri elettrici, le norme CEI 110-31 e le CEI 110-28 per il contenuto di armoniche e i disturbi indotti sulla rete dal convertitore c.a./c.a., le norme CEI 110-1, le CEI 110-6 e le CEI 110-8 per la compatibilità elettromagnetica (EMC) e la limitazione delle emissioni in RF.

Circa la sicurezza e la prevenzione degli infortuni, si ricorda:

- il DPR 547/55 e il D.Lgs. 626/94 e successive modificazioni e integrazioni, per la sicurezza e la prevenzione degli infortuni sul lavoro;
- la legge 46/90 e DPR 447/91 (regolamento di attuazione della legge 46/90) e successive modificazioni e integrazioni, per la sicurezza elettrica.

Si richiamano inoltre:

- D. lgs. 19/02/2007: "Criteri e modalità per incentivare la produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare, in attuazione dell'art. 7 del D. lgs. 29/12/2003, n. 387";
- D.lgs. 387 del 29 Dicembre 2003: "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità"

- D. lgs.152 del 03/04/2006 "Norme in materia ambientale"
- D.lgs. 4/2008 "Correzioni al T.U. ambientale".

1.2 Definizioni

| | |
|-------------------------------|---|
| Generatore Fotovoltaico | Suddiviso in sezioni elettriche, provvede alla trasformazione dell'energia solare direttamente in energia elettrica in corrente continua. Il generatore fotovoltaico è costituito da più moduli ed è installato su strutture di sostegno le cui geometrie consente alla superficie captante un'esposizione inclinata in direzione Sud che deve essere ottimizzata per raccogliere la massima quantità di energia nel corso dell'anno. |
| Sistema elettrico in continua | È il sistema elettrico dedicato alla sezione in corrente continua dell'impianto e comprende una serie di quadri elettrici che provvedono all'interconnessione elettrica ed alla protezione |

Progetto definitivo impianto fotovoltaico



MCZ INGEGNERIA s.r.l.
Via Don Luigi Palazzolo, 9
24020 - Torre Boldone (Bg)
Tel. 035 36.29.51
Fax 035 22.83.802
e-mail info@mczingeria.it

Committente
COMUNE DI VILLA DI SERIO
VIA PAPA GIOVANNI XXIII, 60 - VILLA DI SERIO (BG)

Oggetto
IMPIANTO ELETTRICO SCUOLA MEDIA
Via Dosie - Villa di Serio (BG)

RELAZIONE TECNICA IMPIANTO ELETTRICO

Torre Boldone, 09 gennaio 2017

Tipo documento **Esecutivo**
Documento n° **RE ELE 01**
Commessa n° **16082**
pagina di **1**
14

Non è permesso consegnare a terzi o riprodurre questo documento né, utilizzare il contenuto o renderlo comunque noto a terzi senza la nostra autorizzazione esplicita. Ogni infrazione comporta il risarcimento dei danni subiti. È fatta riserva di tutti i diritti derivanti da brevetti o modelli.

MCZ Ingegneria S.r.l.

RELAZIONE TECNICA IMPIANTO ELETTRICO

SOMMARIO

| | |
|---|----------|
| SOMMARIO..... | 2 |
| Capitolo 1 RELAZIONE TECNICA SULLA CONSISTENZA E TIPOLOGIA | |
| DELL'IMPIANTO ELETTRICO..... | 3 |
| Paragrafo 1 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO IN OGGETTO..... | 3 |
| Paragrafo 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO..... | 4 |
| Paragrafo 3 SICUREZZA, FLESSIBILITA' E MANUTENZIONE | |
| IMPIANTO..... | 6 |
| Paragrafo 4 PROTEZIONE CONTRO I CONTATTI INDIRETTI..... | 6 |
| Paragrafo 5 IMPIANTO DI TERRA..... | 7 |
| 1 Dispensore..... | 7 |
| 2 Conduttore di terra - collettore di terra..... | 8 |
| 3 Conduttori di protezione..... | 8 |
| 4 Conduttore equipotenziale..... | 8 |
| 5 Giunzioni..... | 9 |
| 6 Verifiche e misure dell'impianto di terra..... | 9 |
| Paragrafo 6 PROTEZIONE CONTRO LE CORRENTI DI CORTO | |
| CIRCUITO..... | 10 |
| Paragrafo 7 PROTEZIONE CONTRO LE CORRENTI DI | |
| SOVRACCARICO..... | 11 |
| Paragrafo 8 TIPOLOGIA DEGLI IMPIANTI E DEI COMPONENTI..... | 12 |
| 1 Tubazioni..... | 12 |
| 2 Scatole di derivazione e rompitratta..... | 13 |
| Paragrafo 9 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO..... | 13 |
| Paragrafo 10 DOCUMENTI COSTITUENTI IL PROGETTO..... | 14 |

Documento n° **RE ELE 01**
Commessa n° **16082**
pagina di **2**
14

Relazione tecnica dell'impianto elettrico



Firenze, lì 12.11.2018

SICURING srl
Il Direttore tecnico
Ing. Carlo La Ferla



SICURING s.r.l. - via Pietro Toselli n°131 - 50144 Firenze - c.f. e p. I.V.A. 05423200463
tel.: 055/367177 - fax: 055/3274821 - mail: info@sicuring.it
capitale sociale interamente versato 10.000,00 €



Firenze, lì 12.11.2018

SICURING srl
Il Direttore tecnico
Ing. Carlo La Ferla



SICURING s.r.l. - via Pietro Toselli n°131 - 50144 Firenze - c.f. e p. I.V.A. 05423200463
tel.: 055/367177 - fax: 055/3274821 - mail: info@sicuring.it
capitale sociale interamente versato 10.000,00 €



Campagne di indagini e relazione di vulnerabilità sismica

Tra gli interventi più importanti subiti dalla struttura nel corso del tempo dopo la sua edificazione, si riportano:

- Messa in opera, nel 2009, di nuovo impianto fotovoltaico in copertura su una superficie di 880 m² (pari a circa il 75% del totale della copertura) costituito da un totale di 255 pannelli con una potenza elettrica nominale di picco pari a 57,375 kWp
- Demolizione della copertura in vetro e della struttura metallica di sostegno posta sopra l'atrio e successiva sostituzione della stessa con una copertura inclinata composta da un pannello metallico coibentato inserito all'interno di una speciale struttura portante metallica, in data 2014.

Non risultano ulteriori interventi significativi sulla struttura in esame (si citano comunque a riguardo sia un intervento volto alla sostituzione degli infissi, sia l'inserimento di un lucernario)

Il progetto della scuola in esame è stato redatto dall'impresa I.C.E. s.p.a., in particolare dal Dott. Ing. Sergio Tonti, e depositato al Ministero dei LL.PP. in data 28/05/1973 (n.11037), con denuncia delle opere in conglomerato cementizio a cura della ditta Prefabbricati Moretti s.r.l. in data 31/08/1978, ed approvazione al Genio Civile in data 05/09/1978.

| Figure per progettazione strutturale | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Proprietà | Comune di Villa di Serio |
| Progettista opere in c.a. | Ing. Sergio Tonti |
| Direttore dei lavori | Ing. Angelo Salvoni |
| Esecutore delle opere | Prefabbricati Moretti s.r.l. |
| Collaudatore | Ing. Giuseppe Toscani (10/09/1979) |

Indagini eseguite sui materiali e Fattori di confidenza

Per le **COSTRUZIONI IN C.A.** i livelli di conoscenza coinvolgono tre aspetti:

- a) **Geometria (carpenteria):** *Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione, oppure rilievo ex-novo completo*
- b) **Dettagli strutturali:**
 - LC1: *Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e LIMITATE (15% elementi) verifiche in situ*
 - LC2: *Disegni costruttivi incompleti con LIMITATE (15% elementi) verifiche in situ; oppure ESTESE (35% elementi) verifiche in situ*
 - LC3: *Disegni costruttivi completi con LIMITATE verifiche in situ (15% elementi) oppure ESAUSTIVE verifiche in situ (50% elementi)*

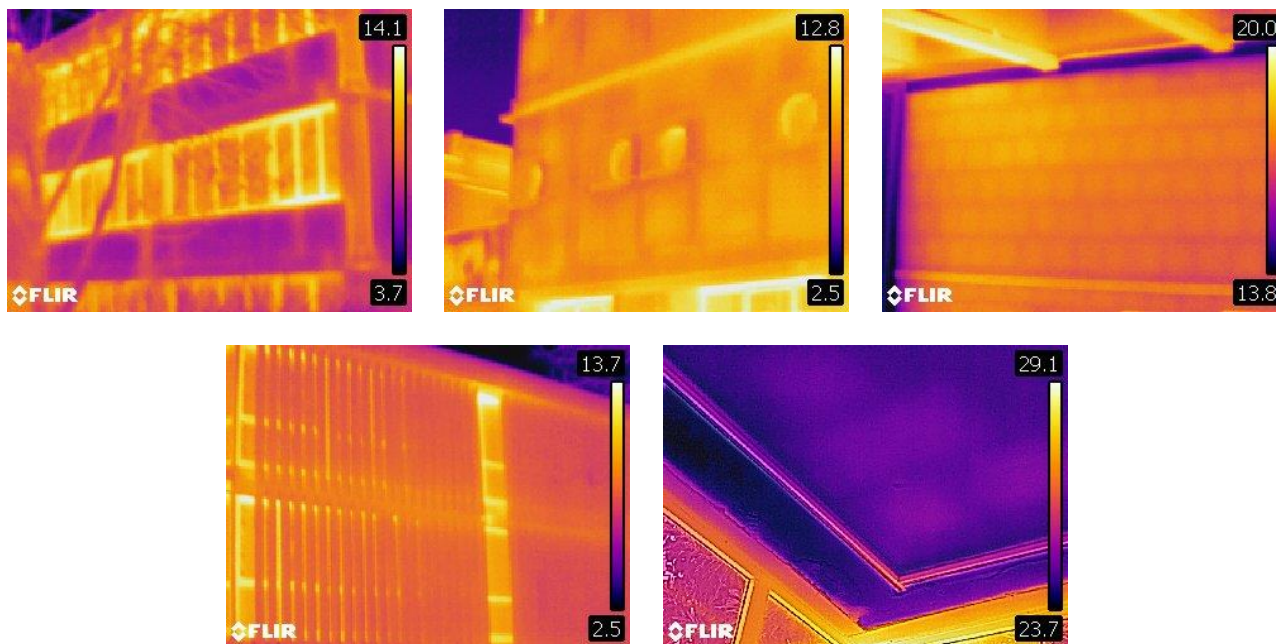
Si terrà conto delle situazioni ripetitive (riducendo la percentuale indagata).
- c) **Proprietà dei materiali:**
 - LC1: *valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca con LIMITATE prove in situ;*
 - LC2: *Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali con LIMITATE prove in situ; oppure ESTESE prove in situ*
 - LC3: *Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto con ESTESE prove in situ; oppure ESAUSTIVE prove in situ*

Per prove LIMITATE sul cls. la circolare indica 1 provino/300 mq di piano, per prove ESTESE sul cls. la circolare indica 2 provini/300 mq di piano, per prove ESAUSTIVE sul cls. la circolare indica 3 provini/300 mq di piano.

La suddetta definizione orientativa dei livelli di rilievo è contenuta nella Tabella C8A.1.3A e nelle relative note esplicative. In particolare, si deve tenere in conto delle situazioni ripetitive ed è possibile sostituire alcune prove distruttive (non più del 50%) con un numero almeno triplo di prove non distruttive.

GEOMETRIA

Nel corso dei vari sopralluoghi effettuati presso la struttura oggetto di studio, eseguiti in data 20-21 febbraio 2023 e 13-14 aprile 2023, è stata verificata in situ l'effettiva corrispondenza tra stato attuale e tavole di progetto originali per quanto riguarda la geometria degli elementi strutturali in c.a. prefabbricati. È stato quindi eseguito un esame visivo a campione sia a livello locale che globale, oltre ad una analisi termografica che ha permesso di studiare compiutamente le caratteristiche dei pannelli di tamponatura perimetrali e di ulteriori elementi secondari, quali frangisole e parapetti. Sono di seguito riportate alcune immagini termografiche ottenute dalle indagini svolte.



Indagini termografiche su elementi secondari (effettuate in data 21/02/2023)

SAGGI ed INDAGINI SPEDITIVE (DETTAGLI COSTRUTTIVI)

Sono stati eseguiti, in data 13-14 aprile 2023, un totale di n.6 saggi a pavimento per indagare integralmente i pacchetti architettonici presenti all'estradosso dei vari solai prefabbricati strutturali, i quali hanno permesso un calcolo esaustivo volto all'ottenimento dei carichi gravanti sui vari orizzontamenti da utilizzare in fase di calcolo. Si riportano le immagini catturate durante le varie fasi di studio. Per la localizzazione degli stessi, si rimanda alle tavole progettuali allegate.



Saggio SP01: solaio di calpestio piano interrato

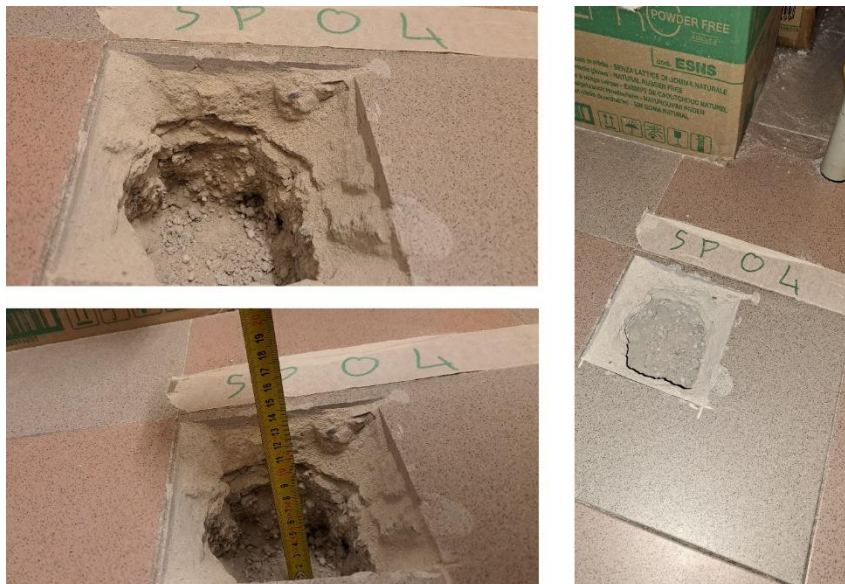


Saggio SP02: solaio di calpestio piano rialzato



Saggio SP03: solaio di calpestio piano rialzato

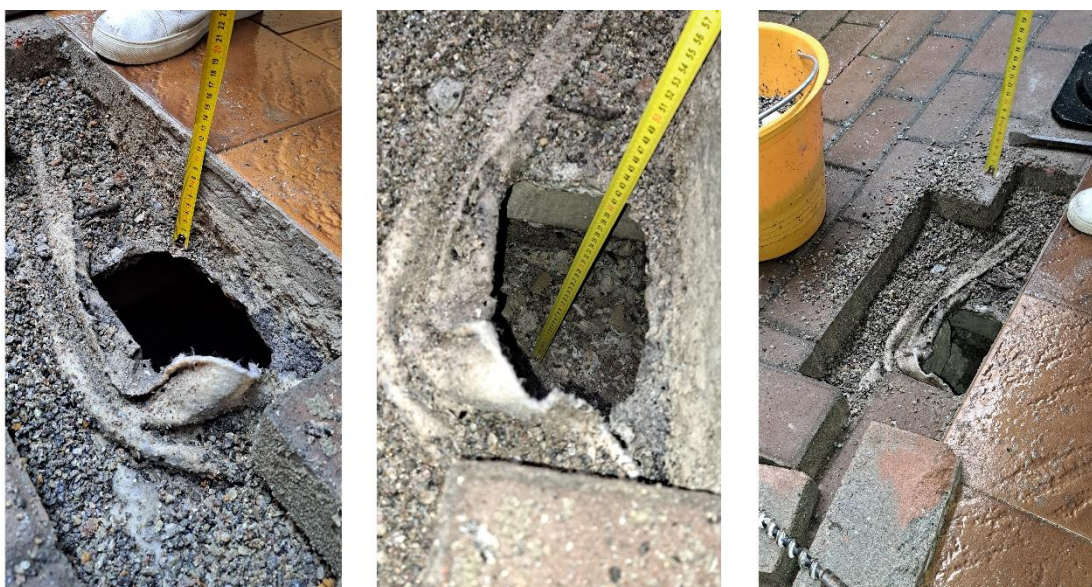




Saggio **SP04**: solaio di calpestio piano primo



Saggio **SP05**: solaio di copertura piano primo



Saggio **SP06**: solaio di calpestio piano interrato

Per quanto riguarda le indagini volte al riscontro delle armature presenti all'interno degli elementi strutturali portanti, abbiamo fatto riferimento ai risultati ottenuti durante lo studio di vulnerabilità sismica effettuato dalla ditta Sicuring s.r.l.: in particolare, sono state considerati i risultati ottenuti attraverso *indagini pacometriche* (sviluppate nei confronti dei pilastri prefabbricati), attraverso *indagini radar* (effettuate su pilastri, travi e setti) e attraverso *saggi distruttivi* (in particolare, rimozioni di copriferro sui pilastri e successiva misurazione dei diametri dei ferri di armatura attraverso un calibro elettronico). La combinazione di queste tipologie di indagine ha permesso, in fase di redazione dello studio di vulnerabilità, di confermare quanto letto sulla documentazione tecnica originale: da parte nostra, è stato deciso di confermare i risultati ottenuti da tali indagini. Per informazioni più dettagliate, si rimanda alla documentazione consegnata nello studio di vulnerabilità (documento intitolato "*Sintesi conoscitiva e piano di indagini*" redatto da Sicuring s.r.l.).

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

Circa le resistenze dei materiali adottate nella modellazione strutturale, ci siamo riferiti sia ai valori forniti all'interno degli elaborati di progetto originali, sia soprattutto ai risultati ottenuti dalle prove di schiacciamento su carote in calcestruzzo riportati nelle indagini distruttive effettuate, per conto di Sicuring s.r.l., per lo studio di vulnerabilità sismica. Nel paragrafo successivo vengono esposti e giustificati i procedimenti seguiti che hanno portato alla definizione delle resistenze meccaniche da noi utilizzate nel calcolo della struttura.

RESISTENZA MECCANICA DEL CALCESTRUZZO

Durante la campagna di indagini redatta da Sicuring s.r.l. nello studio di vulnerabilità, si è appurato che le resistenze meccaniche affidate nel calcolo al calcestruzzo esistente degli elementi prefabbricati sono state ricavate da un totale di n.5 carotaggi effettuati sui pilastri dell'edificio. In generale, i carotaggi vengono effettuati sugli elementi più facilmente indagabili, tenuto conto delle esigenze della struttura indagata; successivamente gli elementi indagati sono stati ripristinati mediante malte cementizie premiscelate, tixotropiche polimero compensate, a cura del Laboratorio Autorizzato che ha eseguito i prelievi (per le modalità di esecuzione della prova di carotaggio si vedano le relazioni tecniche fornite dai Laboratori, presenti nella relazione di vulnerabilità presentata da Sicuring s.r.l.).

Attraverso la lettura della relazione di vulnerabilità sismica, si è constatato che è stato assunto un livello di conoscenza pari a L.C.3 a fronte di soli n.5 carotaggi: basandoci sulle direttive contenute nella tabella C8.5.V delle NTC2018, si nota subito come le prove effettuate sui materiali risultino decisamente inferiori a quelle richieste per l'ottenimento di tale livello di conoscenza (come evidenziato in rosso in tabella).

Tabella C8.5.IV – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti metodi di analisi ammessi e valori dei fattori di confidenza, per edifici in calcestruzzo armato o in acciaio

| Livello di conoscenza | Geometrie (carpenterie) | Dettagli strutturali | Proprietà dei materiali | Metodi di analisi | FC (*) |
|-----------------------|--|---|--|------------------------------------|--------|
| LC1 | | Progetto simulato in accordo alle norme dell'epoca e <i>indagini limitate</i> in situ | Valori usuali per la pratica costruttiva dell'epoca e <i>prove limitate</i> in situ | Analisi lineare statica o dinamica | 1,35 |
| LC2 | Da disegni di carpenteria originali con rilievo visivo a campione; in alternativa rilievo completo ex-novo | Elaborati progettuali incompleti con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini estese</i> in situ | Dalle specifiche originali di progetto o dai certificati di prova originali, con <i>prove limitate</i> in situ; in alternativa da <i>prove estese</i> in situ | Tutti | 1,20 |
| LC3 | | Elaborati progettuali completi con <i>indagini limitate</i> in situ; in alternativa <i>indagini esaustive</i> in situ | Dai certificati di prova originali o dalle specifiche originali di progetto, con <i>prove estese</i> in situ; in alternativa da <i>prove esaustive</i> in situ | Tutti | 1,00 |

(*) A meno delle ulteriori precisazioni già fornite nel § C8.5.4.

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 |

Attraverso un calcolo preliminare circa la superficie in pianta della struttura, la normativa fornisce il valore orientativo di n.12 carotaggi totali da effettuarsi per il raggiungimento di un livello di conoscenza pari a L.C.2; sottraendovi le n.5 prove già effettuate, rimangono così da svolgere un totale di n.7 prelievi di provini di cls (tenendo conto delle situazioni ripetitive negli elementi strutturali): si decide, così come consentito dalle NTC, di sostituire tali prove distruttive mancanti con almeno il triplo di prove di tipo non distruttivo, con opportuna taratura su quelle distruttive. Quindi, al posto di n.7 carotaggi si è preferito procedere con lo svolgimento di n.21 SonReb (+n.3 prove per correlazione), in modo tale da attestarsi su un livello di conoscenza **L.C.2**.

Si riporta adesso lo studio delle prove eseguite che ha portato alla caratterizzazione del materiale calcestruzzo.

Risultati prove sul calcestruzzo

Durante la campagna indagini eseguita nel mese di luglio 2018 da Sicuring s.r.l. di Pistoia e dal laboratorio IGETECMA s.n.c di Montelupo Fiorentino (FI), sono state eseguite n.5 carotaggi con prova di schiacciamento sul provino prelevato. Si riportano nella seguente tabella, i risultati delle **prove di schiacciamento** (si sottolinea che, avendo i provini un rapporto h/d=2, il valore di resistenza R_m rappresenta la resistenza cilindrica): questi valori sono poi corretti attraverso una interpolazione lineare con i coefficienti dei fattori di disturbo come indicato nel paragrafo C11.2.6 della circolare delle NTC18, ottenendo i valori finali di resistenza R_m .

| num | f.core | d | h | h/d | Fd | fm | Rm |
|-----------------|--------|------|-------|-----|--------|-------|-------|
| C1 | 34.07 | 75.0 | 149.0 | 2.0 | 1.0437 | 35.56 | 42.84 |
| C2 | 27.28 | 75.0 | 149.5 | 2.0 | 1.0709 | 29.21 | 35.20 |
| C3 | 41.72 | 75.0 | 150.0 | 2.0 | 1.0000 | 41.72 | 50.27 |
| C4 | 37.46 | 75.0 | 150.0 | 2.0 | 1.0203 | 38.22 | 46.05 |
| C5 | 37.80 | 75.0 | 150.0 | 2.0 | 1.0176 | 38.47 | 46.34 |
| N/mm2 mm mm - - | | | | | | 36.64 | 44.14 |
| | | | | | | N/mm2 | N/mm2 |

MEDIA

Tabella del fattore di disturbo in funzione della resistenza a compressione delle carote (h/d=1; d=100 mm)

| f_{carota} [N/mm ²] | 10 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| F_d | 1.10 | 1.09 | 1.08 | 1.06 | 1.04 | 1.00 |

Resistenza del cls ottenuta tramite prove di schiacciamento

| MEDIA CAROTAGGI | | |
|-----------------|-------|-------|
| Rm | 44.14 | N/mm2 |

Si riportano adesso le tabelle contenenti i risultati delle **prove sclerometriche e soniche**, effettuate da B.F. Progetti durante il sopralluogo in data 13-14 aprile 2023, necessarie per il raggiungimento del livello di conoscenza desiderato. Sono state eseguite dodici battute sclerometriche per ogni faccia dell'elemento indagato, su cui successivamente è eseguita la prova sonica. Quindi, viene eseguita la media delle battute sclerometriche escludendone il minimo ed il massimo. Per ogni prova, si determina così l'indice di rimbalzo sclerometrico (nominato I o S a seconda delle formule in letteratura).

La prova sonica consiste nel rilevare tre valori del tempo impiegato dall'impulso ad attraversare l'elemento indagato e conoscendone lo spessore determinare la velocità per ogni prova (V).

Quindi è stato possibile determinare la resistenza media R_m mediante le seguenti formule di letteratura.

$$R_c = 7,695 \cdot 10^{-11} S^{1,4} V^{2,6} \text{ - Giacchetti - Lacquaniti (1980)}$$

$$R_c = 2,756 \cdot 10^{-10} S^{1,311} V^{2,487} \text{ - Bocca - Cianfrone (1983)}$$

$$R_c = 8,06 \cdot 10^{-8} S^{1,246} V^{1,85} \text{ - Gasparik (1992)}$$

$$R_c = 1,20 \cdot 10^{-9} S^{1,058} V^{2,446} \text{ - Deleo - Pascale (1994)}$$

dove la velocità V è espressa in m/s ed R_c è la resistenza cubica del calcestruzzo.

Si riportano adesso i valori mediati delle battute sclerometriche e delle velocità ottenute da prove soniche.

| 12 BATTUTE SCLEROMETRICHE PER FACCIA DELL'ELEMENTO INDAGATO | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----------------|
| NUMERO ELEMENTO | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | MEDIA SERIE | MEDIA PROVA |
| n. | | | | | | | | | | | | | | | |
| SB | 1 | 50 | 50 | 50 | 48 | 42 | 48 | 38 | 38 | 50 | 50 | 46 | 44 | 46.6 | 50.4 |
| | | 50 | 54 | 54 | 56 | 56 | 54 | 56 | 56 | 54 | 52 | 52 | 54 | 54.2 | |
| SB | 2 | 54 | 50 | 50 | 46 | 54 | 56 | 56 | 54 | 54 | 56 | 54 | 52 | 53.4 | 55.8 |
| | | 52 | 58 | 58 | 60 | 60 | 62 | 62 | 60 | 54 | 56 | 56 | 58 | 58.2 | |
| SB | 3 | 60 | 62 | 62 | 64 | 60 | 58 | 60 | 58 | 60 | 58 | 52 | 58 | 59.6 | 52.1 |
| | | 44 | 44 | 42 | 48 | 44 | 42 | 42 | 42 | 48 | 46 | 46 | 48 | 44.6 | |
| SB | 4 | 52 | 48 | 54 | 62 | 64 | 62 | 62 | 62 | 64 | 62 | 62 | 62 | 60.4 | 56.2 |
| | | 50 | 52 | 52 | 56 | 48 | 50 | 54 | 52 | 52 | 50 | 52 | 56 | 52 | |
| SB | 5 | 56 | 58 | 58 | 58 | 58 | 52 | 56 | 58 | 50 | 56 | 54 | 60 | 56.4 | 51.9 |
| | | 44 | 50 | 54 | 46 | 46 | 58 | 42 | 48 | 46 | 48 | 50 | 42 | 47.4 | |
| SB | 6 | 52 | 52 | 50 | 48 | 50 | 50 | 52 | 52 | 56 | 54 | 48 | 46 | 50.8 | 54.6 |
| | | 56 | 58 | 60 | 58 | 56 | 56 | 62 | 60 | 58 | 62 | 58 | 58 | 58.4 | |
| SB | 7 | 54 | 56 | 60 | 52 | 58 | 58 | 54 | 54 | 62 | 60 | 60 | 58 | 57.2 | 55.8 |
| | | 52 | 50 | 58 | 58 | 56 | 58 | 50 | 52 | 52 | 54 | 56 | 56 | 54.4 | |
| SB | 8 | 43 | 43 | 51 | 52 | 50 | 52 | 51 | 50 | 54 | 52 | 46 | 54 | 54 | 52.8 |
| | | 48 | 55 | 54 | 50 | 52 | 48 | 50 | 52 | 55 | 56 | 50 | 50 | 51.6 | |
| SB | 9 | 56 | 52 | 53 | 52 | 57 | 51 | 50 | 55 | 44 | 54 | 52 | 58 | 53.2 | 53.75 |
| | | 53 | 54 | 58 | 52 | 54 | 54 | 53 | 55 | 52 | 55 | 58 | 55 | 54.3 | |
| SB | 10 | 51 | 49 | 52 | 53 | 48 | 46 | 55 | 49 | 55 | 61 | 52 | 56 | 52 | 51.2 |
| | | 60 | 43 | 44 | 56 | 53 | 56 | 44 | 48 | 53 | 52 | 54 | 44 | 50.4 | |
| SB | 11 | 39 | 35 | 38 | 39 | 40 | 42 | 39 | 40 | 40 | 44 | 42 | 40 | 39.9 | 44.1 |
| | | 47 | 50 | 48 | 45 | 49 | 48 | 48 | 50 | 50 | 45 | 48 | 50 | 48.3 | |
| SB | 12 | 50 | 49 | 50 | 52 | 52 | 50 | 53 | 51 | 51 | 50 | 49 | 52 | 50.7 | 47.4 |
| | | 50 | 40 | 44 | 45 | 46 | 43 | 45 | 46 | 43 | 46 | 40 | 43 | 44.1 | |
| SB | 13 | 55 | 57 | 55 | 54 | 54 | 54 | 53 | 52 | 50 | 58 | 54 | 58 | 54.6 | 49.65 |
| | | 47 | 43 | 45 | 43 | 48 | 47 | 45 | 45 | 42 | 48 | 40 | 42 | 44.7 | |
| SB | 14 | 48 | 53 | 52 | 54 | 50 | 52 | 54 | 48 | 52 | 52 | 53 | 52 | 51.8 | 46.85 |
| | | 43 | 38 | 36 | 40 | 42 | 44 | 42 | 45 | 41 | 42 | 42 | 46 | 41.9 | |
| SB | 15 | 48 | 50 | 52 | 48 | 50 | 50 | 49 | 51 | 50 | 52 | 48 | 47 | 49.6 | 49.1 |
| | | 48 | 46 | 50 | 51 | 42 | 49 | 48 | 47 | 48 | 52 | 51 | 48 | 48.6 | |
| SB | 16 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 50 | 50 | 52 | 52 | 50 | 52 | 50 | 49.6 | 45.2 |
| | | 38 | 46 | 38 | 41 | 42 | 40 | 38 | 41 | 38 | 42 | 46 | 42 | 40.8 | |
| SB | 17 | 53 | 54 | 50 | 54 | 52 | 51 | 54 | 52 | 52 | 53 | 54 | 52 | 52.7 | 50.75 |
| | | 52 | 42 | 50 | 48 | 50 | 51 | 46 | 48 | 51 | 52 | 44 | 48 | 48.8 | |
| SB | 18 | 52 | 54 | 54 | 54 | 52 | 53 | 53 | 51 | 55 | 53 | 56 | 52 | 53.2 | 53.55 |
| | | 54 | 52 | 49 | 56 | 54 | 52 | 54 | 52 | 55 | 56 | 57 | 54 | 53.9 | |
| SB | 19 | 52 | 51 | 54 | 52 | 52 | 54 | 52 | 52 | 50 | 56 | 56 | 55 | 53 | 48.45 |
| | | 48 | 46 | 42 | 47 | 38 | 41 | 42 | 39 | 45 | 44 | 45 | 50 | 43.9 | |
| SB | 20 | 44 | 48 | 50 | 44 | 48 | 48 | 50 | 45 | 42 | 45 | 44 | 46 | 46.2 | 51.15 |
| | | 58 | 58 | 58 | 53 | 54 | 54 | 58 | 58 | 55 | 55 | 55 | 56 | 56.1 | |
| SB | 21 | 42 | 44 | 42 | 38 | 46 | 44 | 44 | 48 | 42 | 42 | 42 | 48 | 43.6 | 48.05 |
| | | 55 | 50 | 52 | 50 | 53 | 52 | 51 | 50 | 55 | 54 | 50 | 56 | 52.5 | |
| SB | 22 | 46 | 46 | 48 | 48 | 40 | 48 | 45 | 46 | 50 | 50 | 45 | 40 | 46.2 | 47.3 |
| | | 50 | 46 | 45 | 50 | 46 | 49 | 50 | 50 | 49 | 46 | 48 | 52 | 48.4 | |
| SB | 23 | 52 | 60 | 55 | 56 | 54 | 56 | 56 | 58 | 56 | 58 | 56 | 50 | 55.7 | 49.55 |
| | | 46 | 45 | 42 | 42 | 41 | 48 | 42 | 46 | 38 | 42 | 48 | 40 | 43.4 | |
| SB | 24 | 45 | 44 | 40 | 44 | 38 | 42 | 45 | 45 | 43 | 38 | 40 | 46 | 42.6 | 46.8 |
| | | 50 | 40 | 52 | 52 | 51 | 50 | 51 | 55 | 55 | 48 | 51 | 50 | 51 | |

Risultati prove sclerometriche

| 3 PROVE SONICHE PER ELEMENTO INDAGATO | | | | | | | | carote coincidenti con | |
|---------------------------------------|----|-------|-------|-------|-------|------------|-----------|------------------------|----------------------|
| NUMERO ELEMENTO | | 1 | 2 | 3 | MEDIA | DIST.SONDE | VELOCITA' | sigla | Rm |
| n. | | | | | μs | cm | m/s | | [N/mm ²] |
| SB | 1 | 145.0 | 146.1 | 143.3 | 144.8 | 58.5 | 4040.1 | | |
| SB | 2 | 138.9 | 138.6 | 139.2 | 138.9 | 58.5 | 4211.7 | | |
| SB | 3 | 116.3 | 131.4 | 114.0 | 120.6 | 51 | 4230.0 | P3 | 50.27 |
| SB | 4 | 135.9 | 135.8 | 136.3 | 136.0 | 58.5 | 4301.5 | | |
| SB | 5 | 146.0 | 142.7 | 142.5 | 143.7 | 58.5 | 4070.0 | | |
| SB | 6 | 144.1 | 140.5 | 142.5 | 142.4 | 58.5 | 4109.1 | | |
| SB | 7 | 146.2 | 146.6 | 147.0 | 146.6 | 58.5 | 3990.5 | P2 | 35.20 |
| SB | 8 | 123.1 | 118.8 | 118.3 | 120.1 | 51 | 4247.6 | P4 | 46.05 |
| SB | 9 | 126.4 | 129.8 | 126.4 | 127.5 | 51 | 3999.0 | | |
| SB | 10 | 120.5 | 122.1 | 122.5 | 121.7 | 51 | 4190.6 | P5 | 46.34 |
| SB | 11 | 149.2 | 150.9 | 151.0 | 150.4 | 58.5 | 3890.5 | | |
| SB | 12 | 143.2 | 143.1 | 141.1 | 142.5 | 58.5 | 4106.2 | | |
| SB | 13 | 138.2 | 146.6 | 136.6 | 140.5 | 58.5 | 4164.7 | | |
| SB | 14 | 145.3 | 154.1 | 156.0 | 151.8 | 58.5 | 3853.8 | | |
| SB | 15 | 142.3 | 144.5 | 138.6 | 141.8 | 58.5 | 4125.5 | | |
| SB | 16 | 144.4 | 145.6 | 144.4 | 144.8 | 58.5 | 4040.1 | | |
| SB | 17 | 136.8 | 138.8 | 138.3 | 138.0 | 58.5 | 4240.2 | | |
| SB | 18 | 143.0 | 133.4 | 135.4 | 137.3 | 58.5 | 4261.8 | | |
| SB | 19 | 143.7 | 148.7 | 142.4 | 144.9 | 58.5 | 4036.3 | | |
| SB | 20 | 144.1 | 147.5 | 146.0 | 145.9 | 58.5 | 4010.5 | | |
| SB | 21 | 144.4 | 145.8 | 144.0 | 144.7 | 58.5 | 4041.9 | | |
| SB | 22 | 151.6 | 145.4 | 145.8 | 147.6 | 58.5 | 3963.4 | | |
| SB | 23 | 147.3 | 143.8 | 144.2 | 145.1 | 58.5 | 4031.7 | | |
| SB | 24 | 148.3 | 144.9 | 150.6 | 147.9 | 58.5 | 3954.5 | | |

Risultati prove SonReb

Le formule di letteratura, come osservabile dalle seguenti immagini hanno fornito valori elevati di resistenza, non ben rappresentativi della situazione reale visto le indicazioni progettuali e quanto ottenuto dallo schiacciamento delle carote prelevate in sito. Per la correlazione si sono determinati i coefficienti a, b, c della formula generale:

$$R = a \cdot V^b \cdot I^c$$

| | |
|----------|---------------------|
| a | 1.18372E-09 |
| b | 3.590025825 |
| c | -1.405520617 |

Coefficienti a, b, c

Così facendo si riescono a tarare i risultati delle prove sclerometriche sull'edificio analizzato, piuttosto che con generiche formule di letteratura.

| | | formule sperimentali sonreb Rc [N/mm ²] | | | | | formula con taratura | |
|-----------------|----|---|--------------|-----------------|----------------|-------|-------------------------|-------|
| NUMERO ELEMENTO | | Giacchetti (1980) | Bocca (1983) | Gasparik (1992) | Pascale (1994) | media | Rc [N/mm ²] | piano |
| n. | | | | | | | | |
| SB | 1 | 44.28 | 43.78 | 50.05 | 50.30 | 47.10 | 42.41 | INT |
| SB | 2 | 56.90 | 55.48 | 61.36 | 62.02 | 58.94 | 42.68 | INT |
| SB | 3 | 52.27 | 51.26 | 56.79 | 58.29 | 54.65 | 47.74 | INT |
| SB | 4 | 60.71 | 59.02 | 64.37 | 65.80 | 62.47 | 45.58 | INT |
| SB | 5 | 47.03 | 46.34 | 52.62 | 52.83 | 49.71 | 41.79 | INT |
| SB | 6 | 51.76 | 50.71 | 57.06 | 57.06 | 54.15 | 40.28 | INT |
| SB | 7 | 49.45 | 48.51 | 55.53 | 54.35 | 51.96 | 35.16 | INT |
| SB | 8 | 53.84 | 52.71 | 58.18 | 59.73 | 56.11 | 47.56 | INT |
| SB | 9 | 47.18 | 46.44 | 53.21 | 52.51 | 49.84 | 37.35 | INT |
| SB | 10 | 49.79 | 48.95 | 54.61 | 55.94 | 52.32 | 47.31 | INT |
| SB | 11 | 33.30 | 33.46 | 39.52 | 39.82 | 36.52 | 44.69 | PT |
| SB | 12 | 42.39 | 42.06 | 47.78 | 49.05 | 45.32 | 49.01 | PT |
| SB | 13 | 46.93 | 46.29 | 51.96 | 53.33 | 49.63 | 48.31 | PT |
| SB | 14 | 35.36 | 35.37 | 41.87 | 41.48 | 38.52 | 39.67 | PT |
| SB | 15 | 45.08 | 44.56 | 50.36 | 51.50 | 47.87 | 47.43 | PT |
| SB | 16 | 38.02 | 37.95 | 43.70 | 44.83 | 41.12 | 49.42 | PT |
| SB | 17 | 50.70 | 49.82 | 55.20 | 57.03 | 53.19 | 49.96 | PT |
| SB | 18 | 55.39 | 54.13 | 59.58 | 61.12 | 57.56 | 47.18 | P1 |
| SB | 19 | 41.80 | 41.48 | 47.57 | 48.14 | 44.74 | 44.68 | P1 |
| SB | 20 | 44.35 | 43.83 | 50.29 | 50.18 | 47.16 | 40.46 | P1 |
| SB | 21 | 41.47 | 41.17 | 47.20 | 47.88 | 44.43 | 45.43 | P1 |
| SB | 22 | 38.55 | 38.41 | 44.63 | 44.88 | 41.62 | 43.29 | P1 |
| SB | 23 | 43.01 | 42.59 | 48.81 | 49.15 | 45.89 | 43.11 | P1 |
| SB | 24 | 37.76 | 37.66 | 43.86 | 44.13 | 40.85 | 43.58 | P1 |

Operazione di taratura delle prove sclerometriche e SonReb

| MEDIA SonReb TARATE | | |
|---------------------|-------|-------------------|
| Rm | 44.34 | N/mm ² |

Si osserva come i valori delle SonReb siano in linea con quelli ottenuti dalle carote. In modo del tutto cautelativo, si decide di considerare la resistenza ottenuta dalla media dei carotaggi, in quanto minore rispetto a quella ottenuta nella successiva fase di taratura. I valori di resistenza così ottenuti saranno poi divisi per il fattore di confidenza **F.C.=1,2**.

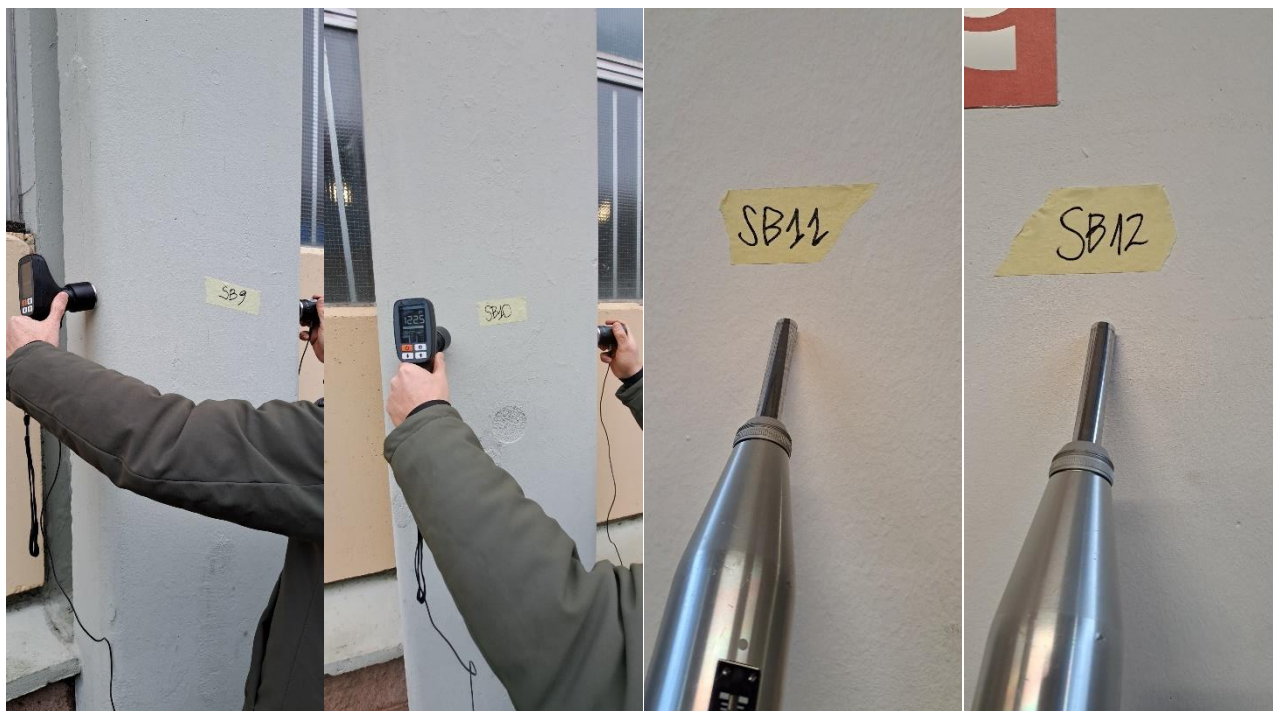
Si riportano le immagini rappresentanti le prove effettuate:



Report fotografico prove SonReb - Sclerometriche



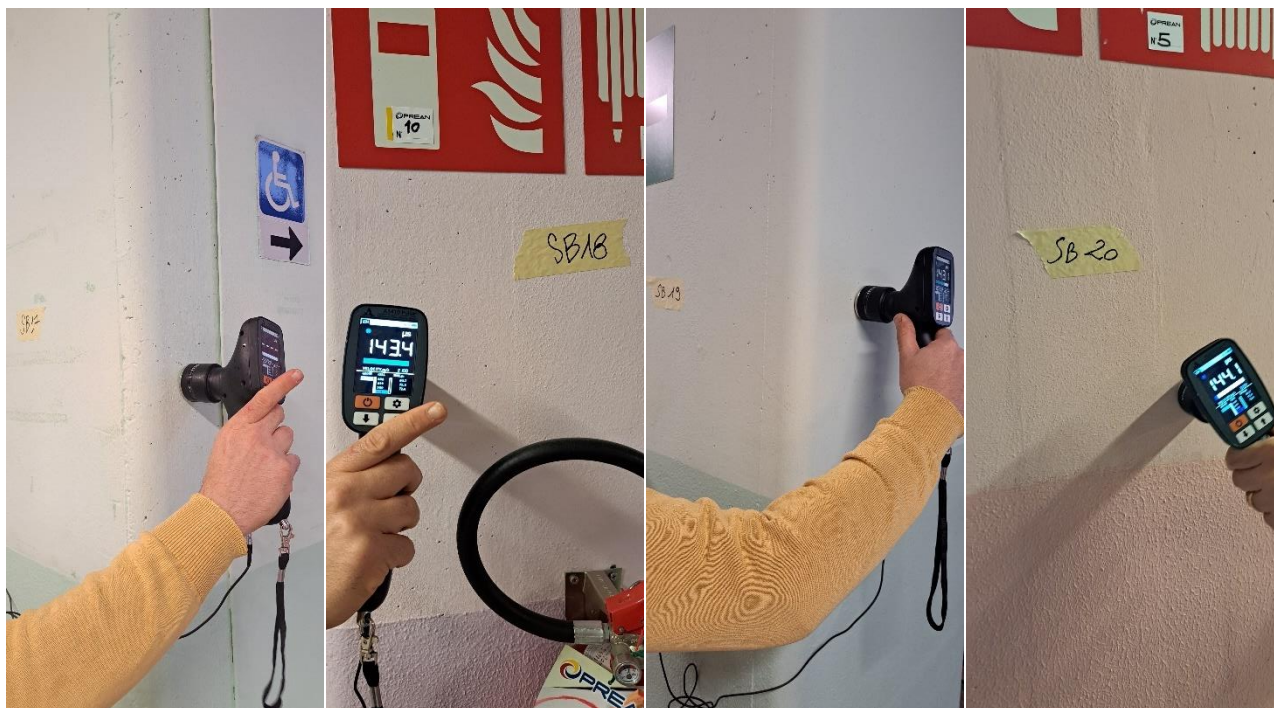
Report fotografico prove SonReb - Sclerometriche



Report fotografico prove SonReb - Sclerometriche



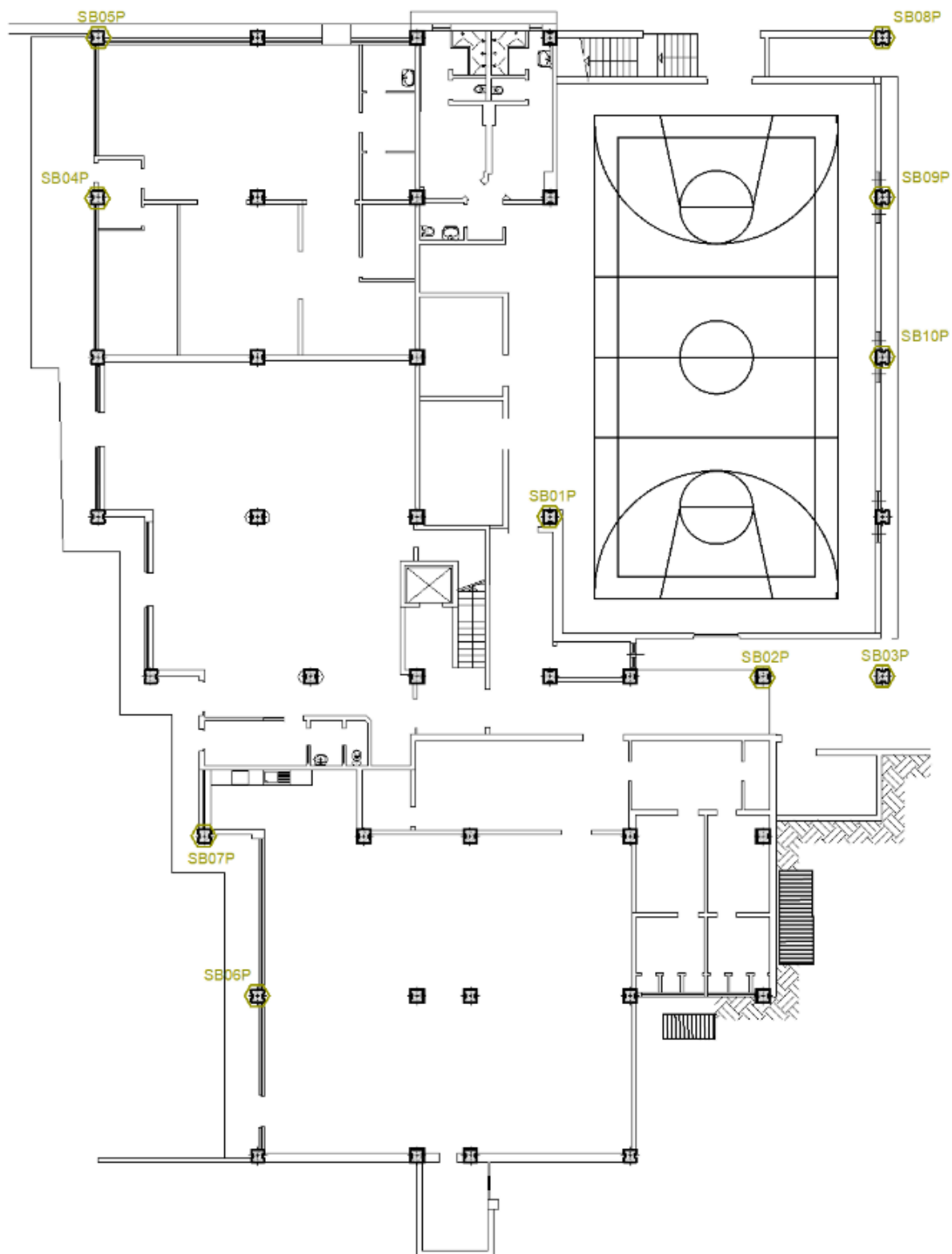
Report fotografico prove SonReb - Sclerometriche



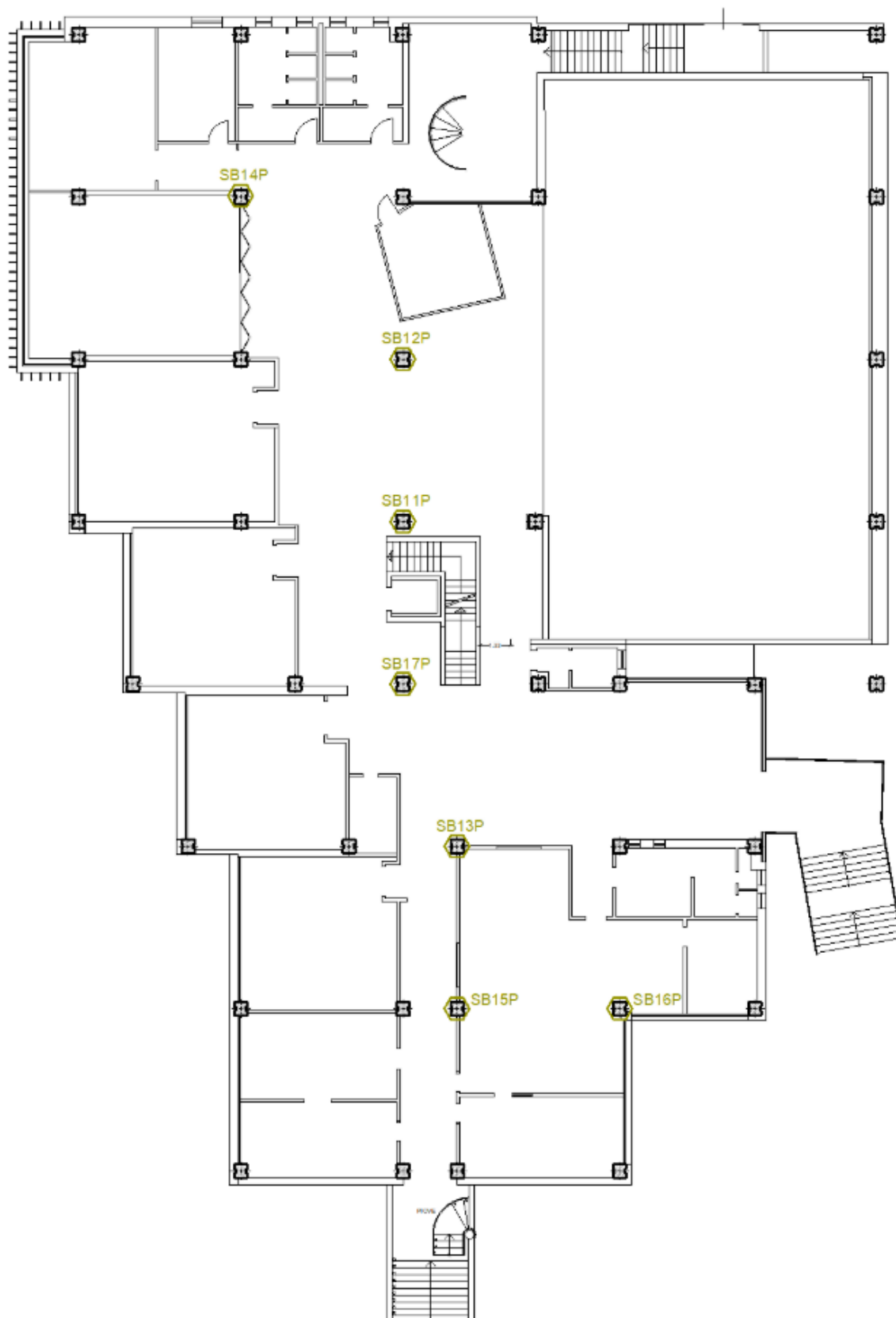
Report fotografico prove SonReb - Sclerometriche



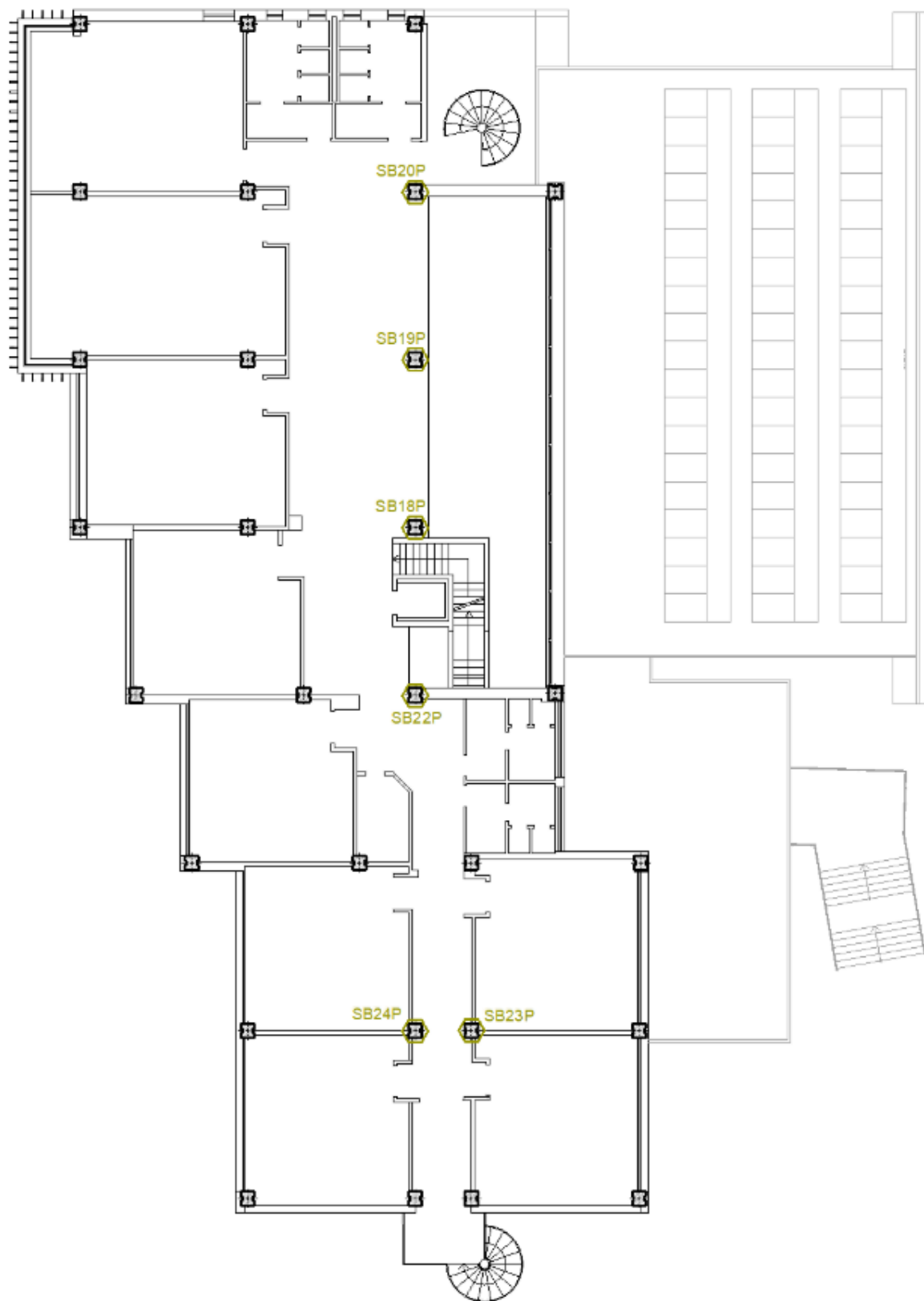
Report fotografico prove SonReb - Sclerometriche



Piano interrato: Posizione prove SonReb - Sclerometriche



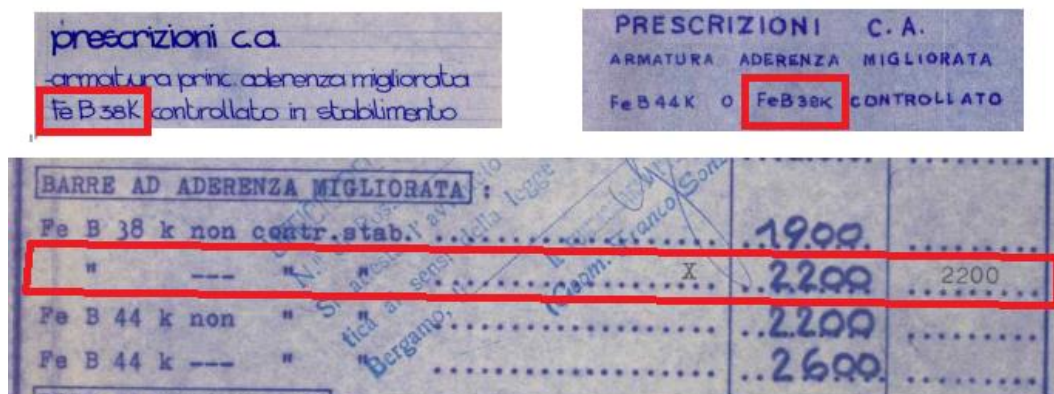
Piano rialzato: Posizione prove SonReb - Sclerometriche



Piano primo: Posizione prove SonReb - Sclerometriche

RESISTENZA MECCANICA DELL'ACCIAIO

La resistenza dell'acciaio da c.a. utilizzata nella modellazione strutturale è stata direttamente ricavata dalle specifiche tecniche fornite nella documentazione originale di progetto; come si evince dalla successiva immagine, estrapolata dalla relazione strutturale stilata all'epoca di costruzione, si è deciso di utilizzare un acciaio di classe **FeB38k**, per il quale si è considerata una resistenza a snervamento caratteristica pari a 380 N/mm² e resistenza a rottura pari a 450 N/mm²



Caratteristiche meccaniche acciaio da barre

Ai valori di resistenza sopra considerati si andrà ad applicare un **F.C.** pari a **1,2**.

ANALISI DEI CARICHI (STATO ATTUALE)

Solaio tipo t.1.1 – calpestio piano interrato – solaio prefabbricato precompresso

| | |
|---|------------------------|
| CARICO PERMANENTE (G_1) | 225 daN/m ² |
| CARICO NON STRUTTURALE (G_2) | 200 daN/m ² |
| CARICO ACCIDENTALE (Q_k) | |
| Cat C – Ambienti suscettibili di affollamento | 300 daN/m ² |

Solaio tipo t.1.1 – calpestio piano rialzato – solaio prefabbricato precompresso

| | |
|---|-----------------------------------|
| CARICO PERMANENTE (G_1) | 225 daN/m ² |
| CARICO NON STRUTTURALE (G_2) | 196 + tramezzi daN/m ² |
| CARICO ACCIDENTALE (Q_k) | |
| Cat C – Ambienti suscettibili di affollamento | 300 daN/m ² |

Peso proprio tramezzi in muratura: 120 daN/m²

| Numero solaio | G_2 tramezzi (daN/m ²) |
|---------------|--------------------------------------|
| (100) | 82 |
| (101) | 73 |
| (102) | 26 |
| (106-107) | 49 |
| (103) | 33 |
| (104) | 31 |
| (105) | 89 |

Solaio tipo t.1.2 – copertura palestra – solaio prefabbricato precompresso

| | |
|--|-------------------------------|
| CARICO PERMANENTE (G_1) | 225 daN/m ² |
| CARICO NON STRUTTURALE (G_2) | 121 daN/m ² |
| CARICO ACCIDENTALE (Q_k) | |
| Cat H.1 – Coperture per sola manutenzione | 50 daN/m ² |
| Neve | 127 daN/m ² |

N.B.= Il carico neve, calcolato con riferimento al §3.4 delle NTC e al §C3.4 della Circolare risulta: $q_s=127$ kg/mq (formula 3.3.7) con: $\mu=0.8$; $C_E=C_t=1$.

Solaio tipo t.2 – calpestio piano primo – solaio prefabbricato

| | |
|--|--|
| CARICO PERMANENTE (G_1) | 275 daN/m ² |
| CARICO NON STRUTTURALE (G_2) | 196 + tramezzi daN/m ² |
| CARICO ACCIDENTALE (Q_k) | |
| Cat C – Ambienti suscettibili di affollamento | 300 daN/m ² |

Peso proprio tramezzi in muratura: 120 daN/m²

| Numero solaio | G_2 tramezzi (daN/m²) |
|----------------------|--|
| (201) | 46 |
| (202) | 46 |
| (203) | 53 |
| (204) | 32 |
| (205) | 28 |
| (206) | 25 |
| (207) | 55 |

Solaio tipo t.2 – copertura scuola – solaio prefabbricato

| | |
|--|-------------------------------|
| CARICO PERMANENTE (G_1) | 275 daN/m ² |
| CARICO NON STRUTTURALE (G_2) | 121 daN/m ² |
| CARICO ACCIDENTALE (Q_k) | |
| Cat H.1 – Coperture per sola manutenzione | 50 daN/m ² |
| Neve | 127 daN/m ² |

N.B.= Il carico neve, calcolato con riferimento al §3.4 delle NTC e al §C3.4 della Circolare risulta: $q_s=127$ kg/mq (formula 3.3.7) con: $\mu=0.8$; $C_E=C_t=1$.

Solaio metallico – copertura raccordo scuola-palestra

| | |
|--|---|
| CARICO PERMANENTE (G_1) | Calcolato da ModeSt daN/m ² |
| CARICO NON STRUTTURALE (G_2) | 20 daN/m ² |
| CARICO ACCIDENTALE (Q_k) | |
| Cat H.1 – Coperture per sola manutenzione | 50 daN/m ² |
| Neve | 127 daN/m ² |

N.B.= Il carico neve, calcolato con riferimento al §3.4 delle NTC e al §C3.4 della Circolare risulta: $q_s=127$ daN/mq (formula 3.3.7) con: $\mu=0.8$; $C_E=C_t=1$.

Su alcune porzioni del solaio di calpestio del piano rialzato, sono stati considerati carichi aggiuntivi dovuti alla presenza di *controsoffittature*; in particolare, si è considerato un peso pari a 12 daN/m^2 per rappresentare i controsoffitti in quadrotti microforati in cartongesso (situati in sala mensa) e un peso pari a 30 daN/m^2 per i controsoffitti in cartongesso non ispezionabili (situati nei servizi igienici e negli spogliatoi adiacenti alla palestra)

Come riportato nelle tabelle precedenti, il peso dei *tramezzi* gravanti direttamente sui campi di solaio è stato spalmato uniformemente sulla superficie occupata dal solaio stesso attraverso un calcolo manuale basato sull'effettiva disposizione dei tramezzi; per quanto riguarda invece i tramezzi situati esattamente in corrispondenza delle travi, questi sono stati considerati con il loro effettivo carico lineare applicato alla trave stessa, pari a 342 daN/m .

Per quanto riguarda i *pannelli di tamponatura esterni*, questi sono stati direttamente modellati all'interno del software computazionale assegnando loro uno specifico carico di superficie, in particolare:

- Tipo 1 (tamponature piene palestra e scuola, spessore 21cm): 375 daN/m^2 ;
- Tipo 2 (tamponature lato ovest scuola, spessore 33cm): 505 daN/m^2 ;
- Tipo 3 (parapetti edificio scolastico): 220 daN/m^2 ;
- Tipo 4 (parete isolata lato ovest palestra): 625 daN/m^2 .

I restanti elementi non portanti in c.a. sono stati modellati come carichi permanenti considerando la loro esatta geometria e distribuendo il loro carico linearmente sugli elementi sui quali gravano, in particolare:

- I *frangisole* prefabbricati sono stati considerati con un peso pari a 410 daN/m per quelli posti sul lato corto della struttura, mentre con un peso pari a 652 daN/m per quelli occupanti il lato lungo;
- I *pianerottoli esterni* sono stati modellati come carichi lineari gravanti sulle travi con modulo pari a 410 daN/m ;
- I *parapetti delle scale* in c.a. sono stati considerati come carichi lineari di valore 350 daN/m ;
- La *ringhiera metallica* che dà sul vuoto tra scuola e palestra è stata considerata con un carico lineare pari a 10 daN/m ;
- I canali di *gronda* prefabbricati sono stati infine considerati come un carico lineare pari a 250 kg/m .

I pesi propri degli elementi strutturali primari modellati sono stati automaticamente generati dal programma di calcolo.

MODELLAZIONE (STATO ATTUALE)

Considerando il fatto di avere a disposizione uno studio di vulnerabilità per la struttura in esame, la modellazione dello stato attuale è servita esclusivamente per definire la base sulla quale andare ad impostare il progetto di adeguamento sismico dell'edificio.

Le carenze statiche dimostrate nello studio di vulnerabilità effettuato da Sicuring s.r.l. (riguardanti alcune criticità a pressoflessione su un numero limitato di travi e altre criticità a taglio per i setti del vano ascensore) verranno risolte grazie alla progettazione antisismica da noi prevista per tale struttura; la caratteristica probabilmente più critica a livello di analisi sismica risiede nell'effettivo mancato collegamento, allo stato attuale, tra le varie sezioni di solai prefabbricati nei vari campi descritti dalle pilastrate in c.a., che a livello di modellazione si tradurrebbe nell'impossibilità di considerare gli impalcati come rigidi nel proprio piano (in gergo chiamato come metodo *Master-Slave*).

I vari procedimenti adottati per far fronte a tutte le carenze dimostrate sia in campo statico che sismico verranno esaurientemente descritte nei successivi paragrafi di tale relazione tecnica.

2. STATO DI PROGETTO: LE ALTERNATIVE PROGETTUALI

All'interno del presente progetto sono state valutate tra più alternative progettuali, ed è stata scelta quella che ottimizza il rapporto costi/benefici, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e alle caratteristiche dell'edificio in oggetto.

Valutazione delle possibili alternative progettuali

In linea generale le tipologie di intervento strutturale su edifici di carattere strategico o rilevante possono in suddividersi in due grandi categorie:

- A. interventi di tipo puntuale “tradizionale” sui singoli elementi strutturali che presentano carenze al fine di ottenere un **incremento locale** di capacità del singolo elemento strutturale;
- B. interventi che comportano **modifiche più o meno importanti** del sistema resistente complessivo dell'edificio e che provocano quindi una ridistribuzione delle sollecitazioni. Ciò può avvenire mediante l'inserimento di nuovi elementi strutturali (setti o controventi) con sistemi “tradizionali” oppure con l'eventuale inserimento di elementi a **capacità dissipativa (controllo passivo della risposta sismica)**. In quest'ultimo caso si può arrivare ad incrementi di capacità anche molto consistenti.

Interventi puntuali

Gli interventi del **tipo A** sono evidentemente molto diffusi ed invasivi e richiedono lavorazioni sia dall'interno che dall'esterno dell'edificio. Nella maggior parte dei casi non consentono di mantenere operative le funzioni dell'edificio e possono essere applicati ogni qual volta l'edificio è oggetto di una ristrutturazione più o meno complessiva.

Tale categoria di interventi è utilizzata a livello puntuale, per l'incremento della capacità sismica locale, mediante il miglioramento del comportamento dei nodi trave-pilastro, attraverso il confinamento e il rinforzo a taglio del nodo stesso, mediante il confinamento e incremento della resistenza a taglio delle estremità dei pilastri, e mediante l'incremento della resistenza a taglio delle estremità delle travi e rinforzo a flessione.

Si può prevedere l'utilizzo delle seguenti tecnologie:

- *applicazione di tessuti in materiale composito (Fiber reinforced polymer – FRP) in fibre di vetro (G-FRP), di carbonio (C-FRP), fibre aramidiche o fibre di basalto;*
- *placcaggi e disposizione di angolari e incamiciature in acciaio collegati agli elementi da consolidare mediante un sistema di connessione;*
- *placcaggi e aumenti delle sezioni di travi o pilastri mediante utilizzo di conglomerati cementizi armati, anche ad alta resistenza;*
- *utilizzo del metodo CAM mediante applicazione di nastri in acciaio ad alta resistenza singoli o sovrapposti, posizionati in maglia chiusa e pretensionati così da imporre uno stato di confinamento all'elemento stesso.*

Queste metodologie, pur presentando una serie di vantaggi (primo tra tutti l'incremento della duttilità globale della struttura migliorando la sua capacità di dissipare energia e soprattutto prevenendo meccanismi di rottura locale di tipo fragile), possono presentare importanti criticità se impiegate in modo diffuso a tutto l'edificio. Visto infatti l'elevato deficit sismico riscontrato, eventuali interventi di tipo locale andrebbero realizzati a tappeto e comporterebbero una serie di lavorazioni con demolizioni consistenti in virtù della necessità di effettuare gli interventi su tutto l'edificio, incrementando i costi di ripristino. Possono comunque essere affiancati agli interventi di tipo B per adeguare una struttura sismicamente nel caso in cui quest'ultimi non risultassero sufficienti al raggiungimento dell'obiettivo.

Interventi con inserimento di strutture integrative

Gli interventi del **tipo B**, che consistono nell'**inserire strutture integrative alle strutture esistenti** possono essere realizzati secondo due modalità principali:

- *intervenendo dall'interno dell'edificio:* consiste nell'inserire nuove strutture integrative alle strutture esistenti individuando schemi sismo-resistenti nei quali sia le nuove strutture, sia una parte di quelle esistenti sono chiamate a collaborare tra loro per assolvere alle nuove domande;
- *intervenendo dall'esterno dell'edificio:* in questo caso le funzioni sismo resistenti sono assegnate per la maggior parte a nuove strutture indipendenti dall'edificio stesso, ma a questo opportunamente connesse, lasciando a quelle esistenti il compito primario di svolgere la funzione di sostegno dei carichi verticali, già precedentemente assolta.

In entrambi i casi i nuovi elementi sismo resistenti sono normalmente limitati in numero e concentrati nelle zone che ottimizzano il rapporto tra migliore posizione strutturale e minore interferenza con le funzioni dell'edificio. Le strutture esistenti sono comunque chiamate in causa in termini di nuove condizioni di sollecitazione, in quanto devono essere in grado di riportare le azioni sismiche ai punti nei quali sono stati concentrati i nuovi elementi sismo resistenti (interni o esterni) e a questi adeguatamente connessi.

Tali strutture integrative possono essere di tipo “tradizionale” (sistemi di controventi in acciaio o nuovi setti in c.a.), oppure “dissipative” (controventi dissipativi).

Disposizione di controventature e intelaiature in acciaio anche con elementi dissipativi

Tale categoria di interventi prevede la disposizione di **telai in acciaio** o **setti in cemento armato** all'interno delle maglie di telaio esistenti in c.a. in modo che il sistema complessivo risulta irrigidito per azioni orizzontali. Gli eventuali controventi in acciaio possono in aggiunta essere dotati di **elementi dissipativi** che riducono le azioni trasferite alla struttura attraverso dissipazione di energia.

Tale tipologia di intervento presenta i seguenti vantaggi:

- conferimento di un notevole livello di irrigidimento della struttura e incremento della resistenza;
- ottenimento di elevati incrementi di capacità sismica grazie ad una modifica sostanziale del sistema resistente e al progetto della redistribuzione delle azioni;
- nel caso di applicazione di controventi dissipativi, incremento della capacità dissipativa dell'edificio e conseguente riduzione delle azioni trasferite agli elementi esistenti in c.a..

Vista la tipologia strutturale dell'edificio oggetto di studio (struttura in c.a. prefabbricata), e valutate le possibili alternative di intervento, si è deciso di procedere attraverso l'inserimento di setti in cemento armato dall'esterno: questa tecnica incrementa nettamente la resistenza complessiva per azioni orizzontali a fronte di limitati costi indiretti dei ripristini che sono ammortizzati in funzione della ristrutturazione generale. Non appare conveniente orientarci verso controventi di tipo tradizionale e tanto meno verso quelli dissipativi, visto l'elevato costo dei dispositivi.

Isolamento sismico alla base

È stata valutata anche la possibilità dell'isolamento sismico alla base, che rientra tra le strategie di protezione sismica usualmente raggruppate sotto la denominazione di “controllo passivo delle vibrazioni” e in certi casi rappresenta una tecnica efficace anche per l'adeguamento antisismico di costruzioni esistenti. Questo approccio si basa sulla riduzione dell'energia trasmessa alla struttura disaccoppiando la massa della struttura dalle fondazioni, interponendo speciali elementi a elevata rigidezza in senso verticale ma bassa rigidezza laterale, che comporta un aumento significativo del periodo fondamentale della struttura isolata rispetto a quella originaria su base fissa, con conseguente notevole riduzione delle azioni sismiche trasmesse alla struttura.

Per sfruttare pienamente i vantaggi dell'isolamento, dovrebbe essere possibile individuare una porzione rilevante della costruzione, in termini di massa rispetto alla massa complessiva, che possa facilmente essere separata dalla porzione sottostante, dalle costruzioni contigue e dal terreno circostante, ed abbia un basso rapporto tra massa e rigidezza orizzontale (ovvero basso periodo proprio dei modi naturali di vibrare della costruzione che interessano significativamente questa porzione). L'efficacia del sistema di isolamento è evidentemente maggiore al crescere del rapporto tra il periodo della struttura isolata e struttura a base fissa. Nello specifico tale approccio presenta una serie di punti critici che lo rende non conveniente economicamente nel caso in esame:

- edificio di soli due piani fuori terra (dunque più esteso planimetricamente che in alimetria, con la necessità di utilizzare un numero elevato di isolatori, ad elevato costo);
- necessità di creare fondazioni sufficientemente rigide, e quindi di unire tra loro i plinti isolati con nuovi cordoli rigidi (zona di difficile accesso, specialmente in alcune zone);
- necessità di creare un piano molto rigido sopra il piano di isolamento;
- elevato costo dei dispositivi e della procedura di retrofit.

Dunque, con l'obiettivo di raggiungere la condizione di adeguamento sismico, ed eseguiti tutti i rilevamenti geometrici necessari, l'intervento di isolamento sismico alla base non è apparso il più efficiente in termini di rapporto costi-benefici.

3. IL PROGETTO DI ADEGUAMENTO SISMICO

Alla luce di quanto esposto ai paragrafi precedenti, visto che:

- *l'edificio necessita di una riqualificazione e della messa globale in sicurezza;*
- *l'edificio ha struttura portante prefabbricata in c.a. ed è costituito da soli due piani fuori terra;*
- *è stato previsto con la committenza un intervento di adeguamento sismico della struttura, in accordo alle NTC2018;*

l'intervento che presenta il migliore rapporto costi-benefici è l'introduzione di **nuovi setti in cemento armato** allo scopo di incrementare la resistenza complessiva per azioni orizzontali e una **combinazione di interventi puntuali di consolidamento mediante tecniche tradizionali**.



Vista planimetrica generale del complesso scolastico

L'intervento prevede:

1. Inserimento di setti in calcestruzzo armato in posizioni strategiche all'esterno dell'edificio, tenendo conto sia dell'efficienza strutturale dell'intervento che la minor interferenza alla struttura originaria; tali strutture saranno opportunamente collegate ai pilastri e alle travi prefabbricate esistenti attraverso inghisaggi diffusi, e consentiranno di assorbire gran parte delle azioni orizzontali, con conseguente incremento della rigidezza strutturale in caso di sisma. L'azione sismica verrà quindi concentrata su tali elementi, e dovrà poi essere scaricata in fondazione: è quindi previsto l'inserimento di nuove travi rovesce di fondazione e di nuove platee, le quali saranno impostate lungo il perimetro della struttura in adiacenza ai cordoli esistenti (ai quali verranno opportunamente inghisate) con la funzione di trasferire correttamente le azioni sismiche in corrispondenza del piano fondale;
2. Gli elementi (travi, pilastri) che non risultano verificati in condizioni statiche/sismiche per le PGA che si intende raggiungere, saranno localmente consolidati mediante materiali compositi (CFRP). È stato quindi calibrato l'intervento precedente in modo da fornire rigidezza sufficiente per limitare gli interventi puntuali che spesso portano dietro molte interferenze architettoniche ed impiantistiche; inoltre, si prevede un intervento puntuale di consolidamento sul vano ascensore interno consistente in un aumento di sezione dello stesso;
3. Vista, allo stato attuale, la modularità dei vari solai di piano e soprattutto il mancato collegamento degli stessi in prossimità delle proprie superfici di contatto, verrà aumentata la rigidezza degli impalcati allo scopo di garantire una migliore distribuzione delle azioni orizzontali sui nuovi elementi resistenti, condizione indispensabile per consentire il corretto funzionamento dei nuovi setti esterni; in particolare verranno installate puntualmente una serie di piastre metalliche, con l'obiettivo di collegare sia le sezioni prefabbricate di solaio, sia i solai stessi alle travi prefabbricate, oltre a connettere le travi ai pilastri. Visto lo schema statico di appoggio caratterizzante sia le travi che i solai, nei nuovi collegamenti solai- travi e in quelli travi-pilastri si è cercato di mantenere tale schema statico, condizione indispensabile in quanto gli elementi esistenti sono stati

all'epoca progettati (e quindi armati) in funzione di vincoli di tipo appoggio/cerniera (si nota infatti dalle tavole originali come le varie travi prefabbricate siano praticamente sprovviste agli appoggi di barre di armatura disposte superiormente;

4. Verranno demolite sul lato est dell'edificio le scale esterne (sia quella a rampa dritta che quella elicoidale), e al loro posto verrà riprogettato un nuovo vano scala in c.a. (con funzione di via di esodo in caso di incendio); sullo stesso lato del polo scolastico verranno ricavati due distinti ripostigli, uno accessibile dall'interno, l'altro direttamente accessibile dal cortile esterno;
5. Verranno rimossi i frangisole prefabbricati esistenti sul lato sud-ovest della scuola e ripristinati attraverso l'installazione di nuovi dispositivi frangisole in alluminio, i quali saranno impostati su particolari travi scatolari metalliche inghisate ai nuovi setti esterni: questo intervento verrà esteso lungo l'intero lato sud dell'edificio, così da rendere più gradevole l'impatto architettonico generato dall'inserimento dei nuovi setti;
6. Si prevede il rifacimento completo dei marciapiedi in aderenza alla struttura esistente, in funzione della posizione dei nuovi nuclei in c.a. e dell'impiantistica esistente;
7. Si provvederà al fissaggio dei pannelli perimetrali di tamponatura alla struttura portante esistente attraverso l'utilizzo di barre da c.a. opportunamente inghisate;
8. Infine, sia le facciate esterne non oggetto di intervento strutturale che i nuovi presidi antisismici esterni in c.a. verranno tinteggiati attraverso un massiccio intervento di verniciatura.

4. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA e GEOTECNICA, VERIFICHE in FONDAZIONE

Per la parte geotecnica si fa riferimento alla relazione geologica redatta da Sicuring s.r.l. e presente tra gli allegati depositati per lo studio di vulnerabilità del 2018. Ad essa si rimanda per ogni ulteriore chiarimento più dettagliato.

Effettuata in data 06/06/2018, la campagna di indagini geofisiche è costituita da:

- N.1 prova penetrometrica eseguita in modalità dinamica SCPT (per i risultati si veda l'Allegato 1 contenuto all'interno della *sintesi conoscitiva e campagna di indagine* presentata per lo studio di vulnerabilità);
- N.1 misura di microtremore con metodo HVSr (per i risultati si rimanda all'Allegato 2 come sopra);
- N.1 indagine sismica MASW-Re.Mi (per i risultati si rimanda all'Allegato 3).



Indicazione della posizione delle prove geotecniche effettuate

Le prove penetrometriche, eseguite sino al raggiungimento del rifiuto dello strumento di misura, hanno definito i seguenti parametri caratterizzanti lo strato di terreno superficiale (la successiva tabella è stata estrapolata dalla relazione geotecnica esistente):

| Strato | Profondità tetto (m dal p.c.) | Profondità base (m dal p.c.) | Parametri caratteristici |
|------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| LITOTIPO 1 | 0.00 | 1.20 | $\gamma_d = 1.70 \text{ t/m}^3$ Angolo $\phi = 28^\circ$ Densità relativa = 15% Modulo di Young $E = 79 \text{ kg/cm}^2$ |
| LITOTIPO 2 | 1.20 | Indef. | $\gamma_d = 1.81 \text{ t/m}^3$ Angolo $\phi = 28^\circ$ Densità relativa = 38% Modulo di Young $E = 350 \text{ kg/cm}^2$ |

Caratterizzazione geotecnica del terreno a livello superficiale

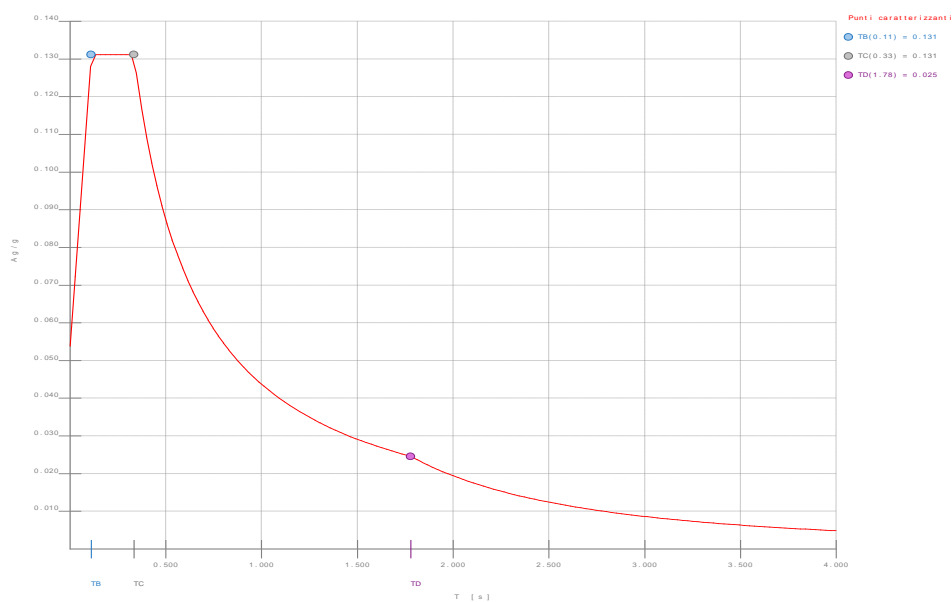
VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Si riportano infine i parametri necessari per la definizione dello spettro di progetto per l'edificio in esame:

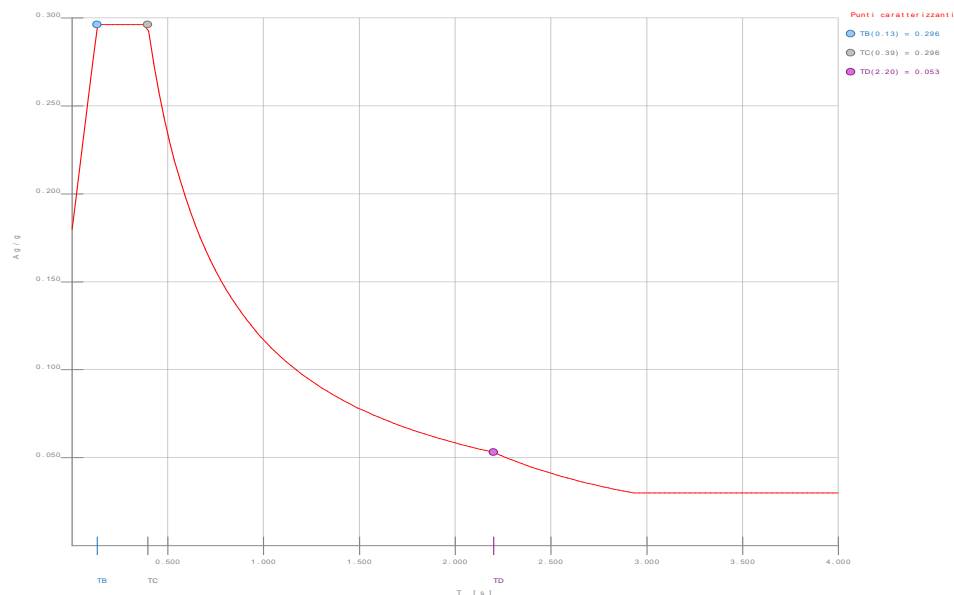
| Parametri relativi alla strategia di verifica | | |
|---|--------|----------|
| Vita nominale | V_N | 50 anni |
| Classe d'uso | Classe | IV |
| Coefficiente d'uso | C_U | 2 |
| Periodo di riferimento | V_R | 100 anni |
| Categoria di sottosuolo | | CAT B |
| Categoria topografica | | CAT T1 |
| LATITUDINE: 45,7178 LONGITUDINE: 9,7309 | | |

Parametri caratteristici per la definizione dello spettro di progetto

Si specifica che non è stato effettuato nessuno studio di Risposta Sismica Locale per il sito ove sorge la struttura, di conseguenza gli spettri elastici sono stati ricavati automaticamente grazie a fogli di calcolo preimpostati in base ai valori sopra riportati.

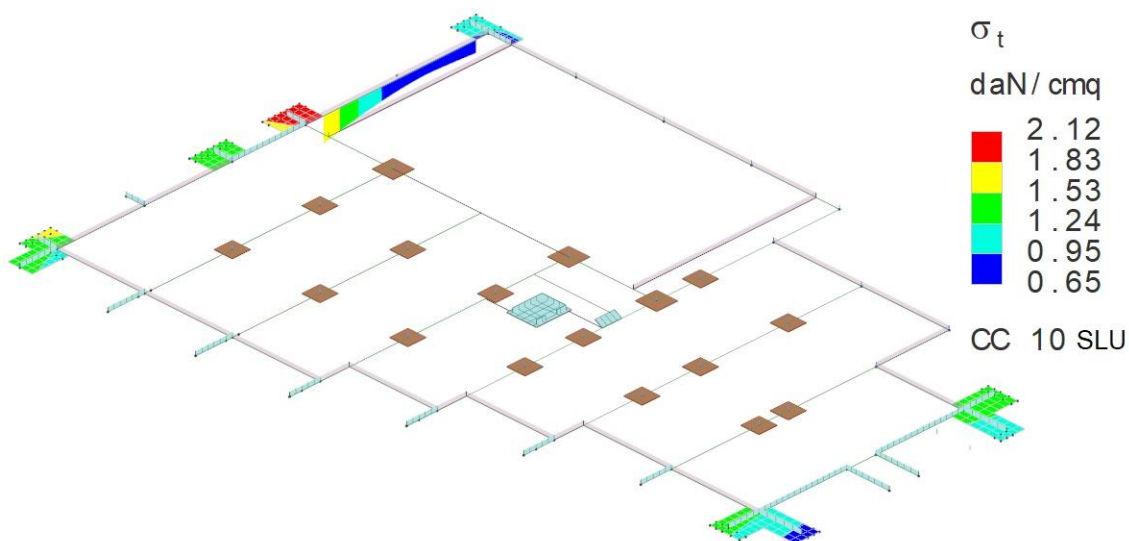


Spettro SLO



Spettro SLV

Le verifiche allo SLU di tipo geotecnico (GEO) nei confronti del carico limite dell'insieme fondazione terreno sono state eseguite mediante l'**approccio 2 (A1+M1+R3)**. Di seguito si riporta la verifica del terreno di fondazione in corrispondenza delle nuove platee di fondazione in corrispondenza del blocco scolastico e della palestra; si è scelto di svolgere la verifica in condizioni drenate in quanto è stato individuato un terreno di tipo sabbioso, incoerente.



Nuove platee di fondazione: diagramma delle tensioni nella combinazione SLU più gravosa

Tensione resistente di fondazioni superficiali su terreno incoerente

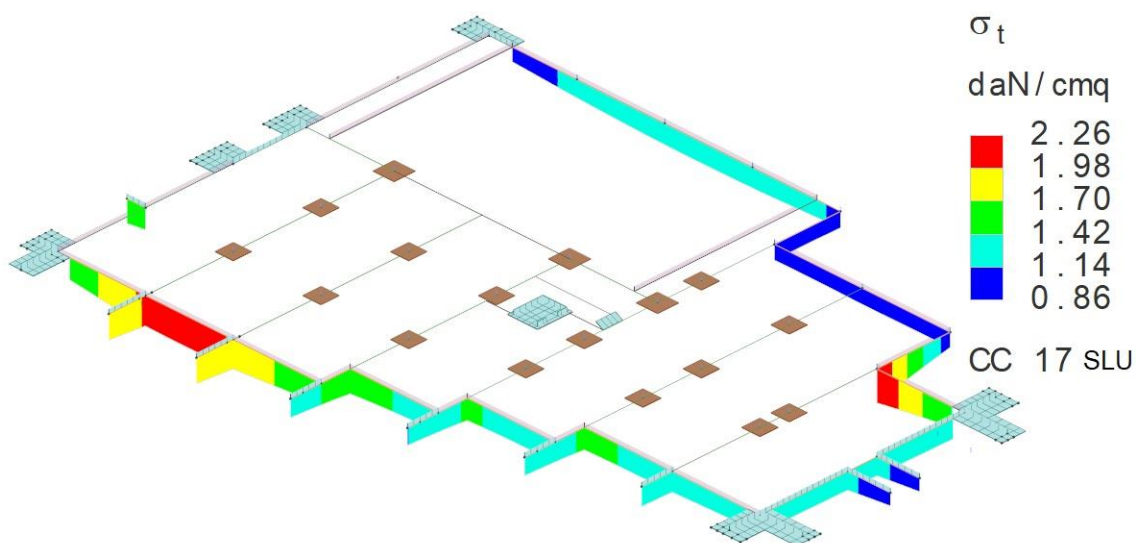
| FONDAZIONE | | | TERRENO | | |
|-----------------------|----------------|----------|------------------|----------------|-------|
| Larghezza fondazione | B (m) | 3.00 | Peso proprio | γ (t/m³) | 1.81 |
| Profondità fondazione | D (m) | 1.20 | Angolo attrito | Φ (°) | 28.00 |
| Lunghezza (Meyerhof) | L (m) | 2.00 | Coesione drenata | c' (t/m²) | 0.00 |
| Tipologia (Terzaghi) | Tipo | QUADRATA | Profondità falda | h (m) | 10.00 |
| Coeff. sicurezza | γ _R | 2.30 | Coefficiente | γ _M | 1.00 |

$$q_{lim} = q_a + q_c + q_y = \gamma D s_q d_q N_q + c s_c d_c N_c + 0,5 \gamma B s_y d_y N_y$$

| TERZAGHI | | |
|---------------------|---------------------------|------|
| Tensione limite | q _{lim} (kg/cm²) | 8.21 |
| Tensione resistente | q _r (kg/cm²) | 3.57 |

La tensione agente massima risulta $q=2,12 \text{ kg/cm}^2$ mentre la tensione resistente è pari a $q_r=3,57 \text{ kg/cm}^2$, pertanto, la **verifica risulta soddisfatta**.

Si riporta ora la verifica del terreno di fondazione in corrispondenza delle nuove travi di fondazione per il blocco scolastico e per la palestra considerando ancora la sola condizione drenata, per la combinazione SLU più gravosa.



Nuove travi di fondazione: diagramma delle tensioni nella combinazione SLU più gravosa

| Tensione resistente di fondazioni superficiali su terreno incoerente | | | | | |
|--|--|-------------|------------------|---------------------------------|-------|
| FONDAZIONE | | | TERRENO | | |
| Larghezza fondazione | B (m) | 1.50 | Peso proprio | $\gamma \text{ (t/m}^3\text{)}$ | 1.81 |
| Profondità fondazione | D (m) | 1.20 | Angolo attrito | $\Phi \text{ (}^\circ\text{)}$ | 28.00 |
| Lunghezza (Meyerhof) | L (m) | 7.20 | Coesione drenata | $c' \text{ (t/m}^2\text{)}$ | 0.00 |
| Tipologia (Terzaghi) | Tipo | NASTRIFORME | Profondità falda | h (m) | 20.00 |
| Coeff. sicurezza | γ_R | 2.30 | Coefficiente | γ_M | 1.00 |
| $q_{lim} = q_a + q_c + q_v = \gamma D s_q d_q N_q + c s_c d_c N_c + 0,5 \gamma B s_\gamma d_\gamma N_\gamma$ | | | | | |
| TERZAGHI | | | | | |
| Tensione limite | $q_{lim} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ | 6.47 | | | |
| Tensione resistente | $q_r \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ | 2.81 | | | |

La tensione agente massima risulta $q=2,26 \text{ kg/cm}^2$ mentre la tensione resistente è pari a $q_r=2,81 \text{ kg/cm}^2$, pertanto, la **verifica risulta soddisfatta**.

5. RELAZIONE di CALCOLO: STATO di PROGETTO

5.1 ANALISI DEI CARICHI (stato di progetto)

Per quanto riguarda l'analisi dei carichi allo stato di progetto, in particolare i carichi dei solai, questi non hanno subito variazioni rispetto allo stato di fatto in quanto non si sono resi necessari interventi che andassero a modificare i valori dei pesi strutturali e non, in quanto la quasi totalità dell'intervento è stata realizzata dall'esterno. In realtà è stato programmato per i solai un importante intervento di consolidamento tramite installazione di piastre metalliche ad hoc volte a generare impalcati assimilabili ad infinitamente rigidi.

In generale, nei permanenti strutturali G_1 si è considerato il peso proprio degli elementi strutturali; nei permanenti non strutturali G_2 si sono considerate le pavimentazioni, i massetti, i controsoffitti e le tramezzature ove effettivamente presenti. Talvolta alcune tramezzature sono state attribuite come carico lineare laddove risultino impostate in corrispondenza di sottostanti travi; infine, per quanto riguarda i carichi accidentali ci si riferisce a quanto specificato nelle NTC2018.

Si assumono i seguenti coefficienti parziali ridotti (punto 8.5.5 delle NTC), vista la disponibilità del progetto strutturale originale pressoché completo, oltre ai risultati delle indagini eseguite in situ durante i vari sopralluoghi effettuati.

$$\gamma_{G1} = 1,1 \text{ (pesi elementi strutturali)} \quad ; \quad \gamma_{G2} = 1,3 \text{ (pesi elementi non strutturali)} \quad ; \quad \gamma_{Qk} = 1,5 \text{ (azioni variabili)}$$

Infine, per quanto riguarda gli altri carichi descritti nella modellazione dello stato attuale (tamponature, frangisole, pianerottoli, parapetti, ringhiere, canali di gronda), questi sono stati direttamente confermati all'interno del modello: Si rimanda quindi alla loro caratterizzazione già descritta in precedenza.

5.2 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA dei MATERIALI (stato di progetto)

Si riportano ora le caratteristiche dei nuovi materiali utilizzati per la realizzazione dei nuovi presidi antisismici.

Calcestruzzo nuovi elementi in elevazione (setti, solette, rampe)

Classe: C32/40
Classe di consistenza: S4
Classe di esposizione: XC4

Calcestruzzo elementi in fondazione (travi, platee)

Classe: C30/37
Classe di consistenza: S4
Classe di esposizione: XC2

Calcestruzzo marciapiedi

Classe: C25/30
Classe di consistenza: S4
Classe di esposizione: XC2

Calcestruzzo magrone

Classe: C12/15
Classe di consistenza: S3

Acciaio per armatura (barre e reti elettrosaldate)

Classe: B450C

Acciaio da carpenteria (profili UPN per consolidamenti locali)

Classe: S275
Classe di esecuzione: EXC3

5.3 MODELLAZIONE DI CALCOLO (stato di progetto)

Il calcolo strutturale e le verifiche sono stati realizzati mediante il programma “*ModeSt*”, usando come solutore il programma “*XFINEST*”. La struttura, schematizzata come un insieme di nodi e di aste (elementi FRAME), è stata modellata come una serie di telai spaziali. Si è proceduto ad eseguire una modellazione delle elevazioni con vincoli a cerniera tra i vari elementi, vista la prefabbricazione che contraddistingue travi e pilastri.

È stata eseguita una **analisi dinamica lineare con fattore di struttura** come in accordo a quanto esposto al capitolo 7 della normativa. La verifica degli elementi strutturali si intende soddisfatta quando tutti gli elementi strutturali duttili soddisfano la condizione che la sollecitazione indotta dall’analisi sismica ridotta per $q=1.5$ è inferiore o uguale alla corrispondente resistenza, e gli elementi strutturali fragili soddisfano la condizione che la sollecitazione indotta dall’azione sismica ridotta per $q=1.5$ è inferiore o uguale alla corrispondente resistenza. Secondo il capitolo 8.3 delle NTC la valutazione della sicurezza è stata eseguita con riferimento agli Stati Limite Ultimi (SLU *fondamentale* e SLV).

Per l’esecuzione delle suddette verifiche di resistenza, si sono inserite nel modello le armature indicate sugli elaborati di progetto (o quelle individuate/verificate mediante le indagini in situ) e sono stati calcolati momenti e tagli ultimi, confrontandoli con le sollecitazioni indotte dall’analisi sismica. Ai paragrafi successivi si riportano le modellazioni eseguite.

In riferimento alle proprietà dei materiali, si sono assunte le resistenze medie divise per il fattore di confidenza FC nel caso di verifiche degli elementi/meccanismi duttili e divise per $FC \cdot \gamma_m$ nel caso di verifiche degli elementi/meccanismi fragili.

Per quanto riguarda la modellazione delle strutture portanti verticali, visto che i pilastri esistenti presentano una sezione resistente ad H e che il software di modellazione non consente di implementare tale tipologia di sezione, si è reso necessario un calcolo preliminare volto ad ottenere delle sezioni equivalenti che presentassero stessa area e momenti d’inerzia di quelle originali; si sono ottenute le seguenti sezioni:

- Per i pilastri della scuola, abbiamo calcolato una sezione di dimensioni 52x61cm;
- Per i pilastri della palestra, abbiamo calcolato una sezione di dimensioni 36x57cm.

Un lavoro analogo è risultato necessario per poter definire correttamente le sezioni delle strutture portanti orizzontali da inserire nel modello: infatti, come nel caso dei pilastri, il software computazionale non offre la possibilità di modellare per le travi sezioni aventi forma ad omega come quelle originali; anche in questo caso si è optato per un dimensionamento di sezioni rettangolari equivalenti, sempre in termini di area e di momento flettente, ottenendo le seguenti:

- Per le travi facenti parte del plesso scolastico, abbiamo calcolato sia una sezione 52x49cm (che simuli la trave ad omega tipo) sia una sezione 82x46cm (che vada a simulare la sezione piena che è presente in prossimità degli sbalzi presenti nella porzione sud della struttura);
- Per le travi facenti parte della palestra, abbiamo calcolato ancora sia una sezione 58x62cm (che rappresenta la trave ad omega affacciata sul lato nord) sia una sezione 53x127cm (la quale rappresenta la sezione ad omega allungata riscontrata sul lato adiacente al plesso scolastico);

Per la travi disposte in copertura in direzione trasversale rispetto alle travature portanti, le quali presentano una forma a T rovesciata, il software ha consentito di modellare l’effettiva sezione, senza dover quindi ricorrere a calcoli equivalenti come visto sopra per le restanti travi e per i pilastri.

Nel modello strutturale analizzato, sia per l’analisi statica che per quella sismica, siamo andati ad imporre vincoli di tipo cerniera all’estremità delle travi, così da simulare perfettamente l’effettiva concezione strutturale del prefabbricato.

È stato inoltre possibile modellare correttamente le due tipologie di plinti esistenti alla base dei pilastri prefabbricati, oltre ai setti in c.a. del vano scala ascensore interno e alla platea di fondazione di quest’ultimi, grazie alle tavole originali di progetto reperite in fase di analisi storico-critica.

Si è inoltre deciso di andare ad inserire all’interno del modello la struttura metallica presente in copertura del raccordo tra edificio scolastico e palestra: questa non è stata direttamente verificata in quanto è già stata studiata e computata

all'interno della relazione di vulnerabilità sismica redatta da Sicuring s.r.l., ma abbiamo scelto di modellarla così da considerare il proprio peso all'interno del modello.

Dopo aver modellato i vari solai di piano (basandoci sui valori dei carichi riportati in questa relazione al paragrafo interno alla "caratterizzazione meccanica dei materiali") e i pannelli di tamponamento esterni (basandoci ancora sui carichi definiti in precedenza), è stato possibile inserire all'interno delle varie sezioni resistenti le armature (a flessione e a taglio) che sono state ricavate direttamente dalla tavole originali di progetto, prestando attenzione ad inserire correttamente diametri, passi e sovrapposizioni: con quest'ultimo passaggio, siamo così giunti alla definizione dell'edificio così come si presenta allo stato di fatto, in modo tale da potervi inserire gli interventi di progetto previsti.

Poiché si è prevista la realizzazione di nuovi setti esterni in c.a. con l'obiettivo di regolarizzare i modi di vibrare della struttura e di consentire una distribuzione delle forze derivanti dal carico sismico per rigidità e non per area di influenza sugli elementi verticali esistenti, per far sì che questi setti lavorino al meglio si è reso necessario far girare l'analisi computazionale considerando gli impalcati come infinitamente rigidi nel proprio piano (metodo *Master Slave*). Questi, però, allo stato attuale risultano completamente scollegati sia in prossimità della superficie di interfaccia tra i vari moduli, sia in prossimità degli appoggi degli stessi sulle travi, condizione questa che renderebbe inefficaci i contrafforti in c.a. previsti allo stato di progetto.

Visto quanto appena discusso, si è reso necessario un calcolo specifico volto alla corretta connessione degli elementi scollegati, in particolare:

- Sono state previste particolari piastre metalliche per il collegamento strutturale tra i vari moduli di solaio, in funzione delle azioni trasmesse sull'interfaccia tra gli stessi e in funzione delle diverse geometrie di solaio presenti allo stato attuale; sono state estrapolate le azioni bidimensionali di sforzo normale e di taglio lette in corrispondenza degli elementi solaio modellati in ambiente computazionale e successivamente sono state combinate tra loro: su tali valori sollecitanti è stato possibile dimensionare sia i diametri che le profondità di inghisaggio delle barre utilizzate a tale scopo ed, ove necessario, sono state effettuate verifiche di resistenza sul bullone e a rifollamento sia sul calcestruzzo che sul profilo UPN metallico; si riportano le schermate dei fogli di calcolo utilizzati per tale dimensionamento:

| SOLAIO | PASSO | Vmax | Ved | Ved,tot | BULL TOT | CLASSE | Vrd,s | Vrd,s,tot | VERIFICA | SIC. | Seff | Smin | VER. | Ceff | Cmin | VER. | Lbullone | heff | VER. | UPN |
|--------|-------|--------|--------|---------|----------|--------|-------|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|-----|
| - | [m] | [kg/m] | [kg] | [kg] | - | - | [kg] | [kg] | Ved<Vrd | - | [mm] | [mm] | - | [mm] | [mm] | - | [mm] | [mm] | - | - |
| t.1.1 | 0.70 | 2491 | 1743.7 | 3487.4 | 4 | M12 | 960 | 3840 | OK | 1.10 | 80 | 60 | OK | 55 | 45 | OK | 120 | 110 | OK | 180 |
| | 0.70 | | 1743.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.70 | | 1743.7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.50 | | 1245.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.00 | 1584 | 1584.0 | 3168.0 | 4 | M12 | 960 | 3840 | OK | 1.21 | 80 | 60 | OK | 55 | 45 | OK | 120 | 110 | OK | 180 |
| | 1.00 | | 1584.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.30 | | 2059.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.00 | | 1584.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.75 | 1996 | 1497.0 | 2994.0 | 4 | M12 | 960 | 3840 | OK | 1.28 | 80 | 60 | OK | 55 | 45 | OK | 120 | 110 | OK | 180 |
| | 0.75 | | 1497.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.75 | | 1497.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.05 | | 2095.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t.1.2 | 1.00 | 1008 | 1008.0 | 2016.0 | 4 | M12 | 960 | 3840 | OK | 1.90 | 80 | 60 | OK | 55 | 45 | OK | 120 | 110 | OK | 180 |
| | 1.00 | | 1008.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.20 | | 1209.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.00 | | 1008.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| t.2 | 0.62 | 3551 | 2201.6 | 4403.2 | 6 | M16 | 1600 | 9600 | OK | 2.18 | 80 | 75 | OK | 55 | 50 | OK | 150 | - | - | 180 |
| | 0.62 | | 2201.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.45 | | 5149.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.62 | | 2201.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.45 | 2633 | 3817.9 | 8688.9 | 6 | M16 | 1600 | 9600 | OK | 1.10 | 80 | 75 | OK | 55 | 50 | OK | 150 | - | - | 180 |
| | 1.85 | | 4871.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.62 | | 2969.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.62 | | 2969.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.45 | 4790 | 6945.5 | 9915.3 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.29 | 80 | 75 | OK | 55 | 50 | OK | 150 | - | - | 180 |
| | 0.62 | | 2969.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.45 | | 2626.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.85 | | 3350.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.62 | 1811 | 3801.2 | 7602.4 | 6 | M16 | 1600 | 9600 | OK | 1.26 | 80 | 75 | OK | 55 | 50 | OK | 150 | - | - | 180 |
| | 0.62 | | 3801.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.45 | | 8890.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.62 | | 3801.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.45 | 6131 | 8890.0 | 12691.2 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.01 | 80 | 75 | OK | 55 | 50 | OK | 150 | - | - | 180 |
| | 0.62 | | 3801.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1.45 | | 8890.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0.62 | | 3801.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

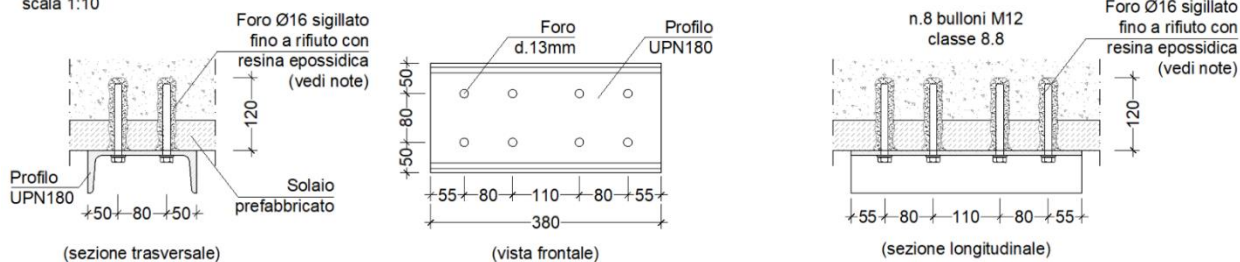
Collegamenti solaio-solaio: verifiche sulle barre e sui profili (foglio di calcolo excel)

| VERIFICA di RESISTENZA del BULLONE e RIFOLLAMENTO PIASTRA | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|----------------|--|---|---|---|---|---|---|
| SOLAIO t.2 | | | | | | | | | | | |
| Sollecitazioni | | | | | | | | | | | |
| $F_{v,Ed}$ (N) | 15557.2 | | | | | | | | | | |
| $F_{t,Ed}$ (N) | 0 | | | | | | | | | | |
| Bulloni | | | | | | | | | | | |
| Classe | 8.8 | | | | | | | | | | |
| d (mm) | 16 | | | | | | | | | | |
| f_{yk} (N/mm ²) | 1.25 | | | | | | | | | | |
| f_{td} (N/mm ²) | 640 | | | | | | | | | | |
| f_{td} (N/mm ²) | 800 | | | | | | | | | | |
| A_{se} (mm ²) | 201 | | | | | | | | | | |
| A_{se} (mm ²) | 157 | | | | | | | | | | |
| Piastra di collegamento | | | | | | | | | | | |
| Acciaio | S275 | | | | | | | | | | |
| t (mm) | 8 | | | | | | | | | | |
| f_{yk} (N/mm ²) | 1.25 | | | | | | | | | | |
| d_0 (mm) | 17 | | | | | | | | | | |
| f_{tk} (N/mm ²) | 430 | | | | | | | | | | |
| Caratteristiche resistenti bulloni | | | | | | | | | | | |
| Classe | f_{tk} (N/mm ²) | f_{tk} (N/mm ²) | | | | | | | | | |
| 4.6 | 240 | 400 | | | | | | | | | |
| 5.6 | 300 | 500 | | | | | | | | | |
| 6.8 | 480 | 600 | | | | | | | | | |
| 8.8 | 640 | 800 | | | | | | | | | |
| 10.9 | 900 | 1000 | | | | | | | | | |
| Caratteristiche geometriche bulloni | | | | | | | | | | | |
| d (mm) | A_s (mm ²) | A_{se} (mm ²) | | | | | | | | | |
| 12 | 113 | 84 | | | | | | | | | |
| 14 | 153 | 115 | | | | | | | | | |
| 16 | 201 | 157 | | | | | | | | | |
| 18 | 254 | 192 | | | | | | | | | |
| 20 | 314 | 245 | | | | | | | | | |
| 22 | 380 | 303 | | | | | | | | | |
| 24 | 452 | 353 | | | | | | | | | |
| 27 | 572 | 459 | | | | | | | | | |
| 30 | 706 | 561 | | | | | | | | | |
| Caratteristiche piastra | | | | | | | | | | | |
| Acciaio | f_{tk} (N/mm ²) | | | | | | | | | | |
| S235 | 360 | | | | | | | | | | |
| S275 | 430 | | | | | | | | | | |
| S355 | 510 | | | | | | | | | | |
| S450 | 550 | | | | | | | | | | |
| S235 N/NL | 390 | | | | | | | | | | |
| S355 N/NL | 490 | | | | | | | | | | |
| S420 N/NL | 520 | | | | | | | | | | |
| S460 N/NL | 540 | | | | | | | | | | |
| S235 M/ML | 370 | | | | | | | | | | |
| S355 M/ML | 470 | | | | | | | | | | |
| S420 M/ML | 520 | | | | | | | | | | |
| S460 M/ML | 540 | | | | | | | | | | |
| S235 W | 360 | | | | | | | | | | |
| S355 W | 510 | | | | | | | | | | |
| Verifica di resistenza con formula 4.2.65 | | | | | | | | | | | |
| $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1$ con $\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$ | | 0.258 | | | | | | | | | |
| $F_{v,Rd}$ (N) | 60288 | $\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}}$ | 0.000 | | | | | | | | |
| $F_{t,Rd}$ (N) | 90432 | | | | | | | | | | |
| Verifica a rifollamento (formula 4.2.61) $\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1$ con $F_{b,Rd} = \frac{k \cdot a \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$ | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tipo di unione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>□</td> <td>Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali</td> </tr> <tr> <td>⊗</td> <td>Non esposta a fenomeni corrosivi o ambientali</td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>Elementi resistenti alla corrosione (EN10025-5)</td> </tr> </tbody> </table> | | | | Tipo di unione | | □ | Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali | ⊗ | Non esposta a fenomeni corrosivi o ambientali | □ | Elementi resistenti alla corrosione (EN10025-5) |
| Tipo di unione | | | | | | | | | | | |
| □ | Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali | | | | | | | | | | |
| ⊗ | Non esposta a fenomeni corrosivi o ambientali | | | | | | | | | | |
| □ | Elementi resistenti alla corrosione (EN10025-5) | | | | | | | | | | |
| e_1 (mm) | 55 | $20.4 \leq e_1 \leq$ | — | | | | | | | | |
| e_2 (mm) | 55 | $20.4 \leq e_2 \leq$ | — | | | | | | | | |
| p_1 (mm) | 80 | $37.4 \leq p_1 \leq$ | 112 | | | | | | | | |
| p_2 (mm) | 80 | $40.8 \leq p_2 \leq$ | 112 | | | | | | | | |
| $a = \min \{e_1/(3d_0); f_{td}/f_{tk}; 1\}$ per bulloni di bordo // al carico applicato $a = \min \{p_1/(3d_0)-0.25; f_{td}/f_{tk}; 1\}$ per bulloni interni // al carico applicato $k = \min \{2.8e_1/d_0-1.7; 2.5\}$ per bulloni di bordo _l_ al carico applicato $k = \min \{1.4p_1/d_0-1.7; 2.5\}$ per bulloni interni _l_ al carico applicato | | | | | | | | | | | |
| a_{MIN} | 1.000 | $\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}}$ | 0.141 | | | | | | | | |
| k_{MIN} | 2.500 | | | | | | | | | | |
| $F_{b,Rd}$ (N) | 110080 | | | | | | | | | | |
| VERIFICA RIFOLLAMENTO CALCESTRUZZO | | | | | | | | | | | |
| d | 16 mm | $P_{Rd,c} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$ | | | | | | | | | |
| hsc | 106 mm | | | | | | | | | | |
| α | 1 - | | | | | | | | | | |
| f_{ck} | 30.53 N/mm ² | Prd,c | 53610.23 N formula 4.3.10, NTC18 | | | | | | | | |
| E_{cm} | 26692.2 N/mm ² | Ped | 15557.2 N taglio max su singolo bullone | | | | | | | | |
| γ_v | 1.25 - | Prd,c/Ped | 3.45 VER | | | | | | | | |

Collegamenti solaio-solaio: verifiche di resistenza e a rifollamento (foglio di calcolo excel)

Collegamento tipo A

scala 1:10



Collegamenti solaio-solaio: collegamento tipo A (da tavole progettuali)

- Ulteriori piastre sono state dimensionate per consentire il corretto collegamento degli impalcati alle travi sulle quali si appoggiano, mantenendo il vincolo di tipo cerniera riscontrato allo stato attuale; nel dimensionamento di queste tipologie di collegamento si è seguito il medesimo procedimento descritto in precedenza per i collegamenti solaio-solaio. Si riportano le schermate dei fogli di calcolo utilizzati nella progettazione:

| SOLAIO | POSIZIONE | PASSO | Vmax | Ved | Ved/2 | BULL TOT | CLASSE | Vrd,s,tot | VER | SIC | seff | smin | VER | ceff | cmin | VER | Lbullone | heff | VER | UPN |
|--------|-----------|-------|--------|-------|-------|----------|--------|-----------|---------|------|------|------|-----------|------|------|-----------|----------|------|-----|-----|
| - | - | [m] | [kg/m] | [kg] | [kg] | - | - | [kg] | Ved<Vrd | | [mm] | [mm] | smin<seff | [mm] | [mm] | cmin<ceff | [mm] | [mm] | - | - |
| t.1.1 | nervatura | 3.08 | 2491 | 7660 | 3830 | 4 | M12 | 3840 | OK | 1.00 | 80 | 60 | OK | 100 | 45 | OK | 90 | - | - | 140 |
| | trave | | | | | | | | | | | | | 60 | | | 120 | 110 | OK | |
| | nervatura | 3.08 | 1584 | 4871 | 2435 | 4 | M12 | 3840 | OK | 1.58 | 80 | 60 | OK | 100 | 45 | OK | 90 | - | - | 140 |
| | trave | | | | | | | | | | | | | 60 | | | 120 | 110 | OK | |
| t.1.2 | nervatura | 7.40 | 1008 | 7459 | 3730 | 4 | M12 | 3840 | OK | 1.03 | 65 | 60 | OK | 50 | 45 | OK | 150 | 110 | OK | 65 |
| | trave | 7.40 | | | | 4 | M12 | 3840 | OK | 1.03 | 80 | 60 | OK | 50 | 45 | OK | 150 | 110 | OK | 200 |
| t.2 | nervatura | 3.30 | 3551 | 11718 | - | 9 | M16 | 14400 | OK | 1.23 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 250 | 125 | OK | 140 |
| | nervatura | 3.30 | 2633 | 8689 | - | 7 | M16 | 11200 | OK | 1.29 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 250 | 125 | OK | 140 |
| | nervatura | 3.30 | 4790 | 15807 | - | 11 | M16 | 17600 | OK | 1.11 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 250 | 125 | OK | 140 |
| | nervatura | 3.30 | 1811 | 5976 | - | 5 | M16 | 8000 | OK | 1.34 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 250 | 125 | OK | 140 |
| | nervatura | 3.30 | 6131 | 20232 | - | 13 | M16 | 20800 | OK | 1.03 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 250 | 125 | OK | 140 |

Collegamenti solaio-trave: verifiche sulle barre e sui profili (foglio di calcolo excel)

VERIFICA di RESISTENZA del BULLONE e RIFOLLAMENTO PIASTRA

| Sollecitazioni | |
|----------------|------|
| $F_{v,Ed}$ (N) | 9390 |
| $F_{t,Ed}$ (N) | 0 |

| Caratteristiche resistenti bulloni | | |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Classe | f_{tk} (N/mm ²) | f_{tk} (N/mm ²) |
| 4.6 | 240 | 400 |
| 5.6 | 300 | 500 |
| 6.8 | 480 | 600 |
| 8.8 | 640 | 800 |
| 10.9 | 900 | 1000 |

| Caratteristiche piastra | |
|-------------------------|-------------------------------|
| Acciaio | f_{tk} (N/mm ²) |
| S235 | 360 |
| S275 | 430 |
| S355 | 510 |
| S450 | 550 |
| S235 N/NL | 390 |
| S355 N/NL | 490 |
| S420 N/NL | 520 |
| S460 N/NL | 540 |
| S235 M/ML | 370 |
| S355 M/ML | 470 |
| S420 M/ML | 520 |
| S460 M/ML | 540 |
| S235 W | 360 |
| S355 W | 510 |

| Bulloni | |
|-------------------------------|------|
| Classe | 8.8 |
| d (mm) | 12 |
| γ_{M2} | 1.25 |
| f_{tk} (N/mm ²) | 640 |
| f_{tk} (N/mm ²) | 800 |
| A_s (mm ²) | 113 |
| A_{se} (mm ²) | 84 |

| Caratteristiche geometriche bulloni | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| d (mm) | A_s (mm ²) | A_{se} (mm ²) |
| 12 | 113 | 84 |
| 14 | 153 | 115 |
| 16 | 201 | 157 |
| 18 | 254 | 192 |
| 20 | 314 | 245 |
| 22 | 380 | 303 |
| 24 | 452 | 353 |
| 27 | 572 | 459 |
| 30 | 706 | 561 |

| Piastra di collegamento | |
|-------------------------------|------|
| Acciaio | S275 |
| t (mm) | 7 |
| γ_{M2} | 1.25 |
| d_0 (mm) | 13 |
| f_{tk} (N/mm ²) | 430 |

Verifica di resistenza con formula 4.2.65

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1 \text{ con } \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

| | |
|----------------|-------|
| $F_{v,Ed}$ (N) | 32256 |
| $F_{t,Ed}$ (N) | 48384 |

| | |
|---|-------|
| $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}}$ | 0.291 |
| $\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}}$ | 0.000 |

Verifica a rifollamento (formula 4.2.61)

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \text{ con } F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

| Tipo di unione | |
|----------------|---|
| C | Esposta a fenomeni corrosivi o ambientali |
| ⊗ | Non esposta a fenomeni corrosivi o ambientali |
| □ | Elementi resistenti alla corrosione (EN10025-5) |

| | | | | |
|------------|----|------|-----------------|----|
| e_1 (mm) | 55 | 15.6 | $\leq e_1 \leq$ | — |
| e_2 (mm) | 55 | 15.6 | $\leq e_2 \leq$ | — |
| p_1 (mm) | 80 | 28.6 | $\leq p_1 \leq$ | 98 |
| p_2 (mm) | 80 | 31.2 | $\leq p_2 \leq$ | 98 |

$a = \min(e_1/(3d_0); f_{tk}/f_{tk}; 1)$ per bulloni di bordo // al carico applicato
 $a = \min(p_1/(3d_0)-0.25; f_{tk}/f_{tk}; 1)$ per bulloni interni // al carico applicato
 $k = \min(2.8e_1/d_0-1.7; 2.5)$ per bulloni di bordo _ al carico applicato
 $k = \min(1.4p_1/d_0-1.7; 2.5)$ per bulloni interni _ al carico applicato

| | |
|-----------|-------|
| a_{MIN} | 1.000 |
| k_{MIN} | 2.500 |

| | |
|----------------|-------|
| $F_{b,Rd}$ (N) | 72240 |
|----------------|-------|

| | |
|-----------------------------|-------|
| $\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}}$ | 0.130 |
|-----------------------------|-------|

VERIFICA RIFOLLAMENTO CALCESTRUZZO

| | |
|-----------------|---------------------------|
| d | 12 mm |
| hsc | 90 mm |
| α | 1 - |
| f _{ck} | 30.53 N/mm ² |
| E _{cm} | 26692.2 N/mm ² |
| γ_v | 1.25 - |

$$P_{Rd,c} = 0.29 \alpha d^2 (f_{ck} E_{cm})^{0.5} / \gamma_v$$

| | | |
|-------|------------|-------------------------------|
| Prd,c | 30155.76 N | formula 4.3.10, NTC18 |
| Ped | 9389.7 N | taglio max su singolo bullone |

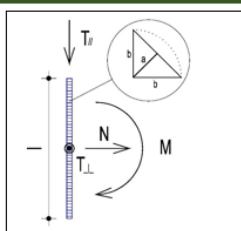
| | | |
|-----------|------|-----|
| Prd,c/Ped | 3.21 | VER |
|-----------|------|-----|

Collegamenti solaio-trave: verifiche di resistenza e a rifollamento (foglio di calcolo excel)

Collegamento E (SALDATURA su UPN65) - cordone verticale

| Sollecitazioni | |
|----------------------|-----|
| N (N) | 550 |
| T _{II} (N) | 845 |
| T _{III} (N) | 0 |
| M (Nm) | 0 |

| Dati saldatura | |
|----------------|------|
| Acciaio | S275 |
| b (mm) | 4 |
| l (mm) | 104 |
| n° cordoni | 1 |
| ξ_{M2} | 1.25 |
| a (mm) | 2.83 |



| | |
|-------------------------------|-----|
| f_{yk} (N/mm ²) | 275 |
| f_{tk} (N/mm ²) | 430 |

| | Acoialo | $f_{\text{a}}(\text{N/mm}^2)$ | $f_{\text{a}}(\text{N/mm}^2)$ | b_{a} | b_{t} | b_{z} |
|------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| S235 | 235 | 360 | 0.8 | 0.85 | 1 | |
| S275 | 275 | 430 | 0.85 | 0.7 | 0.85 | |
| S355 | 355 | 510 | 0.9 | 0.7 | 0.85 | |
| S460 | 440 | 550 | | | | |
| S235 N/NL | 275 | 390 | | | | |
| S355 N/NL | 355 | 490 | 0.9 | | | |
| S420 N/NL | 420 | 520 | 1 | 0.62 | 0.75 | |
| S460 N/NL | 460 | 540 | 1 | 0.62 | 0.75 | |
| S235 M/M/L | 275 | 370 | | | | |
| S355 M/M/L | 355 | 470 | 0.9 | | | |
| S420 M/M/L | 420 | 520 | 1 | | | |
| S460 M/M/L | 460 | 540 | 1 | | | |
| S235 w | 235 | 360 | 0.8 | | | |
| S355 w | 355 | 510 | 0.9 | | | |

Verifica con formula 4.2.76

$$F_{\text{max Ed}}/F_{\text{max Rd}} \leq 1 \text{ con } F_{\text{max Rd}} = a \cdot f_{td}/(\sqrt{3} \cdot b \cdot g_{\text{Ed}})$$

| | |
|---------------------------------|---------|
| b_w | 0.85 |
| $f_{vw,d}$ (N/mm ²) | 233.657 |
| F_{TII} (N/mm) | 8.125 |
| $F_{T,I}$ (N/mm) | 0.000 |

| | |
|-------------------|---------|
| $F_{w,Ed}$ (N/mm) | 9.695 |
| $F_{w,Ed}$ (N/mm) | 660.882 |

| | |
|--------------------|-------|
| F_{TOT} (N/mm) | 8.125 |
| $F_{J,N}$ (N/mm) | 5.288 |
| $F_{J,M}$ (N/mm) | 0.000 |
| $F_{I,TOT}$ (N/mm) | 5.288 |

| | |
|-------|----|
| S/R | OK |
| 0.015 | |

Verifica con formula 4.2.78 e 4.2.79

$$y(n_1^2 + t_1^2 + t_{ii}^2) \leq b_3 f_4$$

$$|n_1| + |t_1| \leq b_2 f_k$$

| | |
|----------------------------------|--------|
| b_1 | 0.7 |
| b_2 | 0.85 |
| $t_{//}$ (N/mm ²) | 2.8726 |
| t_{\perp} (N/mm ²) | 0.0000 |

| | |
|---|----------|
| $v(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)$ | 3.4275 |
| b, f_A | 192.5000 |

| | |
|-----------------------------|----------|
| $ n_{\perp} + t_{\perp} $ | 1.8698 |
| $b_{\perp} f_{\perp}$ | 233.7500 |

| | |
|------------------------------|--------|
| $n_{\perp,N}(\text{N/mm}^2)$ | 1.8698 |
| $n_{\perp,M}(\text{N/mm}^2)$ | 0.0000 |
| $n_{\perp}(\text{N/mm}^2)$ | 1.8698 |

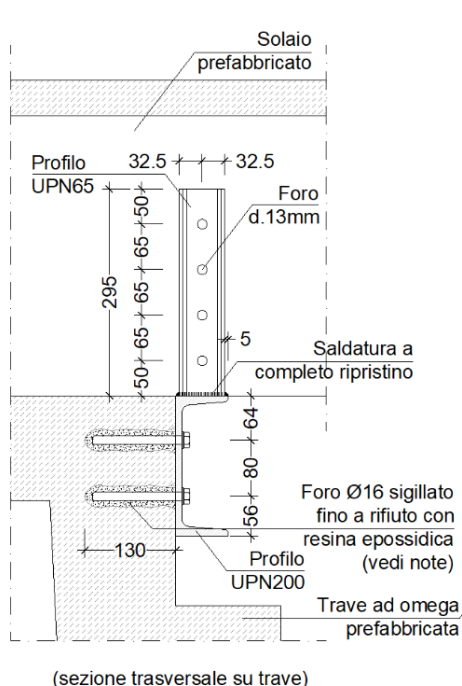
| | |
|------|----|
| S/R | OK |
| 0.02 | |

| | |
|------|----|
| S/R | OK |
| 0.01 | |

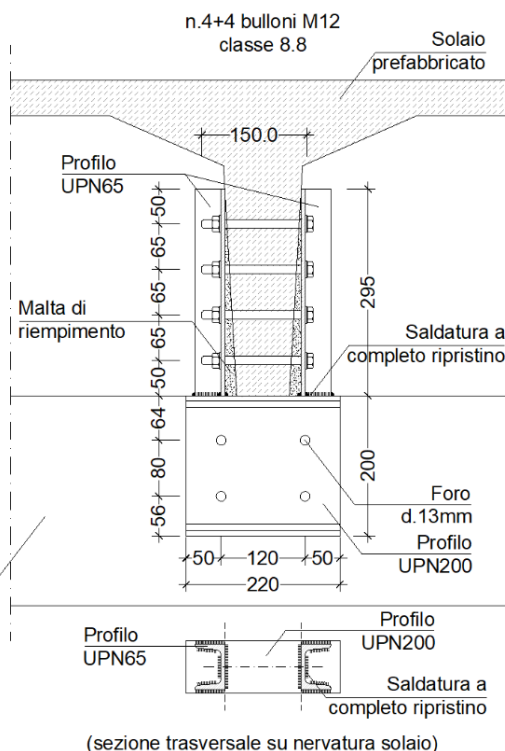
Collegamenti solaio-trave: verifiche cordoni di saldatura (foglio di calcolo excel)

Collegamento tipo E

scala 1:10



(sezione trasversale su trave)



(sezione trasversale su nervatura solaio)

Collegamenti solaio-trave: collegamento tipo E (da tavole progettuali)

- Infine, sono state progettate specifiche piastre anche per il collegamento delle travi prefabbricate ai pilastri, mantenendo ancora una volta il vincolo di tipo cerniera come fatto in precedenza e procedendo in analogia con quanto fatto per le altre due tipologie di collegamento.

| n. pil | pos | N | Ty | F | BULL TOT | CLASSE | Vrd.s | Vrd.s,tot | VER. | SIC. | seff | smin | VER. | ceff | cmin | VER. | Lbullone | heff | VER. | UPN |
|--------|-----|---------------------|------|-------|----------|--------|-------|-----------|---------|------|------|------|-----------|------|------|----------|----------|------|------|-----|
| - | - | [kg] | [kg] | [kg] | - | - | [kg] | [kg] | Ved<Vrd | | [mm] | [mm] | sminkseff | [mm] | [mm] | cminkeff | [mm] | [mm] | - | - |
| 2 | E | 16459 | 169 | 16460 | 12 | M16 | 1600 | 19200 | OK | 1.17 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 3 | S | 21482 | 4467 | 21942 | 14 | M16 | 1600 | 22400 | OK | 1.02 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 4 | N | 14993 | 268 | 14995 | 12 | M16 | 1600 | 19200 | OK | 1.28 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 5 | N | 9778 | 530 | 9792 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.31 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 5 | N | 4680 | 544 | 4712 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 2.72 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 7 | E | 6080 | 561 | 6106 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 2.10 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 7 | E | 4744 | 3 | 4744 | 4 | M16 | 1600 | 6400 | OK | 1.35 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 8 | O | 16459 | 169 | 16460 | 12 | M16 | 1600 | 19200 | OK | 1.17 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 8 | N | 3086 | 51 | 3086 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 4.15 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 9 | S | 1641 | 450 | 1702 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 7.52 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 9 | N | 6397 | 97 | 6398 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 2.00 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 9 | S | 9498 | 187 | 9500 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.35 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 10 | N | 10164 | 346 | 10170 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.26 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| PAL | O | trave pal. con funi | | 5019 | 4 | M16 | 1600 | 6400 | OK | 1.28 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| PAL | E | trave pal. con funi | | 5019 | 4 | M16 | 1600 | 6400 | OK | 1.28 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 15 | N | 3558 | 44 | 3558 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 3.60 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 15 | S | 6187 | 359 | 6197 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 2.07 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 16 | N | 7084 | 90 | 7085 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.81 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 16 | S | 11495 | 166 | 11496 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.11 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 17 | N | 19646 | 554 | 19654 | 14 | M16 | 1600 | 22400 | OK | 1.14 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 22 | S | 5177 | 2367 | 5692 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 2.25 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 22 | O | 5294 | 12.4 | 5294 | 4 | M16 | 1600 | 6400 | OK | 1.21 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 23 | E | 18596 | 488 | 18602 | 12 | M16 | 1600 | 19200 | OK | 1.03 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 23 | N | 2624 | 59 | 2625 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 4.88 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 23 | S | 6119 | 353 | 6129 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 2.09 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 24 | N | 6967 | 81 | 6967 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.84 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 24 | S | 7089 | 54 | 7089 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.81 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 25 | N | 20390 | 1059 | 20417 | 14 | M16 | 1600 | 22400 | OK | 1.10 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 29 | S | 2498 | 50 | 2499 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 5.12 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 30 | N | 4854 | 112 | 4855 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 2.64 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 30 | S | 7893 | 101 | 7894 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.62 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 31 | N | 10351 | 2457 | 10639 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.20 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 31 | S | 12830 | 1848 | 12962 | 12 | M16 | 1600 | 19200 | OK | 1.48 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 31 | O | 18669 | 288 | 18671 | 12 | M16 | 1600 | 19200 | OK | 1.03 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 32 | N | 8567 | 539 | 8584 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.49 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |
| 32 | S | 10386 | 312 | 10391 | 8 | M16 | 1600 | 12800 | OK | 1.23 | 75 | 75 | OK | 50 | 50 | OK | 130 | 125 | OK | 180 |

Collegamenti trave-pilastro: verifiche sulle barre e sui profili (foglio di calcolo excel)

Collegamento G1-G2-G3 (SALDATURA su UPN180) - cordone verticale

| Sollecitazioni | |
|---------------------|-------|
| N (N) | 53977 |
| T (N) | 22723 |
| T _⊥ (N) | 0 |
| M (Nmm) | 0 |

| Dati saldatura | |
|-----------------|------|
| Acciaio | S275 |
| b (mm) | 4 |
| l (mm) | 140 |
| n° cordoni | 1 |
| g ₀₂ | 1.25 |
| a (mm) | 2.83 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| f _{yk} (N/mm ²) | 275 |
| f _{yk} (N/mm ²) | 430 |

Verifica con formula 4.2.76

$$F_{u,td}/F_{u,td} \leq 1 \text{ con } F_{u,td} = a \cdot f_{u,td} / (V3 \cdot b \cdot g_{02})$$

| | |
|--|---------|
| b ₁ | 0.85 |
| f _{u,td} (N/mm ²) | 233.657 |
| F _{T,} (N/mm) | 162.307 |
| F _{T,⊥} (N/mm) | 0.000 |
| F _{u,td} (N/mm) | 418.321 |
| F _{u,td} (N/mm) | 660.882 |

| | |
|--------------------------|---------|
| F _{T,} (N/mm) | 162.307 |
| F _{T,⊥} (N/mm) | 385.550 |
| F _{T,} (N/mm) | 0.000 |
| F _{T,} (N/mm) | 385.550 |
| S/R | OK |
| 0.633 | |

Verifica con formula 4.2.78 e 4.2.79

$$\sqrt{(n_{u,||}^2 + t_{u,||}^2 + t_{u,||}^2)} \leq b_1 \cdot f_{u,||}$$

$$|n_{u,||} + t_{u,||}| \leq b_1 \cdot f_{u,||}$$

| | |
|--|---------|
| b ₁ | 0.7 |
| b ₁ | 0.85 |
| t _{u,} (N/mm ²) | 57.3842 |
| t _{u,⊥} (N/mm ²) | 0.0000 |

| | |
|--|----------|
| n _{u,} (N/mm ²) | 136.3125 |
| n _{u,⊥} (N/mm ²) | 0.0000 |
| n _{u,} (N/mm ²) | 136.3125 |

| | |
|---|----------|
| $\sqrt{(n_{u, }^2 + t_{u, }^2 + t_{u, }^2)}$ | 147.8988 |
| b ₁ · f _{u,} | 192.5000 |
| n _{u,} + t _{u,} | 136.3125 |
| b ₁ · f _{u,} | 233.7500 |

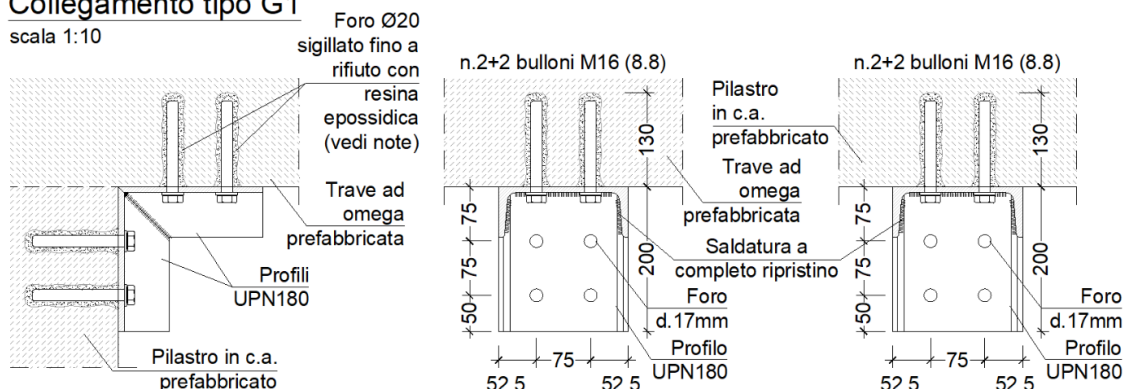
| | |
|------|----|
| S/R | OK |
| 0.77 | |
| S/R | OK |
| 0.58 | |

| Acciaio | I _{yk} (Nmm ²) | I _{yk} (Nmm ²) | b ₁ | b ₁ | b ₁ |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| S235 | 235 | 360 | 0.8 | 0.85 | 1 |
| S275 | 275 | 430 | 0.85 | 0.7 | 0.85 |
| S355 | 355 | 510 | 0.9 | 0.7 | 0.85 |
| S450 | 440 | 550 | | | |
| S235 NML | 275 | 390 | | | |
| S355 NML | 355 | 490 | 0.9 | | |
| S420 NML | 420 | 520 | 1 | 0.62 | 0.75 |
| S460 NML | 460 | 540 | 1 | 0.62 | 0.75 |
| S235 MML | 275 | 370 | | | |
| S355 MML | 355 | 470 | 0.9 | | |
| S420 MML | 420 | 520 | 1 | | |
| S460 MML | 460 | 540 | 1 | | |
| S235 V | 235 | 360 | 0.8 | | |
| S355 V | 355 | 510 | 0.9 | | |

Collegamenti trave-pilastro: verifiche cordoni di saldatura (foglio di calcolo excel)

Collegamento tipo G1

scala 1:10



Collegamenti trave-pilastro: collegamento tipo G1 (da tavole progettuali)

Questi specifici collegamenti saranno in grado di garantire le richieste necessarie all'ottenimento della indispensabile condizione di piano rigido, e consentiranno di conseguenza di evitare possibili traslazioni relative tra i vari elementi interessati. Per una maggiore ed esauritiva comprensione di quanto esposto si rimanda agli elaborati grafici e agli allegati di calcolo.

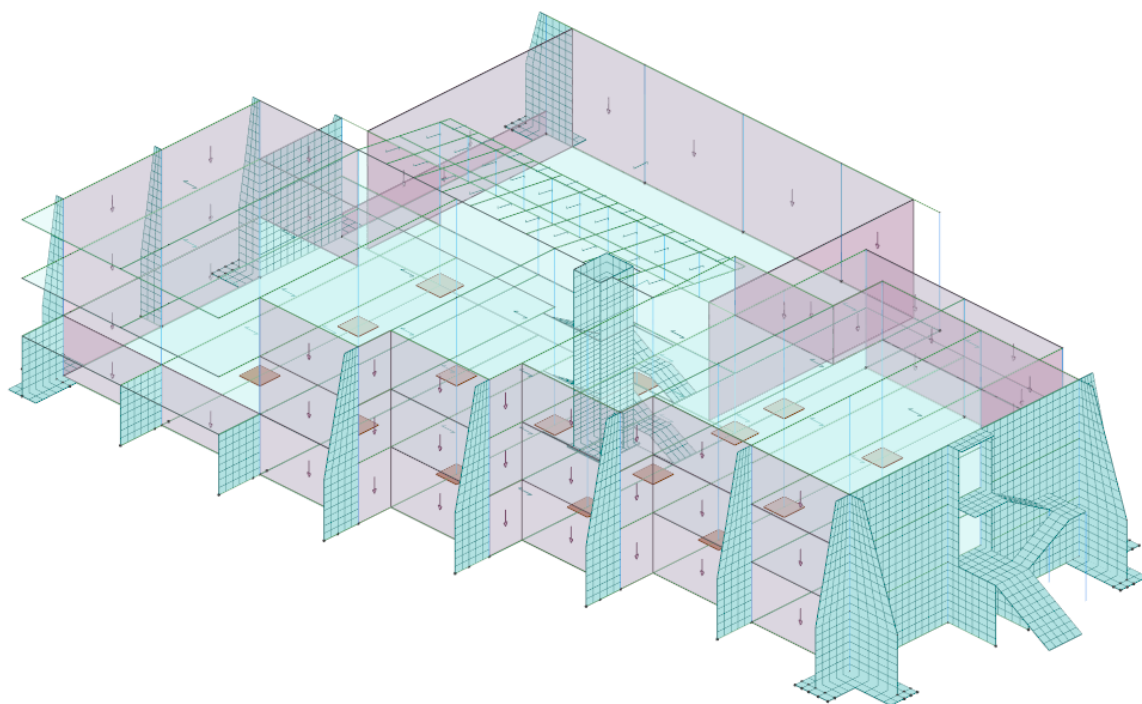
Tra gli altri copiosi interventi di progetto a livello globale su tutta la struttura, siamo andati inoltre a modellare, a livello fondale, sia una serie di travi rovesce di fondazione disposte lungo il perimetro (volte a sostenere i sovrastanti setti in c.a.), sia delle nuove platee in prossimità dei setti disposti agli spigoli del fabbricato: per quanto riguarda le travi rovesce, quelle disposte perimetralmente avranno nella realtà una sezione ad U (a differenza della modellazione su *ModeSt* che ci ha obbligati a considerare una sezione ad L in fase computazionale), mentre quelle impostate in direzione trasversale rispetto al perimetro avranno una forma a T rovescia (forma che il software ha consentito di modellare correttamente).

Di fondamentale importanza sarà il collegamento in opera tra i nuovi elementi sismo-resistenti e gli elementi prefabbricati esistenti, in quanto questo dovrà trasmettere correttamente l'azione sismica dal telaio ai setti sino in fondazione: per far fronte a questa richiesta, sono state previste delle specifiche barre inghisanti in acciaio, che verranno disposte in numero e in modo tale da raggiungere gli obiettivi prefissati.

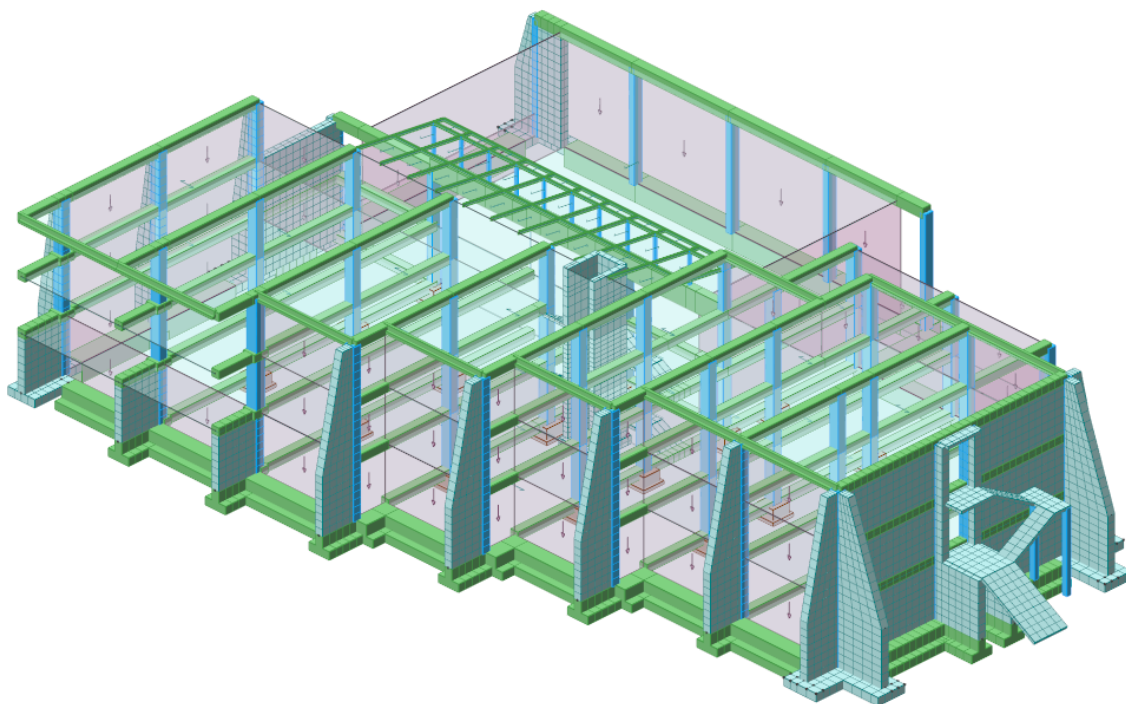
Infine, tra gli interventi più importanti previsti per l'edificio oggetto di studio, si ricorda il progetto di un nuovo vano scala esterno sul lato est del manufatto, previa demolizione delle rampe esistenti: in ambiente computazionale siamo andati a modellare specifiche solette in grado di rappresentare le rampe e i pianerottoli di piano/interpiano del nuovo vano scala, le cui dimensioni sono ben riportate all'interno delle tavole progettuali esecutive.

Si può affermare, in conclusione, che la modellazione impiegata per la ricostruzione tridimensionale dell'edificio è in grado di rispecchiare ottimamente la schematizzazione dell'edificio reale, in quanto è stato deciso di costruire due modelli identici per svolgere le analisi in elevazione e in fondazione: per quanto concerne il modello utilizzato per le verifiche in elevazione, si è deciso di incastrare i pilastri alla base, così da far risaltare il comportamento sismico della struttura al netto di quello del terreno; viceversa, per le verifiche in fondazione, si è scelto di considerare alla base dei vincoli che potessero ben rappresentare un terreno su suolo elastico alla Winkler.

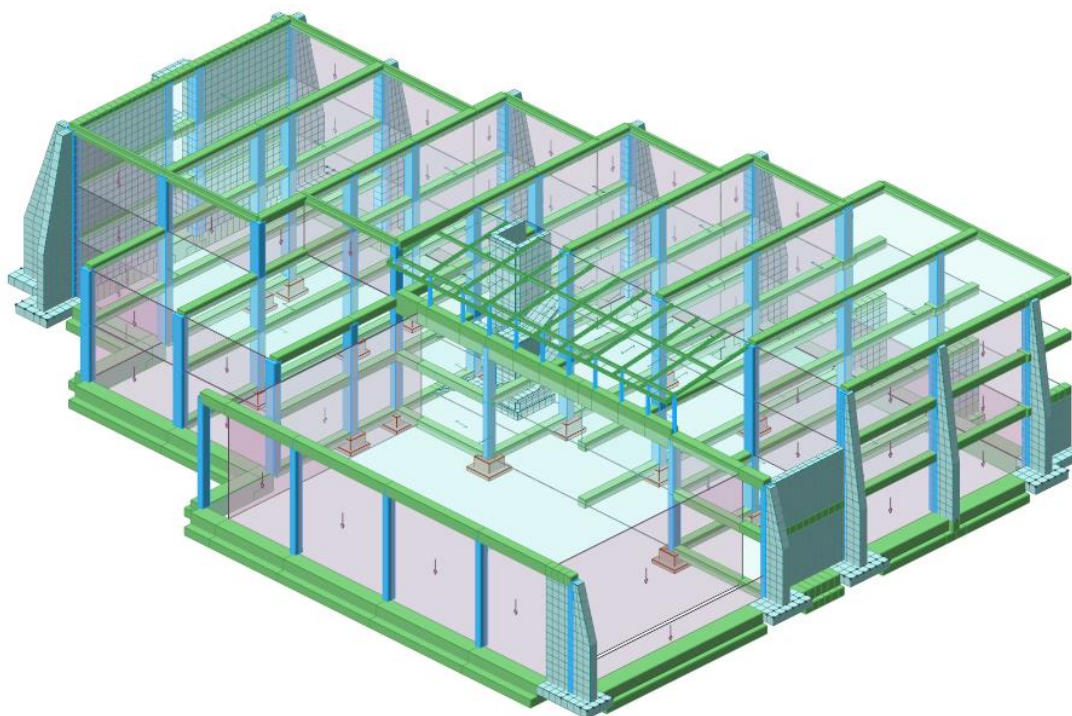
Si riportano ora delle viste tridimensionali rappresentanti il modello computazionale allo stato di progetto.



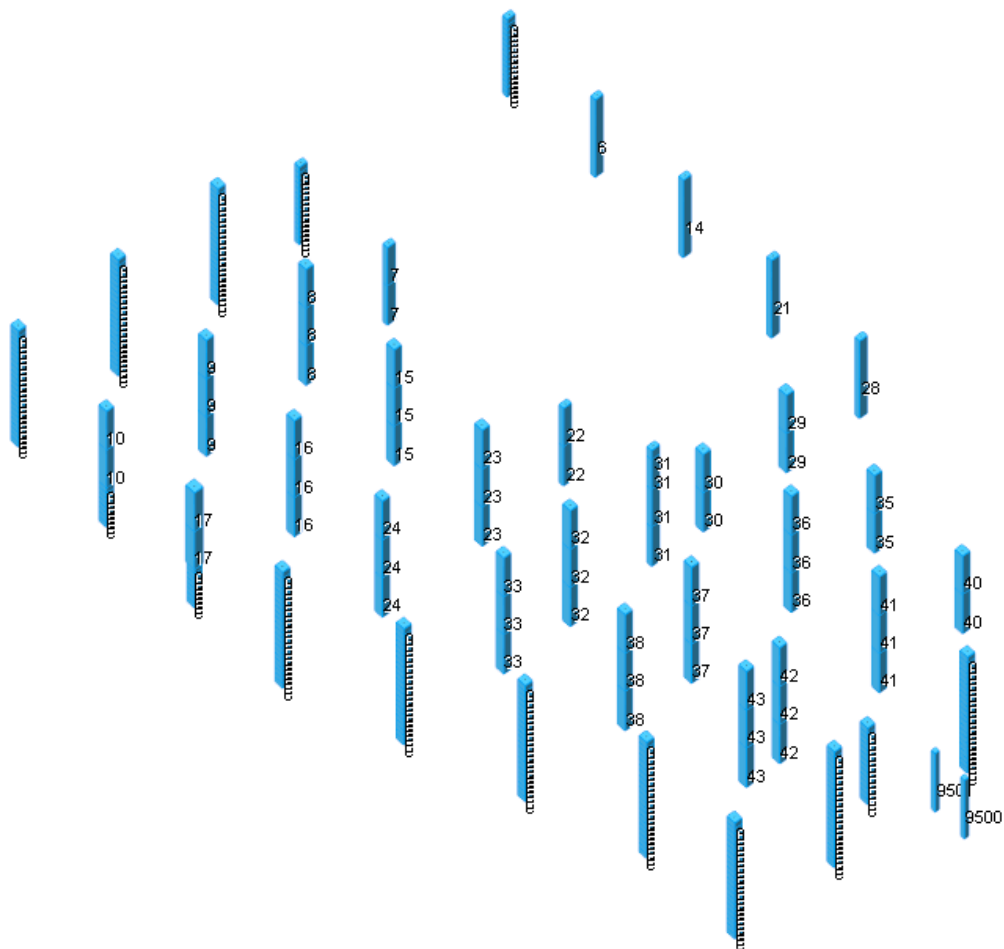
Vista unifilare del modello agli elementi finiti (stato di progetto)



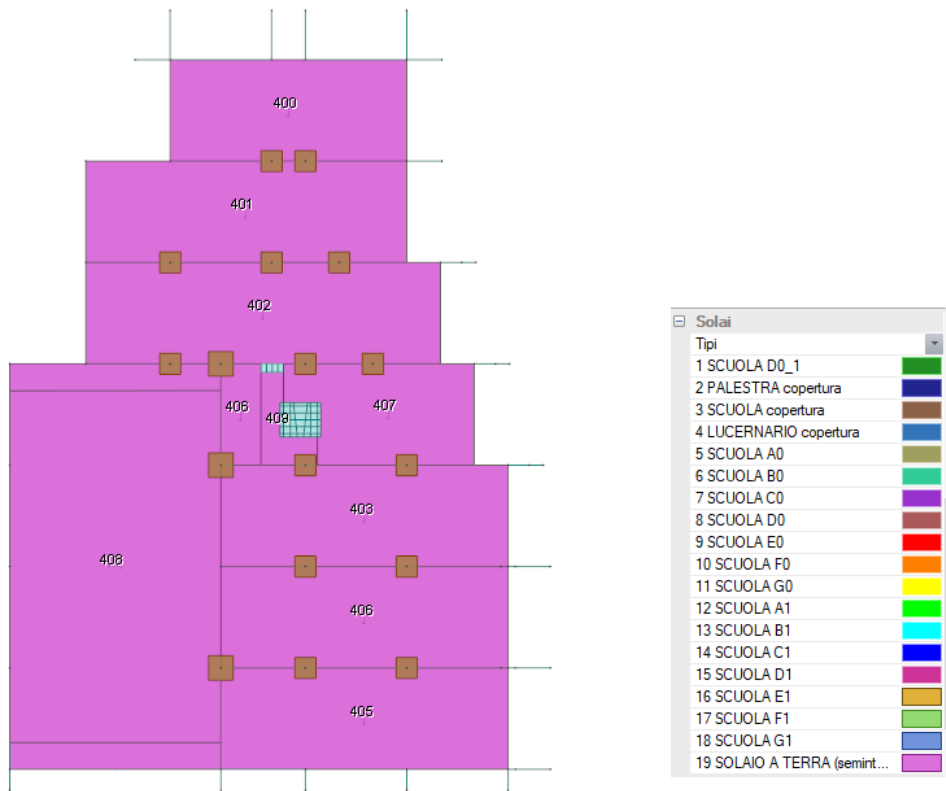
Vista tridimensionale del modello agli elementi finiti (stato di progetto)



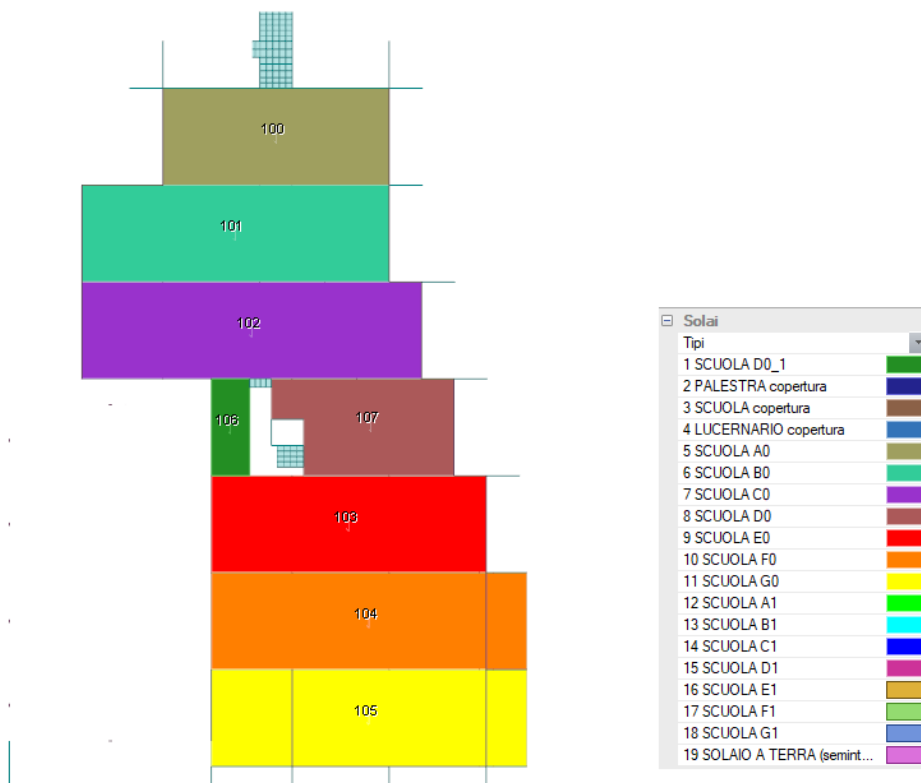
Vista tridimensionale del modello agli elementi finiti (stato di progetto)



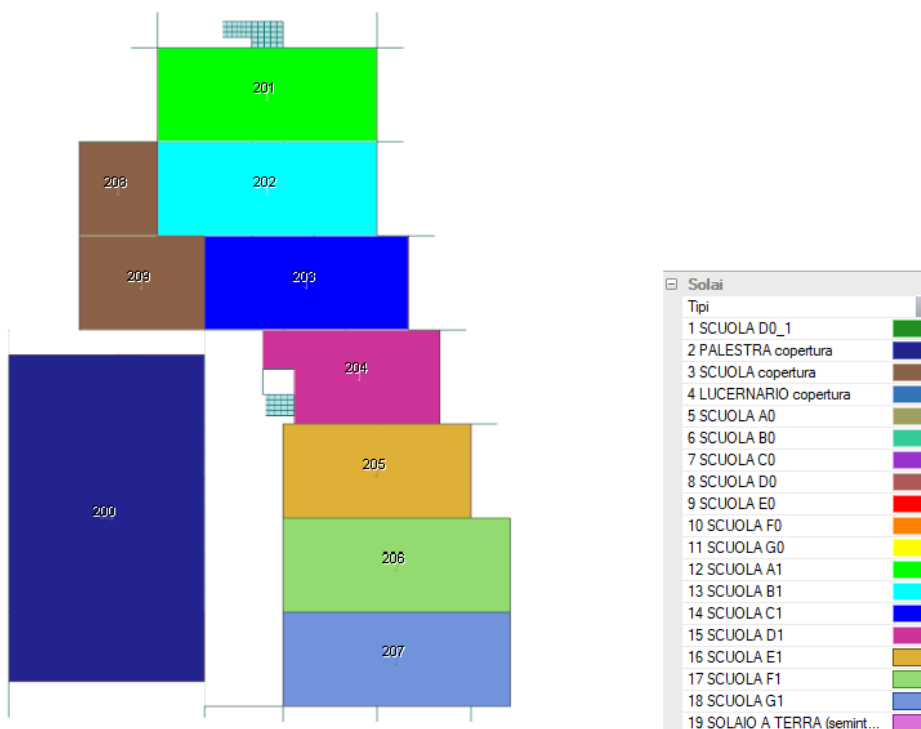
Numerazione aste “pilastro” in c.a.



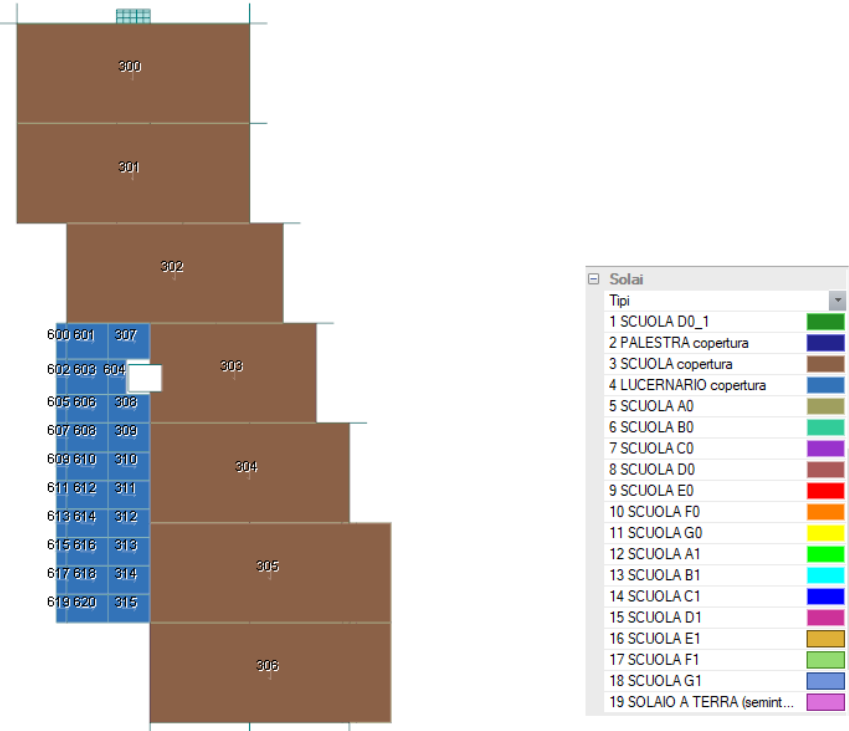
Impalcati calpestio piano interrato (con numerazione e tipologia, fonte ModeSt)



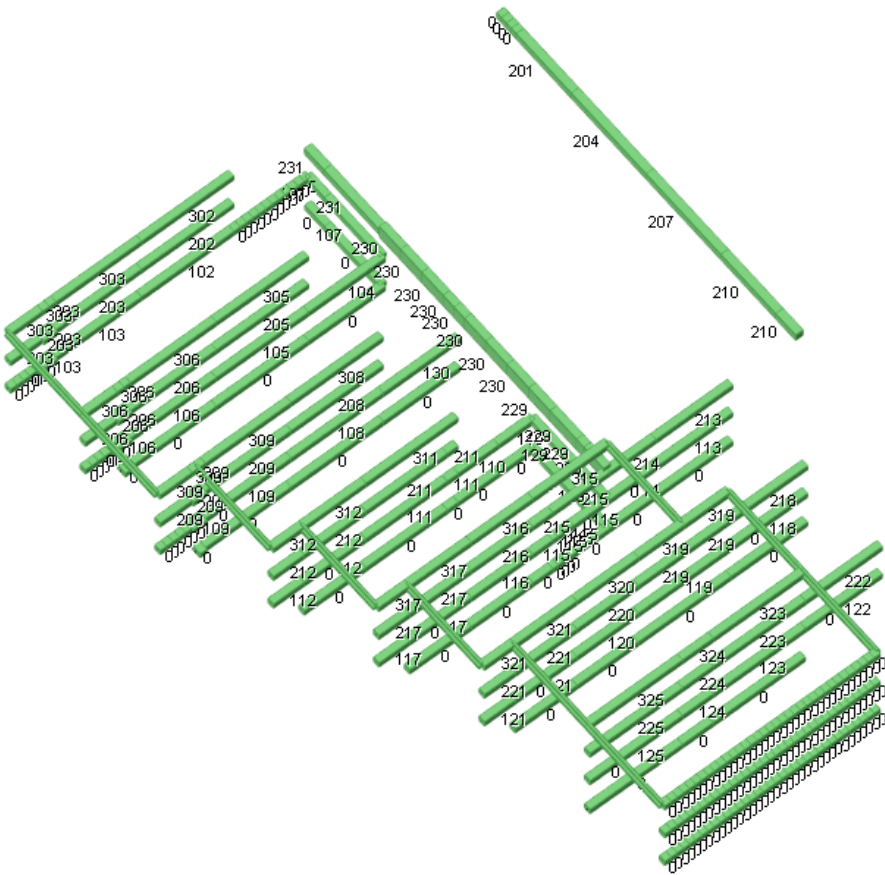
Impalcati calpestio piano rialzato (con numerazione e tipologia, fonte ModeSt)



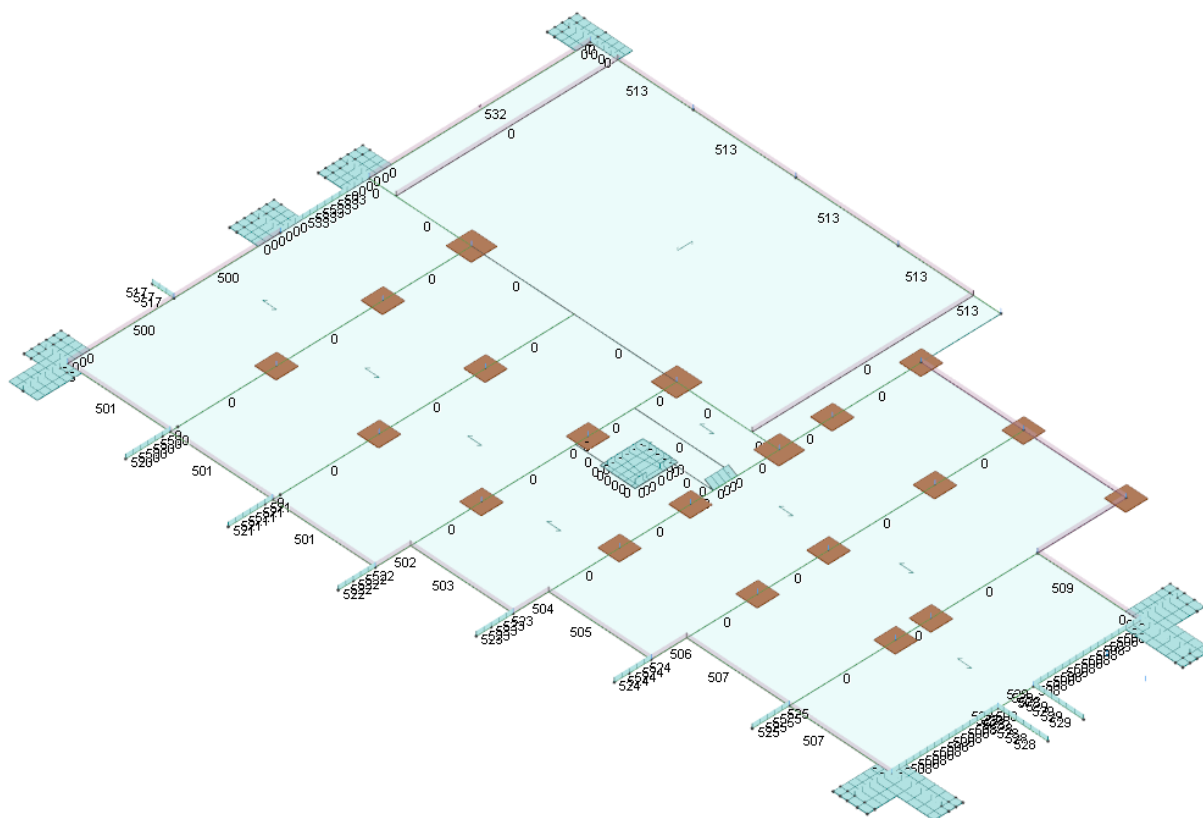
Impalcati calpestio piano primo (con numerazione e tipologia, fonte ModeSt)



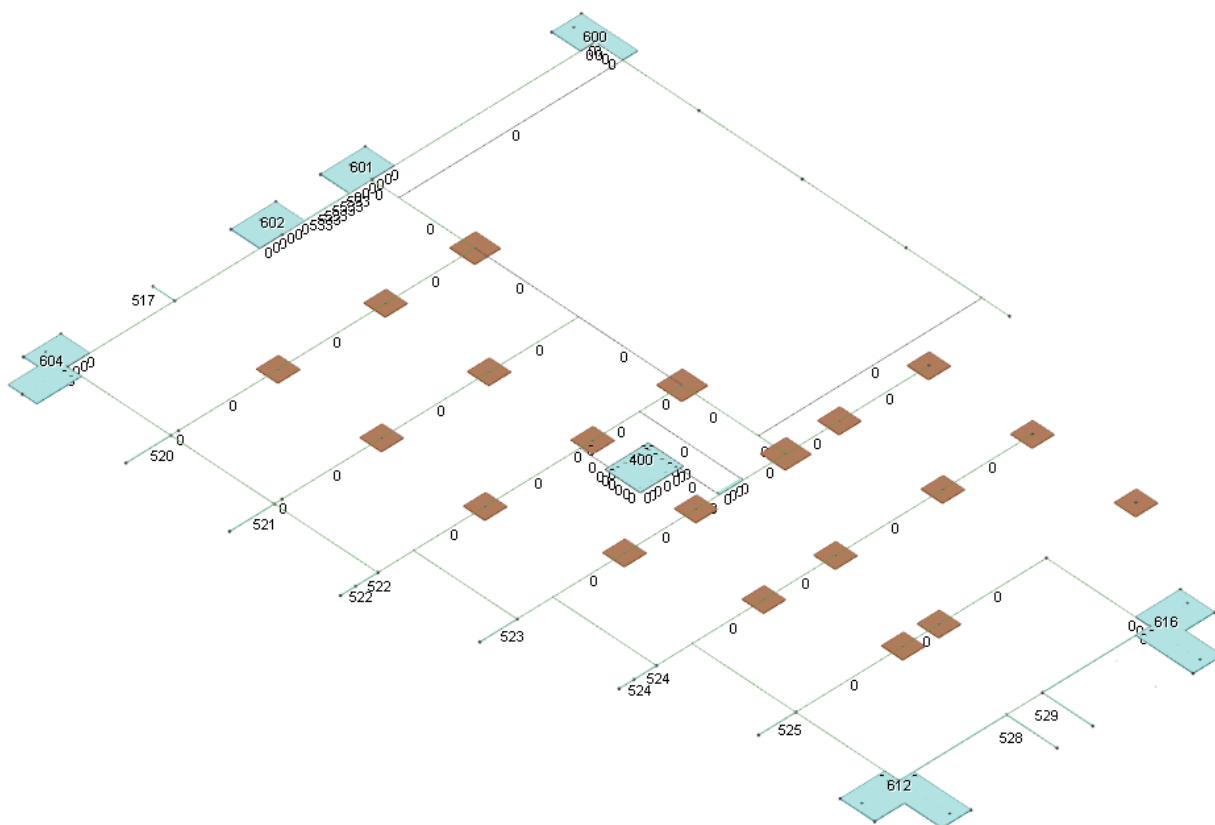
Impalcati copertura (con numerazione e tipologia, fonte ModeSt)



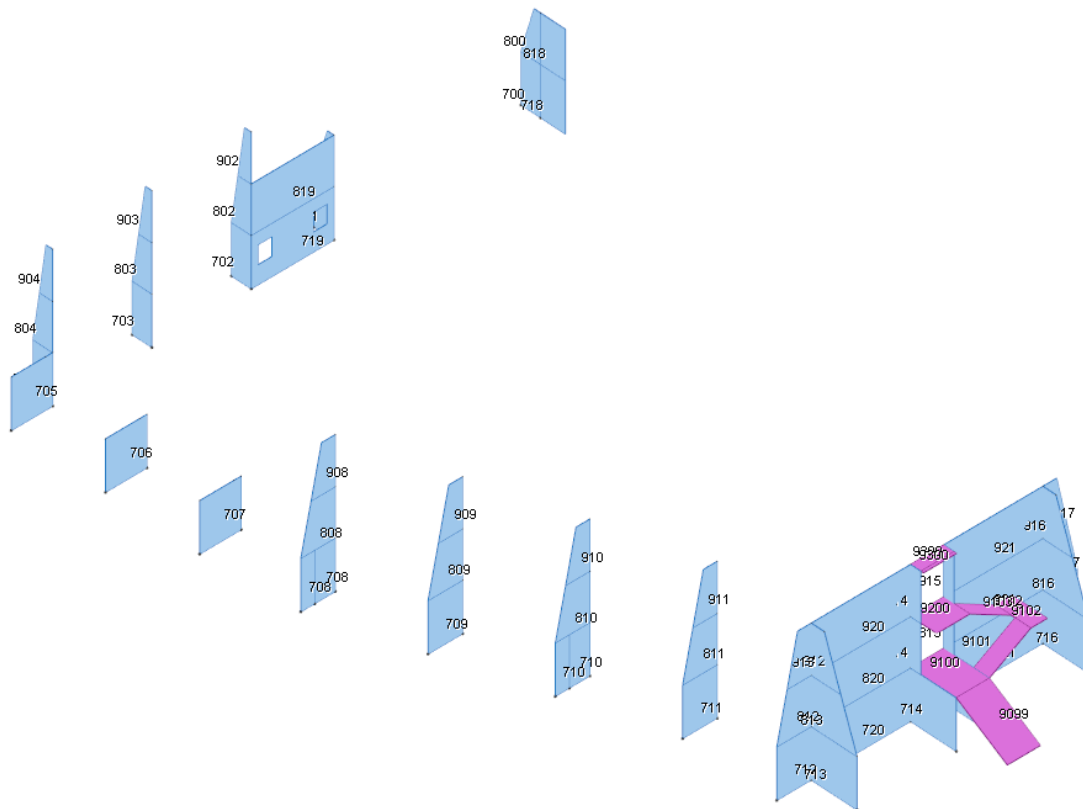
Numerazione aste "trave" in c.a.



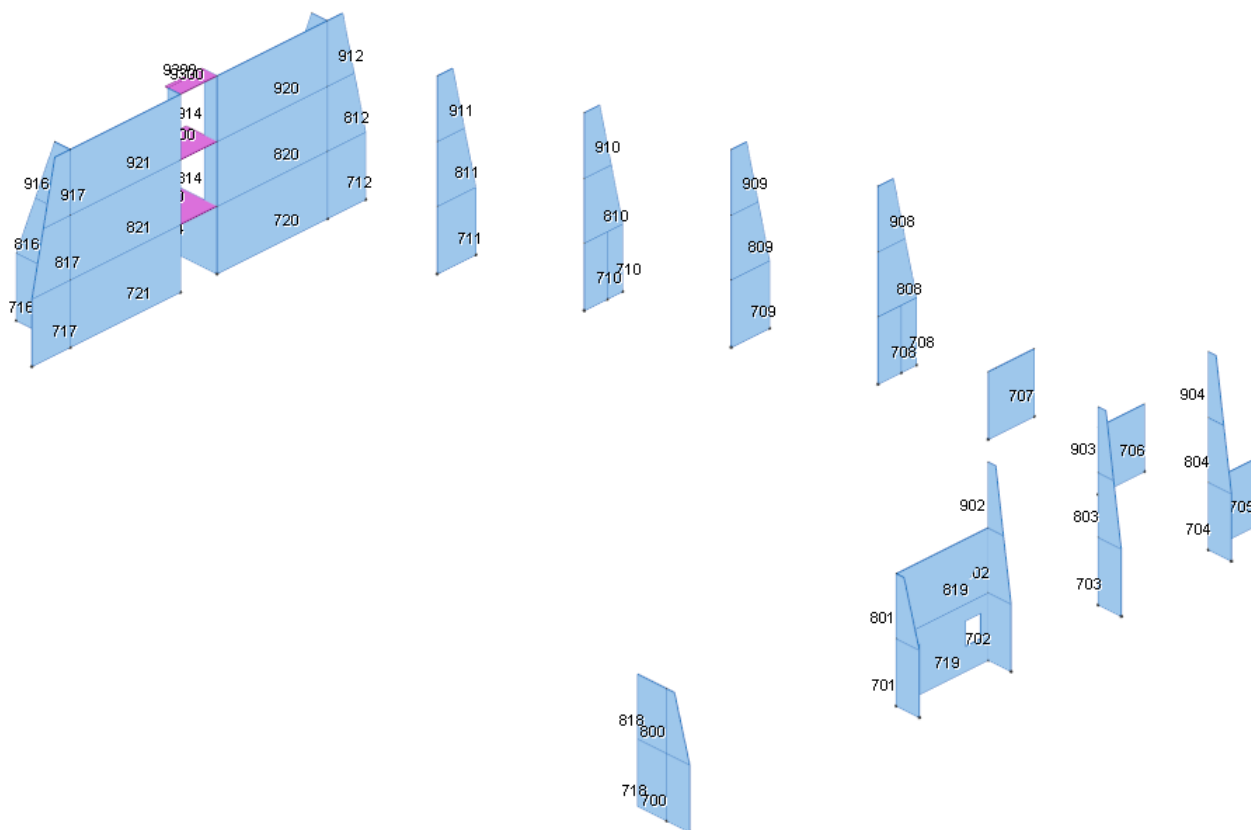
Numerazione aste “nuova trave di fondazione ad U” in c.a.



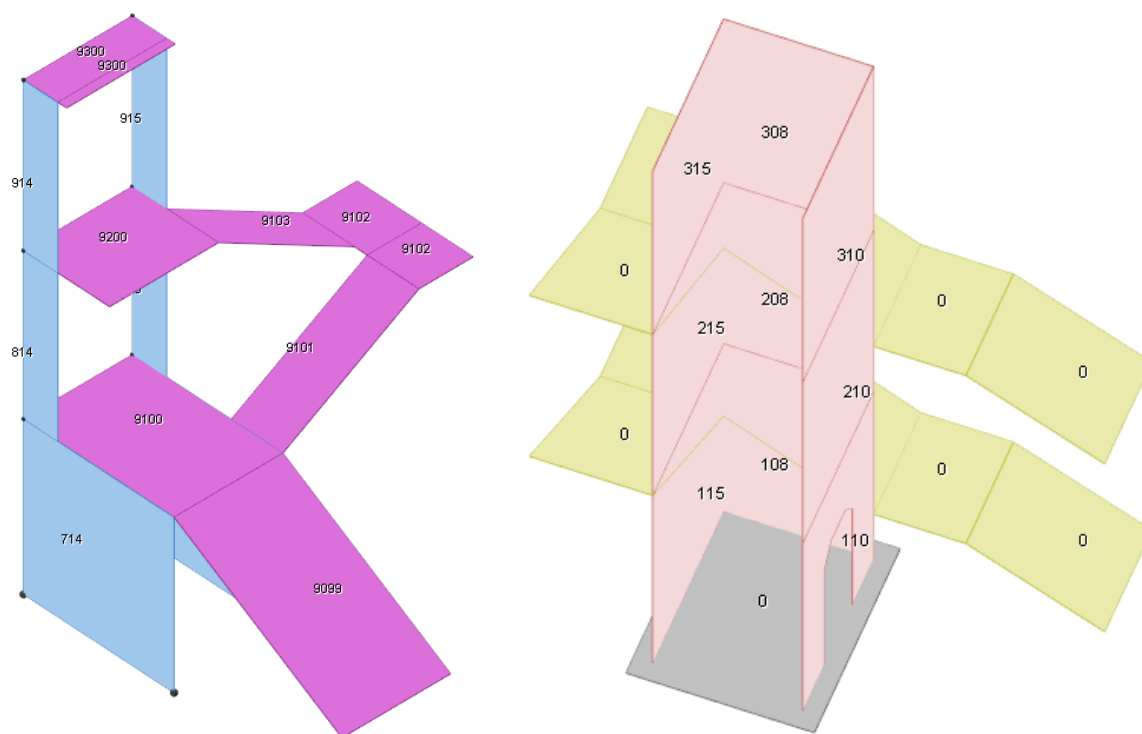
Numerazione aste “nuova trave di fondazione a T” e “nuove platee” in c.a.



Numerazione nuclei “nuovi setti antisismici” e “nuove rampe” in c.a. (vista sud-est)



Numerazione nuclei “nuovi setti antisismici” e “nuove rampe” in c.a. (vista nord-ovest)



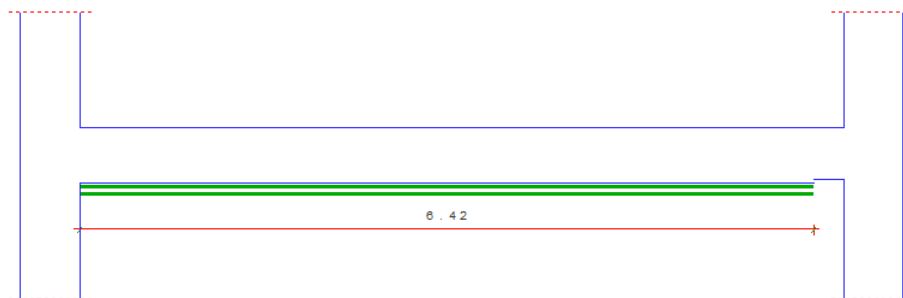
Numerazione nuclei “nuove rampe lato est” e “nuclei vano ascensore esistente” in c.a.

5.4 CONSOLIDAMENTI PUNTUALI (stato di progetto)

In aggiunta agli interventi appena descritti, sono stati effettuati dei consolidamenti puntuali sulle travi e sui pilastri, per ovviare a carenze relative agli interventi precedenti, e soddisfare i requisiti richiesti da un intervento di adeguamento, come definito nelle NTC 2018. A seconda dell'intervento effettuato e l'elemento su cui si interviene, verrà riportata una descrizione dettagliata degli interventi effettuati.

Rinforzo travata T103 tra pilastri 4-5 (appartenente al calpestio del piano rialzato)

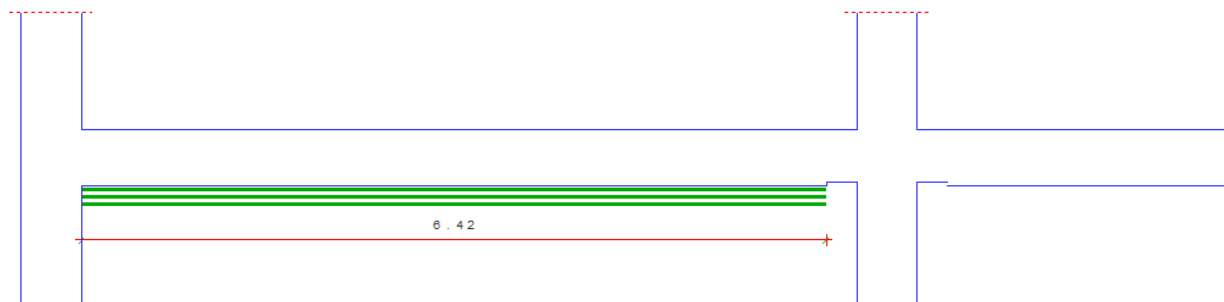
La travata T103 viene consolidata a flessione mediante applicazione di nastri in CFRP all'intradosso. Sul modello di calcolo sono stati introdotti i nastri in fibra di carbonio all'intradosso, su tutto lo sviluppo della luce, come si può vedere in figura; la verifica viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo; per l'effettiva si rimanda all'apposito allegato per la loro consultazione.



Disposizione CFRP nella trave T103

Rinforzo travata T203 tra pilastri 4-5 (appartenente al calpestio del piano primo)

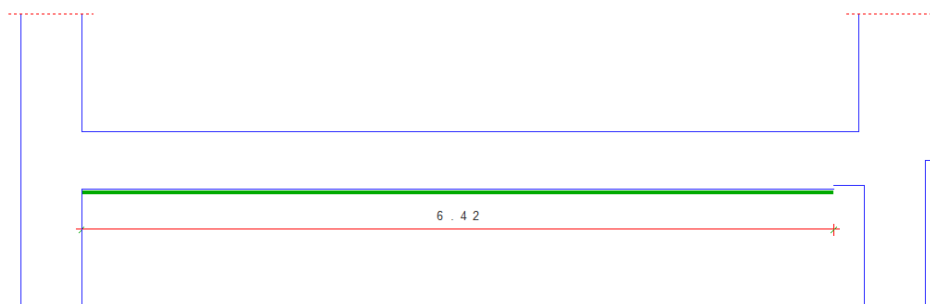
La travata T203 viene consolidata a flessione mediante applicazione di nastri in CFRP all'intradosso. Sul modello di calcolo sono stati introdotti i nastri in fibra di carbonio all'intradosso, su tutto lo sviluppo della luce compresa tra i due pilastri tranne che nella porzione a sbalzo, come si può vedere in figura; la verifica viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo; si rimanda all'apposito allegato per la loro consultazione.



Disposizione CFRP nella trave T203

Rinforzo travata T109 tra pilastri 16-17 (appartenente al calpestio del piano rialzato)

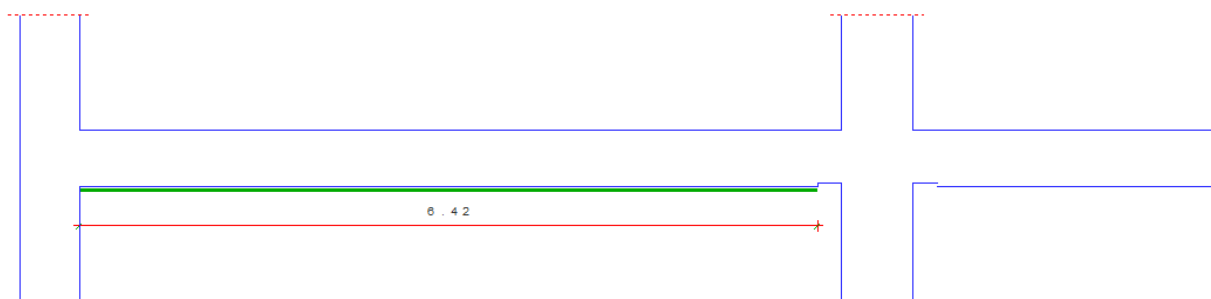
La travata T109 viene consolidata a flessione mediante applicazione di nastri in CFRP all'intradosso. Sul modello di calcolo sono stati introdotti i nastri in fibra di carbonio all'intradosso, su tutto lo sviluppo della luce, come si può vedere in figura; la verifica viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo; si rimanda all'apposito allegato per la loro consultazione.



Disposizione CFRP nella trave T109

Rinforzo travata T209 tra pilastri 16-17 (appartenente al calpestio del piano primo)

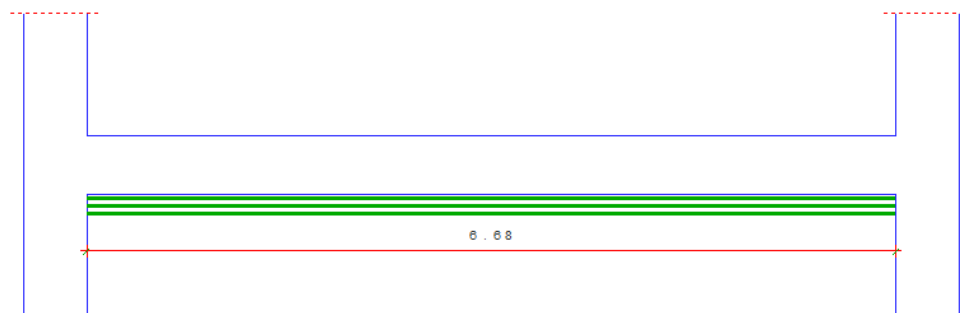
La travata T209 viene consolidata a flessione mediante applicazione di nastri in CFRP all'intradosso. Sul modello di calcolo sono stati introdotti i nastri in fibra di carbonio all'intradosso, su tutto lo sviluppo della luce compresa tra i due pilastri tranne che nella porzione a sbalzo, come si può vedere in figura; la verifica viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo; si rimanda all'apposito allegato per la loro consultazione.



Disposizione CFRP nella trave T209

Rinforzo travata T219 tra pilastri 36-37 (appartenente al calpestio del piano primo)

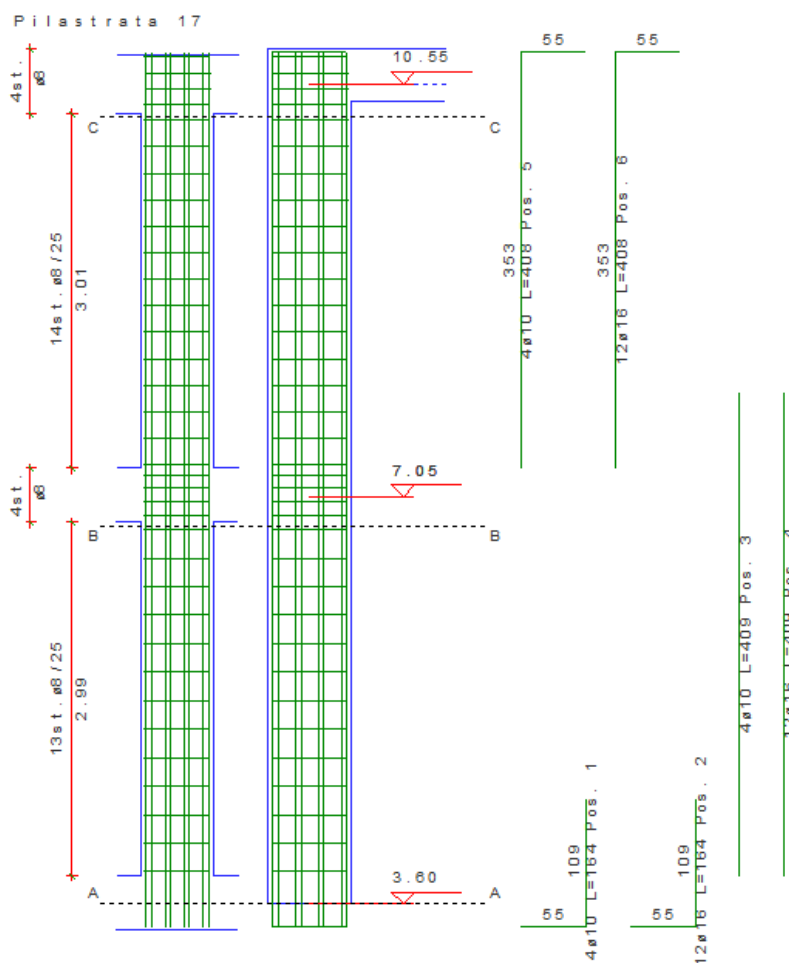
La travata T219 viene consolidata a flessione mediante applicazione di nastri in CFRP all'intradosso. Sul modello di calcolo sono stati introdotti i nastri in fibra di carbonio all'intradosso, su tutto lo sviluppo della luce, come si può vedere in figura; la verifica viene effettuata automaticamente dal programma di calcolo; si rimanda all'apposito allegato per la loro consultazione.



Disposizione CFRP nella trave T219

Rinforzo pilastro 17 (su tutta la porzione del piano rialzato e del piano primo)

Il rinforzo di tale elemento è stato effettuato mediante aumento di sezione su due dei quattro lati del pilastro esistente (in particolare in corrispondenza del lato nord e del lato ovest dello stesso), che rimarrà sempre a sezione quadrata, ma con la dimensione minima che passerà da 58,5 cm a 68,5 cm. Tale nuova sezione verrà opportunamente armata, sia trasversalmente che longitudinalmente. Per ulteriori dettagli si rimanda alle tavole di progetto e agli allegati di calcolo.



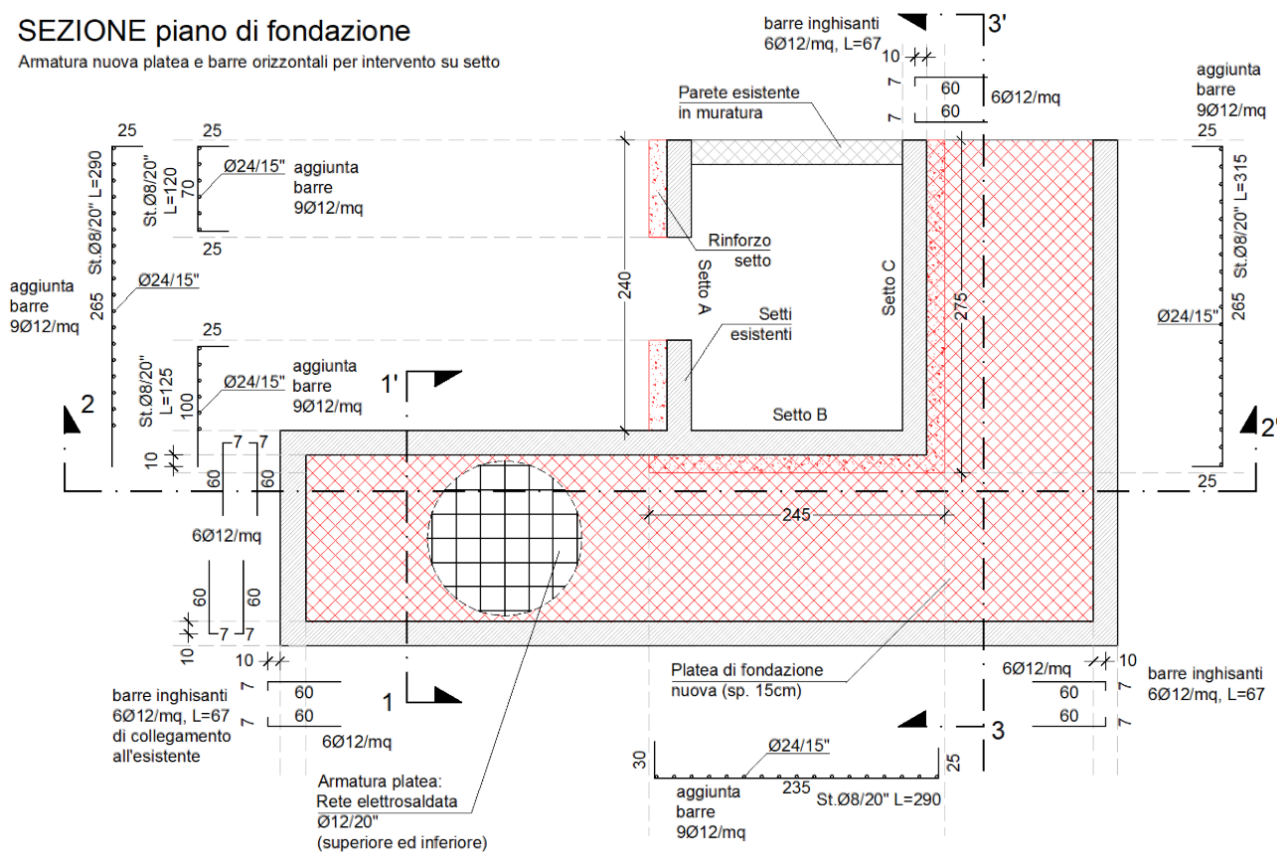
Aumento di sezione per la pilastrata n.17

Rinforzo dei setti del vano ascensore interno

Infine, tra i vari interventi di consolidamento puntuale, si riporta il rinforzo progettato per le sezioni in c.a. costituenti i nuclei del vano scala ascensore esistente interno all'edificio scolastico. Il rinforzo di tale elemento è stato effettuato mediante aumento di sezione su tutti i tre lati per un totale di 10 cm per lato, con l'inserimento di barre di armatura aggiuntive opportunamente inghisate alle sezioni resistenti in c.a. esistenti. Per ulteriori dettagli circa questo intervento, si rimanda alle tavole di progetto e ai relativi allegati di calcolo.

SEZIONE piano di fondazione

Armatura nuova platea e barre orizzontali per intervento su setto



Consolidamento setto esistente vano ascensore interno

5.5 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI IN C.A. (stato di progetto)

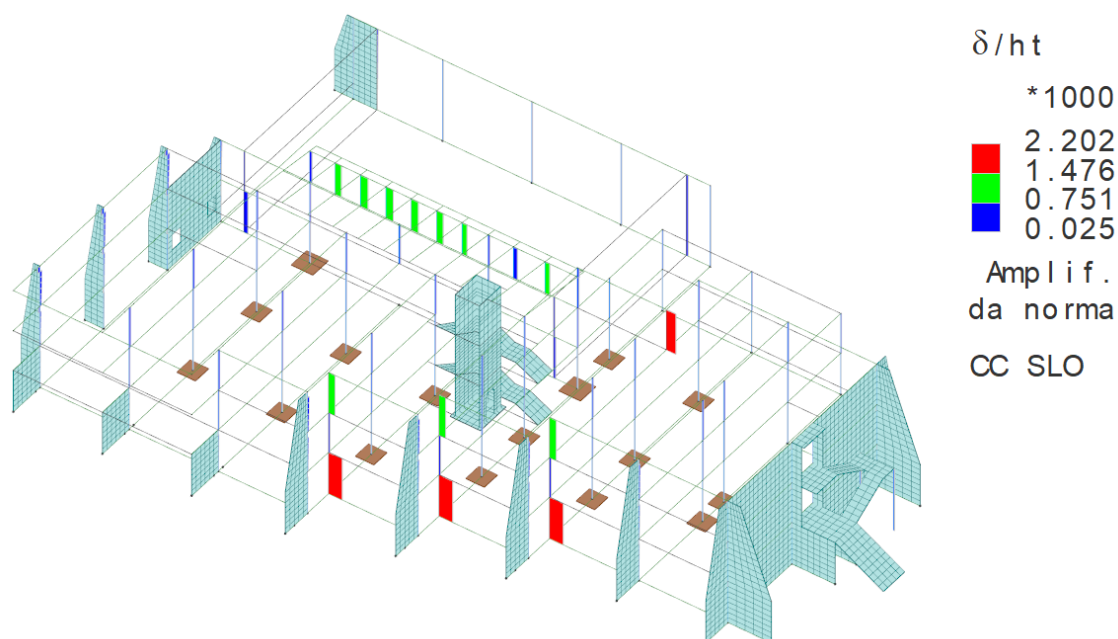
In accordo con il capitolo 7 delle NTC2018 vengono effettuate le seguenti verifiche:

VERICHE SLE: Viene eseguita una verifica con spettro limite elastico agli SLO riguardante gli spostamenti della sovrastruttura, i quali devono essere inferiori ai 2/3 dei limiti indicati per lo SLD nel paragrafo 7.3.7.2 delle NTC2018. Per le verifiche allo SLO degli spostamenti di interpiano deve quindi risultare:

$d_r < (2/3) 0.005h = 0.0033h$ dove h rappresenta l'altezza di interpiano.

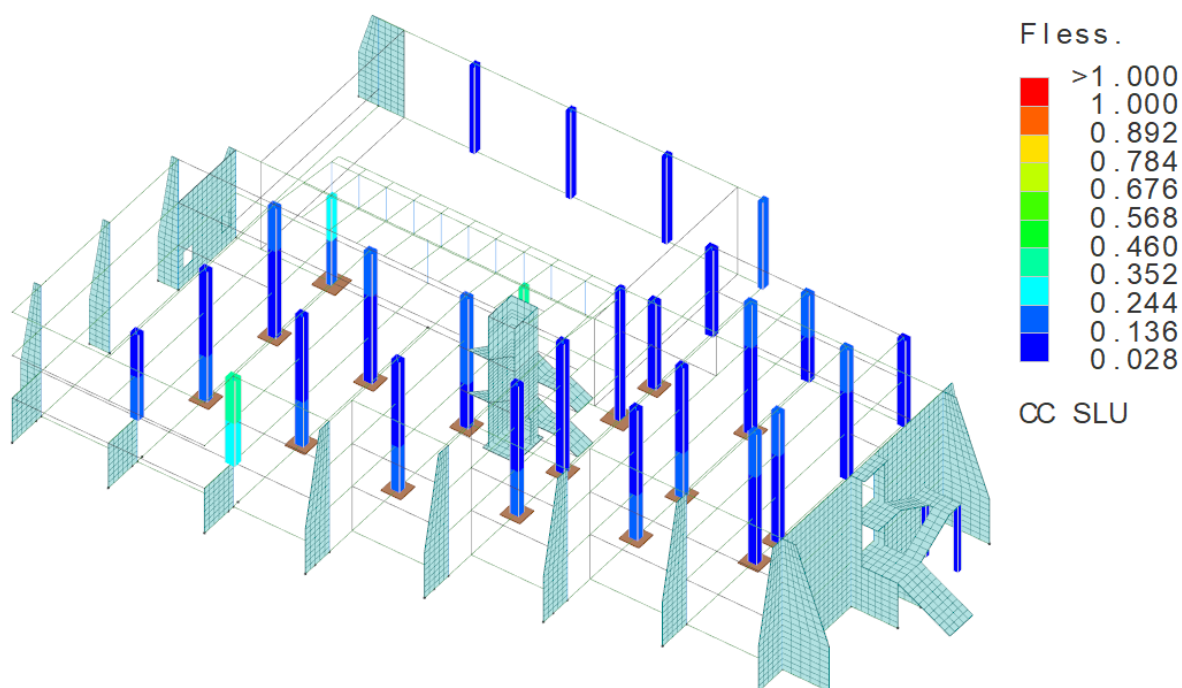
($d_r/h \cdot 1000 < 3.33$)

Pertanto, la verifica risulta soddisfatta se il rapporto tra gli spostamenti interpiano e l'altezza di interpiano risulta inferiore a 3.33. Di seguito si riporta l'esito della **verifica** che risulta **soddisfatta**.

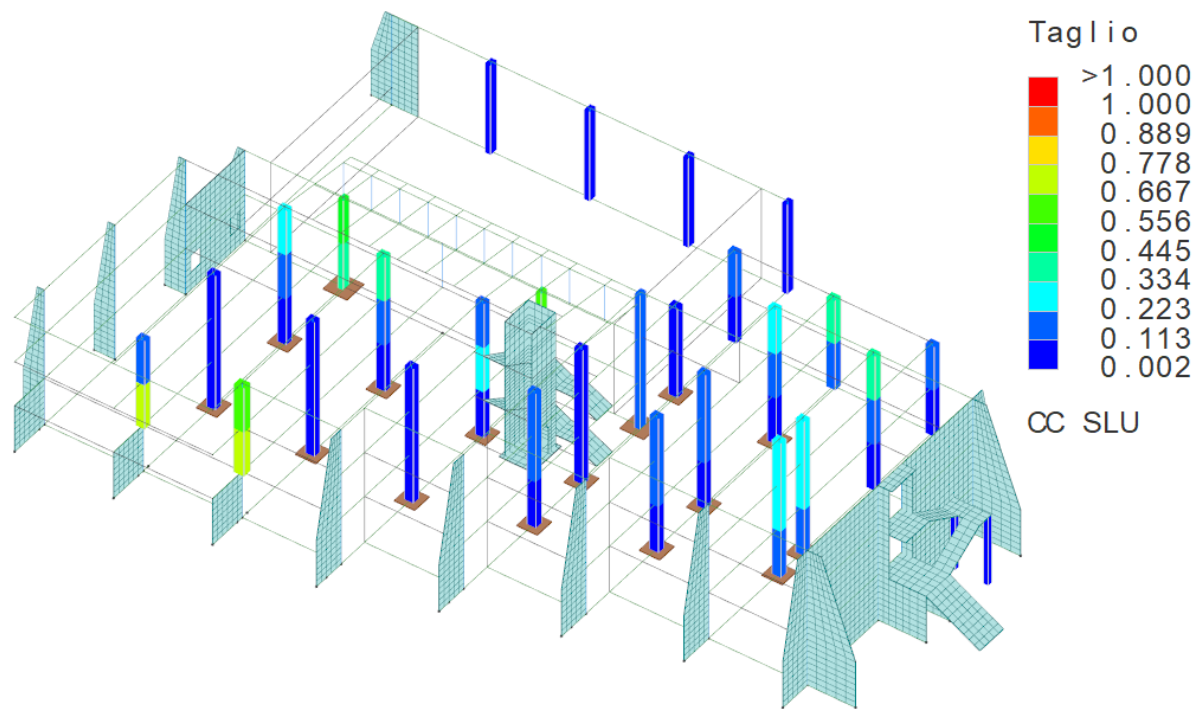


Spostamenti d'interpiano (verifica SLO)

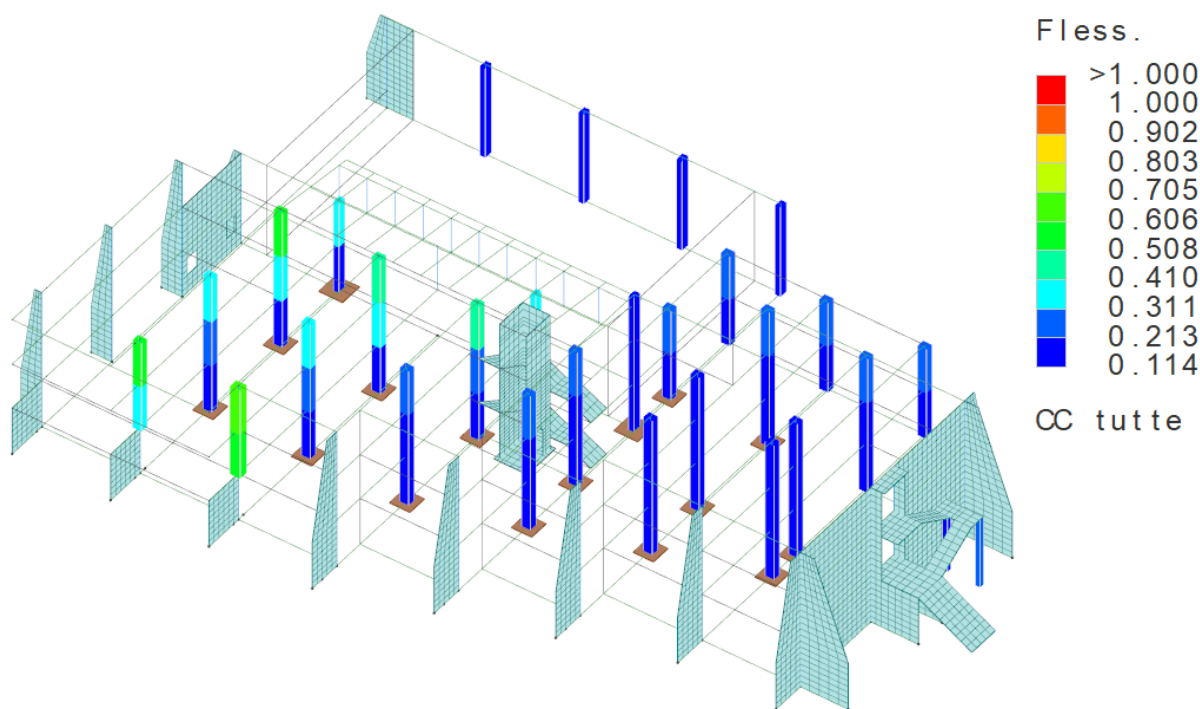
VERICHE SLV: Viene eseguita una verifica in termini di resistenza della struttura applicando uno spettro allo SLV con fattore di struttura q pari ad 1.5. Si riportano i tassi di sfruttamento allo stato di progetto degli elementi strutturali (travi, pilastri, setti), sia per sollecitazioni statiche (SLU) che per sollecitazioni sismiche (SLV), dopo aver dimensionato opportunamente ed inserito nella modellazione il sistema di setti esterni in c.a. e i nuovi consolidamenti interni. Si evidenzia quanto segue: per i tassi minori dell'unità, si considera la verifica soddisfatta (condizione riscontrata per tutti gli elementi allo stato di progetto); per dettagli più esauritivi si rimanda agli allegati di calcolo.



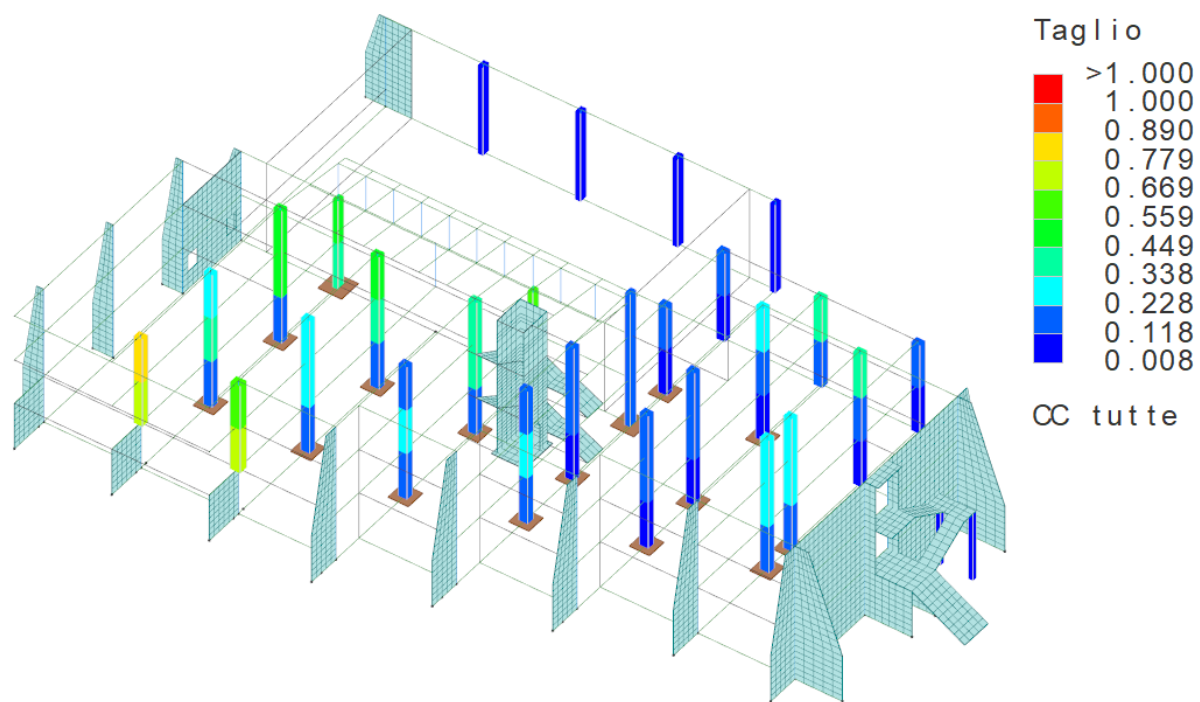
Pilastri – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLU



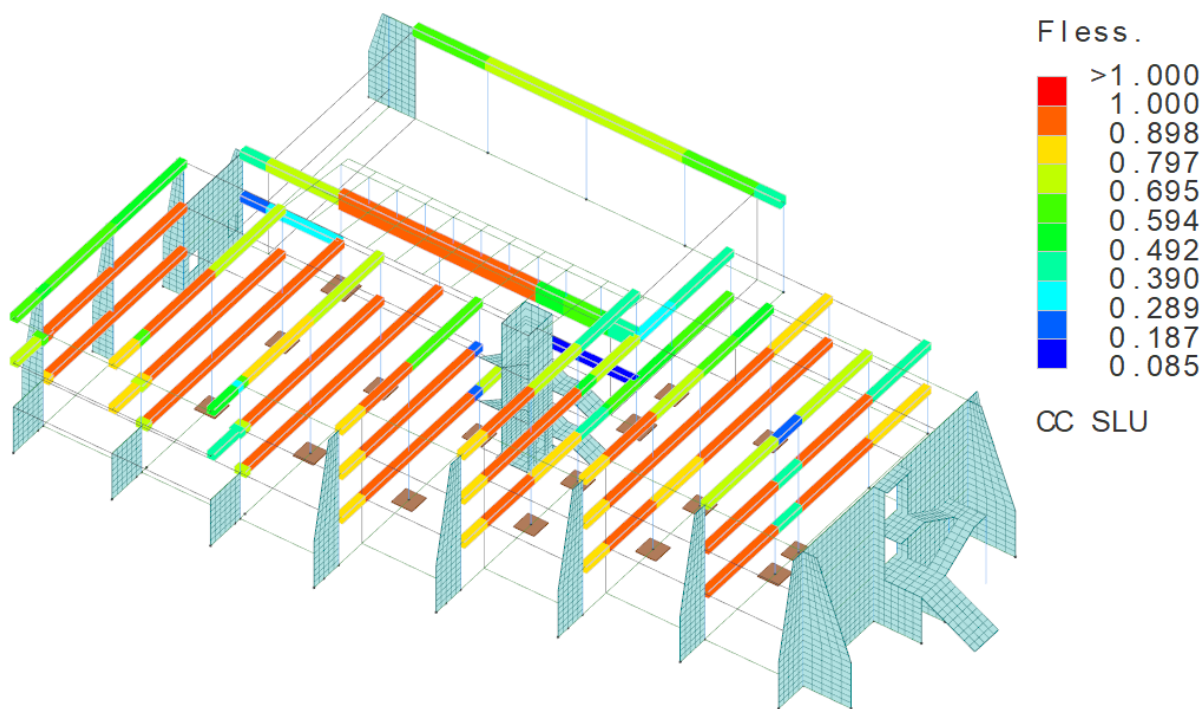
Pilastri – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLU



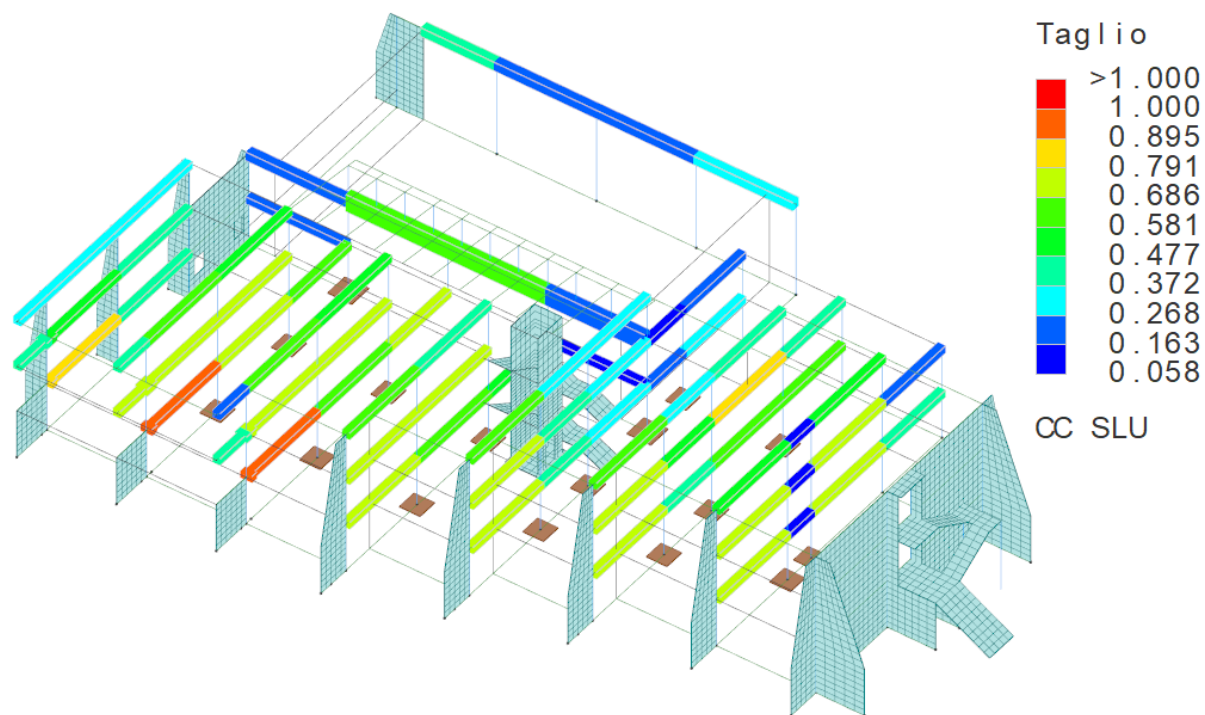
Pilastri – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLV



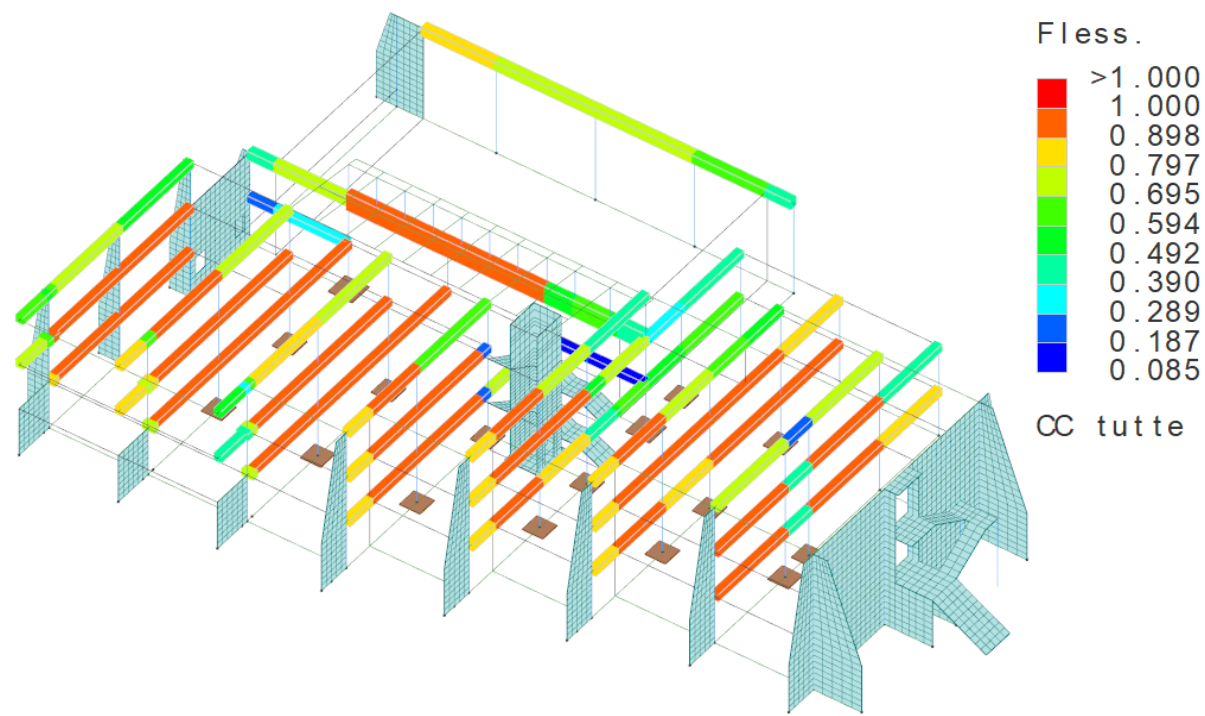
Pilastri – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLV



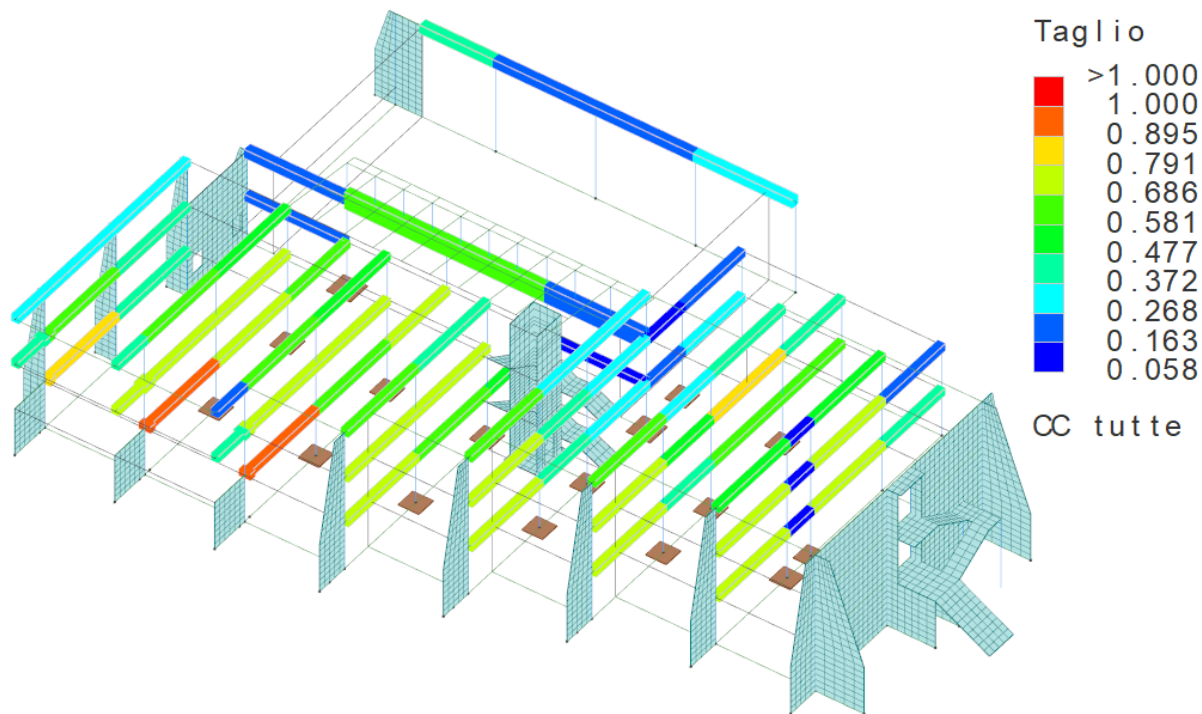
Travi – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLU



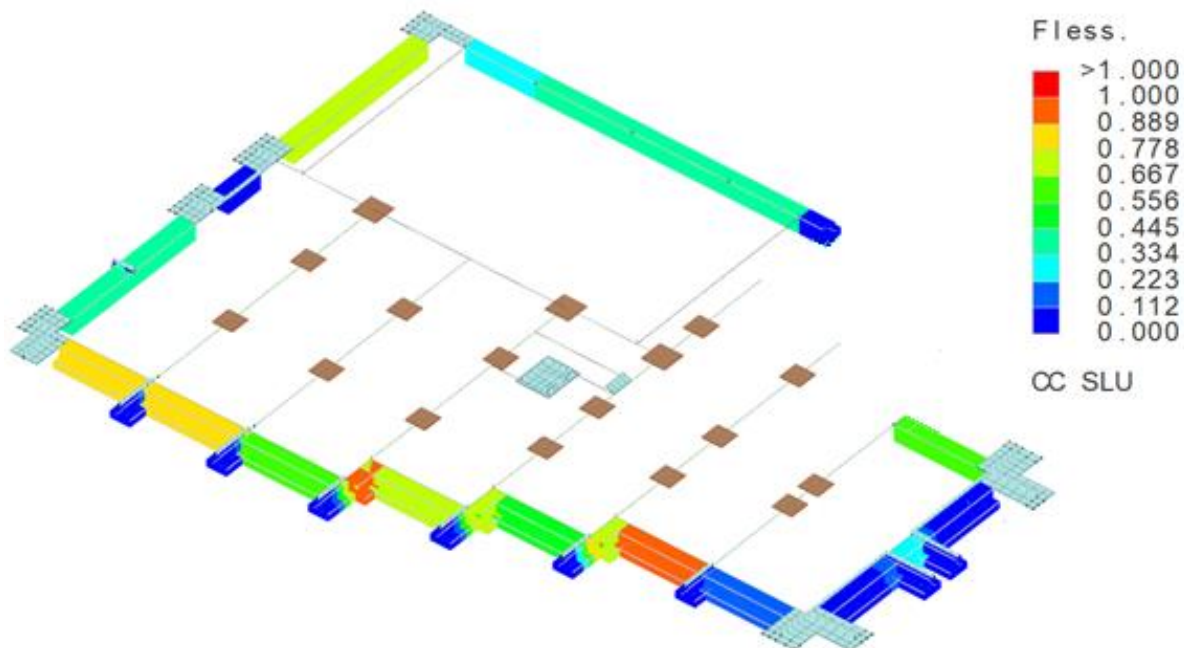
Travi – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLU



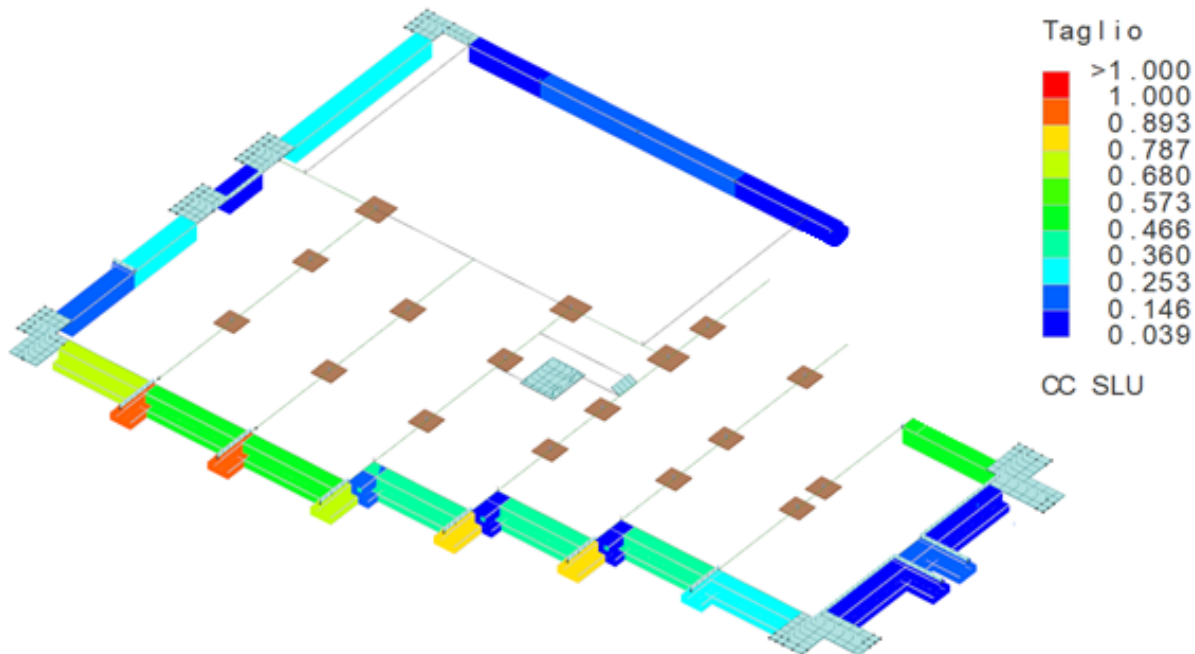
Travi – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLV



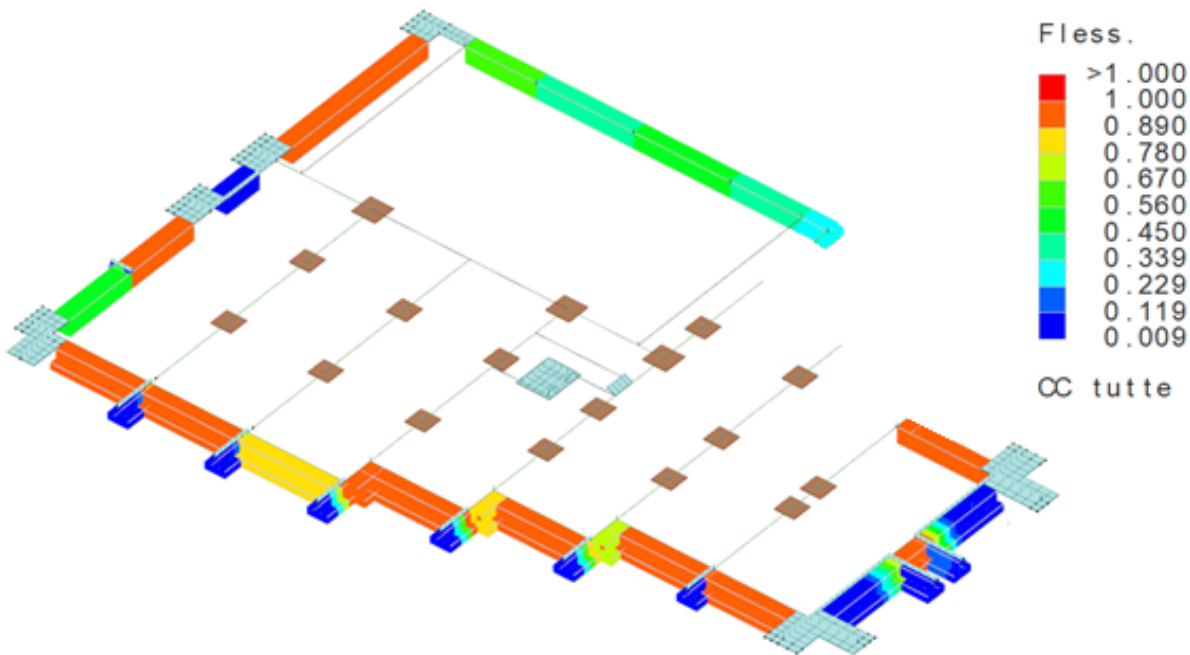
Travi – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLV



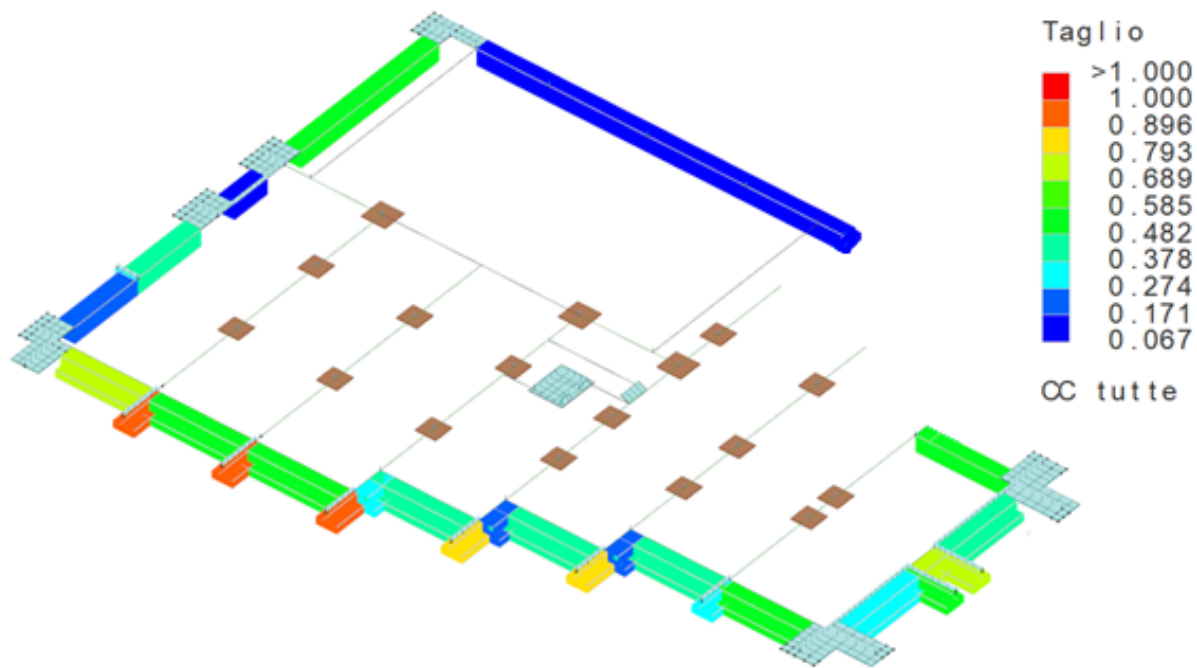
Travi di fondazione – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLU



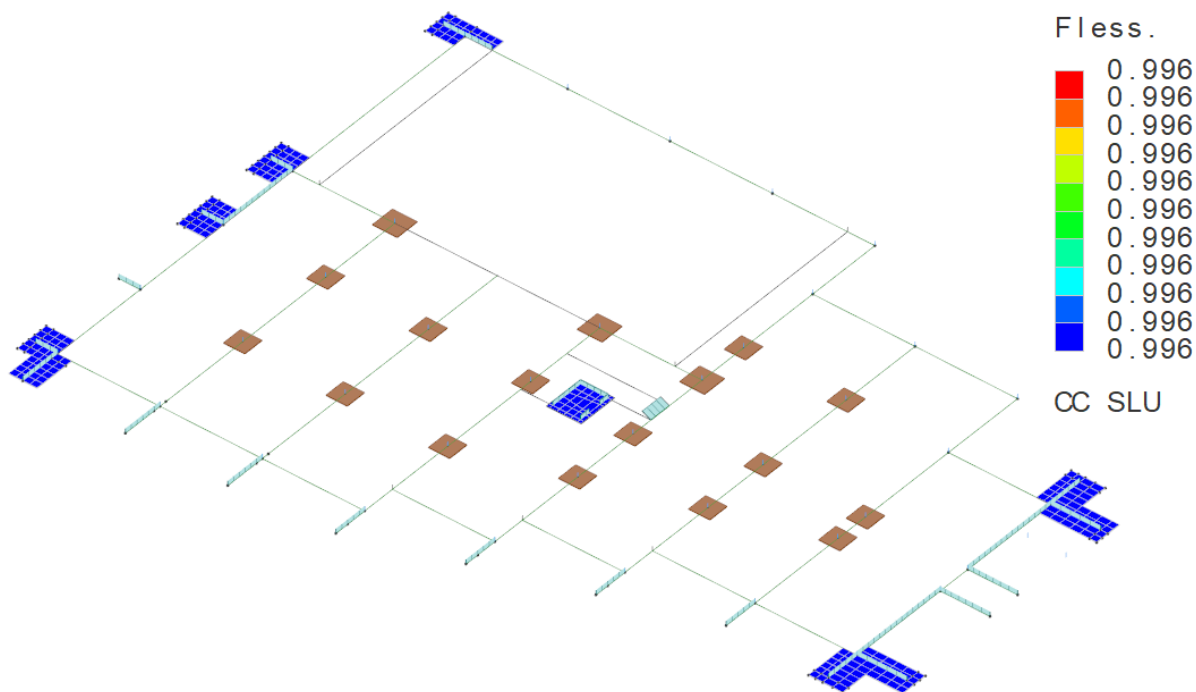
Travi di fondazione – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLU



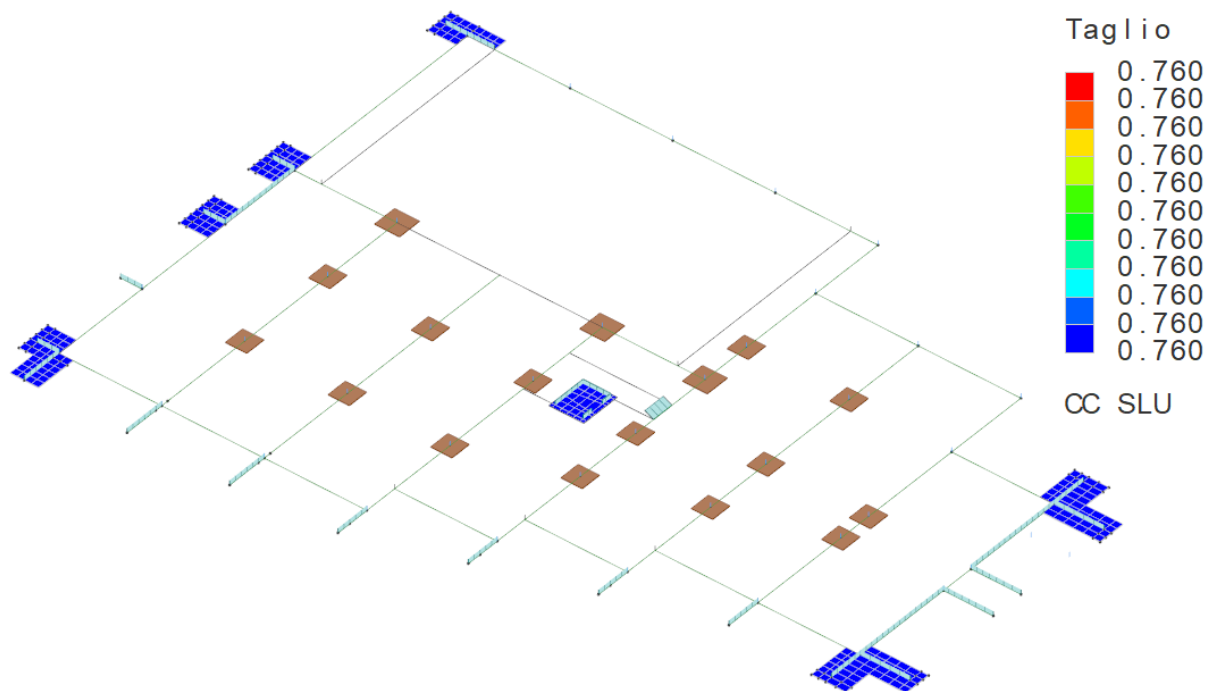
Travi di fondazione – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLV



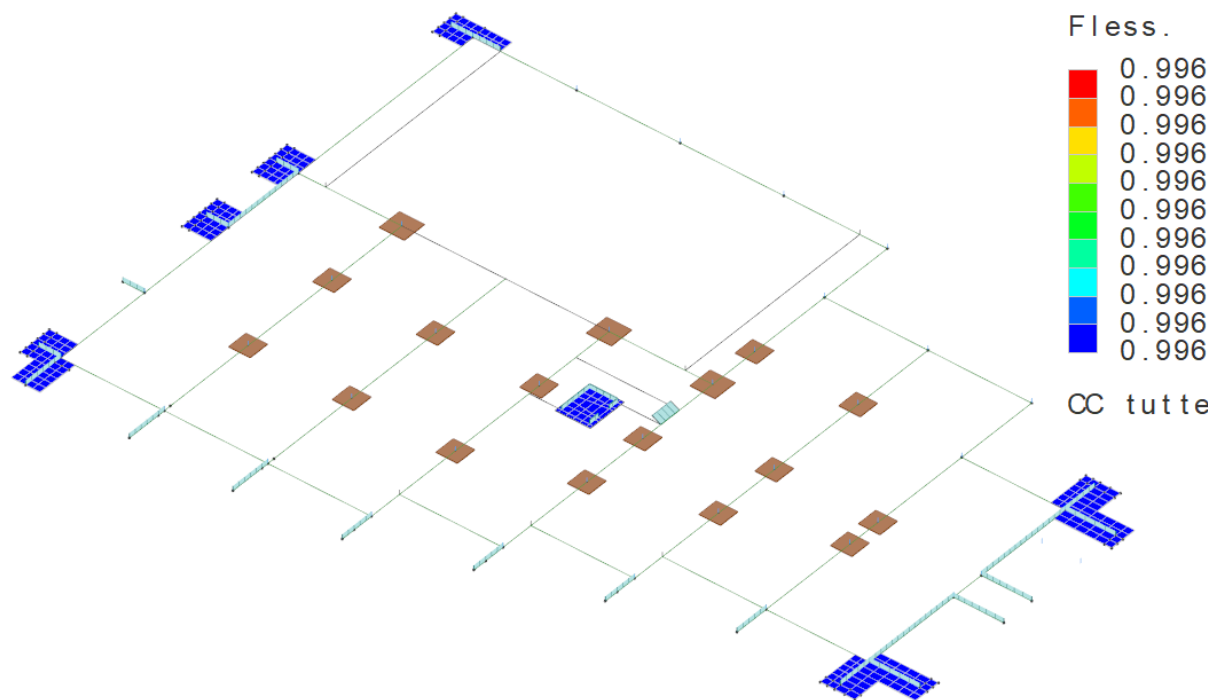
Travi di fondazione – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLV



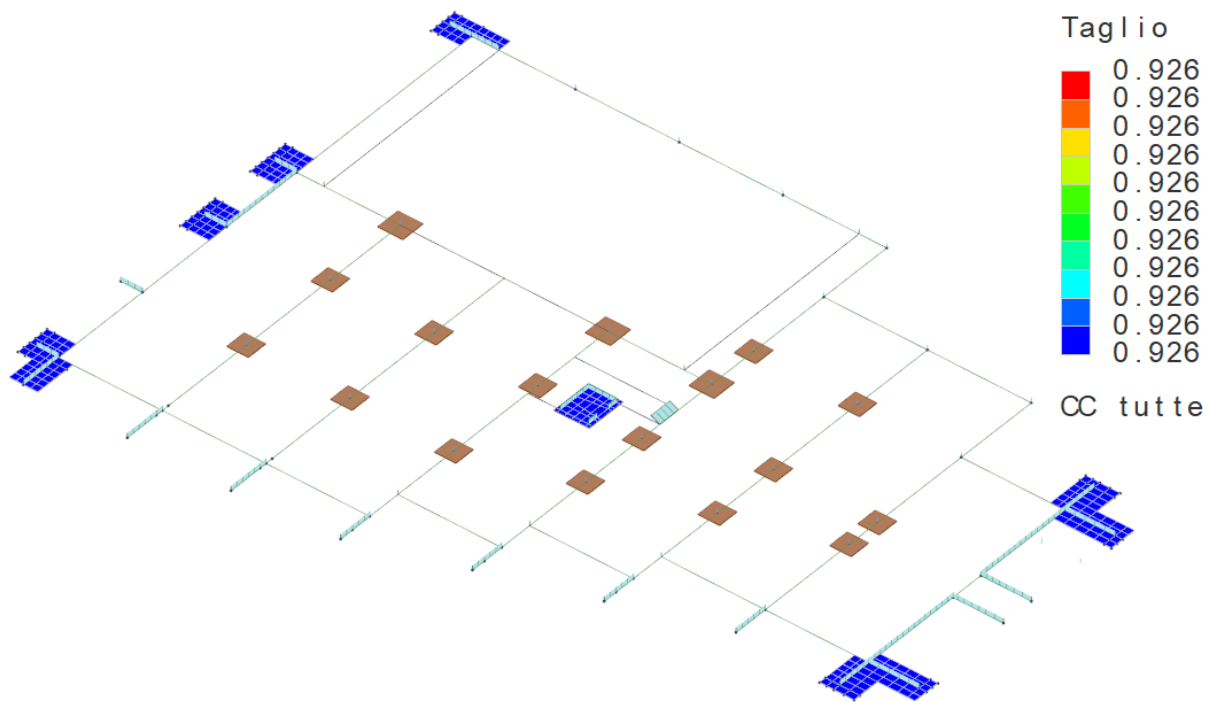
Platee di fondazione – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLU



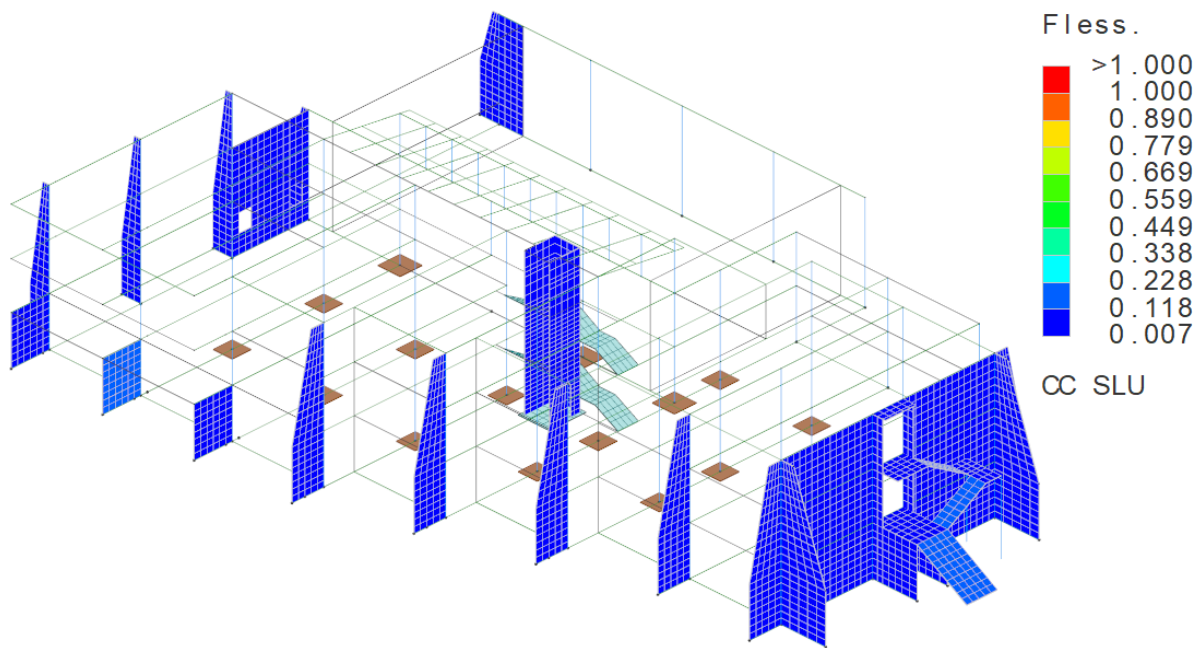
Platee di fondazione – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLU



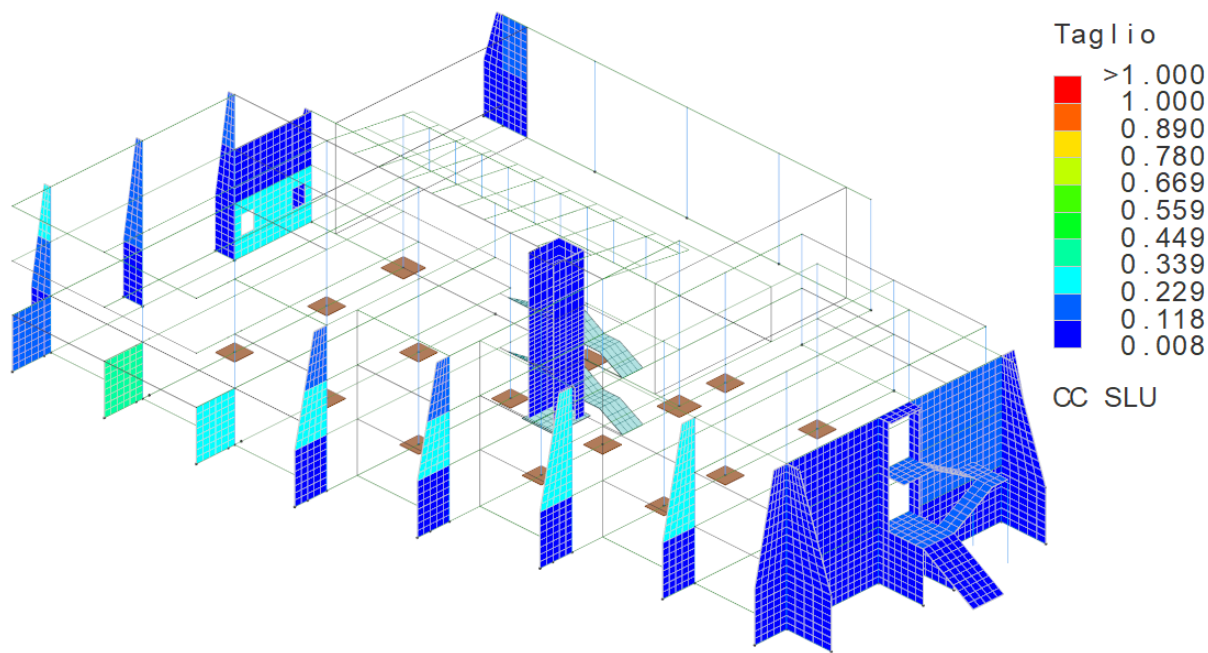
Platee di fondazione – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLV



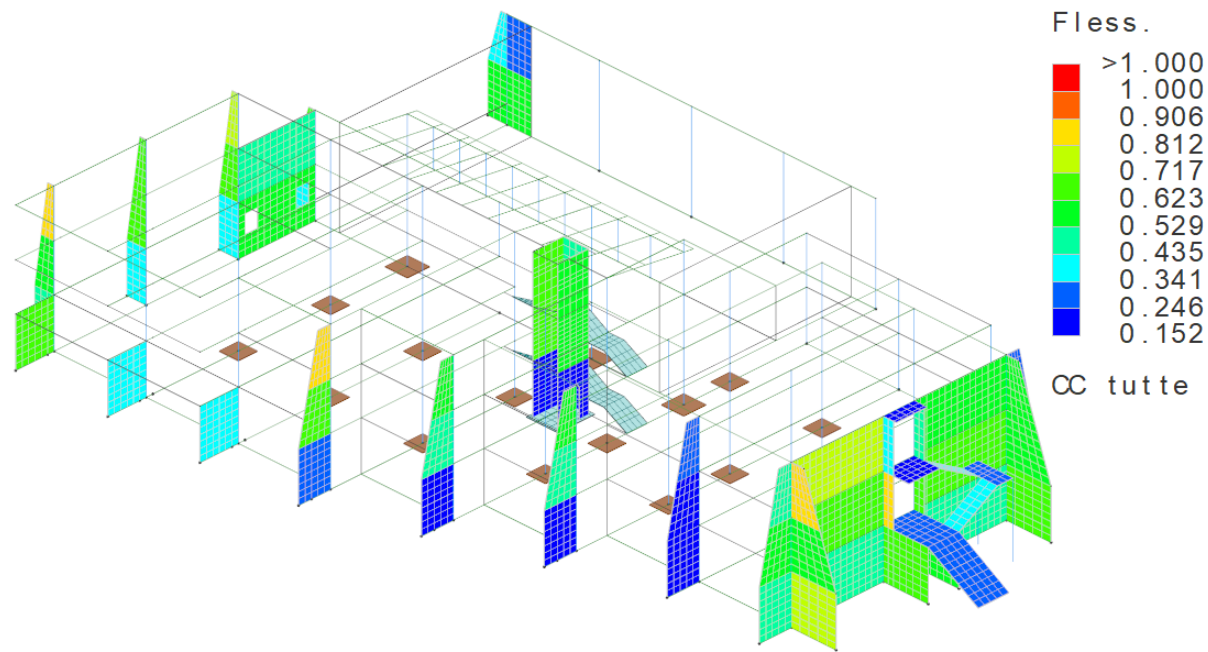
Platee di fondazione – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLV



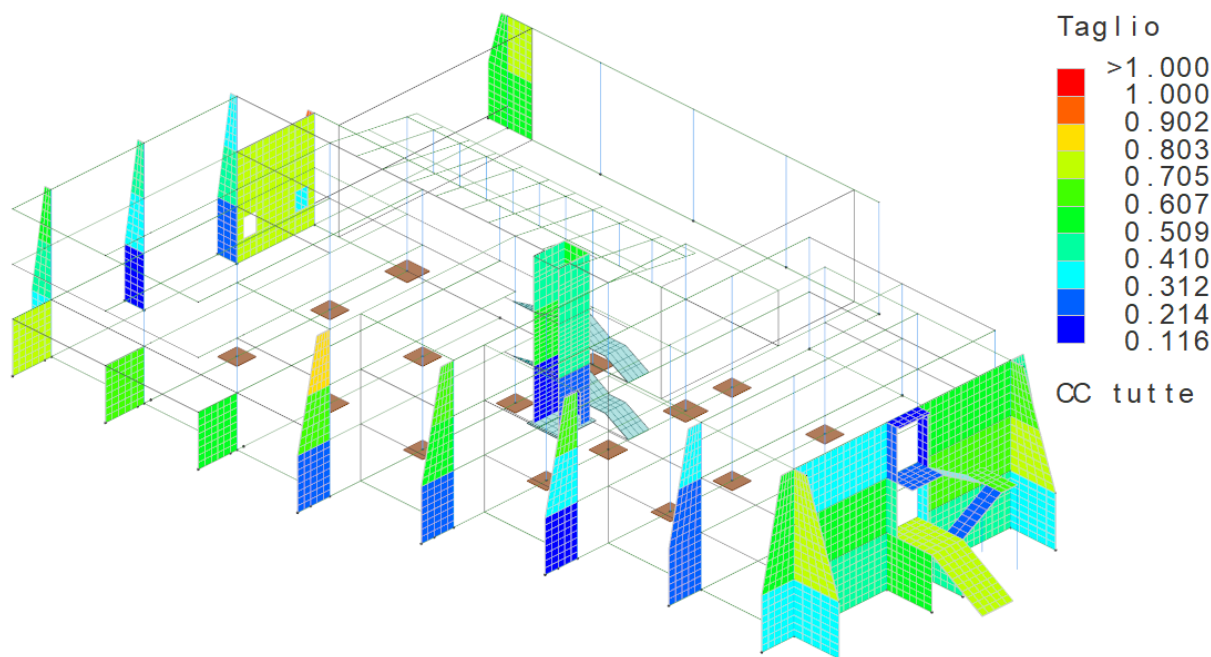
Nuclei in elevazione – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLU



Nuclei in elevazione – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLU



Nuclei in elevazione – Tassi di sfruttamento a flessione agli SLV



Nuclei in elevazione – Tassi di sfruttamento a taglio agli SLV

Come si evince dalle immagini riportate, tutte le **verifiche** allo stato di progetto risultano **soddisfatte**.

6 RELAZIONE sui MATERIALI

CALCESTRUZZO CLASSE DI RESISTENZA C32/40 (norme UNI-EN 206)

Nuove strutture in c.a. in elevazione (nuovi setti e rinforzi in elevazione)

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:

$$f_{ck} = 33,20 \text{ N/mm}^2$$

Classe di consistenza S4; Classe di esposizione XC4;

Dimensione massima inerte 10 mm.

CALCESTRUZZO CLASSE DI RESISTENZA C30/37 (norme UNI-EN 206)

Nuove strutture in c.a. in fondazione (nuove platee e nuove travi)

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:

$$f_{ck} = 30,71 \text{ N/mm}^2$$

Classe di consistenza S4; Classe di esposizione XC2;

Dimensione massima inerte 32 mm.

CALCESTRUZZO CLASSE DI RESISTENZA C25/30 (norme UNI-EN 206)

Nuove strutture in c.a. esterne (nuovi marciapiedi)

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:

$$f_{ck} = 25,00 \text{ N/mm}^2$$

Classe di consistenza S4; Classe di esposizione XC2;

Dimensione massima inerte 32 mm.

CALCESTRUZZO CLASSE DI RESISTENZA C12/15 (norme UNI-EN 206)

Nuovi magroni in calcestruzzo

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:

$$f_{ck} = 12,00 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza caratteristica a trazione :

$$f_{ctk} = 1,05 \text{ N/mm}^2$$

Classe di consistenza S3;

ACCIAIO per ARMATURA B450C (norme UNI-EN 15630)

Barre e reti elettrosaldate

| | |
|---|----------------------------------|
| Tensione caratteristica di snervamento: | $f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione caratteristica di rottura: | $f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$ |

ACCIAIO da CARPENTERIA S275

Profilati a sezione aperta e chiusa

| | |
|----------------------------|----------------------------------|
| Tensione di snervamento: | $f_{yk} \geq 275 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione di rottura: | $f_{tk} \geq 430 \text{ N/mm}^2$ |
| Classe di esecuzione EXC3. | |

SALDATURE S275

Profilati a sezione aperta e chiusa

Classe di esecuzione EXC3.

BULLONI e VITI classe 8.8

Collegamenti ed unioni

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Tensione di snervamento: | $f_{yb} \geq 649 \text{ N/mm}^2$ |
| Tensione normale ammissibile: | $f_{tb} \geq 800 \text{ N/mm}^2$ |

NASTRI IN FRP (norme UNI-EN 898)

Peso della fibra nel nastro: 600 g/m^2 ;
Sezione resistente per unità di larghezza del nastro: $330 \text{ mm}^2/\text{m}$;
Classe del rinforzo in FRP 210 C;
Resistenza a trazione caratteristica $> 2700 \text{ MPa}$;
Modulo elastico a trazione del nastro: 210 GPa .

Additivi specifici antiritiro da usare nei calcestruzzi

Ancoranti di tipo epossidico per tassellature e fissaggi strutturali tipo HILTI HIT RE 500 o similare di pari caratteristiche per zone sismiche (CATEGORIA C2).

Si rimanda alle note riportate all'interno delle tavole strutturali.

7 NORMATIVA di RIFERIMENTO

Viene fatto riferimento alle seguenti normative:

- NTC DM 17 gennaio 2018 (Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni)
- Circolare n°7 del 21 gennaio 2019 (Circolare esplicativa delle NTC)
- EUROCODICI
- DM 16-02-2007, n. 74 (Resistenza al Fuoco)