



PROVINCIA DI POTENZA

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO  
DELL'EDIFICIO SCOLASTICO SEDE DELL'I.I.S.  
"DE SARLO" DI LAGONEGRO  
VIA SANT'ANTUONO  
CODICE EDIFICIO 760390475

CUP: H62C21000410001



PROGETTO ESECUTIVO

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Arch. Manuela CORINGRATO (Capogruppo)

S. & S. ENGINEERING Srls

Geom. Domenico Franco GIOIA

Geol. Mario CHIORAZZO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Funzionario Ing. Tiziana CAPPA

ELABORATO: **RELAZIONE DI CALCOLO**  
(Revisione)

Tav. N.

**S.2**

Data: **Novembre 2022**

Scala:

RTP: Cap. Arch. Manuela CORINGRATO - S. & S. Engineering srls - Geom. Domenico Franco GIOIA - Geol. Mario Chiorazzo

## Sommario

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Riferimenti normativi .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>2. Premessa: descrizione generale delle opere .....</b>                               | <b>8</b>  |
| <b>3. Classificazione dell'intervento secondo la normativa .....</b>                     | <b>11</b> |
| <b>4. Cenni riguardanti la valutazione di vulnerabilità: aspetti significativi .....</b> | <b>12</b> |
| <b>5. Descrizione dei sistemi strutturali .....</b>                                      | <b>14</b> |
| 5.1. Blocco B .....  | 14        |
| 5.2. Blocco A .....  | 19        |
| 5.3. Quadro fessurativo e consistenza dei materiali .....                                | 22        |
| <b>6. Definizione della proposta progettuale .....</b>                                   | <b>23</b> |
| <b>7. Materiali delle strutture impiegati .....</b>                                      | <b>34</b> |
| 7.1. Struttura esistente .....   | 34        |
| 7.1.1. Proprietà meccaniche cls .....  | 34        |
| 7.1.2. Proprietà meccaniche barre di armatura .....                                      | 35        |
| 7.2. Strutture di nuova realizzazione .....  | 35        |
| 7.2.1. Cls per le strutture di fondazione .....  | 36        |
| 7.2.2. Cls e malta strutturale per le strutture di elevazione .....                      | 36        |
| 7.3. Acciaio per le barre di armatura .....  | 37        |
| 7.4. Acciaio da carpenteria metallica .....  | 37        |
| 7.5. Bulloni per giunzioni ad attrito .....  | 38        |
| <b>8. Azioni sulla costruzione e definizione delle combinazioni .....</b>                | <b>39</b> |
| 8.1. Pesi propri dei materiali strutturali .....   | 39        |
| 8.2. Sovraccarichi permanenti .....  | 39        |

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 8.3.       | Sovraccarichi variabili.....  | 44        |
| 8.3.1.     | Azioni variabili legate alla destinazione d'uso .....                                   | 44        |
| 8.3.2.     | Azioni della neve .....   | 45        |
| 8.4.       | Definizione dell'azione sismica di progetto .....                                       | 50        |
| 8.5.       | Combinazioni delle azioni.....  | 57        |
| 8.6.       | Utilizzo di accelerogrammi per analisi dinamiche non lineari.....                       | 59        |
| <b>9.</b>  | <b>Modellazione, analisi e fattori di comportamento.....</b>                            | <b>62</b> |
| 9.1.       | Generalità e prescrizioni normative .....   | 62        |
| 9.1.1.     | Prescrizioni specifiche in caso di sistemi innovativi di protezione sismica passiva.... | 63        |
| 9.2.       | Metodi di analisi.....  | 64        |
| 9.2.1.     | Analisi dinamica lineare.....   | 64        |
| 9.2.2.     | Analisi statica non lineare .....   | 65        |
| 9.2.3.     | Analisi dinamica non lineare.....   | 71        |
| 9.3.       | Metodologia applicativa e modelli agli elementi finiti sviluppati.....                  | 73        |
| 9.3.1.     | Dimensionamento del sistema di dissipazione.....  | 73        |
| 9.3.2.     | Verifica del sistema di dissipazione stato limite SLC.....                              | 74        |
| 9.3.3.     | Verifica della sovrastruttura stato limite SLV .....                                    | 74        |
| 9.3.4.     | Verifica degli esoscheletri stato limite SLC .....                                      | 75        |
| 9.3.5.     | Modelli agli elementi finiti .....  | 76        |
| <b>10.</b> | <b>Verifiche di sicurezza [STR] .....</b>   | <b>90</b> |
| 10.1.      | Dimensionamento del sistema di dissipazione .....                                       | 90        |
| 10.1.1.    | Risultati analisi modale stato di fatto .....   | 90        |
| 10.1.2.    | Risultati analisi push-over .....   | 92        |
| 10.1.3.    | Procedura di dimensionamento dei dispositivi fluido-viscosi.....                        | 99        |
| 10.2.      | Risultati time history: verifiche dei dissipatori allo stato limite SLC .....           | 105       |

---

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| 10.2.1.    | Verifica in termini di spostamenti .....  | 105        |
| 10.2.2.    | Verifica sui carichi massimi in condizioni sismiche .....   | 127        |
| 10.2.3.    | Verifica delle velocità massime in condizioni sismiche .....  | 142        |
| 10.3.      | Risultati analisi time history: verifiche stato limite SLV dei meccanismi duttili e fragili<br>struttura esistente..... | 145        |
| 10.4.      | Risultati analisi time history: verifiche di martellamento stato limite SLV .....                                       | 164        |
| 10.5.      | Verifiche esoscheletri di nuova realizzazione stato limite SLC .....  | 165        |
| 10.5.1.    | Verifiche unioni bullonate.....   | 171        |
| 10.5.2.    | Verifica dettaglio costruttivo mensola tozza in c.a .....   | 184        |
| <b>11.</b> | <b>Conclusioni .....</b>  | <b>186</b> |



## Indice delle figure

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 2.1 – STRALCIO PLANIMETRICO CON INDICAZIONE DEI CORPI DI FABBRICA OGGETTO DI ADEGUAMENTO SISMICO .      | 8  |
| FIGURA 2.1 – STRALCIO SEZIONE TRASVERSALE TIPO E SEZIONE LONGITUDINALE IN CORRISPONDENZA DEL VANO SCA .....    | 9  |
| FIGURA 5.1 – STATO DI FATTO: STRALCIO DELLA PIANTA DI FONDAZIONE DEL BLOCCO B.....                             | 14 |
| FIGURA 5.2 – ALCUNE IMMAGINI CHE MOSTRANO L’INTERVENTO DI RINFORZO IN FONDAZIONE .....                         | 15 |
| FIGURA 5.3 – STATO DI FATTO: STRALCIO DI CARPENTERIA DEL PRIMO IMPALCATO: BLOCCO B .....                       | 16 |
| FIGURA 5.4 – INSERIMENTO DEI CONTROVENTI CONCENTRICI ALL’INTERNO DELLE MAGLI DI TELAIO.....                    | 16 |
| FIGURA 5.5 – RINFORZO DI TRAVI E PILASTRI ALLE ESTREMITÀ MEDIANTE PIASTRA METALLICA .....                      | 17 |
| FIGURA 5.6 – EVIDENZA DELL’INTERVENTO DI CONFINAMENTO DEI PILASTRI VANO SCALA MEDIANTE CALASTRELLI ED .        | 18 |
| FIGURA 5.7 – EVIDENZA DELLA REALIZZAZIONE DEL GIUNTO TRA RAMPA E PIANEROTTOLO INTERVENTI DEL ‘96.....          | 18 |
| FIGURA 5.8 – STATO DI FATTO: STRALCIO DELLA PIANTA DI FONDAZIONE DEL BLOCCO A .....                            | 19 |
| FIGURA 5.9 – STATO DI FATTO: STRALCIO DI CARPENTERIA DEL PRIMO IMPALCATO: BLOCCO A .....                       | 20 |
| FIGURA 5.10 – STRALCIO PROGETTO ORIGINARIO CON INDICAZIONE INTERVENTO ‘96 FINALIZZATO ALLA CREAZIONE DI        | 21 |
| FIGURA 5.11 –GIUNTO TECNICO REALIZZATO TRA IL BLOCCO A ED IL CORPO SOTTOSTANTE, CON RIVESTIMENTO .....         | 21 |
| FIGURA 5.12 – FOTO SCATTATE DURANTE SOPRALLUOGO: SFOGLIATURA BARRE DI ARMATURA LONGITUDINALE AGGE ..           | 22 |
| FIGURA 5.13 – LAVORI RELATIVI AL PROGETTO DI RINFORZO DEL ‘96: RIPRISTINO DEL COPRIFERRO AGGETTO DI .....      | 22 |
| FIGURA 6.1 – BLOCCO B: PIANTA SCHEMATICA IMPALCATO CON INDICAZIONE TIPOLOGIE DI ESOSCHELETRI E DISSIPAT ...    | 24 |
| FIGURA 6.2 – BLOCCO A: PIANTA SCHEMATICA IMPALCATO CON INDICAZIONE TIPOLOGIE DI ESOSCHELETRI E DISSIPAT ..     | 24 |
| FIGURA 6.3 – TIPOLOGIE DI ESOSCHELETRI RETICOLARI IN ACCIAIO, CON SCHEMI UNIFILARI E QUOTE SIGNIFICATIVE ..... | 25 |
| FIGURA 6.4 – INDICAZIONI DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI RICHIESTE PER CIASCUNA TIPOLOGIA DI DISSIPATO .....  | 26 |
| FIGURA 6.5 – STRALCIO DELLA PIANTA FONDAZIONI ESOSCHELETRI, CON INDICAZIONE DELLE QUOTE SIGNIFICATIVE .....    | 27 |
| FIGURA 6.6 – VISTA DI UN NODO TIPO PER IL COLLEGAMENTO BULLONATO DELLE COLONNE DEGLI ESOSCHELETRI .....        | 27 |
| FIGURA 6.7 – INDICAZIONI DELLE MACRO-FASI DI MONTAGGIO IN OPERA DI UN ESOSCHELETRO TIPO .....                  | 28 |
| FIGURA 6.8 – ESEMPIO DI INSERTO METALLICO (FOTO SX) E POSA IN OPERA CON BARRE DI ANCORAGGIO CON TAPP .....     | 29 |
| FIGURA 6.9 – STRALCIO DETTAGLIO RINFORZO NODO IN C.A. DI FACCIATA CON INDICAZIONE DIMENSIONI SIGNIFICATIVE     | 29 |
| FIGURA 6.10 – STRALCIO CARPENTERIA DI PRIMO PIANO, CON INDICAZIONE INTERVENTI SUI NODI IN C.A. NON CONFI ..... | 30 |
| FIGURA 6.11 – STRALCIO DETTAGLI DISPOSIZIONE DISPOSITIVI IN CORRISPONDENZA DEL GIUNTO TECNICO TRA BLOCC...     | 31 |
| FIGURA 6.12 – CARPENTERIA PIANO PRIMO CON INDICAZIONE INTERVENTO SETTI VANO ASCENSORE PER LA REALIZZ .....     | 33 |
| FIGURA 8.1 – CONDIZIONI DI CARICO DA NEVE PER COPERTURE A DUE FALDA.....                                       | 48 |
| FIGURA 8.2 – UBICAZIONE OPERA OGGETTO DI STUDIO.....   | 53 |
| FIGURA 8.3 - INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO .....  | 53 |
| FIGURA 8.4 - SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE .....   | 54 |
| FIGURA 8.5 - DETERMINAZIONE DELL’AZIONE DI PROGETTO.....   | 54 |
| FIGURA 8.5 – STRALCIO DELLA PLANIMETRIA A CURVE DI LIVELLO CON VALUTAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DEL .....      | 55 |
| FIGURA 8.7 – SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI ALLO STATO LIMITE SLV DELLE COMPONENTI VERTICALI ED ORIZZONTALI      | 56 |
| FIGURA 8.8 – CONFRONTO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO STATO LIMITE SLV TRA NTC2018 E DM 1996 .....         | 57 |
| FIGURA 8.9 – STUDIO DI DISAGGREGAZIONE ESEGUITO CON IL SOFTWARE REXEL PER LA PERICOLOSITÀ DEL SITO IN .....    | 60 |
| FIGURA 8.10 – SET ACCELEROGRAMMI NATURALI SCALATI OTTENUTI DA REXEL PER GLI STATI LIMITE SLV (IMMAGINE .       | 60 |

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 8.11 – GRUPPO DI 7 ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI SELEZIONATI PER LO STATO LIMITE SLV .....                  | 61  |
| FIGURA 8.12 – GRUPPO DI 7 ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI SELEZIONATI PER LO STATO LIMITE SLC .....                  | 61  |
| FIGURA 9.1 – SISTEMA E DIAGRAMMA BILINEARE EQUIVALENTE.....   | 66  |
| FIGURA 9.2 – RICHIESTA DI SPOSTAMENTO PER $T > T_c$ (IMMAGINE A SX) E $T \leq T_c$ (IMMAGINE A DX) .....        | 68  |
| FIGURA 9.3 – SCHEMA CON INDICAZIONE DELLA ROTAZIONE ALLA CORDA E DELLA LUCE DI TAGLIO .....                     | 69  |
| FIGURA 9.4 – SCHEMA DI UNA CURVA MOMENTO ROTAZIONE CON LA DEFINIZIONE DELLE CAPACITÀ PRESTAZIONALI .....        | 71  |
| FIGURA 9.5 – MODELLO DI ISTERESI PER CALCESTRUZZO ARMATO (IMMAGINE SX) E ACCIAIO (DX) IN CASO DI CARICO ..      | 75  |
| FIGURA 9.6 – BLOCCO A: FASI COSTRUTTIVE IMPLEMENTATE NEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN .....             | 76  |
| FIGURA 9.7 – BLOCCO A: DIVERSE VISTE IN MODALITÀ ESTRUSA DEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN .....         | 77  |
| FIGURA 9.8 – BLOCCO B: FASI COSTRUTTIVE IMPLEMENTATE NEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN .....             | 78  |
| FIGURA 9.9 – BLOCCO B: DIVERSE VISTE IN MODALITÀ ESTRUSA DEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN .....         | 79  |
| FIGURA 9.10 – DETTAGLIO DI MODELLAZIONE DEL RINFORZO DI UNA MAGLIA DI TELAIO CON PIASTRA METALLICA E .....      | 80  |
| FIGURA 9.11 – STRALCIO DELL'ARMATURA IN INPUT PER I PILASTRI RINFORZATI CON CALASTRELLI ED ANGOLARI .....       | 83  |
| FIGURA 9.12 – SCHEMA DI UN NODO TRAVE-PILASTRO CON INDICAZIONE DELLA SIMBOLOGIA UTILIZZATA .....                | 85  |
| FIGURA 9.13 – MECCANISMO DI ROTTURA DI UN NODO TRAVE-PILASTRO CON ASSENZA DI STAFFE DI CONFINAMENTO....         | 85  |
| FIGURA 9.14 – VARIAZIONE DELLO STATO TENSIONALE NEL PANNELLO DI NODO IN TERMINI DI CERCHI DI MOHR.....          | 87  |
| FIGURA 9.15 – STRALCIO VALUTAZIONE AUTOMATICA ROTAZIONE ULTIMA E MOMENTO RESISTENTE IN UNA TRAVE IN...          | 88  |
| FIGURA 9.16 – MOMENTO RESISTENTE DI UNA SEZIONE IN C.A. OTTENUTO UTILIZZANDO IL SOFTWARE FREE VCASLU .....      | 88  |
| FIGURA 10.1 – BLOCCO A: CONFRONTO CURVE DI CAPACITÀ DISTRIBUZIONE PROPORZ. AL MODO DI VIBRARE PER LE D ...      | 93  |
| FIGURA 10.2 – BLOCCO A: STATO DI DANNEGGIAMENTO CERNIERE PLASTICHE IN CORRISPONDENZA DELLO SPOSTAME...          | 93  |
| FIGURA 10.3 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E $\xi=5\%$ .....          | 94  |
| FIGURA 10.4 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E $\xi=5+20\%$ .....       | 94  |
| FIGURA 10.5 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E $\xi=5\%$ .....          | 95  |
| FIGURA 10.6 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E $\xi=5+25\%$ .....       | 95  |
| FIGURA 10.7 – BLOCCO B: CONFRONTO CURVE DI CAPACITÀ DISTRIBUZIONE PROPORZ. AL MODO DI VIBRARE PER LE .....      | 96  |
| FIGURA 10.8 – BLOCCO B: STATO DI DANNEGGIAMENTO CERNIERE PLASTICHE IN CORRISPONDENZA DELLO SPOST.....           | 96  |
| FIGURA 10.9 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E $\xi=5\%$ .....          | 97  |
| FIGURA 10.10 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E $\xi=5+28\%$ .....      | 97  |
| FIGURA 10.11 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E $\xi=5\%$ .....         | 98  |
| FIGURA 10.12 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E $\xi=5+35\%$ .....      | 98  |
| FIGURA 10.13 – RELAZIONE FORZA-VELOCITÀ AL VARIARE DELL'ESPONENTE $\alpha$ E MODELLO DI MAXWELL .....           | 99  |
| FIGURA 10.14 – DISPOSIZIONE IN PIANTA DELLE DIVERSE TIPOLOGIE DI DISSIPATORI FLUIDO-VISCOSI PER ENTRAMBI....    | 104 |
| FIGURA 10.15 – BLOCCO A: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL SECONDO IMPALCATO .....                                 | 106 |
| FIGURA 10.16 – BLOCCO A: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL TERZO IMPALCATO.....                                    | 106 |
| FIGURA 10.17 – BLOCCO A: CONFRONTO DI CICLI ISTERETICI TRA DISPOSITIVI POSIZIONATI AD IMPALCATI DIVERSI .....   | 109 |
| FIGURA 10.18 – BLOCCO B: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL SECONDO IMPALCATO .....                                 | 115 |
| FIGURA 10.19 – BLOCCO B: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL TERZO IMPALCATO .....                                   | 115 |
| FIGURA 10.20 – BLOCCO B: CONFRONTO DI CICLI ISTERETICI TRA DISPOSITIVI POSIZIONI SU IMPALCATI TIPO C1 (LA ..... | 118 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 10.21 – BLOCCO A: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE VELOCITÀ DEL DISPOSITIVO C1 MAGGIORMENTE SOL .....      | 142 |
| FIGURA 10.22 – BLOCCO B: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE VELOCITÀ DEL DISPOSITIVO C2 MAGGIORMENTE SOL.....       | 143 |
| FIGURA 10.23 – BLOCCO B: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE VELOCITÀ DEL DISPOSITIVO C3 MAGGIORMENTE SOL.....       | 144 |
| FIGURA 10.24 – BLOCCO B: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-1 .....    | 146 |
| FIGURA 10.25 – BLOCCO B: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-5 .....    | 146 |
| FIGURA 10.26 – BLOCCO B: DEFORMATA STRUTTURA AD UN FISSATO ISTANTE DI TEMPO, CON EVIDENZA ATTIVAZ .....    | 147 |
| FIGURA 10.27 – BLOCCO B: DIAGRAMMA MOMENTO CURVATURA CON VALORE DELLA ROTAZIONE ALLO SLV DELLA ....        | 148 |
| FIGURA 10.28 – BLOCCO B: ANDAMENTO TEMPORALE ROTAZIONE ALLA CORDA IN TRAVE N.24 E CONFRONTO CON I.....     | 148 |
| FIGURA 10.29 – BLOCCO B ANALISI TH-1: DIAGRAMMA TEMPORALE SFORZO DI TAGLIO $V_z$ IN UNO DEI PILASTRI ..... | 149 |
| FIGURA 10.30 – BLOCCO A: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-1 .....    | 153 |
| FIGURA 10.31 – BLOCCO A: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-5 .....    | 154 |
| FIGURA 10.32 – BLOCCO A: DEFORMATA STRUTTURA AD UN FISSATO ISTANTE DI TEMPO, CON EVIDENZA ATTIVAZ .....    | 154 |
| FIGURA 10.33 – BLOCCO A: DIAGRAMMA MOMENTO CURVATURA CON VALORE DELLA ROTAZIONE ALLO SLV DELL .....        | 155 |
| FIGURA 10.34 – BLOCCO A: ANDAMENTO TEMPORALE ROTAZIONE ALLA CORDA IN TRAVE N.1756 E CONFRONTO CON .        | 155 |
| FIGURA 10.35 – BLOCCO A ANALISI TH-1: DIAGRAMMA TEMPORALE SFORZO DI TAGLIO $V_z$ IN UNO DEI PILASTRI ..... | 156 |
| FIGURA 10.36 – STRALCIO DELLA DOCUMENTAZIONE STORICA DI UNA TRAVE AVENTE MAGGIORE ARMATURA NEL .....       | 161 |
| FIGURA 10.37 – ANALISI TH1: LETTURA DEGLI SPOSTAMENTI ASSOLUTI DEI NODI DI ESTREMITÀ IN CORRISPONDENZ..... | 164 |
| FIGURA 10.38 – ANALISI TH1: SPOSTAMENTO RELATIVO ALLE DUE ESTREMITÀ DEL GIUNTO TECNICO POSTO TRA .....     | 165 |
| FIGURA 10.39 – MODELLI INDIPENDENTI SVILUPPATI IN AMBIENTE FEM RELATIVI ALLE 4 TIPOLOGIE DI ESOSCHELETR..  | 165 |
| FIGURA 10.40 – FORZE STATICHE ORIZZONTALI APPLICATE AGLI ESOSCHELETRI .....                                | 166 |
| FIGURA 10.42 –DEFORMATA DEGLI ESOSCHELETRI PER FORZE AGENTI IN DIREZIONE POSITIVA (+X) .....               | 167 |
| FIGURA 10.43 –FORME MODALI FONDAMENTA DELLE TIPOLOGIE DI ESOSCHELETRI CON INDICAZIONE DEI PERIODI .....    | 167 |
| FIGURA 10.41 –DIAGRAMMI DELLO SFORZO NORMALE E DEL MOMENTO FLETTENTE PER INVILUPPO COMBINAZIONI.....       | 168 |
| FIGURA 10.44 –DISPOSIZIONE DEI FORI PER LA REALIZZAZIONE DI UNIONI BULLONATE .....                         | 172 |
| FIGURA 10.44 –DETTAGLIO COSTRUTTIVO DELLA MENSOLA CON EVIDENZA DELLE ARMATURE FI “FORZA” OGGETTO ...       | 184 |

## 1. Riferimenti normativi

La normativa a cui si si fa riferimento per la progettazione esecutiva delle strutture è la seguente:

- **D.M. 17.01.2018:** *aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”*;
- **Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n. 7 del 21 gennaio 2019:** *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*;
- **UNI EN 1993-1-8 (EC 3):** *“Progettazione delle strutture di acciaio” – Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti*;
- **ETAG 001 Edition 1997 – Annex C:** *“Design Methods for Anchorages”. Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete*;
- **UNI EN 15129:2018:** *“Dispositivi antisismici”*;
- **Palermo M., Silvestri S., Landi L., Gasparini G., Trombetti T. (2016)** – *“Peak velocities estimation for a direct five-step design procedure of inter-storey viscous dampers - Bulletin of Earthquake Engineering*;
- **Silvestri S., Gasparini G., Trombetti T. (2010)** – *“A Five-Step Procedure for the Dimensioning of Viscous Dampers to Be Inserted in Building Structures, Journal of Earthquake Engineering*.

## 2. Premessa: descrizione generale delle opere

La presente relazione di calcolo tratta il progetto esecutivo relativo all'intervento di adeguamento sismico di due dei tre corpi appartenenti all'istituto scolastico I.I.S. De Sarlo di Lagonegro, ubicato in Via S. Antuono” .

Trattasi in dettaglio dei corpi A e B rappresentati in FIGURA 2.1; il corpo B, in particolare, secondo la documentazione riguardante la valutazione di vulnerabilità sismica eseguita in periodo antecedente, risulta altamente vulnerabile, con indicatore di rischio minimo pari al 12.2%.



FIGURA 2.1 – STRALCIO PLANIMETRICO CON INDICAZIONE DEI CORPI DI FABBRICA OGGETTO DI ADEGUAMENTO SISMICO

I corpi di fabbrica in questione, unici dal punto di vista funzionale ed architettonico ma strutturalmente indipendenti, sono stati realizzati in c.a. intorno agli anni '60 ed interessati da un intervento di rinforzo strutturale negli anni '90, come meglio chiarito più in avanti; di seguito si riporta una descrizione sintetica dello stato di fatto attuale, successivamente discusso ed approfondito singolarmente. Per le ragioni appena esposte, tale sistema comprende sia la struttura originaria sia i successivi elementi resistenti di rinforzo:

- ✓ *Blocco A*, ovvero il corpo di sinistra, costituito da una pianta irregolare a forma rettangolare allungata con due aggetti asimmetrici per l'ubicazione del vano scala e servizi igienici, avente dimensioni massime di 28.3 m x 14.23 m ed uno sviluppo in altezza di n.3 piani fuori terra più un sistema di coperture a falde. Per quel che riguarda le destinazioni d'uso, dei tre livelli indicati, i primi due sono adibiti a funzione scolastica, mentre il terzo rappresenta soltanto un

sottotetto accessibile per sola manutenzione (vedi anche stralcio della sezione trasversale mostrato in FIGURA 2.2);

- ✓ *Blocco B*, ovvero il corpo di destra che rappresenta l'ala più imponente. La geometria del plesso è simile a quella del blocco A, ma presenta una dimensione longitudinale maggiore ed un vano scala con dimensioni trasversali minori; inoltre, in questo caso i locali igienici ed il vano scala non sono attaccati, per cui i due aggetti, che rappresentano l'irregolarità rispetto alla forma rettangolare allungata, si mostrano tra loro separati. Il rilievo in sito ha mostrato che le dimensioni massime del corpo di fabbrica sono pari a 35.40 x 13.30 m, mentre lo sviluppo in altezza è identico a quanto già descritto per il blocco A, se si escludono i collegamenti verticali in corrispondenza dei vano scala: se infatti nel blocco B si garantisce il collegamento dei primi due livelli, con copertura a terrazzo avente quota coincidente con il sottotetto, nel blocco A il vano scala collega anche il terzo livello per l'accesso ad un terrazzo di copertura limitato al primo campo di solaio, presentando pertanto un'ulteriore falda di copertura, con altezza massima rispetto al piano campagna di circa 14.86 m.

Per entrambi i blocchi, a parte le differenze descritte per il vano scala, si evincono altezze di interpiano costanti per i tre livelli fuori terra, pari a 3.72 m; le falde di copertura presentano invece pendenze diverse, con angolo di inclinazione comunque sempre sotto i 20° ed altezza della linea di colmo rispetto ad estradosso sottotetto di 1.85 m.

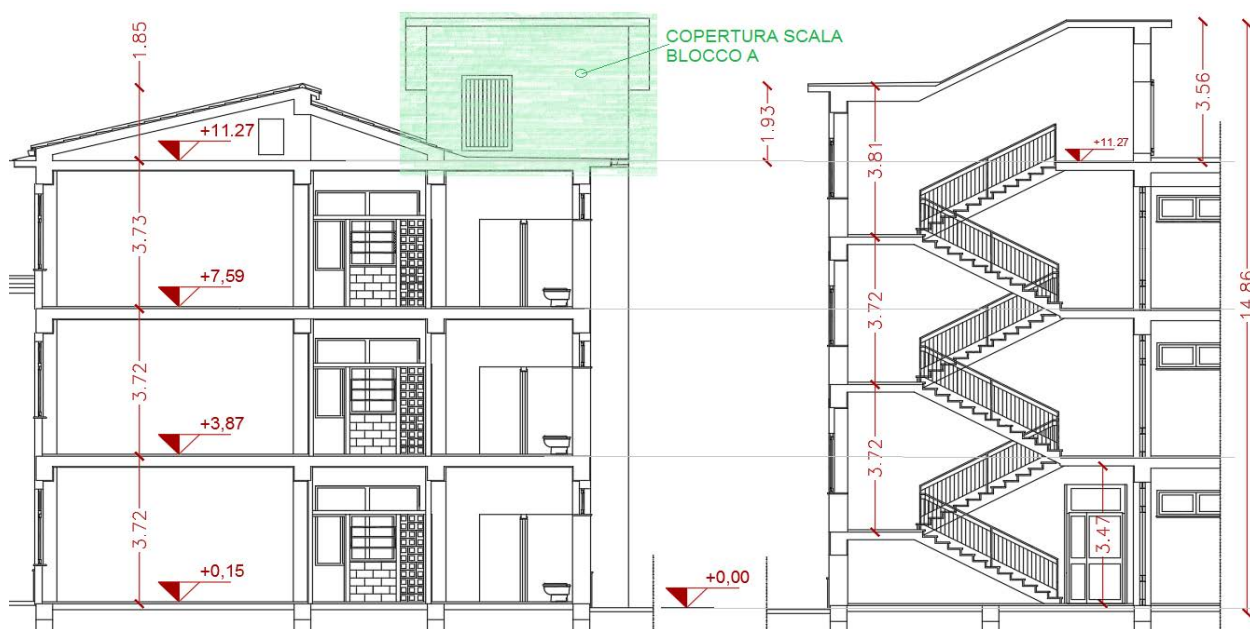


FIGURA 2.2 – STRALCIO SEZIONE TRASVERSALE TIPO E SEZIONE LONGITUDINALE IN CORRISPONDENZA DEL VANO SCALA BLOCCO A

Ultimo aspetto da chiarire, secondo quanto rappresentato in FIGURA 2.1, riguarda l'indipendenza strutturale dei corpi minori del locale tecnico e vano ascensore esterno, non presi in considerazione ai fini delle analisi strutturali approfondite nel seguito. Da rilevare inoltre che, se tra i blocchi A e B nel punto più alto è stato misurato un giunto tecnico di 5 cm, stesso risultato è stato ottenuto tra il blocco A e quello non oggetto di intervento posto planimetricamente al di sotto; il problema riguarda invece i corpi minori appena descritti, che risultano praticamente in aderenza, da qui la proposta di interventi di mitigazione del problema del martellamento discussi nel paragrafo specifico.

### 3. Classificazione dell'intervento secondo la normativa

Ai sensi del D.M.17/01/2018, la progettazione strutturale oggetto della presente relazione di calcolo rientra all'interno dell'intervento di adeguamento sismico secondo quanto indicato al §8.4.3 della stessa norma. In particolare, rientrano in tale categoria tutti quegli interventi atti ad aumentare la sicurezza strutturale preesistente, conseguendo livelli di sicurezza variabili dallo 80 al 100% rispetto all'azione di progetto che sarebbe richiesta per edifici di nuova costruzione. Entrando nel merito del progetto specifico, non si rientra in nessuno dei 5 punti indicati dalla norma per l'obbligo dell'intervento di adeguamento; leggendo però con attenzione il punto e) indicato al paragrafo suddetto (*"...apportare modifiche di classe d'uso che conducano a costruzioni di classe III ad uso scolastico o di classe IV."*), quando si ricade all'interno di tale casistica la norma prescrive il seguente valore minimo da raggiungere:

$$\zeta_E \geq 0.80$$

dove  $\zeta_E$  è un coefficiente che quantifica il livello di sicurezza della costruzione, ottenuto come rapporto tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura (capacità) e l'azione sismica che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione (domanda); proprio riguardo quest'ultimo aspetto, il §8.4. del D.M.17/01/2018 precisa che *"...La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguite con riferimento ai soli SLU, salvo che per le costruzioni in classe d'uso IV, per le quali sono richieste anche le verifiche agli SLE specificate al § 7.3.6...; in quest'ultimo caso potranno essere adottati livelli prestazionali ridotti. Per la combinazione sismica le verifiche agli SLU possono essere eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana (SLV) o, in alternativa, alla condizione di collasso (SLC)..."*. Trattandosi nel caso in esame di una struttura ad uso scolastico quindi di classe d'uso III (si rimanda al §8.4 della presente relazione per maggiori dettagli), si comprende che la norma impone di progettare un intervento che soddisfi solo requisiti di resistenza e duttilità finalizzati alla salvaguardia della vita umana, potendo escludere le prestazioni nelle condizioni di esercizio.

Altro aspetto importante è riportato al §8.4.2 del D.M.17/01/2018: *"...Nel caso di interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno  $\zeta_E = 1,0$* ; tale affermazione va estesa anche ad altre tecniche innovative di protezione sismica passiva come l'utilizzo di dissipatori viscosi, visto il ruolo critico che hanno ai fini della "protezione" della struttura.



#### 4. Cenni riguardanti la valutazione di vulnerabilità: aspetti significativi

Preliminare all'attività di progettazione strutturale discussa con la presente relazione, è stata l'acquisizione della documentazione integrale riguardante la valutazione di vulnerabilità sismica eseguita solo sul corpo B dall'ing. Adriano Mecca nel Marzo del 2019, comprensiva dell'attività propedeutica attinente l'acquisizione del livello di conoscenza. Per maggiori approfondimenti si rimanda ai singoli elaborati; lo scopo del paragrafo è evidenziare i seguenti aspetti peculiari ai fini della progettazione esecutiva:

- ✓ L'indicatore di rischio minimo è legato alla verifica allo stato limite SLV ed è pari a:  $\zeta_E=0.122$ ; per gli altri stati limite analizzati (SLD e SLO) le verifiche sono invece praticamente soddisfatte, con valore dell'indicatore di rischio per lo stato limite di danno prossimo all'unità;
- ✓ da rilevare che in relazione si indica come tale valore così basso dell'indicatore di rischio sia da attribuire ai meccanismi di tipo fragile nei nodi perimetrali (non si ha però visione delle formulazioni utilizzate), mentre non si fa alcun riferimento e non si riportano, né in relazione né nella scheda di sintesi, gli indicatori di rischio corrispondenti ai meccanismi duttili e a quelli fragili per rottura a taglio di travi e/o pilastri;
- ✓ ai fini della valutazione degli spettri di risposta, si indica un coefficiente topografico  $S_T=1.20$ , corrispondente, secondo le indicazioni delle NTC2018, ad una categoria topografica  $T_2$  ed edificio posto in sommità alla cresta del rilievo; come si vedrà più avanti, in base all'andamento delle curve di livello esaminato nell'intorno del sito in esame, l'inclinazione del pendio è in realtà al di sotto della soglia individuata per la categoria  $T_2$  e comunque l'edificio è molto lontano dalla cresta;
- ✓ le indagini conoscitive hanno permesso di individuare, con riferimento al blocco B, le proprietà dei materiali esistenti, la disposizione in alcuni elementi tipo delle barre di armatura, la tipologia e l'orditura degli orizzontamenti. È stato inoltre acquisito e tenuto conto del progetto di rinforzo eseguito negli anni '90 a cura dell'ing. Giuseppe Rossi, quanto meno in termini di controventi in acciaio realizzati in alcuni campi di solaio (visibili dalle immagini dei modelli di calcolo); non si ha però visione di come e se si è tenuto conto dei rinforzi dei pilastri con la tecnica dei calastrelli ed angolari, né tanto meno della resistenza delle unioni bullonate che collegano le diagonali di controventi alla struttura esistente in c.a.;
- ✓ Le modellazioni eseguite indicano un'altezza di interpiano del 1° livello molto più alta rispetto ai livelli superiori, di circa 5.20 m. Analizzando però approfonditamente la documentazione

storica, in particolare le fotografie scattate in fase di realizzazione dei lavori di rinforzo eseguiti negli anni '90 dall'ing. Giuseppe Rossi (vedi anche Figura 5.2), emerge che tale altezza è in realtà uguale a quella dei livelli superiori (3.72 m) per la presenza di un graticcio di travi di collegamento al di sopra del sistema di fondazione, che di fatto pone più in alto l'ipotesi di incastro alla base;

- ✓ La scala di emergenza lato Nord, caratterizzata da una struttura leggera in acciaio, non è stata oggetto di valutazione di vulnerabilità sismica, per cui non può essere interessata in questa fase da un eventuale intervento di rinforzo strutturale; si comprende però l'importanza di tale elemento dal punto di vista funzionale, essendo importante l'integrità della via di fuga in caso di un evento sismico;
- ✓ Gli elementi non strutturali (tramezzi e tamponature) non sono stati oggetto di indagine conoscitiva, che di fatto si è limitata agli elementi strutturali quali travi e pilastri. Per questo motivo è possibile eseguire verifiche agli stati limite di esercizio soltanto in termini globali (ad esempio limitazione degli spostamenti di interpiano), mentre l'esecuzione di una verifica locale che interessi il singolo elemento richiede preventivamente una campagna di indagine minima integrativa.

## 5. Descrizione dei sistemi strutturali

Si riporta di seguito una descrizione sintetica dei vari sistemi strutturali esistenti, rimandando per maggiori dettagli agli elaborati grafici. Proprio a tale proposito, si vuole sottolineare l'importanza della redazione, all'interno del progetto esecutivo, di un elaborato apposito riguardante esclusivamente lo stato di fatto, in modo da chiarire *“il punto di partenza”* viste alcune discordanze emerse rispetto alla verifica di vulnerabilità sismica in seguito agli approfondimenti della documentazione storica e ad ulteriori sopralluoghi e misurazioni in situ. Ritornando alla sinteticità della descrizione, si va a concentrare sugli aspetti significativi che impattano sulla scelta progettuale e sulle successive valutazioni ed analisi strutturali.

### 5.1. Blocco B

Rappresenta il corpo di fabbrica di maggiori dimensioni ed è caratterizzato dai seguenti elementi strutturali progettati originariamente in assenza di criteri sismici, con classica pianta a forma allungata e telai nella sola direzione longitudinale; quindi ha subito un intervento di rinforzo nel '96 attraverso l'inserimento di controventi trasversali sismo-resistenti e rinforzo del sistema fondale, progettati secondo il D.M.96', quindi in assenza dei criteri di duttilità e/o gerarchia delle resistenze e con riferimento a spettri di accelerazione molto più piccoli:

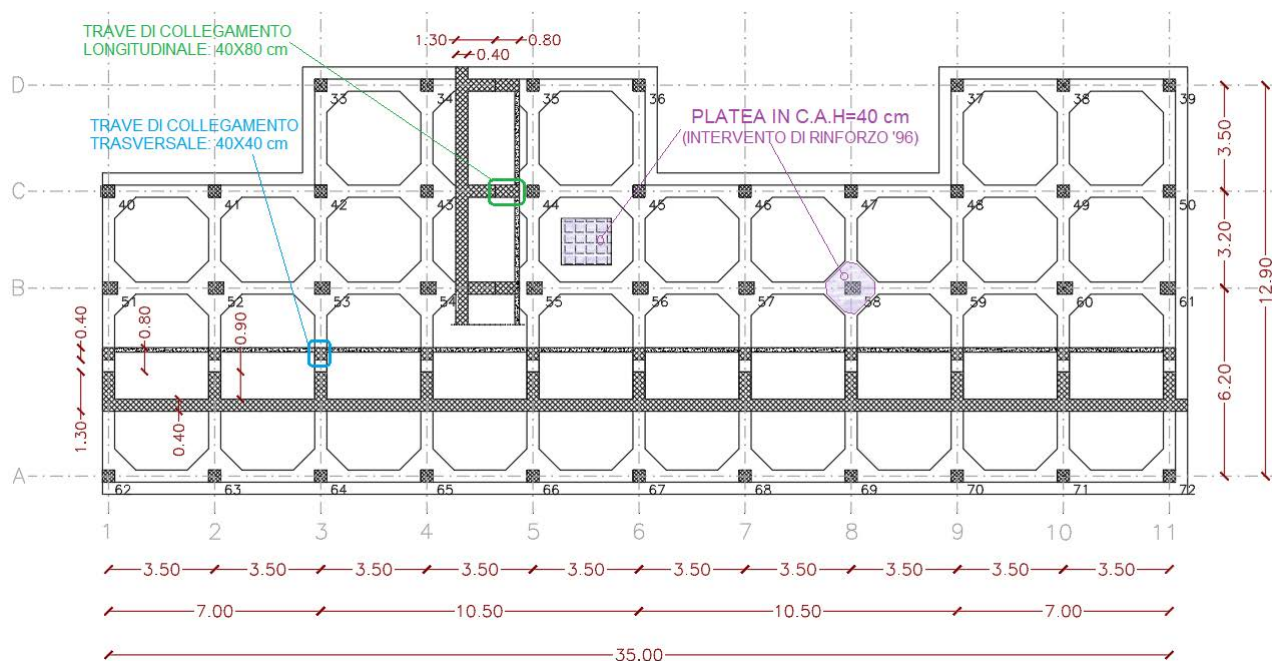


FIGURA 5.1 – STATO DI FATTO: STRALCIO DELLA PIANTA DI FONDAZIONE DEL BLOCCO B

- la fondazione, originariamente caratterizzata da travi rovesce solo nel senso longitudinale 120x130 cm, nel '96 ha subito un sensibile intervento di rinforzo probabilmente per le scadenti caratteristiche geotecniche scaturite a seguito di un approfondita indagine geognostica. L'intervento è consistito nella realizzazione di una platea in c.a. alta 40 cm collegata alle travi longitudinali appena descritte e contestuale realizzazione di travi trasversali a sezione rettangolare di dimensioni 40x80 cm; in aggiunta si è eseguito un ringrosso in corrispondenza delle intersezioni a mo' di plinto (si veda FIGURA 5.1). Ne scaturisce in definitiva un nuovo sistema di fondazione, costituito da una platea nervata armata con doppia maglia  $\phi 12/20$  cm, avente un affondamento rispetto al piano campagna di 2.10 m. Si riporta, a titolo chiarificatore, due foto scattate durante la realizzazione dei lavori di rinforzo del '96, dove si intravede la platea già realizzata e la cassetta delle nuove travi trasversali e dei plinti in corrispondenza delle intersezioni; sempre nelle immagini di FIGURA 5.2 appare chiaro il graticcio di travi di collegamento posto in sommità al sistema di fondazione e discusso al §4 della presente relazione, da cui si alzano i pilastri di elevazione che pertanto presentano altezza di interpiano ridotta;



FIGURA 5.2 – ALCUNE IMMAGINI CHE MOSTRANO L'INTERVENTO DI RINFORZO IN FONDAZIONE

- la struttura di elevazione è composta originariamente da telai con travi emergenti 40x60 cm disposte soltanto nella direzione ortogonale rispetto all'orditura dei solai (direzione longitudinale o parallela all'asse X), mentre non sono presenti travi nella direzione parallela se non per i telai perimetrali. L'intervento del '96 ha introdotto elementi sismo-resistenti anche nella direzione trasversale, inserendo travi a spessore di solaio larghe 80 cm o 40 cm in

alcuni telai interni ma soprattutto prevedendo l'inserimento di controventi concentrici a croce di S. Andrea, la cui ubicazione è rappresentata nello schema di FIGURA 5.3 con linee di colore verde.

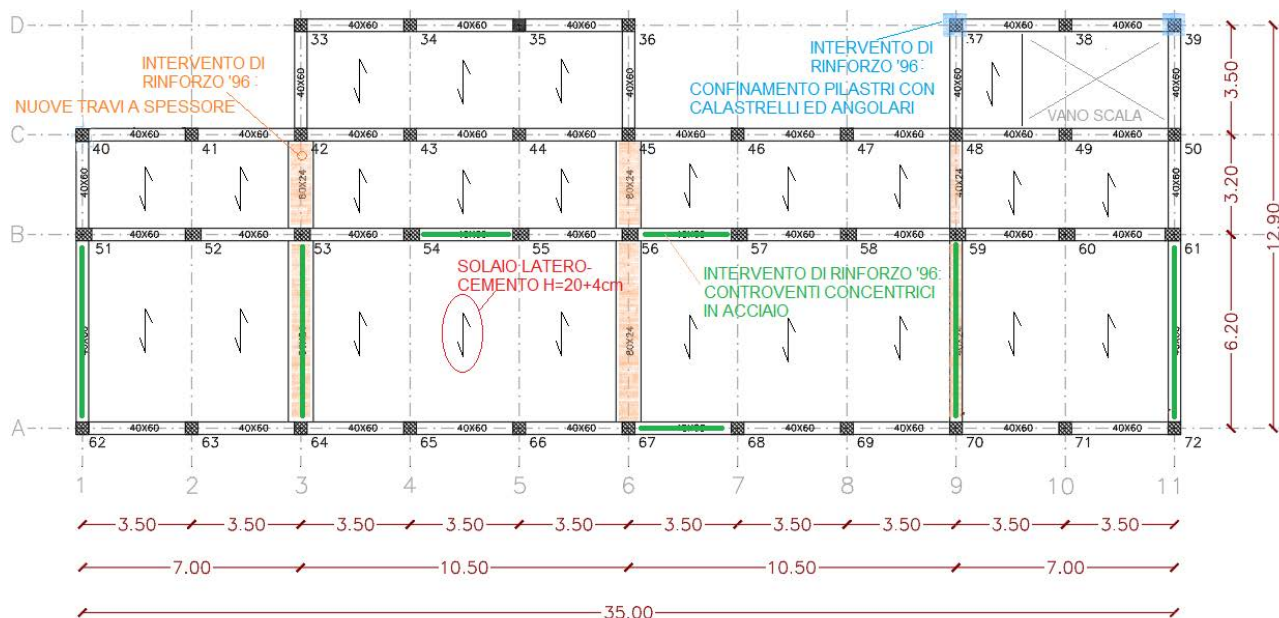


FIGURA 5.3 – STATO DI FATTO: STRALCIO DI CARPENTERIA DEL PRIMO IMPALCATO: BLOCCO B

I controventi concentrici sono costituiti da due profili UPN accoppiati, con altezze comprese tra 120 mm e 200 mm, collegati con piastre metalliche e n.3 bulloni M20, come visibile da alcune foto scattate durante uno dei sopralluoghi (vedi FIGURA 5.4). Oltre alle diagonali, nel progetto sono stati previsti anche profili ulteriori orizzontali e verticali a rinforzo rispettivamente di travi e pilastri della maglia di telaio corrispondente, mediante n.3 barre filettate ancorate al cls esistente;



FIGURA 5.4 – INSERIMENTO DEI CONTROVENTI CONCENTRICI ALL'INTERNO DELLE MAGLIE DI TELAIO



Ritornando alla struttura originaria, i pilastri presentano prevalentemente dimensioni 40x40 cm per tutto lo sviluppo in altezza, tranne i pilastri del telaio longitudinale interno, che per carichi verticali hanno un maggiore aggravio, aventi dimensioni 50x40 cm al primo livello. Altro aspetto importante da sottolineare è il rinforzo di estremità di travi e pilastri, per una lunghezza di circa 80 cm, realizzato mediante una piastra metallica larga 160 mm e spessa 5 mm, ma solo all'intradosso delle travi: l'intervento ha così permesso di incrementare la resistenza flessionale delle travi per momenti che invertono il segno a causa delle azioni sismiche (fibre tese inferiori), quindi incrementare la resistenza flessionale dei pilastri in maniera simmetrica nel piano di sollecitazione parallelo a quello del telaio, ma soltanto nell'estremità superiore, mentre alcun intervento risulta eseguito all'estremità bassa.

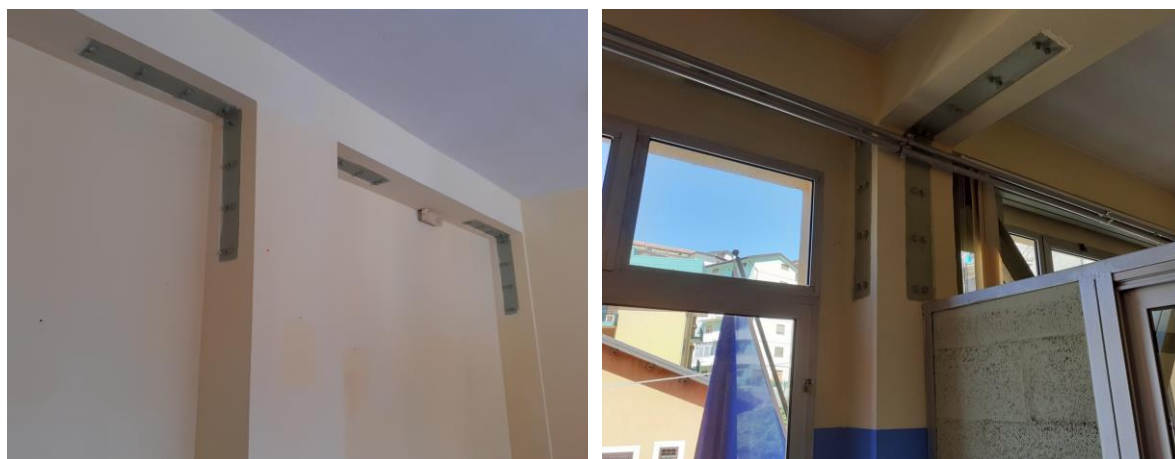


FIGURA 5.5 – RINFORZO DI TRAVI E PILASTRI ALLE ESTREMITÀ MEDIANTE PIASTRA METALLICA

Infine è da menzionare, come intervento di rinforzo importante ai fini delle analisi strutturali, il confinamento dei pilastri indicati in FIGURA 5.3 mediante calastrelli ed angolari, così come evidente dalla documentazione fotografica acquisita (vedi foto stralciate in FIGURA 5.6). Dai grafici contabili emerge in particolare l'utilizzo di calastrelli 50x6 mm con passo 25 cm e profili angolari 50x50x7 mm.



FIGURA 5.6 – EVIDENZA DELL'INTERVENTO DI CONFINAMENTO DEI PILASTRI VANO SCALA MEDIANTE CALASTRELLI ED ANGOLARI

- I solai sono latero-cementizi prefabbricati in c.a.p., con pignatte larghe 38 cm e travetti 12 cm (interasse di 50 cm), mentre la soletta di completamento in opera è alta 5 cm, per un'altezza complessiva:  $H=20+5\text{ cm}$ . Non sono presenti sbalzi fatto salvo per la gronda di copertura, con aggetto di circa 60-65 cm rispetto a filo trave;
- Ultimo aspetto ma non meno importante ai fini delle analisi strutturali, riguarda il vano scala, con gradini a sbalzo su travi a ginocchio aventi sezione rettangolare 40x60 cm, uguali cioè alle altre travi emergenti. Il progetto di rinforzo del '96 ha inoltre previsto, probabilmente per eliminare i problemi fessurativi legati agli effetti trasversali, il taglio della soletta in modo da creare un giunto tra rampa e pianerottolo

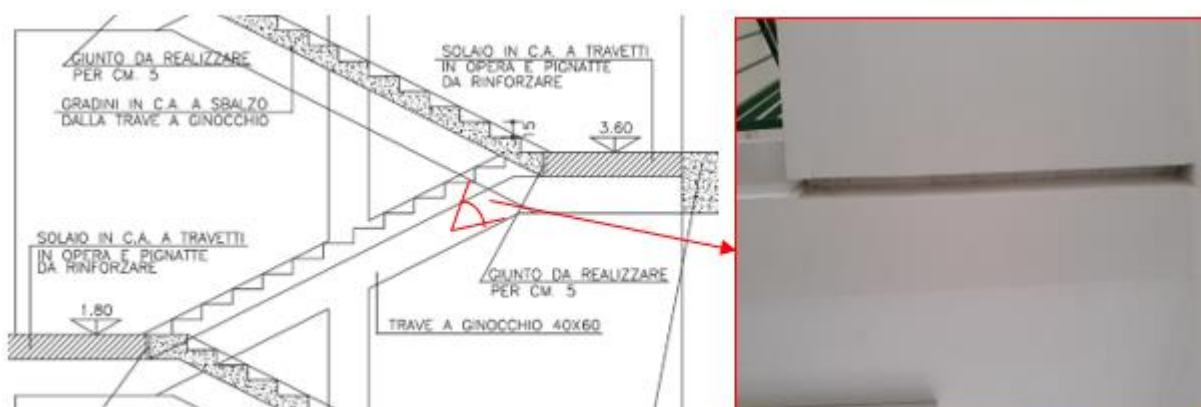


FIGURA 5.7 – EVIDENZA DELLA REALIZZAZIONE DEL GIUNTO TRA RAMPA E PIANEROTTOLO: INTERVENTI DEL '96

## 5.2. Blocco A

Il sistema strutturale originario, nonché gli interventi di rinforzo previsti dal progetto redatto dall'ing. Giuseppe Rossi nel '96, sono da estendere allo stesso modo anche al corpo A, pertanto si rimanda al paragrafo precedente per maggiori dettagli. Di seguito si mostrano comunque la pianta fondazione (FIGURA 5.8) e la carpenteria dell'impalcato primo, onde evidenziare bene il sistema strutturale e l'inserimento degli interventi di rinforzo, mentre restano invariate le tecniche costruttive, così come rimane la validità dei concetti esposti in merito al progetto originario (telai resistenti presenti solo nella direzione longitudinale e progettati per carichi verticali con pilastri interni di dimensioni maggiori).

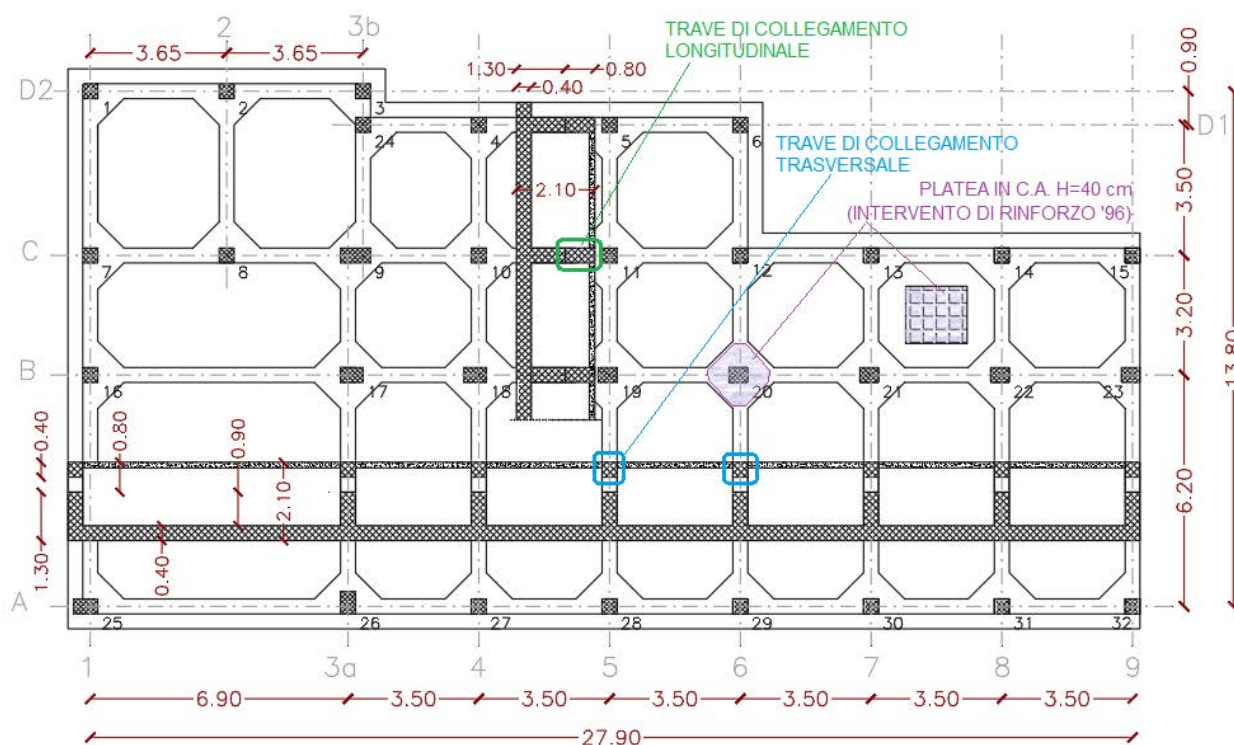


FIGURA 5.8 – STATO DI FATTO: STRALCIO DELLA PIANTA DI FONDAZIONE DEL BLOCCO A

Unica differenza tra i due blocchi appare evidente in corrispondenza della prima campata in basso a sinistra, dove, secondo quanto rappresentato in FIGURA 5.9, l'interasse tra i pilastri non è più 3.50 m ma 6.90 m (manca in sostanza un pilastro intermedio) e l'orditura del solaio è ruotata di 90° rispetto a quella presente in tutti gli altri campi di solaio; di conseguenza, oltre ai telai perimetrali trasversali, anche il telaio interno (allineamento 3A) è caratterizzato da travi emergenti 40x60 cm.



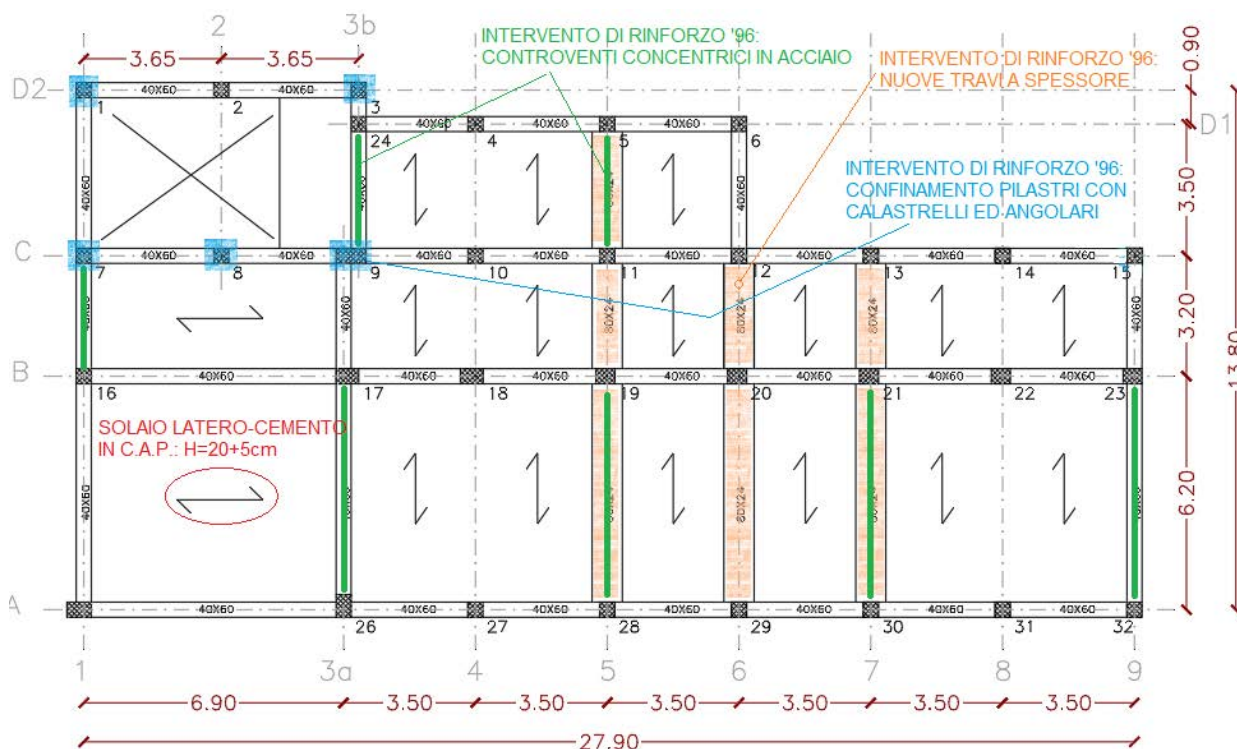


FIGURA 5.9 – STATO DI FATTO: STRALCIO DI CARPENTERIA DEL PRIMO IMPALCATO: BLOCCO A

Tale aspetto è probabilmente da ricercare nel progetto originario, dove, secondo quanto schematizzato in FIGURA 5.10, si aveva un unico sistema strutturale con forma irregolare a “L”, comprendente cioè anche il corpo sottostante che proponeva proprio la stessa orditura ed interasse tra i pilastri; solo con l’intervento di rinforzo progettato nel ’96 è stata prevista la realizzazione di un nuovo telaio per il corpo sottostante, finalizzato alla creazione del giunto tecnico e quindi la separazione tra il blocco A oggetto di adeguamento sismico e quello sottostante non interessato dal presente progetto esecutivo. Il progetto di rinforzo anni ’96 ha quindi previsto la demolizione del pilastro n.24 visualizzato in FIGURA 5.10, così come le travi 24-25 e le tamponature di chiusura. Unico elemento rimasto è la trave 24-25 in corrispondenza del piano calpestio, visibile anche dal sopralluogo in sito e mostrata nelle immagini di FIGURA 5.11.

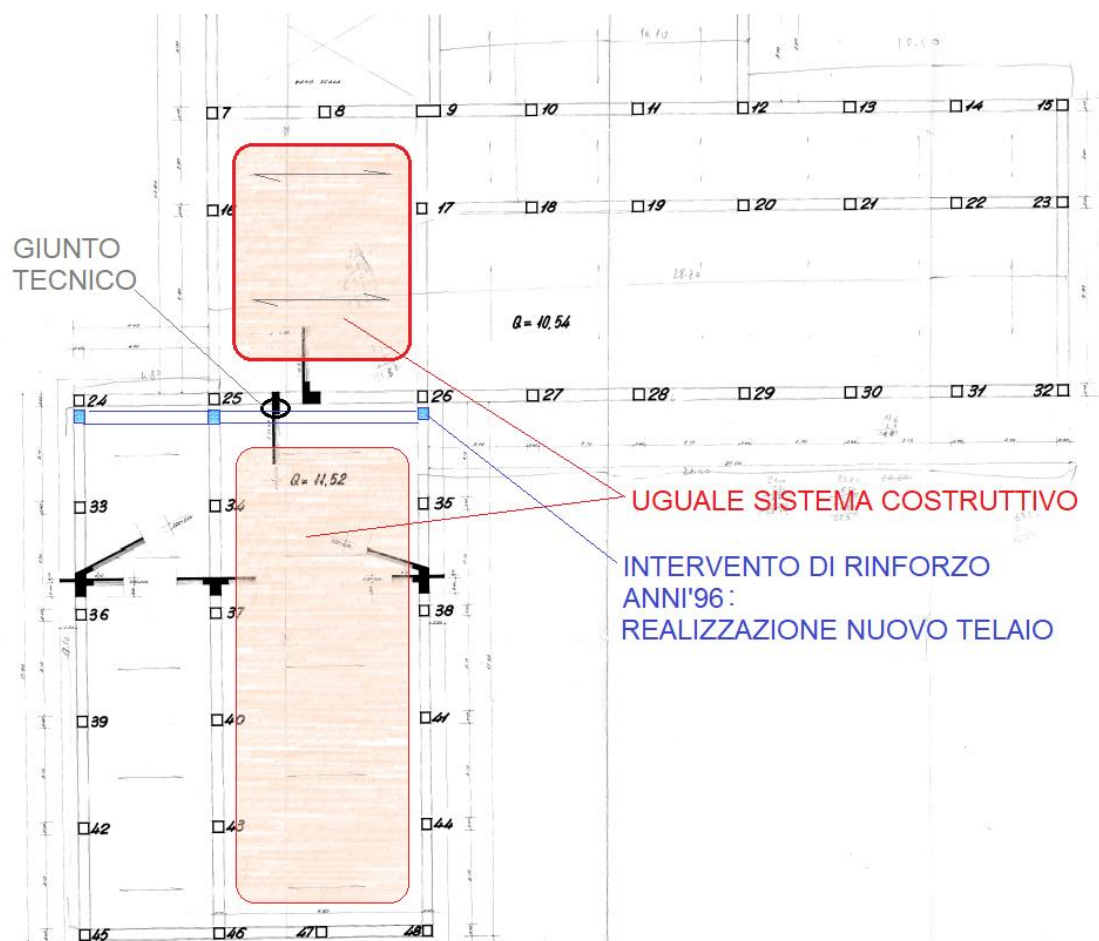


FIGURA 5.10 – STRALCIO PROGETTO ORIGINARIO CON INDICAZIONE INTERVENTO '96 FINALIZZATO ALLA CREAZIONE DI UN GIUNTO TECNICO



FIGURA 5.11 –GIUNTO TECNICO REALIZZATO TRA IL BLOCCO A ED IL CORPO SOTTOSTANTE, CON RIVESTIMENTO DELL'UNICA TRAVE RIMASTA

### 5.3. Quadro fessurativo e consistenza dei materiali

Dal sopralluogo in sito non emergono quadri fessurativi sugli elementi strutturali, né travi e pilastri, né tantomeno gli orizzontamenti. Riguardo il degrado dei materiali, è però da annoverare la corrosione diffusa delle barre di armatura longitudinale della soletta a sbalzo appartenente all'impalcato di sottotetto. Come visibile nelle immagini di FIGURA 5.12, nonostante un intervento recente di verniciatura, appare chiara la corrosione delle barre con conseguente aumento di volume e formazione di lesioni da rigonfiamento nel cls carbonatato; il dettaglio dell'immagine a destra mostra inoltre come tale fenomeno si sia evoluto nella fase successiva di perdita di spessore delle barre di intradosso, mentre non è possibile conoscere lo stato di quelle all'estradosso, essenziali ai fini della sicurezza.



FIGURA 5.12 – FOTO SCATTATE DURANTE SOPRALLUOGO: SFOGLIATURA BARRE DI ARMATURA LONGITUDINALE AGGETTO DI COPERTURA

Da rilevare che tale elemento secondario è stato oggetto di manutenzione strutturale già con il progetto di rinforzo del '96, dove appare chiaro quanto meno il ripristino del copriferro, mentre non è dato a sapersi se l'intervento ha riguardato anche il trattamento della parte metallica.



FIGURA 5.13 – LAVORI RELATIVI AL PROGETTO DI RINFORZO DEL '96: RIPRISTINO DEL COPRIFERRO AGGETTO DI COPERTURA

## 6. Definizione della proposta progettuale

In seguito ad un'attenta analisi in termini di rapporti costi – benefici, causa le elevate prestazioni richieste, si è optato per un intervento innovativo di protezione sismica passiva consistente nella realizzazione di esoscheletri esterni in carpenteria metallica finalizzati a contrastare un sistema di dissipatori fluido-viscosi a comportamento dipendente dalla velocità. La proposta progettuale vuole in particolare realizzare singole reticolari indipendenti allineate ai telai dell'edificio esistente, in modo da inserire, tra il telaio in c.a. e la nuova struttura in corrispondenza degli ultimi due impalcati, dei dispositivi di dissipazione in grado di ridurre drasticamente l'energia sismica in ingresso. In questo modo è possibile ottenere i seguenti vantaggi:

- ✓ mantenere i giunti strutturali esistenti, che da analisi preliminare risultano insufficienti e che richiederebbero pertanto interventi di tipo invasivo consistenti nel taglio ulteriore di parti della struttura oppure l'unione; in quest'ultimo caso si verrebbe a creare un sistema strutturale molto allungato in pianta, con conseguente aumento delle eccentricità accidentali e quindi degli effetti torsionali;
- ✓ limitare sensibilmente gli interventi sulla struttura. Difatti, come si avrà modo di chiarire più in avanti, gli interventi di rinforzo sono stati progettati nel '96 con riferimento ad accelerazioni sismiche circa 10 volte minori rispetto a quelle aggiornate dalla nuova zonazione sismica, di conseguenza si richiederebbero interventi tradizionali molto onerosi in particolar modo sui pilastri;
- ✓ massimizzare le prestazioni della struttura scolastica nei confronti degli stati limite di esercizio, consistente nel garantire la funzionalità per eventi sismici di bassa intensità ma con maggiore probabilità di accadimento. Concettualmente il sistema così concepito, entrando in funzionamento anche per bassi valori delle velocità indotte dal sisma (dissipatori viscosi non lineari), riduce sensibilmente gli spostamenti di interpiano e le accelerazioni relative, eliminando così il problema del danneggiamento degli elementi non strutturali e limitando fortemente le azioni inerziali agli impianti e macchinari;
- ✓ pervenire all'adeguamento sismico della scuola mediante una serie di interventi eseguibili tutti dall'esterno, senza quindi richiedere alcuna interruzione delle attività durante la fase di realizzazione dei lavori.

Al fine di realizzare l'idea progettuale appena descritta, in seguito ad analisi strutturali approfondite e alla ricerca di dettagli costruttivi effettivamente cantierabili, si è pervenuti alla definizione del progetto esecutivo di adeguamento sismico, consistente nelle seguenti lavorazioni:



- Inserimento di dissipatori fluido-viscosi non lineari a comportamento dipendente dalla velocità, in grado di dissipare l'energia sismica in ingresso attraverso la laminazione di un fluido siliconico all'interno di un idoneo circuito idraulico mediante un sistema cilindro-pistone. Nel caso specifico, criteri di rapporti costi – benefici hanno indotto ad utilizzare n.3 tipologie di dispositivi, denominati d'ora in avanti C1, C2 e C3, la cui disposizione è quella indicata negli schemi di FIGURA 6.1 e FIGURA 6.2 rispettivamente per il blocco B ed il blocco A;

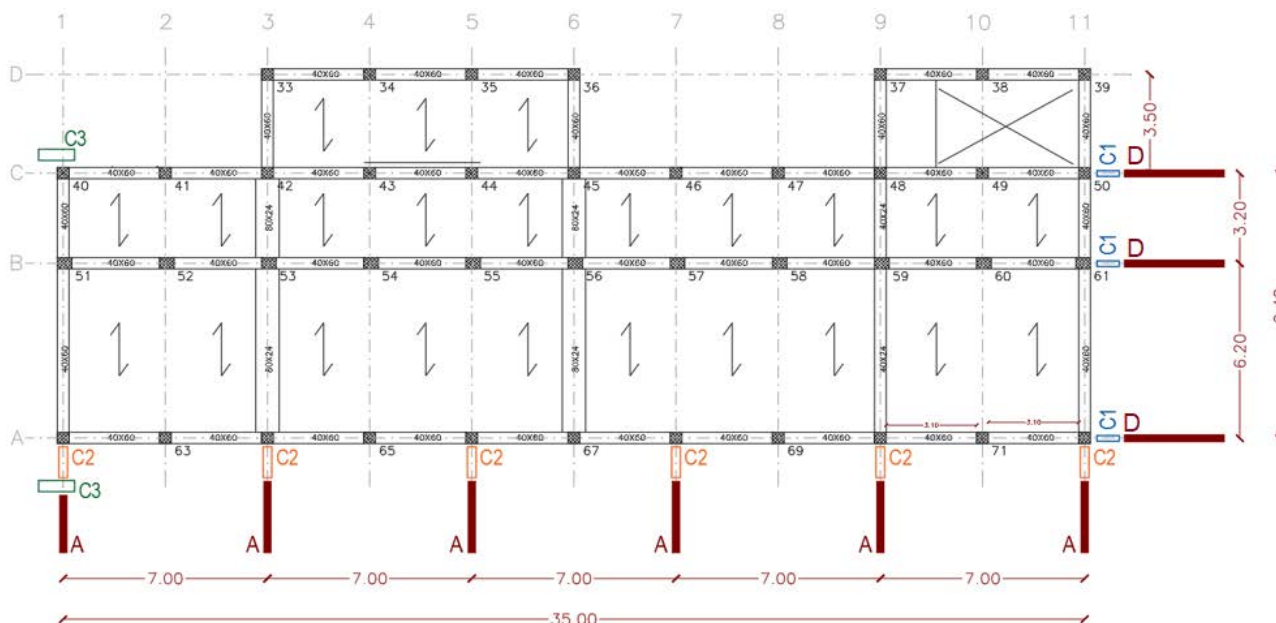


FIGURA 6.1 – BLOCCO B: Pianta schematica impalcato con indicazione tipologie di ESOSCHELETRI E DISSIPATORI FLUIDO-VISCOSI

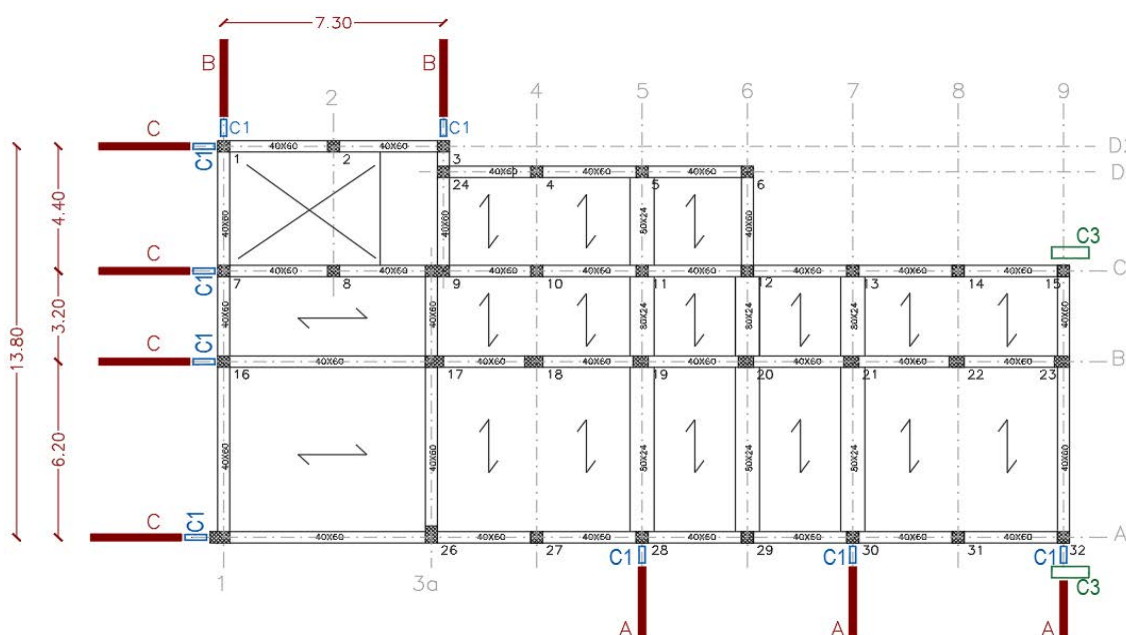


FIGURA 6.2 – BLOCCO A: Pianta schematica impalcato con indicazione tipologie di ESOSCHELETRI E DISSIPATORI FLUIDO-VISCOSI

- Dei 3 dispositivi di protezione sismica passiva, il C1 ed il C2 vengono inseriti tra la struttura esistente ed esoscheletri esterni in carpenteria metallica, mentre il C3 è utilizzato in corrispondenza del giunto tecnico tra i due blocchi oggetto di intervento, il cui scopo è quello di ridurre gli spostamenti longitudinali ed eliminare fenomeni pericolosi di martellamento;
- Le immagini di FIGURA 6.1 e FIGURA 6.2 riportano in maniera schematica le diverse tipologie di esoscheletri adottate, funzione sia del tipo di dispositivo quindi delle forze orizzontali trasmesse, sia dalle condizioni al contorno presenti, come la presenza di muri di sostegno sul lato Est e sul lato Nord che limitano la dimensione del telaio e necessitano quindi forme particolari onde soddisfare i requisiti di rigidezza laterale. Entrando ulteriormente nel dettaglio, si tratta di n.4 tipologie di sistemi reticolari, denominati con le lettere dalla A alla D, costituiti da profili tubolari laminati a caldo, la cui geometria unifilare è riportata in FIGURA 6.3 insieme alle dimensioni delle sezioni resistenti; a sinistra è inoltre schematizzata una sezione trasversale dell'edificio con l'inserimento dei dispositivi fluido-viscosi tra l'esoscheletro ed il telaio esistente in c.a., presenti soltanto agli ultimi due livelli in quanto, in seguito alle analisi time history eseguite su un modello numerico, è chiaramente risultata la scarsa dissipazione in corrispondenza del primo livello a seguito dei piccoli spostamenti rilevati;

Legenda Profili tubolari circolari

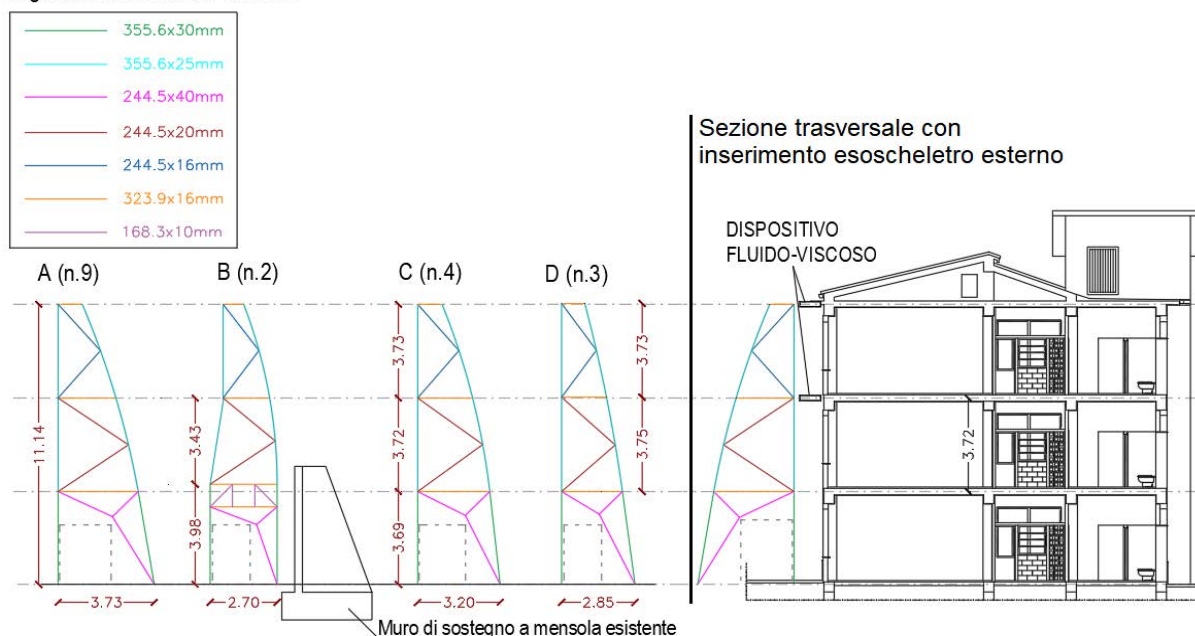


FIGURA 6.3 – TIPOLOGIE DI ESOSCHELETRI RETICOLARI IN ACCIAIO, CON SCHEMI UNIFILARI E QUOTE SIGNIFICATIVE

In FIGURA 6.4 si mostra un dettaglio delle caratteristiche principali dei dispositivi fluido-viscosi adottati, cui corrispondono dimensioni crescenti in ragione del maggiore coefficiente di

smorzamento “c” richiesto e degli spostamenti massimi dedotti a seguito delle analisi strutturali, di cui si discuterà nel seguito;

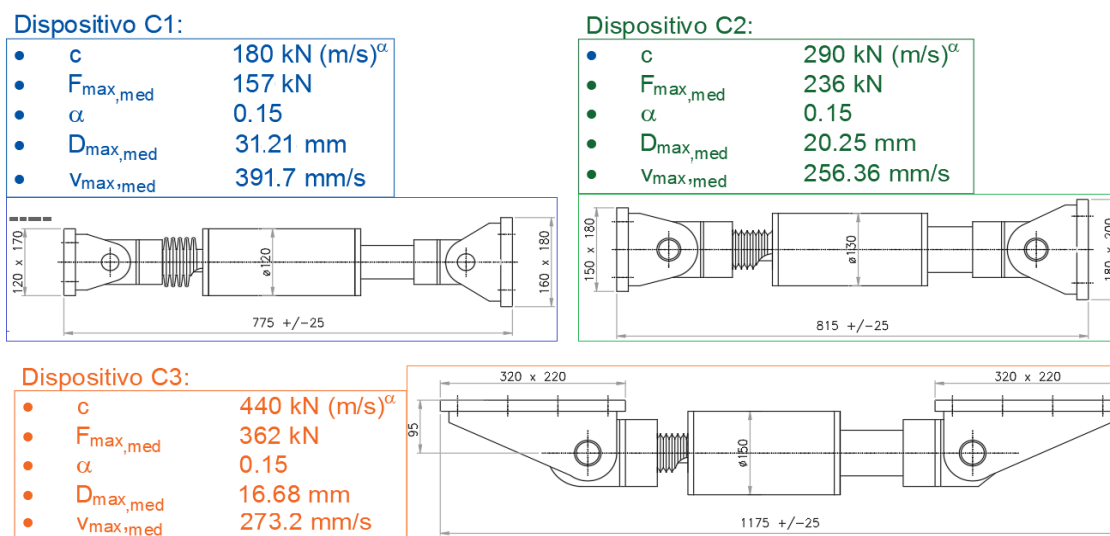


FIGURA 6.4 — INDICAZIONI DELLE CARATTERISTICHE PRINCIPALI RICHIESTE PER CIASCUNA TIPOLOGIA DI DISSIPATORE FLUIDO-VISCOSO

- A causa delle caratteristiche meccaniche scadenti del terreno superficiale e le azioni importanti trasmesse dagli esoscheletri al sottosuolo, si è ritenuto necessario prevedere un sistema di travi rovesce 220x200 cm, con suola alta 80 cm ed anima larga altrettanto, collegate trasversalmente da travi di fondazione a sezione rettangolare 90x80 cm. Tali travi vengono collegate da un lato alla struttura esistente in modo da evitare fenomeni di “sollevamento”, dall’altro proseguono di 1.80 m rispetto all’asse della colonna di appoggio onde ridurre i valori massimi del carico sul suolo. Nei lati Est e Nord, dove è presente la fondazione del muro di sostegno molto più superficiale, non è possibile adottare lo schema appena descritto in quanto la trave deve arrestarsi in corrispondenza dell’asse della colonna sovrastante; necessita quindi realizzare una platea avente la stessa altezza dell’ala della trave rovescia, pari a 80 cm, anch’essa collegata alla platea esistente attraverso barre di armatura inghisate in appositi fori. Quanto appena indicato trova un maggiore chiarimento nella pianta fondazione schematizzata in FIGURA 6.5, dove la platea è visualizzata con un’apposita campitura, ed appare chiara la presenza di un plinto a bicchiere per il collegamento della colonna di base. A tale proposito, la soluzione progettuale scaturisce da esigenze prettamente strutturali, in quanto l’azione massima di trazione trasmessa dalla colonna è così elevata che si sarebbero dovute adottare lunghezze di ancoraggio dei classici tirafondi superiori ai 2 m. Di conseguenza si è adottata la soluzione del plinto a bicchiere con inserimento di boccia di centraggio, in modo che gli sforzi di trazione diventano sforzi di





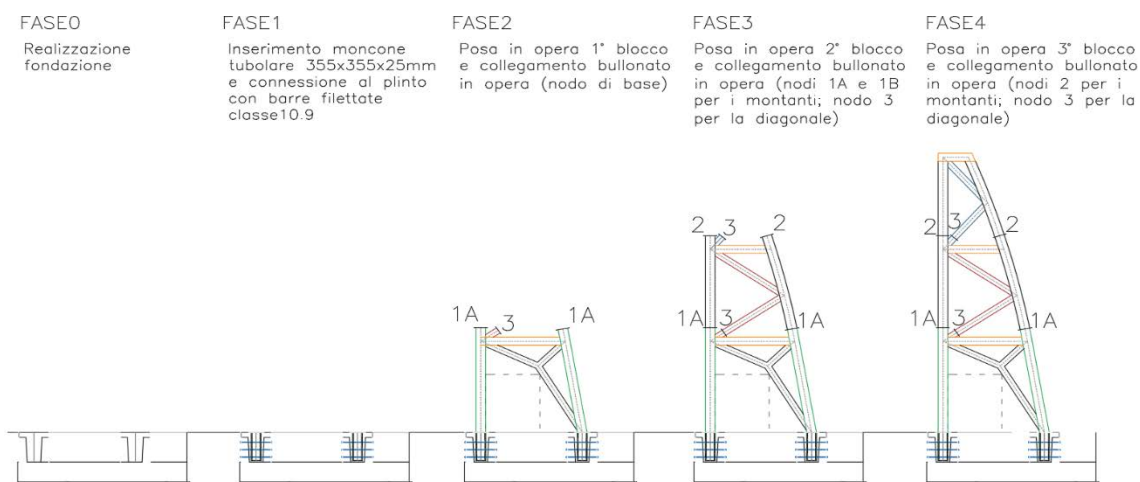


FIGURA 6.7 – INDICAZIONI DELLE MACRO-FASI DI MONTAGGIO IN OPERA DI UN ESOSCHELETRO TIPO

- Ritornando al sistema di fondazione, non necessitano ulteriori interventi su quella esistente in quanto le analisi hanno mostrato la verifica dei requisiti prestazionali allo stato limite SLU, come d'altronde ci si aspettava visto l'intervento significativo di rinforzo eseguito nel '96 dall'ing. Giuseppe Rossi, che ha “trasformato” di fatto un sistema di fondazione superficiale a travi rovesce per i soli telai longitudinali, in un sistema di platea nervata;
- Le analisi strutturali hanno mostrato che, nonostante l'utilizzo del sistema dissipativo, bisogna comunque intervenire sui nodi trave - pilastro non confinati appartenenti sia al corpo A che al corpo B, dove non sono presenti staffe orizzontali fatto salvo per quei nodi appartenenti ai pilastri che nel '96 sono stati rinforzati con la tecnica dei calastrelli ed angolari (vedi §5 della presente relazione). A tale riguardo, per ridurre al massimo l'invasività dell'intervento e non interrompere le attività scolastiche, si propone l'utilizzo di un sistema brevettato e quindi sperimentalmente validato, il quale permette di modificare il meccanismo di collasso del nodo esistente trave - pilastro (privo di staffe) comparandolo alla stregua di un nodo analogo provvisto di armatura di confinamento. Vista l'impossibilità di inserire a posteriori nel nodo le staffe necessarie, con tale sistema si punta a realizzare una sorta di staffatura esterna (fissata al nodo tramite opportune barre di ancoraggio), confidando nel confinamento passivo fornito dalla presenza delle travi innestate sulle altre facce del nodo. L'inserto è composto da “semistaffe” realizzate da traversi in acciaio fissate alle estremità a tre montanti, due agli estremi e uno centrale; si tratta di un pezzo unico ricavato tramite piegatura, eliminando così le problematiche legate alla saldatura (predisposizione a rottura fragile), che risultano spesso essere il punto debole degli inserti meccanici durante le sollecitazioni sismiche.



FIGURA 6.8 – ESEMPIO DI INSERTO METALLICO (FOTO SX) E POSA IN OPERA CON BARRE DI ANCORAGGIO CON TAPPO SALDATO (FOTO DX)

Nel caso in esame si utilizza la piastra in acciaio ad elevata resistenza S700 MC avente lati di  $400\text{ mm}$  e spessore  $6\text{ mm}$ ; ciascuna facciata è costituita da traversi di altezza  $26\text{ mm}$  posti ad un interasse di  $95\text{ mm}$ ; l'ancoraggio al nodo è garantito da n.4 barre di armatura con tappo saldato (vedi dettaglio mostrato in FIGURA 6.9) di diametro  $\phi 16\text{ mm}$  e lunghezza  $20\text{ cm}$ , inserite nei quattro fori asolati, in cui si inietta un apposito adesivo chimico per lo sviluppo dell'aderenza.

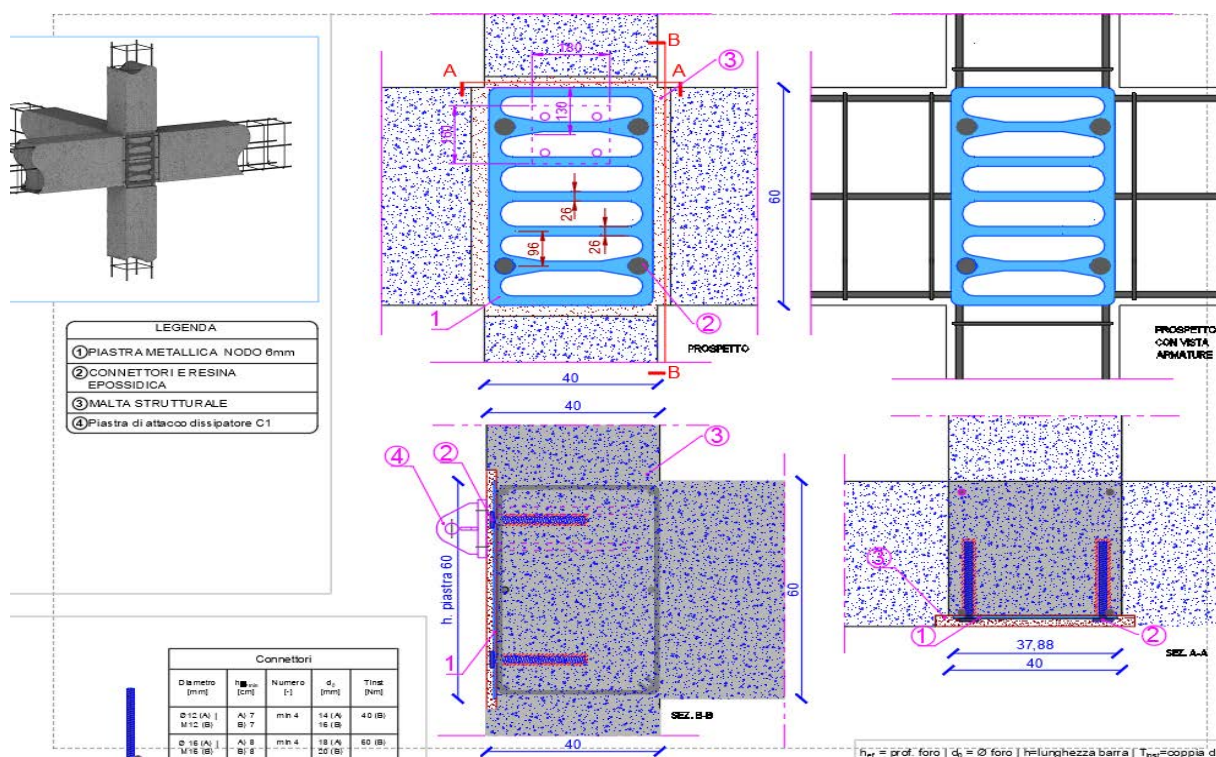


FIGURA 6.9 – STRALCIO DETTAGLIO RINFORZO NODO IN C.A. DI FACCIATA CON INDICAZIONE DIMENSIONI SIGNIFICATIVE

È importante sottolineare che l'immagine di FIGURA 6.9 si riferisce ad un nodo dove andrà montato anche il dissipatore fluido viscoso. In questo caso è necessario, dopo aver rimosso il copriferro ed aver messo a nudo le barre esistenti, predisporre sia i fori per l'ancoraggio delle barre di armatura appena descritte, sia i n.4 fori di lunghezza minima 35 cm per il successivo inghisaggio delle barre filettate  $\phi 24$  mm. Tali barre verranno inserite ed inghisate appena dopo l'inserimento delle piastre metalliche e permetteranno il facile alloggiamento del dissipatore in fase successiva. In FIGURA 6.10 è mostrato uno stralcio della carpenteria del primo livello, con indicazione dei nodi sui quali si interviene, suddivisi in nodo d'angolo e nodi di facciata; come è possibile notare ci sono alcune zone non interessate dagli interventi, si tratta cioè o di nodi rinforzati con calastrelli ed angolari nell'intervento del '96, oppure zone dove non è possibile intervenire fisicamente come quelli ricoperti dal fabbricato aderente giuntato.

LEGENDA INTERVENTI NODI

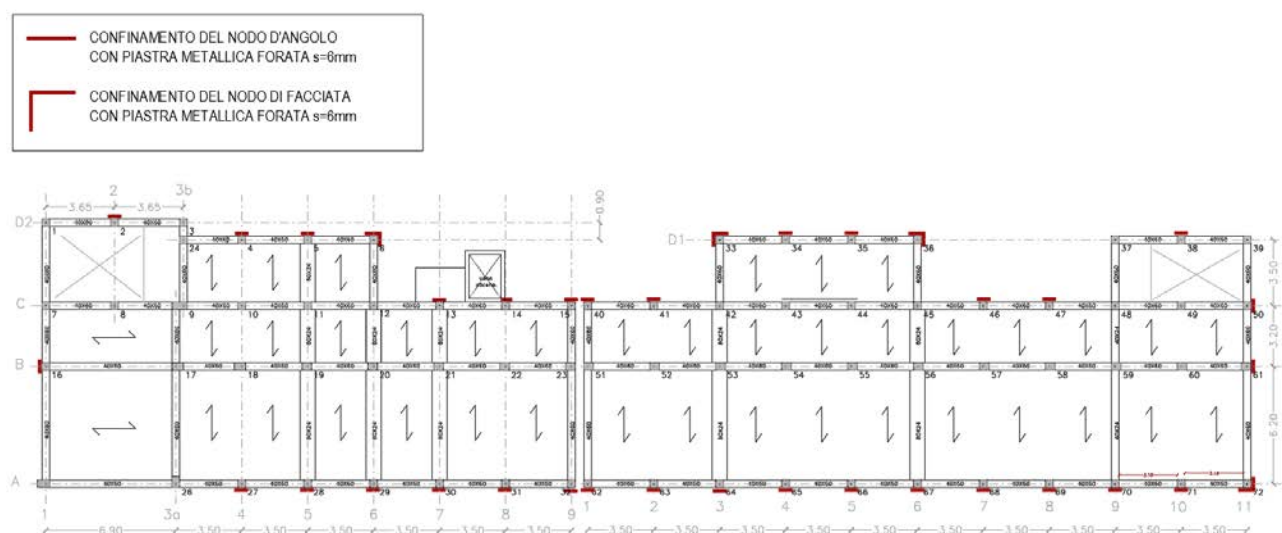


FIGURA 6.10 – STRALCIO CARPENTERIA DI PRIMO PIANO, CON INDICAZIONE INTERVENTI SUI NODI IN C.A. NON CONFINATI

Ai piani superiori i nodi in prossimità del giunto tecnico lato Nord non hanno bisogno del rinforzo con piastra per la realizzazione di una mensola tozza in c.a. dove avviene l'innesto del dissipatore C3; l'altezza della mensola è uguale a quella della trave emergente e pertanto funge da confinamento del nodo. Diversa è la situazione nel giunto lato Sud, dove è necessaria la definizione di un dettaglio ad hoc per l'inserimento di tutte e tre le tipologie di dissipatori: a tale riguardo in

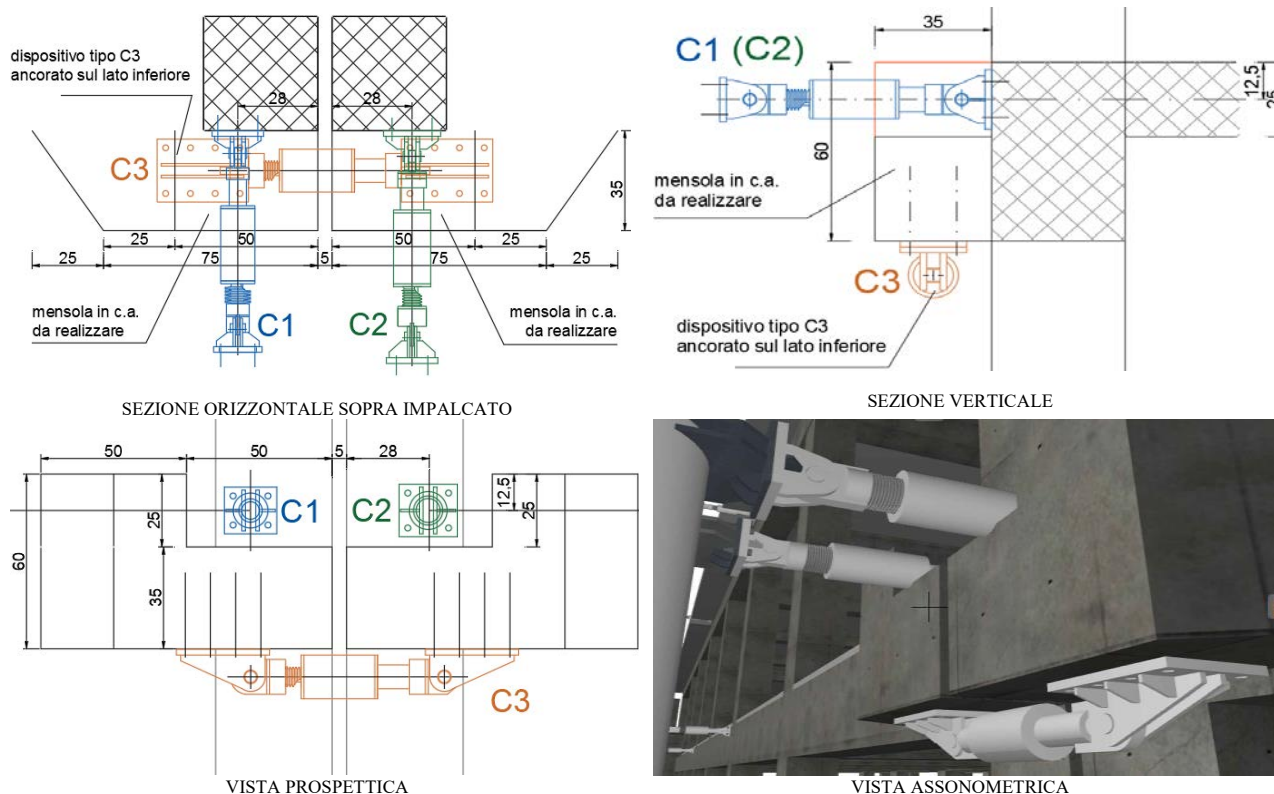
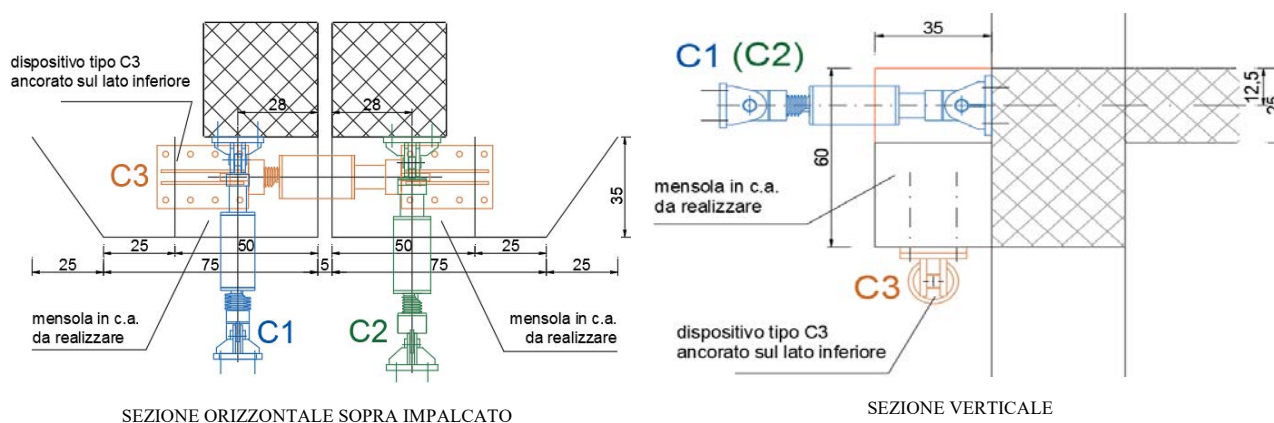


FIGURA 6.11 si mostra uno stralcio del dettaglio costruttivo sviluppato, che vede la realizzazione di n.2 mensole tozze in c.a. (una per ciascun blocco) di luce 35 cm e larghezza complessiva 100 cm. Anche in questo caso ciascuna mensola è alta quanto la trave emergente esistente (60 cm), ma presenta una riduzione di altezza di 25 cm necessaria per l'attacco dei dispositivi C1 e C2 al pilastro esistente, non permettendo il confinamento del nodo e richiedendo pertanto le piastre metalliche di rinforzo. Il dispositivo C3 è invece disposto nel senso ortogonale al di sotto della mensola stessa, ancorato con barre filettate  $\phi 20$  mm in foro  $\phi 26$  mm, di lunghezza minima 25 cm; in questo modo non si creano interferenze con gli altri dispositivi ed il dispositivo C3 è ben protetto dalle intemperie.





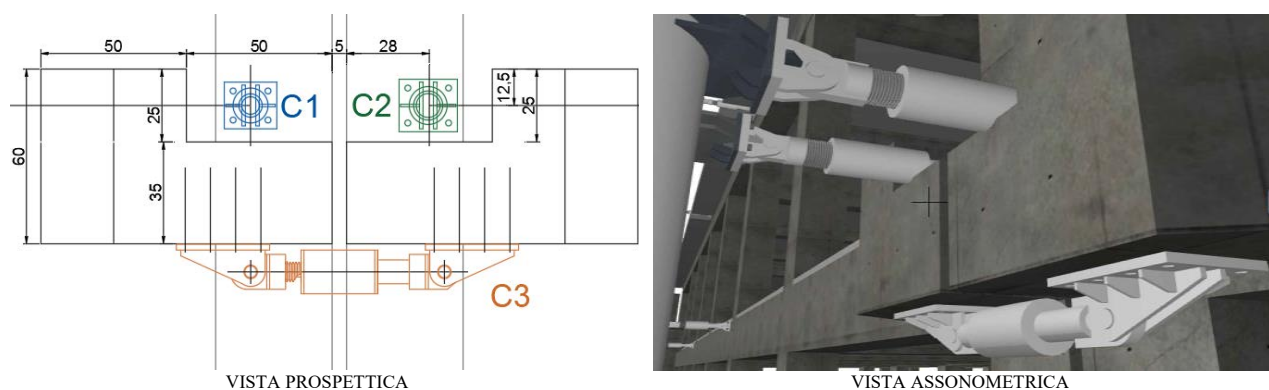


FIGURA 6.11 – STRALCIO DETAGLI DISPOSIZIONE DISPOSITIVI IN CORRISPONDENZA DEL GIUNTO TECNICO LATO SUD TRA BLOCCO A E BLOCCO B

Per maggiori dettagli si rimanda comunque agli elaborati grafici di progetto, dove in particolare sono riportate le fasi costruttive fondamentali per la corretta riuscita dell'intero intervento proposto; si riporta di seguito comunque una sintesi:

1. Realizzazione degli scavi propedeutici, quindi predisposizione dei casseri e delle barre di armatura del sistema di fondazione, da ancorare a quello esistente mediante appositi inghisaggi in fori preliminarmente eseguiti; in tale fase diventa importante, nei plinti a bicchiere, l'inserimento delle boccole di centraggio per il corretto posizionamento degli esoscheletri, nonché l'inserimento di tubicini di plastica per creare i fori nel plinto dove alloggeranno le barre filettate di connessione;
2. centraggio, all'interno del bicchiere, dei monconi di profilo tubolare 355x355x25 mm con piastra sommitale, quindi collegamento con barre filettate M24 e ricoprimento con iniezioni di malta, avendo cura di lasciare liberi gli ultimi 20-30 cm per la successiva bullonatura del profilo dell'esoscheletro;
3. Montaggio del primo blocco degli esoscheletri in acciaio, secondo quanto già descritto in precedenza, quindi esecuzione finale delle iniezioni di malta in fondazione. Dopodiché è possibile passare al montaggio del 2° e 3° blocco della carpenteria metallica assemblata in officina;
4. Intervento sui nodi non confinati secondo il sistema descritto nel presente paragrafo, avendo cura di inghisare in questa fase le barre filettate per la predisposizione dei dispositivi fluido-viscosi;
5. Montaggio in opera dei dissipatori fluido-viscosi, lato esoscheletro attraverso il fissaggio della piastra alla contropiastra del profilo tubolare con bulloni ad alta resistenza, lato struttura esistente attraverso l'inserimento della piastra nelle barre filettate ad alta resistenza di cui al punto 4.

Un ultimo aspetto importante riguarda il non soddisfacimento della verifica del martellamento della struttura esistente in corrispondenza del vano ascensore esterno, poiché è stato realizzato praticamente in aderenza. In questo caso si prevede la demolizione del copriferro del vano ascensore nelle zone indicate in FIGURA 6.12 per tutto lo sviluppo in altezza e per una larghezza pari allo spessore del setto trasversale (20 cm), quindi l'inserimento di uno strato di neoprene in modo da creare il giunto necessario.

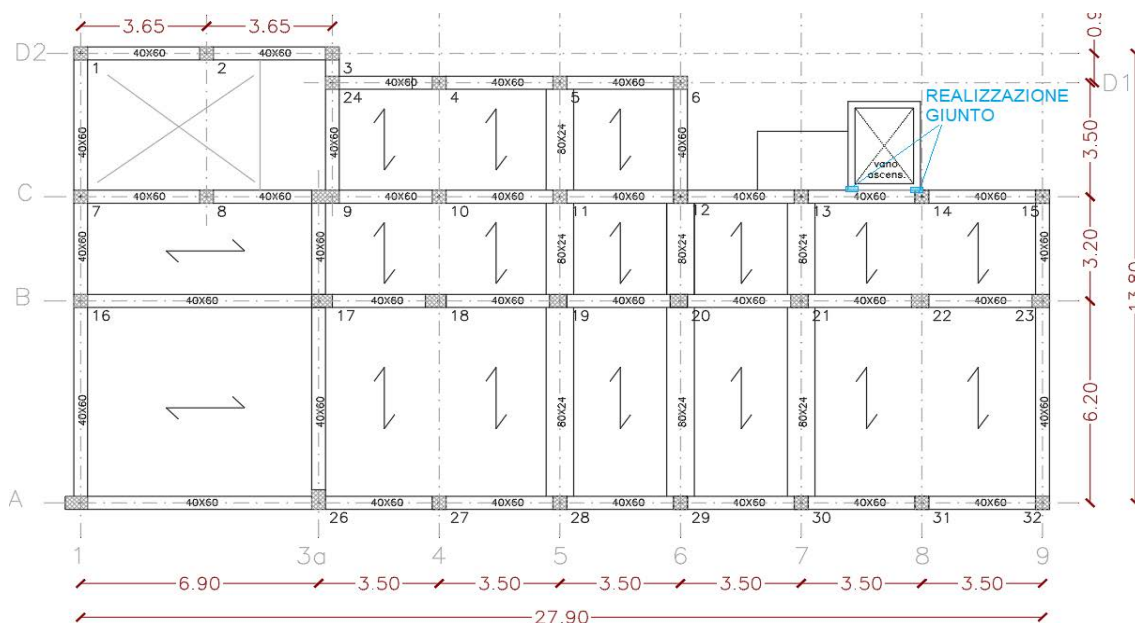


FIGURA 6.12 – CARPENTERIA PIANO PRIMO CON INDICAZIONE INTERVENTO SETTI VANO ASCENSORE PER LA REALIZZAZIONE DEL GIUNTO

## 7. Materiali delle strutture impiegati

Nel presente paragrafo sono riportate le caratteristiche dei materiali adottati per la progettazione strutturale in essere, accennando alle proprietà meccaniche attribuite ai materiali esistenti, tutte visionabili dalla documentazione relativa alla vulnerabilità sismica eseguita nel 2019, quindi indicando i materiali di nuova realizzazione.

### 7.1. Struttura esistente

Le indagini conoscitive eseguite sul blocco B della struttura esistente finalizzate alla valutazione di vulnerabilità sismica del blocco stesso conseguita nel 2019 da altro tecnico incaricato, unite agli ulteriori approfondimenti fatti da codesta R.T.P. durante la fase di progettazione esecutiva, soprattutto in termini di ricerca documentale, controllo del rilievo strutturale ed approfondimento dei dettagli costruttivi (vedi anche §5 della presente relazione), hanno condotto ad un livello di conoscenza LC2, quindi all'applicazione di un fattore di confidenza  $FC = 1.20$ .

#### 7.1.1. Proprietà meccaniche cls

Si sintetizza di seguito una tabella riassuntiva delle prove di laboratorio eseguite su provini cilindrici di cls estratti da elementi strutturali del blocco B, quindi si riporta il valore medio della resistenza cilindrica a compressione e gli altri valori determinati indirettamente attraverso le formulazioni indicate al §11.2.10 delle NTC2018, al quale si rimanda per maggiori dettagli. Poiché tali prove sono state eseguite su provini con rapporto tra diametro ed altezza unitario, il valore ottenuto rappresenta la resistenza cubica a compressione  $R_c$ , pertanto quella cilindrica  $f_c$  di interesse si ottiene moltiplicando tale valore per il fattore 0.83.

| SIGLA                              | Livello | $R_c$            | $f_c$                              |
|------------------------------------|---------|------------------|------------------------------------|
| -                                  | -       | [Mpa]            | [Mpa]                              |
| C1                                 | PS      | <del>19.80</del> | <del>16.83</del>                   |
| C2                                 | PS      | <del>21.40</del> | <del>18.19</del>                   |
| C3                                 | PP      | 27.80            | 23.63                              |
| C4                                 | PP      | 26.20            | 22.27                              |
| C5                                 | PP      | 19.50            | 16.58                              |
| C6                                 | PT      | 22.50            | 19.13                              |
| C7                                 | PT      | 24.80            | 21.08                              |
| C8                                 | PT      | 28.30            | 24.06                              |
| Valore medio resistenza cilindrica |         |                  | <b><math>f_{cm} = 21.12</math></b> |

Di conseguenza, come indicato dalle NTC2018 nell'ambito delle analisi non lineari di interesse, le resistenze di progetto sono ottenute dividendo i valori medi per il fattore di confidenza ai fini delle verifiche dei meccanismi duttili, riducendo ulteriormente per il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_c$  nel caso di verifica dei meccanismi fragili. La tabella successiva mostra proprio i valori ottenuti secondo quanto appena indicato (i primi due valori, che riguardano il sottotetto, non sono stati presi in considerazione per il caso in esame).

|   |            |       |       |
|---|------------|-------|-------|
| Resistenza media a compressione               | $f_{cm}$   | [Mpa] | 21.12 |
| Resistenza di progetto per meccanismi duttili | $f_{cd}$   | [Mpa] | 17.60 |
| Resistenza di progetto per meccanismi fragili | $f_{cd,r}$ | [Mpa] | 11.73 |
| Modulo elastico sezione non fessurata         | $E_{cm}$   | [Mpa] | 27533 |
| Resistenza media a trazione                   | $f_{ctm}$  | [Mpa] | 1.75  |
| Resistenza di progetto a trazione             | $f_{ctd}$  | [Mpa] | 1.46  |

### 7.1.2. Proprietà meccaniche barre di armatura

Dai risultati ottenuti su prove eseguite su barre di armatura prelevate in situ, è emerso un valore medio della tensione di snervamento pari a 380.7 Mpa ed una tensione di rottura di 560 Mpa, con un allungamento superiore al 15%; si desume quindi un buon comportamento delle barre analizzate. Ai fini delle analisi strutturali, si fa comunque riferimento ad un legame elasto-plastico, attribuendo un valore di progetto della tensione di snervamento pari a:

$$f_{yd} = 380.7/1.2 = 317.25 \text{ Mpa.}$$

Vista l'epoca di realizzazione (1965) e la tipologia liscia di barra, il valore ottenuto è rispondente all'acciaio AQ60 indicato dalla normativa dell'epoca con l'introduzione del LL.PP. n°1472/1957 ( $f_y \geq 310\text{Mpa}$ ).

## 7.2. Strutture di nuova realizzazione

Di seguito si indicano le proprietà meccaniche dei materiali da adottare ai fini del progetto esecutivo in essere, rimandando per maggiori dettagli alla relazione sui materiali allegata alla presente.



### 7.2.1. Cls per le strutture di fondazione

#### CALCESTRUZZO STRUTTURE DI FONDAZIONE C25/30

|   |        |     |  |
|---|--------|-----|--|
| $R_{ck} =$  | 30     | MPa | Resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 gg            |
| $\gamma_c =$                                      | 1.5    | -   | Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo                |
| $\alpha_{cc} =$                                   | 0.85   | -   | Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata                   |
| $E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$         | 31476  | MPa | Modulo di elasticità longitudinale di calcolo                              |
| $f_{ck} =$  | 25     | MPa | Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del cls a 28 gg        |
| $f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_c =$ | 14.167 | MPa | Resistenza di progetto cilindrica a compressione del cls                   |
| $f_{cm} = f_{ck} + 8 =$                           | 33     | MPa | Resistenza media cilindrica a compressione del cls                         |
| $f_{ctm} = 0.30 \times (f_{ck})^{2/3} =$          | 2.56   | MPa | Resistenza media a trazione del cls  |
| $f_{ctk} = 0.70 \times f_{ctm} =$                 | 1.80   | MPa | Resistenza caratteristica a trazione del cls                               |
| $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c =$                  | 1.20   | MPa | Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo                         |
| $f_{ctm} = 1.20 \times f_{ctm} =$                 | 3.08   | MPa | Resistenza media a trazione per flessione del cls                          |
| $f_{ctdm} = f_{ctm} / \gamma_c =$                 | 2.05   | MPa | Resistenza di progetto a trazione per flessione del cls                    |
| $f_{bk} = 2.25 \times \eta \times f_{ctk} =$      | 2.693  | MPa | Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-cls in zona tesa |
| $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c =$                    | 1.80   | MPa | Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-cls                 |
| $0.6 \times f_{ck} =$                             | 15     | MPa | Tensione massima di compressione per combinazione rara                     |
| $0.45 \times f_{ck} =$                            | 11.25  | MPa | Tensione massima di compressione per combinazione q. perm.                 |

#### PRESCRIZIONI ESECUTIVE

|                               |         |      |
|-------------------------------|---------|------|
| Classe di esposizione         | XC2/XC3 | [-]  |
| Classe minima di consistenza  | S4      | [-]  |
| Diametro massimo degli inerti | 25      | [mm] |
| Rapporto massimo a/c          | 50      | [-]  |
| Tipo di Cemento               | I-V     | [-]  |
| Copriferro minimo             | 40      | [mm] |

### 7.2.2. Cls e malta strutturale per le strutture di elevazione

Sia per il cls (mensole tozze per il confinamento del nodo in corrispondenza del giunto tecnico) che per la malta strutturale da utilizzare per gli inghisaggi, necessita adottare materiali ad alte prestazioni, rispondenti alle caratteristiche meccaniche di seguito elencate.

## CALCESTRUZZO STRUTTURE IN ELEVAZIONE C40/50

|   |        |     |  |
|---|--------|-----|--|
| $R_{ck} =$  | 50     | MPa | Resistenza caratteristica cubica a compressione del cls a 28 gg            |
| $\gamma_e =$                                      | 1.5    | -   | Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo                |
| $\alpha_{cc} =$                                   | 0.85   | -   | Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata                   |
| $E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$         | 33346  | MPa | Modulo di elasticità longitudinale di calcolo                              |
| $f_{ck} =$  | 40     | MPa | Resistenza caratteristica cilindrica a compressione del cls a 28 gg        |
| $f_{cd} = \alpha_{cc} \times f_{ck} / \gamma_e =$ | 22.667 | MPa | Resistenza di progetto cilindrica a compressione del cls                   |
| $f_{cm} = f_{ck} + 8 =$                           | 48     | MPa | Resistenza media cilindrica a compressione del cls                         |
| $f_{ctm} = 0.30 \times (f_{ck})^{2/3} =$          | 3.51   | MPa | Resistenza media a trazione del cls  |
| $f_{ctk} = 0.70 \times f_{ctm} =$                 | 2.46   | MPa | Resistenza caratteristica a trazione del cls                               |
| $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_e =$                  | 1.64   | MPa | Resistenza di progetto a trazione del calcestruzzo                         |
| $f_{ctm} = 1.20 \times f_{ctm} =$                 | 4.21   | MPa | Resistenza media a trazione per flessione del cls                          |
| $f_{ctdm} = f_{ctm} / \gamma_e =$                 | 2.81   | MPa | Resistenza di progetto a trazione per flessione del cls                    |
| $f_{bk} = 2.25 \times \eta \times f_{ctk} =$      | 3.684  | MPa | Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza acciaio-cls in zona tesa |
| $f_{bd} = f_{bk} / \gamma_e =$                    | 2.46   | MPa | Resistenza tangenziale di progetto di aderenza acciaio-cls                 |
| $0.6 \times f_{ck} =$                             | 24     | MPa | Tensione massima di compressione per combinazione rara                     |
| $0.45 \times f_{ck} =$                            | 18     | MPa | Tensione massima di compressione per combinazione q. perm.                 |

## PRESCRIZIONI ESECUTIVE

|                               |     |      |
|-------------------------------|-----|------|
| Classe di esposizione         | XS1 | [-]  |
| Classe minima di consistenza  | S4  | [-]  |
| Diametro massimo degli inerti | 25  | [mm] |
| Rapporto massimo a/c          | 50  | [-]  |
| Tipo di Cemento               | I-V | [-]  |
| Copriferro minimo             | 35  | [mm] |

## 7.3. Acciaio per le barre di armatura

## ACCIAIO B450 C - BARRE C.A. E BARRE INGHISATE

|              |        |     |   |
|--------------|--------|-----|---|
| $f_{tk} =$   | 540    | MPa | Tensione caratteristica di rottura                      |
| $f_{yk} =$   | 450    | MPa | Tensione caratteristica di snervamento                  |
| $\gamma_m =$ | 1.15   | -   | Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio |
| $f_{yd} =$   | 391.3  | MPa | Resistenza di calcolo dell'acciaio                      |
| E            | 210000 | MPa | Modulo di elasticità longitudinale di calcolo           |

## 7.4. Acciaio da carpenteria metallica

Per la carpenteria metallica, necessita distinguere tra i profili tubolari utilizzati per la realizzazione degli esoscheletri, cui si richiede un acciaio meno resistente in quanto il requisito critico ai fini del dimensionamento è la rigidezza e quindi si risparmia sul costo del materiale. Differentemente per le

piastre metalliche utilizzate ai fini dei collegamenti bullonati, per le quali si richiedono alte resistenze. Le tabelle mostrate di seguito rispecchiano quanto appena indicato.

**ACCIAIO S235 H -  $s \leq 40$  mm LAMINATI SEZ. CAVA (UNI-EN-10210-1)**

|                  |        |     |   |
|------------------|--------|-----|---|
| $f_{tk} =$       | 360    | MPa | Tensione caratteristica di rottura                      |
| $f_{yk} =$       | 235    | MPa | Tensione caratteristica di snervamento                  |
| $\gamma_{m,0} =$ | 1.05   | -   | Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio |
| $f_{yd} =$       | 223.8  | MPa | Resistenza di calcolo dell'acciaio                      |
| E                | 210000 | MPa | Modulo di elasticità longitudinale di calcolo           |

**ACCIAIO S355 J2 - SPESSORI  $< 40$  mm - PIASTRE DI COLLEG. (UNI-EN-10025-2)**

|                  |        |     |   |
|------------------|--------|-----|---|
| $f_{tk} =$       | 510    | MPa | Tensione caratteristica di rottura                      |
| $f_{yk} =$       | 355    | MPa | Tensione caratteristica di snervamento                  |
| $\gamma_{m,0} =$ | 1.05   | -   | Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio |
| $f_{yd} =$       | 338.1  | MPa | Resistenza di calcolo dell'acciaio                      |
| E                | 210000 | MPa | Modulo di elasticità longitudinale di calcolo           |

### 7.5. Bulloni per giunzioni ad attrito

Anche in questo caso si utilizzano bulloni ad alta resistenza ad attrito, secondo quanto riportato nelle tabelle sottostanti.

| Elemento  | Materiale  | Riferimento                    |
|-----------|--|--------------------------------|
| Viti      | 8.8 – 10.9 secondo UNI EN ISO 898-1 : 2001                         | UNI EN 14399 :2005 parti 3 e 4 |
| Dadi      | 8 - 10 secondo UNI EN 20898-2 :1994                                |                                |
| Rosette   | Acciaio C 50 UNI EN 10083-2: 2006 temperato e rinvenuto HRC 32÷ 40 | UNI EN 14399 :2005 parti 5 e 6 |
| Piastrine | Acciaio C 50 UNI EN 10083-2: 2006 temperato e rinvenuto HRC 32÷ 40 |                                |

**BULLONI AD ALTA RESISTENZA CLASSE 10.9 (UNI EN ISO 4016:2002)**

|            |        |     |   |
|------------|--------|-----|---|
| $f_{yk} =$ | 900    | MPa | Tensione caratteristica di rottura            |
| $f_{tb} =$ | 1000   | MPa | Tensione caratteristica di snervamento        |
| E          | 210000 | MPa | Modulo di elasticità longitudinale di calcolo |

## 8. Azioni sulla costruzione e definizione delle combinazioni

### 8.1. Pesì propri dei materiali strutturali

Per la determinazione dei pesi propri strutturali dei più comuni materiali possono essere assunti i valori dei pesi dell'unità di volume riportati nella Tab. 3.1.I. del D.M.17/01/18. Nel caso in esame, il software di calcolo valuta in modo automatico i pesi di ciascuno degli elementi resistenti, avendo cura di fornire il peso dell'unità di volume del materiale costituente, che nel caso in esame risulta essere sintetizzato nella seguente tabella:

| <i>Materiale</i> | <i>Peso dell'unità di volume</i> |
|------------------|----------------------------------|
| -                | $[kN/m^3]$                       |
| Acciaio          | 78.50                            |
| Cemento armato   | 25.00                            |

### 8.2. Sovraccarichi permanenti

Sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro, ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti. Essi devono essere valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti. In linea di massima, in presenza di orizzontamenti anche con orditura unidirezionale ma con capacità di ripartizione trasversale, i carichi permanenti portati ed i carichi variabili potranno assumersi, per la verifica d'insieme, come uniformemente ripartiti. In caso contrario, occorre valutarne le effettive distribuzioni. I tramezzi e gli impianti leggeri di edifici per abitazioni e uffici possono assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, purché i solai abbiano adeguata capacità di ripartizione trasversale.

In particolare, il peso proprio di elementi divisori interni può essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito  $g_{2k}$ , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito  $g_{2k}$  ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza  $G_{2k}$  delle partizioni nel modo seguente:

- |  |   |                               |
|--|---|-------------------------------|
| per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$ :           | ➔ | $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$ ; |
| per elementi divisori con $1,00 \leq G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$ : | ➔ | $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$ ; |

|  |   |                               |
|--|---|-------------------------------|
| per elementi divisori con $2,00 \leq G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$ : | → | $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$ ; |
| per elementi divisori con $3,00 \leq G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$ : | → | $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$ ; |
| per elementi divisori con $4,00 \leq G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$ : | → | $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$ . |

Elementi divisori interni con peso proprio maggiore devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.

#### Analisi dei carichi relativa ai tramezzi

Di seguito si mostrano i risultati ottenuti per il caso in esame; la tabella successiva esplicita l'analisi dei carichi relativa alla tramezzatura tipo ipotizzata per i corpi in esame, non essendo state eseguite indagini specifiche relative alla stratigrafia. In particolare, la penultima colonna indica il peso a metro lineare  $G$  definito in alto e relativo alla generica tramezzatura, mentre nell'ultima colonna si indica con  $g$  il peso per unità di superficie equivalente da inserire come sovraccarico permanente nell'analisi dei carichi relativa al solaio di interesse.

| ANALISI DEI CARICHI |                                  |            |            |               |                             |
|---------------------|----------------------------------|------------|------------|---------------|-----------------------------|
| Tramezzo tipo       |                                  |            |            |               |                             |
| Descrizione<br>-    | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $L$<br>[m] | $H$<br>[m] | $G$<br>[kN/m] | $g$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Mattoni forati      | 8                                | 0.08       | 3.00       | 1.91          | -                           |
| Intonaco            | 18                               | 0.02       | 3.00       | 1.08          | -                           |
|                     |                                  |            |            | <b>2.99</b>   | <b>1.20</b>                 |

Da sottolineare che nell'area bagni il peso dei tramezzi è stato ipotizzato alla stregua di un carico di superficie avente valore pari a  $g$ , mentre i tramezzi longitudinali interni, che gravano direttamente sulla trave emergente del telaio, sono stati considerati direttamente come carico per unità di lunghezza avente valore pari a  $G$ . Si trascurano invece i tramezzi che, in seguito all'intervento di rinforzo del '96, sono stati demoliti e realizzati in cartongesso.

#### Analisi dei carichi relativa alle tamponature

Le tamponature si applicano direttamente come carichi uniformemente distribuiti  $G$  sugli elementi trave; di seguito si esplicita l'analisi dei carichi in relazione alla stratigrafia verticale ipotizzata per la tamponatura tipo; anche in questo caso si suppone una tipologia ricorrente non essendo state eseguite in fase di indagine conoscitiva prove specifiche. Nella tabella sono riportati due valori, considerando forfettariamente una riduzione del 40% e del 60% del peso proprio in presenza di aperture piccole (finestra) e grandi (più finestre o porta).

| ANALISI DEI CARICHI                   |                                  |          |          |             |                           |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------|----------|-------------|---------------------------|
| Tamponatura tipo                      |                                  |          |          |             |                           |
| Descrizione                           | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | G<br>[kN/m] | g<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Fodera esterna in laterizio semipieno | 12                               | 0.12     | 3.05     | 4.39        | -                         |
| Fodera interna in Laterizio forato    | 8                                | 0.08     | 3.05     | 1.95        | -                         |
| Intonaco esterno                      | 18                               | 0.02     | 3.05     | 1.10        | -                         |
| Assenza di aperture (100%)            |                                  |          |          | <b>7.44</b> | -                         |
| Presenza di aperture piccole (65%)    |                                  |          |          | <b>5.56</b> | -                         |
| Presenza di aperture grandi (40%)     |                                  |          |          | <b>3.00</b> |                           |

#### Analisi dei carichi relativa agli orizzontamenti

Si riporta di seguito l'analisi dei carichi relativa ai pesi propri dei materiali strutturali e carichi permanenti non strutturali delle differenti tipologie di impalcato presenti nei corpi di fabbrica esaminati; per quanto riguarda i pesi propri dei solai prefabbricati in c.a.p., sono stimati facendo riferimento al valore considerato all'interno della relazione di vulnerabilità sismica. Le analisi dei carichi di seguito sviluppate non tengono in conto dell'incidenza tramezzi valutata in precedenza; tale valore andrà sommato agli altri sovraccarichi permanenti qualora al di sopra del solaio di competenza ci dovessero essere poggiati uno o più tramezzi.

| ANALISI DEI CARICHI: impalcato piano tipo |                                  |          |          |                                  |
|---|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| <b>Peso proprio</b>                       |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione                               | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{1k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Caldana                                   | 25                               | 1.00     | 0.05     | 1.25                             |
| Travetti                                  | 25                               | 0.18     | 0.20     | 1.10                             |
| Pignatte                                  | 8                                | 0.72     | 0.20     | 1.15                             |
| <b><math>g_{1k}</math></b>                |                                  |          |          | <b>3.50</b>                      |
| <b>Sovraccarico Permanente</b>            |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione                               | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{2k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Massetto sotto pavimentazione             | 18                               | 1        | 0.039    | 0.70                             |
| Pavimento                                 | 20                               | 1        | 0.025    | 0.50                             |
| Intonaco                                  | 20                               | 1        | 0.015    | 0.30                             |
|   |                                  |          |          | <b>1.50</b>                      |



## ANALISI DEI CARICHI: - Impalcato di sottotetto

**Peso proprio**

| Descrizione<br>-           | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{1k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| Caldana                    | 25                               | 1.00     | 0.05     | 1.25                             |
| Travetti                   | 25                               | 0.18     | 0.20     | 1.10                             |
| Pignatte                   | 8                                | 0.72     | 0.20     | 1.15                             |
| <b><math>g_{1k}</math></b> |                                  |          |          | <b>3.50</b>                      |

**Sovraccarico Permanente**

| Descrizione<br>-              | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{2k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| Massetto sotto pavimentazione | 18                               | 1        | 0.039    | 0.70                             |
| Pavimento                     | 20                               | 1        | 0.025    | 0.50                             |
| Intonaco                      | 20                               | 1        | 0.010    | 0.20                             |
|                               |                                  |          |          | <b>1.40</b>                      |

## ANALISI DEI CARICHI: - Falde di copertura

**Peso proprio**

| Descrizione<br>-           | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{1k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|----------------------------|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| Caldana                    | 25                               | 1.00     | 0.05     | 1.25                             |
| Travetti                   | 25                               | 0.18     | 0.20     | 1.10                             |
| Pignatte                   | 8                                | 0.72     | 0.20     | 1.15                             |
| <b><math>g_{1k}</math></b> |                                  |          |          | <b>3.50</b>                      |

**Sovraccarico Permanente**

| Descrizione<br>-      | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{2k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|-----------------------|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| Massetto sotto-tegole | 18                               | 1        | 0.04     | 0.72                             |
| Tegole                | 22                               | 1        | 0.022    | 0.48                             |
| Intonaco              | 20                               | 1        | 0.01     | 0.20                             |
|                       |                                  |          |          | <b>1.40</b>                      |

| ANALISI DEI CARICHI: - Soletta piena a sbalzo cornicione copertura |                                  |          |          |                                  |
|--|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| <b>Peso proprio</b>  |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione<br>-   | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{1k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Soletta piena  | 25                               | 1        | 0.12     | 3.00                             |
| <b><math>g_{1k}</math></b>   |                                  |          |          | <b>3.00</b>                      |
| <b>Sovraccarico Permanente</b>                                     |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione<br>-   | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{2k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Massetto sotto-tegole  | 18                               | 1        | 0.04     | 0.72                             |
| Tegole   | 22                               | 1        | 0.022    | 0.48                             |
| Intonaco   | 20                               | 1        | 0.01     | 0.20                             |
|  |                                  |          |          | <b>1.40</b>                      |

| ANALISI DEI CARICHI: - Impalcato di copertura a terrazzo blocco A |                                  |          |          |                                  |
|---|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| <b>Peso proprio</b>   |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione<br>-  | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{1k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Caldana   | 25                               | 1.00     | 0.05     | 1.25                             |
| Travetti  | 25                               | 0.18     | 0.20     | 1.10                             |
| Pignatte  | 8                                | 0.72     | 0.20     | 1.15                             |
| <b><math>g_{1k}</math></b>  |                                  |          |          | <b>3.50</b>                      |
| <b>Sovraccarico Permanente</b>                                    |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione<br>-  | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{2k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Massetto delle pendenze   | 18                               | 1        | 0.039    | 0.70                             |
| Asfalto   | 27                               | 1        | 0.015    | 0.40                             |
| Intonaco  | 20                               | 1        | 0.015    | 0.30                             |
|   |                                  |          |          | <b>1.40</b>                      |

Il peso delle rampe delle scale, trattandosi di tipologia con gradino a sbalzo su trave a ginocchio, viene valutato come carico per unità di superficie e trasformato successivamente in carico per unità di lunghezza applicato direttamente sulle travi a ginocchio. Tale carico è quindi ottenuto moltiplicando i valori  $g$  desunti di seguito per la luce della mensola, pari a 1.75 m.

| ANALISI DEI CARICHI: - Rampe corpo scala |                                  |          |          |                                  |
|--|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| <b>Peso proprio</b>                      |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione<br>-                         | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{1k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Soletta a sbalzo                         | 25                               | 1        | 0.06     | 1.50                             |
| Gradini a sbalzo a=15 cm ; p=30 cm       | 25                               | 1        | 0.075    | 1.87                             |
| <b><math>g_{1k}</math></b>               |                                  |          |          | <b>3.37</b>                      |
| <b>Sovraccarico Permanente</b>           |                                  |          |          |                                  |
| Descrizione<br>-                         | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | L<br>[m] | H<br>[m] | $g_{2k}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Rivestimento in gomma                    | 20                               | 1.20     | 0.005    | 0.12                             |
| Intonaco                                 | 20                               | 1        | 0.01     | 0.20                             |
|  |                                  |          |          | <b>0.32</b>                      |

### 8.3. Sovraccarichi variabili

#### 8.3.1. Azioni variabili legate alla destinazione d'uso

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- ✓ carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>];
- ✓ carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN];
- ✓ carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m] .

I valori nominali e/o caratteristici  $q_k$ ,  $Q_k$  ed  $H_k$  sono riportati nella Tab. 3.1.II delle NTC2018 a cui si rimanda per una visione più chiara. Tali valori sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza delle strutture. I carichi verticali concentrati  $Q_k$  formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti carichi verticali ripartiti; essi devono essere applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento; in assenza di precise indicazioni può essere considerata una forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50 x 50 mm, salvo che per le rimesse ed i parcheggi, per i quali i carichi si applicano su due impronte di 200 x 200 mm, distanti assialmente di 1,80 m.

Nel caso in esame si devono considerare le seguenti destinazioni d'uso, da abbinare ai carichi permanenti valutati in precedenza in funzione della destinazione d'uso della generica campata di solaio:

| <i>Blocco A e blocco B</i>        |  |                               |                               |                               |
|-----------------------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <i>Destinazione d'uso</i><br>-    | <i>Categoria ambiente</i><br>-                                     | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $H_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
| Ambienti per attività scolastiche | C1<br>Aree con tavoli, quali scuole, caffè,<br>ristoranti...       | 3.00                          | 3.00                          | 1.00                          |
| Ambienti bagni                    | Aree per attività domestiche<br>residenziali                       | 2.00                          | 2.00                          | 1.00                          |
| Scale                             | C<br>Scale comuni, balconi e ballatoi                              | 4.00                          | 4.00                          | 2.00                          |
| Terrazzo e falde di copertura     | H<br>Coperture accessibili per sola<br>manutenzione e riparazione. | 0.50                          | 1.20                          | 1.00                          |

### 8.3.2. Azioni della neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture, secondo quanto prescritto dal D.M.17/01/18, è valutato mediante la seguente espressione:

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

dove:

- $q_s$  è il carico neve sulla copertura;
- $\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura, come fornito al § 3.4.3 delle NTC2018;
- $q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>], fornito al § 3.4.2 delle NTC2018 per un periodo di ritorno di 50 anni;
- $C_E$  è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4 delle NTC2018;
- $C_t$  è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5 delle NTC2018.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

#### VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a

quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. Va richiamato il fatto che tale zonazione non può tenere conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente. L'altitudine di riferimento  $a_s$  è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio.

Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si deve fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 m. I valori caratteristici minimi del carico della neve al suolo sono riportati nel seguito.

### **Zona I - Alpina**

Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 1,39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

### **Zona I – Mediterranea**

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì- Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 1,35 [1 + (a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

### **Zona II**

Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona:

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,85 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

### **Zona III**

Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia - Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo:

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/ m}^2 \text{ as} \leq 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,51 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/ m}^2 \text{ as} > 200 \text{ m}$$

#### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione  $C_E$  può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti nella Tab. 3.4.I delle NTC2018. Se non diversamente indicato, si assumerà  $C_E = 1$ .

Tab. 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di esposizione

| Topografia        | Descrizione  | $C_E$ |
|-------------------|--|-------|
| Battuta dai venti | Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti  | 0,9   |
| Normale           | Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi | 1,0   |
| Riparata          | Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti               | 1,1   |

#### COEFFICIENTE TERMICO

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1$ .

#### CARICO NEVE SULLE COPERTURE

Devono essere considerate le due seguenti principali disposizioni di carico:

- carico da neve depositata in assenza di vento;
- carico da neve depositata in presenza di vento.

#### *- Coefficiente di forma per le coperture*

Si utilizzano i coefficienti di forma per il carico neve utilizzati dalle NTC2018, dove vengono indicati i relativi valori nominali essendo  $\alpha$ , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale. I valori del coefficiente di forma  $\mu_1$ , riportati in Tab. 3.4.II delle NTC2018, si riferiscono alle coperture ad una o due falde.



Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

| Coefficiente di forma | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$       | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| $\mu_1$               | 0,8                                 | $0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$ | 0,0                    |

Per coperture a più falde, per coperture con forme diverse, così come per coperture contigue a edifici più alti o per accumulo di neve contro parapetti o più in generale per altre situazioni ritenute significative dal progettista, si deve fare riferimento a normative di comprovata validità.

#### - Copertura a due falde

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare. Se l'estremità più bassa della falda termina con un parapetto, una barriera od altre ostruzioni, allora il coefficiente di forma non potrà essere assunto inferiore a 0,8 indipendentemente dall'angolo  $\alpha$ . Per il caso di carico da neve senza vento si deve considerare la condizione denominata *Caso I* riportata in FIGURA 8.1. Per il caso di carico da neve con vento si deve considerare la peggiore tra le condizioni denominate *Caso II* e *Caso III* riportate sempre nella stessa figura.

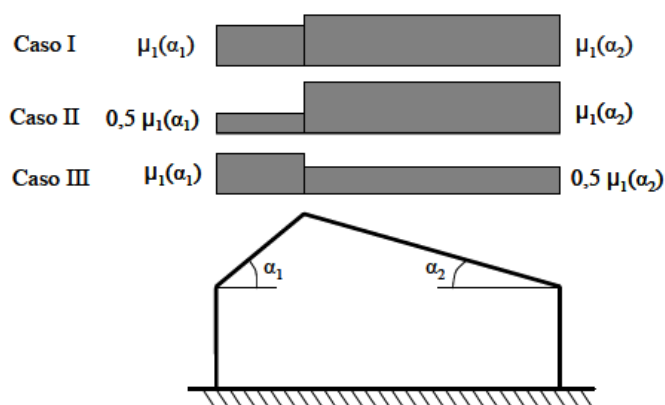


FIGURA 8.1 – CONDIZIONI DI CARICO DA NEVE PER COPERTURE A DUE FALDA

Nel caso in questione si devono considerare i seguenti dati:

- sito in *zona III*;
- altitudine  $a_s = 740 \text{ m.s.l.m.}$ ;
- coefficiente di esposizione  $C_E = I$ ,
- Coefficiente termico  $C_t = I$ ;
- Copertura a due falda con  $\alpha \leq 30^\circ$ .

In definitiva è possibile stimare il carico da neve riferito ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

$$q_{sk} = 0.51 \left[ 1 + \left( \frac{740}{481} \right)^2 \right] = 1.72 \text{ kN/m}^2$$

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_T = 0.80 \cdot 1.72 = 1.37 \text{ kN/m}^2 \rightarrow (T_R = 50 \text{ anni})$$

A vantaggio di sicurezza, si è considerato nei calcoli strutturali un valore definitivo del carico da neve pari a:  $q_{neve} = 1.40 \text{ kN/m}^2$ .

### 8.4. Definizione dell'azione sismica di progetto

#### Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. I valori minimi della vita nominale da adottare per le diverse tipologie di costruzione sono riportati nella tabella 2.4.I del D.M.17/01/2018:

| TIPI DI COSTRUZIONE |   | VITA NOMINALE<br>$V_N$ (IN ANNI) |
|---------------------|---|----------------------------------|
| 1                   | Costruzioni temporanee e provvisorie            | 10                               |
| 2                   | Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari | 50                               |
| 3                   | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati  | 100                              |

#### Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

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

comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, così come mostrato nella tabella 2.4.II del D.M.17/01/2018:

| CLASSE D'USO       | I   | II  | III | IV  |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| COEFFICIENTE $C_U$ | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |

#### Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$  :  $V_R = V_N \times C_U$ .

L'edificio in oggetto, come indicato dall'elenco di cui all'allegato 2 del *DGR Basilicata n. 2000 del 4 novembre 2003*, rientra tra le opere che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, per cui è classificata come *tipo di costruzione 2 e classe d'uso III*. **Pertanto le azioni sismiche vengono considerate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  di 75 anni.**

#### Pericolosità sismica

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica" del sito di costruzione. Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , ossia la probabilità di superamento dell'azione stessa nel periodo di riferimento  $V_R$ . I valori di  $P_{VR}$  cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite, sono riportati nella successiva tabella:

| STATI LIMITE              |     | $P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$ |
|---------------------------|-----|--|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81%  |
|                           | SLD | 63%  |
| Stati limite ultimi       | SLV | 10%  |
|                           | SLC | 5%   |

È conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento della struttura  $V_R$ , i due

parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante la seguente espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}.$$

Ne discende che, per la vita di riferimento considerata ( $V_R=75$  anni), si devono assumere i seguenti periodi di ritorno differenziati per ciascuno degli stati limite:

| STATI LIMITE              |     | $T_R$ : Tempo di ritorno (espresso in anni) |
|---------------------------|-----|---|
| Stati limite di esercizio | SLO | 45  |
|                           | SLD | 75  |
| Stati limite ultimi       | SLV | 712   |
|                           | SLC | 1462  |

#### Spettri di risposta elastici in termini di accelerazione orizzontale

Secondo quanto riportato dal D.M.17/01/2018, le forme spettrali sono definite, per diversi valori del periodo di ritorno  $T_R$ , a partire dai seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Ai fini della definizione dell'azione sismica, l'Italia è stata suddivisa in un reticolo a maglie quadre di circa 10km, tabellando in funzione delle coordinate di ciascun punto i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ ; tecniche di interpolazione, triangolazione, etc. sono utilizzate se il sito in oggetto si trova non coincidente con un nodo del reticolo. Tali valori sono però riferiti ad un sito rigido orizzontale e vanno perciò amplificati in funzione della stratigrafia e della topografia del sito di ubicazione dell'opera secondo quanto descritto dalla normativa in uso.

In sintesi, i passi da compiere per definire l'azione sismica sul sito in oggetto sono i seguenti:

- Individuazione del sito tramite le coordinate geografiche Longitudine Est, Latitudine Nord nel sistema ED 50 (vedi FIGURA 8.2 per il sito in esame);
- Definizione del tempo di ritorno  $T_R$ ;
- Definizione degli Stati Limite da considerare in relazione alle prestazioni richieste;
- Individuazione della categoria di sottosuolo e condizioni Topografiche del sito di ubicazione dell'opera (si rimanda alla relazione geotecnica);

- Definizione degli Spettri di Risposta per i diversi stati limite secondo le formulazioni riportate al paragrafo 3.2.3.2.1 delle NTC2018.

Si riportano di seguito le immagini relative alla definizione dello spettro di risposta elastico, stralciate dal software-free SPETTRI-NTC ver. 1.0.3, scaricato dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici [www.cslp.it](http://www.cslp.it).

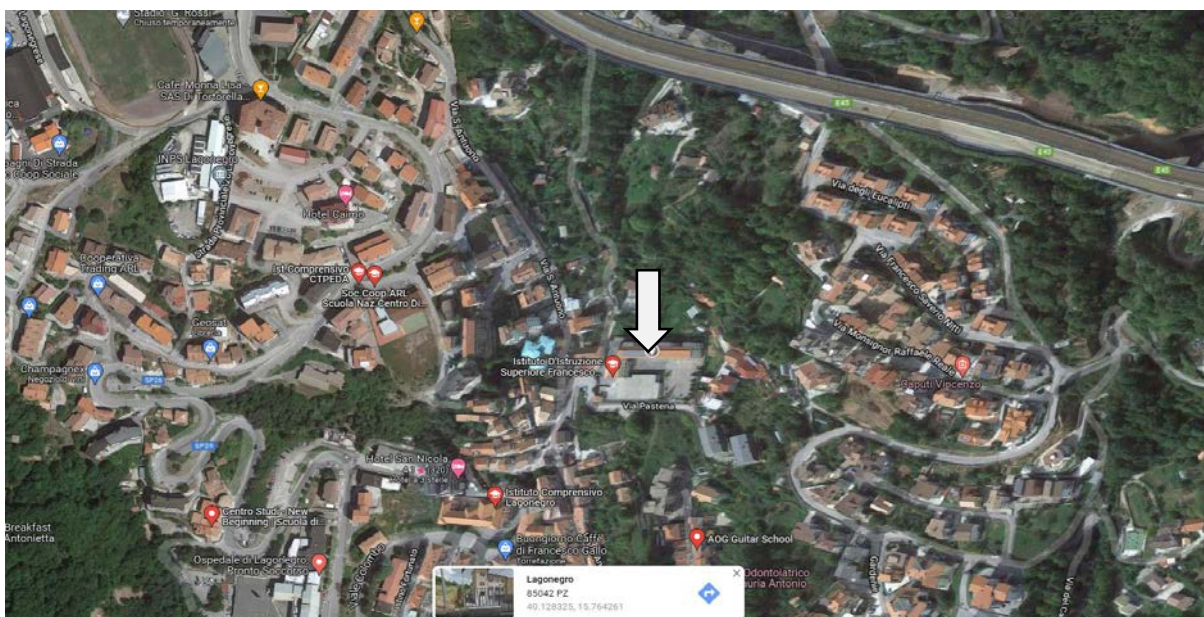


FIGURA 8.2 – UBICAZIONE OPERA OGGETTO DI STUDIO

| FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO       |                         |  |                     |
|--|-------------------------|--|---------------------|
| <input checked="" type="radio"/> Ricerca per coordinate  | LONGITUDINE<br>15.76510 | LATITUDINE<br>40.12922   |                     |
| <input type="radio"/> Ricerca per comune                 | REGIONE<br>Basilicata   | PROVINCIA<br>Potenza   | COMUNE<br>Lagonegro |
| Elaborazioni grafiche                                    |                         | Reticolo di riferimento  |                     |
| Grafici spettri di risposta<br>Variabilità dei parametri |                         | Controllo sul reticolo<br><input type="radio"/> Sito esterno al reticolo<br><input type="radio"/> Interpolazione su 3 nodi<br><input checked="" type="radio"/> Interpolazione corretta   |                     |
| Elaborazioni numeriche                                   |                         | Interpolazione   |                     |
| Tabella parametri  |                         | superficie rigata  |                     |
| Nodi del reticolo intorno al sito                        |                         | La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate". |                     |
|  |                         |  |                     |
| INTRO  | FASE 1                  | FASE 2   | FASE 3              |

FIGURA 8.3 - INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO



### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

---

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {  $SLO - P_{VR} = 81\%$    $SLD - P_{VR} = 63\%$    $SLV - P_{VR} = 10\%$    $SLC - P_{VR} = 5\%$

Stati limite ultimi - SLU {  $SLV - P_{VR} = 10\%$    $SLC - P_{VR} = 5\%$

---

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

LEGENDA GRAFICO

--- Strategia per costruzioni ordinarie

--- Strategia scelta

Strategia di progettazione

INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3

FIGURA 8.4 - SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

---

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info

Categoria topografica  info

$S_S = 1.309$   $C_C = 1.444$  info

$h/H = 1.000$   $S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

---

Compon. orizzontale

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)  $\xi = 5\%$   $\eta = 1.000$  info

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)  $\eta = 1.5$   $\eta = 1.000$  info

Regol. in altezza  info

---

Compon. verticale

Spettro di progetto  $\eta = 1$   $\eta = 1.000$  info

---

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettro di progetto - componente orizzontale

Spettro di progetto - componente verticale

Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Spettri di risposta

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

FIGURA 8.5 - DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

In merito al coefficiente topografico, come già accennato al §4 della presente relazione, si è modificato il valore rispetto a quanto riportato nella valutazione della vulnerabilità sismica eseguita

nel 2019; difatti, osservando l'immagine della planimetria a curve di livello mostrata in FIGURA 8.6, è possibile determinare l'inclinazione media del pendio che risulta essere inferiore alla soglia di  $15^\circ$  indicata al §3.2.2 delle NTC2018 tab. 3.2.III; pertanto si ricade nella categoria T1, cui corrisponde un coefficiente topografico  $S_T$  unitario.



FIGURA 8.6 – STRALCIO DELLA PLANIMETRIA A CURVE DI LIVELLO CON VALUTAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DEL PENDIO

Si vuole soffermare l'attenzione sull'immagine di FIGURA 8.7, dove è rappresentato lo spettro di risposta per il sito in esame riferito allo stato limite SLV; in particolare è possibile rendersi conto delle elevate prestazioni richieste alle strutture in esame, leggendo nel grafico accelerazioni spettrali che, per oscillatori semplici con determinate frequenze, possono arrivare al valore di 0.85 g.

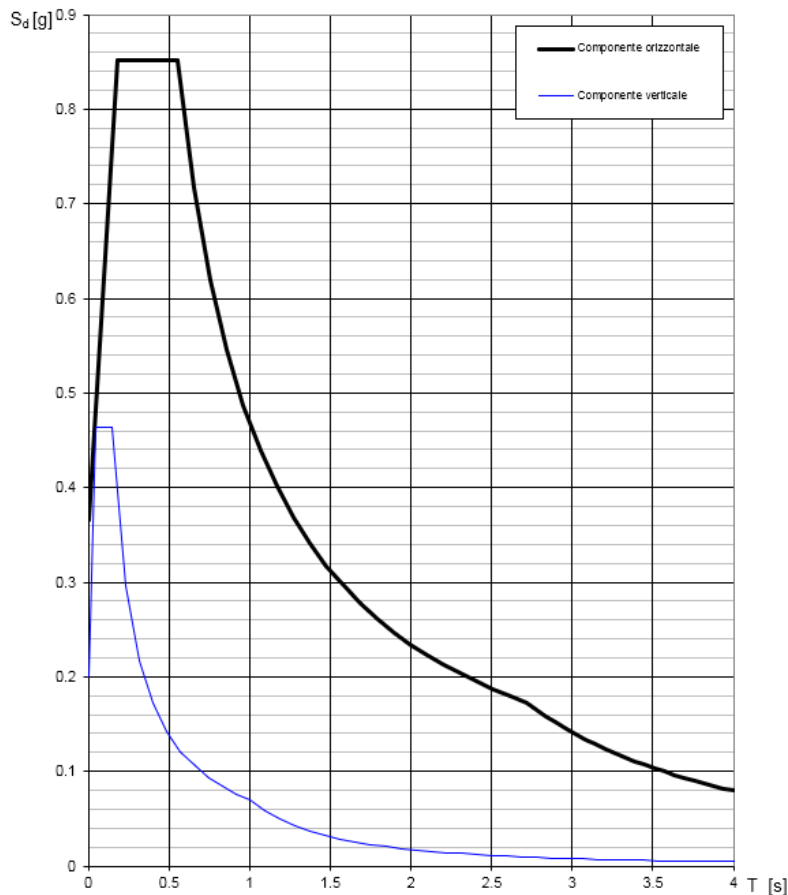


FIGURA 8.7 – SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI ALLO STATO LIMITE SLV DELLE COMPONENTI VERTICALI ED ORIZZONTALI

**Parametri indipendenti**

| STATO LIMITE | SLV     |
|--------------|---------|
| $a_g$        | 0.279 g |
| $F_0$        | 2.332   |
| $T_C$        | 0.381 s |
| $S_S$        | 1.309   |
| $C_C$        | 1.444   |
| $S_T$        | 1.000   |
| $q$          | 1.000   |

**Parametri dipendenti**

|        |         |
|--------|---------|
| $S$    | 1.309   |
| $\eta$ | 1.000   |
| $T_B$  | 0.183 s |
| $T_C$  | 0.550 s |
| $T_D$  | 2.717 s |

$$PGA_D = a_g \cdot S = 0.365g$$

Quanto appena indicato trova ulteriore accentuazione se si confronta lo spettro della normativa attuale con quello definito dal D.M. 16/01/1996, che è la normativa presa a riferimento nell'intervento di rinforzo del '96 di cui più volte discusso; in questo caso si ricorda che l'accelerazione spettrale era definita dalla seguente espressione:

$$\frac{a}{g} = C \cdot R \cdot \varepsilon \cdot \beta \cdot I$$

dove:

- $C = (S - 2)/100$  rappresenta il coefficiente sismico, funzione della classe di sismicità  $S=9$  nel caso di Lagonegro;
- $R = 1 \rightarrow T \leq 0.80s$ ;  $R = 0.862/T^{2/3} \rightarrow T > 0.80s$  rappresenta la funzione del periodo di vibrazione;
- $\varepsilon$  è il coefficiente di fondazione, in genere unitario ma nel caso specifico assunto pari a 1.30 nel caso di terreno deformabile;
- $I = 1.20$  è il coefficiente di importanza, equiparabile alla classe d'uso dell'attuale norma.

Il confronto appare ben evidente in FIGURA 8.8, dove anche mettendosi nell'ipotesi maggiormente conservativa (coefficiente di fondazione  $\varepsilon=1.30$ ), si evidenzia con l'entrata in vigore delle NTC2018 una differenza di accelerazione superiore a 8 volte quella presa a riferimento con il D.M.'96

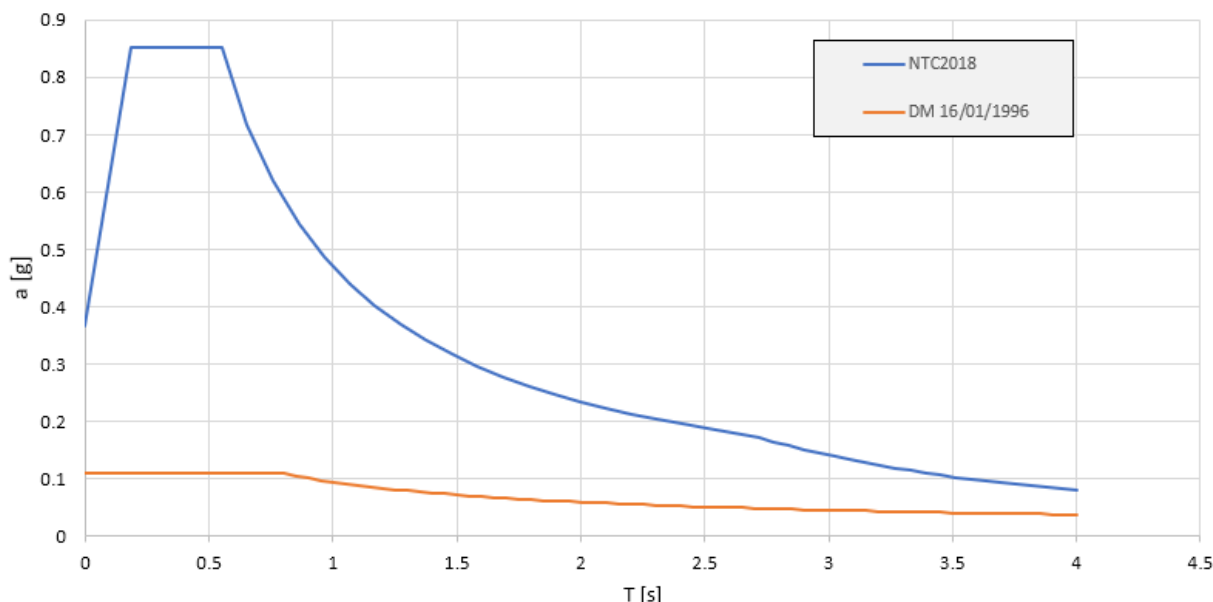


FIGURA 8.8 – CONFRONTO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO STATO LIMITE SLV TRA NTC2018 E DM 1996

### 8.5. Combinazioni delle azioni

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- 1) Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- 2) Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7 delle NTC2018:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- 3) Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

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

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- 5) Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2 delle NTC2018):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

- 6) Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto  $A_d$  (v. § 3.6 delle NTC2018):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \text{ (v. § 2.5.6 delle NTC2008)}$$

Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

I valori dei coefficienti di combinazione  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  sono forniti nella Tab. 2.5.I del D.M.17/01/2018 e permettono di caratterizzare la natura probabilistica delle azioni variabili, mentre i valori dei coefficienti parziali di sicurezza  $\gamma_{Gi}$  e  $\gamma_{Qj}$  sono definiti nel §2.6.1, Tab.2.6.I delle NTC2018; in particolare per l'analisi e verifica della struttura di elevazione bisogna considerare i coefficienti  $A1$  relativi allo stato limite di resistenza della struttura  $STR$ .

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

|  |             | Coefficiente  | EQU | A1  | A2  |
|--|-------------|---------------|-----|-----|-----|
|  |             | $\gamma_F$    |     |     |     |
| Carichi permanenti $G_1$                       | Favorevoli  | $\gamma_{G1}$ | 0,9 | 1,0 | 1,0 |
|  | Sfavorevoli |               | 1,1 | 1,3 | 1,0 |
| Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$ | Favorevoli  | $\gamma_{G2}$ | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
|  | Sfavorevoli |               | 1,5 | 1,5 | 1,3 |
| Azioni variabili Q                             | Favorevoli  | $\gamma_{Qj}$ | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
|  | Sfavorevoli |               | 1,5 | 1,5 | 1,3 |

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nel caso in esame le condizioni di carico elementari sono state combinate agli stati limite SLE ed SLU, sia in assenza di sisma (*Combinazione rara, frequente e quasi permanente* per SLE, *Combinazione fondamentale* per SLU), che in presenza di sisma (*combinazione sismica*).

### **8.6. Utilizzo di accelerogrammi per analisi dinamiche non lineari**

Gli stati limite, ultimi e di esercizio, possono essere verificati mediante l'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali o naturali. Ciascuna storia temporale descrive una componente, orizzontale o verticale, dell'azione sismica; l'insieme delle tre componenti (due orizzontali, tra loro ortogonali, ed una verticale) costituisce un gruppo di storie temporali del moto del terreno.

La durata delle storie temporali artificiali del moto del terreno deve essere stabilita sulla base della magnitudo e degli altri parametri fisici che determinano la scelta del valore di  $a_g$  e di  $S_s$  (vedi §8.4). In assenza di studi specifici, la parte pseudo-stazionaria dell'accelerogramma associato alla storia deve avere durata di 10 s e deve essere preceduta e seguita da tratti di ampiezza crescente da zero e decrescente a zero, in modo che la durata complessiva dell'accelerogramma sia non inferiore a 25 s.

#### Accelerogrammi naturali

L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame. Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$  del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite.

Per la selezione di tali accelerogrammi naturali, si è utilizzato il software free REXEL v 3.5 messo a disposizione dalla ReLUIs, che permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC - CS.LL.PP., 2008), dell'Eurocodice 8 (EC8 – CEN, 2003), dell'ASCE/SEI 7-05 (ASCE, 2006) o completamente definiti dall'utente; le combinazioni trovate possono anche rispecchiare caratteristiche di sorgente di interesse; per i dettagli si rinvia alla documentazione di letteratura. Nel caso specifico si esegue dapprima uno studio di disaggregazione, dal quale scaturiscono quali sono i valori di Magnitudo e



distanza epicentrale che influenzano maggiormente la pericolosità sismica del sito (vedi stralcio di FIGURA 8.9), quindi si procede alla ricerca degli accelerogrammi naturali che rientrano tra i requisiti di distanza epicentrale e magnitudo appena determinati.

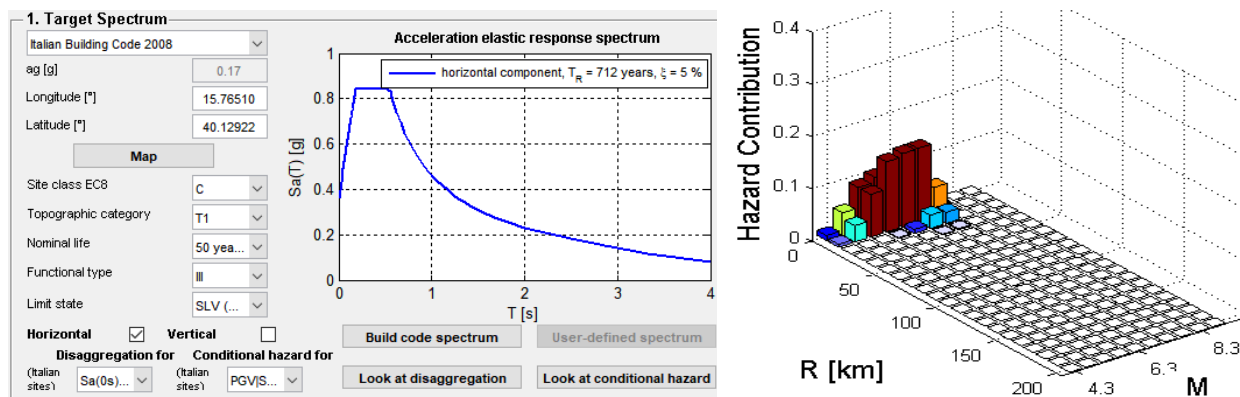


FIGURA 8.9 – STUDIO DI DISAGGREGAZIONE ESEGUITO CON IL SOFTWARE REXEL PER LA PERICOLOSITÀ DEL SITO IN ESAME

IL software in automatico ricerca una o più combinazioni di n.7 accelerogrammi scalati tali da soddisfare i criteri di spettro-compatibilità appena esposti nei periodi tra 0.15 s e 2.00 s; nel caso specifico la ricerca ha portato alle combinazioni mostrate nelle immagini di FIGURA 8.10, dove a sinistra è mostrata la ricerca per lo stato limite SLV, a destra per lo stato limite SLC, che, come si vedrà di seguito, è importante ai fini della verifica dei sistemi di protezione sismica passiva.

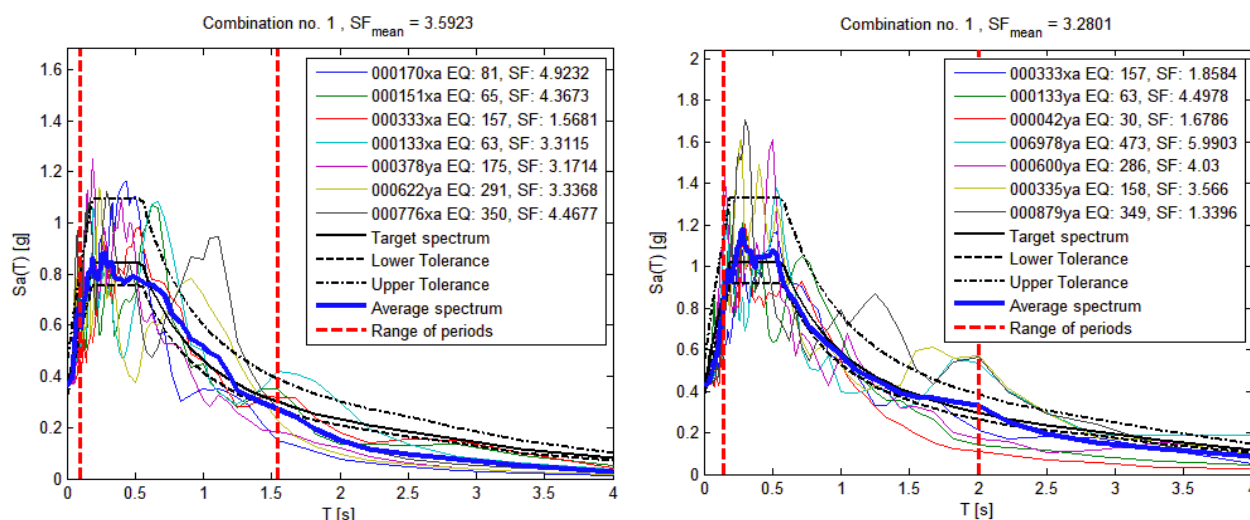


FIGURA 8.10 – SET ACCELEROGRAMMI NATURALI SCALATI OTTENUTI DA REXEL PER GLI STATI LIMITE SLV (IMMAGINE SX) E SLC (IMMAGINE DX)

Nella FIGURA 8.11 FIGURA 8.12 si riportano il gruppo degli accelerogrammi artificiali utilizzati ai fini delle analisi time history rispettivamente per lo stato limite SLV e lo stato limite SLC.

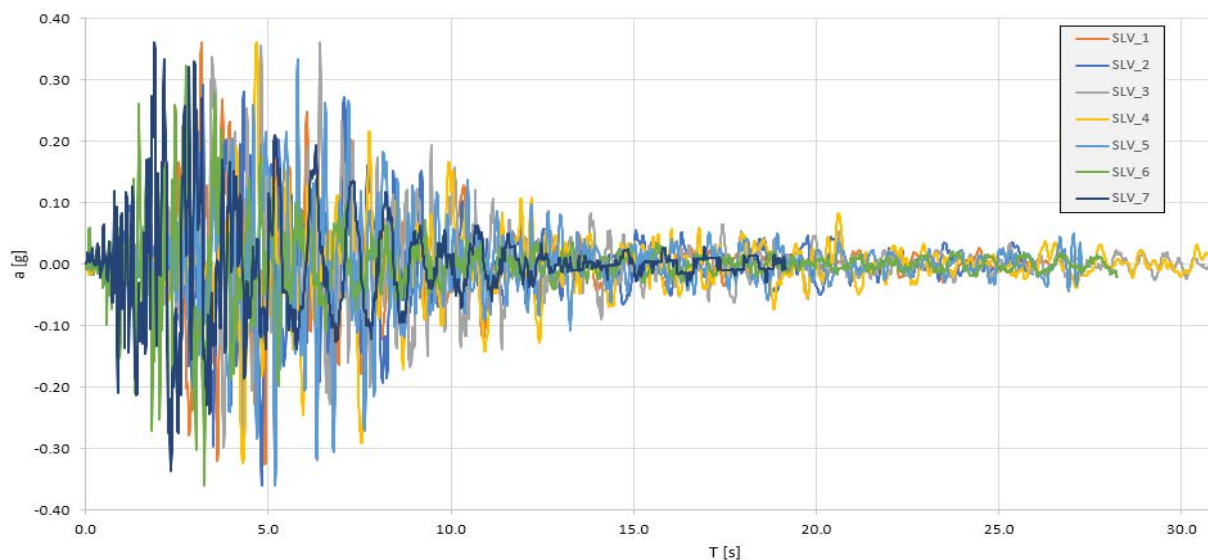


FIGURA 8.11 – GRUPPO DI 7 ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI SELEZIONATI PER LO STATO LIMITE SLV

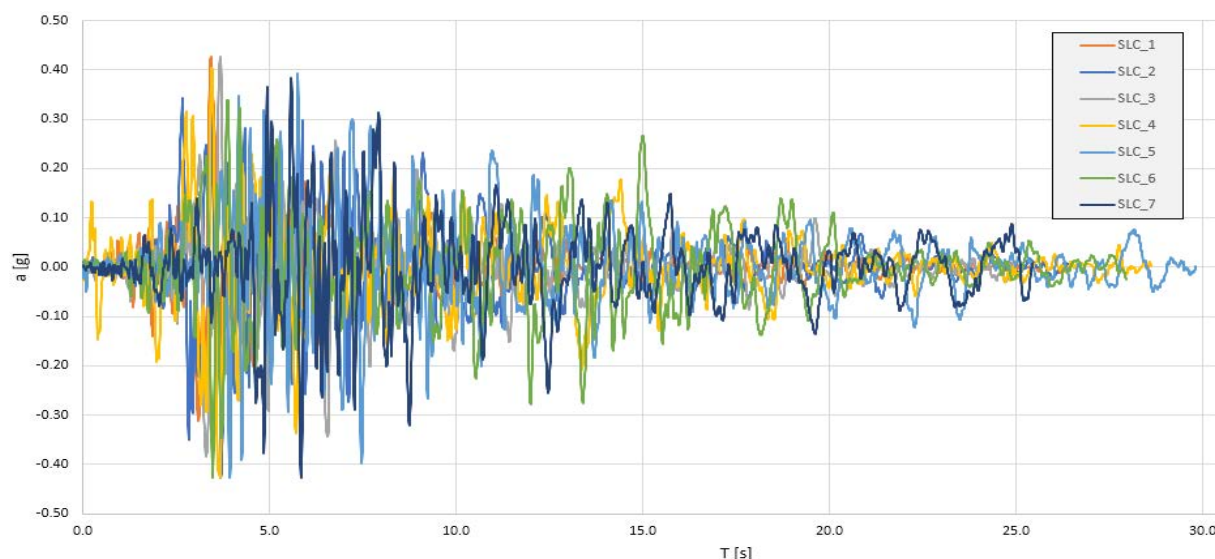


FIGURA 8.12 – GRUPPO DI 7 ACCELEROGRAMMI ORIZZONTALI SELEZIONATI PER LO STATO LIMITE SLC

Si ricorda che, secondo quanto stabilito dalla norma, tali accelerogrammi sono applicati in numero di sette ed agenti contemporaneamente nelle due direzioni principali (si trascura il contributo verticale in quanto di poco interesse per il caso specifico ed in conformità ai criteri indicati dalla norma); così facendo, i risultati da confrontare con i valori limite imposti sono quelli medi e non quello minimo. In particolare, avendo ricercato solo un set di n.7 accelerogrammi, in modo casuale si combinano quelli generati con le stesse numerazioni: ad esempio, la combinazione denominata “*TH1*” (*Time History 1*) è caratterizzata dall’accelerogramma SLV\_1 (vedi simbologia di FIGURA 8.11) agente in entrambe le direzioni principali con coefficiente unitario, trattandosi di eventi registrati.

## 9. Modellazione, analisi e fattori di comportamento

Di seguito si descrivono le analisi condotte ai fini della valutazione del coefficiente  $\zeta_E$  e si mostra il modello di calcolo realizzato per lo scopo.

### 9.1. Generalità e prescrizioni normative

Il modello della struttura deve essere tridimensionale e rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni spaziali di massa, rigidezza e resistenza, con particolare attenzione alle situazioni nelle quali componenti orizzontali dell'azione sismica possono produrre forze d'inerzia verticali (travi di grande luce, sbalzi significativi, etc.).

Nella definizione del modello, alcuni elementi strutturali considerati “secondari” e gli elementi non strutturali autoportanti (tamponature e tramezzi), vengono rappresentati unicamente in termini di massa, non essendo il loro contributo alla rigidezza e resistenza del sistema strutturale tale da modificare significativamente il comportamento del modello stesso, in particolare per la presenza dell'irrigidimento dato dai controventi concentrici.

Gli orizzontamenti non vengono considerati infinitamente rigidi nel loro piano in quanto, nonostante siano in latero-cemento con soletta in c.a. di spessore superiore ai 40 mm, si è visto che le irregolarità determinate dai corpi aggettanti determinano un comportamento distante dall'ipotesi di infinita rigidezza proprio negli spostamenti di estremità dei corpi stessi. L'ipotesi viene pertanto rimossa, inserendo fisicamente nel modello di calcolo degli elementi bidimensionali, come meglio descritto successivamente.

Per rappresentare la rigidezza degli elementi strutturali in c.a. ed acciaio-clt si adottano modelli lineari, che trascurano le non linearità di materiale e geometriche; in questo caso è opportuno tenere conto della fessurazione dei materiali riducendo, in caso non siano effettuate analisi specifiche, la rigidezza flessionale e a taglio sino al 50% della rigidezza dei corrispondenti elementi non fessurati per gli elementi trave; nelle colonne, per tenere debitamente conto dell'influenza della sollecitazione assiale permanente, tale riduzione viene posta al 30%.

Nel caso di comportamento dissipativo di sistemi sismo-resistenti tradizionali in c.a. o in acciaio, si adottano modelli non lineari a plasticità concentrate; per i sistemi dotati di specifici dispositivi in cui si concentra la maggior parte delle dissipazioni, si utilizzano specifici legami costitutivi generalizzati per modellare il comportamento non lineare della struttura dovuto alla non linearità di materiale, anche in relazione alla corretta rappresentazione dell'energia dissipata nei cicli di isteresi.

Le azioni conseguenti al moto sismico vengono modellate sia indirettamente, attraverso forze statiche equivalenti o spettri di risposta, sia direttamente, attraverso gli accelerogrammi definiti al §8.6. Per tenere conto della variabilità spaziale del moto sismico, nonché di eventuali incertezze nella localizzazione delle masse, al centro di massa viene attribuita una eccentricità accidentale rispetto alla sua posizione quale deriva dal calcolo. Per i soli edifici ed in assenza di più accurate determinazioni, tale eccentricità in ogni direzione non può essere considerata inferiore a 0,05 volte (5%) la dimensione dell'edificio misurata perpendicolarmente alla direzione di applicazione dell'azione sismica; detta eccentricità è assunta costante, per entità e direzione, su tutti gli orizzontamenti. Per ottemperare a tale prescrizione nell'ambito delle analisi dinamiche non lineari, il software di calcolo permette in automatico di modificare la distribuzione delle masse in modo da spostarne il baricentro secondo le prescrizioni normative.

#### *9.1.1. Prescrizioni specifiche in caso di sistemi innovativi di protezione sismica passiva*

Poiché nel caso di strutture dotate di appositi sistemi di protezione sismica la maggior parte della dissipazione di energia avviene attraverso i dispositivi stessi, nel caso specifico interposti tra struttura esistente ed esoscheletri esterni, quest'ultimi è corretto modellarli come sistemi a comportamento elastico lineare a cui non è richiesto alcun requisito di duttilità. Il sistema di dissipazione può essere invece modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, con opportuno legame costitutivo non lineare, mentre nelle analisi lineari si annulla lo smorzamento del singolo elemento, attribuendolo globalmente in termini di riduzione dello spettro di risposta. A tal proposito, è importante sottolineare che la normativa vigente indica esplicitamente che, nel caso in cui si adotti un modello non lineare, il legame costitutivo dei singoli dispositivi del sistema di dissipazione deve riprodurre adeguatamente il loro comportamento nel campo di deformazioni e velocità che si verificano durante l'azione sismica, anche in relazione alla corretta rappresentazione dell'energia dissipata nei cicli di isteresi. Altro aspetto importante, sempre indicato dalle NTC2018 al §7.10.6 riferito al sistema di isolamento, ma equiparabile a sistemi dotati di dissipatori, riguarda il rispetto di “gerarchia delle resistenze” richiesta agli elementi critici ai fini della protezione sismica rispetto alla struttura esistente: è cioè importante che i dissipatori fluido-viscosi e gli esoscheletri esterni in acciaio, anch'essi fondamentali ai fini della dissipazione perché devono contrastare le forze trasmesse dai dispositivi permettendone la corretta dissipazione, siano verificati per lo stato limite di collasso SLC (viene quindi richiesta una

prestazione più elevata), mentre la struttura esistente va verificata per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV.

## 9.2. Metodi di analisi

Di seguito si descrivono i metodi di analisi utilizzati per il caso specifico, oltre all'analisi statica lineare eseguita per determinare le caratteristiche della sollecitazione interna e gli spostamenti della struttura all'applicazione dei carichi gravitazionali.

### 9.2.1. Analisi dinamica lineare

Nell'analisi dinamica modale, la ricerca dei modi e delle relative frequenze viene perseguita con il metodo delle "iterazioni nel sottospazio", avendo cura di considerare tutti i modi con massa partecipante significativa (maggiore o uguale del 5%), la cui somma sia superiore allo 85%.

Per ciascuna direzione di ingresso del sisma si valutano le forze modali che vengono applicate su ciascun nodo spaziale (tre forze, in direzione X, Y e Z, e tre momenti).

La combinazione dei modi al fine di calcolare sollecitazioni e spostamenti complessivi, viene effettuata utilizzando la regola della combinazione quadratica completa *CQC*, quale quella indicata nell'espressione seguente.

$$E = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j} \quad (CQC);$$

dove:

- $E$  è il valore totale della componente di risposta sismica che si sta considerando;
- $E_i$  è il valore della medesima componente dovuta al modo  $i$ ;
- $E_j$  è il valore della medesima componente dovuta al modo  $j$ ;
- $\rho_{ij} = \frac{(8\xi^2 \cdot (1 + \beta_{ij}) \cdot \beta_{ij}^{3/2})}{((1 - \beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2 \cdot \beta_{ij} \cdot (1 + \beta_{ij}^2))}$  è il coefficiente di correlazione tra il modo  $i$  e il modo  $j$ ;
- $\xi$  è il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente;
- $\beta_{ij}$  è il rapporto tra le frequenze di ciascuna coppia  $i$ - $j$  di modi ( $\beta_{ij} = \omega_i/\omega_j$ ).

I valori delle sollecitazioni sismiche sono combinate linearmente (in somma e in differenza) con quelle per carichi statici per ottenere le sollecitazioni per sisma nelle due direzioni di calcolo. Gli

angoli delle direzioni di ingresso dei sismi sono valutati rispetto all'asse X del sistema di riferimento globale. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati successivamente, applicando la seguente espressione:

$$1,00Ex \pm 0,30Ey \pm 0,3Ez$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi; la componente verticale del sisma è tenuta in conto soltanto nel caso del nuovo padiglione, per via delle luci significative presenti e dell'utilizzo di sistemi dissipativi dipendenti dallo sforzo assiale.

#### 9.2.1.1. Applicazione nell'ambito dei sistemi con dissipatori fluido-viscosi

Per le costruzioni dotate di sistemi di dissipazione, l'analisi dinamica lineare è ammessa, nel rispetto delle condizioni descritte al §9.1.1; in questo caso il singolo dispositivo interviene con una rigidezza assiale secante, mentre si annulla lo smorzamento viscoso, attribuendolo direttamente in termini di riduzione complessiva dello spettro di risposta in ragione dei risultati ottenuti nelle analisi dinamiche non lineari.

Le due componenti orizzontali dell'azione sismica si considerano in generale agenti simultaneamente, adottando, ai fini della combinazione degli effetti, le regole riportate al § 7.3.3.1 delle NTC2018. Lo spettro elastico definito dalla norma per le strutture tradizionali va ridotto, per tutto il campo di periodi, assumendo per il coefficiente riduttivo  $\eta$  il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_{esi}$  del sistema di dissipazione.

Nel caso di analisi lineare con integrazione al passo, la messa in conto del corretto valore del coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi$  si ottiene, quando si opera sulle singole equazioni modali disaccoppiate, assegnando a ciascuna equazione il corrispondente valore modale di  $\xi$  o, quando si opera sul sistema completo, definendo in maniera appropriata la matrice di smorzamento del sistema.

#### 9.2.2. *Analisi statica non lineare*

Di seguito si riportano le procedure di verifica dei meccanismi duttili nell'ambito delle esecuzioni delle analisi statiche non lineari (push-over) utilizzate ai fini del dimensionamento del sistema di dissipazione. La formulazione utilizzata è quella classica del metodo N2 con definizione della bilineare equivalente del sistema ad un grado di libertà, secondo quanto indicato nella circolare esplicativa delle NTC2018.

### 9.2.2.1. Verifica dei meccanismi duttili con sistema bilineare equivalente

Per determinare la richiesta di spostamento della struttura per lo stato limite preso in esame, l'analisi richiede che al sistema strutturale reale (MDOF) venga associato un sistema strutturale equivalente ad un grado di libertà (SDOF).

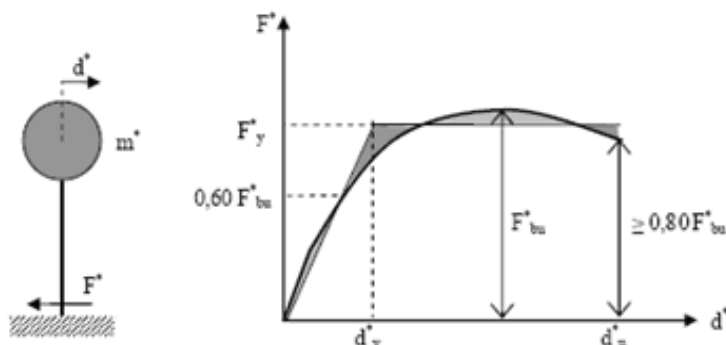


FIGURA 9.1 – SISTEMA E DIAGRAMMA BILINEARE EQUIVALENTE

La forza  $F^*$  e lo spostamento  $d^*$  del sistema equivalente (vedi FIGURA 9.1) sono legati alle corrispondenti grandezze  $F_b$  (Tagliante alla base del primo impalcato) e  $d_c$  (spostamento di un punto di controllo in genere assunto come il baricentro delle masse dell'ultimo impalcato) del sistema reale, dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} F^* &= F_b / \Gamma \\ d^* &= d_c / \Gamma \end{aligned}$$

dove:

$\Gamma$  è il “fattore di partecipazione modale” definito dalla relazione:  $\Gamma = \frac{\varphi^T M \tau}{\varphi^T M \varphi}$ .

Il vettore  $\tau$  è il vettore di trascinamento corrispondente alla direzione del sisma considerata; il vettore  $\varphi$  è il modo di vibrare fondamentale del sistema reale normalizzato ponendo  $d_c = 1$ ; la matrice  $M$  è la matrice di massa del sistema reale.

Alla curva di capacità del sistema equivalente occorre ora sostituire una curva bilineare avente un primo tratto elastico ed un secondo tratto perfettamente plastico (vedi FIGURA 9.1). Detta  $F_{bu}$  la resistenza massima del sistema strutturale reale ed  $F_{bu}^* = F_{bu} / \Gamma$  la resistenza massima del sistema equivalente, il tratto elastico si individua imponendone il passaggio per il punto  $0,6F_{bu}^*$  della curva di capacità del sistema equivalente; la forza di plasticizzazione  $F_y^*$  si individua imponendo l'uguaglianza delle aree sottese dalla curva bilineare e dalla curva di capacità per lo spostamento massimo  $d_u^*$  corrispondente ad una riduzione di resistenza  $\leq 0,20F_{bu}^*$ .



Ottenuta la curva di capacità del sistema equivalente ad un grado di libertà, è possibile confrontarla con lo spettro di domanda per lo stato limite in esame. Se si dividesse l'asse delle ordinate per la massa generalizzata  $m^*$  definita nel seguito, si potrebbe sovrapporre graficamente tale curva con lo spettro di domanda nel piano ADRS (accelerazione – spostamento) ed ottenere così il punto prestazionale della struttura. Ciò non è in realtà corretto in quanto lo spettro di domanda è elastico e non tiene conto pertanto delle dissipazioni isteretiche della struttura. A tal fine si procede valutando innanzitutto il periodo elastico del sistema bilineare, dato dall'espressione:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$

dove:

- $m^* = \varphi^T M \varphi$  è la massa generalizzata, termine che compare al denominatore dell'espressione fornita per il calcolo del fattore di partecipazione modale  $I$ ;
- $k^* = F_y^*/d_y^*$  è la rigidezza del tratto elastico della bilineare (vedi FIGURA 9.1).

È ora possibile ricavare la richiesta di spostamento del sistema SDOF (o punto prestazionale) in funzione del periodo di vibrazione  $T^*$  secondo la metodologia di seguito indicata:

- ✓ Nel caso in cui il periodo elastico della costruzione  $T^*$  risulti:  $T^* \geq T_C$ , la domanda in spostamento per il sistema anelastico è assunta uguale a quella di un sistema elastico di pari periodo (vedi immagine a sinistra di FIGURA 9.2):

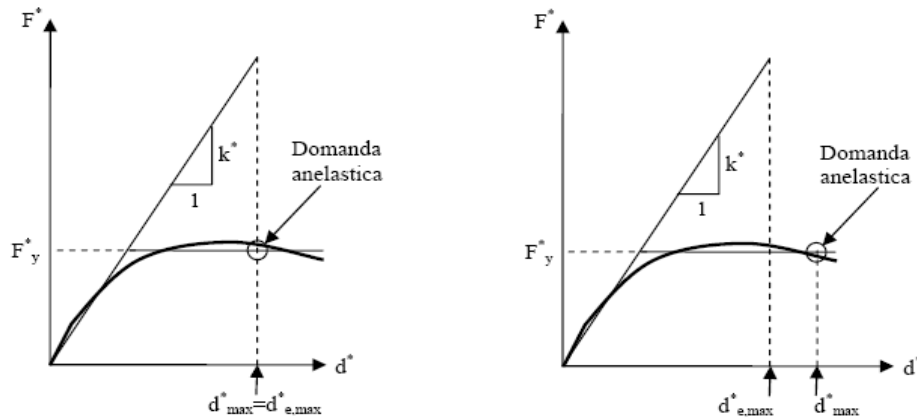
$$d_{\max}^* = d_{e,\max}^* = S_{De}(T^*)$$

- ✓ Nel caso in cui  $T^* < T_C$ , la domanda in spostamento per il sistema anelastico è maggiore di quella di un sistema elastico di pari periodo (vedi FIGURA 9.2) e si ottiene in particolare da quest'ultima mediante l'espressione:

$$d_{\max}^* = \frac{d_{e,\max}^*}{q^*} \left[ 1 + (q^* - 1) \frac{T_C}{T^*} \right] \geq d_{e,\max}^*$$

dove:

$q^* = S_e(T^*)m^*/F_y^*$  rappresenta il rapporto tra la forza di risposta elastica e la forza di snervamento del sistema equivalente.

FIGURA 9.2 – RICHIESTA DI SPOSTAMENTO PER  $T > T_c$  (IMMAGINE A SX) E  $T \leq T_c$  (IMMAGINE A DX)

- ✓ Se risulta  $q^* \leq 1$  la struttura, per l'evento sismico considerato, rimane completamente in campo elastico ed allora si ha:  $d_{max}^* = d_{e,max}^*$ .

Trovata la domanda in spostamento  $d_{max}^*$  per lo stato limite in esame, lo spostamento effettivo di risposta  $d_{max}$  del punto di controllo del sistema reale ad  $n$  gradi di libertà (MDOF) risulta pari a:  $d_{max} = \Gamma d_{max}^*$ . Si verifica in definitiva che tale spostamento sia inferiore a quello ultimo di capacità della struttura:  $d_{max} \leq d_u$ .

#### 9.2.2.2. Verifica in termini di PGA per meccanismi duttili

Determinata la curva di capacità della struttura per il generico meccanismo, noto il periodo del sistema bilineare equivalente ad 1 grado di libertà  $T^*$ , è possibile determinare lo spostamento prestazionale corrispondente per lo stato limite di riferimento. La  $PGA_{CLV}$  corrispettiva a tale stato limite può essere ottenuta nel seguente modo:

- si determina l'accelerazione spettrale attraverso la relazione tra spettro in termini di spostamento ed accelerazione, di norma  $S_d = \omega^{-2} S_a$ , imponendo lo spostamento spettrale uguale alla capacità per lo stato limite considerato;
- si ricava la PGA per inversione delle relazioni fornite al D.M.17/01/18 §3.2.3.2.1 "Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali", dove, essendo noti i parametri  $F_0$ ,  $S$  e  $T_c^*$ , si ricava il valore di  $a_g$  in funzione di  $S_a$  e  $T^*$ .

In questo modo, per ciascun tipo di meccanismo esaminato, si può ricondurre la verifica attraverso la valutazione di un indicatore di rischio in termine di accelerazione di picco al suolo, ottenuto come rapporto tra capacità e domanda:

$$\zeta_{E,LV} = PGA_{CLV} / PGA_{DLV}$$

dove  $PGA_{DLV}$  rappresenta l'accelerazione di picco al suolo relativa allo spettro elastico, determinata al §8.4 della presente relazione.

Per tenere in conto la non linearità meccanica negli elementi strutturali tradizionali (meccanismi duttili), il software adotta una formulazione a plasticità concentrata e duttilità limitata con controllo della capacità rotazionale ultima delle cerniere plastiche. Di seguito si esplicita tale tipo di formulazione, rimandando per maggiore dettaglio alla letteratura e al manuale del software di calcolo.

#### 9.2.2.3. Formulazione a plasticità concentrata e valutazione della capacità

Il comportamento in campo plastico dei telai in c.a. è valutato mediante l'ausilio di una formulazione a plasticità concentrata, secondo cui le deformazioni anelastiche della struttura sono tutte concentrate in corrispondenza di cerniere plastiche puntuali disposte agli estremi degli elementi strutturali: travi e pilastri nel caso in esame. La definizione della curva caratteristica della cerniera plastica (diagramma momento-rotazione  $M-\theta$ ) è effettuata sulla base del comportamento non lineare della sezione di estremità, ed in particolare la capacità deformativa della stessa è definita con riferimento alla rotazione alla corda  $\theta$  rispetto alla congiungente quest'ultima con la sezione di momento nullo a distanza pari alla luce di taglio  $L_v = M/V$ . Tale rotazione è anche pari allo spostamento relativo delle due sezioni diviso per la luce di taglio (vedi FIGURA 9.3).

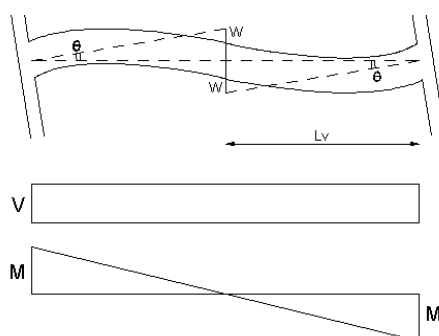


FIGURA 9.3 – SCHEMA CON INDICAZIONE DELLA ROTAZIONE ALLA CORDA E DELLA LUCE DI TAGLIO

Per valutare la capacità rotazionale allo stato limite SLV, fondamentale per determinare lo spostamento di capacità globale della struttura utile per le verifiche dei meccanismi duttili, il software utilizza le espressioni definite dalla normativa vigente. Di seguito una sintesi.

### Stato limite di salvaguardia della vita

La capacità di rotazione totale rispetto alla corda in condizioni di salvaguardia della vita  $\theta_{LV}$ , può essere assunta pari a 3/4 del valore ultimo  $\theta_u$  determinato per la condizione di collasso di seguito descritta.

### Rotazione allo Stato limite di collasso

La capacità di rotazione totale rispetto alla corda in condizioni di collasso  $\theta_u$  può essere valutata mediante formule di comprovata validità, tra cui si opta per quella fornita dalla circolare esplicativa delle NTC2018 mediante la seguente espressione:

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{el}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[ \frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left( \frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\left( \alpha p_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 p_d})$$

dove:

- $\gamma_{el} = 1.5$  per gli elementi primari ed 1.0 per gli elementi secondari (vedi § 7.2.3 delle NTC);
- $L_v$  è la luce di taglio rappresentata in FIGURA 9.3;
- $h$  è l'altezza della sezione;
- $v = N/(A_c f_c)$  è lo sforzo assiale normalizzato di compressione agente su tutta la sezione  $A_c$ ;
- $\omega$  e  $\omega'$  rappresentano rispettivamente le percentuali meccaniche di armatura longitudinale in trazione e compressione;
- $f_c$ ,  $f_y$  e  $f_{yw}$  sono la resistenza a compressione del calcestruzzo e la resistenza a snervamento dell'acciaio, longitudinale e trasversale, ottenute come media delle prove eseguite in sito, eventualmente corrette sulla base di fonti aggiuntive di informazione, divise per il fattore di confidenza appropriato in relazione al Livello di Conoscenza raggiunto;
- $\rho_{sx} = A_{sx} / b_w \cdot s_h$  è la percentuale di armatura trasversale ( $s_h$  rappresenta l'interasse delle staffe nella zona critica);
- $\rho_d$  è la percentuale di eventuali armature diagonali in ciascuna direzione,
- $\alpha$  è un fattore di efficienza del confinamento dato dalle staffe, secondo la formulazione dettagliata nell'appendice della circolare esplicativa.

La FIGURA 9.4 mostra la curva di comportamento, denominata anche *backbone*, da applicare al grado di libertà rotazionale dell'elemento trave lungo il piano di flessione: con il simbolo "LS" è rappresentato proprio la capacità rotazionale allo stato limite SLV.

Per quanto riguarda le colonne, è tuttavia possibile specificare un comportamento accoppiato forza assiale-momento biassiale; il risultato è una cerniera denominata dal software P-M2-M3, la cui peculiarità è quella di modificare il suo stato spostandosi attraverso interpolazione tra curve momento-rotazione multiple, grazie alla definizione del dominio di resistenza tridimensionale della sezione.

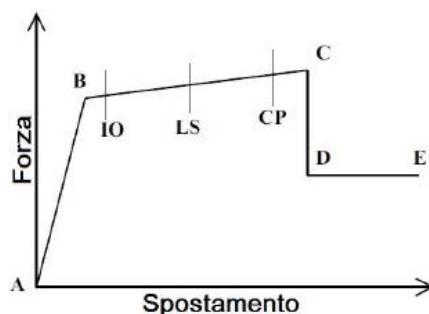


FIGURA 9.4 – SCHEMA DI UNA CURVA MOMENTO ROTAZIONE CON LA DEFINIZIONE DELLE CAPACITÀ PRESTAZIONALI

Per quanto riguarda le diagonali di controvento, la cerniera plastica assegnata dal software di calcolo riguarda il grado di libertà assiale dell'elemento soggetto prevalentemente a sforzo normale; in tal caso il legame forza – spostamento è asimmetrico in quanto in regime di compressione si tiene conto che lo sforzo normale ultimo è legato al problema dell'instabilità per carico di punta, superato il quale si ha un degrado di resistenza e rigidezza (meccanismo di tipo fragile).

### 9.2.3. Analisi dinamica non lineare

L'analisi non lineare dinamica consiste nel calcolo della risposta sismica della struttura mediante integrazione delle equazioni del moto, utilizzando un modello con comportamento non lineare del sistema di isolamento e lineare della struttura, ed applicando in ingresso gli accelerogrammi definiti in precedenza (vedi §8.6). L'analisi dinamica non lineare deve essere confrontata con una analisi modale con spettro di risposta di progetto, al fine di controllare le differenze in termini di sollecitazioni globali alla base delle strutture.

Se la risposta viene valutata mediante analisi dinamica con integrazione al passo, le due componenti accelerometriche orizzontali (e quella verticale, ove necessario) sono applicate simultaneamente a formare un gruppo di accelerogrammi e gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi, se si utilizzano almeno 7 diversi gruppi di accelerogrammi, dai valori più sfavorevoli degli effetti, in caso contrario.

In nessun caso si possono adottare meno di tre gruppi di accelerogrammi. Nel caso in cui sia necessario valutare gli effetti della variabilità spaziale del moto, l'analisi deve essere eseguita imponendo alla base della costruzione storie temporali del moto sismico differenziate ma coerenti tra loro e generate in accordo con lo spettro di risposta appropriato per ciascun supporto.

#### 9.2.3.1. Applicazione al caso dei sistemi con isolamento sismico

L'analisi dinamica non lineare diventa obbligatoria quando il sistema di dissipazione non può essere rappresentato da un modello lineare equivalente ed è per ovvie ragioni preferibile quando si ha a che fare con sistemi dissipativi fortemente non lineari, come per il caso specifico; in tal caso non si commettono errori importanti se si fa riferimento ad un modello in cui gli elementi di nuova realizzazione, che si progettano per restare in campo elastico, operano in campo lineare mentre gli elementi del sistema di dissipazione, così come gli elementi della struttura esistente, operano in campo non lineare, riproducendone al meglio il suo comportamento ciclico. Particolare attenzione va posta nella scelta dei parametri di smorzamento viscoso del sistema strutturale.

#### 9.2.3.2. Definizioni di alcune ipotesi di comportamento

In base alle generalità e prescrizioni normative enunciate fino ad ora, si ritiene di dover esplicitare i seguenti punti ritenuti significativi:

- ✓ trattandosi di una valutazione dell'esistente, al fine di controllare i meccanismi duttili necessita tenere in conto della non linearità meccanica degli elementi strutturali appartenenti alla struttura esistente, in modo da controllarne l'eventuale plasticizzazione e poter eseguire le verifiche di duttilità in termini di rotazione alla corda;
- ✓ i dissipatori fluido-viscosi adottati hanno un comportamento dipendente dalla velocità fortemente non lineare. Per tale motivo si ritiene opportuno effettuare, ai fini del dimensionamento di tale dispositivi, analisi dinamiche non lineari con dissipatori in campo non lineare; oltretutto la lettura dei diagrammi temporali degli spostamenti e degli sforzi assiali agenti su ciascuno dei dispositivi ne permetteranno una valutazione più accurata;
- ✓ è opportuno modellare insieme struttura esistente – dissipatori ed esoscheletri, adottando quindi un unico modello agli elementi finiti, in grado di cogliere eventuali “debolezze” del sistema strutturale complessivo, come ad esempio la rigidità laterale degli esoscheletri onde permettere una adeguata dissipazione dei dispositivi di protezione sismica;

- ✓ Per la valutazione del comportamento delle sole strutture nell'ambito delle analisi non lineari, il modello agli elementi finiti si considera incastrato alla base, ipotesi che si ritiene essere attendibile visto il sistema di fondazione con platea nervata, nonché il graticcio di travi presente appena al di sopra.

### **9.3. Metodologia applicativa e modelli agli elementi finiti sviluppati**

Seguendo le considerazioni riportate ai paragrafi precedenti, di seguito è riportata una sintesi delle fasi di analisi e verifica adottate per la struttura oggetto di calcolo strutturale.

#### **9.3.1. Dimensionamento del sistema di dissipazione**

1) ANALISI MODALE ANTE-OPERAM (RIGIDEZZE FESSURATE SECONDO §7.2.6 DEL D.M. 17/01/2018)

- ✓ Si controlla la regolarità della struttura (eccentricità tra baricentro delle masse e delle rigidezze lungo tutti i livelli) e si determinano, per i modi naturali più significativi, la percentuale di massa eccitata nelle due direzioni principali ed il periodo di vibrazione, al fine di valutare il tipo di distribuzione delle azioni orizzontali per le analisi statiche non lineari;

2) ANALISI PUSH-OVER ANTE-OPERAM (RIGIDEZZE FESSURATE SECONDO §7.2.6 DEL D.M. 17/01/2018):

Si procede attraverso i seguenti passi:

- a. *CURVA DI PUSH-OVER*: si determina la curva di capacità della struttura per la distribuzione di forza più sfavorevole per ciascuna direzione principale dell'azione sismica;
- b. *DETERMINAZIONE DEL PUNTO PRESTAZIONALE PER LO STATO LIMITE SLV*: si determina, per la distribuzione di forza più sfavorevole per ciascuna direzione principale dell'azione sismica, la curva di capacità del sistema equivalente ad un grado di libertà (SDOF), e dal confronto con lo spettro di domanda si valuta il punto prestazionale (Metodo N2 descritto al §9.2.2); in particolare, con riferimento alla distribuzione più sfavorevole, si determina il valore dell'accelerazione di picco al suolo ( $PGA_{CLV}$ ) per cui la capacità strutturale allo SLV coincide con la domanda sismica, con riferimento a:
  - ✓ meccanismi duttili a flessione nelle travi e presso-flessione nei pilastri, sia per le strutture in c.a. che per i rinforzi in acciaio realizzati nel '96;
  - ✓ meccanismi fragili di instabilità nelle diagonali di controvento soggette a compressione, sempre per i controventi di acciaio realizzati nel '96.



Da sottolineare che, ai fini del dimensionamento dei dispositivi di dissipazione, non si controllano i meccanismi fragili (taglio nelle travi e nei pilastri, taglio nei nodi trave-pilastro) in quanto è una procedura che si eseguirà direttamente in fase di verifica, intervenendo localmente attraverso metodi tradizionali.

### 9.3.2. Verifica del sistema di dissipazione stato limite SLC

- 3) ANALISI TIME HISTORY CON SISTEMA DI DISSIPAZIONE E STRUTTURA ESISTENTE A COMPORTAMENTO NON LINEARE, ESOSCHELETRI IN CAMPO LINEARE (RIGIDENZE FESSURATE SECONDO §7.2.6 DEL D.M. 17/01/18):
- ✓ si effettua la verifica degli spostamenti, delle velocità e dei carichi massimi dei dissipatori allo stato limite SLC, con controllo dei cicli isteretici;
  - ✓ si valuta, per ciascuna direzione prevalente del sisma attraverso la lettura del bilancio energetico, la percentuale di energia dissipata da attribuire ai dispositivi, onde pervenire al coefficiente di smorzamento equivalente  $\xi$  da poter utilizzare nell'ambito delle analisi dinamiche lineari con spettro di risposta.

Per eseguire le verifiche appena elencate, necessita di un modello raffinato, in cui si modellano fisicamente i vari orizzontamenti vista l'irregolarità in pianta (non è possibile fare riferimento all'ipotesi di impalcato rigido). A tal fine, si utilizza il software Midas Gen, che tra le altre cose possiede al suo interno degli elementi denominati *NNlink* in cui concentrare il corretto comportamento dei dispositivi fluido-viscosi fornendo direttamente in input i parametri principali che li caratterizzano.

### 9.3.3. Verifica della sovrastruttura stato limite SLV

- 4) ANALISI TIME HISTORY CON SISTEMA DI DISSIPAZIONE E STRUTTURA ESISTENTE A COMPORTAMENTO NON LINEARE, ESOSCHELETRI IN CAMPO LINEARE (RIGIDENZE FESSURATE SECONDO §7.2.6 DEL D.M. 17/01/18)
- ✓ si controlla la verifica dei meccanismi duttili della struttura esistente in termini di rotazione alla corda, al fine di dimostrare l'efficacia dell'intervento di adeguamento sismico.

Per tenere in conto la non linearità meccanica negli elementi strutturali tradizionali (meccanismi duttili), si utilizza la formulazione a plasticità concentrata già descritta al §9.2.2.3 della presente relazione, che però si riferisce al comportamento non lineare per carico monotono. In ambito dinamico non lineare diviene necessario definire il modello di isteresi

della cerniera plastica ed il comportamento devierà dalla curva *backbone*. Tra i diversi modelli di isteresi disponibili in letteratura (la maggior parte di essi differiscono nella quantità di energia dissipata in un dato ciclo di deformazione), per il caso in esame si è adottato per il c.a. il modello degradante *Takeda* rappresentato nell'immagine a sinistra di FIGURA 9.5, molto semplice in quanto segue la curva di carico monotono, con tratti di scarico paralleli al tratto elastico fino al cambio di segno, quindi si passa ad una rigidezza secante fino a convergere sul quadrante opposto della curva monotona. Nel caso dell'acciaio si utilizza invece il classico modello con incrudimento cinematico, dove per azione ciclica lo snervamento dipende da quello di segno opposto ottenuto al ciclo precedente.



FIGURA 9.5 – MODELLO DI ISTERESI PER CALCESTRUZZO ARMATO (IMMAGINE SX) E ACCIAIO (DX) IN CASO DI CARICO CICLICO CRESCENTE

- ✓ si controlla la verifica dei meccanismi fragili della struttura esistente in termini di resistenza a taglio di travi e pilastri;
- ✓ si controlla la verifica dei meccanismi fragili della struttura esistente in termini di resistenza del meccanismo tirante -puntone dei nodi trave-pilastro non confinati.

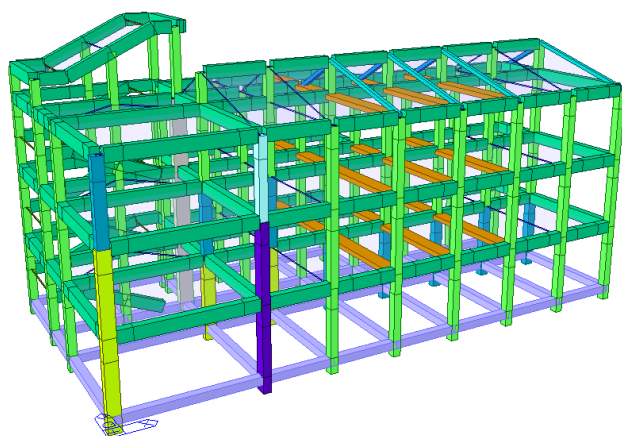
#### 9.3.4. Verifica degli esoscheletri stato limite SLC

##### 5) ANALISI STATICA LINEARE INDIPENDENTE PER SINGOLO DISPOSITIVO

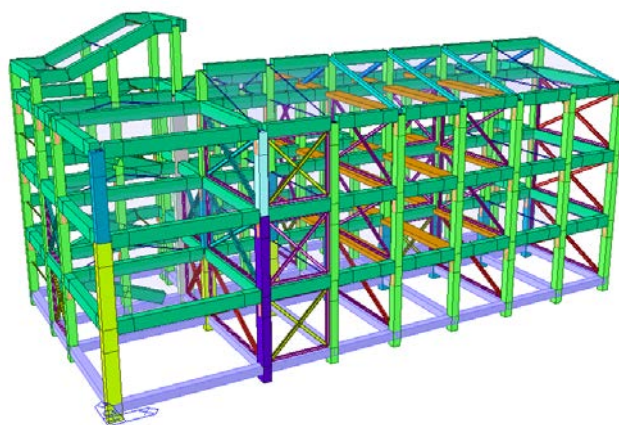
- ✓ Poiché gli esoscheletri hanno comportamento indipendente da quello della struttura esistente e non “portano” carichi verticali aggiuntivi, si eseguono analisi statiche lineari separate, dove le forze laterali sono quelle massime trasmissibili dai dissipatori agli ultimi due livelli. Si eseguono quindi verifiche di resistenza e stabilità agli stati limite ultimi nel rispetto di quanto indicato al §4.2.4.1 delle NTC2018.

### 9.3.5. Modelli agli elementi finiti

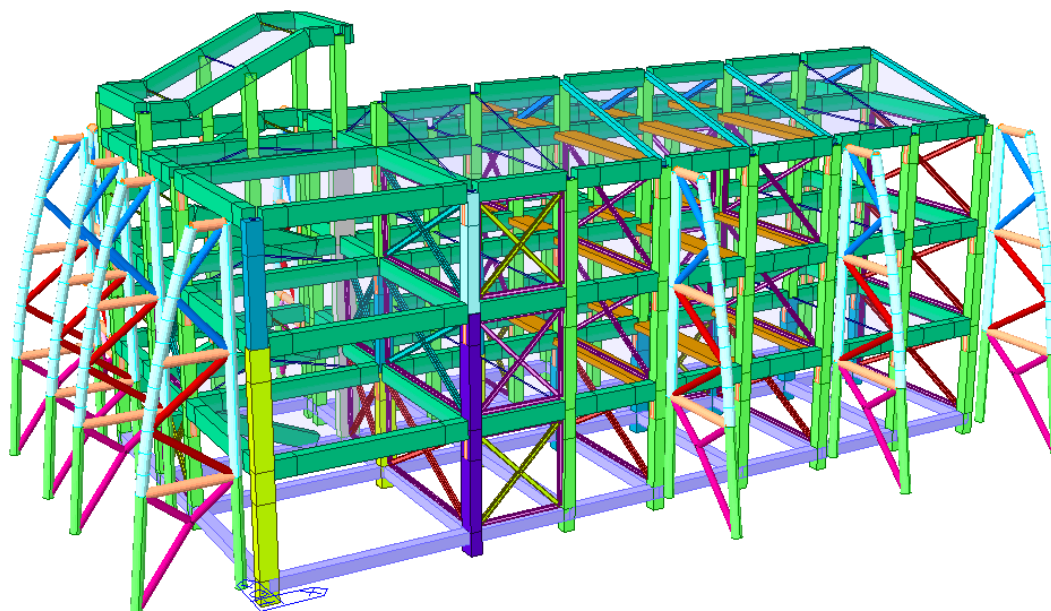
Si mostrano di seguito alcune viste del modello agli elementi finiti realizzati per il blocco A e per il blocco B. Si vuole sottolineare che, prima dell'applicazione delle forze sismiche, siano esse accelerogrammi imposti o forze statiche equivalenti, sulla struttura è stata eseguita un'analisi per fasi in modo da tenere correttamente conto degli interventi di rinforzo che sono stati realizzati in epoca successiva; solo in questo modo, difatti, è possibile “caricare” le travi ed i pilastri esistenti in c.a., senza contributo dei controventi concentrici in acciaio, che nel caso di analisi unica assorbirebbero invece un'aliquota importante del carico riducendo perciò le sollecitazioni sugli elementi in c.a. ed allontanando la modellazione dal comportamento reale.



Fase 1: struttura esistente



Fase 2: interventi di rinforzo '96



Fase 3: realizzazione esoscheletri esterni

FIGURA 9.6 – BLOCCO A: FASI COSTRUTTIVE IMPLEMENTATE NEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN

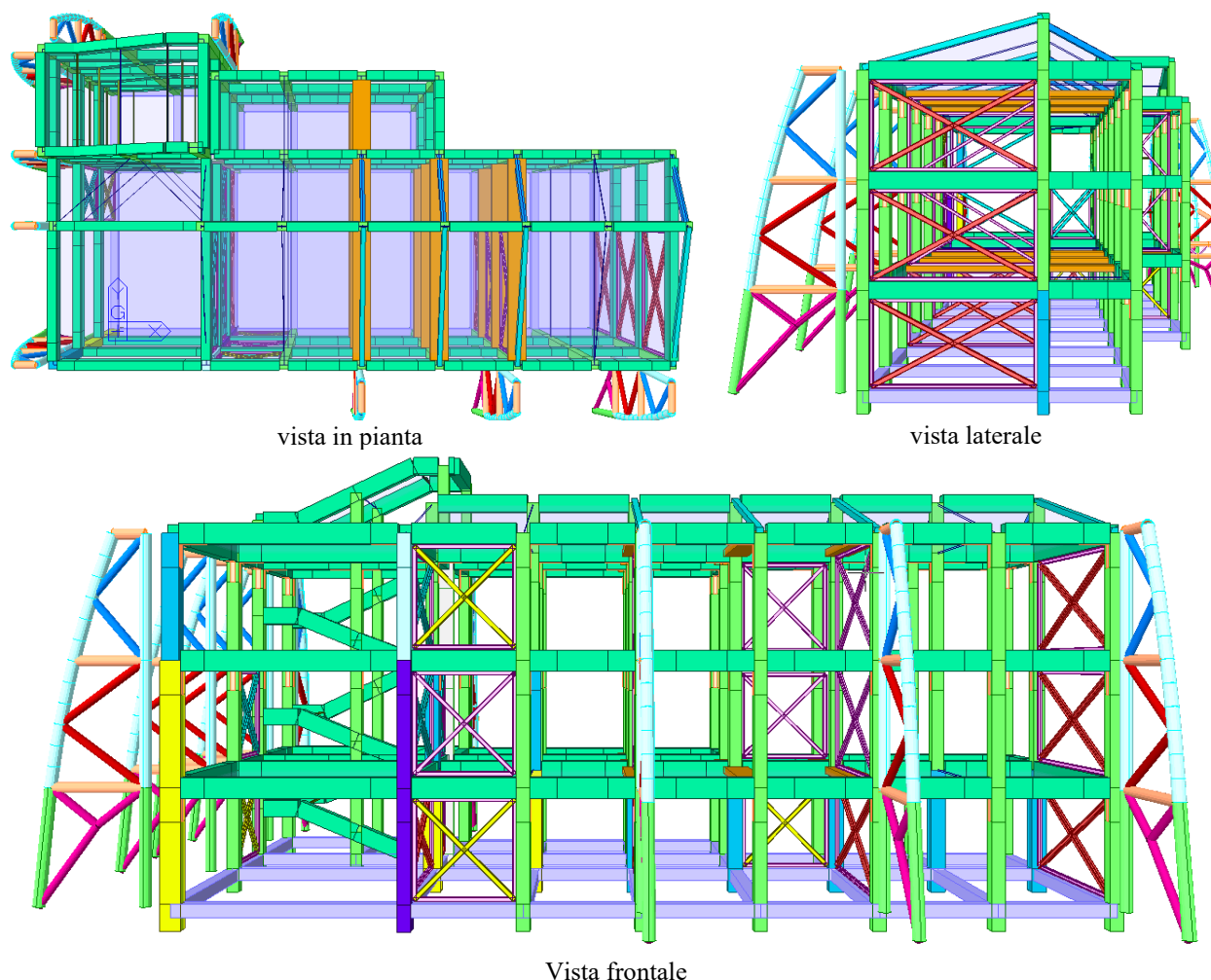


FIGURA 9.7 – BLOCCO A: DIVERSE VISTE IN MODALITÀ ESTRUSA DEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN

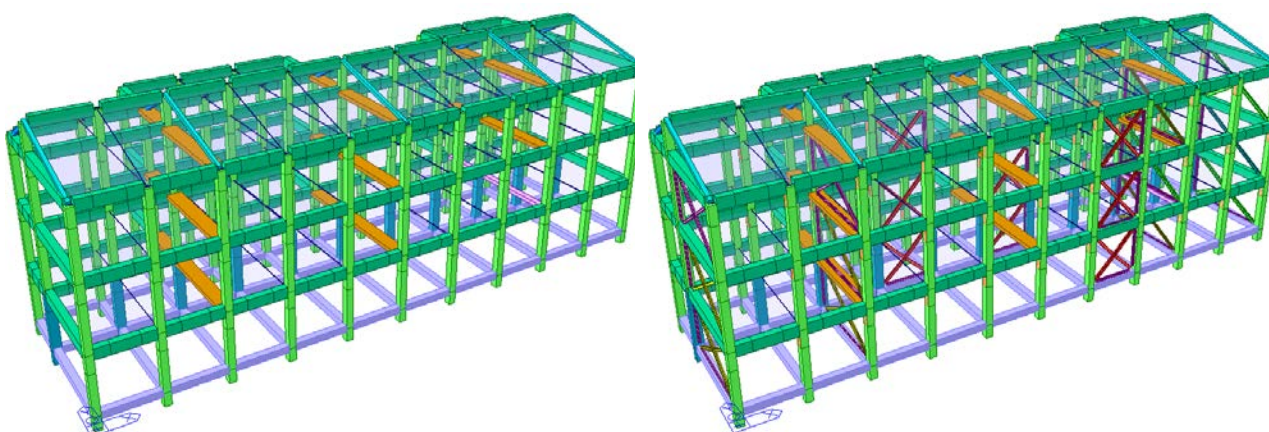
Le immagini stralciate in FIGURA 9.6, FIGURA 9.7 e FIGURA 9.8, FIGURA 9.9 rispettivamente per il blocco A e per il blocco B, mostrano l'adozione di n.3 fasi:

- Fase 1: modellazione della sola struttura originaria, progettata negli anni '60;
- Fase 2: inserimento degli elementi di rinforzo progettati nel '96 e specificati dettagliatamente al §5 della presente relazione;
- Fase 3: Realizzazione degli esoscheletri esterni in carpenteria metallica ed inserimento dei dissipatori fluido-viscosi mediante *NNlink* dettagliati nel seguito.

Altri aspetti di modellazione da sottolineare sono:

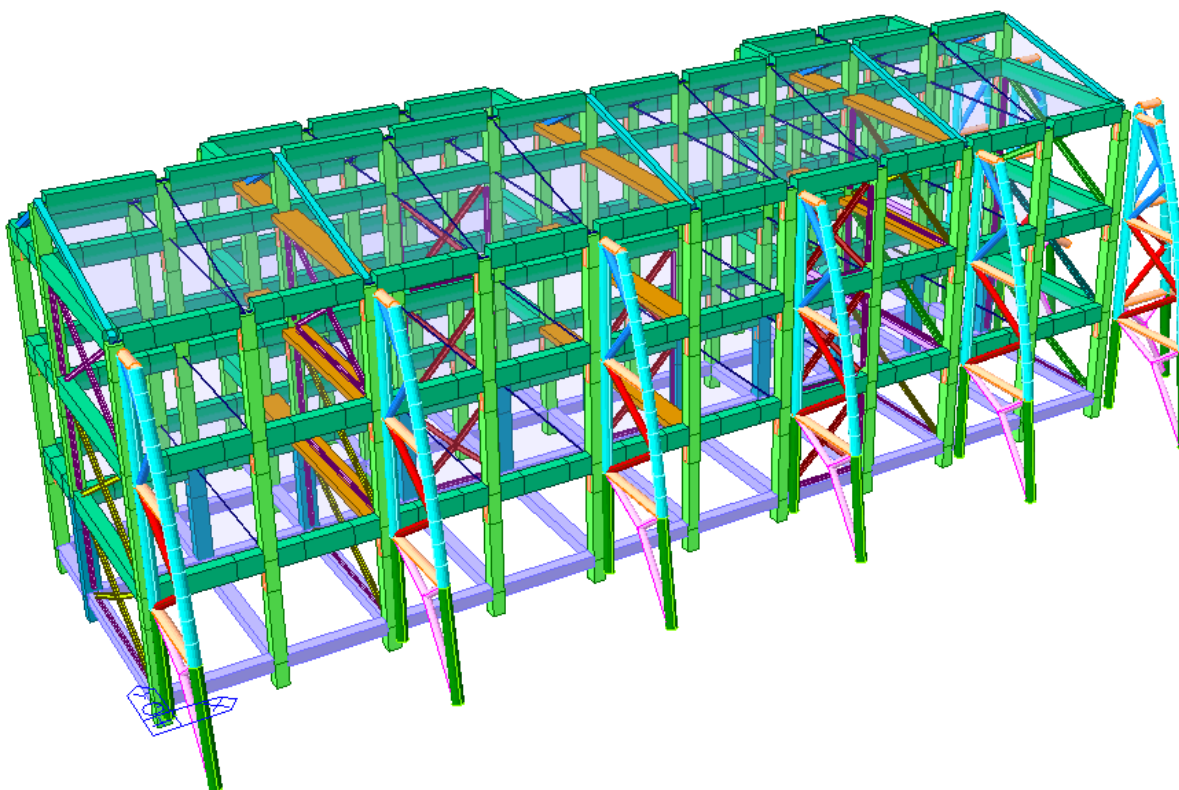
- ✓ la modellazione degli orizzontamenti con elementi lastra, il cui spessore è pari a quello della cappa in c.a. pari a 5 cm, onde simulare correttamente la rigidità del solaio nel proprio piano;

- ✓ l'inserimento del graticcio delle travi di collegamento più volte menzionate nella parte iniziale della relazione, importante poiché riduce l'altezza di interpiano dei pilastri del 1° livello, come già avuto modo di sottolineare;
- ✓ l'ipotesi di incastro alla base, vista la platea nervata realizzata a seguito degli interventi di rinforzo del '96;
- ✓ il rilascio delle rotazioni flessionali (*beam and release*) sui profili metallici di rinforzo realizzati nel '96, vista la tipologia di nodo prevista nel progetto dell'epoca.



Fase 1: struttura esistente

Fase 2: interventi di rinforzo '96



Fase 3: realizzazione esoscheletri esterni

FIGURA 9.8 – BLOCCO B: FASI COSTRUTTIVE IMPLEMENTATE NEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN



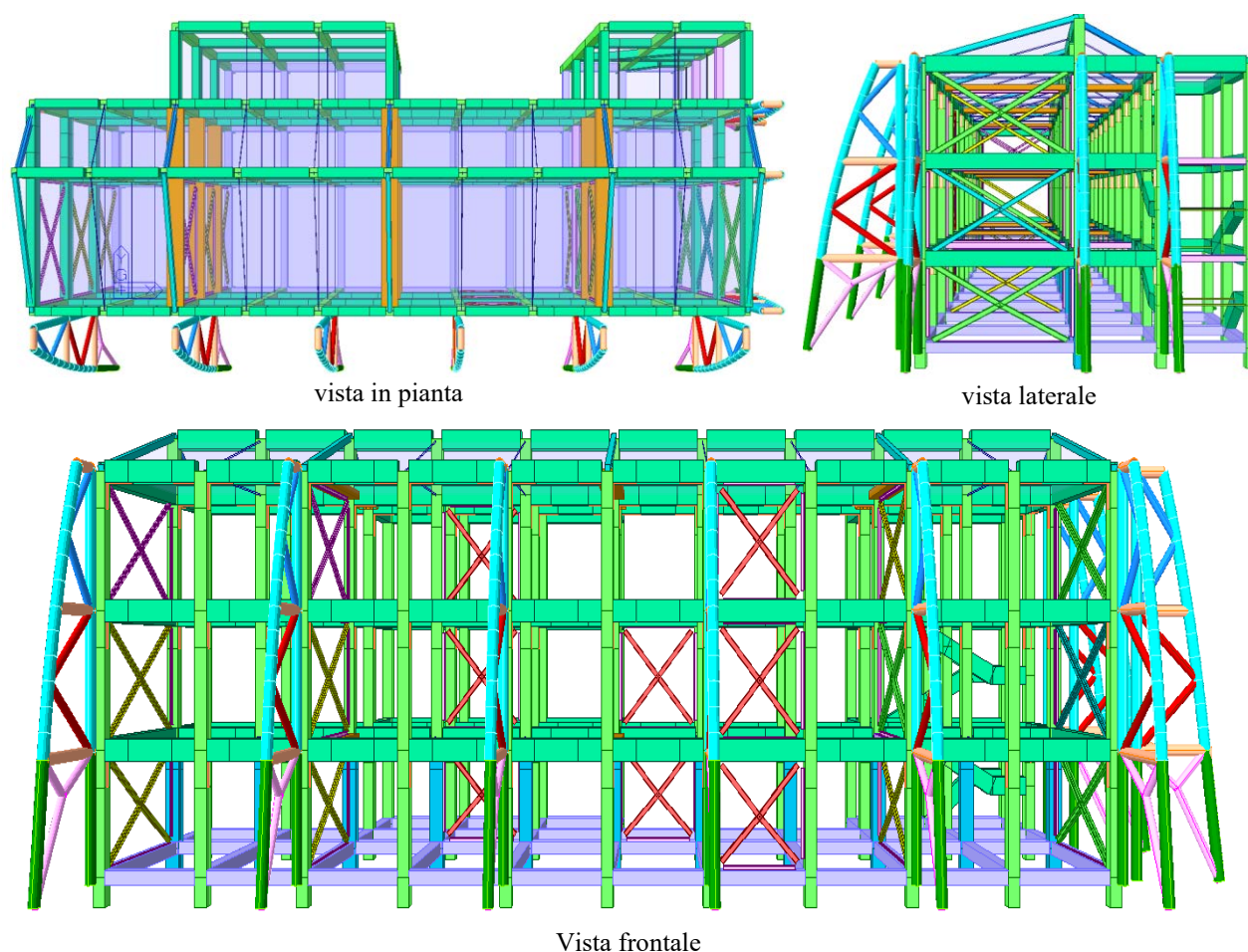


FIGURA 9.9 – BLOCCO B: DIVERSE VISTE IN MODALITÀ ESTRUSA DEL MODELLO FEM REALIZZATO CON MIDAS GEN

#### 9.3.5.1. Ipotesi di modellazione per gli interventi di rinforzo del '96

Per tenere in conto degli interventi di rinforzo, al fine di semplificare quanto più possibile la modellazione ed evitare di incorrere in errori, si sono adottate differenti metodologie; in particolare:

- a. Sia le piastre metalliche applicate agli estremi di trave e pilastro, sia i controventi in acciaio, sono stati inseriti fisicamente nella fase 2 del modello di calcolo appena rappresentato, secondo il modello unifilare visualizzato in FIGURA 9.10; è stata cioè realizzata una maglia interna di nodi, separati dagli elementi beam rappresentativi dei telai in c.a., ad essi collegati mediante vincoli rigidi. Fanno però eccezione le diagonali di controvento che, per tenere in conto della limitata resistenza dell'unione bullonata, sono collegati mediante NNlink a comportamento elasto-plastico perfetto, la cui resistenza è legata a quella minima dell'unione bullonata. Tale resistenza è stata valutata utilizzando le espressioni di calcolo fornite al §4.2.8.1 delle NTC2018 ed implementate su un foglio excel; i risultati sono quelli mostrati nella Tabella 1.

Tabella 1 – Valutazione della resistenza a taglio dell'unione bullonata esistente eseguita durante i lavori di rinforzo del '96

| MATERIALE |                      |                      |               |                      |                      |               |               |
|-----------|----------------------|----------------------|---------------|----------------------|----------------------|---------------|---------------|
| classe    | $f_{tb}$             | $f_{yb}$             | $\gamma_{M2}$ | $f_{yk}$             | $f_{tk}$             | $\gamma_{M0}$ | $\gamma_{Rd}$ |
| -         | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -             | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -             | -             |
| 5.6       | 500                  | 300                  | 1.25          | 275                  | 430                  | 1.05          | 1.05          |

| Geometria nodo |           |       |       |           |       |       |       |       |      |       |           |           |
|----------------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-----------|-----------|
| bullone        | $t_{min}$ | $n_p$ | $n_t$ | $n_{sup}$ | $e_1$ | $e_2$ | $p_1$ | $p_2$ | $d$  | $d_0$ | $l_{min}$ | $b_{min}$ |
| -              | [mm]      | -     | -     | -         | [mm]  | [mm]  | [mm]  | [mm]  | [mm] | [mm]  | [mm]      | [mm]      |
| M20            | 10        | 3     | 2     | 1         | 50    | 70    | 70    | 70    | 20   | 20.6  | 240       | 210       |

| Resistenza a rifollamento |            |       |            |               |                 |                 |             |            | Resistenza a taglio |            |             |
|---------------------------|------------|-------|------------|---------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|---------------------|------------|-------------|
| $k_1$                     | $\alpha_1$ | $k_2$ | $\alpha_2$ | $f_{b,bordo}$ | $f_{b,bordo,p}$ | $f_{b,bordo,t}$ | $f_{b,int}$ | $F_{b,Rd}$ | $A_{res}$           | $f_{V,Rd}$ | $F'_{V,Rd}$ |
| -                         | -          | -     | -          | [kN]          | [kN]            | [kN]            | [kN]        | [kN]       | [mm <sup>2</sup> ]  | [kN]       | [kN]        |
| 2.500                     | 0.809      | 2.500 | 0.883      | 139.159       | 151.822         | 139.159         | 151.822     | 860.278    | 245                 | 58.800     | 352.800     |

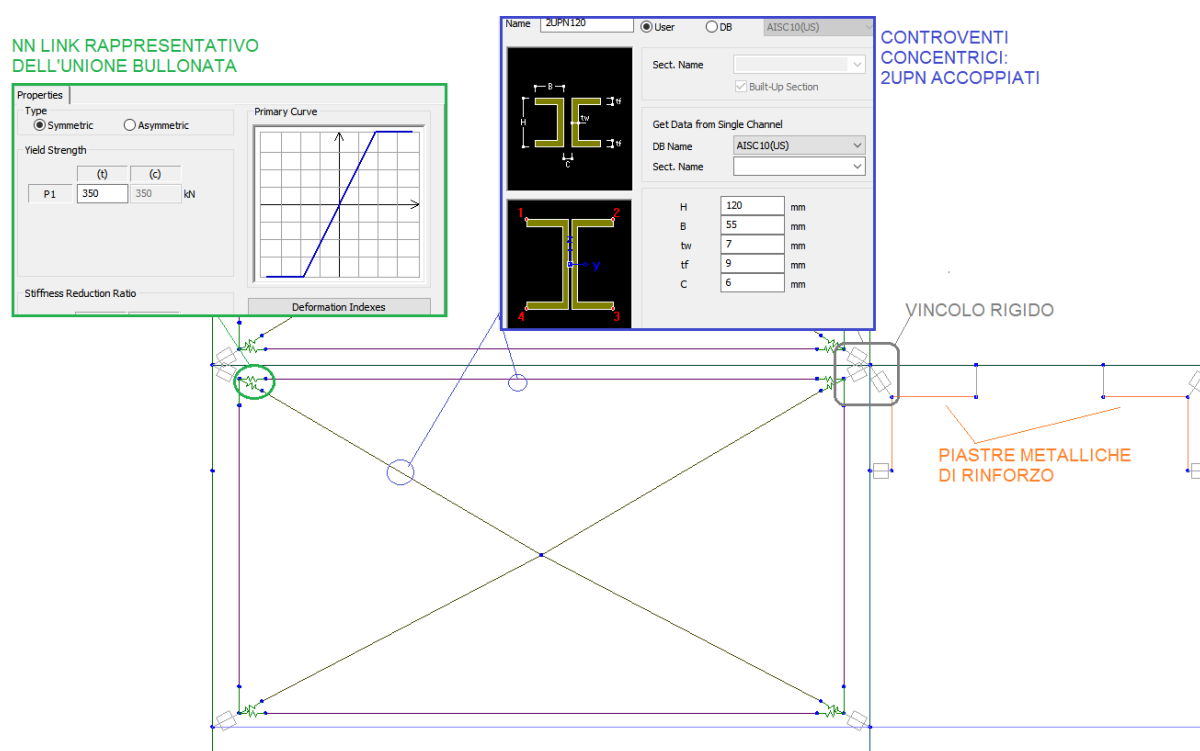


FIGURA 9.10 – DETTAGLIO DI MODELLAZIONE DEL RINFORZO DI UNA MAGLIA DI TELAIO CON PIASTRA METALLICA E CONTROVENTI CONCENTRICI

- b. Il confinamento dei pilastri con la tecnica dei calastrelli ed angolari è invece tenuto in conto attraverso un incremento di resistenza e duttilità del legame costitutivo del cls, che quindi interviene nell'incremento del legame momento-rotazione attribuito ai pilastri interessati dall'intervento.

Per quantificare il contributo del confinamento locale ottenuto con l'applicazione dell'incamiciatura metallica, si segue la procedura indicata nell'appendice alla circolare



esplicativa delle NTC2018; in particolare, si ricorda che l'effetto di confinamento di una camicia in acciaio ha due contributi favorevoli sul nucleo di cls rinforzato: da una parte si ottiene l'incremento di resistenza a compressione del cls confinato  $f_{cc}$ , dall'altra si ha un incremento della sua deformazione ultima  $\varepsilon_{ccu}$ . Le formulazioni utilizzate per la determinazione di tali contributi sono particolarizzate al sistema di rinforzo esaminato.

### Resistenza del conglomerato confinato

La resistenza a compressione del cls confinato  $f_{cc}$  è funzione di quella del cls non confinato  $f_c$  mediante la seguente espressione:

$$f_{cc} = f_c \left[ 1 + 3.7 \left( \frac{0.5 \alpha_n \alpha_s \rho_s f_y}{f_c} \right)^{0.86} \right]$$

dove:

- $\rho_s$  è il rapporto volumetrico di armatura trasversale, pari a:

$$\rho_s = 2 A_s (b+h) / (b \cdot h \cdot s)$$

con:

- $b$  e  $h$  dimensioni geometriche della sezione resistente;
- $A_s = s_{cal} \cdot h_{cal}$  area della sezione trasversale del calastrello, essendo  $s_{cal}$  e  $h_{cal}$  rispettivamente lo spessore e l'altezza dell'elemento metallico;
- $s$  passo dei calastrelli;
- $\alpha_n$  ed  $\alpha_s$  sono i fattori di efficienza del confinamento, rispettivamente nella sezione e lungo lo sviluppo longitudinale dell'elemento, dati da:

$$\begin{cases} \alpha_n = 1 - \frac{(b - 2R)^2 + (h - 2R)^2}{3bh} \\ \alpha_s = \left( 1 - \frac{s - h_{cal}}{2b} \right) \left( 1 - \frac{s - h_{cal}}{2h} \right) \end{cases}$$

con:

- $R$  raggio di arrotondamento (eventuale) degli spigoli della sezione; in presenza di angolari,  $R$  può essere assunto pari al minore tra la lunghezza del lato degli angolari e 5 volte lo spessore degli stessi  $s_{cal}$ .

- $f_y$  è la tensione di snervamento di progetto dell'incamiciatura metallica, ottenuta dividendo il valore caratteristico  $f_{yk}$  per il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_{M0}$  definito dalla normativa vigente.

Deformazione ultima del conglomerato confinato:

Anche la deformazione ultima del cls confinato  $\varepsilon_{ccu}$  è funzione di quella convenzionale assunta per il cls non confinato  $\varepsilon_{cu}$ , maggiorata in relazione all'efficienza del confinamento secondo la seguente espressione:

$$\varepsilon_{ccu} = \varepsilon_{cu} + 0.5 \frac{0.5\alpha_n\alpha_s\rho_s f_y}{f_{cc}}$$

con il significato dei simboli già fornito in precedenza.

Nelle due equazioni precedenti il valore da impiegare per la resistenza del cls non confinato coincide con il valore medio  $f_{cm}$  diviso per il fattore di confidenza FC, determinato al §7.1.1 della presente relazione.

Applicando in definitiva le espressioni riportate su un foglio di lavoro excel, si ottengono i valori di resistenza e duttilità da utilizzare per migliorare il legame momento-rotazione del pilastro stesso (vedi Tabella 2).

Tabella 2 – Valutazione dell'incremento di duttilità e resistenza locale del cls confinato con intervento del '96

| Dati materiali       |                      |     |               | Dati sezione in c.a. |      |      | Dati Calastrelli |       |      | Dati Angulari |       |
|----------------------|----------------------|-----|---------------|----------------------|------|------|------------------|-------|------|---------------|-------|
| $f_{cm}$             | $f_{ywk}$            | FC  | $\gamma_{M0}$ | b                    | h    | c    | $t_s$            | $h_s$ | s    | $l_a$         | $t_a$ |
| [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] | -   | -             | [cm]                 | [cm] | [cm] | [mm]             | [mm]  | [cm] | [mm]          | [mm]  |
| 19.74                | 275                  | 1.2 | 1.05          | 40                   | 40   | 3    | 8                | 60    | 25   | 60            | 10    |

| Per incrementi resistenza e duttilità |            |            |      | Confinamento resistenza |                      |                      | k<br>1.308 | Conf_duttilità |                    |
|---------------------------------------|------------|------------|------|-------------------------|----------------------|----------------------|------------|----------------|--------------------|
| $\rho_s$                              | $\alpha_n$ | $\alpha_s$ | R    | Molt.                   | $f_{cc}$             | $f_{cc,m}$           |            | Def. Agg.      | $\varepsilon_{cu}$ |
| -                                     | -          | -          | [cm] | [N/mm <sup>2</sup> ]    | [N/mm <sup>2</sup> ] | [N/mm <sup>2</sup> ] |            | -              | -                  |
| 0.0192                                | 0.625      | 0.581406   | 5    | 1.31                    | 21.52                | 25.82                |            | 0.02777        | 0.03177            |

In particolare, poiché il software di calcolo valuta in automatico il diagramma momento-rotazione a partire dalle barre di armatura fornite in input e dalle proprietà dei materiali, è importante definire un nuovo materiale avente una resistenza a cls incrementata del fattore k evidenziato in tabella. Per quel che riguarda la rotazione ultima, invece, essendo valutata dal software non con riferimento al diagramma momento-curvatura ma utilizzando l'espressione

indicata al § 9.2.2.3, l'effetto sulla duttilità interviene attraverso il fattore  $\alpha$  di efficienza del confinamento e attraverso la percentuale geometrica dell'armatura trasversale; per tale motivo in questo caso è bastato fornire, come armatura trasversale in input lo stesso passo e staffe equivalenti in termini di area a quella dei calastrelli, da aggiungere all'area delle staffe esistenti; è facile verificare che quanto detto corrisponde a considerare staffe  $\phi 12/5$  cm, come rappresentato a titolo di esempio nell'immagine seguente stralciata dal software di calcolo utilizzato.

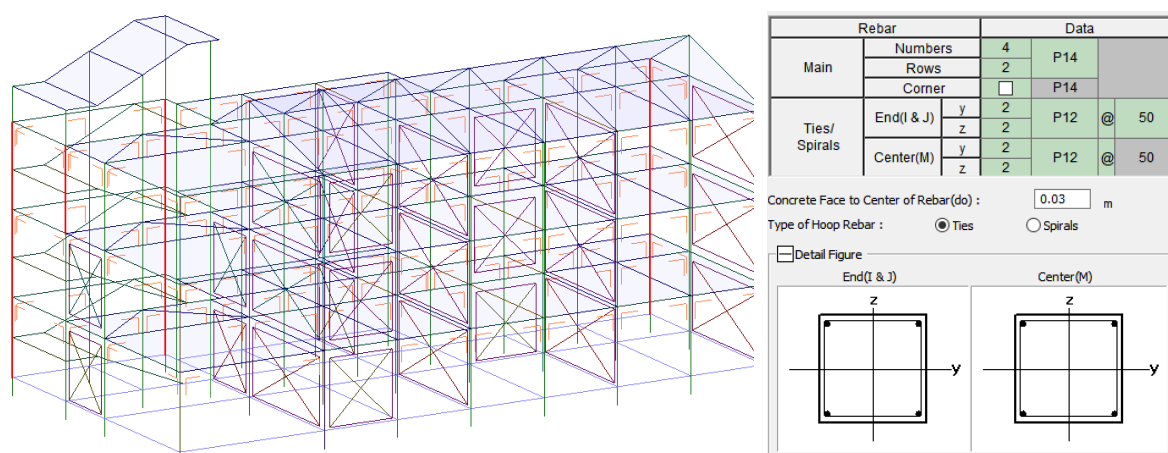


FIGURA 9.11 – STRALCIO DELL'ARMATURA IN INPUT PER I PILASTRI RINFORZATI CON CALASTRELLI ED ANGOLARI

#### 9.3.5.2. Controllo dei meccanismi fragili

Come già indicato in precedenza, il modello non tiene conto delle rotture fragili, per cui è necessario eseguire le verifiche di resistenza a posteriori attraverso la lettura degli sforzi di taglio massimi agenti sugli elementi strutturali ed evitare quindi collassi prematuri pericolosi proprio perché di natura fragile. Nel caso in esame si controllano i seguenti meccanismi (la capacità è da intendersi in termini di forze):

##### ✓ Travi e pilastri: taglio

Poiché l'intervento è tale da ridurre le azioni sugli elementi esistenti in c.a. grazie al sistema di protezione sismica passivo, la domanda di duttilità, come si avrà modo di vedere, è davvero molto bassa, ragione per cui, ai fini della valutazione della resistenza a taglio ciclica, si può considerare la formulazione classica indicata al §4.1.2.3.5.2 delle NTC2018 relativa agli elementi dotati di staffe resistenti al taglio, che oltretutto è quella indicata anche per la determinazione del taglio ciclico dalle NTC2018 quando l'elemento ha una domanda di duttilità locale, in termini di rotazione alla corda, al di sotto del valore unitario.

✓ Nodi trave pilastro: controllo dei meccanismi fragili e contributo del confinamento del pannello di nodo offerto dalla piastra metallica

Si riporta di seguito la verifica di resistenza dei nodi esistenti trave-pilastro secondo quanto prescritto dalla circolare esplicativa delle NTC2018. In particolare la tensione di compressione indotta dal meccanismo tirante-puntone non deve eccedere il 50% della resistenza a compressione di calcolo del calcestruzzo, mentre la tensione di trazione non deve eccedere il valore resistente, secondo le espressioni seguenti:

$$\sigma_{nt} = \left| \frac{N}{2A_g} - \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V}{A_g}\right)^2} \right| \leq f_{ctd}$$

$$\sigma_{nc} = \frac{N}{2A_g} + \sqrt{\left(\frac{N}{2A_g}\right)^2 + \left(\frac{V}{A_g}\right)^2} \leq 0.5 f_c$$

dove:

- $f_{ctd} = a \sqrt{f_{cd}}$ , con  $a$  pari rispettivamente a 0.30 e 0.20 per barre ad aderenza migliorata e barre lisce;
- $N$  indica l'azione assiale presente nel pilastro superiore;
- $V$  indica il taglio totale agente sul nodo, considerando sia il taglio derivante dall'azione presente nel pilastro superiore, sia quello dovuto alla sollecitazione di trazione presente nell'armatura longitudinale superiore della trave;
- $A_g = b_j \cdot h_{jc}$  indica la sezione orizzontale del nodo, essendo  $h_{jc}$  la distanza fra le giaciture più esterne di armatura del pilastro e  $b_j$  la larghezza effettiva del nodo assunta pari all'espressione seguente, secondo il significato dei simboli mostrato in FIGURA 9.12:

$$b_j = \min\{\max(b_{pil}; b_{trave}); \min(b_{pil} + 0.5h_{pil}; b_{trave} + 0.5h_{pil})\}$$

L'immagine di FIGURA 9.13 mostra chiaramente i meccanismi resistenti che entrano in gioco in seguito a prove sperimentali eseguite su un nodo tipico delle realizzazioni antecedenti gli anni '70 (nodi privi di staffe di confinamento e con barre lisce ancorate ad uncino). In particolare è possibile distinguere il meccanismo con puntone diagonale e l'espulsione del cuneo di cls più esterno in seguito alla spinta delle armature longitudinali del pilastro non confinate dalle staffe; dopo la formazione della prima fessura diagonale nel pannello di nodo, non si hanno difatti più risorse residue ed avviene la rottura fragile da scongiurare.

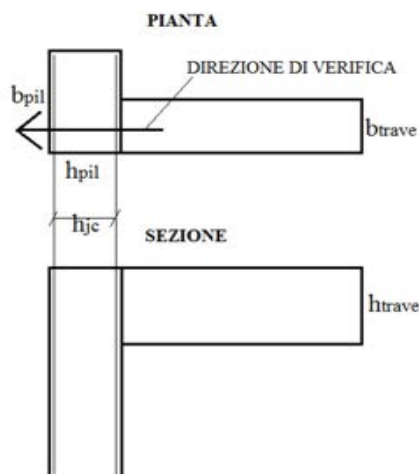


FIGURA 9.12 – SCHEMA DI UN NODO TRAVE-PILASTRO CON INDICAZIONE DELLA SIMBOLOGIA UTILIZZATA

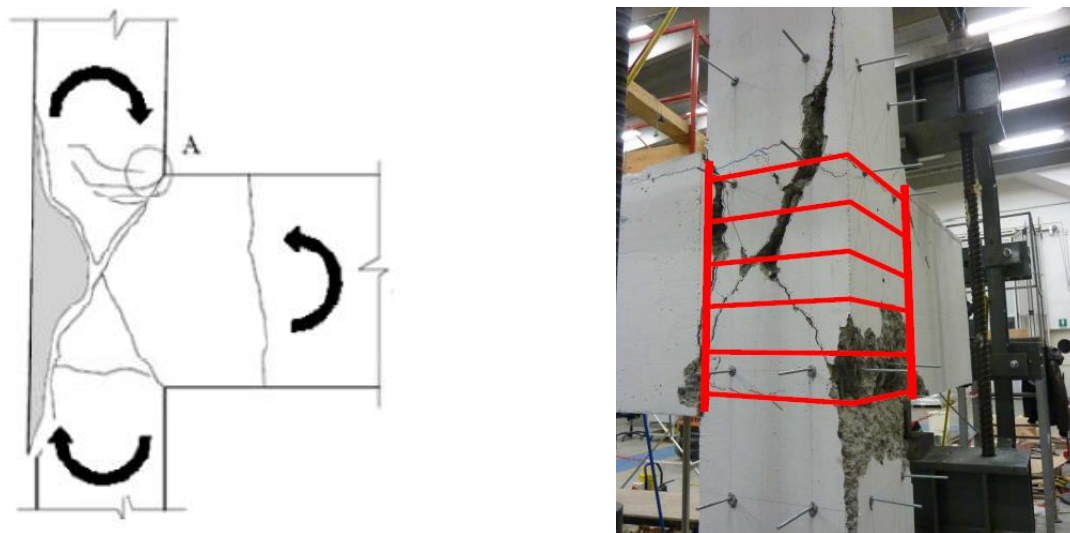


FIGURA 9.13 – MECCANISMO DI ROTTURA DI UN NODO TRAVE-PILASTRO CON ASSENZA DI STAFFE DI CONFINAMENTO

Sempre in FIGURA 9.13 (immagine a destra) si mostra in modo qualitativo l'effetto benefico che può avere l'inserimento della piastra metallica se opportunamente ancorata, simile a quello delle staffe all'interno del nodo: si ha in particolare la cucitura delle fessure diagonali evitando così l'imbozzamento delle barre longitudinali del pilastro ed inibendo quindi l'espulsione del cuneo di cls; inoltre si contengono le spinte degli uncini delle barre longitudinali delle travi.

Ai fini della formulazione utilizzata per il dimensionamento e la verifica delle placche metalliche, le si tratta alla stregua di staffe equivalenti, in cui il passo coincide con l'interasse tra i traversi ed il diametro è quello a cui corrisponde la stessa sezione trasversale. La verifica di resistenza è quella prescritta dal D.M. 17/01/18 - §7.4.4.3.1. "Verifiche di resistenza", in cui il contributo delle staffe equivalenti è tenuto in conto mediante la seguente espressione:

$$\frac{A_{sh} \cdot f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} \geq \frac{[V_{jbd} / (b_j \cdot h_{jc})]^2}{f_{ctd} + v_d \cdot f_{cd}} - f_{ctd}$$

dove:

- $A_{sh} f_{ywd}$  è lo sforzo orizzontale massimo sopportabile dalle staffe, essendo  $f_{ywd}$  la tensione di snervamento di progetto,  $A_{sh}$  l'area delle staffe presenti nel nodo legata al passo e al numero di braccia (nel caso del sistema specifico il numero di braccia è unitario);
- $V_{jbd} = \gamma_{Rd} \cdot (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 v_d)$  è l'azione tagliante agente per nodi interni;
- $V_{jbd} = \gamma_{Rd} \cdot A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot (1 - 0,8 v_d)$  è l'azione tagliante agente per nodi esterni;
- $\gamma_{Rd} = 1,20$  ;
- $A_{s1}$  ed  $A_{s2}$  sono rispettivamente l'area dell'armatura superiore ed inferiore della trave che converge nel nodo;
- $v_d$  è la forza assiale normalizzata agente al di sopra del nodo, per i nodi interni, al di sotto del nodo, per i nodi esterni.

Volendo però mantenere la stessa notazione in termini tensionali utilizzata per la verifica dei nodi esistenti in assenza di rinforzo (vedi espressione ad inizio paragrafo), è possibile fare riferimento alla seguente espressione derivante sempre dall'applicazione dei cerchi di Mohr, considerando la presenza aggiuntiva della tensione normale  $\sigma_{or}$  agente sulla faccia verticale del nodo (vedi schema di FIGURA 9.14):

$$\sigma_{nt} = \left| \left( \frac{N}{2A_g} + \frac{\sigma_{or}}{2} \right) - \sqrt{\left( \frac{N}{2A_g} - \frac{\sigma_{or}}{2} \right)^2 + \left( \frac{V}{A_g} \right)^2} \right| \leq 0.2 \sqrt{f_c}$$

$$\sigma_{nc} = \left( \frac{N}{2A_g} + \frac{\sigma_{or}}{2} \right) + \sqrt{\left( \frac{N}{2A_g} - \frac{\sigma_{or}}{2} \right)^2 + \left( \frac{V}{A_g} \right)^2} \leq 0.5 f_c$$

dove :

- $\sigma_{or} = \frac{A_{sh} f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}} = \frac{0.5(s_g \cdot h_g \cdot num) f_{ywd}}{b_j \cdot h_{jw}}$  (si limita la tensione di snervamento del 50%);
- $h_{jw}$  è l'altezza utile della trave;
- $num$  è il numero di traversi presenti nel nodo;
- $s_g$  è lo spessore dei traversi del sistema Gordiano;
- $h_g$  è l'altezza dei traversi.

Come si vede dall'immagine, l'effetto della tensione di trazione assorbita da staffe o piastre metalliche equivalenti (traversi del sistema proposto nel caso in esame) è quello di produrre una tensione di compressione  $\sigma_{or}$  nel nodo, che produce una traslazione del cerchio di Mohr verso i valori negativi dell'asse delle tensioni (per convenzione si è assunta positiva la trazione), quindi una riduzione della tensione principale di trazione  $\sigma_{nt}$  ed un incremento della tensione principale di compressione  $\sigma_{nc}$ .

Le espressioni appena riportate sono contenute nel documento: “Allegato alla Linee Guida per la Riparazione e il Rafforzamento di Elementi Strutturali, Tamponature e Partizioni” pubblicate dal Dipartimento della Protezione civile in collaborazione con Reluis a seguito del sisma che ha colpito il territorio aquilano nel 2009.

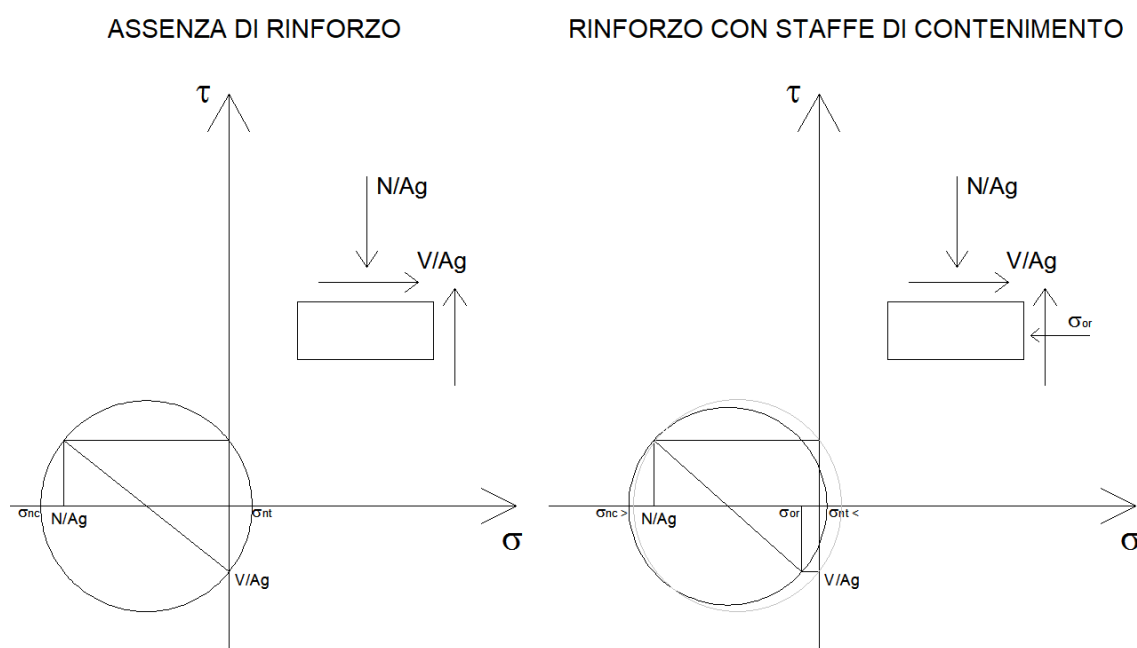


FIGURA 9.14 – VARIAZIONE DELLO STATO TENSIONALE NEL PANNELLO DI NODO IN TERMINI DI CERCHI DI MOHR

### 9.3.5.3. *Validazione delle cerniere plastiche generate in automatico*

Al fine di controllare i valori dei momenti resistenti e della rotazione ultima che il programma determina in automatico sulla singola sezione dove si inserisce la “cerniera plastica” in ragione della resistenza dei materiali e delle barre in input, si riporta in FIGURA 9.15 uno stralcio con evidenza dei valori ottenuti dal Midas Gen per una generica trave.



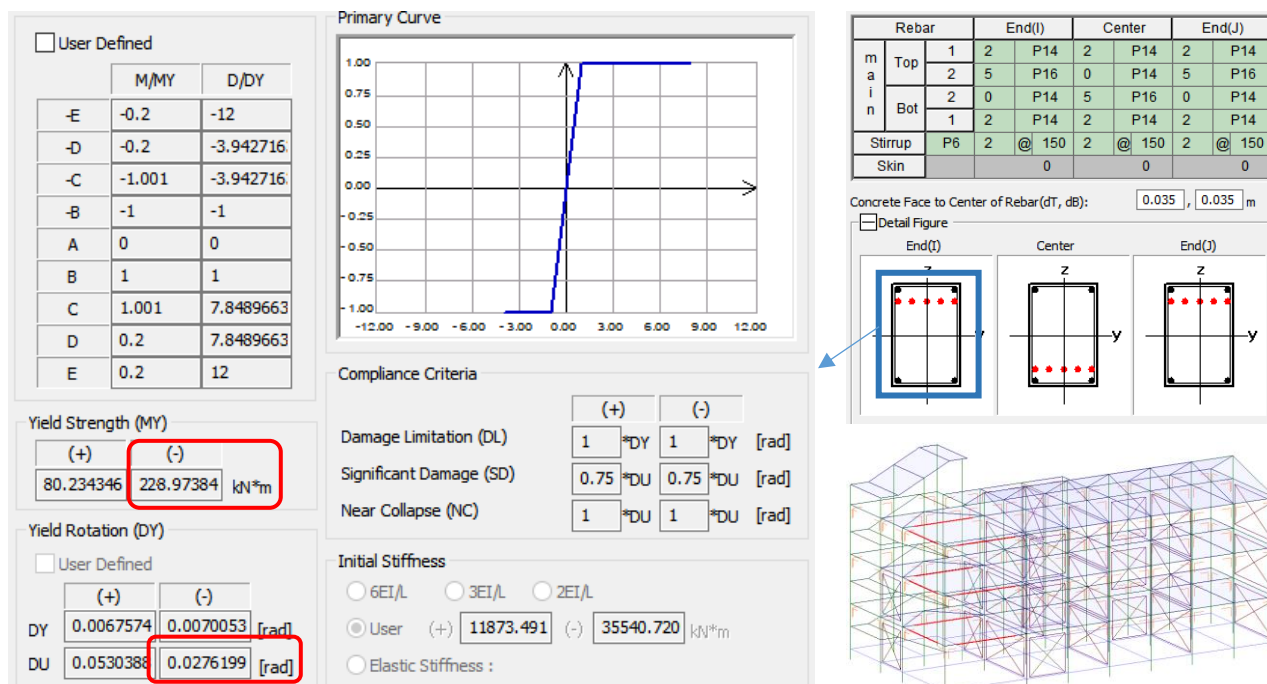


FIGURA 9.15 – STRALCIO VALUTAZIONE AUTOMATICA ROTAZIONE ULTIMA E MOMENTO RESISTENTE IN UNA TRAVE IN C.A. BLOCCO A

Il momento resistente, per fibre tese superiori, è quello evidenziato in rosso e lo si può confrontare con quello ottenuto dal software free VCASLU del prof. Piero Gelfi, che è noto utilizza proprio il metodo semiprobabilistico agli stati limite con diagramma parabola-rettangolo per il cls ed elasto-plastico perfetto per le armature; il valore è evidenziato in FIGURA 9.16 ed è pressoché identico a quello determinato in automatico dal Midas Gen.

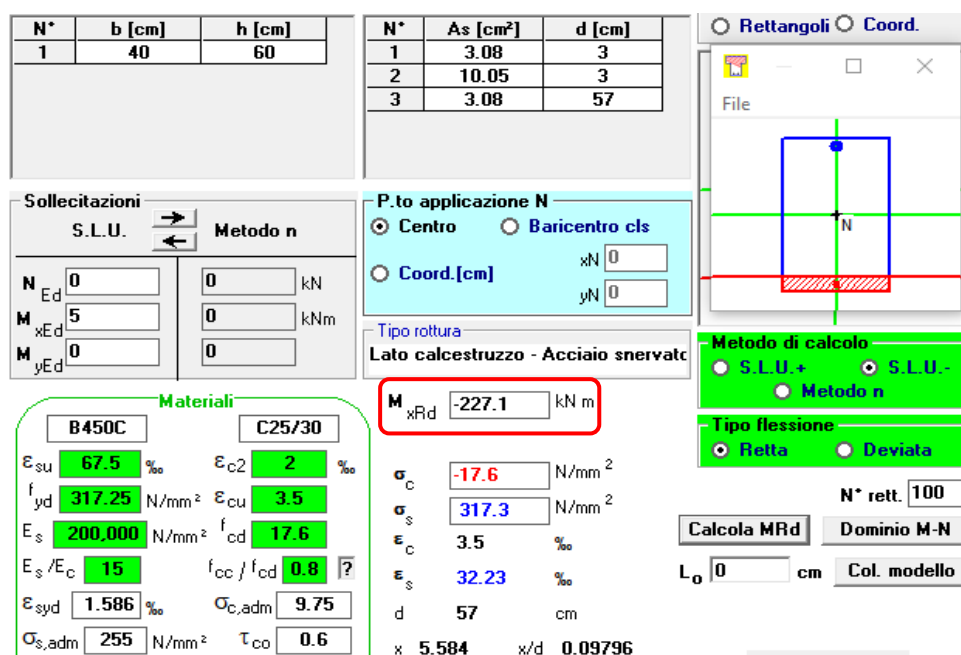


FIGURA 9.16 – MOMENTO RESISTENTE DI UNA SEZIONE IN C.A. OTTENUTO UTILIZZANDO IL SOFTWARE FREE VCASLU

Per quel che riguarda la rotazione ultima, si è implementata la formulazione di normativa su un foglio di lavoro excel, da cui ne scaturisce il valore riportato in Tabella 3, anche in questo caso molto prossimo a quello ottenuto con il software; la leggera differenza è legata all'ipotesi di assenza di confinamento nel caso del foglio elettronico, corrispondente ad un valore del coefficiente  $\alpha$  unitario.

$$\theta_u = \frac{1}{\gamma_{ed}} 0,016 \cdot (0,3^v) \left[ \frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} f_c \right]^{0,225} \left( \frac{L_v}{h} \right)^{0,35} 25^{\left( \alpha \rho_{sx} \frac{f_{yw}}{f_c} \right)} (1,25^{100 \rho_d}) \quad [\text{C8.7.2.1}]$$

Tabella 3 – Valutazione rotazione alla corda sezione in c.a. di una trave nell'ipotesi conservativa di assenza di confinamento

| Dati di input della sezione in c.a. |          |                    |                    |                    |       |     |                    |       |          |
|-------------------------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-----|--------------------|-------|----------|
| $f_{ym}$                            | $f_{yd}$ | $A_s$              | $A'_s$             | $A_c$              | $L_v$ | $h$ | $A_{sx}$           | $b_w$ | $p_{st}$ |
| [Mpa]                               | [Mpa]    | [cm <sup>2</sup> ] | [cm <sup>2</sup> ] | [cm <sup>2</sup> ] | [m]   | [m] | [cm <sup>2</sup> ] | [cm]  | [cm]     |
| 380.7                               | 317.25   | 13.13              | 3.08               | 2400               | 2.2   | 0.6 | 0.565487           | 40    | 15       |

| Valutazione rotazione ultima alla corda |           |             |          |     |          |            |
|---|-----------|-------------|----------|-----|----------|------------|
| $\omega$                                | $\omega'$ | $\rho_{sx}$ | $\rho_d$ | $v$ | $\alpha$ | $\theta_u$ |
| -                                       | -         | -           | -        | -   | -        | [rad]      |
| 9.860%                                  | 2.313%    | 0.094%      | 0.000%   | 0   | 1        | 0.024425   |

## 10. Verifiche di sicurezza [STR]

Il presente capitolo è dedicato alle verifiche di sicurezza secondo i criteri di modellazione e la metodologia di verifica indicati al §9 della presente relazione.

### 10.1. Dimensionamento del sistema di dissipazione

Come si avrà modo di vedere più in avanti, per dimensionare i dispositivi di dissipazione è necessario determinare il fattore di smorzamento equivalente  $\xi$  che entra nelle formulazioni di normativa degli spettri attraverso il fattore  $\eta$ , secondo la nota espressione:

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)}$$

A tale scopo, secondo quanto indicato al §9.2, si eseguono analisi push-over sulla struttura esistente e si valuta proprio il valore di  $\xi$  che permette di raggiungere un indicatore di rischio minimo allo stato limite SLV tale da raggiungere il requisito di sicurezza richiesto dall'adeguamento sismico, che, secondo quanto indicato al §3, è pari a 0.80.

I risultati delle analisi push-over riportati si riferiscono alle due distribuzioni di forza risultate più gravose, che sono quelle proporzionale al primo modo di vibrare (gruppo 1 ai sensi delle NTC2018), applicabili per la regolarità della struttura scaturita da un'analisi modale preliminare.

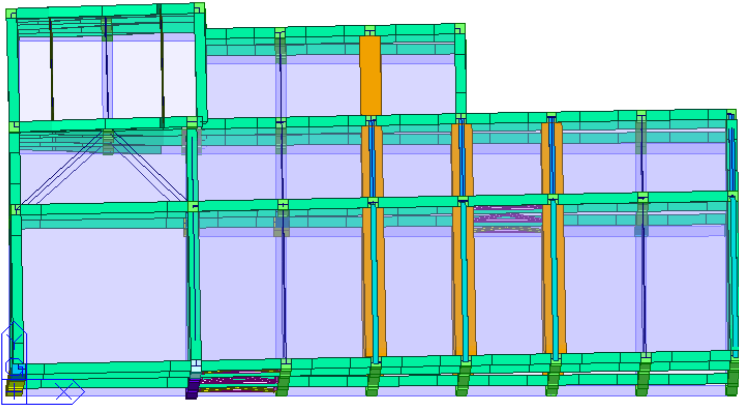
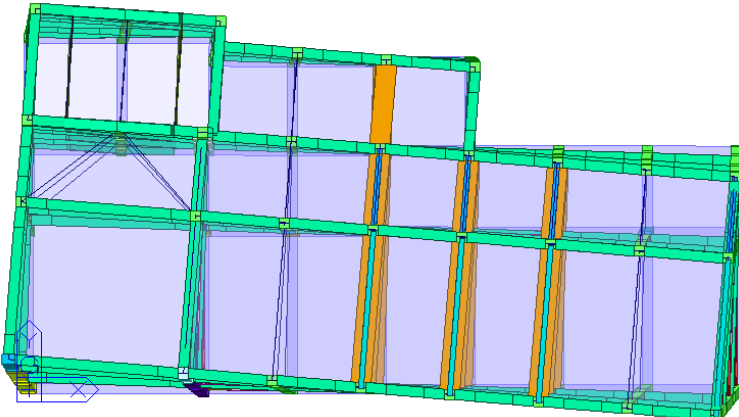
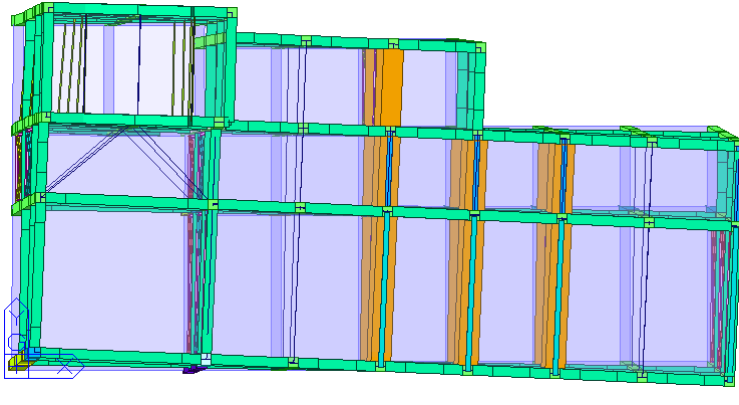
#### 10.1.1. Risultati analisi modale stato di fatto

Dai risultati riportati si evince che entrambi i corpi appaiono regolari, con due modi traslazionali principali eccitanti circa lo 80% delle masse, da qui si evince anche la correttezza della progettazione realizzata nel '96 in termini di conferimento di regolarità al sistema strutturale. Altro aspetto da commentare sono i periodi propri di vibrazione, con valore maggiore in entrambi i casi per la direzione trasversale (priva di telai sismo-resistenti interni, ma con controventi concentrici in acciaio): il blocco A, la cui massa complessiva è inferiore rispetto al blocco B, ha un periodo di 0.517 s, mentre il periodo fondamentale del blocco B è pari a 0.606 s. Nella direzione “forte” dell'edificio, cioè quella longitudinale, i periodi di vibrazione dei due blocchi sono pressochè identici e pari a 0.33s – 0.34 s rispettivamente.

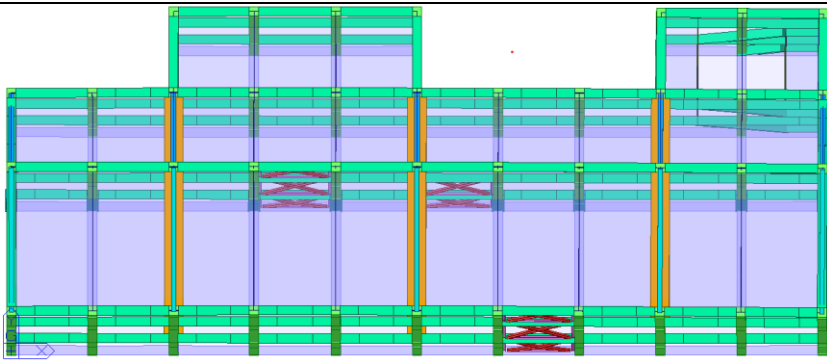
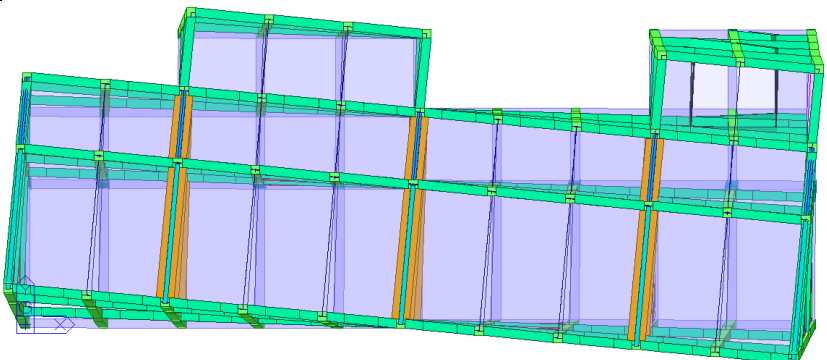
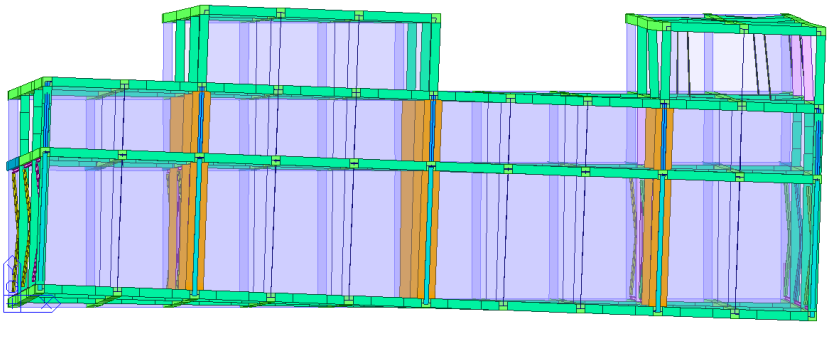
I risultati confermano la buona regolarità, quindi è possibile applicare, ai fini delle analisi push-over, una distribuzione gruppo 1 proporzionale al modo di vibrare fondamentale in ciascuna delle due

direzioni, anche perché, pur non raggiungendo proprio la soglia del 85%, si tratta semplicemente di una procedura di dimensionamento e non di verifica.

#### BLOCCO A

|   |  |
|---|--|
| <p><i>1° Modo</i><br/>(Traslazionale in dir. Y)</p> <p><math>T_1 = 0.517s</math></p> <p><math>M_{tot} = 1323189 \text{ kg}</math></p> <p>Masse eccitate:</p> <p><math>M_{Ux} = 0.26\%</math></p> <p><b><math>M_{Uy} = 82.41\%</math></b></p> <p><math>M_{Rz} = 2.73\%</math></p>  |    |
| <p><i>2° Modo</i><br/>(Torsionale)</p> <p><math>T_2 = 0.423s</math></p> <p><math>M_{tot} = 1323189 \text{ kg}</math></p> <p>Masse eccitate:</p> <p><math>M_{Ux} = 11.51\%</math></p> <p><math>M_{Uy} = 2.88\%</math></p> <p><b><math>M_{Rz} = 72.73\%</math></b></p>              |   |
| <p><i>3° Modo</i><br/>(Traslazionale in dir. X)</p> <p><math>T_3 = 0.327s</math></p> <p><math>M_{tot} = 1323189 \text{ kg}</math></p> <p>Masse eccitate:</p> <p><b><math>M_{Ux} = 76.03\%</math></b></p> <p><math>M_{Uy} = 0.01\%</math></p> <p><math>M_{Rz} = 11.85\%</math></p> |  |

## BLOCCO B

|  |  |
|--|--|
| <p><i>1° Modo</i><br/>(Traslazionale in dir. Y)</p> <p><math>T_1 = 0.606s</math></p> <p><math>M_{tot} = 1514436 \text{ kg}</math></p> <p>Masse eccitate:</p> <p><math>M_{Ux} = 0.00\%</math></p> <p><b><math>M_{Uy} = 83.50\%</math></b></p> <p><math>M_{Rz} = 0.04\%</math></p> |    |
| <p><i>2° Modo</i><br/>(Torsionale)</p> <p><math>T_2 = 0.450s</math></p> <p><math>M_{tot} = 1514436 \text{ kg}</math></p> <p>Masse eccitate:</p> <p><math>M_{Ux} = 2.77\%</math></p> <p><math>M_{Uy} = 0.03\%</math></p> <p><b><math>M_{Rz} = 79.79\%</math></b></p>              |   |
| <p><i>3° Modo</i><br/>(Traslazionale X)</p> <p><math>T_3 = 0.340s</math></p> <p><math>M_{tot} = 1514436 \text{ kg}</math></p> <p>Masse eccitate:</p> <p><b><math>M_{Ux} = 80.29\%</math></b></p> <p><math>M_{Uy} = 0.0\%</math></p> <p><math>M_{Rz} = 5.39\%</math></p>          |  |

## 10.1.2. Risultati analisi push-over

Trattandosi di un dimensionamento, si riportano in maniera sintetica i risultati maggiormente significativi ottenuti.

## Blocco A

Le curve tagliante alla base – spostamento di un punto di controllo (nodo di impalcato all'ultimo livello) sono riportate in FIGURA 10.1 per le due direzioni principali, da cui effettivamente scaturisce una maggiore rigidezza e resistenza del sistema strutturale nella direzione X, dove cioè la struttura è dotata di telai sismo-resistenti.

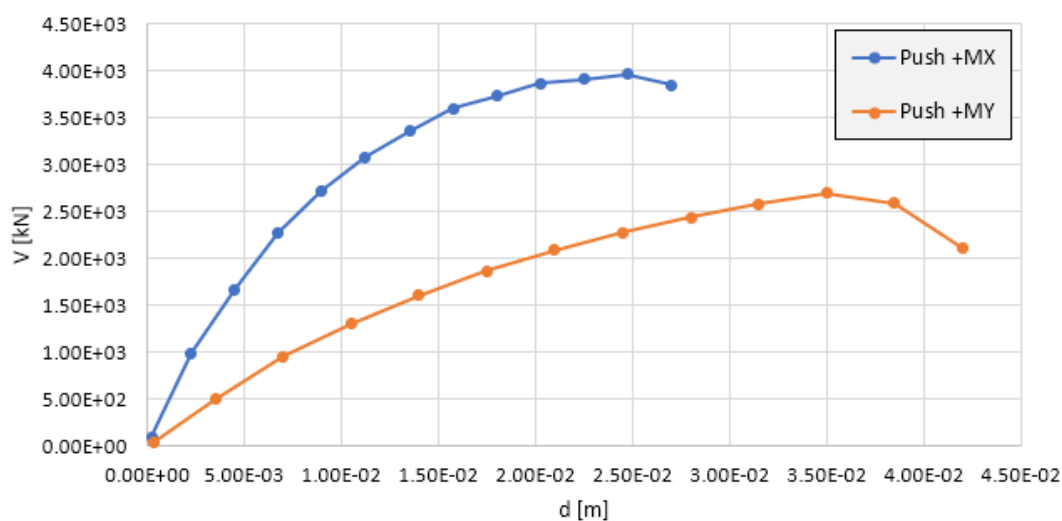


FIGURA 10.1 – BLOCCO A: CONFRONTO CURVE DI CAPACITÀ DISTRIBUZIONE PROPORZ. AL MODO DI VIBRARE PER LE DUE DIREZIONI PRINCIPALI

È inoltre ben visibile la bassa duttilità del sistema in entrambe le direzioni principali, il che è da attribuire al classico comportamento “pilastro debole – trave forte”, con formazioni di cerniere plastiche quali esclusivamente nei pilastri, e travi incapaci di dissipare energia; a titolo di esempio la FIGURA 10.2 vuole mostrare lo status delle cerniere in corrispondenza dello spostamento allo stato limite SLV, il cui step di carico è quello coincidente con la formazione della cerniera di colore giallo al piede del pilastro del vano scala. In questo caso specifico, plottando il diagramma momento – curvatura (immagine a destra) è visibile un valore del momento resistente molto basso, causa la presenza di trazione nell’elemento, generato a sua volta dalla presenza delle travi a ginocchio irrigidenti.

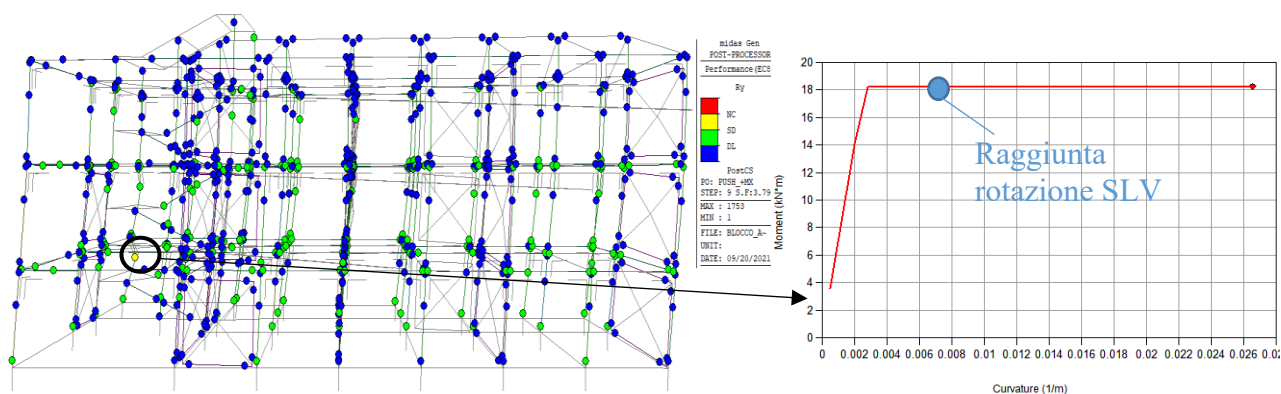
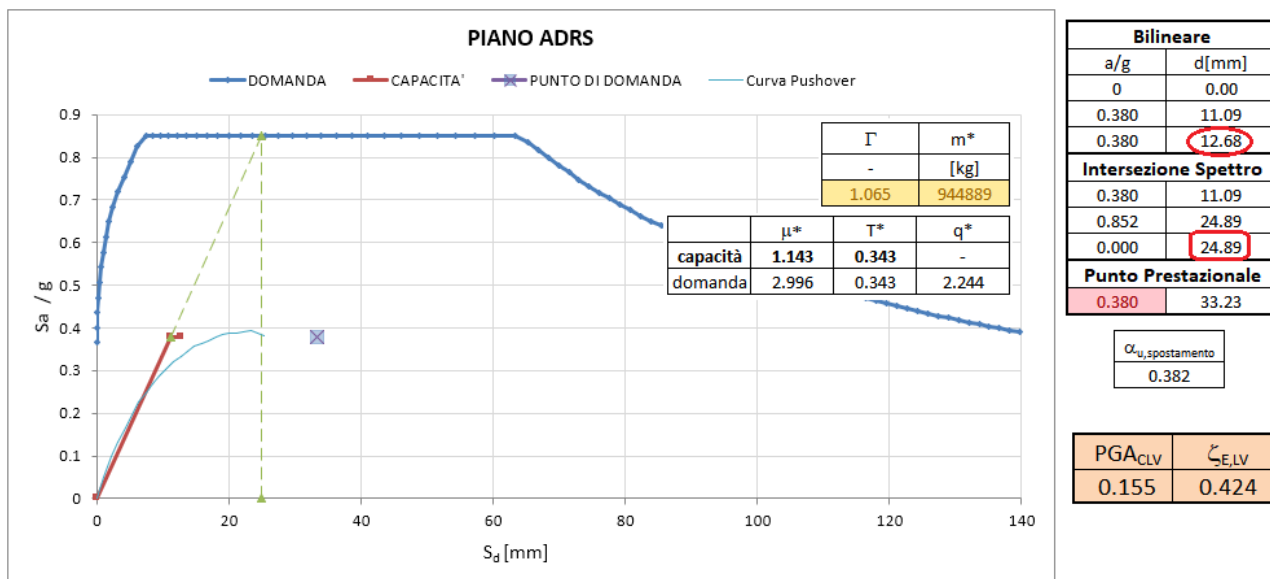
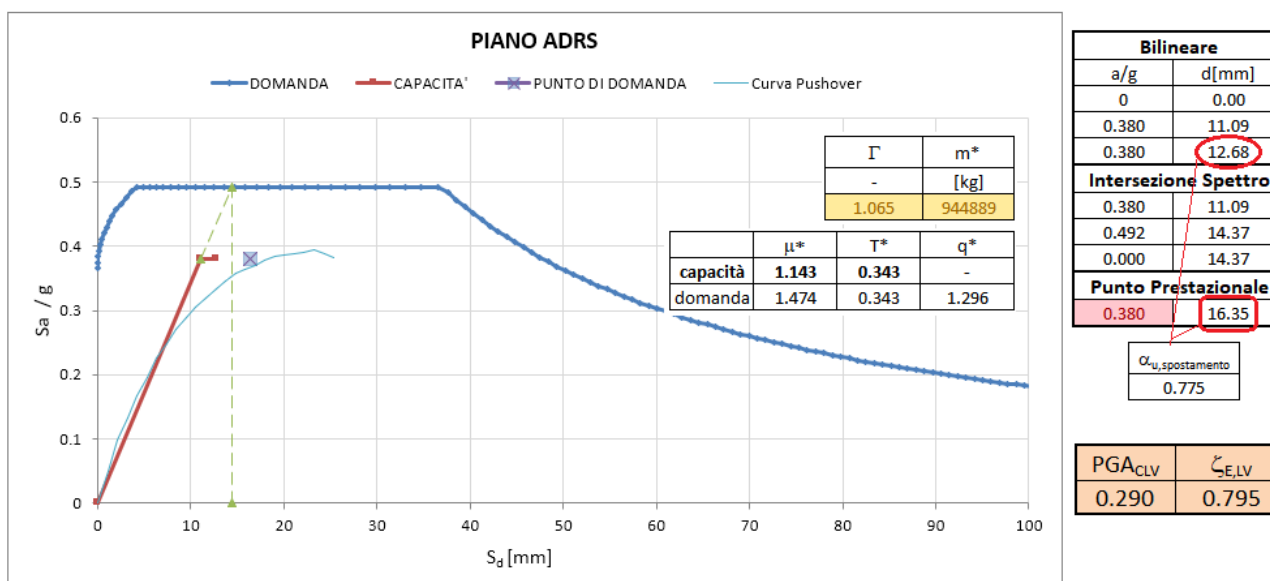
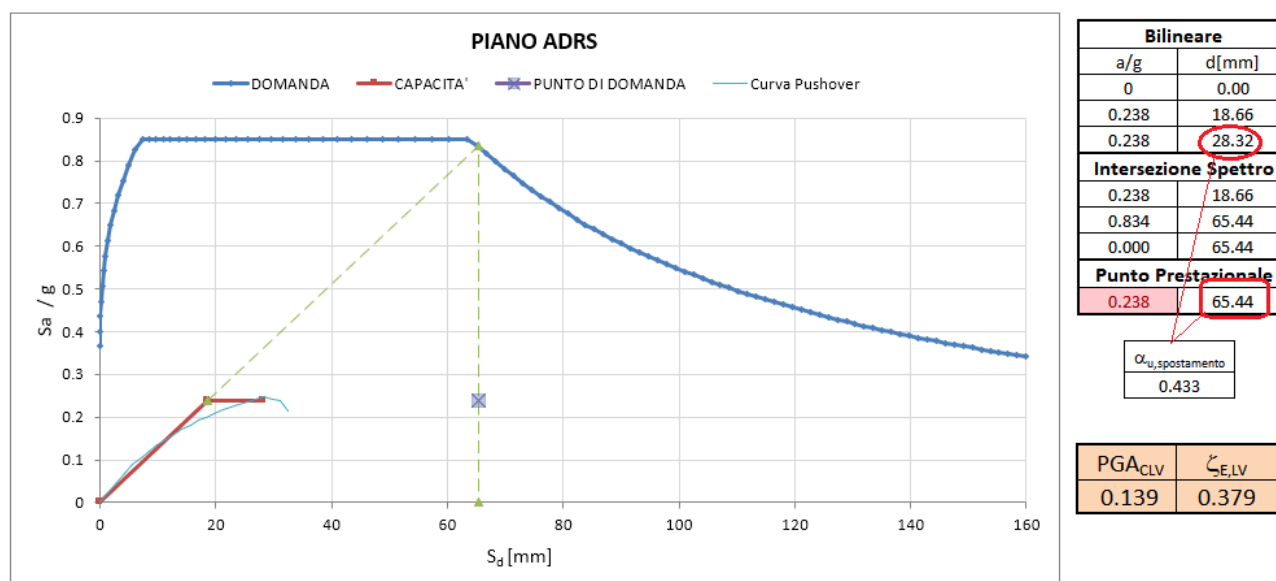
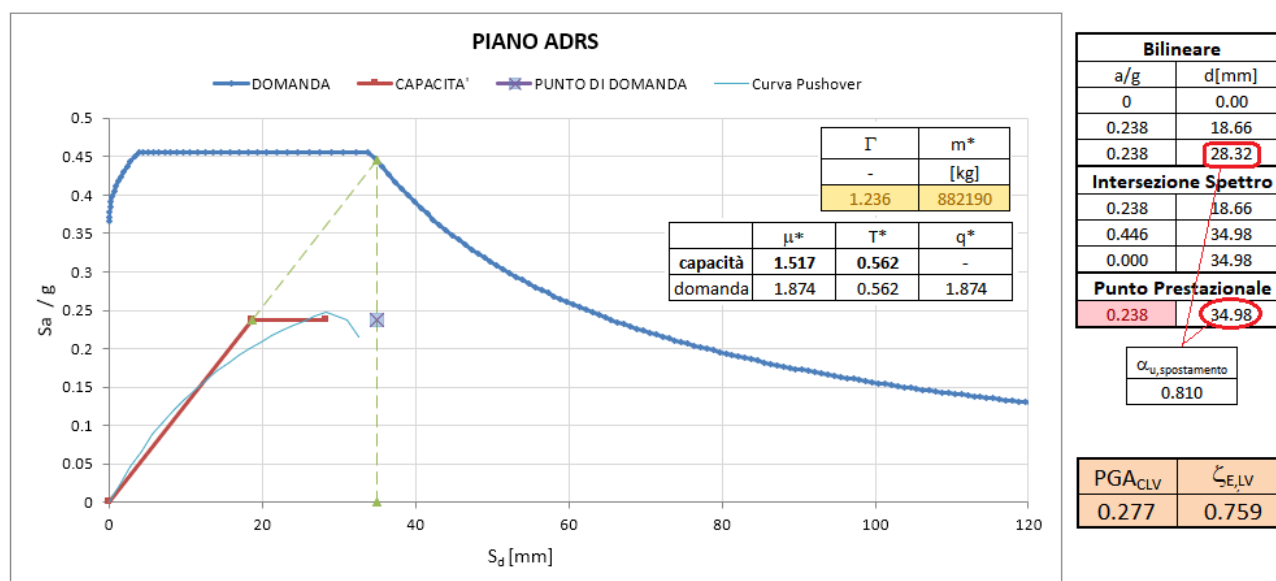


FIGURA 10.2 – BLOCCO A: STATO DI DANNEGGIAMENTO CERNIERE PLASTICHE IN CORRISPONDENZA DELLO SPOSTAMENTO SLV PER PUSH +MX

Sviluppando su un foglio di lavoro excel la verifica con il metodo esposto al §9.2.2, si sono ottenuti, escludendo come già detto i meccanismi fragili, l'indicatore di rischio ante-operam per ciascuna delle due direzioni principali (vedi FIGURA 10.3 e FIGURA 10.5 rispettivamente per dir. X e dir. Y), quindi si è proceduto in maniera iterativa determinando il valore del coefficiente di smorzamento equivalente  $\xi$  tale da ottenere un indicatore di rischio prossimo al valore di 0.80 (requisito di sicurezza per l'adeguamento sismico di strutture in classe d'uso III scolastico).

FIGURA 10.3 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E  $\xi=5\%$ FIGURA 10.4 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E  $\xi=5+20\%$



FIGURA 10.5 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E  $\xi=5\%$ FIGURA 10.6 – BLOCCO A: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E  $\xi=5+25\%$ 

La tabella seguente mostra una sintesi dei risultati ottenuti come indicatore di rischio sia in termini di PGA ( $\zeta_{E,LV}$ ) che in termini di spostamento ( $\alpha_{u,LV}$ ); il valore assunto per il dimensionamento del coefficiente di smorzamento  $\xi_{eq}$  si assume quando almeno uno dei coefficienti è prossimo a 0.80.

| BLOCCO A | Analisi  | $\zeta_{E,LV}$ - ANTE | $\xi_{eq}$ | $\zeta_{E,LV}$ - POST | $\alpha_{u,LV}$ - POST |
|----------|----------|-----------------------|------------|-----------------------|------------------------|
|          | Push +MX | 0.424                 | 5% + 20%   | 0.795                 | 0.775                  |
|          | Push +MY | 0.379                 | 5% + 25%   | 0.759                 | 0.810                  |

## Blocco B

Si riportano gli stessi risultati per il blocco B, per il quale valgono le stesse considerazioni già riportate per il blocco A. Unico aspetto importante da sottolineare è che, dalle analisi, emerge una maggiore vulnerabilità del corpo in questione, molto probabilmente per la sua forma maggiormente allungata e di conseguenza una maggiore “debolezza” nella direzione trasversale.

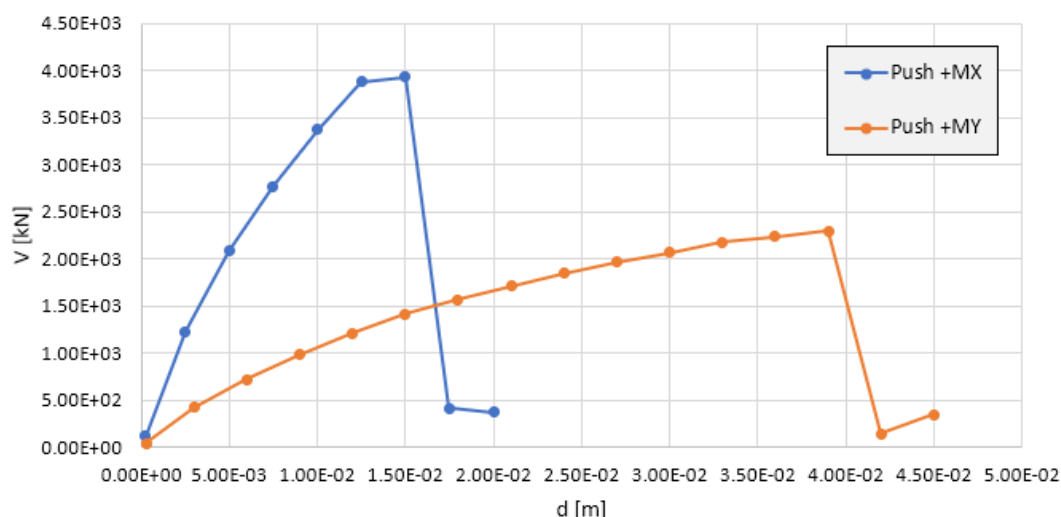


FIGURA 10.7 – BLOCCO B: CONFRONTO CURVE DI CAPACITÀ DISTRIBUZIONE PROPORZ. AL MODO DI VIBRARE PER LE DUE DIREZIONI PRINCIPALI

Anche in questo caso è possibile vedere la bassa duttilità del sistema, con danneggiamenti presenti praticamente quasi nei pilastri, ed impossibilità per le travi di dissipare energia, essendo tutte ancora in fase elastiche quando in alcuni pilastri si raggiunge la rotazione ultima alla corda per lo stato limite SLV (vedi Figura 10.8).

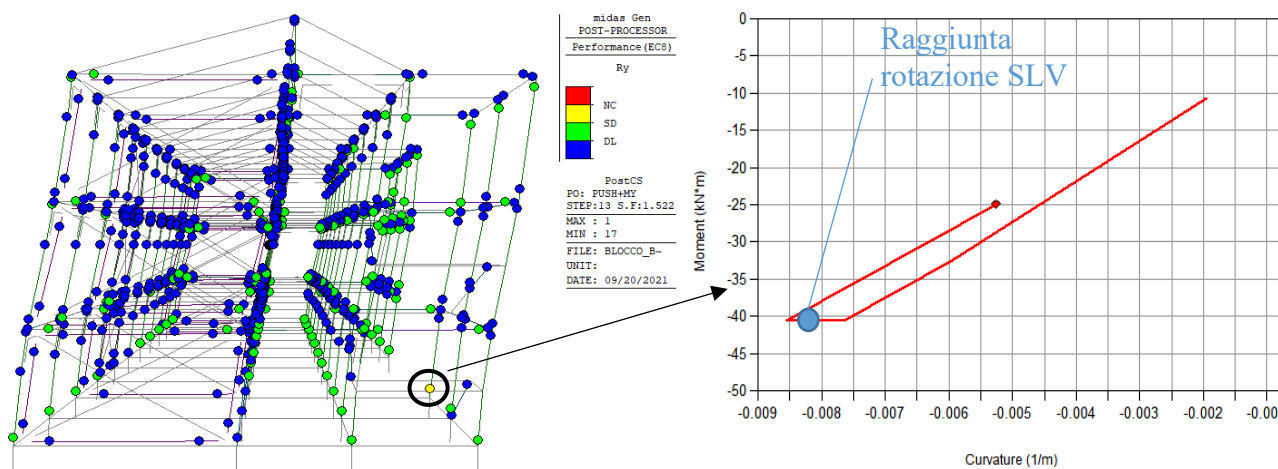
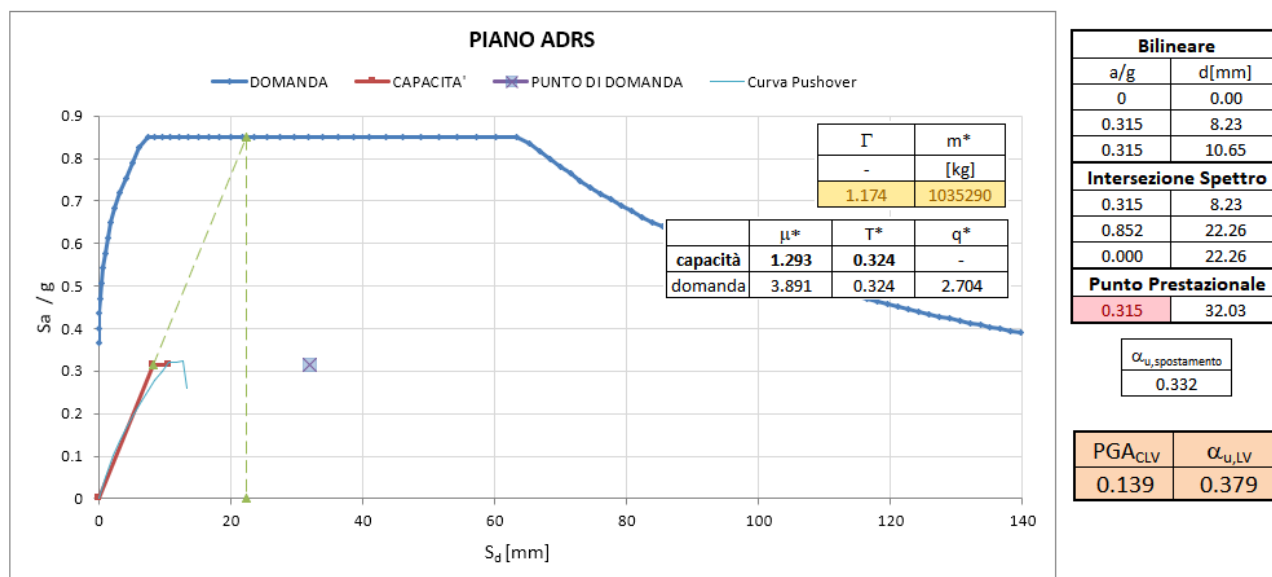
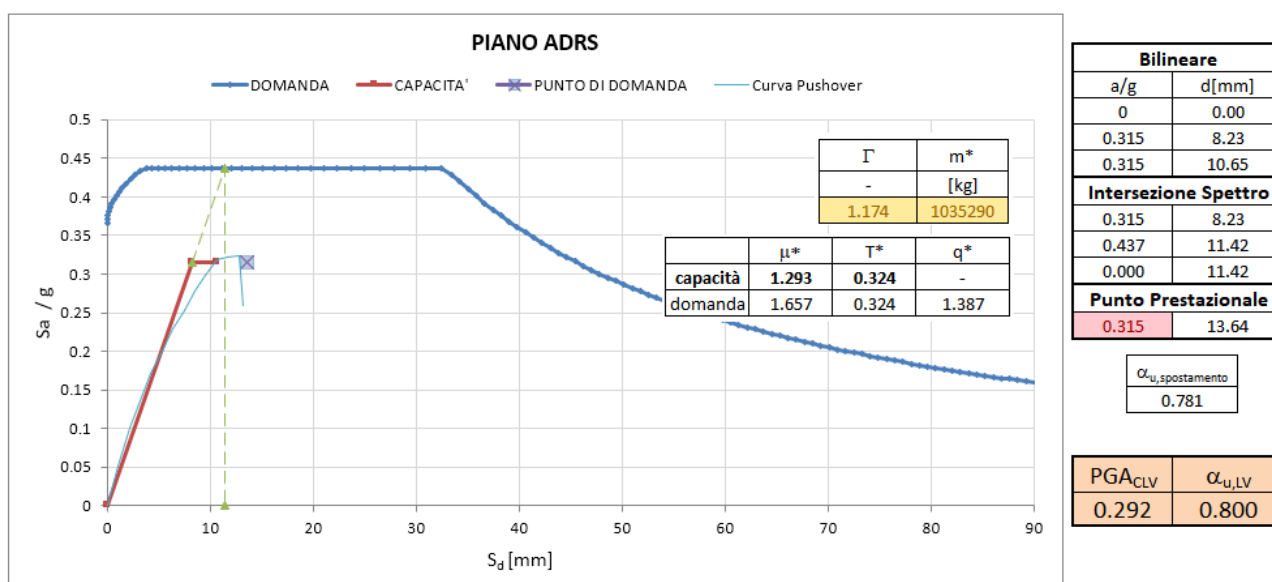
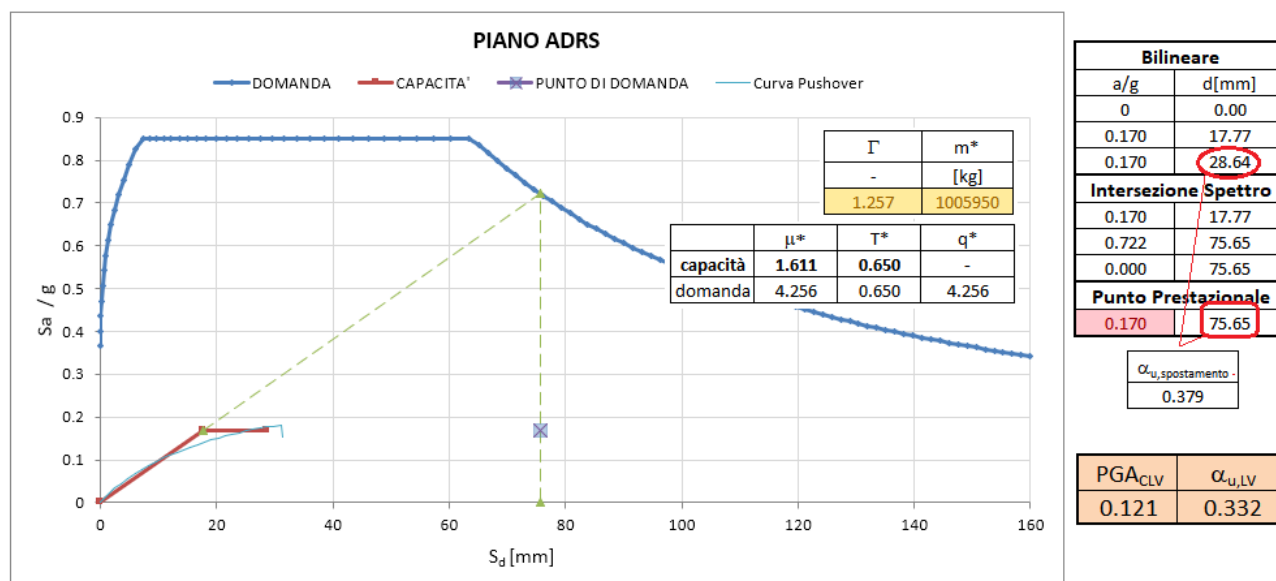
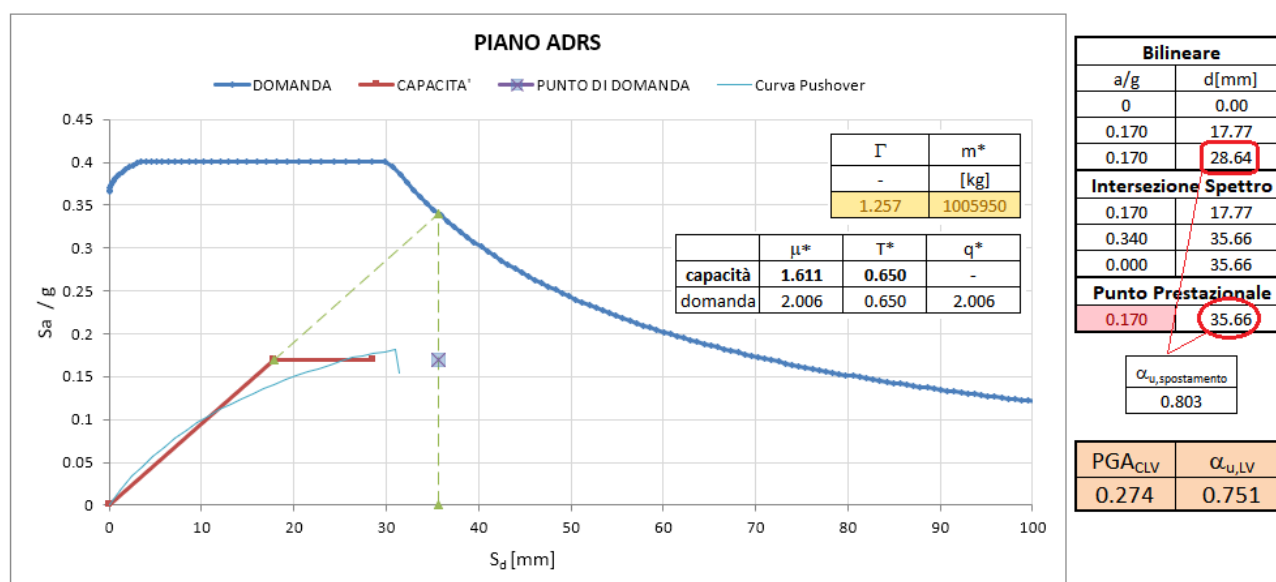


FIGURA 10.8 – BLOCCO B: STATO DI DANNEGGIAMENTO CERNIERE PLASTICHE IN CORRISPONDENZA DELLO SPOSTAMENTO SLV PER PUSH +MY

FIGURA 10.9 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E  $\xi=5\%$ FIGURA 10.10 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MX E  $\xi=5+28\%$

FIGURA 10.11 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E  $\xi=5\%$ FIGURA 10.12 – BLOCCO B: VALUTAZIONE INDICATORE DI RISCHIO CON METODO N2 PER PUSH +MY E  $\xi=5+35\%$ 

La tabella seguente mostra una sintesi dei risultati ottenuti come indicatore di rischio sia in termini di  $PGA$  ( $\zeta_{E,LV}$ ) che in termini di spostamento ( $\alpha_{u,LV}$ ); il valore assunto per il dimensionamento del coefficiente di smorzamento  $\xi_{eq}$  si assume quando almeno uno dei coefficienti è prossimo a 0.80.

| BLOCCO | Analisi  | $\zeta_{E,LV}$ - ANTE | $\xi_{eq}$ | $\zeta_{E,LV}$ - POST | $\alpha_{u,LV}$ - POST |
|--------|----------|-----------------------|------------|-----------------------|------------------------|
| B      | Push +MX | 0.379                 | 5% + 28%   | 0.800                 | 0.781                  |
|        | Push +MY | 0.332                 | 5% + 35%   | 0.751                 | 0.803                  |

### 10.1.3. Procedura di dimensionamento dei dispositivi fluido-viscosi

Gli smorzatori viscosi attualmente in commercio sono dispositivi del tipo cilindro/pistone in cui la laminazione di un fluido siliconico, attraverso un idoneo circuito idraulico, permette la dissipazione dell'energia introdotta dal sisma nella struttura sotto forma di calore. Il comportamento meccanico degli attuali dispositivi commerciali è ben descritto dal modello di Maxwell (FIGURA 10.13) che vede uno smorzatore puro caratterizzato da un legame costitutivo forza-velocità, non-lineare di tipo esponenziale (FIGURA 10.13) in serie con una molla rappresentativa della compressibilità del fluido:

$$F_d = c_{NL} \cdot v^\alpha = k_{oil} \cdot x$$

dove  $c_{NL}$  è il coefficiente di smorzamento del dispositivo non-lineare,  $\alpha$  è l'esponente dello smorzatore (tipicamente per dispositivi commerciali  $\alpha=0.15-0.30$ ),  $k_{oil}$  rappresenta la rigidezza corrispondente alla compressibilità del fluido ed  $x$  la corsa del pistone.

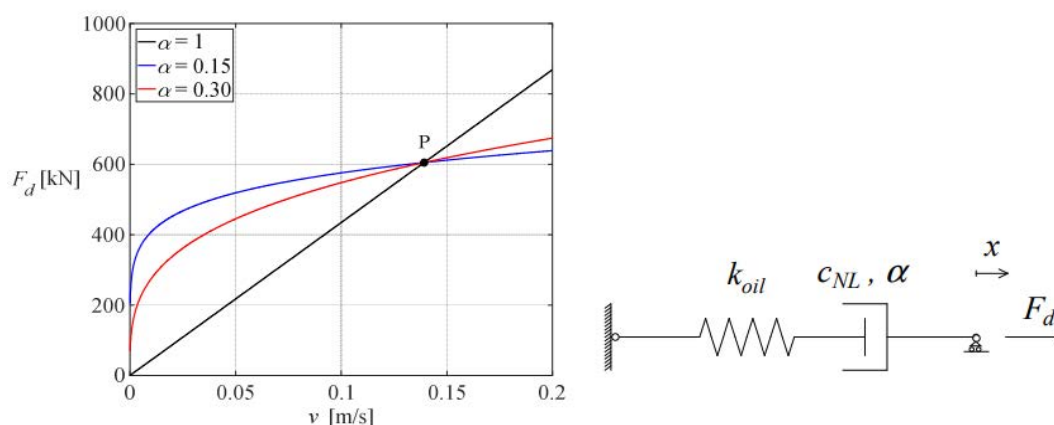


FIGURA 10.13 – RELAZIONE FORZA-VELOCITÀ AL VARIARE DELL'ESPONENTE  $\alpha$  E MODELLO DI MAXWELL

La procedura proposta per la progettazione sismica di strutture dotate di smorzatori viscosi è quella sviluppata presso l'Università di Bologna, denominata “*The direct five-step procedure*”, che si basa sui seguenti concetti:

- ✓ le due componenti della matrice di smorzamento classico alla Rayleigh, l'una proporzionale alle rigidezze e l'altra proporzionale alle masse, corrispondono a due sistemi fisici separati e quindi implementabili in modo indipendente in strutture a telaio: (i) sistema di smorzamento proporzionale alle rigidezze (*stiffness proportional damping, SPD*) che vede un posizionamento di interpiano degli smorzatori; (ii) sistema di smorzamento proporzionale alle masse (*mass proportional damping, MPD*) caratterizzato da smorzatori che collegano i piani ad un punto fisso (terreno o struttura di controvento infinitamente rigida);

- ✓ a parità di coefficiente di smorzamento totale (stessa somma dei coefficienti di smorzamento di tutti i dispositivi), il sistema MPD è molto più efficiente del sistema SPD nel ridurre la risposta sismica di strutture a telaio;

in particolare, per strutture a telaio shear-type uniformi (ugual massa ed ugual rigidezza per tutti i piani), sotto il vincolo di ugual “costo”, il rapporto di smorzamento del primo modo di vibrare del sistema MPD,  $\xi_1^{MPD}$ , è sempre superiore al rapporto di smorzamento del primo modo di vibrare del corrispondente sistema SPD,  $\xi_1^{SPD}$ , e sussiste la seguente relazione approssimata, dove N rappresenta il numero di piani:

$$\xi_1^{MPD} \cong \frac{N(N+1)}{2} \xi_1^{SPD}$$

- ✓ sfruttando la semplicità delle relazioni matematiche che governano il comportamento del sistema MPD, la relazione tra i due primi rapporti di smorzamento modale consente di trovare una formula che fornisce il coefficiente di smorzamento totale,  $c_{tot,SPD}$ , del sistema SPD necessario per ottenere un certo smorzamento target  $\xi$ :

$$c_{tot,SPD} = \xi \cdot \omega_1 \cdot m_{tot} \cdot N(N+1)$$

dove  $\omega_1$  e  $m_{tot}$  rappresentano la pulsazione fondamentale della struttura nella direzione considerata e la massa totale della struttura;

- ✓ per il legame tra il rapporto di smorzamento e il fattore di riduzione  $\eta$  della risposta sismica, la formulazione più diffusa a livello internazionale, e recepita sia dagli Eurocodici (EC8) che dalle attuali norme tecniche italiane (D.M. 17/01/2018), è quella proposta da Bommer et al. nel 2000 è già riportata al §10.1 della presente relazione
- ✓ sulla base delle osservazioni precedenti, Silvestri et al. nel 2010 hanno proposto un metodo di dimensionamento ed analisi di strutture equipaggiate con dissipatori fluido-viscosi denominato “*Five-Step Procedure*”. Si tratta di una formulazione rigorosa che tuttavia necessita lo sviluppo di analisi numeriche di tipo time-history per la valutazione delle forze e delle velocità massime sviluppate negli smorzatori. Pertanto, allo scopo di rendere completamente analitica la procedura, il gruppo di ricerca, negli anni seguenti 2016-2017 ha affrontato lo studio delle velocità di interpiano sviluppate da telai multipiano equipaggiate da smorzatori viscosi. Imponendo una deformata laterale sismica di tipo lineare per il telaio (simile alla forma del primo modo di vibrare), si sono ottenute formule predittive delle velocità massime di interpiano che dipendono dal periodo fondamentale della struttura;

- ✓ ne è scaturito una semplificazione del metodo, che è quello proposto “*Direct Five-Step Procedure*” applicabile a strutture a telaio multipiano nell'ipotesi di disporre uguali dispositivi a tutti gli interpiani. Nel caso di strutture con massa e rigidità costanti a tutti i piani, caratterizzate da periodi inferiori a  $T_1 < 0.50s$ , il metodo conduce ad una stima delle sollecitazioni, in genere, a favore di sicurezza;
- ✓ in generale, il metodo consente di tenere conto anche dell'eventuale plasticizzazione degli elementi strutturali assumendo uno spettro di progetto con fattore di struttura  $q > 1$ .

Di seguito si sintetizza in maniera pratica la procedura di calcolo:

1. Si valuta il rapporto di smorzamento richiesto  $\xi_{visc}$ , ottenuto sottraendo a quello intrinseco della struttura (5%) il valore prestazionale determinato al §10.1.2 attraverso le analisi push-over, nonché un eventuale valore aggiuntivo equivalente allo smorzamento isteretico, legato quindi al fattore di comportamento  $q = 1 - 1.50$ ;
2. si valuta il coefficiente di smorzamento richiesto per dispositivi lineari. Si considera un posizionamento di interpiano e si ipotizza di inserire smorzatori viscosi tutti uguali a tutti i piani. Assumendo inizialmente un comportamento lineare del tipo  $F = c_L \cdot v$ , e sfruttando l'espressione precedente del coefficiente di smorzamento totale  $c_{tot,SPD}$ , il coefficiente di smorzamento per il singolo smorzatore viscoso risulta:

$$c_L = \xi_{visc} \cdot \omega_1 \cdot \frac{W}{g} \cdot \frac{(N+1)}{n} \frac{1}{\cos^2 \theta}$$

dove N è il numero totale di piani, n è il numero totale di smorzatori viscosi per piano per ogni direzione principale, W è il peso sismico totale dell'edificio, g è l'accelerazione di gravità,  $\omega_1 = 2\pi/T_1$  è la pulsazione fondamentale,  $T_1$  è il periodo fondamentale della struttura, mentre  $\theta$  è l'angolo di inclinazione del singolo dispositivo rispetto all'orizzontale.

3. si stimano i parametri di risposta del sistema con smorzatori lineari, quindi:
  - a. stima della velocità massima di lavoro del singolo smorzatore (corrispondente alla velocità di allungamento/accorciamento del pistone) e del massimo “*interstorey drift*” (spostamento relativo di interpiano):

$$\begin{cases} v_{max} = \frac{S_e(T_1, \eta)}{\omega_1} \frac{2}{N+1} \cos \theta \\ ID = \frac{S_e(T_1, \eta)}{\omega_1^2} \frac{2}{N+1} \end{cases}$$

dove  $S_e(T, \eta)$  rappresenta l'ordinata spettrale dello spettro elastico in accelerazione delle componenti orizzontali in corrispondenza del periodo fondamentale  $T_1$  di vibrazione della



struttura nella direzione considerata, in cui si tiene conto del fattore di riduzione  $\eta$  dovuto alla presenza degli smorzatori;

b. stima della forza massima negli smorzatori lineari:

$$F_{L,max} = 2\xi_{visc} \cdot \frac{W}{g} \cdot \frac{S_e(T, \eta)}{n} \frac{1}{\cos\theta}$$

c. Stima della corsa massima negli smorzatori lineari:

$$s_{max} = \frac{S_e(T_1, \eta)}{\omega_1^2} \frac{2}{N+1} \cos\theta$$

4. si identifica (mediante criterio energetico) il coefficiente di smorzamento per il dispositivo commerciale non-lineare e la forza massima corrispondente:

$$c_{NL} = c_L \cdot (0.8 \cdot v_{max})^{1-\alpha}$$

$$F_{NL,max} = F_{L,max} \cdot (0.8)^{1-\alpha}$$

Applicando tale metodologia al caso specifico, si riportano di seguito i risultati ottenuti su foglio di lavoro elettronico per i due blocchi esaminati; si specifica che i valori prestazionali si riducono ulteriormente del 10%, corrispondente all'adozione di uno spettro di risposta con fattore di comportamento pari a 1.20 (si accettano possibilità di danneggiamenti del sistema strutturale esistente).

### Bocco A

|                                      |                | dir. long. (x) | dir. trasv. (y) | unità di misura      |
|--------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------------|
| <b>STEP 1</b>                        |                |                |                 |                      |
| smorzamento intrinseco               | $\xi_{intr} =$ | 0.05           | 0.05            |                      |
| smorzamento viscoso                  | $\xi_{visc} =$ | 0.10           | 0.15            |                      |
| smorzamento totale di target         | $\xi_{tot} =$  | 0.15           | 0.20            |                      |
| fattore riduzione risposta di target | $\eta =$       | 0.707          | 0.632           |                      |
| <b>STEP 2</b>                        |                |                |                 |                      |
| numero totale piani                  | N =            | 2              | 2               |                      |
| peso totale struttura                | Wtot =         | 9869           | 10697           | kN                   |
| periodo fondamentale struttura       | T1 =           | 0.327          | 0.517           | s                    |
| pulsazione fondamentale struttura    | $\omega_1 =$   | 19.21          | 12.15           | rad/s                |
| numero di smorzatori per piano       | n =            | 6              | 5               |                      |
| inclinazione smorzatori              | $\theta =$     | 0              | 0               | °                    |
| coefficiente smorzamento lineare     | cL =           | 967            | 1193            | kNs/m                |
| rigidezza assiale                    | kaxial =       | infinita       | infinita        |                      |
| <b>STEP 3</b>                        |                |                |                 |                      |
| accelerazione spettrale              | Sa(T1) =       | 0.539          | 0.539           | g                    |
| coefficiente correttivo              | M =            | 1.00           | 1.00            |                      |
| velocità massima smorzatori lineari  | vmax =         | 0.183          | 0.290           | m/s                  |
| forza massima smorzatori lineari     | FLmax =        | 177            | 346             | kN                   |
| corsa massima pistone                | smax =         | 0.95           | 2.39            | cm                   |
| <b>STEP 4</b>                        |                |                |                 |                      |
| esponente                            | $\alpha =$     | 0.15           | 0.15            |                      |
| coefficiente smorzamento non-lineare | cNL =          | 189            | 345             | kN (s/m) $^{\alpha}$ |
| forza massima smorzatori non-lineari | FNLmax =       | 147            | 286             | kN                   |

| <u>Bocco B</u>                       |                |          | dir. long. (x) | dir. trasv. (y)      | unità di misura |
|--------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------------|-----------------|
| <b>STEP 1</b>                        |                |          |                |                      |                 |
| smorzamento intrinseco               | $\xi_{intr} =$ | 0.05     | 0.05           |                      |                 |
| smorzamento viscoso                  | $\xi_{visc} =$ | 0.18     | 0.25           |                      |                 |
| smorzamento totale di target         | $\xi_{tot} =$  | 0.23     | 0.30           |                      |                 |
| fattore riduzione risposta di target | $\eta =$       | 0.598    | 0.535          |                      |                 |
| <b>STEP 2</b>                        |                |          |                |                      |                 |
| numero totale piani                  | $N =$          | 2        | 2              |                      |                 |
| peso totale struttura                | $W_{tot} =$    | 11928    | 12405          | kN                   |                 |
| periodo fondamentale struttura       | $T_1 =$        | 0.340    | 0.606          | s                    |                 |
| pulsazione fondamentale struttura    | $\omega_1 =$   | 18.48    | 10.37          | rad/s                |                 |
| numero di smorzatori per piano       | $n =$          | 5        | 6              |                      |                 |
| inclinazione smorzatori              | $\theta =$     | 0        | 0              | °                    |                 |
| coefficiente smorzamento lineare     | $c_L =$        | 2427     | 1639           | kNs/m                |                 |
| rigidezza assiale                    | $k_{axial} =$  | infinita | infinita       |                      |                 |
| <b>STEP 3</b>                        |                |          |                |                      |                 |
| accelerazione spettrale              | $S_a(T_1) =$   | 0.469    | 0.425          | g                    |                 |
| coefficiente correttivo              | $M =$          | 1.00     | 1.00           |                      |                 |
| velocità massima smorzatori lineari  | $v_{max} =$    | 0.166    | 0.268          | m/s                  |                 |
| forza massima smorzatori lineari     | $F_{Lmax} =$   | 402      | 440            | kN                   |                 |
| corsa massima pistone                | $s_{max} =$    | 0.90     | 2.59           | cm                   |                 |
| <b>STEP 4</b>                        |                |          |                |                      |                 |
| esponente                            | $\alpha =$     | 0.15     | 0.15           |                      |                 |
| coefficiente smorzamento non-lineare | $c_{NL} =$     | 436      | 443            | kN (s/m) $^{\alpha}$ |                 |
| forza massima smorzatori non-lineari | $F_{NLmax} =$  | 333      | 364            | kN                   |                 |

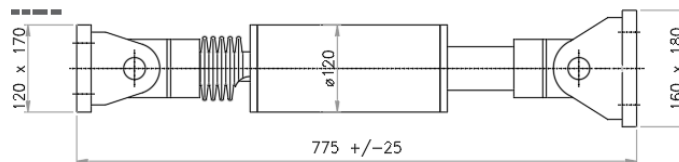
I valori evidenziati nelle tabelle sono quelli di interesse ottenuti dalla procedura di dimensionamento, rispetto ai quali però si è deciso di spostarsi leggermente in seguito alle considerazioni appresso riportate:

- ✓ nel caso specifico non si tratta di una struttura intelaiata classica, ma di un sistema irrigidito con controventi elastici che riducono gli spostamenti di interpiano e non permettono ai dispositivi una corretta dissipazione in particolare nella direzione longitudinale. Gli spostamenti in corrispondenza del primo impalcato risultano così bassi che il dispositivo si potrebbe praticamente anche non attivare;
- ✓ analisi preliminari sul dimensionamento degli esoscheletri con suddette forze massime di progetto, hanno sentenziato un eccessivo aggravio della carpenteria metallica onde soddisfare i requisiti di rigidezza laterale;
- ✓ nella direzione longitudinale si può fare affidamento anche agli spostamenti relativi tra i blocchi A e B, che, non avendo i problemi di rigidezza laterale descritti per gli esoscheletri, possono ospitare dispositivi più prestanti, quindi con un valore di  $c_{NL}$  maggiore;
- ✓ si preferisce abbattere il coefficiente di smorzamento  $c_{NL}$  per il resto dei dispositivi, in modo da ottenere forze massime più piccole sugli esoscheletri esterni e garantire una migliore dissipazione dei dispositivi grazie a spostamenti del pistone maggiori.

Da tali considerazioni e dopo aver comunque controllato con analisi time history la validità delle considerazioni in precedenza esposte, si è pervenuti al dimensionamento di un sistema di dissipatori da applicare solo in corrispondenza degli ultimi due impalcati, caratterizzato da n.3 tipologie aventi le seguenti caratteristiche:

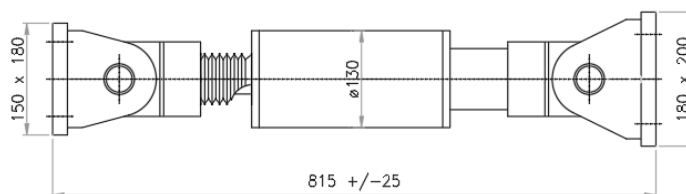
✓ TIPOLOGIA “C1”:

- $c_{NL}$  180 kN (m/s) $^{\alpha}$
- $F_{NL,max}$  157 kN
- $\alpha$  0.15
- $S_{max}$  31.21 mm
- $v_{max}$  391.7 mm/s



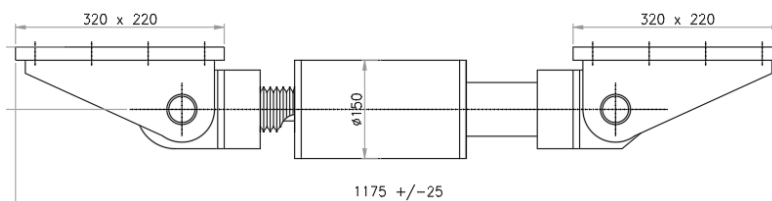
✓ TIPOLOGIA “C2”:

- $c_{NL}$  290 kN (m/s) $^{\alpha}$
- $F_{NL,max}$  236 kN
- $\alpha$  0.15
- $S_{max}$  20.25 mm
- $v_{max}$  256.36 mm/s



✓ TIPOLOGIA “C3”:

- $c_{NL}$  440 kN (m/s) $^{\alpha}$
- $F_{NL,max}$  362 kN
- $\alpha$  0.15
- $S_{max}$  16.68 mm
- $v_{max}$  273.2 mm/s



Il dispositivo C3 è l'unico a non essere sostenuto dagli esoscheletri esterni, ma viene disposto in corrispondenza del giunto tecnico tra il blocco A ed il blocco B mediante la realizzazione di una mensola tozza in c.a. (vedi anche §6 della presente relazione).

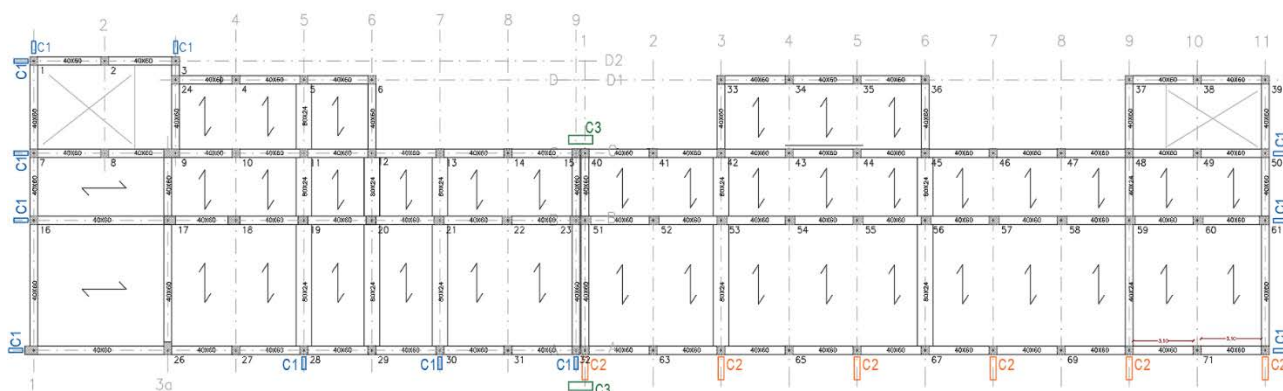


FIGURA 10.14 – DISPOSIZIONE IN PIANTA DELLE DIVERSE TIPOLOGIE DI DISSIPATORI FLUIDO-VISCOSI PER ENTRAMBI I CORPI DI FABBRICA

## 10.2. Risultati time history: verifiche dei dissipatori allo stato limite SLC

I dispositivi del sistema di dissipazione debbono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti e le velocità limite forniti dal produttore e denominati rispettivamente con il simbolo  $d_{max}$  e  $v_{max}$ , valutati per un terremoto avente probabilità di superamento pari a quella prevista per lo stato limite SLC; stesso discorso per la resistenza massima in presenza di sisma, ove la forza non deve superare il valore limite indicato dal produttore, denominato con  $F_{max}$ .

Si procede quindi all'esecuzione di analisi dinamiche non lineari per ciascuno dei 7 accelerogrammi registrati indicati al §8.6 della presente relazione, e si procede alla verifica descritta al §9.2.3 controllando il soddisfacimento delle espressioni seguenti:

- *Stato limite SLC:*

- ✓ Verifica dei dissipatori in termini di spostamenti e velocità:

$$|d_{dis}| \leq d_{max};$$

$$|v_{dis}| \leq v_{max}$$

- ✓ Verifica dei dissipatori sui carichi massimi sopportabili in condizioni sismiche, anche in questo caso forniti dal produttore. Indicando con  $F_{max}$  il massimo sforzo assiale sopportabile dal dispositivo in condizioni sismiche, bisogna verificare il rispetto delle seguenti disequaglianza:

$$|F_{max}| < N_{Ed}$$

### 10.2.1. Verifica in termini di spostamenti

Si riportano di seguito i risultati ottenuti relativi a ciascun isolatore, soffermandosi in dettaglio, per ciascuna tipologia, sulle condizioni maggiormente severe. Nelle tabelle seguenti, gli isolatori sono indicati con la numerazione del *Link Element* attribuita dal software di calcolo e visualizzata nelle immagini stralciate dal modello, mentre gli spostamenti hanno il nome  $d_x$  riferito al sistema di riferimento locale dell'elemento, il cui asse  $x$  coincide con quello parallelo alla direzione dell'elemento stesso. Il primo tabulato mostra i valori massimi e minimi per ogni gruppo di accelerogrammi selezionati e l'istante di tempo in cui si verifica; da questi è possibile elaborare i dati e riportare, in un successivo tabulato, i valori medi, che si ricorda essere quelli da prendere in riferimento ai fini delle verifiche secondo quanto indicato nella metodologia di calcolo.

## Blocco A

Per la numerazione attribuita dal solutore ai *Link element*, si vedano la FIGURA 10.15 per il secondo piano e la FIGURA 10.16 per l'impalcato di sottotetto.

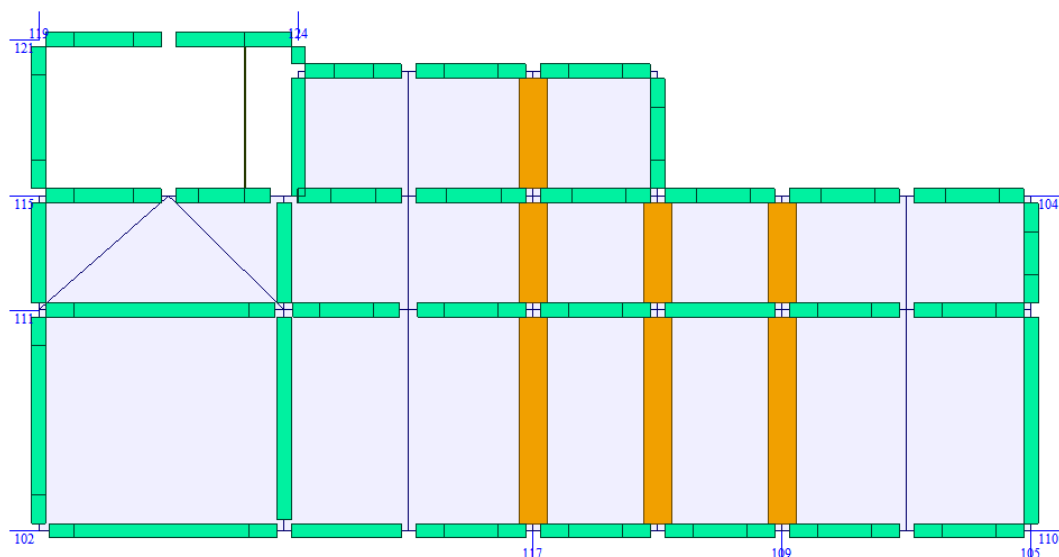


FIGURA 10.15 – BLOCCO A: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL SECONDO IMPALCATO

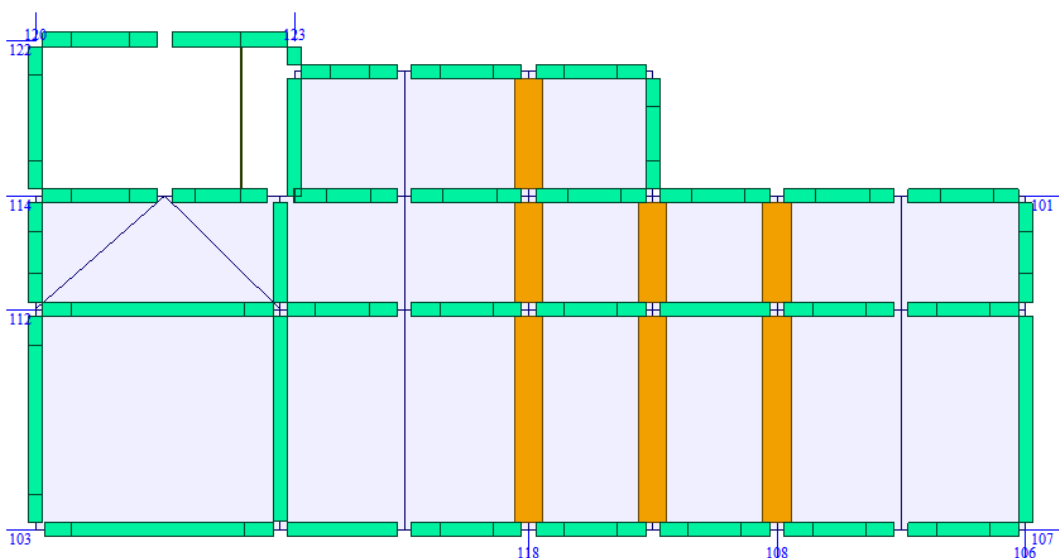
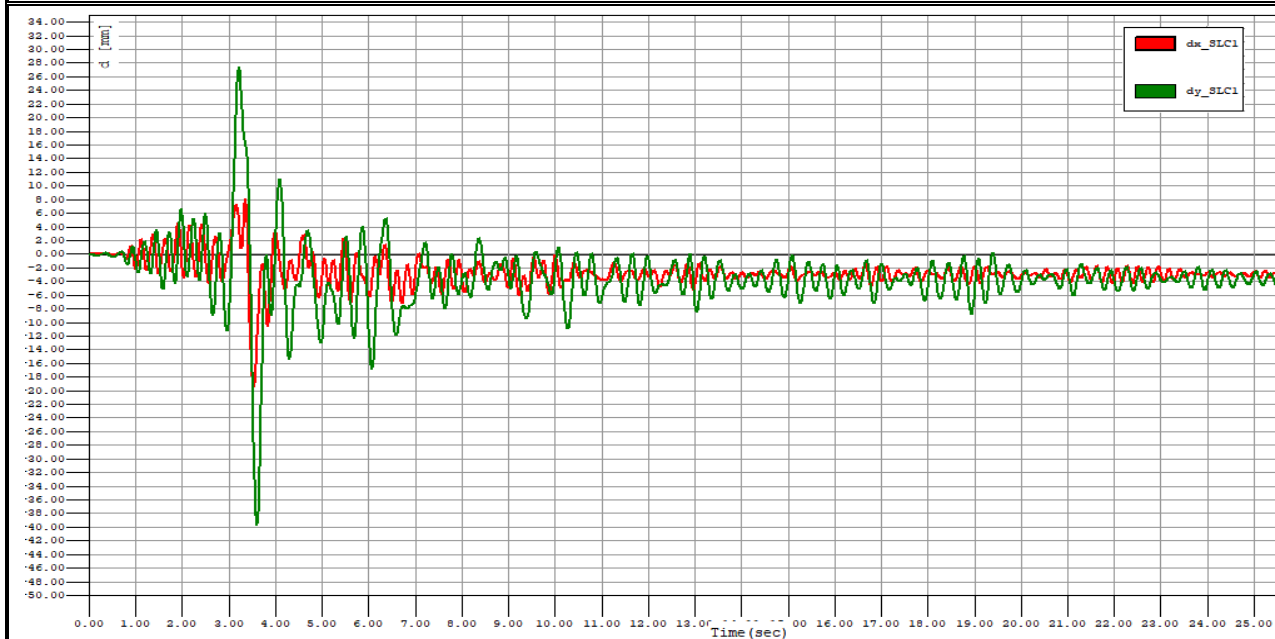


FIGURA 10.16 – BLOCCO A: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL TERZO IMPALCATO

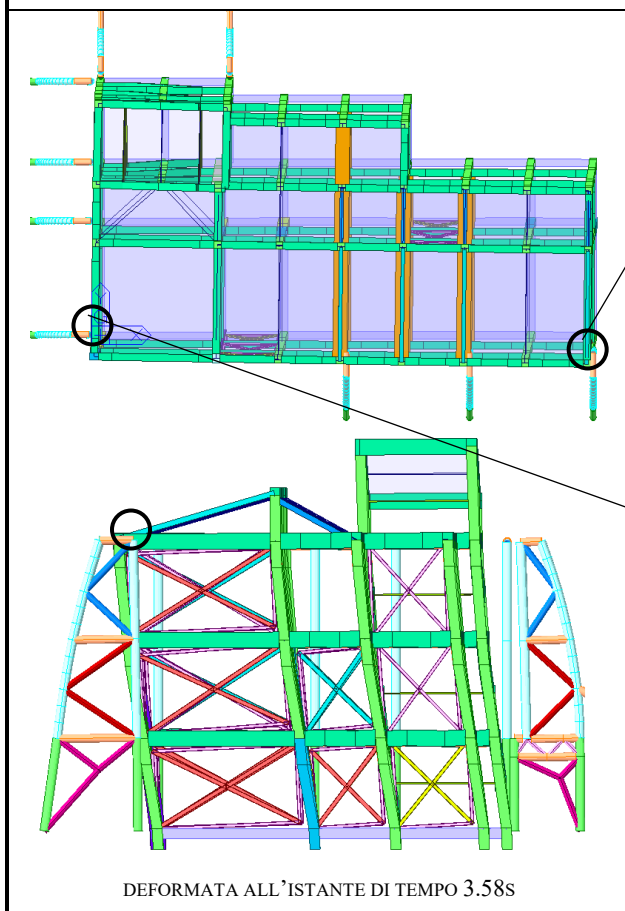
Prima di riportare i tabulati numerici, si mostra a titolo rappresentativo della bontà delle analisi svolte, il comportamento di alcuni dispositivi durante il moto in termini di cicli isteretici, nonché gli andamenti temporali in entrambe le direzioni principali di un punto di controllo preso in corrispondenza dell'ultimo impalcato.

## BLOCCO A: COMBINAZIONE TH\_1: ACCELEROGRAMMI 1.0 SLC\_1X + 1.0 SLC\_1Y

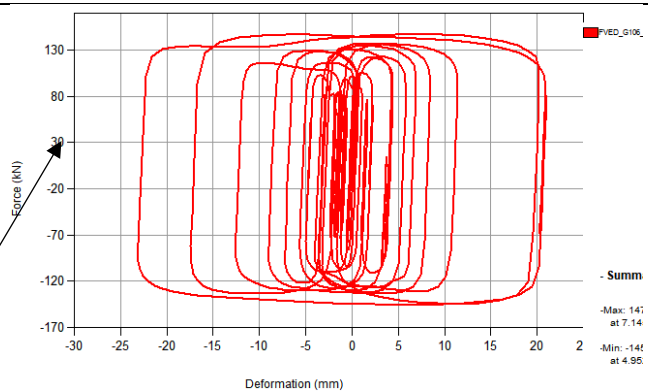
DISSIPATORI TIPOLOGIA "CI" – LINK ELEMENT 106 (DIR.Y) E 103 (DIR. X)



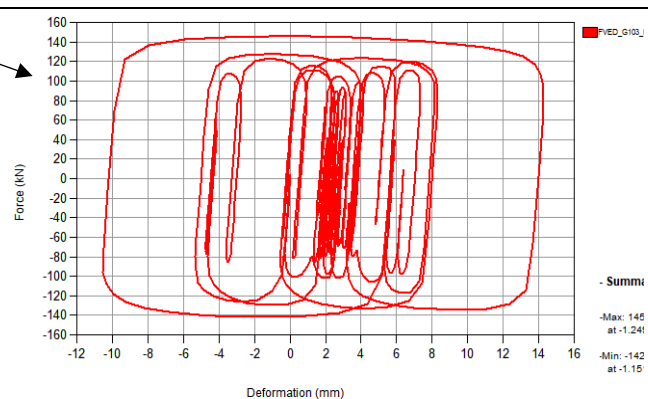
ANDAMENTO TEMPORALE DEGLI SPOSTAMENTI DIR. X E DIR.Y IN UN NODO DI CONTROLLO ULTIMO IMPALCATO



DEFORMATA ALL'ISTANTE DI TEMPO 3.58S



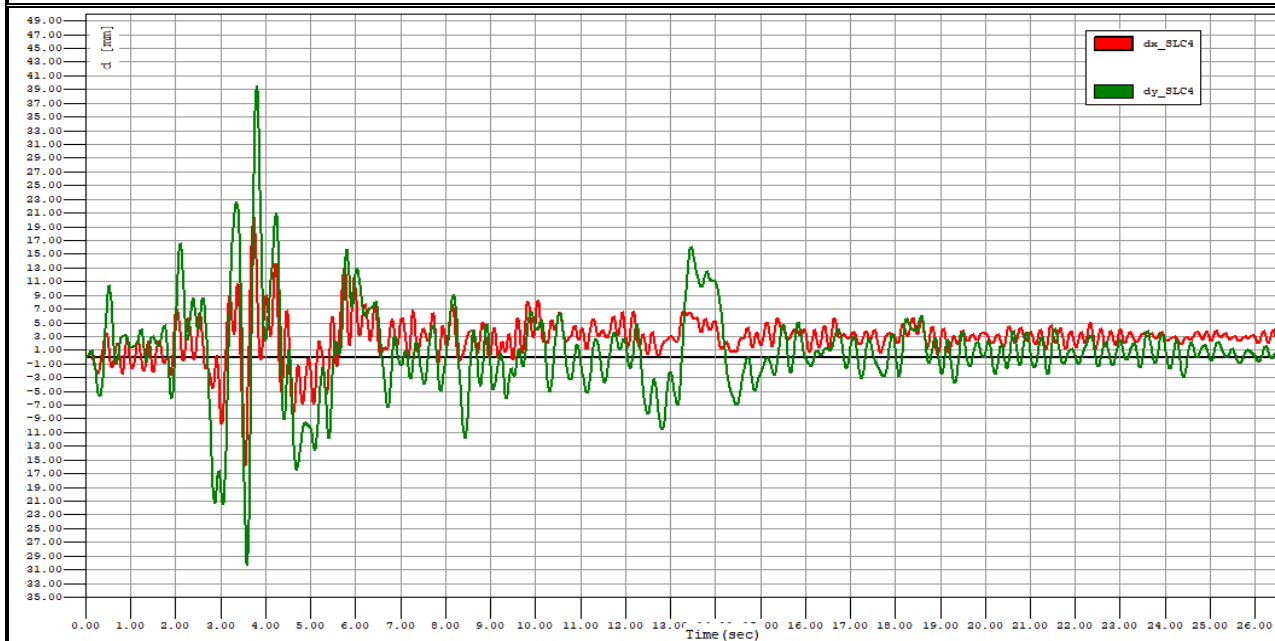
CICLO DI ISTERESI LINK N.106 IN DIREZIONE Y



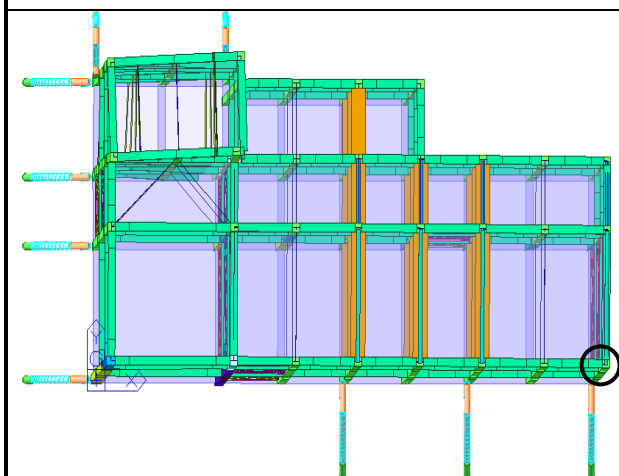
CICLO DI ISTERESI LINK N.103 IN DIREZIONE X

## BLOCCO A: COMBINAZIONE TH\_4: ACCELEROGRAMMI 1.0 SLC\_4X + 1.0 SLC\_4Y

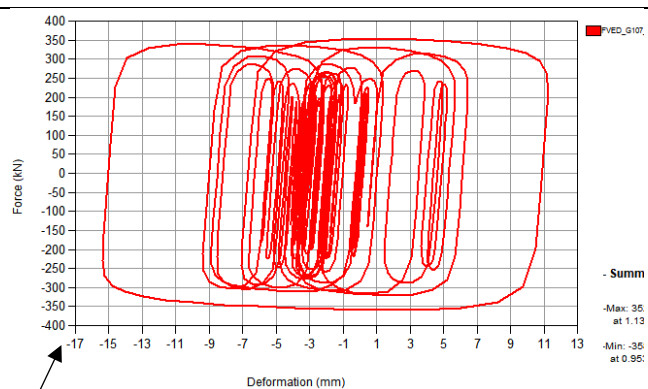
DISSIPATORI TIPOLOGIA "C3" – LINK ELEMENT 110 (DIR.X-P2) E 107 (DIR. X – P3)



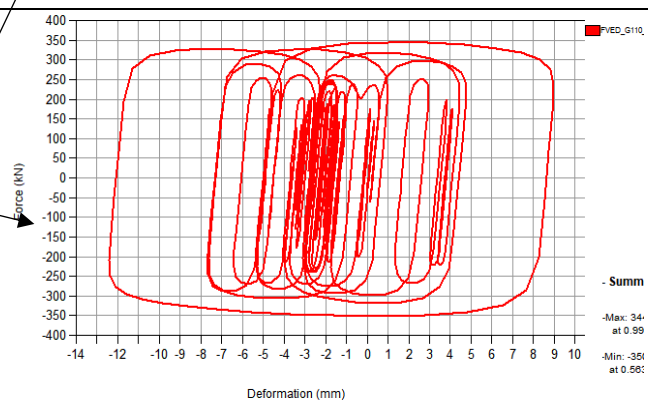
ANDAMENTO TEMPORALE DEGLI SPOSTAMENTI DIR. X E DIR.Y IN UN NODO DI CONTROLLO ULTIMO IMPALCATO



DEFORMATA ALL'ISTANTE DI TEMPO 7.18s



CICLO DI ISTERESI LINK N.107 IN DIREZIONE X



CICLO DI ISTERESI LINK N.110 IN DIREZIONE X



Altra immagine importante è riportata in FIGURA 10.17, dove è eseguito il confronto dei cicli isteretici dei dispositivi C1 posti su entrambi i livelli, onde verificare che la dissipazione avvenga in modo omogeneo lungo l'altezza del fabbricato.

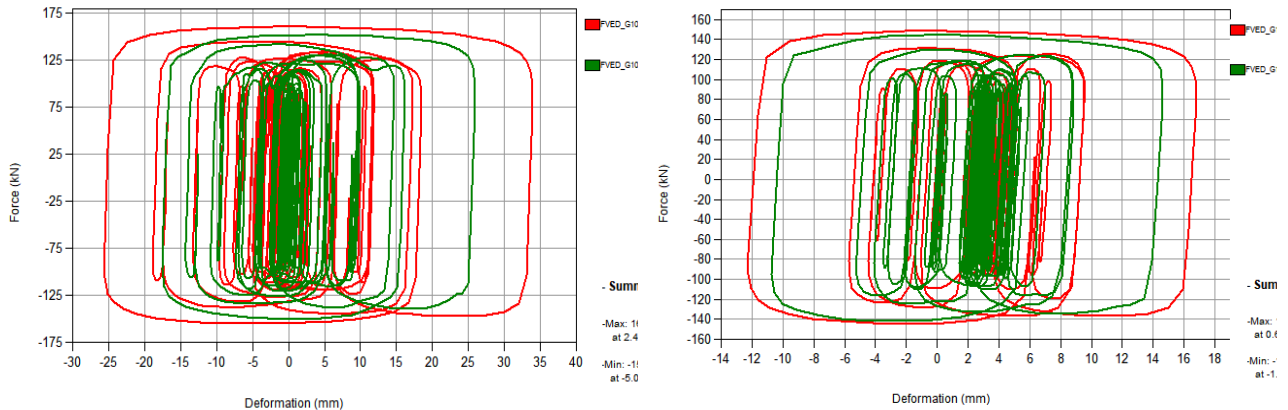


FIGURA 10.17 – BLOCCO A: CONFRONTO DI CICLI ISTERETICI TRA DISPOSITIVI POSIZIONATI AD IMPALCATI DIVERSI PER DIR. Y (LATO SX) E DIR. X

Rimandando per la totalità dei risultati ai tabulati allegati alla presente relazione, di seguito si mostra una tabella di sintesi per ciascun dispositivo della stessa tipologia; poiché il dispositivo C1 nel blocco A è uguale per entrambe le direzioni principali, i risultati maggiormente significativi in termini di spostamento sono quelli relativi alla direzione trasversale o asse Y.

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | $d_x$  | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| C1          | Y    | 105 | SLC_1(max)   | 2593  | 96    | 14.65  | 3.22 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_1(max)   | 2594  | 136   | 19.18  | 3.25 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_1(max)   | 2614  | 134   | 21.93  | 3.25 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_1(max)   | 2613  | 94    | 16.85  | 3.22 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_1(max)   | 2633  | 88    | 18.95  | 3.21 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_1(max)   | 2634  | 128   | 24.47  | 3.24 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_1(max)   | 1390  | 2651  | 27.68  | 3.62 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_1(max)   | 1392  | 2653  | 34.09  | 3.63 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_1(max)   | 1481  | 2757  | 33.66  | 3.64 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_1(max)   | 1480  | 2755  | 27.25  | 3.62 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_1(min)   | 2593  | 96    | -26.78 | 3.62 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_1(min)   | 2594  | 136   | -34.8  | 3.63 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_1(min)   | 2614  | 134   | -35.54 | 3.63 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_1(min)   | 2613  | 94    | -27.54 | 3.62 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_1(min)   | 2633  | 88    | -28.11 | 3.61 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_1(min)   | 2634  | 128   | -36.08 | 3.62 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_1(min)   | 1390  | 2651  | -21.68 | 3.21 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | d <sub>x</sub> | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|----------------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)           | (s)  |
| C1          | Y    | 120 | SLC_1(min)   | 1392  | 2653  | -27.13         | 3.25 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_1(min)   | 1481  | 2757  | -24.63         | 3.25 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_1(min)   | 1480  | 2755  | -19.71         | 3.21 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_2(max)   | 2593  | 96    | 17.23          | 3.05 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_2(max)   | 2594  | 136   | 20.98          | 3.25 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_2(max)   | 2614  | 134   | 22.41          | 3.07 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_2(max)   | 2613  | 94    | 18.55          | 3.04 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_2(max)   | 2633  | 88    | 19.75          | 3.04 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_2(max)   | 2634  | 128   | 23.86          | 3.06 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_2(max)   | 1390  | 2651  | 18.26          | 3.53 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_2(max)   | 1392  | 2653  | 21.53          | 3.56 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_2(max)   | 1481  | 2757  | 21.42          | 3.57 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_2(max)   | 1480  | 2755  | 18.15          | 3.53 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_2(min)   | 2593  | 96    | -18.48         | 3.53 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_2(min)   | 2594  | 136   | -23.06         | 3.56 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_2(min)   | 2614  | 134   | -23.47         | 3.56 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_2(min)   | 2613  | 94    | -18.93         | 3.53 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_2(min)   | 2633  | 88    | -19.18         | 3.53 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_2(min)   | 2634  | 128   | -23.64         | 3.56 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_2(min)   | 1390  | 2651  | -21.01         | 3.03 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_2(min)   | 1392  | 2653  | -24.79         | 3.07 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_2(min)   | 1481  | 2757  | -23.26         | 3.07 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_2(min)   | 1480  | 2755  | -19.84         | 3.03 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_3(max)   | 2593  | 96    | 26.24          | 3.47 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_3(max)   | 2594  | 136   | 34.23          | 3.49 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_3(max)   | 2614  | 134   | 36.33          | 3.49 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_3(max)   | 2613  | 94    | 27.96          | 3.46 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_3(max)   | 2633  | 88    | 29.5           | 3.46 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_3(max)   | 2634  | 128   | 38.24          | 3.48 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_3(max)   | 1390  | 2651  | 18.47          | 3.81 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_3(max)   | 1392  | 2653  | 24.47          | 3.84 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_3(max)   | 1481  | 2757  | 23.92          | 3.84 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_3(max)   | 1480  | 2755  | 17.74          | 3.81 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_3(min)   | 2593  | 96    | -16.51         | 3.81 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_3(min)   | 2594  | 136   | -24.38         | 3.83 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_3(min)   | 2614  | 134   | -25.42         | 3.83 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_3(min)   | 2613  | 94    | -17.56         | 3.81 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_3(min)   | 2633  | 88    | -18.44         | 3.81 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_3(min)   | 2634  | 128   | -26.18         | 3.83 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_3(min)   | 1390  | 2651  | -31.11         | 3.46 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_3(min)   | 1392  | 2653  | -39.52         | 3.49 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | d <sub>x</sub> | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|----------------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)           | (s)  |
| C1          | Y    | 123 | SLC_3(min)   | 1481  | 2757  | -37.61         | 3.49 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_3(min)   | 1480  | 2755  | -29.71         | 3.46 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_4(max)   | 2593  | 96    | 23.8           | 3.81 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_4(max)   | 2594  | 136   | 31.38          | 3.84 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_4(max)   | 2614  | 134   | 33.91          | 3.83 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_4(max)   | 2613  | 94    | 25.93          | 3.81 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_4(max)   | 2633  | 88    | 27.89          | 3.81 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_4(max)   | 2634  | 128   | 36.21          | 3.83 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_4(max)   | 1390  | 2651  | 20.18          | 3.59 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_4(max)   | 1392  | 2653  | 27.24          | 3.62 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_4(max)   | 1481  | 2757  | 25.74          | 3.62 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_4(max)   | 1480  | 2755  | 18.87          | 3.59 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_4(min)   | 2593  | 96    | -15.86         | 3.59 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_4(min)   | 2594  | 136   | -23.66         | 3.62 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_4(min)   | 2614  | 134   | -25.53         | 3.61 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_4(min)   | 2613  | 94    | -17.51         | 3.59 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_4(min)   | 2633  | 88    | -19.04         | 3.59 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_4(min)   | 2634  | 128   | -27.17         | 3.61 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_4(min)   | 1390  | 2651  | -30.16         | 3.81 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_4(min)   | 1392  | 2653  | -37.89         | 3.84 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_4(min)   | 1481  | 2757  | -35.81         | 3.84 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_4(min)   | 1480  | 2755  | -28.27         | 3.81 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_5(max)   | 2593  | 96    | 15.78          | 7.6  |
| C1          | Y    | 106 | SLC_5(max)   | 2594  | 136   | 21.67          | 7.63 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_5(max)   | 2614  | 134   | 24             | 7.63 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_5(max)   | 2613  | 94    | 17.61          | 7.6  |
| C1          | Y    | 117 | SLC_5(max)   | 2633  | 88    | 19.28          | 7.6  |
| C1          | Y    | 118 | SLC_5(max)   | 2634  | 128   | 26.09          | 7.63 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_5(max)   | 1390  | 2651  | 16.15          | 7.32 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_5(max)   | 1392  | 2653  | 20.74          | 7.37 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_5(max)   | 1481  | 2757  | 19.93          | 7.37 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_5(max)   | 1480  | 2755  | 15.25          | 7.32 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_5(min)   | 2593  | 96    | -13.37         | 7.32 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_5(min)   | 2594  | 136   | -19.28         | 7.36 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_5(min)   | 2614  | 134   | -20.57         | 7.36 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_5(min)   | 2613  | 94    | -14.6          | 7.32 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_5(min)   | 2633  | 88    | -15.68         | 7.32 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_5(min)   | 2634  | 128   | -21.54         | 7.36 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_5(min)   | 1390  | 2651  | -21.08         | 7.6  |
| C1          | Y    | 120 | SLC_5(min)   | 1392  | 2653  | -27.71         | 7.64 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_5(min)   | 1481  | 2757  | -25.68         | 7.64 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | d <sub>x</sub> | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|----------------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)           | (s)  |
| C1          | Y    | 124 | SLC_5(min)   | 1480  | 2755  | -19.53         | 7.6  |
| C1          | Y    | 105 | SLC_6(max)   | 2593  | 96    | 18.27          | 3.83 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_6(max)   | 2594  | 136   | 24.74          | 3.84 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_6(max)   | 2614  | 134   | 25.63          | 3.84 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_6(max)   | 2613  | 94    | 18.79          | 3.83 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_6(max)   | 2633  | 88    | 19.61          | 3.59 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_6(max)   | 2634  | 128   | 26.32          | 3.85 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_6(max)   | 1390  | 2651  | 14.93          | 3.35 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_6(max)   | 1392  | 2653  | 17.77          | 5.32 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_6(max)   | 1481  | 2757  | 17.18          | 5.33 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_6(max)   | 1480  | 2755  | 14.14          | 3.36 |
| C1          | Y    | 105 | SLC_6(min)   | 2593  | 96    | -13.45         | 5.3  |
| C1          | Y    | 106 | SLC_6(min)   | 2594  | 136   | -17.25         | 5.33 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_6(min)   | 2614  | 134   | -18.14         | 5.32 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_6(min)   | 2613  | 94    | -14.08         | 5.29 |
| C1          | Y    | 117 | SLC_6(min)   | 2633  | 88    | -14.57         | 5.29 |
| C1          | Y    | 118 | SLC_6(min)   | 2634  | 128   | -18.86         | 5.32 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_6(min)   | 1390  | 2651  | -20.69         | 3.6  |
| C1          | Y    | 120 | SLC_6(min)   | 1392  | 2653  | -25.6          | 3.63 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_6(min)   | 1481  | 2757  | -24.66         | 3.86 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_6(min)   | 1480  | 2755  | -19.46         | 3.6  |
| C1          | Y    | 105 | SLC_7(max)   | 2593  | 96    | 19.12          | 4.91 |
| C1          | Y    | 106 | SLC_7(max)   | 2594  | 136   | 22.22          | 4.92 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_7(max)   | 2614  | 134   | 23.44          | 4.91 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_7(max)   | 2613  | 94    | 20.07          | 4.9  |
| C1          | Y    | 117 | SLC_7(max)   | 2633  | 88    | 20.87          | 4.9  |
| C1          | Y    | 118 | SLC_7(max)   | 2634  | 128   | 24.53          | 4.91 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_7(max)   | 1390  | 2651  | 19.17          | 7.99 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_7(max)   | 1392  | 2653  | 22.06          | 8.04 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_7(max)   | 1481  | 2757  | 21.93          | 8.04 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_7(max)   | 1480  | 2755  | 18.88          | 8    |
| C1          | Y    | 105 | SLC_7(min)   | 2593  | 96    | -18.88         | 8    |
| C1          | Y    | 106 | SLC_7(min)   | 2594  | 136   | -23.02         | 8.04 |
| C1          | Y    | 108 | SLC_7(min)   | 2614  | 134   | -23.52         | 8.04 |
| C1          | Y    | 109 | SLC_7(min)   | 2613  | 94    | -19.42         | 8    |
| C1          | Y    | 117 | SLC_7(min)   | 2633  | 88    | -19.78         | 8    |
| C1          | Y    | 118 | SLC_7(min)   | 2634  | 128   | -23.87         | 8.03 |
| C1          | Y    | 119 | SLC_7(min)   | 1390  | 2651  | -21.51         | 4.89 |
| C1          | Y    | 120 | SLC_7(min)   | 1392  | 2653  | -26.17         | 6.01 |
| C1          | Y    | 123 | SLC_7(min)   | 1481  | 2757  | -24            | 6.01 |
| C1          | Y    | 124 | SLC_7(min)   | 1480  | 2755  | -20.75         | 4.9  |

| Dispositivi | Direzione | No.        | Time History | Node1 | Node2  | DX   | Time    |
|-------------|-----------|------------|--------------|-------|--------|------|---------|
| -           | -         | -          | -            | -     | -      | (mm) | (s)     |
| Disp_C3     | 101       | SLC_1(max) | 160          | 2585  | 16.88  | 3.55 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_1(max) | 120          | 2583  | 14.02  | 3.55 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_1(max) | 136          | 2584  | 15.62  | 3.55 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_1(max) | 96           | 2582  | 12.85  | 3.55 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_1(min) | 160          | 2585  | -5.71  | 3.18 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_1(min) | 120          | 2583  | -4.57  | 3.18 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_1(min) | 136          | 2584  | -4.53  | 3.37 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_1(min) | 96           | 2582  | -3.02  | 3.37 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_2(max) | 160          | 2585  | 5.47   | 3.52 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_2(max) | 120          | 2583  | 4.3    | 2.74 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_2(max) | 136          | 2584  | 5.75   | 6.47 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_2(max) | 96           | 2582  | 4.39   | 6.47 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_2(min) | 160          | 2585  | -8.38  | 7.19 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_2(min) | 120          | 2583  | -6.23  | 7.19 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_2(min) | 136          | 2584  | -8.04  | 7.19 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_2(min) | 96           | 2582  | -6.39  | 7.18 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_3(max) | 160          | 2585  | 8.29   | 3.78 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_3(max) | 120          | 2583  | 6.32   | 3.77 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_3(max) | 136          | 2584  | 6.66   | 3.78 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_3(max) | 96           | 2582  | 5.09   | 3.77 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_3(min) | 160          | 2585  | -14.96 | 3.4  | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_3(min) | 120          | 2583  | -12.24 | 3.4  | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_3(min) | 136          | 2584  | -12.46 | 3.4  | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_3(min) | 96           | 2582  | -10.04 | 3.39 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_4(max) | 160          | 2585  | 13.47  | 3.56 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_4(max) | 120          | 2583  | 10.87  | 3.55 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_4(max) | 136          | 2584  | 11.25  | 3.56 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_4(max) | 96           | 2582  | 8.98   | 3.55 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_4(min) | 160          | 2585  | -18.44 | 3.76 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_4(min) | 120          | 2583  | -14.81 | 3.75 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_4(min) | 136          | 2584  | -15.39 | 3.75 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_4(min) | 96           | 2582  | -12.43 | 3.75 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_5(max) | 160          | 2585  | 4.81   | 5.85 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_5(max) | 120          | 2583  | 3.5    | 5.84 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_5(max) | 136          | 2584  | 4.59   | 5.85 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_5(max) | 96           | 2582  | 3.19   | 5.84 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_5(min) | 160          | 2585  | -11.95 | 7.04 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_5(min) | 120          | 2583  | -9.48  | 7.03 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_5(min) | 136          | 2584  | -10.06 | 7.03 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_5(min) | 96           | 2582  | -8.08  | 7.03 | Disp_C3 |

| Dispositivi | Direzione | No.        | Time History | Node1 | Node2  | DX   | Time    |
|-------------|-----------|------------|--------------|-------|--------|------|---------|
| -           | -         | -          | -            | -     | -      | (mm) | (s)     |
| Disp_C3     | 101       | SLC_6(max) | 160          | 2585  | 7.97   | 3.98 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_6(max) | 120          | 2583  | 5.98   | 3.97 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_6(max) | 136          | 2584  | 5.85   | 4.28 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_6(max) | 96           | 2582  | 4.99   | 4.27 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_6(min) | 160          | 2585  | -16.09 | 3.81 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_6(min) | 120          | 2583  | -12.81 | 3.81 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_6(min) | 136          | 2584  | -15.67 | 3.81 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_6(min) | 96           | 2582  | -12.59 | 3.81 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_7(max) | 160          | 2585  | 7.18   | 5.67 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_7(max) | 120          | 2583  | 5.78   | 5.66 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_7(max) | 136          | 2584  | 6.24   | 5.66 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_7(max) | 96           | 2582  | 4.97   | 5.65 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 101       | SLC_7(min) | 160          | 2585  | -7.67  | 5.95 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 104       | SLC_7(min) | 120          | 2583  | -5.88  | 5.95 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 107       | SLC_7(min) | 136          | 2584  | -5.39  | 8.83 | Disp_C3 |
| Disp_C3     | 110       | SLC_7(min) | 96           | 2582  | -4.6   | 8.82 | Disp_C3 |

| Dispositivo | Time History | d <sup>+</sup> | d <sup>-</sup> | d <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -            | [mm]           | [mm]           | [mm]             | [mm]             | d <sub>dis</sub> ≤ d <sub>max</sub> |
| -           | TH-1         | 34.09          | -36.08         | 36.08            | -                | -                                   |
|             | TH-2         | 23.86          | -24.79         | 24.79            |                  |                                     |
|             | TH-3         | 38.24          | -39.52         | 39.52            |                  |                                     |
|             | TH-4         | 36.21          | -37.89         | 37.89            |                  |                                     |
|             | TH-5         | 26.09          | -27.71         | 27.71            |                  |                                     |
|             | TH-6         | 26.32          | -25.60         | 26.32            |                  |                                     |
|             | TH-7         | 24.53          | -26.17         | 26.17            |                  |                                     |
| <b>C1</b>   | Valore medio |                |                | <b>31.21</b>     | <b>31.21</b>     | <b>OK!</b>                          |

| Dispositivo | Time History | d <sup>+</sup> | d <sup>-</sup> | d <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -            | [mm]           | [mm]           | [mm]             | [mm]             | d <sub>dis</sub> ≤ d <sub>max</sub> |
| -           | TH-1         | 16.88          | -5.71          | 16.88            |                  |                                     |
|             | TH-2         | 5.75           | -8.38          | 8.38             |                  |                                     |
|             | TH-3         | 8.29           | -14.96         | 14.96            |                  |                                     |
|             | TH-4         | 13.47          | -18.44         | 18.44            |                  |                                     |
|             | TH-5         | 4.81           | -11.95         | 11.95            |                  |                                     |
|             | TH-6         | 7.97           | -16.09         | 16.09            |                  |                                     |
|             | TH-7         | 7.18           | -7.67          | 7.67             |                  |                                     |
| <b>C3</b>   | Valore medio |                |                | <b>13.48</b>     | <b>16.68</b>     | <b>OK!</b>                          |

Le ultime due tabelle riportano proprio l'estrazione del valore massimo di spostamento per ciascuna analisi time history, quindi la determinazione del valore medio da confrontare con la soglia limite indicata dal produttore.

### Blocco B

Per la numerazione attribuita dal solutore ai *Link element*, si vedano la FIGURA 10.18 per il secondo piano e la FIGURA 10.19 per l'impalcato di sottotetto.

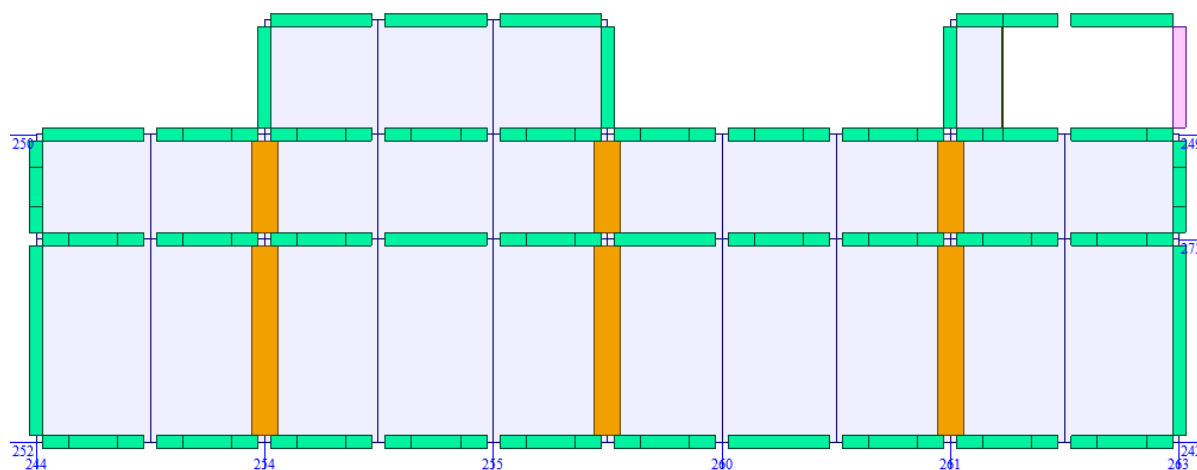


FIGURA 10.18 – BLOCCO B: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL SECONDO IMPALCATO

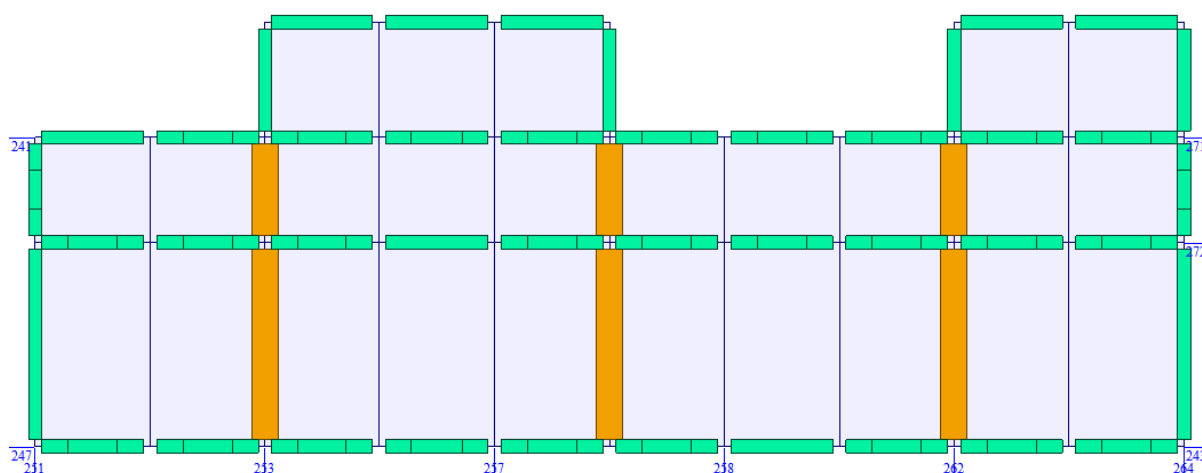


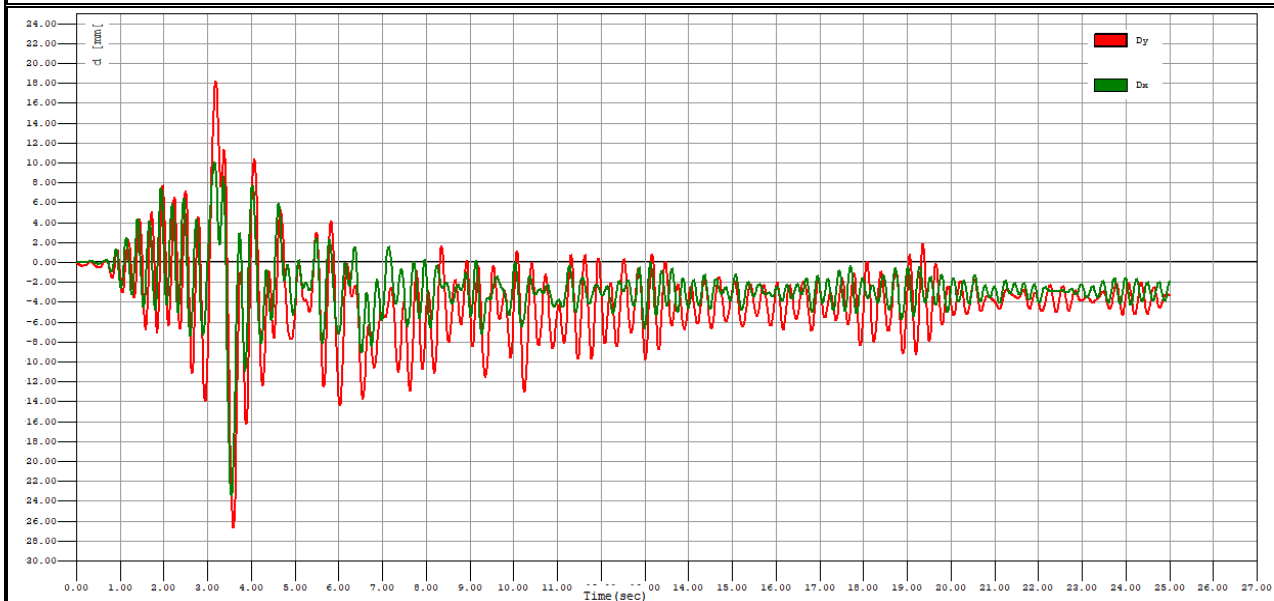
FIGURA 10.19 – BLOCCO B: NUMERAZIONE DEI DISSIPATORI AL TERZO IMPALCATO

Prima di riportare i tabulati numerici, si mostra a titolo rappresentativo della bontà delle analisi svolte, il comportamento di alcuni dispositivi durante il moto in termini di cicli isteretici, nonché gli andamenti temporali in entrambe le direzioni principali di un punto di controllo preso in corrispondenza dell'ultimo impalcato.

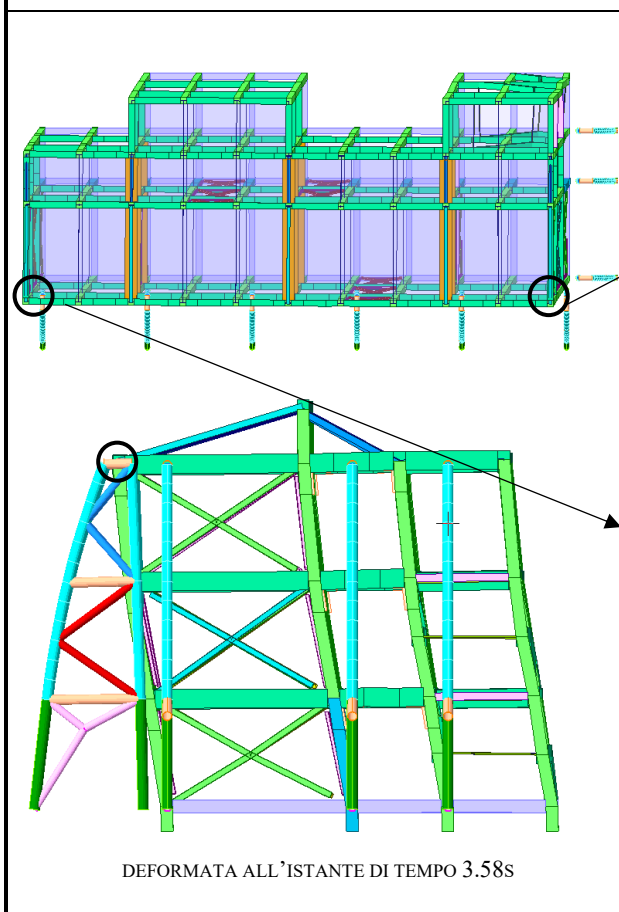


## BLOCCO B: COMBINAZIONE TH\_1: ACCELEROGRAMMI 1.0 SLC\_1X + 1.0 SLC\_1Y

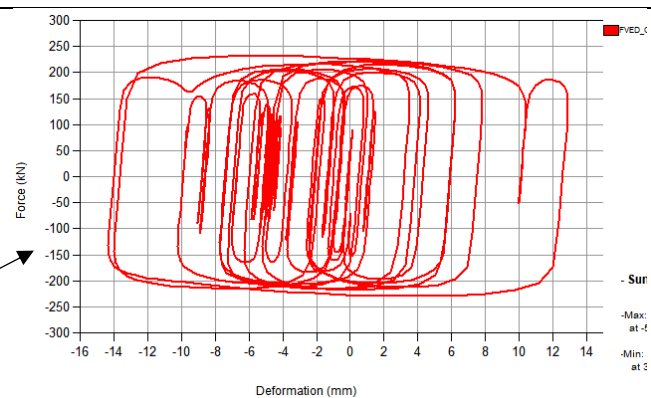
## DISSIPATORI TIPOLOGIA "C2" – LINK ELEMENT 251 (DIR.Y) E 264 (DIR. Y)



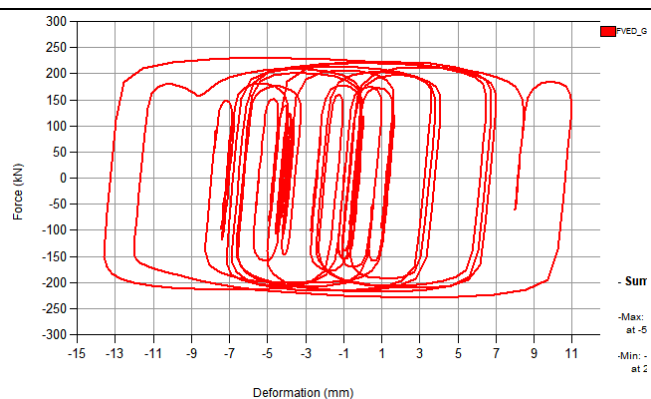
ANDAMENTO TEMPORALE DEGLI SPOSTAMENTI DIR. X E DIR.Y IN UN NODO DI CONTROLLO ULTIMO IMPALCATO



DEFORMATA ALL'ISTANTE DI TEMPO 3.58s



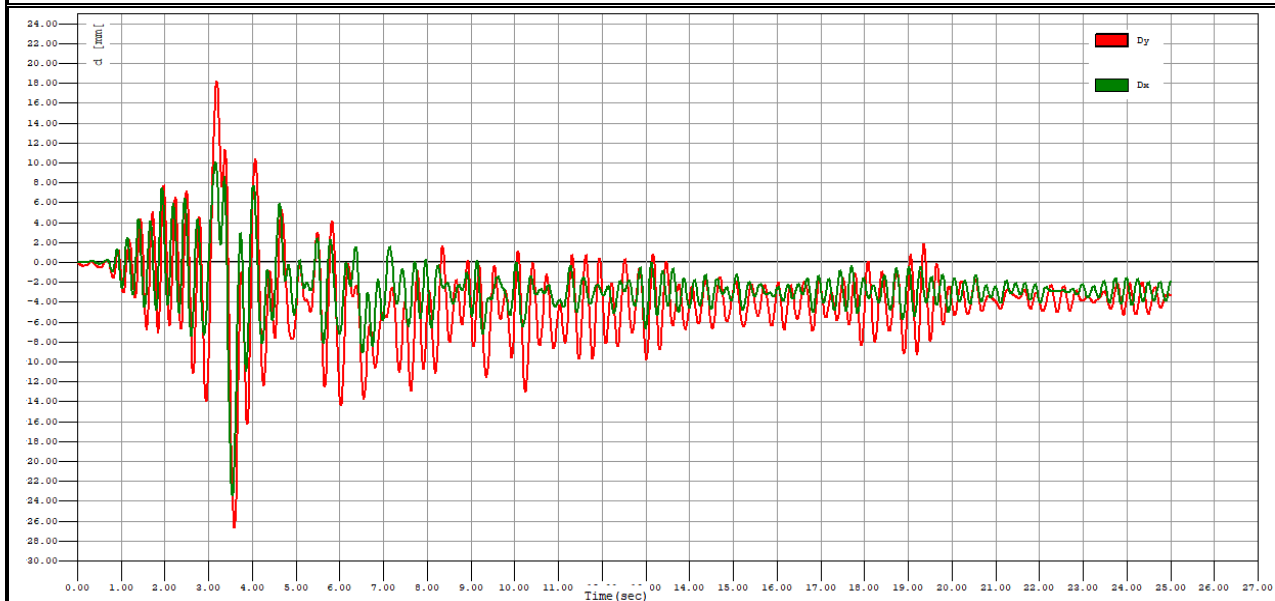
CICLO DI ISTERESI LINK N.264 IN DIREZIONE Y



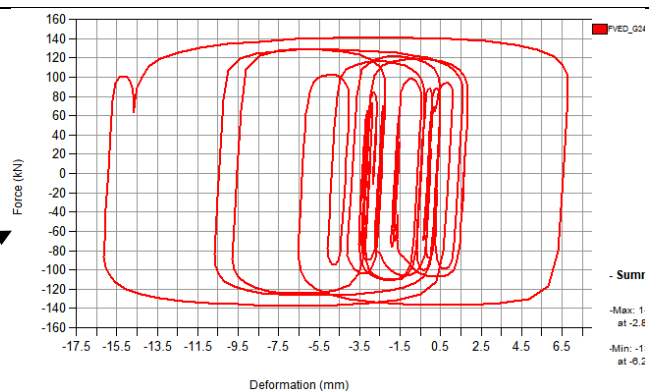
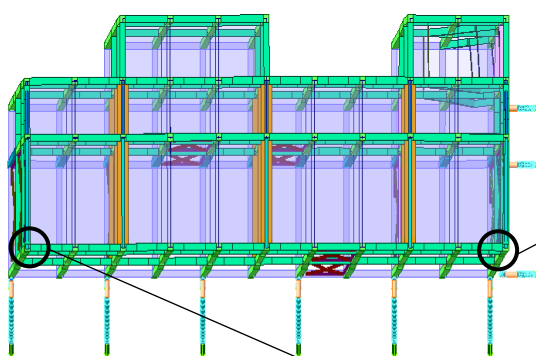
CICLO DI ISTERESI LINK N.151 IN DIREZIONE Y

## BLOCCO B: COMBINAZIONE TH\_3: ACCELEROGRAMMI 1.0 SLC\_3X + 1.0 SLC\_3Y

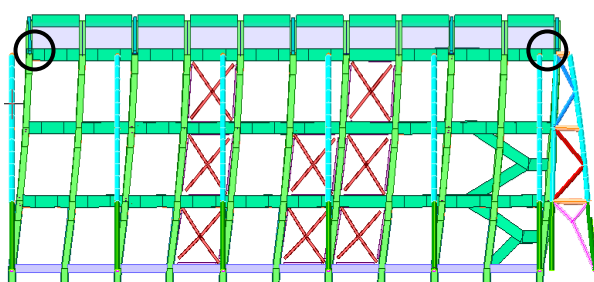
## DISSIPATORI TIPOLOGIA "C1" E "C3" – LINK ELEMENT 243 (DIR.X) E 247 (DIR. X)



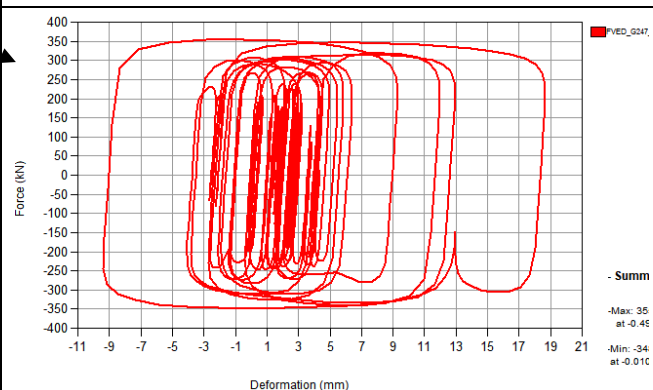
ANDAMENTO TEMPORALE DEGLI SPOSTAMENTI DIR. X E DIR.Y IN UN NODO DI CONTROLLO ULTIMO IMPALCATO



CICLO DI ISTERESI LINK N.243 (C1) IN DIREZIONE X



DEFORMATA ALL'ISTANTE DI TEMPO 3.41s



CICLO DI ISTERESI LINK N.247 (C3) IN DIREZIONE X

Altra immagine importante è riportata in FIGURA 10.20, dove è eseguito il confronto dei cicli isteretici dei dispositivi C1 e C3 posti su entrambi i livelli, onde verificare che la dissipazione avvenga in modo omogeneo lungo l'altezza del fabbricato.

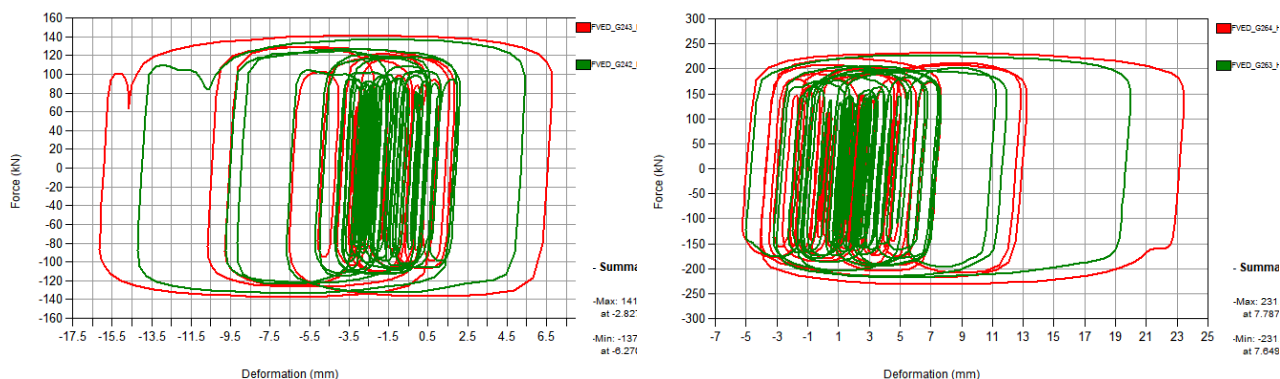


FIGURA 10.20 – BLOCCO B: CONFRONTO DI CICLI ISTERETICI TRA DISPOSITIVI POSIZIONI SU IMPALCATI TIPO C1 (LATO SX) E TIPO C2

Rimandando per la totalità dei risultati ai tabulati allegati alla presente relazione, di seguito si mostra una tabella di sintesi per ciascun dispositivo della stessa tipologia, ricordando che nel blocco B il dispositivo C1 ed il C3 agiscono nella direzione longitudinale o asse X, mentre il dispositivo C2 agisce nella direzione trasversale o asse Y.

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX    | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|-------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)  | (s)  |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_1(max)   | 100   | 1489  | 15.55 | 3.57 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_1(max)   | 140   | 1490  | 17.76 | 3.6  |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_1(max)   | 103   | 2242  | 15.51 | 3.57 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_1(max)   | 143   | 2243  | 18.21 | 3.6  |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_1(max)   | 145   | 2223  | 18.09 | 3.6  |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_1(max)   | 105   | 2222  | 15.58 | 3.57 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_1(min)   | 100   | 1489  | -5.69 | 3.18 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_1(min)   | 140   | 1490  | -5.86 | 3.38 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_1(min)   | 103   | 2242  | -5.57 | 3.17 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_1(min)   | 143   | 2243  | -5.73 | 3.21 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_1(min)   | 145   | 2223  | -5.76 | 3.39 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_1(min)   | 105   | 2222  | -5.66 | 3.17 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_2(max)   | 100   | 1489  | 7.92  | 2.74 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_2(max)   | 140   | 1490  | 8.58  | 2.77 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_2(max)   | 103   | 2242  | 8.04  | 2.73 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_2(max)   | 143   | 2243  | 9     | 2.77 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_2(max)   | 145   | 2223  | 8.89  | 2.77 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_2(max)   | 105   | 2222  | 8.04  | 2.73 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_2(min)   | 100   | 1489  | -7.12  | 3.22 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_2(min)   | 140   | 1490  | -7.99  | 3.24 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_2(min)   | 103   | 2242  | -6.9   | 3.22 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_2(min)   | 143   | 2243  | -7.94  | 3.24 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_2(min)   | 145   | 2223  | -7.93  | 3.24 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_2(min)   | 105   | 2222  | -7.03  | 3.22 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_3(max)   | 100   | 1489  | 5.41   | 3.78 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_3(max)   | 140   | 1490  | 6.78   | 3.81 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_3(max)   | 103   | 2242  | 5.32   | 3.78 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_3(max)   | 143   | 2243  | 6.98   | 3.81 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_3(max)   | 145   | 2223  | 6.95   | 3.81 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_3(max)   | 105   | 2222  | 5.4    | 3.78 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_3(min)   | 100   | 1489  | -14.21 | 3.41 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_3(min)   | 140   | 1490  | -16.13 | 3.44 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_3(min)   | 103   | 2242  | -14.22 | 3.41 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_3(min)   | 143   | 2243  | -16.42 | 3.44 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_3(min)   | 145   | 2223  | -16.31 | 3.44 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_3(min)   | 105   | 2222  | -14.29 | 3.41 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_4(max)   | 100   | 1489  | 10.62  | 3.57 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_4(max)   | 140   | 1490  | 12.34  | 3.59 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_4(max)   | 103   | 2242  | 10.67  | 3.57 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_4(max)   | 143   | 2243  | 12.85  | 3.59 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_4(max)   | 145   | 2223  | 12.7   | 3.59 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_4(max)   | 105   | 2222  | 10.7   | 3.57 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_4(min)   | 100   | 1489  | -17.59 | 3.77 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_4(min)   | 140   | 1490  | -20.6  | 3.79 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_4(min)   | 103   | 2242  | -17.38 | 3.76 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_4(min)   | 143   | 2243  | -20.98 | 3.79 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_4(min)   | 145   | 2223  | -20.82 | 3.79 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_4(min)   | 105   | 2222  | -17.53 | 3.76 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_5(max)   | 100   | 1489  | 4.43   | 7.77 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_5(max)   | 140   | 1490  | 4.21   | 7.8  |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_5(max)   | 103   | 2242  | 4.35   | 7.76 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_5(max)   | 143   | 2243  | 4.31   | 7.8  |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_5(max)   | 145   | 2223  | 4.32   | 7.8  |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_5(max)   | 105   | 2222  | 4.4    | 7.76 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_5(min)   | 100   | 1489  | -8.65  | 6.54 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_5(min)   | 140   | 1490  | -9.97  | 4.38 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_5(min)   | 103   | 2242  | -9.07  | 6.54 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_5(min)   | 143   | 2243  | -10.89 | 6.57 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_5(min)   | 145   | 2223  | -10.56 | 6.57 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_5(min)   | 105   | 2222  | -9     | 6.54 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_6(max)   | 100   | 1489  | 6.97   | 3.99 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_6(max)   | 140   | 1490  | 8.33   | 4.01 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_6(max)   | 103   | 2242  | 7.06   | 3.98 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_6(max)   | 143   | 2243  | 8.94   | 4.01 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_6(max)   | 145   | 2223  | 8.77   | 4.01 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_6(max)   | 105   | 2222  | 7.07   | 3.99 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_6(min)   | 100   | 1489  | -12.59 | 3.83 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_6(min)   | 140   | 1490  | -15.08 | 3.85 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_6(min)   | 103   | 2242  | -12.56 | 3.82 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_6(min)   | 143   | 2243  | -15.57 | 3.85 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_6(min)   | 145   | 2223  | -15.38 | 3.85 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_6(min)   | 105   | 2222  | -12.64 | 3.82 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_7(max)   | 100   | 1489  | 8.31   | 5.67 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_7(max)   | 140   | 1490  | 9.41   | 5.7  |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_7(max)   | 103   | 2242  | 8.4    | 5.67 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_7(max)   | 143   | 2243  | 9.58   | 5.7  |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_7(max)   | 145   | 2223  | 9.55   | 5.7  |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_7(max)   | 105   | 2222  | 8.41   | 5.67 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_7(min)   | 100   | 1489  | -6.99  | 4.9  |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_7(min)   | 140   | 1490  | -7.7   | 4.93 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_7(min)   | 103   | 2242  | -6.89  | 4.9  |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_7(min)   | 143   | 2243  | -7.81  | 4.93 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_7(min)   | 145   | 2223  | -7.76  | 4.93 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_7(min)   | 105   | 2222  | -6.96  | 4.9  |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_1(max)   | 2089  | 142   | 7.09   | 3.18 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_1(max)   | 2088  | 125   | 7.8    | 3.19 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_1(max)   | 2086  | 102   | 5.32   | 3.18 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_1(max)   | 2085  | 85    | 5.96   | 3.18 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_1(min)   | 2089  | 142   | -20.29 | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_1(min)   | 2088  | 125   | -20.7  | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_1(min)   | 2086  | 102   | -15.69 | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_1(min)   | 2085  | 85    | -16.02 | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_2(max)   | 2089  | 142   | 9.45   | 3.22 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_2(max)   | 2088  | 125   | 10.07  | 3.22 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_2(max)   | 2086  | 102   | 6.63   | 3.22 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_2(max)   | 2085  | 85    | 7.13   | 3.22 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_2(min)   | 2089  | 142   | -10.92 | 3.41 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_2(min)   | 2088  | 125   | -10.89 | 3.41 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_2(min)   | 2086  | 102   | -7.99  | 2.74 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_2(min)   | 2085  | 85    | -8.28  | 2.74 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_3(max)   | 2089  | 142   | 18.15  | 3.41 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_3(max)   | 2088  | 125   | 18.66  | 3.41 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_3(max)   | 2086  | 102   | 14.19  | 3.41 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_3(max)   | 2085  | 85    | 14.63  | 3.41 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_3(min)   | 2089  | 142   | -8.9   | 3.79 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_3(min)   | 2088  | 125   | -9.39  | 3.79 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_3(min)   | 2086  | 102   | -5.8   | 3.78 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_3(min)   | 2085  | 85    | -6.15  | 3.78 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_4(max)   | 2089  | 142   | 23.01  | 3.77 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_4(max)   | 2088  | 125   | 23.65  | 3.77 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_4(max)   | 2086  | 102   | 17.72  | 3.77 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_4(max)   | 2085  | 85    | 18.2   | 3.77 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_4(min)   | 2089  | 142   | -15.05 | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_4(min)   | 2088  | 125   | -15.47 | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_4(min)   | 2086  | 102   | -10.98 | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_4(min)   | 2085  | 85    | -11.29 | 3.57 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_5(max)   | 2089  | 142   | 12.58  | 6.54 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_5(max)   | 2088  | 125   | 12.3   | 6.55 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_5(max)   | 2086  | 102   | 9.12   | 6.54 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_5(max)   | 2085  | 85    | 8.96   | 6.54 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_5(min)   | 2089  | 142   | -6.07  | 7.77 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_5(min)   | 2088  | 125   | -6.58  | 7.78 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_5(min)   | 2086  | 102   | -4.42  | 7.77 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_5(min)   | 2085  | 85    | -4.8   | 7.77 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_6(max)   | 2089  | 142   | 17.57  | 3.83 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_6(max)   | 2088  | 125   | 18.14  | 3.83 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_6(max)   | 2086  | 102   | 12.65  | 3.83 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_6(max)   | 2085  | 85    | 12.93  | 3.83 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_6(min)   | 2089  | 142   | -11.32 | 3.99 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_6(min)   | 2088  | 125   | -11.45 | 3.99 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_6(min)   | 2086  | 102   | -7.62  | 3.99 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_6(min)   | 2085  | 85    | -7.78  | 3.99 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_7(max)   | 2089  | 142   | 8.87   | 4.91 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_7(max)   | 2088  | 125   | 9.37   | 4.91 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_7(max)   | 2086  | 102   | 6.6    | 4.9  |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_7(max)   | 2085  | 85    | 7.04   | 4.9  |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_7(min)   | 2089  | 142   | -11.49 | 5.67 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_7(min)   | 2088  | 125   | -12.09 | 5.68 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_7(min)   | 2086  | 102   | -8.34  | 5.67 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_7(min)   | 2085  | 85    | -8.83  | 5.67 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_1(max)   | 2192  | 85    | 10.37  | 3.2  |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_1(max)   | 2193  | 125   | 11.07  | 3.23 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_1(max)   | 2174  | 126   | 11.86  | 3.23 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_1(max)   | 2173  | 86    | 10.99  | 3.2  |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_1(max)   | 2154  | 88    | 11.38  | 3.2  |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_1(max)   | 2155  | 128   | 12.39  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_1(max)   | 2136  | 134   | 12.78  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_1(max)   | 2135  | 94    | 11.67  | 3.2  |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_1(max)   | 2116  | 96    | 11.91  | 3.2  |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_1(max)   | 2117  | 136   | 13.15  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_1(max)   | 2097  | 100   | 11.99  | 3.2  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_1(max)   | 2098  | 140   | 13.23  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_1(min)   | 2192  | 85    | -15.1  | 3.6  |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_1(min)   | 2193  | 125   | -19.42 | 3.63 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_1(min)   | 2174  | 126   | -20.25 | 3.63 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_1(min)   | 2173  | 86    | -15.72 | 3.6  |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_1(min)   | 2154  | 88    | -16.12 | 3.61 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_1(min)   | 2155  | 128   | -20.75 | 3.63 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_1(min)   | 2136  | 134   | -21.03 | 3.64 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_1(min)   | 2135  | 94    | -16.43 | 3.61 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_1(min)   | 2116  | 96    | -16.67 | 3.61 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_1(min)   | 2117  | 136   | -21.08 | 3.64 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_1(min)   | 2097  | 100   | -16.78 | 3.61 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_1(min)   | 2098  | 140   | -20.87 | 3.64 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_2(max)   | 2192  | 85    | 9.36   | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_2(max)   | 2193  | 125   | 10.97  | 3.26 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_2(max)   | 2174  | 126   | 11.71  | 3.26 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_2(max)   | 2173  | 86    | 9.9    | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_2(max)   | 2154  | 88    | 10.23  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_2(max)   | 2155  | 128   | 12.22  | 3.26 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_2(max)   | 2136  | 134   | 12.56  | 3.26 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_2(max)   | 2135  | 94    | 10.46  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_2(max)   | 2116  | 96    | 10.65  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_2(max)   | 2117  | 136   | 12.85  | 3.27 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_2(max)   | 2097  | 100   | 10.75  | 3.24 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_2(max)   | 2098  | 140   | 12.9   | 3.27 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_2(min)   | 2192  | 85    | -10.71 | 2.76 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_2(min)   | 2193  | 125   | -13.57 | 2.79 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_2(min)   | 2174  | 126   | -14.11 | 2.8  |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_2(min)   | 2173  | 86    | -11.02 | 2.76 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_2(min)   | 2154  | 88    | -11.12 | 2.77 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_2(min)   | 2155  | 128   | -14.38 | 2.8  |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_2(min)   | 2136  | 134   | -14.47 | 2.8  |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_2(min)   | 2135  | 94    | -11.33 | 3.51 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_2(min)   | 2116  | 96    | -11.67 | 3.51 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_2(min)   | 2117  | 136   | -14.33 | 2.8  |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_2(min)   | 2097  | 100   | -11.87 | 3.51 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_2(min)   | 2098  | 140   | -14.32 | 3.55 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_3(max)   | 2192  | 85    | 18.92  | 3.44 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_3(max)   | 2193  | 125   | 22.06  | 3.47 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_3(max)   | 2174  | 126   | 22.85  | 3.48 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_3(max)   | 2173  | 86    | 19.49  | 3.44 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_3(max)   | 2154  | 88    | 19.79  | 3.44 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_3(max)   | 2155  | 128   | 23.3   | 3.48 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_3(max)   | 2136  | 134   | 23.5   | 3.48 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_3(max)   | 2135  | 94    | 19.94  | 3.44 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_3(max)   | 2116  | 96    | 20.01  | 3.44 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_3(max)   | 2117  | 136   | 23.63  | 3.48 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_3(max)   | 2097  | 100   | 19.96  | 3.45 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_3(max)   | 2098  | 140   | 23.45  | 3.48 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_3(min)   | 2192  | 85    | -4.1   | 3.19 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_3(min)   | 2193  | 125   | -4.54  | 3.21 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_3(min)   | 2174  | 126   | -4.9   | 3.22 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_3(min)   | 2173  | 86    | -4.43  | 3.19 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_3(min)   | 2154  | 88    | -4.64  | 3.19 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_3(min)   | 2155  | 128   | -5.15  | 3.22 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_3(min)   | 2136  | 134   | -5.32  | 3.22 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_3(min)   | 2135  | 94    | -4.81  | 3.19 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_3(min)   | 2116  | 96    | -4.96  | 3.19 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_3(min)   | 2117  | 136   | -5.33  | 3.22 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_3(min)   | 2097  | 100   | -4.99  | 3.19 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_3(min)   | 2098  | 140   | -5.23  | 3.21 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_4(max)   | 2192  | 85    | 18.95  | 3.79 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_4(max)   | 2193  | 125   | 22.41  | 3.81 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_4(max)   | 2174  | 126   | 23.28  | 3.82 |



| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_4(max)   | 2173  | 86    | 19.57  | 3.79 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_4(max)   | 2154  | 88    | 19.92  | 3.79 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_4(max)   | 2155  | 128   | 23.81  | 3.82 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_4(max)   | 2136  | 134   | 24.16  | 3.82 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_4(max)   | 2135  | 94    | 20.16  | 3.79 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_4(max)   | 2116  | 96    | 20.43  | 3.8  |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_4(max)   | 2117  | 136   | 24.47  | 3.83 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_4(max)   | 2097  | 100   | 20.64  | 3.8  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_4(max)   | 2098  | 140   | 24.5   | 3.83 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_4(min)   | 2192  | 85    | -13.66 | 3.57 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_4(min)   | 2193  | 125   | -18.46 | 3.6  |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_4(min)   | 2174  | 126   | -19.08 | 3.6  |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_4(min)   | 2173  | 86    | -13.92 | 3.57 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_4(min)   | 2154  | 88    | -13.95 | 3.57 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_4(min)   | 2155  | 128   | -19.33 | 3.6  |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_4(min)   | 2136  | 134   | -19.32 | 3.6  |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_4(min)   | 2135  | 94    | -13.94 | 3.58 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_4(min)   | 2116  | 96    | -13.96 | 3.58 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_4(min)   | 2117  | 136   | -19.06 | 3.61 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_4(min)   | 2097  | 100   | -13.88 | 3.58 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_4(min)   | 2098  | 140   | -18.5  | 3.61 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_5(max)   | 2192  | 85    | 13.83  | 4.03 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_5(max)   | 2193  | 125   | 15.12  | 6.59 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_5(max)   | 2174  | 126   | 15.16  | 6.59 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_5(max)   | 2173  | 86    | 14.44  | 4.03 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_5(max)   | 2154  | 88    | 14.77  | 4.03 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_5(max)   | 2155  | 128   | 15.24  | 4.06 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_5(max)   | 2136  | 134   | 15.5   | 4.07 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_5(max)   | 2135  | 94    | 14.92  | 4.03 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_5(max)   | 2116  | 96    | 14.95  | 4.03 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_5(max)   | 2117  | 136   | 15.74  | 4.07 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_5(max)   | 2097  | 100   | 14.81  | 4.03 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_5(max)   | 2098  | 140   | 15.67  | 4.07 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_5(min)   | 2192  | 85    | -4.92  | 7.3  |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_5(min)   | 2193  | 125   | -5.75  | 7.35 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_5(min)   | 2174  | 126   | -6.94  | 7.35 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_5(min)   | 2173  | 86    | -5.64  | 7.3  |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_5(min)   | 2154  | 88    | -6.12  | 7.3  |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_5(min)   | 2155  | 128   | -7.79  | 7.35 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_5(min)   | 2136  | 134   | -8.45  | 7.35 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_5(min)   | 2135  | 94    | -6.49  | 7.3  |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_5(min)   | 2116  | 96    | -6.78  | 7.3  |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_5(min)   | 2117  | 136   | -8.86  | 7.35 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_5(min)   | 2097  | 100   | -6.92  | 7.3  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_5(min)   | 2098  | 140   | -8.96  | 7.35 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_6(max)   | 2192  | 85    | 16.37  | 3.84 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_6(max)   | 2193  | 125   | 21.94  | 3.86 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_6(max)   | 2174  | 126   | 22.49  | 3.86 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_6(max)   | 2173  | 86    | 16.67  | 3.84 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_6(max)   | 2154  | 88    | 16.73  | 3.84 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_6(max)   | 2155  | 128   | 22.72  | 3.86 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_6(max)   | 2136  | 134   | 22.66  | 3.86 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_6(max)   | 2135  | 94    | 16.73  | 3.84 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_6(max)   | 2116  | 96    | 16.77  | 3.84 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_6(max)   | 2117  | 136   | 22.48  | 3.86 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_6(max)   | 2097  | 100   | 16.75  | 3.84 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_6(max)   | 2098  | 140   | 22.01  | 3.86 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_6(min)   | 2192  | 85    | -8.36  | 5.27 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_6(min)   | 2193  | 125   | -10.38 | 5.3  |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_6(min)   | 2174  | 126   | -11.28 | 5.31 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_6(min)   | 2173  | 86    | -9.01  | 5.27 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_6(min)   | 2154  | 88    | -9.48  | 5.27 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_6(min)   | 2155  | 128   | -11.97 | 5.31 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_6(min)   | 2136  | 134   | -12.47 | 5.31 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_6(min)   | 2135  | 94    | -9.86  | 5.27 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_6(min)   | 2116  | 96    | -10.18 | 5.27 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_6(min)   | 2117  | 136   | -12.74 | 5.31 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_6(min)   | 2097  | 100   | -10.35 | 5.27 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_6(min)   | 2098  | 140   | -12.8  | 5.31 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_7(max)   | 2192  | 85    | 12.19  | 4.89 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_7(max)   | 2193  | 125   | 13.25  | 4.91 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_7(max)   | 2174  | 126   | 13.8   | 4.91 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_7(max)   | 2173  | 86    | 12.75  | 4.89 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_7(max)   | 2154  | 88    | 13.1   | 4.89 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_7(max)   | 2155  | 128   | 14.19  | 4.91 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_7(max)   | 2136  | 134   | 14.44  | 4.91 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_7(max)   | 2135  | 94    | 13.34  | 4.89 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_7(max)   | 2116  | 96    | 13.51  | 4.89 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_7(max)   | 2117  | 136   | 14.65  | 4.91 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_7(max)   | 2097  | 100   | 13.56  | 4.9  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_7(max)   | 2098  | 140   | 14.66  | 4.91 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_7(min)   | 2192  | 85    | -13.95 | 7.99 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Node2 | DX     | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|-------|--------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | -     | (mm)   | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_7(min)   | 2193  | 125   | -17.43 | 8.02 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_7(min)   | 2174  | 126   | -18.32 | 8.03 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_7(min)   | 2173  | 86    | -14.58 | 7.99 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_7(min)   | 2154  | 88    | -15.01 | 7.99 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_7(min)   | 2155  | 128   | -18.97 | 8.03 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_7(min)   | 2136  | 134   | -19.42 | 8.03 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_7(min)   | 2135  | 94    | -15.36 | 8    |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_7(min)   | 2116  | 96    | -15.68 | 8    |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_7(min)   | 2117  | 136   | -19.61 | 8.03 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_7(min)   | 2097  | 100   | -15.86 | 8    |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_7(min)   | 2098  | 140   | -19.6  | 8.03 |

Le ultime due tabelle riportano proprio l'estrazione del valore massimo di spostamento per ciascuna analisi time history, quindi la determinazione del valore medio da confrontare con la soglia limite indicata dal produttore.

| Dispositivo | Time History | d <sup>+</sup> | d <sup>-</sup> | d <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -            | [mm]           | [mm]           | [mm]             | [mm]             | d <sub>dis</sub> ≤ d <sub>max</sub> |
| -           | TH-1         | 18.21          | -5.86          | 18.21            | -                | -                                   |
|             | TH-2         | 9.00           | -7.99          | 9.00             |                  |                                     |
|             | TH-3         | 6.98           | -16.42         | 16.42            |                  |                                     |
|             | TH-4         | 12.85          | -20.98         | 20.98            |                  |                                     |
|             | TH-5         | 4.43           | -10.89         | 10.89            |                  |                                     |
|             | TH-6         | 8.94           | -15.57         | 15.57            |                  |                                     |
|             | TH-7         | 9.58           | -7.81          | 9.58             |                  |                                     |
| C1          | Valore medio |                |                | 14.38            | 31.21            | OK!                                 |

| Dispositivo | Time History | d <sup>+</sup> | d <sup>-</sup> | d <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -            | [mm]           | [mm]           | [mm]             | [mm]             | d <sub>dis</sub> ≤ d <sub>max</sub> |
| -           | TH-1         | 13.23          | -21.08         | 21.08            |                  |                                     |
|             | TH-2         | 12.9           | -14.47         | 14.47            |                  |                                     |
|             | TH-3         | 23.63          | -5.33          | 23.63            |                  |                                     |
|             | TH-4         | 24.50          | -19.33         | 24.50            |                  |                                     |
|             | TH-5         | 15.74          | -8.96          | 15.74            |                  |                                     |
|             | TH-6         | 22.72          | -12.8          | 22.72            |                  |                                     |
|             | TH-7         | 14.66          | -19.61         | 19.61            |                  |                                     |
| C2          | Valore medio |                |                | 20.25            | 20.25            | OK!                                 |

| Dispositivo | Time History | $d^+$ | $d^-$  | $d_{dis}$ | $d_{max}$ | Verifica               |
|-------------|--------------|-------|--------|-----------|-----------|------------------------|
| -           | -            | [mm]  | [mm]   | [mm]      | [mm]      | $d_{dis} \leq d_{max}$ |
|             | TH-1         | 7.8   | -20.70 | 20.70     |           |                        |
|             | TH-2         | 10.07 | -10.92 | 10.92     |           |                        |
|             | TH-3         | 18.66 | -9.39  | 18.66     |           |                        |
|             | TH-4         | 23.65 | -15.47 | 23.65     |           |                        |
|             | TH-5         | 12.58 | -6.58  | 12.58     |           |                        |
|             | TH-6         | 18.14 | -11.45 | 18.14     |           |                        |
|             | TH-7         | 9.37  | -12.09 | 12.09     |           |                        |
| C3          | Valore medio |       |        | 16.68     | 16.68     | OK!                    |

### 10.2.2. Verifica sui carichi massimi in condizioni sismiche

Le tabelle seguenti mostrano i risultati relativi ai valori dello sforzo normale (indicato con il simbolo  $F_x$ ) per le combinazioni di accelerogrammi principali; in particolare il primo tabulato mostra i valori massimi e minimi per ogni combinazione sismica, mentre la seconda tabella riassume i valori medi desunti per lo stato limite SLC. Tali valori si confrontano con i rispettivi limiti indicati per ogni tipologia di dissipatore dal produttore, che si ricorda essere lo sforzo normale massimo sopportabile in presenza di sisma  $F_{max}$ ; per la numerazione si rimanda a quanto indicato al §10.2.1 della presente relazione.

#### Blocco A

Anche in questo caso, poiché il dispositivo C1 nel blocco A è uguale per entrambe le direzioni principali, i risultati maggiormente significativi in termini di forze sono quelli relativi alla direzione trasversale o asse Y.

| Dispositivi | Dir. | No. | Load       | Node | Axial  | time |
|-------------|------|-----|------------|------|--------|------|
| -           | -    | -   | -          | -    | [kN]   | -    |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_1(max) | 2593 | 141.98 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_1(max) | 2594 | 146.29 | 3.72 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_1(max) | 2614 | 148.3  | 3.72 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_1(max) | 2613 | 144.42 | 3.7  |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_1(max) | 2633 | 146.33 | 3.7  |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_1(max) | 2634 | 150.02 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_1(max) | 1390 | 145.87 | 3.51 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_1(max) | 1392 | 156.47 | 3.5  |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_1(max) | 1481 | 155.64 | 3.5  |

| Dispositivi | Dir. | No. | Load       | Node | Axial   | time |
|-------------|------|-----|------------|------|---------|------|
| -           | -    | -   | -          | -    | [kN]    | -    |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_1(max) | 1480 | 144.7   | 3.51 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_1(min) | 2593 | -142.7  | 3.45 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_1(min) | 2594 | -154.02 | 3.5  |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_1(min) | 2614 | -154.89 | 3.49 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_1(min) | 2613 | -143.67 | 3.44 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_1(min) | 2633 | -144.27 | 3.45 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_1(min) | 2634 | -155.64 | 3.49 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_1(min) | 1390 | -147.31 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_1(min) | 1392 | -151.11 | 3.73 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_1(min) | 1481 | -149.62 | 3.73 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_1(min) | 1480 | -145.53 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_2(max) | 2593 | 143.92  | 3.74 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_2(max) | 2594 | 147.01  | 3.78 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_2(max) | 2614 | 149.51  | 2.88 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_2(max) | 2613 | 145.38  | 2.87 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_2(max) | 2633 | 147.61  | 2.87 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_2(max) | 2634 | 151.73  | 2.88 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_2(max) | 1390 | 142.51  | 3.36 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_2(max) | 1392 | 149.74  | 3.95 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_2(max) | 1481 | 148.38  | 3.37 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_2(max) | 1480 | 140.91  | 3.35 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_2(min) | 2593 | -138.83 | 3.33 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_2(min) | 2594 | -145.63 | 3.37 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_2(min) | 2614 | -147.13 | 3.36 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_2(min) | 2613 | -140.62 | 3.33 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_2(min) | 2633 | -141.8  | 3.33 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_2(min) | 2634 | -148.8  | 3.94 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_2(min) | 1390 | -148.55 | 2.88 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_2(min) | 1392 | -153.45 | 2.89 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_2(min) | 1481 | -151.51 | 2.9  |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_2(min) | 1480 | -146.8  | 2.88 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_3(max) | 2593 | 144     | 3.32 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_3(max) | 2594 | 150.72  | 3.35 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_3(max) | 2614 | 151.73  | 3.35 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_3(max) | 2613 | 145.81  | 3.31 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_3(max) | 2633 | 147.11  | 3.31 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_3(max) | 2634 | 152.57  | 3.35 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_3(max) | 1390 | 146.94  | 3.72 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_3(max) | 1392 | 155.66  | 3.73 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_3(max) | 1481 | 155.03  | 3.73 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_3(max) | 1480 | 147.05  | 3.72 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Load       | Node | Axial   | time |
|-------------|------|-----|------------|------|---------|------|
| -           | -    | -   | -          | -    | [kN]    | -    |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_3(min) | 2593 | -147.32 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_3(min) | 2594 | -153.59 | 3.74 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_3(min) | 2614 | -154.37 | 3.73 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_3(min) | 2613 | -147.51 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_3(min) | 2633 | -147.53 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_3(min) | 2634 | -155.03 | 3.73 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_3(min) | 1390 | -148.25 | 3.34 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_3(min) | 1392 | -153.41 | 3.35 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_3(min) | 1481 | -152.6  | 3.35 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_3(min) | 1480 | -146.89 | 3.33 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_4(max) | 2593 | 150.06  | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_4(max) | 2594 | 158.97  | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_4(max) | 2614 | 160.77  | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_4(max) | 2613 | 151.87  | 3.7  |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_4(max) | 2633 | 153.76  | 3.7  |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_4(max) | 2634 | 162.26  | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_4(max) | 1390 | 151.87  | 3.5  |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_4(max) | 1392 | 157.33  | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_4(max) | 1481 | 156.46  | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_4(max) | 1480 | 150.82  | 3.49 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_4(min) | 2593 | -148.92 | 3.49 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_4(min) | 2594 | -154.2  | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_4(min) | 2614 | -155.43 | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_4(min) | 2613 | -150.55 | 3.49 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_4(min) | 2633 | -151.76 | 3.49 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_4(min) | 2634 | -156.43 | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_4(min) | 1390 | -156.62 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_4(min) | 1392 | -163.86 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_4(min) | 1481 | -162.51 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_4(min) | 1480 | -154.71 | 3.71 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_5(max) | 2593 | 146.22  | 7.5  |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_5(max) | 2594 | 146.43  | 7.54 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_5(max) | 2614 | 147.01  | 7.53 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_5(max) | 2613 | 147.47  | 7.5  |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_5(max) | 2633 | 148.3   | 7.5  |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_5(max) | 2634 | 147.52  | 7.53 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_5(max) | 1390 | 147.97  | 7.74 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_5(max) | 1392 | 154.25  | 7.73 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_5(max) | 1481 | 152.48  | 7.73 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_5(max) | 1480 | 146.1   | 7.73 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_5(min) | 2593 | -142.85 | 7.24 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Load       | Node | Axial   | time |
|-------------|------|-----|------------|------|---------|------|
| -           | -    | -   | -          | -    | [kN]    | -    |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_5(min) | 2594 | -148.13 | 7.73 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_5(min) | 2614 | -150.38 | 7.73 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_5(min) | 2613 | -143.68 | 7.23 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_5(min) | 2633 | -145.26 | 7.73 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_5(min) | 2634 | -152.38 | 7.72 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_5(min) | 1390 | -148.85 | 7.5  |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_5(min) | 1392 | -148.39 | 7.53 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_5(min) | 1481 | -147.99 | 7.54 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_5(min) | 1480 | -148.37 | 7.5  |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_6(max) | 2593 | 145.95  | 3.5  |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_6(max) | 2594 | 151.62  | 3.53 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_6(max) | 2614 | 152.38  | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_6(max) | 2613 | 147.16  | 3.5  |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_6(max) | 2633 | 148.14  | 3.5  |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_6(max) | 2634 | 153.05  | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_6(max) | 1390 | 151.04  | 3.94 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_6(max) | 1392 | 156.4   | 3.94 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_6(max) | 1481 | 154.84  | 3.94 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_6(max) | 1480 | 149.41  | 3.94 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_6(min) | 2593 | -145.71 | 3.93 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_6(min) | 2594 | -151.94 | 3.94 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_6(min) | 2614 | -153.71 | 3.94 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_6(min) | 2613 | -147.82 | 3.93 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_6(min) | 2633 | -149.56 | 3.93 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_6(min) | 2634 | -155.35 | 3.93 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_6(min) | 1390 | -149.72 | 3.52 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_6(min) | 1392 | -153.35 | 3.53 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_6(min) | 1481 | -152.81 | 3.53 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_6(min) | 1480 | -148.36 | 3.51 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_7(max) | 2593 | 148.74  | 5.88 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_7(max) | 2594 | 151.05  | 5.91 |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_7(max) | 2614 | 151.86  | 5.91 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_7(max) | 2613 | 149.9   | 5.88 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_7(max) | 2633 | 150.57  | 5.88 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_7(max) | 2634 | 152.46  | 5.91 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_7(max) | 1390 | 147.25  | 4.99 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_7(max) | 1392 | 152.09  | 5.02 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_7(max) | 1481 | 151     | 5.02 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_7(max) | 1480 | 146.53  | 4.99 |
| Disp_C1     | Y    | 105 | SLC_7(min) | 2593 | -146.51 | 4.98 |
| Disp_C1     | Y    | 106 | SLC_7(min) | 2594 | -148.62 | 5.03 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Load       | Node | Axial   | time |
|-------------|------|-----|------------|------|---------|------|
| -           | -    | -   | -          | -    | [kN]    | -    |
| Disp_C1     | Y    | 108 | SLC_7(min) | 2614 | -149.91 | 5.02 |
| Disp_C1     | Y    | 109 | SLC_7(min) | 2613 | -148.11 | 4.98 |
| Disp_C1     | Y    | 117 | SLC_7(min) | 2633 | -149.09 | 4.98 |
| Disp_C1     | Y    | 118 | SLC_7(min) | 2634 | -151.2  | 5.01 |
| Disp_C1     | Y    | 119 | SLC_7(min) | 1390 | -150.47 | 5.88 |
| Disp_C1     | Y    | 120 | SLC_7(min) | 1392 | -153.1  | 5.92 |
| Disp_C1     | Y    | 123 | SLC_7(min) | 1481 | -152.6  | 5.92 |
| Disp_C1     | Y    | 124 | SLC_7(min) | 1480 | -150.05 | 5.88 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Load       | Node | Axial   | time |
|-------------|------|-----|------------|------|---------|------|
| -           | -    | -   | -          | -    | [kN]    | -    |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_1(max) | 160  | 354.87  | 3.44 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_1(max) | 120  | 346.65  | 3.45 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_1(max) | 136  | 351.53  | 3.44 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_1(max) | 96   | 342.74  | 3.45 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_1(min) | 160  | -326.31 | 3.64 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_1(min) | 120  | -321.08 | 3.66 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_1(min) | 136  | -318.64 | 3.93 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_1(min) | 96   | -310.85 | 3.65 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_2(max) | 160  | 332.56  | 3.89 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_2(max) | 120  | 321.46  | 3.3  |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_2(max) | 136  | 330.59  | 7.26 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_2(max) | 96   | 317.71  | 3.3  |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_2(min) | 160  | -338.96 | 6.02 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_2(min) | 120  | -322.45 | 2.85 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_2(min) | 136  | -330.98 | 7.13 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_2(min) | 96   | -319.23 | 7.13 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_3(max) | 160  | 343.04  | 3.71 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_3(max) | 120  | 337.69  | 3.69 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_3(max) | 136  | 337.44  | 3.71 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_3(max) | 96   | 335.22  | 3.7  |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_3(min) | 160  | -344.98 | 3.85 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_3(min) | 120  | -331.83 | 3.3  |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_3(min) | 136  | -335.94 | 3.85 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_3(min) | 96   | -325.3  | 3.3  |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_4(max) | 160  | 358.53  | 3.48 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_4(max) | 120  | 350.75  | 3.48 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_4(max) | 136  | 352.78  | 3.48 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_4(max) | 96   | 344.31  | 3.48 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_4(min) | 160  | -366.23 | 3.64 |



| Dispositivi | Dir. | No. | Load       | Node | Axial   | time |
|-------------|------|-----|------------|------|---------|------|
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_4(min) | 120  | -357.58 | 3.64 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_4(min) | 136  | -358.68 | 3.64 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_4(min) | 96   | -350.8  | 3.64 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_5(max) | 160  | 334.23  | 7.1  |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_5(max) | 120  | 321.43  | 7.11 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_5(max) | 136  | 330.3   | 7.1  |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_5(max) | 96   | 315.98  | 7.1  |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_5(min) | 160  | -342.81 | 6.97 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_5(min) | 120  | -330.9  | 4.3  |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_5(min) | 136  | -336.25 | 6.97 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_5(min) | 96   | -325.7  | 4.3  |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_6(max) | 160  | 362.55  | 3.9  |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_6(max) | 120  | 352.66  | 3.89 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_6(max) | 136  | 354.69  | 3.89 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_6(max) | 96   | 349.13  | 3.89 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_6(min) | 160  | -347.95 | 3.75 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_6(min) | 120  | -332.1  | 3.49 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_6(min) | 136  | -351.09 | 3.74 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_6(min) | 96   | -332.07 | 3.75 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_7(max) | 160  | 348.94  | 4.98 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_7(max) | 120  | 337.66  | 4.98 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_7(max) | 136  | 338.97  | 4.98 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_7(max) | 96   | 330.18  | 4.98 |
| Disp_C3     | X    | 101 | SLC_7(min) | 160  | -342.41 | 5.88 |
| Disp_C3     | X    | 104 | SLC_7(min) | 120  | -330.63 | 5.88 |
| Disp_C3     | X    | 107 | SLC_7(min) | 136  | -334.38 | 5.89 |
| Disp_C3     | X    | 110 | SLC_7(min) | 96   | -322.12 | 5.89 |

La sintesi dei risultati ottenuti, riferita ai valori medi derivanti dall'applicazione dei n.7 accelerogrammi, è riportata nella seguente tabella che mostra l'esito positivo della stessa.

| Dispositivo | Time History | F <sup>+</sup> | F <sup>-</sup> | F <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -            | [kN]           | [kN]           | [kN]             | [kN]             | F <sub>dis</sub> ≤ F <sub>max</sub> |
| -           | TH-1         | 156.47         | -155.64        | 156.47           | -                | -                                   |
|             | TH-2         | 151.73         | -153.45        | 153.45           |                  |                                     |
|             | TH-3         | 155.66         | -155.03        | 155.66           |                  |                                     |
|             | TH-4         | 162.26         | -163.86        | 163.86           |                  |                                     |
|             | TH-5         | 154.25         | -152.38        | 154.25           |                  |                                     |
|             | TH-6         | 156.4          | -155.35        | 156.4            |                  |                                     |
|             | TH-7         | 152.46         | -153.1         | 153.1            |                  |                                     |
| C1          | Valore medio |                |                | 156.47           | 157.00           | OK!                                 |

| Dispositivo | Time History | F <sup>+</sup> | F <sup>-</sup> | F <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|--------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -            | [kN]           | [kN]           | [kN]             | [kN]             | F <sub>dis</sub> ≤ F <sub>max</sub> |
| -           | TH-1         | 354.87         | -326.31        | 354.87           | -                | -                                   |
|             | TH-2         | 332.56         | -338.96        | 338.96           |                  |                                     |
|             | TH-3         | 343.04         | -344.98        | 344.98           |                  |                                     |
|             | TH-4         | 358.53         | -366.23        | 366.23           |                  |                                     |
|             | TH-5         | 334.23         | -342.81        | 342.81           |                  |                                     |
|             | TH-6         | 362.55         | -351.09        | 362.55           |                  |                                     |
|             | TH-7         | 348.94         | -342.41        | 348.94           |                  |                                     |
| C3          | Valore medio |                |                | 351.33           | 362.00           | OK!                                 |

### Blocco B

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_1(max)   | 100   | 139.86  | 3.47 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_1(max)   | 140   | 143.83  | 3.48 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_1(max)   | 103   | 140.61  | 3.47 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_1(max)   | 143   | 144.26  | 3.48 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_1(max)   | 145   | 144.12  | 3.48 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_1(max)   | 105   | 140.41  | 3.47 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_1(min)   | 100   | -133.89 | 3.67 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_1(min)   | 140   | -137.39 | 3.69 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_1(min)   | 103   | -134.42 | 3.67 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_1(min)   | 143   | -139.15 | 3.69 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_1(min)   | 145   | -138.6  | 3.69 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_1(min)   | 105   | -134.35 | 3.67 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_2(max)   | 100   | 134.03  | 3.31 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_2(max)   | 140   | 138.25  | 3.33 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_2(max)   | 103   | 134.11  | 3.31 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_2(max)   | 143   | 139.84  | 3.33 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_2(max)   | 145   | 139.3   | 3.33 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_2(max)   | 105   | 134.14  | 3.31 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_2(min)   | 100   | -134.91 | 2.86 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_2(min)   | 140   | -136.66 | 2.87 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_2(min)   | 103   | -135.25 | 2.86 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_2(min)   | 143   | -137.87 | 7.16 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_2(min)   | 145   | -137.38 | 2.87 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_2(min)   | 105   | -135.22 | 2.86 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_3(max)   | 100   | 136.99  | 3.71 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_3(max)   | 140   | 141.26  | 3.73 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_3(max)   | 103   | 136.76  | 3.71 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_3(max)   | 143   | 141.47  | 3.73 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_3(max)   | 145   | 141.41  | 3.73 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_3(max)   | 105   | 136.91  | 3.71 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_3(min)   | 100   | -133.45 | 3.32 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_3(min)   | 140   | -137.38 | 3.33 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_3(min)   | 103   | -134.32 | 3.32 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_3(min)   | 143   | -139.25 | 3.88 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_3(min)   | 145   | -138.42 | 3.88 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_3(min)   | 105   | -134.12 | 3.32 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_4(max)   | 100   | 139.66  | 3.5  |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_4(max)   | 140   | 143.94  | 3.51 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_4(max)   | 103   | 140.28  | 3.5  |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_4(max)   | 143   | 144.14  | 3.51 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_4(max)   | 145   | 144.08  | 3.51 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_4(max)   | 105   | 140.14  | 3.5  |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_4(min)   | 100   | -145.33 | 3.67 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_4(min)   | 140   | -150.74 | 3.68 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_4(min)   | 103   | -145.49 | 3.67 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_4(min)   | 143   | -151.3  | 3.68 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_4(min)   | 145   | -151.11 | 3.68 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_4(min)   | 105   | -145.51 | 3.67 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_5(max)   | 100   | 128.35  | 6.66 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_5(max)   | 140   | 131.31  | 4.11 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_5(max)   | 103   | 128.75  | 6.66 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_5(max)   | 143   | 133.66  | 4.11 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_5(max)   | 145   | 132.89  | 4.11 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_5(max)   | 105   | 128.75  | 6.66 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_5(min)   | 100   | -133.44 | 4.28 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_5(min)   | 140   | -139.62 | 4.32 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_5(min)   | 103   | -133.99 | 4.3  |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_5(min)   | 143   | -141.61 | 4.32 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_5(min)   | 145   | -140.96 | 4.32 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_5(min)   | 105   | -134.02 | 4.28 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_6(max)   | 100   | 142.59  | 3.91 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_6(max)   | 140   | 147.7   | 3.93 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_6(max)   | 103   | 142.62  | 3.91 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_6(max)   | 143   | 149.1   | 3.93 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_6(max)   | 145   | 148.63  | 3.93 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_6(max)   | 105   | 142.68  | 3.91 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_6(min)   | 100   | -134.53 | 4.4  |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_6(min)   | 140   | -137.59 | 4.08 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_6(min)   | 103   | -134.82 | 4.39 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_6(min)   | 143   | -140.05 | 4.08 |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_6(min)   | 145   | -139.23 | 4.08 |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_6(min)   | 105   | -134.79 | 4.39 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_7(max)   | 100   | 130.6   | 4.98 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_7(max)   | 140   | 138.52  | 5.01 |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_7(max)   | 103   | 130.57  | 4.99 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_7(max)   | 143   | 139.26  | 5    |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_7(max)   | 145   | 138.96  | 5    |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_7(max)   | 105   | 130.49  | 4.98 |
| Disp_C1     | X    | 242 | SLC_7(min)   | 100   | -128.3  | 5.88 |
| Disp_C1     | X    | 243 | SLC_7(min)   | 140   | -138.43 | 5.9  |
| Disp_C1     | X    | 249 | SLC_7(min)   | 103   | -128.45 | 5.88 |
| Disp_C1     | X    | 271 | SLC_7(min)   | 143   | -138.03 | 5.9  |
| Disp_C1     | X    | 272 | SLC_7(min)   | 145   | -138.18 | 5.9  |
| Disp_C1     | X    | 273 | SLC_7(min)   | 105   | -128.46 | 5.88 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_1(max)   | 2192  | 216.82  | 3.09 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_1(max)   | 2193  | 220.35  | 3.71 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_1(max)   | 2174  | 221.95  | 3.71 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_1(max)   | 2173  | 219.22  | 3.09 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_1(max)   | 2154  | 220.87  | 3.09 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_1(max)   | 2155  | 222.56  | 3.71 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_1(max)   | 2136  | 222.65  | 3.71 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_1(max)   | 2135  | 221.62  | 3.09 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_1(max)   | 2116  | 221.54  | 3.1  |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_1(max)   | 2117  | 222.81  | 3.72 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_1(max)   | 2097  | 220.99  | 3.1  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_1(max)   | 2098  | 222.64  | 3.72 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_1(min)   | 2192  | -222.7  | 3.48 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_1(min)   | 2193  | -236.15 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_1(min)   | 2174  | -237.46 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_1(min)   | 2173  | -222.97 | 3.47 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_1(min)   | 2154  | -223.04 | 3.47 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_1(min)   | 2155  | -238.38 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_1(min)   | 2136  | -238.69 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_1(min)   | 2135  | -222.52 | 3.47 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_1(min)   | 2116  | -221.59 | 3.48 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_1(min)   | 2117  | -238.49 | 3.5  |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_1(min)   | 2097  | -221.44 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_1(min)   | 2098  | -237.91 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_2(max)   | 2192  | 226.5   | 2.87 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_2(max)   | 2193  | 230.43  | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_2(max)   | 2174  | 231.68  | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_2(max)   | 2173  | 227.95  | 2.87 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_2(max)   | 2154  | 228.58  | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_2(max)   | 2155  | 232.1   | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_2(max)   | 2136  | 232.19  | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_2(max)   | 2135  | 228.68  | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_2(max)   | 2116  | 227.95  | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_2(max)   | 2117  | 232.88  | 4.12 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_2(max)   | 2097  | 226.62  | 2.88 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_2(max)   | 2098  | 231.94  | 2.89 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_2(min)   | 2192  | -220.04 | 3.34 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_2(min)   | 2193  | -228.53 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_2(min)   | 2174  | -229.73 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_2(min)   | 2173  | -222.09 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_2(min)   | 2154  | -223.57 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_2(min)   | 2155  | -230.19 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_2(min)   | 2136  | -230.19 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_2(min)   | 2135  | -223.96 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_2(min)   | 2116  | -223.32 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_2(min)   | 2117  | -230    | 3.36 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_2(min)   | 2097  | -222.08 | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_2(min)   | 2098  | -229.8  | 3.36 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_3(max)   | 2192  | 225.82  | 3.33 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_3(max)   | 2193  | 229.77  | 3.34 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_3(max)   | 2174  | 230.58  | 3.34 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_3(max)   | 2173  | 226.88  | 3.32 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_3(max)   | 2154  | 227.84  | 3.32 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_3(max)   | 2155  | 231.04  | 3.34 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_3(max)   | 2136  | 231.25  | 3.34 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_3(max)   | 2135  | 227.9   | 3.32 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_3(max)   | 2116  | 227.04  | 3.32 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_3(max)   | 2117  | 231.35  | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_3(max)   | 2097  | 226.04  | 3.33 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_3(max)   | 2098  | 231.25  | 3.35 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_3(min)   | 2192  | -216.58 | 3.72 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_3(min)   | 2193  | -230.52 | 3.74 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_3(min)   | 2174  | -231.45 | 3.74 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_3(min)   | 2173  | -216.6  | 3.72 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_3(min)   | 2154  | -216.41 | 3.72 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_3(min)   | 2155  | -231.97 | 3.74 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_3(min)   | 2136  | -232.02 | 3.74 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_3(min)   | 2135  | -216.32 | 3.72 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_3(min)   | 2116  | -216.6  | 3.72 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_3(min)   | 2117  | -231.72 | 3.74 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_3(min)   | 2097  | -217.18 | 3.73 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_3(min)   | 2098  | -231.17 | 3.74 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_4(max)   | 2192  | 239.08  | 3.68 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_4(max)   | 2193  | 248.64  | 3.7  |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_4(max)   | 2174  | 249.36  | 3.7  |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_4(max)   | 2173  | 240.23  | 3.68 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_4(max)   | 2154  | 241     | 3.68 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_4(max)   | 2155  | 249.72  | 3.7  |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_4(max)   | 2136  | 249.87  | 3.7  |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_4(max)   | 2135  | 241.05  | 3.68 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_4(max)   | 2116  | 240.45  | 3.69 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_4(max)   | 2117  | 249.91  | 3.7  |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_4(max)   | 2097  | 239.6   | 3.69 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_4(max)   | 2098  | 249.68  | 3.7  |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_4(min)   | 2192  | -230.4  | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_4(min)   | 2193  | -234.06 | 3.51 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_4(min)   | 2174  | -235.23 | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_4(min)   | 2173  | -231.9  | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_4(min)   | 2154  | -232.81 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_4(min)   | 2155  | -235.97 | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_4(min)   | 2136  | -236.43 | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_4(min)   | 2135  | -232.84 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_4(min)   | 2116  | -232.15 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_4(min)   | 2117  | -236.73 | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_4(min)   | 2097  | -231.28 | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_4(min)   | 2098  | -236.75 | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_5(max)   | 2192  | 222.75  | 3.97 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_5(max)   | 2193  | 224.69  | 4.33 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_5(max)   | 2174  | 226.17  | 4.34 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_5(max)   | 2173  | 224.62  | 3.97 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_5(max)   | 2154  | 226.07  | 3.97 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_5(max)   | 2155  | 226.71  | 4.34 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_5(max)   | 2136  | 226.62  | 4.34 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_5(max)   | 2135  | 226.77  | 3.97 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_5(max)   | 2116  | 226.68  | 3.97 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_5(max)   | 2117  | 226.08  | 4.34 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_5(max)   | 2097  | 226.05  | 3.97 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_5(max)   | 2098  | 224.47  | 4.35 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_5(min)   | 2192  | -218.07 | 6.69 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_5(min)   | 2193  | -220.29 | 7.72 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_5(min)   | 2174  | -221.67 | 7.72 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_5(min)   | 2173  | -220.21 | 6.69 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_5(min)   | 2154  | -221.5  | 6.69 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_5(min)   | 2155  | -222.33 | 7.72 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_5(min)   | 2136  | -222.58 | 7.72 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_5(min)   | 2135  | -221.9  | 6.69 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_5(min)   | 2116  | -221.53 | 6.69 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_5(min)   | 2117  | -222.51 | 7.72 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_5(min)   | 2097  | -220.37 | 6.7  |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_5(min)   | 2098  | -222.31 | 4.15 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_6(max)   | 2192  | 225.59  | 3.51 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_6(max)   | 2193  | 228.16  | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_6(max)   | 2174  | 229.32  | 3.79 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_6(max)   | 2173  | 226.77  | 3.51 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_6(max)   | 2154  | 227.66  | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_6(max)   | 2155  | 229.81  | 3.79 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_6(max)   | 2136  | 229.97  | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_6(max)   | 2135  | 227.93  | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_6(max)   | 2116  | 227.59  | 3.5  |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_6(max)   | 2117  | 230.22  | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_6(max)   | 2097  | 227     | 3.51 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_6(max)   | 2098  | 230.16  | 3.52 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_6(min)   | 2192  | -230.88 | 3.93 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_6(min)   | 2193  | -242.83 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_6(min)   | 2174  | -243.65 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_6(min)   | 2173  | -232    | 3.93 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_6(min)   | 2154  | -232.63 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_6(min)   | 2155  | -243.8  | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_6(min)   | 2136  | -243.42 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_6(min)   | 2135  | -232.87 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_6(min)   | 2116  | -232.51 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_6(min)   | 2117  | -242.72 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_6(min)   | 2097  | -231.77 | 3.94 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_6(min)   | 2098  | -242.03 | 3.95 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_7(max)   | 2192  | 225.67  | 5.88 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_7(max)   | 2193  | 224.9   | 5.9  |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_7(max)   | 2174  | 225.93  | 5.91 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_7(max)   | 2173  | 227.96  | 5.88 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_7(max)   | 2154  | 229.52  | 5.88 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_7(max)   | 2155  | 226.63  | 5.91 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_7(max)   | 2136  | 227.16  | 5.91 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_7(max)   | 2135  | 230.22  | 5.88 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_7(max)   | 2116  | 230.1   | 5.88 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_7(max)   | 2117  | 227.6   | 5.91 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_7(max)   | 2097  | 229.61  | 5.88 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_7(max)   | 2098  | 227.87  | 5.91 |
| Disp_C2     | Y    | 244 | SLC_7(min)   | 2192  | -222.99 | 4.99 |
| Disp_C2     | Y    | 251 | SLC_7(min)   | 2193  | -226.67 | 5.01 |
| Disp_C2     | Y    | 253 | SLC_7(min)   | 2174  | -227.76 | 5.01 |
| Disp_C2     | Y    | 254 | SLC_7(min)   | 2173  | -224.94 | 4.99 |
| Disp_C2     | Y    | 255 | SLC_7(min)   | 2154  | -225.75 | 4.99 |
| Disp_C2     | Y    | 257 | SLC_7(min)   | 2155  | -228.14 | 5.01 |
| Disp_C2     | Y    | 258 | SLC_7(min)   | 2136  | -228.28 | 5.01 |
| Disp_C2     | Y    | 260 | SLC_7(min)   | 2135  | -226.16 | 4.99 |
| Disp_C2     | Y    | 261 | SLC_7(min)   | 2116  | -226.47 | 4.99 |
| Disp_C2     | Y    | 262 | SLC_7(min)   | 2117  | -228.39 | 5.01 |
| Disp_C2     | Y    | 263 | SLC_7(min)   | 2097  | -226.07 | 4.99 |
| Disp_C2     | Y    | 264 | SLC_7(min)   | 2098  | -228.09 | 5.02 |

| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_1(max)   | 2089  | 349.19  | 3.66 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_1(max)   | 2088  | 348.93  | 3.67 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_1(max)   | 2086  | 335.04  | 3.66 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_1(max)   | 2085  | 336.05  | 3.67 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_1(min)   | 2089  | -360.28 | 3.46 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_1(min)   | 2088  | -361.78 | 3.46 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_1(min)   | 2086  | -346.59 | 3.46 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_1(min)   | 2085  | -347.8  | 3.46 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_2(max)   | 2089  | 350.79  | 7.14 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_2(max)   | 2088  | 351.62  | 7.15 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_2(max)   | 2086  | 334.45  | 2.86 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_2(max)   | 2085  | 335.9   | 2.86 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_2(min)   | 2089  | -349.45 | 3.3  |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_2(min)   | 2088  | -351.15 | 3.31 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_2(min)   | 2086  | -336.8  | 3.31 |



| Dispositivi | Dir. | No. | Time History | Node1 | Fx      | Time |
|-------------|------|-----|--------------|-------|---------|------|
| -           | -    | -   | -            | -     | [kN]    | (s)  |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_2(min)   | 2085  | -336.97 | 3.31 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_3(max)   | 2089  | 354.57  | 3.86 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_3(max)   | 2088  | 355.31  | 3.87 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_3(max)   | 2086  | 332.66  | 3.87 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_3(max)   | 2085  | 334.41  | 3.31 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_3(min)   | 2089  | -347.57 | 3.72 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_3(min)   | 2088  | -348.59 | 3.72 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_3(min)   | 2086  | -338.15 | 3.71 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_3(min)   | 2085  | -338.37 | 3.71 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_4(max)   | 2089  | 375.26  | 3.65 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_4(max)   | 2088  | 377.29  | 3.66 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_4(max)   | 2086  | 361.04  | 3.65 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_4(max)   | 2085  | 361.86  | 3.66 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_4(min)   | 2089  | -361.58 | 3.84 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_4(min)   | 2088  | -362.69 | 3.49 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_4(min)   | 2086  | -346.41 | 3.49 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_4(min)   | 2085  | -348.44 | 3.49 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_5(max)   | 2089  | 355.73  | 4.3  |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_5(max)   | 2088  | 356.83  | 4.31 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_5(max)   | 2086  | 342.97  | 4.3  |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_5(max)   | 2085  | 345.28  | 4.3  |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_5(min)   | 2089  | -342.7  | 4.1  |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_5(min)   | 2088  | -344.43 | 4.1  |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_5(min)   | 2086  | -317.83 | 7.68 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_5(min)   | 2085  | -319.22 | 4.09 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_6(max)   | 2089  | 358.06  | 4.06 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_6(max)   | 2088  | 356.54  | 4.06 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_6(max)   | 2086  | 334.54  | 4.39 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_6(max)   | 2085  | 334.19  | 4.39 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_6(min)   | 2089  | -370.74 | 3.91 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_6(min)   | 2088  | -372.9  | 3.91 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_6(min)   | 2086  | -356.59 | 3.91 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_6(min)   | 2085  | -357.63 | 3.91 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_7(max)   | 2089  | 341.32  | 5.89 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_7(max)   | 2088  | 342.52  | 5.89 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_7(max)   | 2086  | 322.1   | 5.88 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_7(max)   | 2085  | 326.54  | 5.88 |
| Disp_C3     | X    | 241 | SLC_7(min)   | 2089  | -352.79 | 4.99 |
| Disp_C3     | X    | 247 | SLC_7(min)   | 2088  | -354.68 | 4.99 |
| Disp_C3     | X    | 250 | SLC_7(min)   | 2086  | -333.69 | 4.98 |
| Disp_C3     | X    | 252 | SLC_7(min)   | 2085  | -336.44 | 4.98 |

La sintesi dei risultati ottenuti, riferita ai valori medi derivanti dall'applicazione dei n.7 accelerogrammi, è riportata nella seguente tabella che mostra l'esito positivo della stessa nonostante, dai risultati appena riportati, si evince che per qualche singolo gruppo di accelerogramma i valori limite degli sforzi sono superati.

| Dispositivo | Time History        | F <sup>+</sup> | F <sup>-</sup> | F <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -                   | [kN]           | [kN]           | [kN]             | [kN]             | F <sub>dis</sub> ≤ F <sub>max</sub> |
| -           | TH-1                | 144.26         | -139.15        | 144.26           | -                | -                                   |
|             | TH-2                | 139.84         | -137.87        | 139.84           |                  |                                     |
|             | TH-3                | 141.47         | -139.25        | 141.47           |                  |                                     |
|             | TH-4                | 144.14         | -151.30        | 151.30           |                  |                                     |
|             | TH-5                | 133.66         | -141.61        | 141.60           |                  |                                     |
|             | TH-6                | 149.10         | -140.05        | 149.10           |                  |                                     |
|             | TH-7                | 139.26         | -138.43        | 139.26           |                  |                                     |
| <b>C1</b>   | <b>Valore medio</b> |                |                | <b>143.83</b>    | <b>157.00</b>    | <b>OK!</b>                          |

| Dispositivo | Time History        | F <sup>+</sup> | F <sup>-</sup> | F <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -                   | [kN]           | [kN]           | [kN]             | [kN]             | F <sub>dis</sub> ≤ F <sub>max</sub> |
| -           | TH-1                | 222.81         | -238.69        | 238.69           | -                | -                                   |
|             | TH-2                | 232.88         | -230.19        | 232.88           |                  |                                     |
|             | TH-3                | 231.35         | -232.02        | 232.02           |                  |                                     |
|             | TH-4                | 249.91         | -236.75        | 249.91           |                  |                                     |
|             | TH-5                | 226.77         | -222.58        | 226.77           |                  |                                     |
|             | TH-6                | 230.22         | -243.80        | 243.80           |                  |                                     |
|             | TH-7                | 230.22         | -228.39        | 230.22           |                  |                                     |
| <b>C2</b>   | <b>Valore medio</b> |                |                | <b>235.33</b>    | <b>236.00</b>    | <b>OK!</b>                          |

| Dispositivo | Time History        | F <sup>+</sup> | F <sup>-</sup> | F <sub>dis</sub> | d <sub>max</sub> | Verifica                            |
|-------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| -           | -                   | [kN]           | [kN]           | [kN]             | [kN]             | F <sub>dis</sub> ≤ F <sub>max</sub> |
| -           | TH-1                | 349.19         | -361.78        | 361.78           | -                | -                                   |
|             | TH-2                | 351.62         | -351.15        | 351.62           |                  |                                     |
|             | TH-3                | 355.31         | -348.59        | 355.31           |                  |                                     |
|             | TH-4                | 377.29         | -362.69        | 377.29           |                  |                                     |
|             | TH-5                | 356.83         | -344.43        | 356.83           |                  |                                     |
|             | TH-6                | 358.06         | -372.9         | 372.9            |                  |                                     |
|             | TH-7                | 342.52         | -354.68        | 354.68           |                  |                                     |
| <b>C3</b>   | <b>Valore medio</b> |                |                | <b>361.49</b>    | <b>362.00</b>    | <b>OK!</b>                          |

### 10.2.3. Verifica delle velocità massime in condizioni sismiche

Poiché il dispositivo esplica una forza dipendente dalla velocità, è corretto andare a ricercare i valori massimi con riferimento alla tipologia omogenea di dispositivo che, secondo i dati riportati al paragrafo precedente, esplica una forza assiale maggiore. Di conseguenza, essendo ridondante riportare i valori relativi a tutti i *link element*, si graficizzano, per ciascuna tipologia, gli andamenti delle velocità relative ai n.7 accelerogrammi sul dispositivo risultato maggiormente sollecitato in termini di forza, quindi si estrapolano i massimi da ciascun analisi time-history e si determina il valore medio. Di seguito i vari andamenti temporali e le tabelle di sintesi, da cui si può apprezzare l'esito positivo delle verifiche allo SLC.

#### Blocco A

Per il blocco A, il dispositivo maggiormente severo lo si ha solo per la tipologia C1 disposta in direzione trasversale o asse Y. Per la tipologia C3 si rinvia pertanto ai risultati relativi al blocco B.

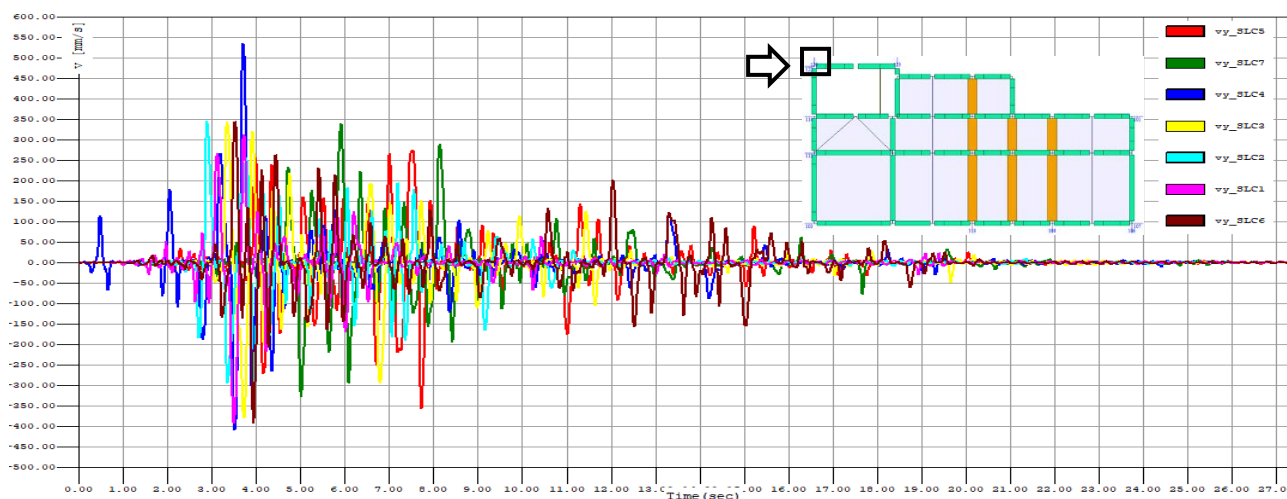


FIGURA 10.21 – BLOCCO A: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE VELOCITÀ DEL DISPOSITIVO C1 MAGGIORMENTE SOLLECITATO (LINK N. 120)

| Dispositivo | Time History | $v^+$  | $v^-$  | $V_{dis}$ | $V_{max}$ | Verifica               |
|-------------|--------------|--------|--------|-----------|-----------|------------------------|
| -           | -            | [mm/s] | [mm/s] | [mm/s]    | [mm/s]    | $V_{dis} \leq V_{max}$ |
| -           | TH-1         | 276.0  | -356.7 | 356.7     | -         | -                      |
|             | TH-2         | 340.3  | -326.4 | 340.3     |           |                        |
|             | TH-3         | 534.6  | -408.4 | 534.6     |           |                        |
|             | TH-4         | 344.5  | -379.7 | 379.7     |           |                        |
|             | TH-5         | 346.2  | -292.8 | 346.2     |           |                        |
|             | TH-6         | 312.4  | 312.4  | 392.7     |           |                        |
|             | TH-7         | 342.9  | -391.9 | 391.9     |           |                        |
| C1          | Valore medio |        |        | 391.7     | 391.7     | OK!                    |

## Blocco B

Di seguito si mostrano i risultati maggiormente significativi relativi alla tipologia C2 e C3; i dispositivi C1, disposti in dir. X, sono meno sollecitati rispetto a quanto riportato nei risultati precedenti relativi al blocco A.

| Dispositivo | Time History | $v^+$ | $v^-$  | $V_{dis}$ | $V_{max}$ | Verifica               |
|-------------|--------------|-------|--------|-----------|-----------|------------------------|
| -           | -            | [kN]  | [kN]   | [kN]      | [kN]      | $V_{dis} \leq V_{max}$ |
| -           | TH-1         | 204.1 | -198.5 | 204.1     | -         | -                      |
|             | TH-2         | 306.1 | -215.0 | 306.1     |           |                        |
|             | TH-3         | 171.1 | -189.9 | 189.9     |           |                        |
|             | TH-4         | 224.1 | -222.0 | 224.1     |           |                        |
|             | TH-5         | 213.6 | -228.0 | 228.0     |           |                        |
|             | TH-6         | 270.9 | -172.6 | 270.9     |           |                        |
|             | TH-7         | 258.4 | -371.4 | 371.4     |           |                        |
| C2          | Valore medio |       |        | 256.4     | 256.4     | OK!                    |

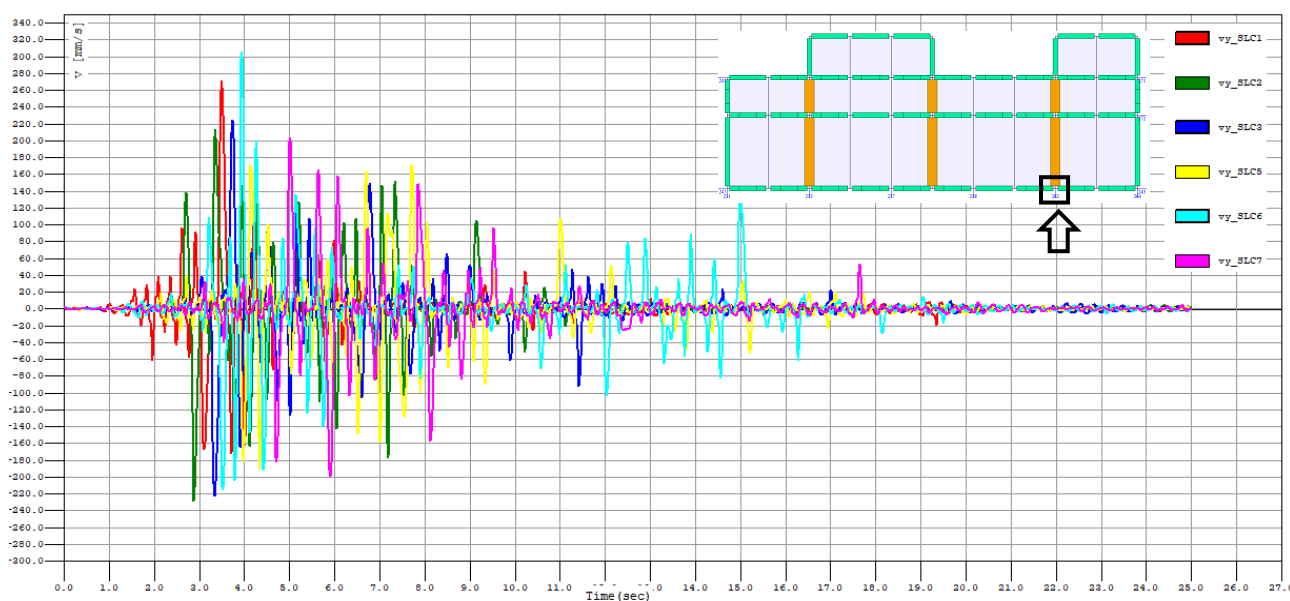


FIGURA 10.22 – BLOCCO B: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE VELOCITÀ DEL DISPOSITIVO C2 MAGGIORMENTE SOLLECITATO (LINK N. 262)

Osservando i risultati ottenuti per i dispositivi C2 e C3 sul blocco B (ma anche per C1) rispetto ai risultati dei dispositivi C1 appena visti sul blocco A, si osserva come in quest'ultimo caso si ottengono velocità superiori (circa 0.39 m/s contro 0.28m/s), ragion per cui si sarebbe potuto richiedere anche una tipologia intermedia tra le due scelte C1 e C2 in modo da aumentare il coefficiente “c” del

dispositivo e di conseguenza limitare le velocità. Si è però esclusa tale possibilità al fine di ridurre le tipologie di dispositivi in opera ed ottenere un risparmio in termini di prove di accettazione.

| Dispositivo | Time History | $v^+$ | $v^-$  | $V_{dis}$ | $V_{max}$ | Verifica               |
|-------------|--------------|-------|--------|-----------|-----------|------------------------|
| -           | -            | [kN]  | [kN]   | [kN]      | [kN]      | $V_{dis} \leq V_{max}$ |
| -           | TH-1         | 237.5 | -189.0 | 237.5     | -         | -                      |
|             | TH-2         | 331.4 | -247.1 | 331.4     |           |                        |
|             | TH-3         | 195.2 | -245.8 | 245.8     |           |                        |
|             | TH-4         | 211.7 | -240.5 | 240.5     |           |                        |
|             | TH-5         | 222.0 | -223.9 | 223.9     |           |                        |
|             | TH-6         | 272.5 | -212.5 | 272.5     |           |                        |
|             | TH-7         | 275.9 | -360.5 | 360.5     |           |                        |
| C3          | Valore medio |       |        | 273.2     | 273.2     | OK!                    |

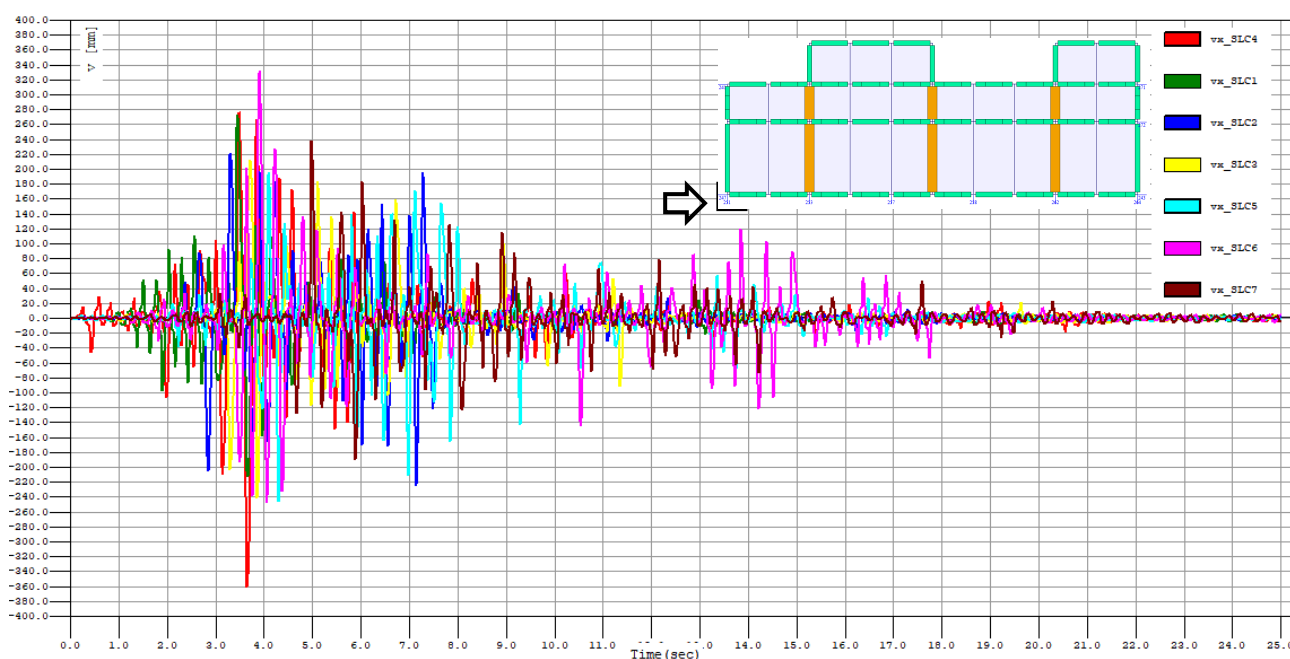


FIGURA 10.23 – BLOCCO B: ANDAMENTO TEMPORALE DELLE VELOCITÀ DEL DISPOSITIVO C3 MAGGIORMENTE SOLLECITATO (LINK N. 247)

### **10.3. Risultati analisi time history: verifiche stato limite SLV dei meccanismi duttili e fragili struttura esistente**

Le analisi mostrate nei sottoparagrafi seguenti fanno riferimento ad accelerogrammi naturali spettro-compatibili riferiti allo spettro di risposta elastico allo SLV per intero, nonostante per la normativa l'adeguamento sismico può essere condotto ad una riduzione del 20% secondo quanto indicato al §3; ciò a sottolineare come l'intervento innovativo proposto permette di raggiungere tale tipo di prestazione sismica senza l'onere di eseguire interventi invasivi all'interno dell'edificio.

#### **Blocco B**

##### Verifica dei meccanismi duttili

Di seguito si mostrano alcune immagini significative relative all'attivazione delle cerniere plastiche negli elementi strutturali durante le analisi time history eseguite secondo la procedura ampiamente descritta al §9.3.3 della presente relazione. Prima però si riportano, per alcune time-history eseguite, l'andamento del bilancio energetico ed il rispetto delle previsioni dei risultati ottenuti secondo quanto indicato nella procedura di dimensionamento di cui al §10.1. Ad esempio, per il blocco B, in seguito alle analisi push-over nella direzione trasversale maggiormente conservativa, risultava ai fini dell'adeguamento sismico la necessità di uno smorzamento complessivo del 35%, di cui l'8% si era deciso di farlo dissipare dalla struttura esistente in campo plastico, il restante 27% al sistema di dissipazione ausiliario; guardando le immagini di FIGURA 10.24 e FIGURA 10.25, è possibile vedere che in fase di verifica il sistema di dissipazione arriva ad un contributo del 28.9% per analisi TH-1, addirittura 30.7% per analisi TH-5, mentre il contributo isteretico legato al danneggiamento della struttura esistente non va oltre il 4.5% nel primo caso, 2.6% nella seconda analisi mostrata. Si ribadisce ulteriormente che i valori forniti fanno riferimento ad accelerogrammi naturali spettro-compatibili determinati a partire dallo spettro elastico allo SLV per intero, senza la riduzione del 20% prevista dalla norma per l'adeguamento sismico di strutture di classe III ad uso scolastico, per cui minori accelerazioni in ingresso avrebbero ridotto ulteriormente il contributo energetico legato alla plasticizzazione degli elementi esistenti.

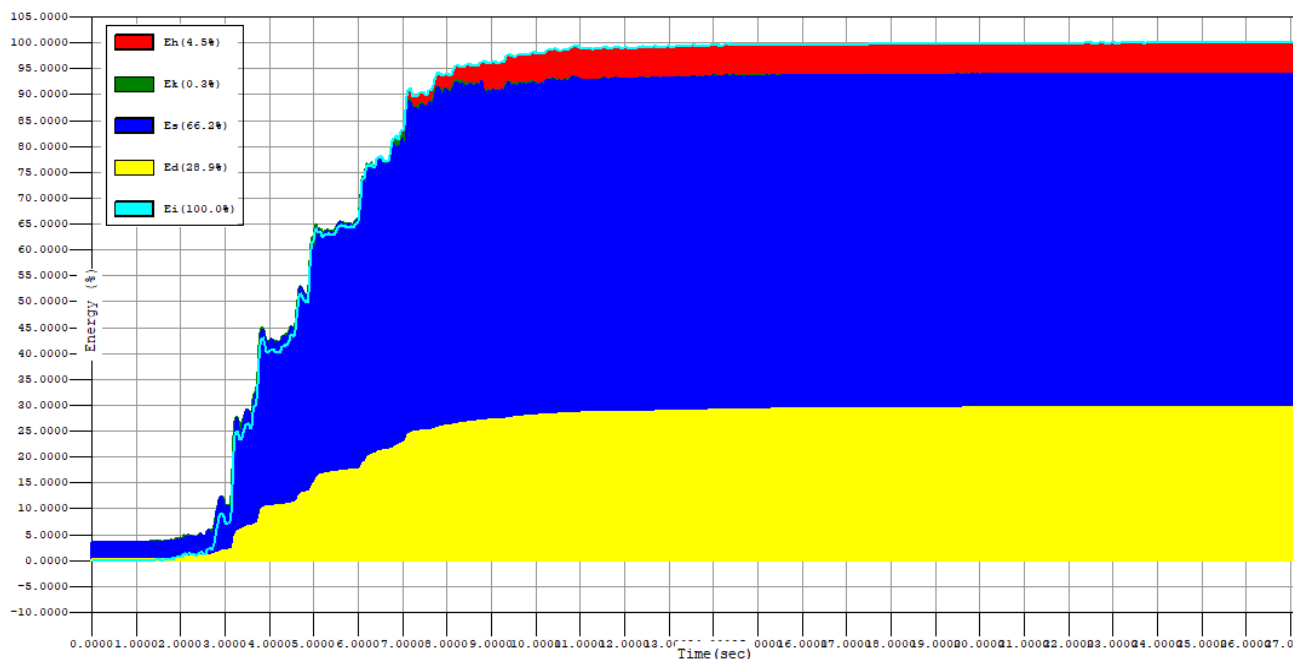


FIGURA 10.24 – BLOCCO B: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-1

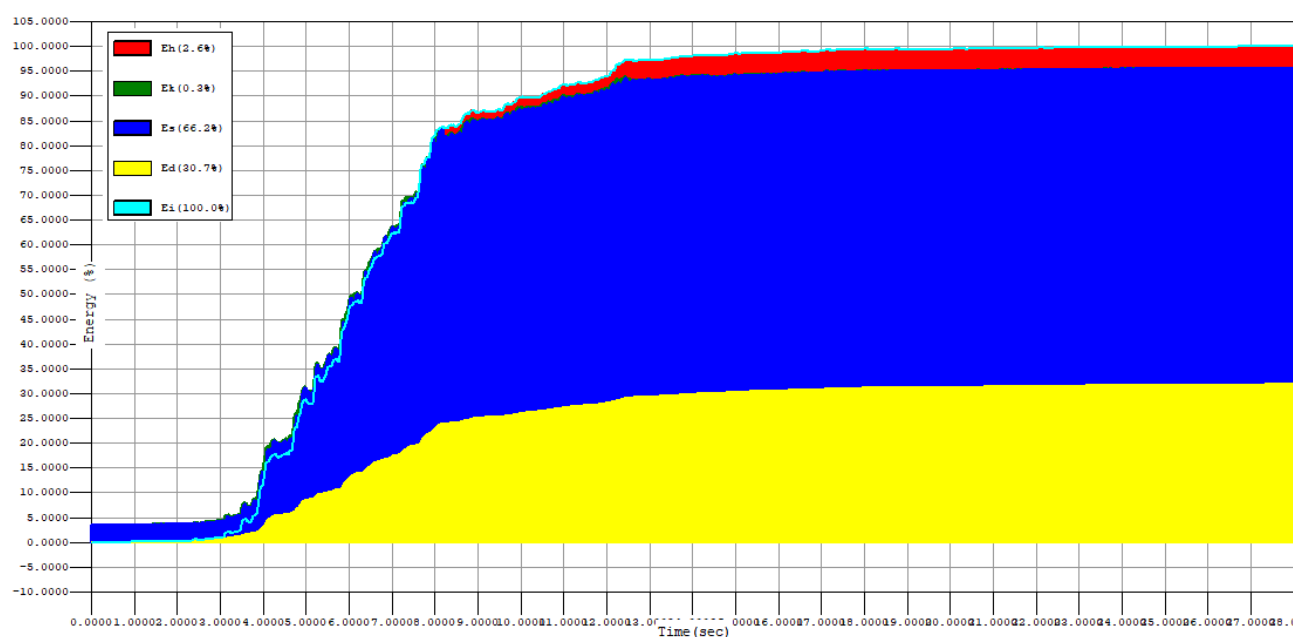


FIGURA 10.25 – BLOCCO B: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-5

Ad ulteriore conferma dei risultati globali appena riportati, dalla FIGURA 10.26 (immagine a sinistra) appare chiaro lo stato delle cerniere plastiche durante una delle analisi time history, con colorazione che sta ad indicare lo stato di danneggiamento dell'elemento strutturale trave o pilastro. Osservando la figura con attenzione, è possibile dedurre che:

- ✓ nelle travi sono presenti soltanto alcune cerniere plastiche di colorazione verde, il che significa che in corrispondenza di tali zone si è superato lo “snervamento” della cerniera, altre cerniere hanno colore giallo ad indicare che si è nel tratto plastico con rotazioni alla corda superiori ma non si è ancora raggiunto lo stato limite di salvaguardia della vita (colorazione rossa in legenda);
- ✓ la maggior parte delle cerniere sono tutte di colorazione blu, ad indicare che non si sono affatto “attivate”, quindi l’elemento corrispondente è ancora in campo elastico;
- ✓ tutti i pilastri vengono ben protetti dal sistema di protezione sismica passiva ed hanno tutte cerniere plastiche “inattive” a meno di una o due che hanno superato la soglia dello snervamento (colorazione verde);
- ✓ andando a dettagliare il diagramma momento curvatura di alcune cerniere plastiche di colorazione gialla, si ottengono i cicli isteretici riportati nell’immagine a destra di FIGURA 10.26, con valori massimi della rotazione alla corda che non superano lo 1.5‰ radianti.

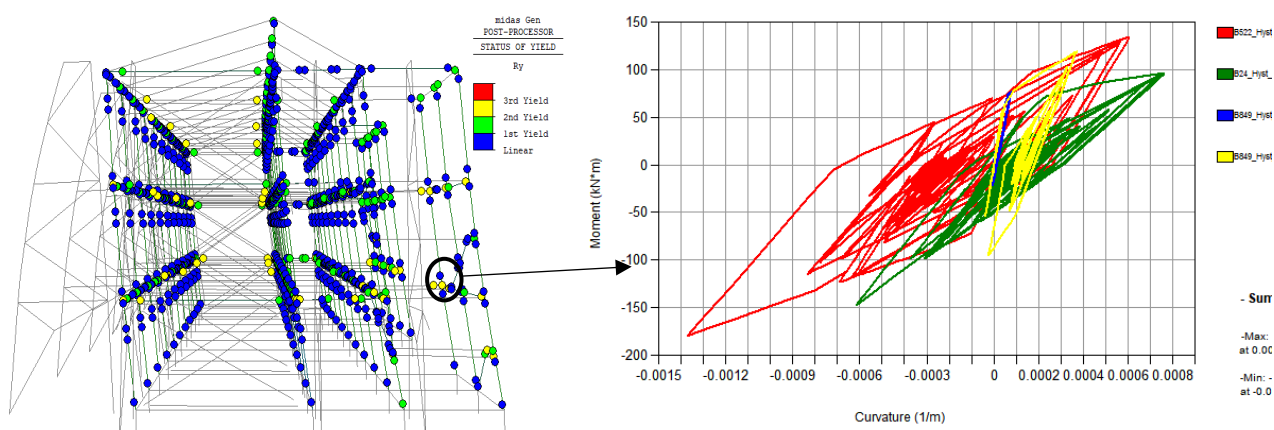


FIGURA 10.26 – BLOCCO B: DEFORMATA STRUTTURA AD UN FISSATO ISTANTE DI TEMPO, CON EVIDENZA ATTIVAZIONE DI CERNIERE PLASTICHE

Le verifiche di duttilità, in termini di rotazione alla corda, sono pertanto pienamente soddisfatte, come dimostrato dal grafico di FIGURA 10.28, dove la rotazione alla corda dell’elemento maggiormente sollecitato è confrontata con il valore limite della rotazione allo SLV determinata in automatico dal software e già validata (vedi §9.3.5.3):

$$\theta_{y,max} = 0.0015 \text{ rad} < \theta_{u,SLV} = \frac{0.75 \cdot 0.02704}{1.5} = 0.01352 \text{ rad [OK]}$$

Visto l’esito ampiamente soddisfacente dei risultati (fattore di sicurezza vicino a 10), appare ridondante riportare tutti i tabulati numerici, rimandando pertanto ai tabulati di calcolo.



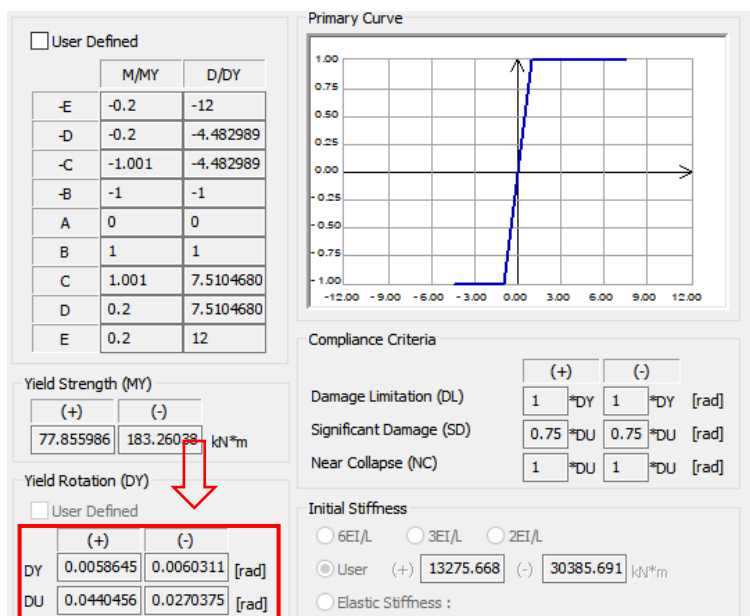


FIGURA 10.27 – BLOCCO B: DIAGRAMMA MOMENTO CURVATURA CON VALORE DELLA ROTAZIONE ALLO SLV DELLA TRAVE N.24

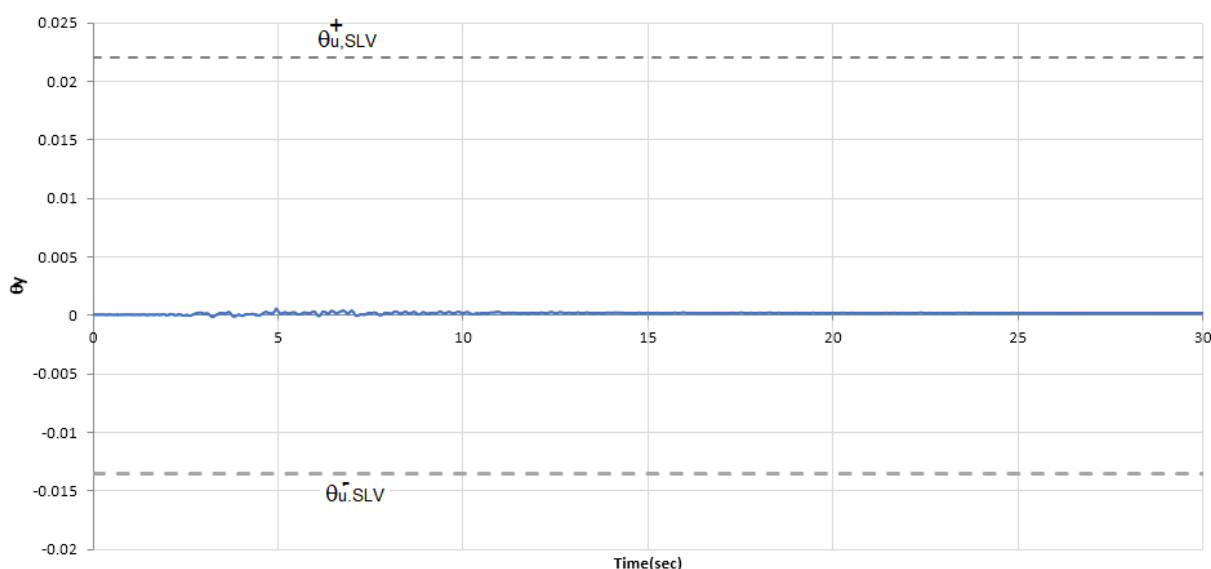


FIGURA 10.28 – BLOCCO B: ANDAMENTO TEMPORALE ROTAZIONE ALLA CORDA IN TRAVE N.24 E CONFRONTO CON I LIMITI DI VERIFICA SLV

### Verifica dei meccanismi fragili: taglio in travi e pilastri

Al fine di verificare in toto tutti gli elementi strutturali della sovrastruttura, controllando che il taglio massimo derivante da ciascuna delle n.7 analisi time history sia inferiore al taglio resistente della sezione, si è implementata la procedura di verifica su un foglio elettronico. Per ridondanza dei risultati, si mostra di seguito soltanto una parte delle verifiche condotte, assicurando che il controllo è stato fatto in maniera accurata su tutti gli elementi strutturali, data la criticità del meccanismo oggetto di verifica. Per maggiore chiarezza, si riporta in FIGURA 10.29 una sintesi grafica relativa ad uno

dei pilastri maggiormente sollecitati, dove l'andamento temporale relativo all'analisi dinamica lineare denominata TH-1 è confrontato con la soglia resistente  $V_{Rd}$ .

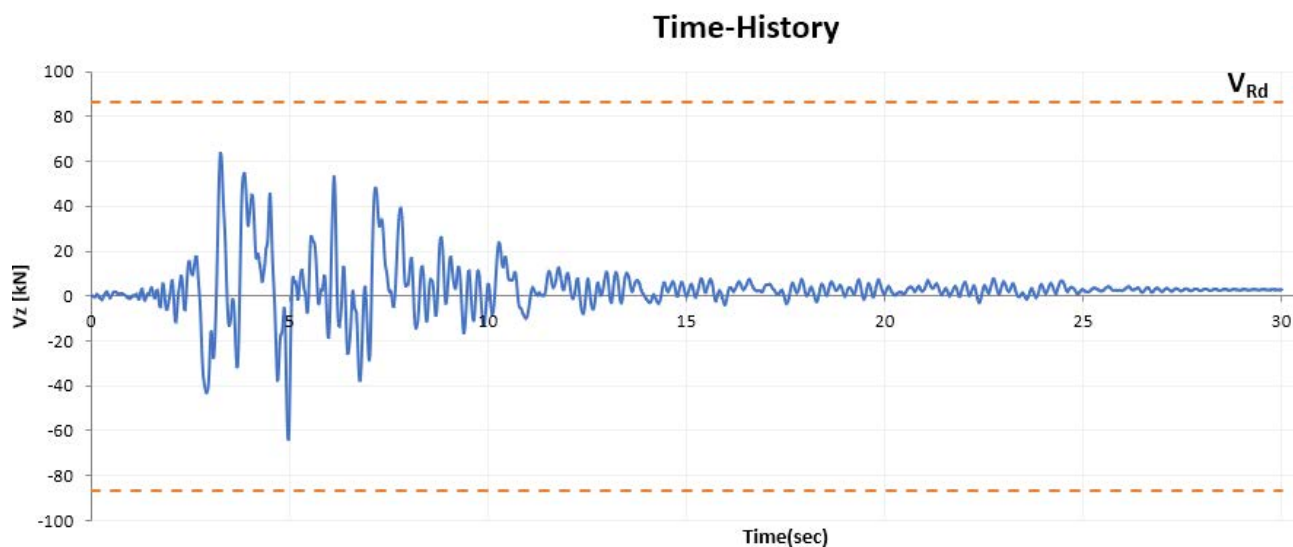


FIGURA 10.29 – BLOCCO B ANALISI TH-1: DIAGRAMMA TEMPORALE SFORZO DI TAGLIO  $V_z$  IN UNO DEI PILASTRI MAGGIORMENTE SOLLECITATI

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS    | Verifica |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|-------|----------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -     | -        |
| 504      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 104      | 25       | 45       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.927 | OK!      |
| 506      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -54      | 29       | 49       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.755 | OK!      |
| 513      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -39      | 22       | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | 7.318 | OK!      |
| 518      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -201     | 16       | 21       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.067 | OK!      |
| 521      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -244     | 29       | 34       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.527 | OK!      |
| 872      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 9        | 29       | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.179 | OK!      |
| 873      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -350     | 31       | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.701 | OK!      |
| 874      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -376     | 26       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.318 | OK!      |
| 875      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -382     | 25       | 25       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.397 | OK!      |
| 876      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -433     | 33       | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.636 | OK!      |
| 877      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -254     | 26       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.293 | OK!      |
| 878      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -358     | 26       | 30       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.895 | OK!      |
| 879      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -359     | 24       | 30       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.912 | OK!      |
| 880      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -212     | 31       | 46       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.884 | OK!      |
| 881      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -383     | 24       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.373 | OK!      |
| 882      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -26      | 26       | 28       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.068 | OK!      |
| 883      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -235     | 1        | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | 7.765 | OK!      |
| 884      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -258     | 8        | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.253 | OK!      |
| 885      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -263     | 9        | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | 7.508 | OK!      |
| 886      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -282     | -1       | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | 9.787 | OK!      |
| 887      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -185     | 9        | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.736 | OK!      |
| 888      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -260     | 2        | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | 7.842 | OK!      |
| 889      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -253     | 9        | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.992 | OK!      |
| 890      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -145     | 24       | 29       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.019 | OK!      |
| 891      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -257     | 9        | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.493 | OK!      |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS            | Verifica   |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|---------------|------------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -             | -          |
| 892      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -40      | 27       | 25       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.413</b>  | <b>OK!</b> |
| 893      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -138     | -10      | 6        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>14.574</b> | <b>OK!</b> |
| 894      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -136     | -1       | 2        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>40.196</b> | <b>OK!</b> |
| 895      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -147     | 0        | 1        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>82.306</b> | <b>OK!</b> |
| 896      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -161     | -13      | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>9.030</b>  | <b>OK!</b> |
| 897      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -101     | 0        | 3        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>27.611</b> | <b>OK!</b> |
| 898      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -146     | -10      | 6        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>14.798</b> | <b>OK!</b> |
| 899      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -144     | 6        | 4        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>20.382</b> | <b>OK!</b> |
| 900      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -81      | 27       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.352</b>  | <b>OK!</b> |
| 901      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -140     | 7        | 4        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>19.867</b> | <b>OK!</b> |
| 902      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -445     | 24       | 25       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.457</b>  | <b>OK!</b> |
| 903      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -299     | 10       | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.689</b>  | <b>OK!</b> |
| 904      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -162     | -1       | 1        | 37   | 28.27              | 86.42     | #####         | <b>OK!</b> |
| 1227     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -117     | 50       | 53       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.626</b>  | <b>OK!</b> |
| 1228     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -344     | 8        | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.933</b>  | <b>OK!</b> |
| 1229     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -313     | 11       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.402</b>  | <b>OK!</b> |
| 1230     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -327     | 10       | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.445</b>  | <b>OK!</b> |
| 1231     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -358     | 8        | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.661</b>  | <b>OK!</b> |
| 1232     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -323     | 12       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.989</b>  | <b>OK!</b> |
| 1233     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -277     | 12       | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.761</b>  | <b>OK!</b> |
| 1234     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -110     | 45       | 51       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.684</b>  | <b>OK!</b> |
| 1235     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -289     | 10       | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.693</b>  | <b>OK!</b> |
| 1236     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -86      | 49       | 47       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.857</b>  | <b>OK!</b> |
| 1237     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -153     | 33       | 21       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.187</b>  | <b>OK!</b> |
| 1238     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -161     | 33       | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.123</b>  | <b>OK!</b> |
| 1239     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -162     | 33       | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.060</b>  | <b>OK!</b> |
| 1240     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -160     | 36       | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.844</b>  | <b>OK!</b> |
| 1241     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -131     | 32       | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.868</b>  | <b>OK!</b> |
| 1242     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -109     | 31       | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.619</b>  | <b>OK!</b> |
| 1243     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -42      | 43       | 41       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.088</b>  | <b>OK!</b> |
| 1244     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -131     | 33       | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.354</b>  | <b>OK!</b> |
| 1246     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -318     | 9        | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.725</b>  | <b>OK!</b> |
| 1247     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -154     | 33       | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.836</b>  | <b>OK!</b> |
| 1269     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -293     | 11       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.317</b>  | <b>OK!</b> |
| 1270     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -150     | 33       | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.967</b>  | <b>OK!</b> |
| 1503     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -219     | 38       | 41       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.125</b>  | <b>OK!</b> |
| 1504     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -234     | 14       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.383</b>  | <b>OK!</b> |
| 1505     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -307     | 30       | 54       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.608</b>  | <b>OK!</b> |
| 1506     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -354     | 21       | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.636</b>  | <b>OK!</b> |
| 1507     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -364     | 22       | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.632</b>  | <b>OK!</b> |
| 1508     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -244     | 14       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.151</b>  | <b>OK!</b> |
| 1509     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -320     | 33       | 55       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.573</b>  | <b>OK!</b> |
| 1510     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -229     | 37       | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.162</b>  | <b>OK!</b> |
| 1511     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -280     | 22       | 30       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.909</b>  | <b>OK!</b> |
| 1512     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -180     | 14       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.010</b>  | <b>OK!</b> |
| 1513     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -147     | 36       | 60       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.444</b>  | <b>OK!</b> |
| 1514     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -194     | 35       | 35       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.439</b>  | <b>OK!</b> |
| 1515     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -123     | 36       | 37       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.346</b>  | <b>OK!</b> |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS            | Verifica   |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|---------------|------------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -             | -          |
| 1516     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -124     | 13       | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>9.854</b>  | <b>OK!</b> |
| 1517     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -123     | 13       | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>9.743</b>  | <b>OK!</b> |
| 1518     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -134     | 37       | 36       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.420</b>  | <b>OK!</b> |
| 1519     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -101     | 13       | 8        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>10.450</b> | <b>OK!</b> |
| 1520     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -107     | 35       | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.602</b>  | <b>OK!</b> |
| 1521     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -106     | 19       | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.702</b>  | <b>OK!</b> |
| 1522     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -273     | 19       | 29       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.010</b>  | <b>OK!</b> |
| 1523     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -197     | 13       | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.879</b>  | <b>OK!</b> |
| 1524     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -109     | 17       | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.986</b>  | <b>OK!</b> |
| 1525     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -195     | 14       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.060</b>  | <b>OK!</b> |
| 1526     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -279     | 22       | 28       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.057</b>  | <b>OK!</b> |
| 1527     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 26       | 36       | 50       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.731</b>  | <b>OK!</b> |
| 1528     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -108     | 38       | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.632</b>  | <b>OK!</b> |
| 1529     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -113     | 13       | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>9.832</b>  | <b>OK!</b> |
| 1530     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -86      | 44       | 39       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.193</b>  | <b>OK!</b> |
| 504      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -910     | -16      | 63       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.367</b>  | <b>OK!</b> |
| 506      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -505     | -32      | 59       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.455</b>  | <b>OK!</b> |
| 513      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -185     | -24      | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>8.873</b>  | <b>OK!</b> |
| 518      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -243     | -15      | 21       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.207</b>  | <b>OK!</b> |
| 521      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -362     | -17      | 34       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.543</b>  | <b>OK!</b> |
| 872      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -601     | -24      | 38       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.274</b>  | <b>OK!</b> |
| 873      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -494     | -8       | 27       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.152</b>  | <b>OK!</b> |
| 874      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -417     | -17      | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.704</b>  | <b>OK!</b> |
| 875      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -407     | -15      | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.740</b>  | <b>OK!</b> |
| 876      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -482     | -7       | 27       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.159</b>  | <b>OK!</b> |
| 877      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -313     | -15      | 30       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.849</b>  | <b>OK!</b> |
| 878      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -482     | -17      | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.596</b>  | <b>OK!</b> |
| 879      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -444     | -16      | 35       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.486</b>  | <b>OK!</b> |
| 880      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -382     | -25      | 42       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.072</b>  | <b>OK!</b> |
| 881      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -420     | -15      | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.619</b>  | <b>OK!</b> |
| 882      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -382     | -26      | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.867</b>  | <b>OK!</b> |
| 883      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -313     | -32      | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.336</b>  | <b>OK!</b> |
| 884      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -297     | -23      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.785</b>  | <b>OK!</b> |
| 885      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -288     | -24      | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.302</b>  | <b>OK!</b> |
| 886      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -309     | -35      | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.289</b>  | <b>OK!</b> |
| 887      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -229     | -22      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.872</b>  | <b>OK!</b> |
| 888      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -329     | -32      | 23       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.682</b>  | <b>OK!</b> |
| 889      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -307     | -24      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.764</b>  | <b>OK!</b> |
| 890      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -266     | -34      | 28       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.053</b>  | <b>OK!</b> |
| 891      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -302     | -23      | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.156</b>  | <b>OK!</b> |
| 892      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -181     | -20      | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.473</b>  | <b>OK!</b> |
| 893      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -175     | -27      | 23       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.749</b>  | <b>OK!</b> |
| 894      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -179     | -16      | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>8.756</b>  | <b>OK!</b> |
| 895      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -163     | -15      | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>10.084</b> | <b>OK!</b> |
| 896      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -178     | -31      | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.360</b>  | <b>OK!</b> |
| 897      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -147     | -15      | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>8.937</b>  | <b>OK!</b> |
| 898      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -193     | -28      | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.867</b>  | <b>OK!</b> |
| 899      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -176     | -15      | 7        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>12.172</b> | <b>OK!</b> |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS            | Verifica |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|---------------|----------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -             | -        |
| 900      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -135     | -19      | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.275</b>  | OK!      |
| 901      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -180     | -15      | 8        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>11.166</b> | OK!      |
| 902      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -484     | -17      | 34       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.575</b>  | OK!      |
| 903      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -333     | -23      | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.187</b>  | OK!      |
| 904      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -181     | -16      | 8        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>10.375</b> | OK!      |
| 1227     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -355     | -54      | 52       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.674</b>  | OK!      |
| 1228     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -388     | -32      | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.289</b>  | OK!      |
| 1229     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -345     | -25      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.883</b>  | OK!      |
| 1230     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -380     | -25      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.785</b>  | OK!      |
| 1231     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -418     | -32      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.641</b>  | OK!      |
| 1232     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -385     | -33      | 28       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.141</b>  | OK!      |
| 1233     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -351     | -23      | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.955</b>  | OK!      |
| 1234     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -318     | -63      | 59       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.477</b>  | OK!      |
| 1235     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -341     | -24      | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.328</b>  | OK!      |
| 1236     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -152     | -37      | 35       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.454</b>  | OK!      |
| 1237     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -201     | -28      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.812</b>  | OK!      |
| 1238     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -191     | -25      | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.936</b>  | OK!      |
| 1239     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -217     | -24      | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>8.382</b>  | OK!      |
| 1240     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -215     | -31      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.565</b>  | OK!      |
| 1241     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -195     | -31      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.599</b>  | OK!      |
| 1242     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -192     | -26      | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.32</b>   | OK!      |
| 1243     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -163     | -39      | 36       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.41</b>   | OK!      |
| 1244     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -179     | -23      | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.26</b>   | OK!      |
| 1246     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -355     | -23      | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.38</b>   | OK!      |
| 1247     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -194     | -25      | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.75</b>   | OK!      |
| 1269     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -335     | -25      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.87</b>   | OK!      |
| 1270     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -185     | -26      | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.57</b>   | OK!      |
| 1503     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -322     | -49      | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.02</b>   | OK!      |
| 1504     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -265     | -22      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.89</b>   | OK!      |
| 1505     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -490     | -37      | 55       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.58</b>   | OK!      |
| 1506     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -391     | -18      | 41       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.12</b>   | OK!      |
| 1507     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -396     | -19      | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.13</b>   | OK!      |
| 1508     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -269     | -22      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.77</b>   | OK!      |
| 1509     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -486     | -37      | 56       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.55</b>   | OK!      |
| 1510     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -326     | -40      | 38       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.29</b>   | OK!      |
| 1511     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -312     | -19      | 37       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.37</b>   | OK!      |
| 1512     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -221     | -21      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.91</b>   | OK!      |
| 1513     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -610     | -31      | 50       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.74</b>   | OK!      |
| 1514     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -362     | -35      | 36       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.43</b>   | OK!      |
| 1515     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -164     | -34      | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.36</b>   | OK!      |
| 1516     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -138     | -13      | 8        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>11.39</b>  | OK!      |
| 1517     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -142     | -12      | 6        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>14.05</b>  | OK!      |
| 1518     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -190     | -29      | 25       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.47</b>   | OK!      |
| 1519     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -136     | -13      | 6        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>15.66</b>  | OK!      |
| 1520     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -211     | -34      | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.27</b>   | OK!      |
| 1521     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -143     | -18      | 8        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>10.76</b>  | OK!      |
| 1522     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -316     | -21      | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.18</b>   | OK!      |
| 1523     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -235     | -24      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.48</b>   | OK!      |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS           | Verifica   |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|--------------|------------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -            | -          |
| 1524     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -144     | -16      | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>9.01</b>  | <b>OK!</b> |
| 1525     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -229     | -22      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.93</b>  | <b>OK!</b> |
| 1526     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -316     | -19      | 36       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.39</b>  | <b>OK!</b> |
| 1527     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -730     | -61      | 62       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.39</b>  | <b>OK!</b> |
| 1528     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -345     | -59      | 50       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.73</b>  | <b>OK!</b> |
| 1529     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -140     | -13      | 6        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>14.80</b> | <b>OK!</b> |
| 1530     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -186     | -35      | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.73</b>  | <b>OK!</b> |

Poiché si ottiene un coefficiente di sicurezza maggiore dell'unità, è possibile affermare che il sistema di dissipazione ha permesso di non intervenire sulla struttura esistente, oltre che in termini di meccanismi duttili, anche per i meccanismi di tipo fragile in quanto si riscontrano sollecitazioni di taglio tali da non richiede alcun tipo di rinforzo.

### Blocco A

Si ripetono le stesse verifiche eseguite per il blocco B; essendo i risultati ottenuti molto simili a quelli del blocco A, si rinvia al paragrafo precedente per ulteriori commenti; unico aspetto in più da riportare è la minore severità del blocco in questione rispetto al blocco B, che difatti, dalle analisi di vulnerabilità dello stato di fatto, è risultato maggiormente vulnerabile con particolare riferimento alla direzione trasversale.

### Verifica dei meccanismi duttili

Di seguito i contributi energetici cumulativi, cioè energia elastica, cinetica, dissipazione viscosa e dissipazione isteretica.

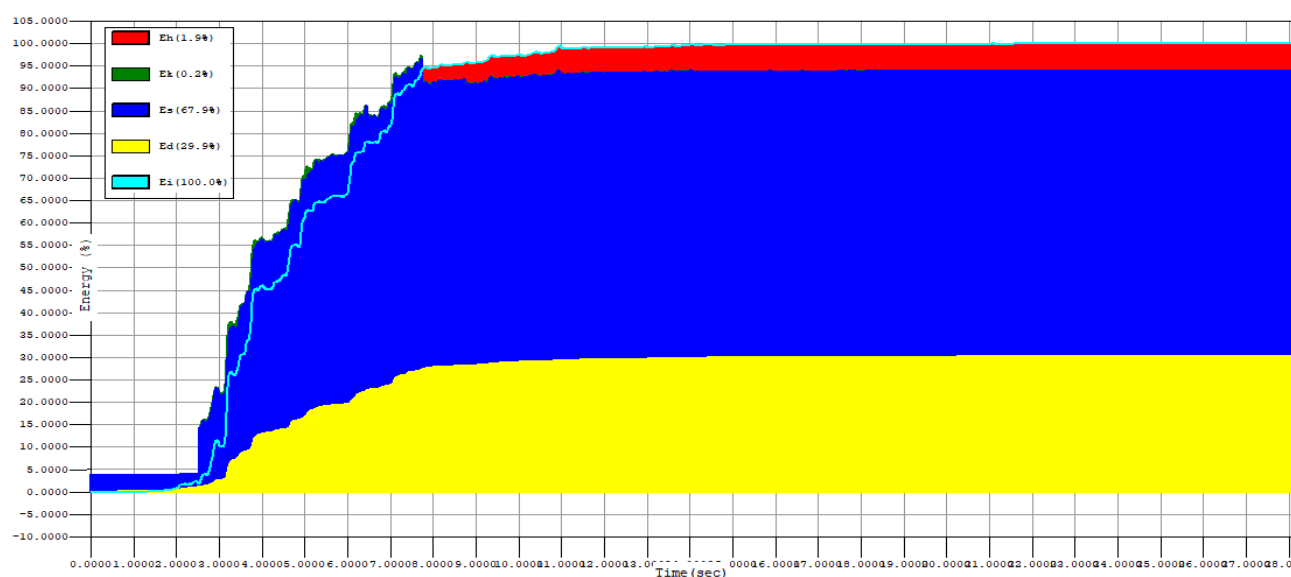


FIGURA 10.30 – BLOCCO A: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-1



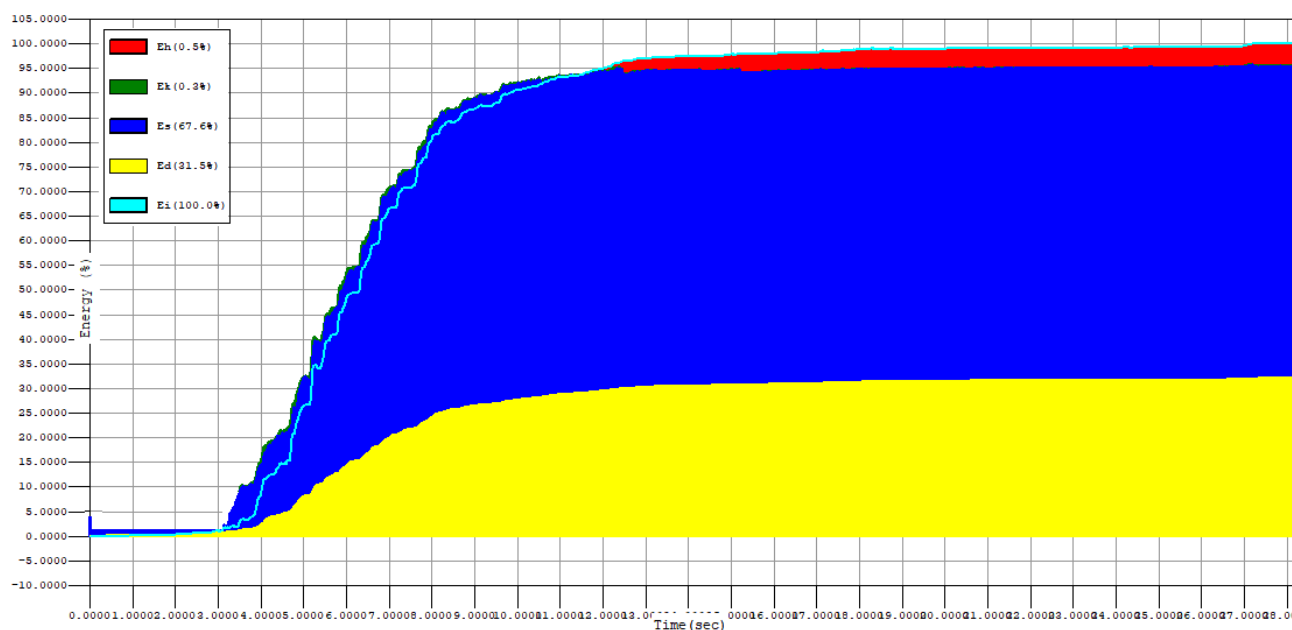


FIGURA 10.31 – BLOCCO A: DIAGRAMMA DEI CONTRIBUTI ENERGETICI CUMULATIVI RELATIVI ALL'ANALISI TH-5

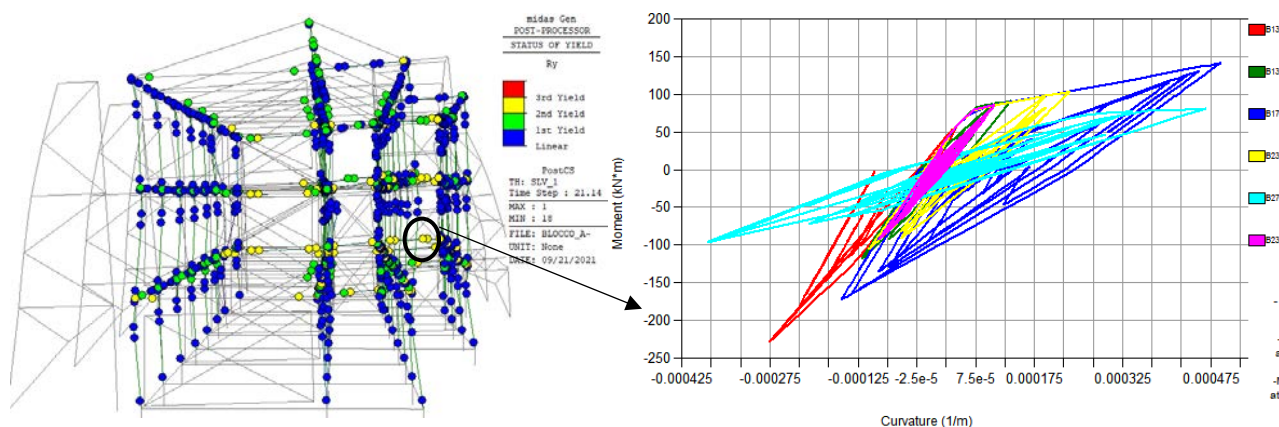


FIGURA 10.32 – BLOCCO A: DEFORMATA STRUTTURA AD UN FISSATO ISTANTE DI TEMPO, CON EVIDENZA ATTIVAZIONE DI CERNIERE PLASTICHE

Le verifiche di duttilità, in termini di rotazione alla corda, sono pertanto pienamente soddisfatte, come dimostrato dal grafico di FIGURA 10.34, dove la rotazione alla corda dell'elemento maggiormente sollecitato è confrontata con il valore limite della rotazione allo SLV determinata in automatico dal software e già validata (vedi §9.3.5.3):

$$\theta_{y,max} = 0.0049 \text{ rad} < \theta_{u,SLV} = \frac{0.75 \cdot 0.02097}{1.5} = 0.01048 \text{ rad [OK]}$$

Visto l'esito ampiamente soddisfacente dei risultati (fattore di sicurezza superiore a 2), appare ridondante riportare tutti i tabulati numerici, rimandando pertanto ai tabulati di calcolo.

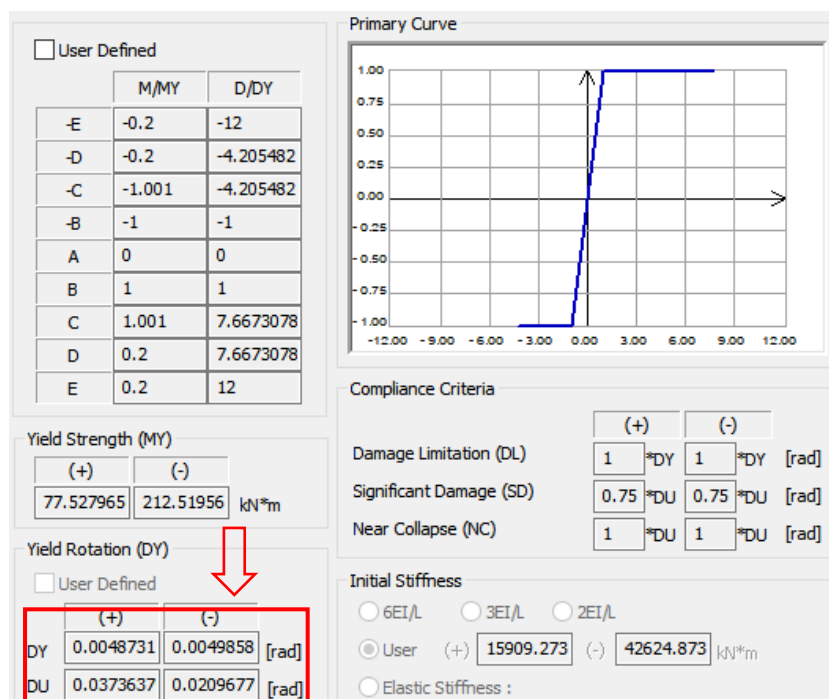


FIGURA 10.33 – BLOCCO A: DIAGRAMMA MOMENTO CURVATURA CON VALORE DELLA ROTAZIONE ALLO SLV DELLA TRAVE N.1756

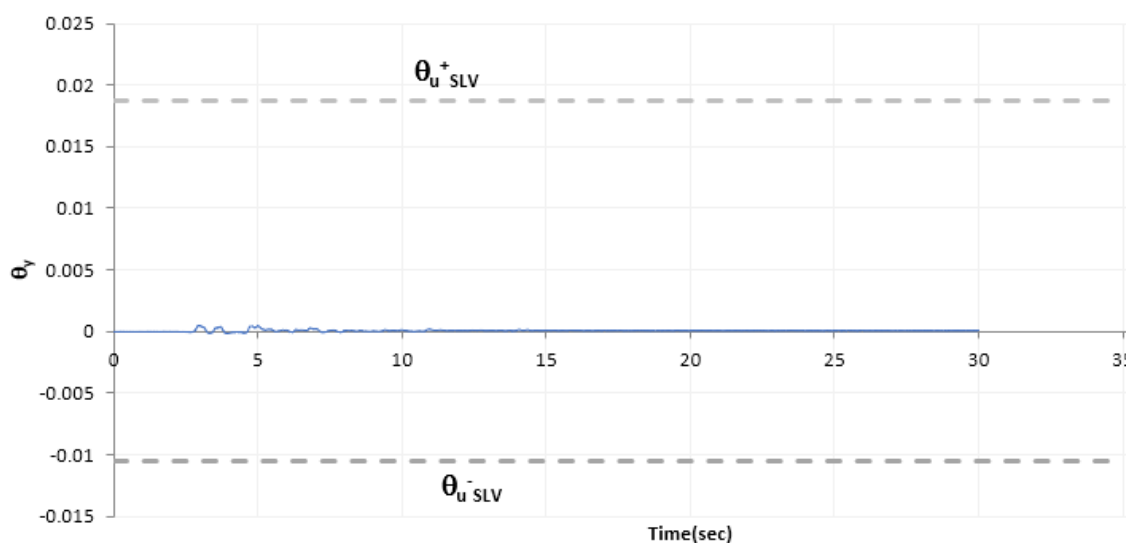


FIGURA 10.34 – BLOCCO A: ANDAMENTO TEMPORALE ROTAZIONE ALLA CORDA IN TRAVE N.1756 E CONFRONTO CON I LIMITI DI VERIFICA SLV

### Verifica dei meccanismi fragili: taglio in travi e pilastri

Al fine di verificare in toto tutti gli elementi strutturali della sovrastruttura, controllando che il taglio massimo derivante da ciascuna delle n.7 analisi time history sia inferiore al taglio resistente della sezione, si è implementata la procedura di verifica su un foglio elettronico. Per ridondanza dei risultati, si mostra di seguito soltanto una parte delle verifiche condotte, assicurando che il controllo è stato fatto in maniera accurata su tutti gli elementi strutturali, data la criticità del meccanismo



oggetto di verifica. Per maggiore chiarezza, si riporta in FIGURA 10.35 una sintesi grafica relativa ad uno dei pilastri maggiormente sollecitati, dove l'andamento temporale relativo all'analisi dinamica lineare denominata TH-1 è confrontato con la soglia resistente  $V_{Rd}$ .

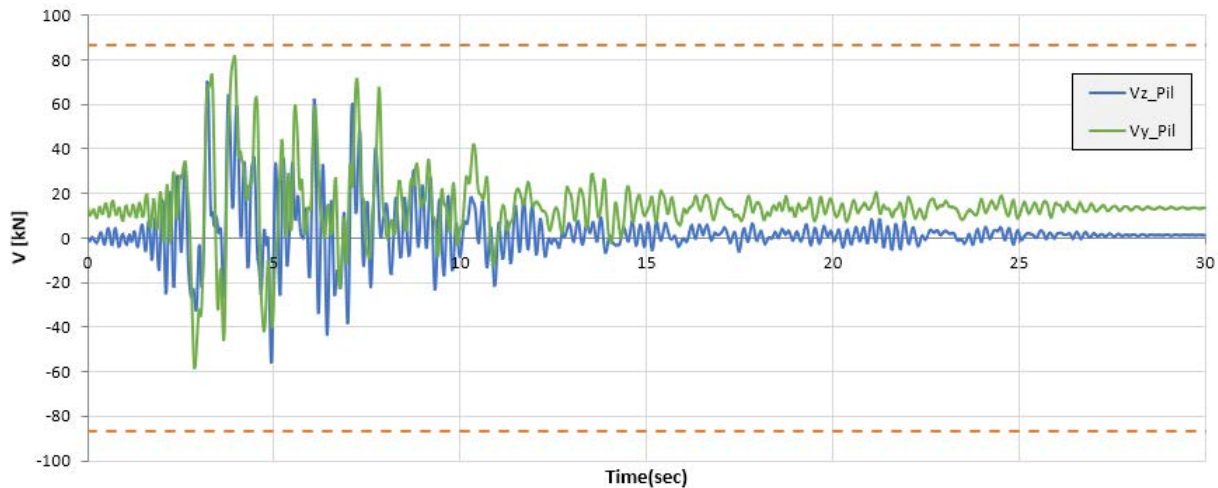


FIGURA 10.35 – BLOCCO A ANALISI TH-1: DIAGRAMMA TEMPORALE SFORZO DI TAGLIO  $V_z$  IN UNO DEI PILASTRI MAGGIORMENTE SOLLECITATI

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS     | Verifica |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|--------|----------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -      | -        |
| 874      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -336     | 25       | 37       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.333  | OK!      |
| 875      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -315     | 23       | 34       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.567  | OK!      |
| 876      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -399     | 27       | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.160  | OK!      |
| 877      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -371     | 26       | 38       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.246  | OK!      |
| 878      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -136     | 35       | 52       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.658  | OK!      |
| 882      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -182     | 75       | 71       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.224  | OK!      |
| 883      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -247     | 4        | 30       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.861  | OK!      |
| 884      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -222     | 18       | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.156  | OK!      |
| 885      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -200     | 13       | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | 8.407  | OK!      |
| 886      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -277     | 20       | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.435  | OK!      |
| 887      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -258     | 19       | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.970  | OK!      |
| 888      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -99      | 30       | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.670  | OK!      |
| 892      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -70      | 61       | 53       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.643  | OK!      |
| 893      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -140     | 89       | 28       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.041  | OK!      |
| 894      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -114     | 17       | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | 9.233  | OK!      |
| 895      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -80      | 21       | 7        | 37   | 28.27              | 86.42     | 12.206 | OK!      |
| 896      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -157     | 17       | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | 8.473  | OK!      |
| 897      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -146     | 16       | 10       | 37   | 28.27              | 86.42     | 8.668  | OK!      |
| 898      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -60      | 33       | 29       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.999  | OK!      |
| 902      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -375     | 24       | 39       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.228  | OK!      |
| 903      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -256     | 18       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.125  | OK!      |
| 904      | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -139     | 14       | 8        | 37   | 28.27              | 86.42     | 10.709 | OK!      |
| 1218     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -335     | 58       | 74       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.165  | OK!      |
| 1220     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -483     | 24       | 63       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.367  | OK!      |
| 1221     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -448     | 31       | 63       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.375  | OK!      |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS           | Verifica   |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|--------------|------------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -            | -          |
| 1222     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -482     | 24       | 65       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.332</b> | <b>OK!</b> |
| 1227     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -228     | 55       | 57       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.520</b> | <b>OK!</b> |
| 1228     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -340     | 38       | 58       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.500</b> | <b>OK!</b> |
| 1229     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -317     | 21       | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.626</b> | <b>OK!</b> |
| 1230     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -294     | 17       | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>6.577</b> | <b>OK!</b> |
| 1231     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -284     | 23       | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.466</b> | <b>OK!</b> |
| 1232     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -170     | 59       | 64       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.351</b> | <b>OK!</b> |
| 1236     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -98      | 59       | 50       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.725</b> | <b>OK!</b> |
| 1237     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -90      | 59       | 42       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.037</b> | <b>OK!</b> |
| 1238     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -115     | 41       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.283</b> | <b>OK!</b> |
| 1239     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -135     | 40       | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.358</b> | <b>OK!</b> |
| 1240     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -175     | 39       | 25       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.429</b> | <b>OK!</b> |
| 1241     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -102     | 54       | 52       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.669</b> | <b>OK!</b> |
| 1245     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -462     | 24       | 55       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.562</b> | <b>OK!</b> |
| 1246     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -271     | 17       | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.754</b> | <b>OK!</b> |
| 1247     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -116     | 35       | 21       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.084</b> | <b>OK!</b> |
| 1268     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -458     | 25       | 60       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.433</b> | <b>OK!</b> |
| 1269     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -355     | 21       | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.249</b> | <b>OK!</b> |
| 1270     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -141     | 38       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.368</b> | <b>OK!</b> |
| 1503     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -364     | 60       | 55       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.580</b> | <b>OK!</b> |
| 1504     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -178     | 22       | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.348</b> | <b>OK!</b> |
| 1505     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -440     | 52       | 78       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.102</b> | <b>OK!</b> |
| 1506     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -246     | 20       | 46       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.899</b> | <b>OK!</b> |
| 1507     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -345     | 27       | 58       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.496</b> | <b>OK!</b> |
| 1508     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -231     | 34       | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.735</b> | <b>OK!</b> |
| 1509     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -286     | 54       | 77       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.129</b> | <b>OK!</b> |
| 1510     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -233     | 56       | 57       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.514</b> | <b>OK!</b> |
| 1511     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -227     | 20       | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.135</b> | <b>OK!</b> |
| 1512     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -147     | 18       | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.466</b> | <b>OK!</b> |
| 1513     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 129      | 45       | 56       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.542</b> | <b>OK!</b> |
| 1514     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 38       | 41       | 42       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.049</b> | <b>OK!</b> |
| 1515     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -205     | 57       | 48       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.783</b> | <b>OK!</b> |
| 1516     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -90      | 19       | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.561</b> | <b>OK!</b> |
| 1517     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -110     | 31       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.348</b> | <b>OK!</b> |
| 1518     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -139     | 46       | 45       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.940</b> | <b>OK!</b> |
| 1519     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -78      | 15       | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>9.455</b> | <b>OK!</b> |
| 1520     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -37      | 40       | 37       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.352</b> | <b>OK!</b> |
| 1522     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -264     | 19       | 35       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.505</b> | <b>OK!</b> |
| 1523     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -174     | 16       | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.295</b> | <b>OK!</b> |
| 1524     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -57      | 21       | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>7.786</b> | <b>OK!</b> |
| 1525     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -195     | 24       | 23       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.761</b> | <b>OK!</b> |
| 1526     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -258     | 21       | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.020</b> | <b>OK!</b> |
| 1529     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -122     | 23       | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.033</b> | <b>OK!</b> |
| 1613     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -206     | 43       | 72       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.198</b> | <b>OK!</b> |
| 1614     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -140     | 51       | 56       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.553</b> | <b>OK!</b> |
| 1615     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -28      | 55       | 45       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.908</b> | <b>OK!</b> |
| 1753     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -115     | 35       | 55       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.585</b> | <b>OK!</b> |
| 1754     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -36      | 38       | 37       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.323</b> | <b>OK!</b> |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS           | Verifica   |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|--------------|------------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -            | -          |
| 1755     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 10       | 35       | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>3.320</b> | <b>OK!</b> |
| 1865     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -212     | 35       | 45       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.911</b> | <b>OK!</b> |
| 1923     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -147     | 11       | 78       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.101</b> | <b>OK!</b> |
| 1924     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -110     | 14       | 63       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.364</b> | <b>OK!</b> |
| 1925     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -107     | 8        | 68       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.263</b> | <b>OK!</b> |
| 1926     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -45      | 9        | 64       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.340</b> | <b>OK!</b> |
| 1927     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -105     | 18       | 44       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.964</b> | <b>OK!</b> |
| 1928     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -42      | 15       | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>2.025</b> | <b>OK!</b> |
| 1934     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -291     | 52       | 56       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>1.543</b> | <b>OK!</b> |
| 1944     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -134     | 29       | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>4.462</b> | <b>OK!</b> |
| 1948     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -190     | 27       | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | <b>5.144</b> | <b>OK!</b> |
| 1952     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -108     | 15       | 28       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.133        | <b>OK!</b> |
| 1957     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -63      | 25       | 12       | 37   | 28.27              | 86.42     | 7.418        | <b>OK!</b> |
| 2037     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -113     | 22       | 39       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.207        | <b>OK!</b> |
| 2038     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -176     | 17       | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.154        | <b>OK!</b> |
| 2039     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 141      | 45       | 54       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.615        | <b>OK!</b> |
| 2040     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -41      | 38       | 45       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.901        | <b>OK!</b> |
| 2041     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -73      | 23       | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.008        | <b>OK!</b> |
| 2042     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -120     | 19       | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.449        | <b>OK!</b> |
| 2043     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 69       | 46       | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.023        | <b>OK!</b> |
| 2044     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 15       | 25       | 25       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.409        | <b>OK!</b> |
| 2045     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -31      | 19       | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.387        | <b>OK!</b> |
| 2046     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -49      | 13       | 7        | 37   | 28.27              | 86.42     | 12.879       | <b>OK!</b> |
| 2047     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 11       | 40       | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.583        | <b>OK!</b> |
| 2048     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 311      | 29       | 41       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.109        | <b>OK!</b> |
| 2049     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 47       | 30       | 31       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.833        | <b>OK!</b> |
| 2050     | SLV_1(max)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | 24       | 19       | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.866        | <b>OK!</b> |
| 872      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -604     | -23      | 63       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.366        | <b>OK!</b> |
| 874      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -478     | -12      | 37       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.361        | <b>OK!</b> |
| 875      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -370     | -12      | 38       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.305        | <b>OK!</b> |
| 876      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -484     | -12      | 36       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.401        | <b>OK!</b> |
| 877      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -519     | -14      | 36       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.416        | <b>OK!</b> |
| 878      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -395     | -26      | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.996        | <b>OK!</b> |
| 882      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -364     | -37      | 21       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.088        | <b>OK!</b> |
| 883      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -461     | -127     | 58       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.502        | <b>OK!</b> |
| 884      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -311     | -26      | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.800        | <b>OK!</b> |
| 885      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -247     | -30      | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.837        | <b>OK!</b> |
| 886      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -329     | -25      | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.693        | <b>OK!</b> |
| 887      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -352     | -23      | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.712        | <b>OK!</b> |
| 888      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -275     | -34      | 29       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.943        | <b>OK!</b> |
| 892      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -125     | -31      | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.141        | <b>OK!</b> |
| 893      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -209     | 3        | 13       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.488        | <b>OK!</b> |
| 894      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -152     | -12      | 4        | 37   | 28.27              | 86.42     | 20.145       | <b>OK!</b> |
| 895      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -115     | -6       | 3        | 37   | 28.27              | 86.42     | 31.087       | <b>OK!</b> |
| 896      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -177     | -13      | 4        | 37   | 28.27              | 86.42     | 19.731       | <b>OK!</b> |
| 897      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -190     | -12      | 4        | 37   | 28.27              | 86.42     | 21.286       | <b>OK!</b> |
| 898      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -149     | -24      | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.338        | <b>OK!</b> |
| 902      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -454     | -16      | 36       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.399        | <b>OK!</b> |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS     | Verifica |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|--------|----------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -      | -        |
| 903      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -314     | -23      | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.915  | OK!      |
| 904      | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -173     | -13      | 5        | 37   | 28.27              | 86.42     | 16.430 | OK!      |
| 1219     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -822     | -29      | 73       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.189  | OK!      |
| 1220     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -534     | -26      | 60       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.446  | OK!      |
| 1221     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -518     | -16      | 60       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.434  | OK!      |
| 1222     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -582     | -25      | 58       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.483  | OK!      |
| 1223     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -471     | -72      | 86       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.008  | OK!      |
| 1227     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -451     | -79      | 80       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.077  | OK!      |
| 1228     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -507     | -81      | 60       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.451  | OK!      |
| 1229     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -361     | -35      | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.638  | OK!      |
| 1230     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -331     | -36      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.558  | OK!      |
| 1231     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -344     | -34      | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.709  | OK!      |
| 1232     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -308     | -64      | 62       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.387  | OK!      |
| 1236     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -186     | -75      | 66       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.314  | OK!      |
| 1237     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -135     | -37      | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.031  | OK!      |
| 1238     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -165     | -40      | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.274  | OK!      |
| 1239     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -171     | -33      | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.565  | OK!      |
| 1240     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -223     | -42      | 24       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.584  | OK!      |
| 1241     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -172     | -47      | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.999  | OK!      |
| 1245     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -515     | -21      | 52       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.667  | OK!      |
| 1246     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -322     | -26      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.462  | OK!      |
| 1247     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -169     | -32      | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.903  | OK!      |
| 1268     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -536     | -31      | 59       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.458  | OK!      |
| 1269     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -404     | -34      | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.726  | OK!      |
| 1270     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -179     | -40      | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.328  | OK!      |
| 1503     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -477     | -76      | 70       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.239  | OK!      |
| 1504     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -252     | -27      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.580  | OK!      |
| 1506     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -401     | -14      | 51       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.687  | OK!      |
| 1507     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -446     | -31      | 60       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.451  | OK!      |
| 1508     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -279     | -38      | 37       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.337  | OK!      |
| 1509     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -558     | -58      | 69       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.258  | OK!      |
| 1510     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -371     | -57      | 55       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.569  | OK!      |
| 1511     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -323     | -19      | 40       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.159  | OK!      |
| 1512     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -229     | -25      | 19       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.537  | OK!      |
| 1513     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -543     | -57      | 75       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.147  | OK!      |
| 1514     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -324     | -55      | 54       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.605  | OK!      |
| 1515     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -273     | -73      | 56       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.530  | OK!      |
| 1516     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -109     | -23      | 11       | 37   | 28.27              | 86.42     | 7.878  | OK!      |
| 1517     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -130     | -34      | 25       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.457  | OK!      |
| 1518     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -199     | -48      | 41       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.122  | OK!      |
| 1519     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -128     | -16      | 8        | 37   | 28.27              | 86.42     | 10.362 | OK!      |
| 1520     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -132     | -37      | 32       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.672  | OK!      |
| 1522     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -391     | -16      | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.014  | OK!      |
| 1523     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -235     | -29      | 20       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.293  | OK!      |
| 1524     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -116     | -28      | 18       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.676  | OK!      |
| 1525     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -257     | -32      | 27       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.154  | OK!      |
| 1526     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -365     | -27      | 48       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.797  | OK!      |
| 1529     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -154     | -26      | 16       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.401  | OK!      |

| Elemento | Time History | b    | h    | s    | $\phi_{st}$ | $n_{br}$ | $\alpha$ | $N_{sd}$ | $M_{sd}$ | $V_{sd}$ | d    | $A_{sw}$           | $V_{Rsd}$ | FS    | Verifica |
|----------|--------------|------|------|------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|------|--------------------|-----------|-------|----------|
| -        |              | [cm] | [cm] | [cm] | [mm]        | -        | [°]      | [kN]     | [kNm]    | [kN]     | [cm] | [mm <sup>2</sup> ] | [kN]      | -     | -        |
| 1614     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -433     | -74      | 74       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.174 | OK!      |
| 1615     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -218     | -58      | 44       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.967 | OK!      |
| 1753     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -547     | -49      | 56       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.537 | OK!      |
| 1754     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -364     | -47      | 44       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.963 | OK!      |
| 1755     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -185     | -44      | 33       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.614 | OK!      |
| 1865     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -480     | -39      | 56       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.542 | OK!      |
| 1924     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -656     | -20      | 67       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.299 | OK!      |
| 1925     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -565     | -15      | 77       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.121 | OK!      |
| 1926     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -305     | -14      | 62       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.397 | OK!      |
| 1927     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -439     | -21      | 52       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.656 | OK!      |
| 1928     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -250     | -20      | 46       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.873 | OK!      |
| 1934     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -508     | -47      | 72       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.203 | OK!      |
| 1944     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -325     | -34      | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.950 | OK!      |
| 1948     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -346     | -24      | 21       | 37   | 28.27              | 86.42     | 4.127 | OK!      |
| 1952     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -181     | -19      | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.348 | OK!      |
| 1957     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -175     | -28      | 14       | 37   | 28.27              | 86.42     | 6.217 | OK!      |
| 2036     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -568     | -47      | 59       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.464 | OK!      |
| 2037     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -412     | -22      | 48       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.783 | OK!      |
| 2038     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -267     | -19      | 43       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.004 | OK!      |
| 2039     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -547     | -53      | 73       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.191 | OK!      |
| 2040     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -339     | -44      | 48       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.794 | OK!      |
| 2041     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -250     | -31      | 26       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.305 | OK!      |
| 2042     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -166     | -27      | 17       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.007 | OK!      |
| 2043     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -315     | -57      | 59       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.458 | OK!      |
| 2044     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -225     | -23      | 23       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.711 | OK!      |
| 2045     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -92      | -25      | 15       | 37   | 28.27              | 86.42     | 5.781 | OK!      |
| 2046     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -65      | -15      | 9        | 37   | 28.27              | 86.42     | 9.877 | OK!      |
| 2047     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -105     | -41      | 39       | 37   | 28.27              | 86.42     | 2.237 | OK!      |
| 2048     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -765     | -59      | 84       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.033 | OK!      |
| 2049     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -322     | -37      | 44       | 37   | 28.27              | 86.42     | 1.984 | OK!      |
| 2050     | SLV_1(min)   | 40   | 40   | 15   | 6           | 2        | 90       | -182     | -20      | 22       | 37   | 28.27              | 86.42     | 3.948 | OK!      |

### Verifica dei meccanismi fragili: taglio nei nodi trave – pilastro

#### Blocco A e Blocco B

Come già indicato al §9.3.5.2, si anticipa l'insufficienza dei nodi trave – pilastro non confinati appartenenti ai blocchi in questione, vista la presenza di barre longitudinali lisce e la completa assenza di staffe nel nodo. Si perviene pertanto al dimensionamento e verifica del sistema di rinforzo costituito dal sistema con piastra metallica forata già trattato al paragrafo indicato, attraverso l'implementazione della metodologia di calcolo su un foglio elettronico ed applicandola a quei nodi maggiormente sollecitati. A tale riguardo si precisa che, poiché la verifica prevista dalle NTC2018 in realtà dipende molto dalle barre di armatura presenti nel nodo (che entrano in gioco con le soglie di snervamento e

non di domanda) ed è maggiormente sfavorevole ai piani superiori ed in corrispondenza dei nodi d'angolo in quanto è ridotto lo sforzo normale benefico, basta mostrare il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza in un nodo dell'ultimo livello dove l'armatura esistente è caratterizzata da quella massima scaturita dai grafici di progetto, a dimostrare l'efficacia dell'intervento omogeneo applicato anche sugli altri nodi non confinati.

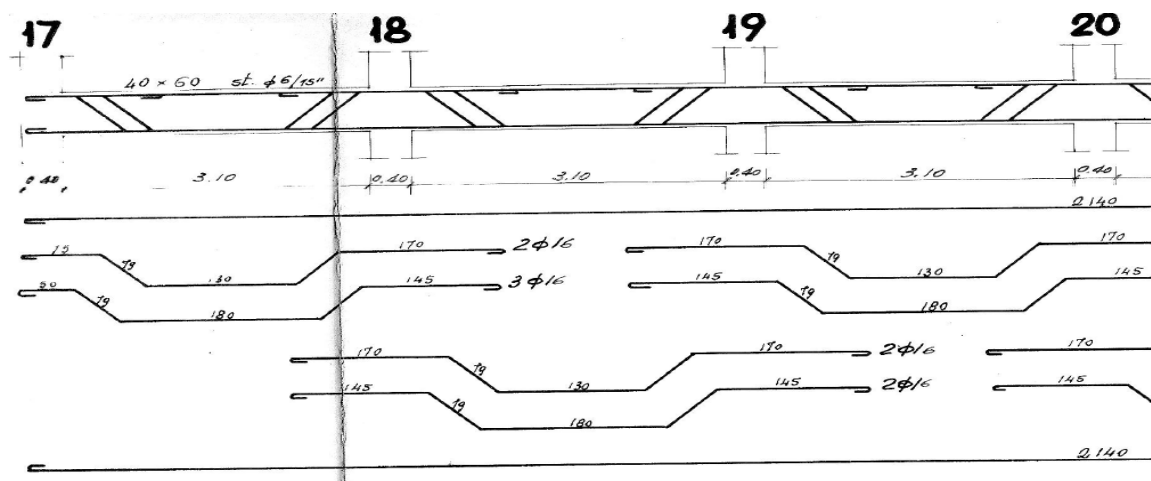


FIGURA 10.36 – STRALCIO DELLA DOCUMENTAZIONE STORICA DI UNA TRAVE AVENTE MAGGIORE ARMATURA NEL NODO

I tabulati numerici mostrati di seguito mettono a confronto i risultati post-operam ottenuti dall'applicazione del rinforzo con quelli analoghi relativi all'assenza dello stesso. Il sistema di rinforzo, dotato di un materiale ad alte prestazioni e di uno spessore degli inserti metallici di 6 mm, permette di passare da un coefficiente di sicurezza estremamente basso ad uno maggiore dell'unità, il che garantisce l'eliminazione, durante il moto sismico, dei meccanismi di tipo fragile nei nodi non confinati, estremamente pericolosi per la stabilità dell'edificio.



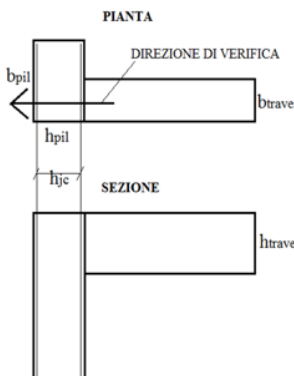
## BLOCCO A: VERIFICA NODO D'ANGOLO PIANO 2° PER TIME HISTORY TH\_SLV-1

## Dati geometrici

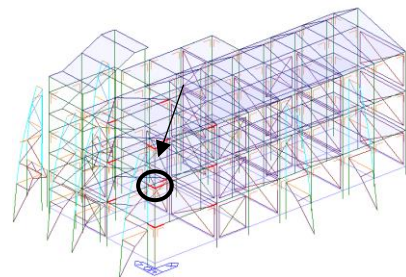
| DATI GEOMETRICI |                    |           |           |          |          |
|-----------------|--------------------|-----------|-----------|----------|----------|
| $d'$            | $A_{tr,sup}$       | $h_{pil}$ | $b_{pil}$ | $b_{tr}$ | $h_{tr}$ |
| [cm]            | [cm <sup>2</sup> ] | [cm]      | [cm]      | [cm]     | [cm]     |
| 2               | 13.13              | 40        | 40        | 40       | 60       |

| SEZIONE NODO |       |                        |
|--------------|-------|------------------------|
| $h_c$        | $b_j$ | $A_g$                  |
| [cm]         | [cm]  | [daN/cm <sup>2</sup> ] |
| 36           | 32    | 1152                   |

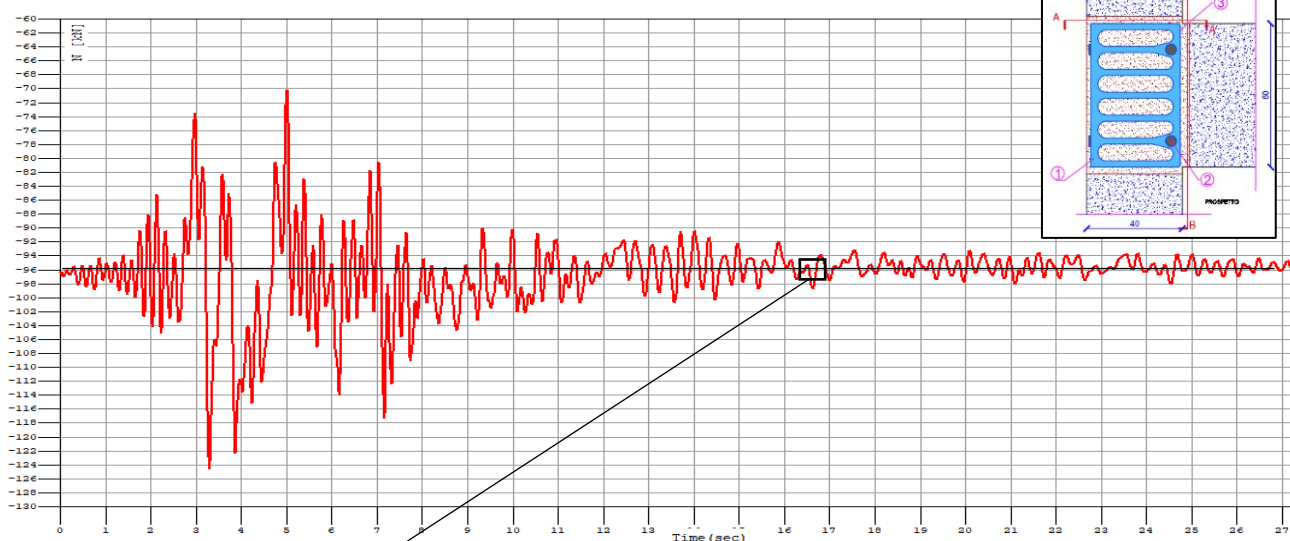
| INSERTO GORDIANO A RINFORZO DEL PANNELLO NODALE |       |       |       |                  |
|---|-------|-------|-------|------------------|
| $f_{yk,pietra}$                                 | $p_G$ | $s_G$ | $h_G$ | $num_{traversi}$ |
| [daN/cm <sup>2</sup> ]                          | [cm]  | [mm]  | [mm]  | -                |
| 7000  | 8     | 6     | 26    | 7                |



## Ubicazione Nodo



## Diagramma sforzo normale pilastro superiore nodo



## Stato ante - operam

| VERIFICA ASSENZA CONFINAMENTO |               |                |                        |                        |                        |                        |          |       |
|-------------------------------|---------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|-------|
| $N_{pil,sup}$                 | $V_{pil,sup}$ | $V_{armatura}$ | $\sigma_{nt}$          | $\sigma_{nc}$          | $\sigma_{lim,traz}$    | $\sigma_{lim,compr}$   | VERIFICA | FS    |
| [kN]                          | [kN]          | [kN]           | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | -        | -     |
| -96.00                        | 19.00         | 332.63         | 23.37                  | -31.71                 | 10.28                  | -58.67                 | NO       | 0.440 |

## Rinforzo pannello di nodo con piastra metallica ad alta resistenza

| VERIFICA CON CONTRIBUTO PIASTRA FORATA |                        |                        |                        |                        |                        |          |       |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|-------|
| $N_{staffe}$                           | $\sigma_{or,staffe}$   | $\sigma_{nt}$          | $\sigma_{nc}$          | $\sigma_{lim,traz}$    | $\sigma_{lim,compr}$   | VERIFICA | FS    |
| [daN]                                  | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | -        | -     |
| 54260.9                                | -30.28                 | 10.05                  | -48.66                 | 10.28                  | -58.67                 | OK!      | 1.023 |

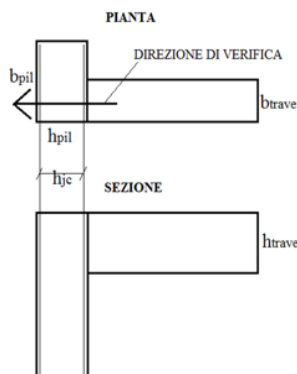
## BLOCCO B: VERIFICA NODO D'ANGOLO PIANO 3° PER TIME HISTORY TH\_SLV-1

## Dati geometrici

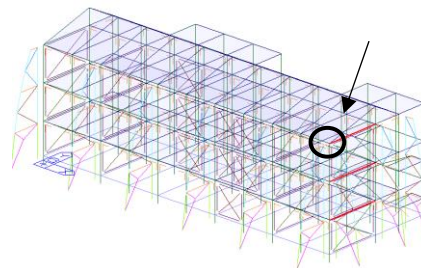
| DATI GEOMETRICI |                    |           |           |          |          |
|-----------------|--------------------|-----------|-----------|----------|----------|
| $d'$            | $A_{tr,sup}$       | $h_{pil}$ | $b_{pil}$ | $b_{tr}$ | $h_{tr}$ |
| [cm]            | [cm <sup>2</sup> ] | [cm]      | [cm]      | [cm]     | [cm]     |
| 2               | 9.11               | 40        | 40        | 40       | 45       |

| SEZIONE NODO |       |                        |
|--------------|-------|------------------------|
| $h_{jc}$     | $b_j$ | $A_g$                  |
| [cm]         | [cm]  | [daN/cm <sup>2</sup> ] |
| 36           | 32    | 1152                   |

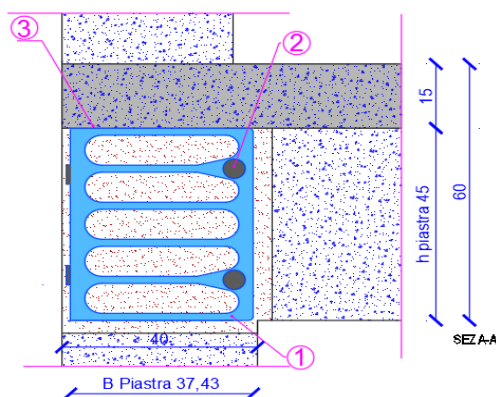
| INSERTO GORDIANO A RINFORZO DEL PANNELLO NODALE |       |       |       |                  |
|---|-------|-------|-------|------------------|
| $f_{yk,pietra}$                                 | $p_g$ | $s_g$ | $h_g$ | $num_{traversi}$ |
| [daN/cm <sup>2</sup> ]                          | [cm]  | [mm]  | [mm]  | -                |
| 7000  | 9     | 6     | 26    | 5                |



## Ubicazione Nodo



## Dettaglio costruttivo



## Stato ante - operam

| VERIFICA ASSENZA CONFINAMENTO |               |                |                        |                        |                        |                        |          |       |
|-------------------------------|---------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|-------|
| $N_{pil,sup}$                 | $V_{pil,sup}$ | $V_{armatura}$ | $\sigma_{nt}$          | $\sigma_{nc}$          | $\sigma_{lim,traz}$    | $\sigma_{lim,compr}$   | VERIFICA | FS    |
| [kN]                          | [kN]          | [kN]           | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | -        | -     |
| 0.00                          | 0.00          | 230.79         | 20.03                  | -20.03                 | 10.28                  | -58.67                 | NO       | 0.513 |

## Rinforzo pannello di nodo con piastra metallica ad alta resistenza

| VERIFICA CON CONTRIBUTO PIASTRA FORATA |                        |                        |                        |                        |                        |          |       |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|-------|
| $N_{staffe}$                           | $\sigma_{or,staffe}$   | $\sigma_{nt}$          | $\sigma_{nc}$          | $\sigma_{lim,traz}$    | $\sigma_{lim,compr}$   | VERIFICA | FS    |
| [daN]                                  | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | [daN/cm <sup>2</sup> ] | -        | -     |
| 38757.8                                | -29.54                 | 10.12                  | -39.66                 | 10.28                  | -58.67                 | OK!      | 1.015 |



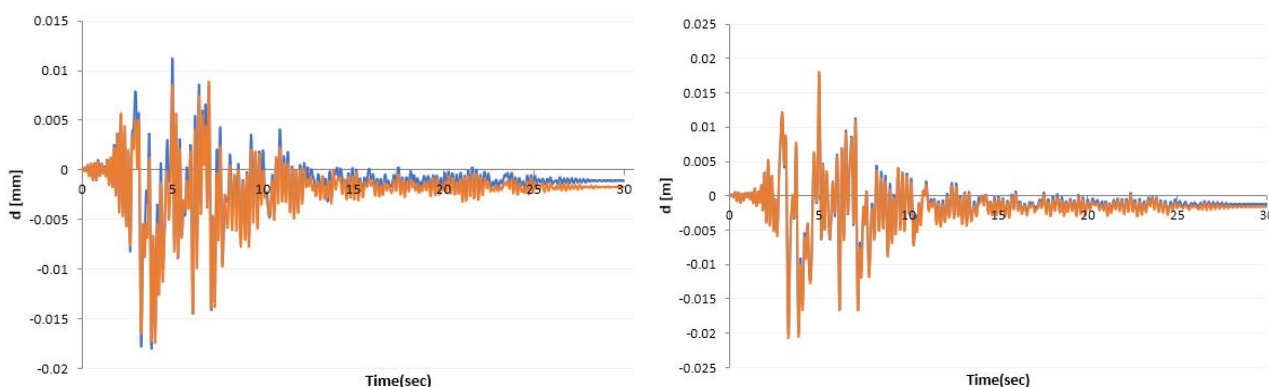
#### 10.4. Risultati analisi time history: verifiche di martellamento stato limite SLV

Al fine di dimostrare l'efficacia dell'intervento anche finalizzata alla riduzione degli spostamenti longitudinali in corrispondenza del giunto tecnico, di seguito si mostrano gli spostamenti relativi derivanti dalle analisi time history tra i nodi dei modelli Fem adiacenti, onde verificare che non si abbiano fenomeni pericolosi di martellamento. Indicando quindi con  $d_{xA}$  e  $d_{xB}$  gli spostamenti in direzione X dei nodi adiacenti ma appartenenti ai modelli Fem rispettivamente del blocco A e del blocco B, la verifica consiste nel controllare la seguente espressione:

$$|d_{x,B} - d_{x,A}| \leq a$$

dove  $a$  rappresenta la dimensione del giunto tecnico esistente, misurata nel punto più alto pari a 5 cm.

I diagrammi di FIGURA 10.37 mostrano le letture degli spostamenti nei punti di interesse presi dalle analisi dinamiche non lineari eseguite separatamente sui due blocchi, da cui è possibile ricavare lo spostamento relativo secondo l'espressione riportata in alto.



Blocco A – spostamenti ai due estremi del giunto (sx e dx)

Blocco B – spostamenti ai due estremi del giunto (sx e dx)

FIGURA 10.37 – ANALISI TH1: LETTURA DEGLI SPOSTAMENTI ASSOLUTI DEI NODI DI ESTREMITÀ IN CORRISPONDENZA DEL GIUNTO

Il risultato ottenuto è mostrato chiaramente nel grafico di FIGURA 10.38, dove si evidenzia che:

- lo spostamento relativo è sempre al di sotto dei 2 cm, per cui la dimensione del giunto tecnico è sufficiente;
- anche nell'ipotesi conservativa di strutture in opposizione di fase, gli spostamenti assoluti leggibili dai diagrammi di FIGURA 10.37 sono sempre al di sotto della soglia di 2.5 cm, per cui anche in questo caso la verifica risulterebbe soddisfatta.

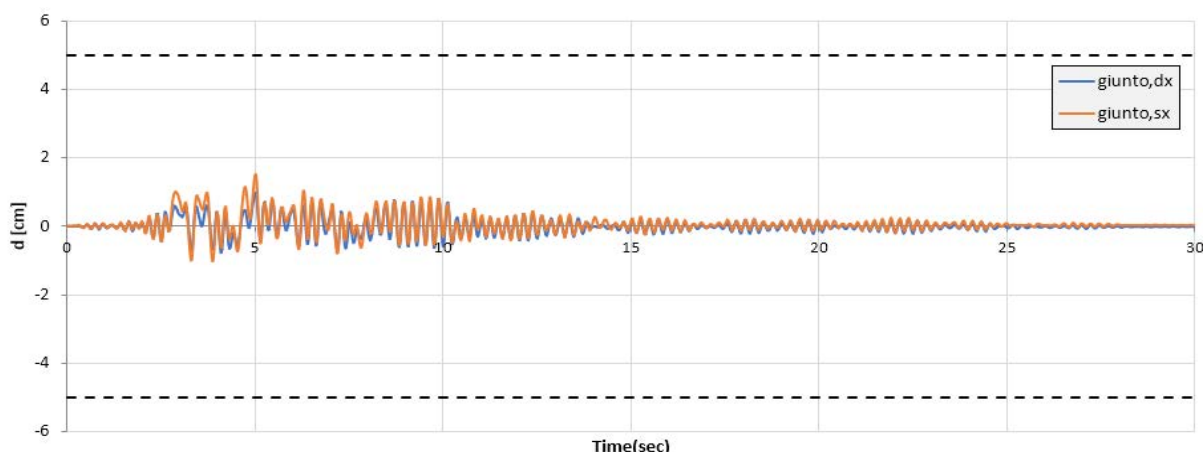


FIGURA 10.38 – ANALISI TH1: SPOSTAMENTO RELATIVO ALLE DUE ESTREMITÀ DEL GIUNTO TECNICO POSTO TRA BLOCCHI A E B

### 10.5. Verifiche esoscheletri di nuova realizzazione stato limite SLC

Come già indicato al §9.3 della presente relazione, è possibile verificare con un modello agli elementi finiti indipendente ciascuno degli esoscheletri (vedi FIGURA 10.39). Si tratta infatti di sistemi strutturali separati che, durante l'evento sismico, non “portano” carichi verticali, fatto salvo per la struttura secondaria dei *brise soleil*, mentre l'unica azione orizzontale trasmessa è quella derivante dai dissipatori fluido-viscosi: poiché tali dispositivi sono dotati di cerniera sferica proprio per non trasferire ulteriori azioni parassite se non quella assiale, assolvono anche alla funzione di “filtro” per gli esoscheletri, in quanto la forza massima trasmissibile non può andare oltre il valore rilevato per ciascuna tipologia al §10.2.2 con riferimento alle verifiche allo stato limite SLC; tali forze sono per completezza anche indicate in FIGURA 10.40.

Di seguito si mostrano le verifiche maggiormente significative relative ai profili in acciaio adottati, secondo le prescrizioni delle NTC2018 ed Eurocodici. Nel dettaglio, il software ha una procedura automatizzata di “check” in fase di post-processing, comunque validata nella presente relazione con riferimento ad un solo elemento. Per le prescrizioni normative, avendo fattor riferimento ad un sistema non dissipativo, valgono le regole del paragrafo 4 delle NTC2018 o EC3, cui si rimanda per maggiori dettagli.

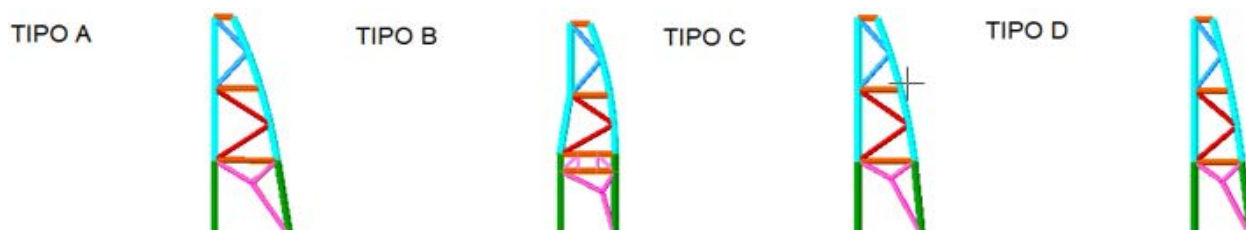


FIGURA 10.39 – MODELLI INDIPENDENTI SVILUPPATI IN AMBIENTE FEM RELATIVI ALLE 4 TIPOLOGIE DI ESOSCHELETRI ADOTTATE

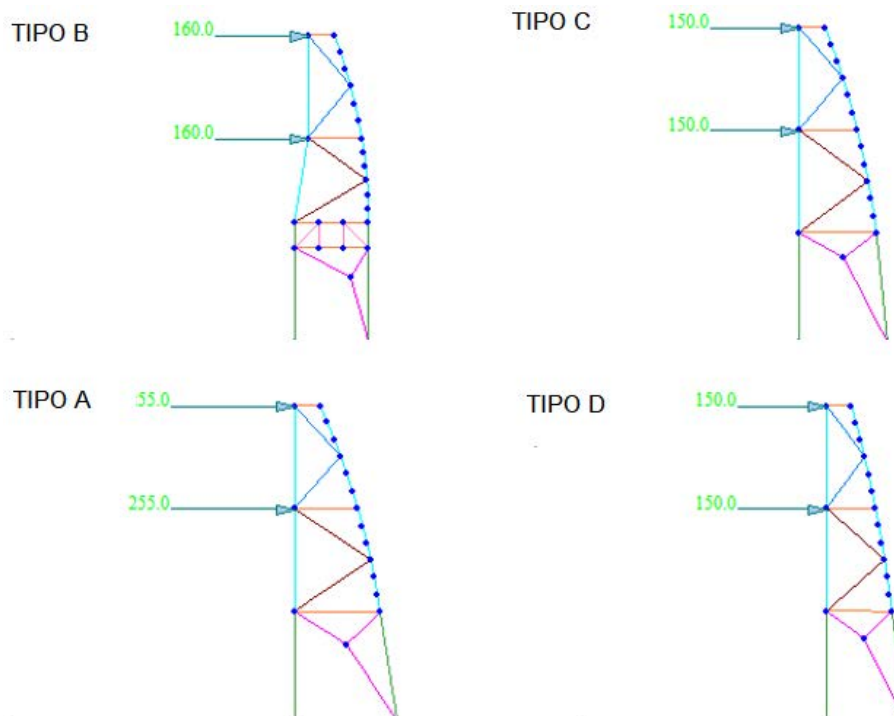


FIGURA 10.40 – FORZE STATICHE ORIZZONTALI APPLICATE AGLI ESOSCHELETRI

Importante sottolineare che le verifiche maggiormente severe per tali sistemi strutturali non sono quelle di resistenza, bensì di deformabilità; è infatti necessario avere dei sistemi con rigidità molto maggiore rispetto all'edificio esistente in modo da contrastare efficacemente gli spostamenti dei dissipatori e permetterne la corretta dissipazione. A tale riguardo assumono particolare rilevanza le due immagini stralciate nel seguito:

- la FIGURA 10.41 indica la deformata degli esoscheletri per effetto delle azioni massime trasmissibile dai dissipatori, con spostamenti dell'ordine del millimetro, fatto salvo per l'esoscheletro tipo B dove il valore massimo è pari a 1 cm ma comunque più che accettabile. La maggiore deformabilità in questo caso è legata alle particolari condizioni al contorno che ne vincolano la geometria: i) il passaggio libero da lasciare al primo livello dove si ha l'uscita di emergenza e quindi l'impossibilità di migliorare la geometria delle diagonali di controvento; ii) il muro di sostegno a tergo che non permette di adottare interassi maggiori o inclinare la colonna;
- la FIGURA 10.42 è quella più importante in quanto riporta le forme modali fondamentali dei singoli sistemi strutturali, con valori dei periodi di vibrazione che vanno da 0.074 s proprio per l'esoscheletro tipo B più deformabile, fino a valori di 0.045s; si hanno cioè frequenze di vibrazione molto più alte rispetto a quelle ottenute per l'edificio esistente (vedi §10.1.1).

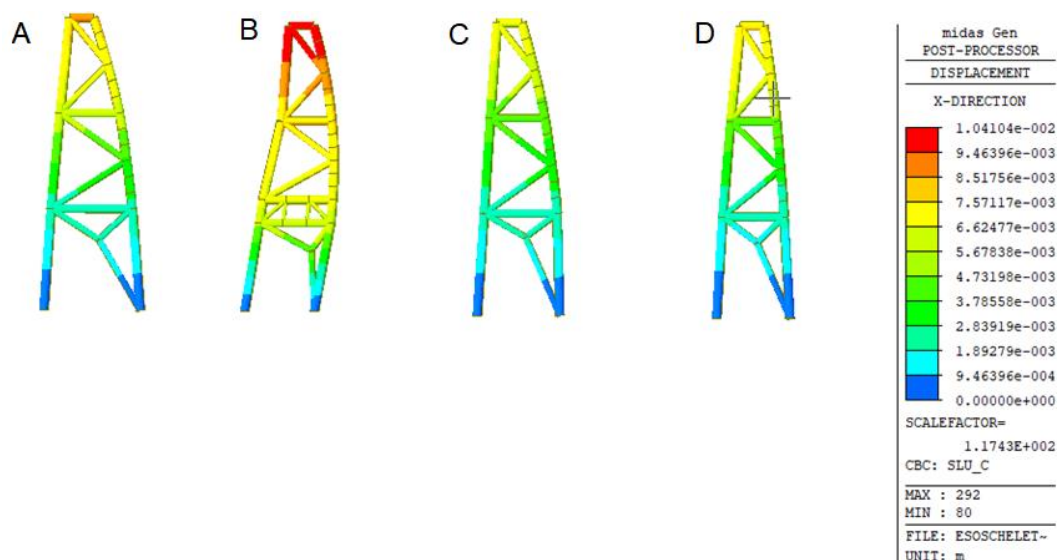


FIGURA 10.41 –DEFORMATA DEGLI ESOSCHELETRI PER FORZE AGENTI IN DIREZIONE POSITIVA (+X)

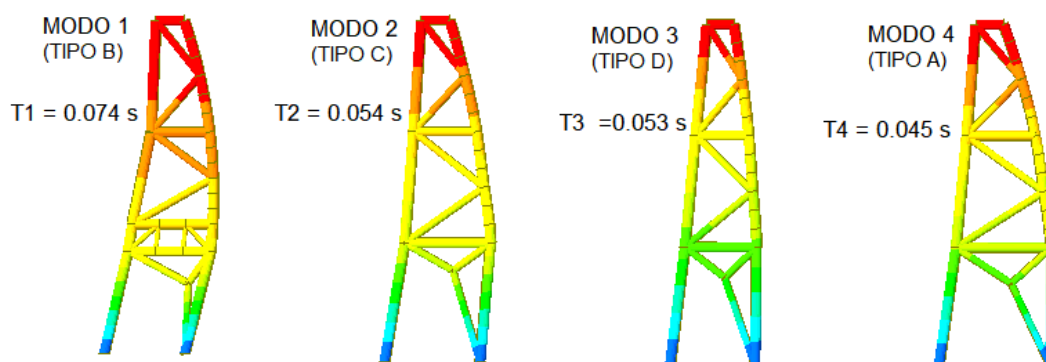


FIGURA 10.42 –FORME MODALI FONDAMENTA DELLE TIPOLOGIE DI ESOSCHELETRI CON INDICAZIONE DEI PERIODI PROPRI DI VIBRAZIONE

Anche se meno importanti, di seguito si mostrano alcune delle verifiche di resistenza condotte sugli esoscheletri, ribadendo che, poiché il dimensionamento è stato dettato da problemi di deformabilità, i coefficienti di sicurezza sono alquanto al di sotto rispetto alla soglia limite dell'unità.

In FIGURA 10.43 sono mostrati gli involuppi delle caratteristiche della sollecitazione interna ottenuti dalle analisi strutturali; le combinazioni di carico di maggior interesse sono soltanto due:

1. SLU+:  $1.0 G_{1k} + 1.0 E_{d,SLC}$  (massimizza gli sforzi di trazione)
2. SLU-:  $1.3 G_{1k} - 1.0 E_{d,SLC}$  (massimizza gli sforzi di compressione)

È importante osservare che, per come si sono concepiti i nodi di connessione esaminati di seguito, il sistema è sottoposto prevalentemente a sforzi assiali, con il momento esterno equilibrato da una coppia agente alla base delle due colonne, una in trazione e l'altra in compressione.

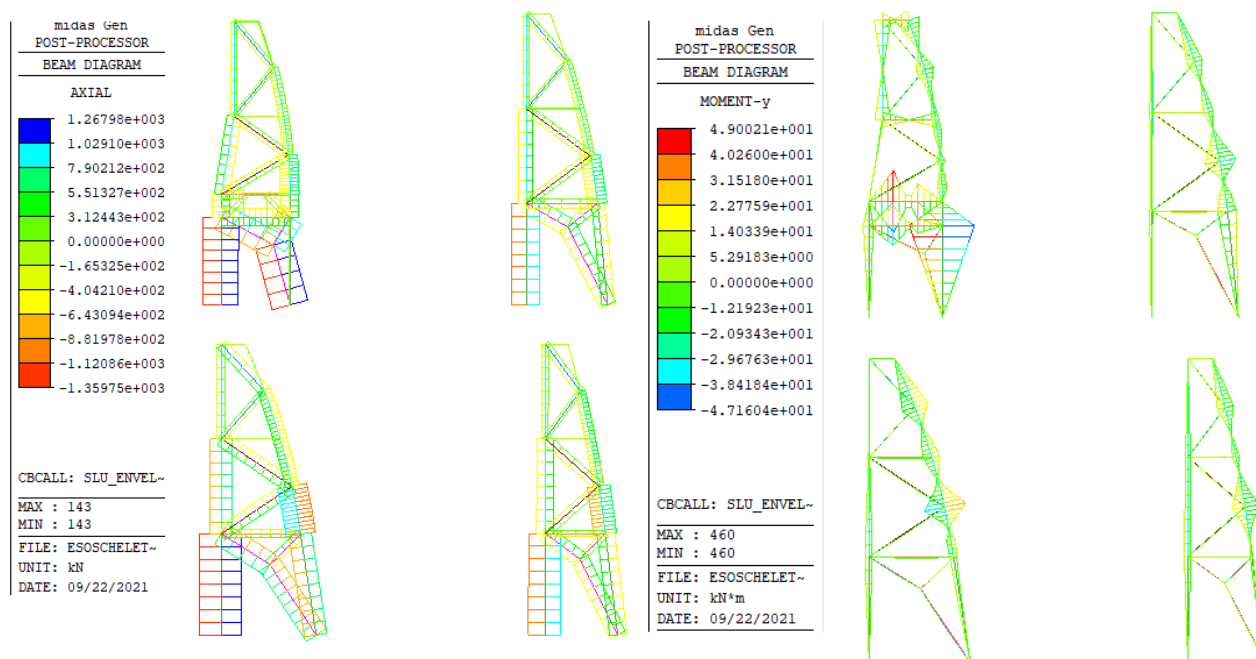


Diagramma dello sforzo normale

Diagramma del momento flettente

FIGURA 10.43 –DIAGRAMMI DELLO SFORZO NORMALE E DEL MOMENTO FLETTENTE SU ESOSCHELETRI PER INVILUPPO COMBINAZIONI DI CARICO

Di seguito si mostrano due delle verifiche maggiormente severe, la prima su una colonna di base 355x30 mm e la seconda su una diagonale di controvento 244x40 mm appartenente al primo livello. Al fine di validare i risultati di cui al tabulato, di seguito si determina lo sforzo normale resistente delle sezioni successivamente analizzate, confrontando i valori ottenuti nelle espressioni di calcolo con quelli evidenziati in rosso nelle pagine successive; il confronto da un esito più che soddisfacente.

- Colonna 355x30 mm

$$N_{Rd} = f_{yd} \cdot A = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} A = \frac{235}{1.05} \cdot 30687.1 \cdot 10^{-3} = 6868 \text{ kN}$$

- Brace 244x40 mm

$$N_{Rd} = f_{yd} \cdot A = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} A = \frac{235}{1.05} \cdot 25635.4 \cdot 10^{-3} = 5737 \text{ kN}$$

Per le verifiche numeriche integrali, si rimanda al tabulato di calcolo allegato alla presente relazione.

## DETTAGLIO VERIFICA COLONNA 355x30

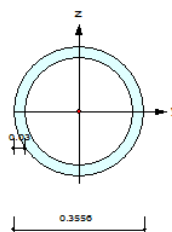
## STATO LIMITE SLU/SLV

| CH<br>K | MEMB<br>COM | SECT<br>SHR | SE<br>L | Section   |        | LCB | Len<br>Lb | Ly<br>Lz | Ky<br>Kz | Bmy<br>Bmz | N,Ed<br>N,Rd | My,Ed<br>Mb,Rd | My,Ed<br>My,Rd | Mz,Ed<br>Mz,Rd | Vy,Ed<br>Vy,Rd | Vz,Ed<br>Vz,Rd | T,Ed<br>T,Rd | Def  |
|---------|-------------|-------------|---------|-----------|--------|-----|-----------|----------|----------|------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|------|
|         |             |             |         | Material  | Fy     |     |           |          |          |            |              |                |                |                |                |                |              | Defa |
| OK      | 143         | 1           |         | Tub355x30 |        | 2   | 3.98936   | 3.98936  | 1.000    | 0.850      | -1481.2      | -5.3974        | -5.3974        | 0.00000        | 0.00000        | 1.35296        | 0.00000      | -    |
|         | 0.232       | 0.001       |         | S235      | 235000 |     | 3.98936   | 3.98936  | 1.000    | 0.850      | 6868.06      | 0.00000        | 713.832        | 713.832        | 0.00000        | 2524.37        | 596.104      | -    |
| OK      | 144         | 5           |         | Tub355x25 |        | 2   | 3.73064   | 3.73064  | 1.000    | 0.850      | -764.85      | -5.3974        | -5.3974        | 0.00000        | 0.00000        | -1.2006        | 0.00000      | -    |
|         | 0.145       | 0.001       |         | S235      | 235000 |     | 3.73064   | 3.73064  | 1.000    | 0.850      | 5811.27      | 0.00000        | 612.705        | 612.705        | 0.00000        | 2135.95        | 518.562      | -    |
| OK      | 145         | 5           |         | Tub355x25 |        | 2   | 3.73000   | 3.73000  | 1.000    | 0.850      | -300.57      | -0.9183        | -0.9183        | 0.00000        | 0.00000        | -0.2462        | 0.00000      | -    |
|         | 0.055       | 0.000       |         | S235      | 235000 |     | 3.73000   | 3.73000  | 1.000    | 0.850      | 5811.27      | 0.00000        | 612.705        | 612.705        | 0.00000        | 2135.95        | 518.562      | -    |
| OK      | 162         | 5           |         | Tub355x25 |        | 1   | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | -1040.8      | 7.03917        | 7.03917        | 0.00000        | 0.00000        | -4.2844        | 0.00000      | -    |
|         | 0.198       | 0.002       |         | S235      | 235000 |     | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | 5811.27      | 0.00000        | 612.705        | 612.705        | 0.00000        | 2135.95        | 518.562      | -    |
| OK      | 163         | 5           |         | Tub355x25 |        | 1   | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | -1040.7      | 7.03917        | 7.03917        | 0.00000        | 0.00000        | 19.5975        | 0.00000      | -    |
|         | 0.198       | 0.010       |         | S235      | 235000 |     | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | 5811.27      | 0.00000        | 612.705        | 612.705        | 0.00000        | 2135.95        | 518.562      | -    |
| OK      | 164         | 5           |         | Tub355x25 |        | 1   | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | -1036.7      | -32.880        | -32.880        | 0.00000        | 0.00000        | 43.1385        | 0.00000      | -    |
|         | 0.237       | 0.021       |         | S235      | 235000 |     | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | 5811.27      | 0.00000        | 612.705        | 612.705        | 0.00000        | 2135.95        | 518.562      | -    |
| OK      | 165         | 5           |         | Tub355x25 |        | 1   | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | -494.74      | -32.880        | -32.880        | 0.00000        | 0.00000        | -34.805        | 0.00000      | -    |
|         | 0.142       | 0.017       |         | S235      | 235000 |     | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | 5811.27      | 0.00000        | 612.705        | 612.705        | 0.00000        | 2135.95        | 518.562      | -    |
| OK      | 166         | 5           |         | Tub355x25 |        | 1   | 0.63948   | 0.63948  | 1.000    | 1.000      | -493.79      | -10.740        | -10.740        | 0.00000        | 0.00000        | -23.887        | 0.00000      | -    |

## Dati di input

## 1. Design Information

Design Code : Eurocode3:05  
Unit System : kN, m  
Member No : 143  
Material : S235 (No:1)  
(Fy = 235000, Es = 210000000)  
Section Name : Tub355x30 (No:1)  
(Rolled : Tub355x30).  
Member Length : 3.98936

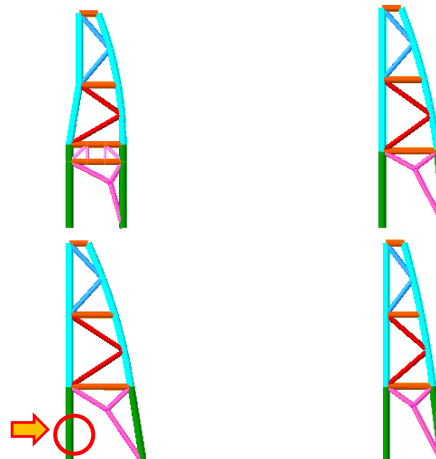


## 2. Member Forces

Axial Force Fxx = -1481.2 (LCB: 2, POS:J)  
Bending Moments My = -5.3974, Mz = 0.00000  
End Moments Myi = 0.00000, Myj = -5.3974 (for Lb)  
Myi = 0.00000, Myj = -5.3974 (for Ly)  
Mzi = 0.00000, Mzj = 0.00000 (for Lz)  
Shear Forces Fyy = 0.00000 (LCB: 1, POS:1/2)  
Fzz = -1.6454 (LCB: 1, POS:J)

|      | Outer Dia. 0.35500 | Wall Thick. 0.03000 |
|------|--------------------|---------------------|
| Area | 0.03009            | Asz 0.01534         |
| Iyb  | 0.02073            | Izb 0.02073         |
| Iyz  | 0.00041            | Izz 0.00041         |
| Ybar | 0.17780            | Zbar 0.17780        |
| Wely | 0.00231            | Weyz 0.00231        |
| ry   | 0.11500            | rz 0.11500          |

## Ubicazione

Sintesi verifica di resistenza e stabilità  
(sforzo normale prevalente)

## 4. Checking Results

## Slenderness Ratio

KL/r = 34.5 < 200.0 (LCB: 2)..... OK

Axial Resistance  
N<sub>Ed</sub>/MIN[N<sub>c,Rd</sub>, N<sub>b,Rd</sub>] = 1481.24/6868.06 = 0.216 < 1.000 ..... OK

## Bending Resistance

M<sub>Edy</sub>/M<sub>Rdy</sub> = 5.397/713.832 = 0.008 < 1.000 ..... OK

M<sub>Edz</sub>/M<sub>Rdz</sub> = 0.000/713.832 = 0.000 < 1.000 ..... OK

## Combined Resistance

RNRd = MAX[M<sub>Edy</sub>/M<sub>Rdy</sub>, M<sub>Edz</sub>/M<sub>Rdz</sub>]

R<sub>oom</sub> = N<sub>Ed</sub>/(A<sub>fy</sub>/Gamma<sub>M0</sub>), R<sub>bend</sub> = M<sub>Edy</sub>/M<sub>y,Rd</sub> + M<sub>Edz</sub>/M<sub>z,Rd</sub>

R<sub>c,LT1</sub> = N<sub>Ed</sub>/(X<sub>iy</sub>\*A<sub>fy</sub>/Gamma<sub>M1</sub>)

R<sub>b,LT1</sub> = (k<sub>yy</sub>\*M<sub>Edy</sub>)/(X<sub>iy</sub>\*W<sub>ply</sub>\*fy/Gamma<sub>M1</sub>) + (k<sub>yz</sub>\*M<sub>Edz</sub>)/(W<sub>plz</sub>\*fy/Gamma<sub>M1</sub>)

R<sub>c,LT2</sub> = N<sub>Ed</sub>/(X<sub>iz</sub>\*A<sub>fy</sub>/Gamma<sub>M1</sub>)

R<sub>b,LT2</sub> = (K<sub>zz</sub>\*M<sub>Edy</sub>)/(X<sub>iz</sub>\*W<sub>ply</sub>\*fy/Gamma<sub>M1</sub>) + (K<sub>zz</sub>\*M<sub>Edz</sub>)/(W<sub>plz</sub>\*fy/Gamma<sub>M1</sub>)

R<sub>max</sub> = MAX[RNRd, (R<sub>oom</sub>+R<sub>bend</sub>), MAX(R<sub>c,LT1</sub>+R<sub>b,LT1</sub>, R<sub>c,LT2</sub>+R<sub>b,LT2</sub>)] = 0.232 < 1.000 .. OK

## Valutazione sforzo assiale resistente

( ). Check slenderness ratio of axial compression member (KL/i).  
[ Eurocode3:05 6.3.1 ]  
-. KL/i = 34.5 < 200.0 ----> O.K.

( ) Calculate axial compressive resistance (N<sub>c,Rd</sub>).  
[ Eurocode3:05 6.1, 6.2.4 ]  
-. N<sub>c,Rd</sub> = f<sub>y</sub> \* Area / Gamma<sub>M0</sub> = 6868.06 kN

( ). Check ratio of axial resistance (N<sub>Ed</sub>/N<sub>c,Rd</sub>).  
N<sub>Ed</sub> 1481.24  
-. ----- = 0.216 < 1.000 ----> O.K.  
N<sub>c,Rd</sub> 6868.06

( ). Calculate buckling resistance of compression member (N<sub>b,Rdy</sub>, N<sub>b,Rdz</sub>).  
[ Eurocode3:05 6.3.1.1, 6.3.1.2 ]  
-. Beta<sub>A</sub> = A<sub>eff</sub> / Area = 1.000  
-. Lambda<sub>d</sub> = Pi \* SQRT(Es/fy) = 93.913  
-. Lambda<sub>by</sub> = ((Ky\*Ly/iy)/Lambda<sub>d</sub>) \* SQRT(Beta<sub>A</sub>) = 0.367  
-. N<sub>cr</sub> = Pi^2\*Es\*I<sub>yy</sub> / (Ky\*Ly)^2 = 53409.38 kN  
-. Lambda<sub>by</sub> < 0.2 or N<sub>Ed</sub>/N<sub>cr</sub> < 0.04 --> No need to check.

-. Lambda<sub>bz</sub> = ((Kz\*Lz/iz)/Lambda<sub>d</sub>) \* SQRT(Beta<sub>A</sub>) = 0.367  
-. N<sub>crz</sub> = Pi^2\*Es\*I<sub>zz</sub> / (Kz\*Lz)^2 = 53409.38 kN  
-. Lambda<sub>bz</sub> < 0.2 or N<sub>Ed</sub>/N<sub>crz</sub> < 0.04 --> No need to check.



| DETTAGLIO VERIFICA BRACE 244x40 |       |       |                                     |           |        |     |         |         |       |       |         |         |         |         |         |         |         |      |  |
|---------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-----------|--------|-----|---------|---------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|--|
| STATO LIMITE SLU/SLV            |       |       |                                     |           |        |     |         |         |       |       |         |         |         |         |         |         |         |      |  |
| CH                              | MEMB  | SECT  | SE                                  | Section   |        | LCB | Len     | Ly      | Ky    | Bmy   | N,Ed    | My,Ed   | My,Rd   | Mz,Ed   | Vy,Ed   | Vz,Ed   | T,Ed    | Def  |  |
| K                               | COM   | SHR   | L                                   | Material  | Fy     |     | Lb      | Lz      | Kz    | Bmz   | N,Rd    | Mb,Rd   | My,Rd   | Mz,Rd   | Vy,Rd   | Vz,Rd   | T,Rd    | Defa |  |
| OK                              | 435   | 7     | <input type="checkbox"/>            | Tub244x16 |        | 2   | 2.32210 | 2.32210 | 1.000 | 1.000 | -170.70 | -0.3514 | -0.3514 | 0.00000 | 0.00000 | 0.60536 | 0.00000 | -    |  |
|                                 | 0.072 | 0.001 |                                     | S235      | 235000 |     | 2.32210 | 2.32210 | 1.000 | 1.000 | 2564.98 | 0.00000 | 186.458 | 186.458 | 0.00000 | 942.764 | 158.528 | -    |  |
| OK                              | 436   | 7     | <input type="checkbox"/>            | Tub244x16 |        | 1   | 2.30891 | 2.30891 | 1.000 | 1.000 | -262.70 | 0.45426 | 0.45426 | 0.00000 | 0.00000 | 0.78697 | 0.00000 | -    |  |
|                                 | 0.110 | 0.001 |                                     | S235      | 235000 |     | 2.30891 | 2.30891 | 1.000 | 1.000 | 2564.98 | 0.00000 | 186.458 | 186.458 | 0.00000 | 942.764 | 158.528 | -    |  |
| OK                              | 437   | 3     | <input checked="" type="checkbox"/> | Tub244x40 |        | 1   | 2.45270 | 2.45270 | 1.000 | 1.000 | -1263.6 | 0.51124 | 0.51124 | 0.00000 | 0.00000 | 0.83377 | 0.00000 | -    |  |
|                                 | 0.232 | 0.000 |                                     | S235      | 235000 |     | 2.45270 | 2.45270 | 1.000 | 1.000 | 5737.45 | 0.00000 | 377.337 | 377.337 | 0.00000 | 2108.81 | 293.348 | -    |  |
| OK                              | 438   | 3     | <input type="checkbox"/>            | Tub244x40 |        | 1   | 2.31942 | 2.31942 | 1.000 | 1.000 | -910.70 | 1.52477 | 1.52477 | 0.00000 | 0.00000 | 2.62957 | 0.00000 | -    |  |
|                                 | 0.170 | 0.001 |                                     | S235      | 235000 |     | 2.31942 | 2.31942 | 1.000 | 1.000 | 5737.45 | 0.00000 | 377.337 | 377.337 | 0.00000 | 2108.81 | 293.348 | -    |  |
| OK                              | 439   | 3     | <input type="checkbox"/>            | Tub244x40 |        | 1   | 1.26480 | 1.26480 | 1.000 | 1.000 | -914.65 | -0.2636 | -0.2636 | 0.00000 | 0.00000 | 0.83377 | 0.00000 | -    |  |
|                                 | 0.168 | 0.000 |                                     | S235      | 235000 |     | 1.26480 | 1.26480 | 1.000 | 1.000 | 5737.45 | 0.00000 | 377.337 | 377.337 | 0.00000 | 2108.81 | 293.348 | -    |  |
| OK                              | 452   | 3     | <input type="checkbox"/>            | Tub244x40 |        | 1   | 3.45516 | 3.45516 | 1.000 | 1.000 | -606.78 | 1.75275 | 1.75275 | 0.00000 | 0.00000 | 2.02914 | 0.00000 | -    |  |
|                                 | 0.115 | 0.001 |                                     | S235      | 235000 |     | 3.45516 | 3.45516 | 1.000 | 1.000 | 5737.45 | 0.00000 | 377.337 | 377.337 | 0.00000 | 2108.81 | 293.348 | -    |  |
| OK                              | 453   | 3     | <input type="checkbox"/>            | Tub244x40 |        | 2   | 1.49547 | 1.49547 | 1.000 | 1.000 | 374.328 | -0.4356 | -0.4356 | 0.00000 | 0.00000 | -1.1652 | 0.00000 | -    |  |
|                                 | 0.066 | 0.001 |                                     | S235      | 235000 |     | 1.49547 | 1.49547 | 1.000 | 1.000 | 5737.45 | 0.00000 | 377.337 | 377.337 | 0.00000 | 2108.81 | 293.348 | -    |  |

### 1. Design Information

Design Code : Eurocode3:05

Unit System : kN, m

Member No : 437

Material : S235 (No:1)

(Fy = 235000, Es = 210000000)

Section Name : Tub244x40 (No:3)

(Built-up Section).

Member Length : 2.45270

### Dati di input

### 2. Member Forces

|                 | Outer Dia. 0.24400                    | Wall Thick 0.04000 |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------|
| Axial Force     | Fxx = -1263.6 (LCB: 1, POS:1/2)       | Area 0.02564       |
| Bending Moments | My = 0.51124, Mz = 0.00000            | Asz 0.01282        |
| End Moments     | Myi = 0.00000, Myj = 0.00000 (for Lb) | Qyb 0.01080        |
|                 | Myi = 0.00000, Myj = 0.00000 (for Ly) | Iwy 0.00014        |
|                 | Mzi = 0.00000, Mzj = 0.00000 (for Lz) | Izz 0.00014        |
|                 |                                       | Ybar 0.12200       |
| Shear Forces    | Fyy = 0.00000 (LCB: 1, POS:1/2)       | Wely 0.00114       |
|                 | Fzz = 0.83377 (LCB: 1, POS:1)         | Zbar 0.12200       |
|                 |                                       | Welyz 0.00114      |
|                 |                                       | ry 0.07350         |
|                 |                                       | rz 0.07350         |

### Ubicazione

### Sintesi verifica di resistenza e stabilità (sforzo normale prevalente)

#### 4. Checking Results

Slenderness Ratio

KL/r = 33.4 < 200.0 (LCB: 1)..... OK

Axial Resistance

N<sub>Ed</sub>/M<sub>N</sub>[N<sub>c</sub>R<sub>d</sub>, N<sub>b</sub>R<sub>d</sub>] = 1263.56/5737.45 = 0.220 < 1.000 ..... OK

Bending Resistance

M<sub>Edy</sub>/M<sub>Rdy</sub> = 0.511/377.337 = 0.001 < 1.000 ..... OK

M<sub>Edz</sub>/M<sub>Rdz</sub> = 0.000/377.337 = 0.000 < 1.000 ..... OK

Combined Resistance

RNRd = MAX[M<sub>Edy</sub>/M<sub>Rdy</sub>, M<sub>Edz</sub>/M<sub>Rdz</sub>]

Room = N<sub>Ed</sub>/(A\*f<sub>y</sub>/Gamma<sub>M0</sub>), Rbend = M<sub>Edy</sub>/M<sub>Rdy</sub> + M<sub>Edz</sub>/M<sub>Rdz</sub>

RcLT1 = N<sub>Ed</sub>/(X<sub>iy</sub>\*A\*f<sub>y</sub>/Gamma<sub>M1</sub>)

RbLT1 = (k<sub>yy</sub>\*M<sub>Edy</sub>)/(X<sub>iy</sub>\*L<sup>2</sup>\*W<sub>ply</sub>\*f<sub>y</sub>/Gamma<sub>M1</sub>) + (k<sub>yz</sub>\*M<sub>Edz</sub>)/(W<sub>plz</sub>\*f<sub>y</sub>/Gamma<sub>M1</sub>)

RcLT2 = N<sub>Ed</sub>/(X<sub>iz</sub>\*A\*f<sub>y</sub>/Gamma<sub>M1</sub>)

RbLT2 = (K<sub>zy</sub>\*M<sub>Edy</sub>)/(X<sub>iy</sub>\*L<sup>2</sup>\*W<sub>ply</sub>\*f<sub>y</sub>/Gamma<sub>M1</sub>) + (K<sub>zz</sub>\*M<sub>Edz</sub>)/(W<sub>plz</sub>\*f<sub>y</sub>/Gamma<sub>M1</sub>)

Rmax = MAX[RNRd, (Room+Rbend), MAX(RcLT1+RbLT1, RcLT2+RbLT2)] = 0.232 < 1.000 .. OK

### Valutazione sforzo assiale resistente

( ). Check slenderness ratio of axial compression member (KL/i).

[ Eurocode3:05 6.3.1 ]

-. KL/i = 33.4 < 200.0 ----> O.K.

( ). Calculate axial compressive resistance (N<sub>c</sub>R<sub>d</sub>).

[ Eurocode3:05 6.1, 6.2.4 ]

-. N<sub>c</sub>R<sub>d</sub> = f<sub>y</sub> \* Area / Gamma<sub>M0</sub> = 5737.45 kN

( ). Check ratio of axial resistance (N<sub>Ed</sub>/N<sub>c</sub>R<sub>d</sub>).

N<sub>Ed</sub> = 1263.56

-. = 1263.56 / 5737.45 = 0.220 < 1.000 ----> O.K.

( ). Calculate buckling resistance of compression member (N<sub>b</sub>R<sub>dy</sub>, N<sub>b</sub>R<sub>dz</sub>).

[ Eurocode3:05 6.3.1.1, 6.3.1.2 ]

-. Beta<sub>A</sub> = A<sub>eff</sub> / Area = 1.000

-. Lambda<sub>dal</sub> = Pi \* SQRT(Es/f<sub>y</sub>) = 93.913

-. Lambda<sub>by</sub> = ((K<sub>y</sub>\*L<sub>y</sub>/i<sub>y</sub>)/Lambda<sub>dal</sub>) \* SQRT(Beta<sub>A</sub>) = 0.355

-. N<sub>cry</sub> = Pi<sup>2</sup>\*Es\*I<sub>yy</sub> / (K<sub>y</sub>\*L<sub>y</sub>)<sup>2</sup> = 47711.79 kN

-. Lambda<sub>by</sub> < 0.2 or N<sub>Ed</sub>/N<sub>cry</sub> < 0.04 --> No need to check.

-. Lambda<sub>bz</sub> = ((K<sub>z</sub>\*L<sub>z</sub>/i<sub>z</sub>)/Lambda<sub>dal</sub>) \* SQRT(Beta<sub>A</sub>) = 0.355

-. N<sub>czz</sub> = Pi<sup>2</sup>\*Es\*I<sub>zz</sub> / (K<sub>z</sub>\*L<sub>z</sub>)<sup>2</sup> = 47711.79 kN

-. Lambda<sub>bz</sub> < 0.2 or N<sub>Ed</sub>/N<sub>czz</sub> < 0.04 --> No need to check.

### 10.5.1. Verifiche unioni bullonate

Per effettuare la verifica dei collegamenti bullonati e/o saldati mediante cordoni d'angolo, è necessario seguire le prescrizioni del D.M.17/01/18 al §4.2.8 "Unioni", comunque di seguito esplicitate.

#### Unioni bullonate

La resistenza di calcolo a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio che interessa il gambo dell'elemento di connessione, può essere assunta come:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tb} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8;}$$

$$F_{v,Rd} = 0,5 f_{tb} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ bulloni classe 6.8 e 10.9;}$$

dove  $A_{res}$  indica l'area resistente della vite e si adotta quando il piano di taglio interessa la parte filettata della stessa. Nei casi in cui il piano di taglio interessa il gambo non filettato della vite, si ha:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tb} A / \gamma_{M2}, \text{ bulloni - tutte le classi di resistenza ;}$$

dove  $A$  indica l'area nominale del gambo della vite e  $f_{tb}$ , invece, indica la resistenza a rottura del materiale impiegato per realizzare il bullone, mentre  $A_0$  indica la sezione del foro.

La resistenza di calcolo a rifollamento del piatto dell'unione, può essere assunta pari a:

$$F_{b,Rd} = k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$$

dove:

- $d$  è il diametro nominale del gambo del bullone,
- $t$  è lo spessore della piastra collegata,
- $f_{tk}$  è la resistenza a rottura del materiale della piastra collegata,
- $\alpha = \min \{e_1 / (3 d_0) ; f_{tb} / f_t ; 1\}$  per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato,
- $\alpha = \min \{p_1 / (3 d_0) - 0,25 ; f_{tb} / f_t ; 1\}$  per bulloni interni nella direzione del carico applicato,
- $k = \min \{2,8 e_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5\}$  per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato,
- $k = \min \{1,4 p_2 / d_0 - 1,7 ; 2,5\}$  per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico applicato,

essendo  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $p_1$  e  $p_2$  indicati in FIGURA 10.44 (i cui valori inferiori e superiori sono da rispettare secondo quanto indicato nella Tab.4.2.XVIII del D.M.17/01/18) e  $d_0$  il diametro nominale del foro di alloggiamento del bullone.



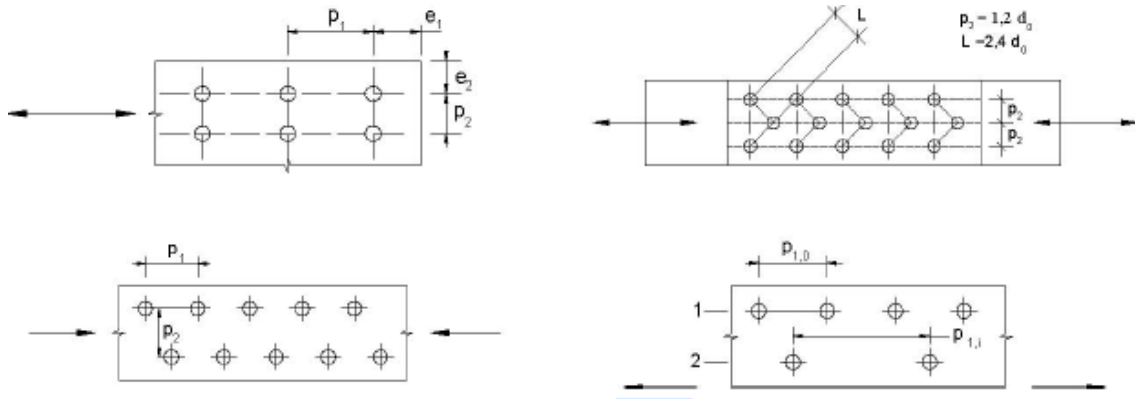


FIGURA 10.44 –DISPOSIZIONE DEI FORI PER LA REALIZZAZIONE DI UNIONI BULLONATE

La resistenza di calcolo a trazione degli elementi di connessione può essere assunta pari a:

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{tb} A_{res} / \gamma_{M2} .$$

Inoltre, nelle unioni bullonate soggette a trazione è necessario verificare la piastra a punzonamento.

Tale resistenza a punzonamento del piatto collegato è esprimibile come:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_{tk} / \gamma_{M2};$$

dove  $d_m$  è il minimo tra il diametro del dado e il diametro medio della testa del bullone;  $t_p$  è lo spessore del piatto e  $f_{tk}$  è la tensione di rottura dell'acciaio del piatto.

La resistenza complessiva della singola unione a taglio è perciò data da:  $R_{v,Rd} = \min (F_{v,Rd}; F_{b,Rd})$ , mentre la resistenza della singola unione a trazione è ottenuta come:  $R_{t,Rd} = \min (B_{p,Rd}; F_{t,Rd})$ . Nel caso di presenza combinata di trazione e taglio si può adottare la formula di interazione lineare:

$$\frac{F_{v,Ed}}{R_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 R_{t,Rd}} \leq 1$$

con la limitazione:

$$\frac{F_{t,Ed}}{R_{t,Rd}} < 1$$

dove con  $F_{v,Ed}$  ed  $F_{t,Ed}$  si sono indicate rispettivamente le sollecitazioni di taglio e di trazione agenti sull'unione.

Si fa infine osservare che il coefficiente parziale  $\gamma_{M2}$  è definito alla Tab. 4.2.XIV del D.M.17/01/18.

- *Unioni con saldature a cordoni d'angolo*

La resistenza di progetto, per unità di lunghezza, dei cordoni d'angolo si determina con riferimento all'altezza di gola “ $a$ ”, cioè all'altezza del triangolo iscritto nella sezione trasversale del cordone stesso. La lunghezza di calcolo  $L$  è quella intera del cordone, purché questo non abbia estremità palesemente mancanti o difettose.

Eventuali tensioni  $\sigma_{//}$  (definite in seguito) agenti nella sezione trasversale del cordone, inteso come parte della sezione resistente della membratura, non devono essere prese in considerazione ai fini della verifica del cordone stesso. Si fa inoltre l'ipotesi allo stato limite ultimo che le azioni di calcolo sui cordoni d'angolo si distribuiscono uniformemente sulla sezione di gola.

Nel seguito si indicano con  $\sigma_{\perp}$  la tensione normale e con  $\tau_{\perp}$  la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone d'angolo, agenti nella sezione di gola nella sua posizione effettiva, e con  $\sigma_{//}$  la tensione normale e con  $\tau_{//}$  la tensione tangenziale parallele all'asse del cordone d'angolo. Considerando però la sezione di gola in posizione ribaltata, si indicano con  $n_{\perp}$  e con  $t_{\perp}$  la tensione normale e la tensione tangenziale perpendicolari all'asse del cordone, mentre la tensione tangenziale parallela rimane inalterata. In tale ipotesi, la verifica dei cordoni d'angolo si effettua controllando che siano soddisfatte simultaneamente le due condizioni:

$$\sqrt{n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + \tau_{//}^2} \leq \beta_1 \cdot f_{yk}$$

$$|n_{\perp}| + |t_{\perp}| \leq \beta_2 \cdot f_{yk},$$

dove  $f_{yk}$  è la tensione di snervamento caratteristica ed i coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$  sono dati, in funzione del grado di resistenza dell'acciaio, nella Tab.4.2.XIX del D.M. 17/01/18.

Tab. 4.2.XIX - Valori dei coefficienti  $\beta_1$  e  $\beta_2$

|           | S235 | S275 - S355 | S420 - S460 |
|-----------|------|-------------|-------------|
| $\beta_1$ | 0,85 | 0,70        | 0,62        |
| $\beta_2$ | 1,0  | 0,85        | 0,75        |

- *Applicazione al caso in esame*

Nel caso in esame, i nodi sono dimensionati a parziale ripristino di resistenza, cioè verificati con riferimento alle sollecitazioni derivanti dai modelli di calcolo per le combinazioni maggiormente severe; si osserva che tali verifiche, sia nel caso delle unioni bullonate che nel caso delle unioni saldate, sono soddisfatte se l'indice di resistenza è inferiore all'unità. Poiché nei tabulati di sintesi mostrati successivamente l'indice di sicurezza (denominato “UT” sia per le saldature che per i bulloni) è indicato in termini percentuali, la verifica è soddisfatta quando la colonna corrispondente ha una percentuale inferiore al 100%.

Nei tabulati è riportata anche la verifica degli elementi in acciaio; in particolare si ammette una redistribuzione plastica dei profili nelle zone dove si ha concentrazione degli sforzi, controllando però che la deformazione plastica  $\epsilon_{pl}$  non superi il valore del 5% .

Se per le saldature, come già indicato in premessa il fattore di sicurezza è espresso dal termine  $U_t$ , per le verifiche dei bulloni il corrispondente è denominato  $U_{ts}$ ; i termini  $U_{tt}$  e  $U_{ts}$  rappresentano invece i fattori di sicurezza per sola trazione e taglio trattati separatamente (vedi teoria trattata precedentemente).

Nodo di base (B)

DATI DI INPUT

Nodo di attacco della colonna al profilo tubolare quadro che esce dal plinto a bicchiere della fondazione, costituito da una piastra e contropiastra  $s=16\text{mm}$ , irrigidimenti  $s=10\text{ mm}$  e n.12 bulloni M24 classe 10.9; saldature a cordoni d'angolo in officina  $a=16\text{mm}$  per il profilo,  $a=8\text{mm}$  per gli irrigidimenti.

Sezioni

| Nome                 | Materiale |
|----------------------|-----------|
| 1 - CHS355.6/25.0    | S 235     |
| 14 - SHS350/350/25.0 | S 235     |

Bulloni

| Nome     | Assieme di bulloni | Diametro [mm] | $f_u$ [MPa] | Superficie lorda [mm <sup>2</sup> ] |
|----------|--------------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
| M24 10.9 | M24 10.9           | 24            | 1000.0      | 452                                 |

Effetti del carico (equilibrio non richiesto)

| Nome | Elemento | N [kN]  | V <sub>y</sub> [kN] | V <sub>z</sub> [kN] | M <sub>x</sub> [kNm] | M <sub>y</sub> [kNm] | M <sub>z</sub> [kNm] |
|------|----------|---------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| LE1  | B1       | 1270.0  | 0.0                 | 10.0                | 0.0                  | 0.0                  | 0.0                  |
| LE2  | B1       | -1350.0 | 0.0                 | 10.0                | 0.0                  | 0.0                  | 0.0                  |

VERIFICHE NUMERICHE

Verifica dei bulloni per l'effetto del carico di estremo

|   | Stato | Articolo | Carichi | Ft [kN] | V [kN] | Fb,Rd [kN] | Utt [%] | Uts [%] | Utt <sub>s</sub> [%] |
|---|-------|----------|---------|---------|--------|------------|---------|---------|----------------------|
| > | +     | B1       | LE2     | 0.6     | 0.8    | 376.3      | 0.2     | 0.6     | 0.7                  |
|   | +     | B2       | LE2     | 0.3     | 1.6    | 282.2      | 0.1     | 1.1     | 1.2                  |
|   | +     | B3       | LE2     | 0.2     | 1.4    | 210.0      | 0.1     | 1.0     | 1.0                  |
|   | +     | B4       | LE2     | 0.6     | 1.0    | 206.0      | 0.2     | 0.7     | 0.9                  |
|   | +     | B5       | LE2     | 0.2     | 1.4    | 204.6      | 0.1     | 1.0     | 1.1                  |
|   | +     | B6       | LE2     | 0.3     | 1.5    | 296.4      | 0.1     | 1.1     | 1.2                  |
|   | +     | B7       | LE2     | 0.6     | 0.9    | 376.3      | 0.2     | 0.6     | 0.8                  |
|   | +     | B8       | LE2     | 0.3     | 0.3    | 277.3      | 0.1     | 0.2     | 0.3                  |
|   | +     | B9       | LE2     | 0.1     | 0.8    | 376.3      | 0.0     | 0.6     | 0.6                  |
|   | +     | B10      | LE2     | 0.4     | 0.6    | 207.7      | 0.2     | 0.4     | 0.6                  |
|   | +     | B11      | LE2     | 0.1     | 0.8    | 376.3      | 0.1     | 0.6     | 0.6                  |
|   | +     | B12      | LE2     | 0.3     | 0.3    | 333.4      | 0.1     | 0.2     | 0.3                  |

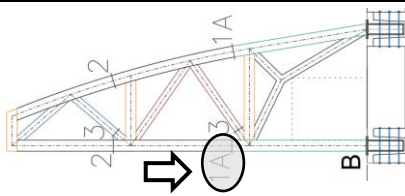
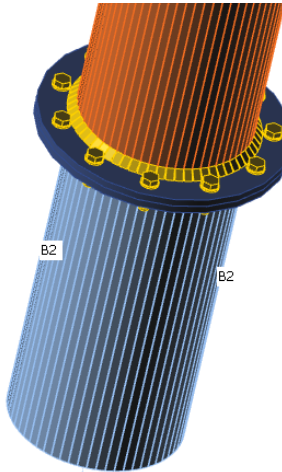
Verifica delle saldature per effetto del carico estremo (Ridistribuzione plastica)

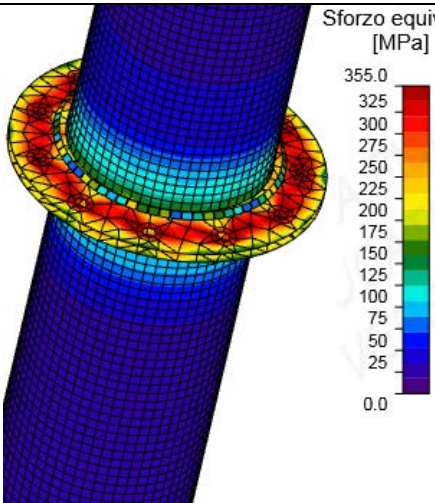
|   | Stato | Articolo | Bordo | Materiale | Sp. [mm] | L [mm] | Carichi | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{  }$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | Utc [%] |
|---|-------|----------|-------|-----------|----------|--------|---------|-----------------------|---------------------|------------------------|-------------------|----------------------|--------|---------|
| > | +     | PP1a     | B1    | S 235     | 16.0     | 1038   | LE2     | 96.2                  | 0.0                 | -51.6                  | 1.6               | 46.8                 | 26.7   | 21.6    |
|   | +     | PP1b     | B2    | S 235     | 16.0     | 1211   | LE2     | 123.0                 | 0.0                 | -61.8                  | 5.1               | 61.2                 | 34.2   | 27.3    |
|   | +     | PP1a     | NER1a | S 355     | 8.0      | 110    | LE2     | 83.4                  | 0.0                 | -38.0                  | 13.0              | -40.8                | 19.1   | 5.8     |
|   | +     |          |       | S 355     | 8.0      | 110    | LE2     | 90.6                  | 0.0                 | -43.0                  | -22.5             | 40.1                 | 20.8   | 6.7     |

Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo

|  | Stato | Articolo | Materiale | Th [mm] | Carichi | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%] |
|--|-------|----------|-----------|---------|---------|---------------------|---------------------|
|  | +     | PP1a     | S 355     | 16.0    | LE2     | 41.9                | 0.0                 |
|  | +     | PP1b     | S 355     | 16.0    | LE2     | 32.3                | 0.0                 |
|  | +     | NER1a    | S 355     | 10.0    | LE2     | 93.7                | 0.0                 |
|  | +     | NER1b    | S 355     | 10.0    | LE2     | 119.6               | 0.0                 |

## Nodo 1A

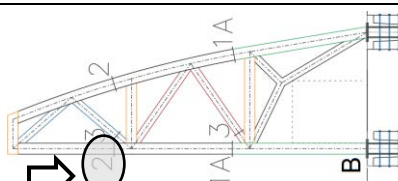
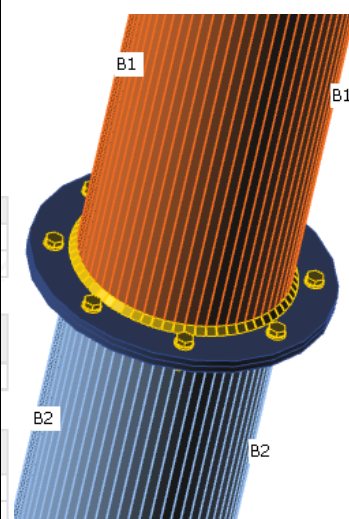
| DATI DI INPUT  |  |                    |         |  |          |                        |   |          |  |
|--|--|--------------------|---------|--|----------|------------------------|---|----------|--|
| <p>Nodo di attacco della colonna del 2° livello alla colonna sottostante, costituito da una piastra e contropiastra s=16mm, assenza di irrigidimenti e n.11 bulloni M20 classe 10.9; saldature a cordoni d'angolo in officina a=12mm dei profili alle piastre di base.</p> |  |                    |         |  |          |                        |  |          |  |
| Sezioni  |  |                    |         |  |          |                        |   |          |  |
| Nome   |  | Materiale          |         |  |          |                        |   |          |  |
| 1 - CHS355.6/25.0  |  | S 235              |         |  |          |                        |   |          |  |
| 4 - CHS355.30  |  | S 235              |         |  |          |                        |   |          |  |
| Bulloni  |  |                    |         |  |          |                        |   |          |  |
| Nome   |  | Assieme di bulloni |         | Diametro [mm]  | fu [MPa] | Superficie lorda [mm²] |   |          |  |
| M20 10.9   |  | M20 10.9           |         | 20   | 1000.0   | 314                    |   |          |  |
| Effetti del carico (equilibrio non richiesto)  |  |                    |         |  |          |                        |   |          |  |
| Nome   |  | Elemento           | N [kN]  | Vy [kN]  | Vz [kN]  | Mx [kNm]               | My [kNm]  | Mz [kNm] |  |
| LE1  |  | B1                 | 920.0   | 0.0  | 10.0     | 0.0                    | 0.0   | 0.0      |  |
| LE2  |  | B1                 | -1000.0 | 0.0  | 10.0     | 0.0                    | 0.0   | 20.6     |  |

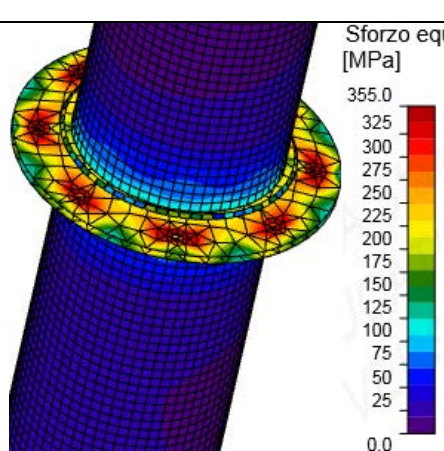
| VERIFICHE NUMERICHE  |       |          |  |         |        |            |         |         |          |
|--|-------|----------|--|---------|--------|------------|---------|---------|----------|
|  |       |          | Verifica dei bulloni per l'effetto del carico di estremo |         |        |            |         |         |          |
|  | Stato | Articolo | Carichi  | Ft [kN] | V [kN] | Fb,Rd [kN] | Utt [%] | Uts [%] | UttS [%] |
| >  | +     | B1       | LE1  | 159.7   | 1.3    | 268.4      | 90.5    | 1.4     | 66.0     |
|  | +     | B2       | LE1  | 160.1   | 1.4    | 215.5      | 90.8    | 1.5     | 66.3     |
|  | +     | B3       | LE1  | 160.2   | 1.5    | 187.2      | 90.8    | 1.5     | 66.4     |
|  | +     | B4       | LE1  | 160.0   | 1.6    | 185.4      | 90.7    | 1.7     | 66.5     |
|  | +     | B5       | LE1  | 159.9   | 1.6    | 202.8      | 90.6    | 1.6     | 66.4     |
|  | +     | B6       | LE1  | 160.4   | 1.3    | 251.0      | 90.9    | 1.4     | 66.3     |
|  | +     | B7       | LE1  | 160.4   | 1.1    | 312.7      | 90.9    | 1.1     | 66.0     |
|  | +     | B8       | LE1  | 159.9   | 0.7    | 313.6      | 90.6    | 0.7     | 65.5     |
|  | +     | B9       | LE1  | 160.0   | 0.1    | 313.6      | 90.7    | 0.1     | 64.9     |
|  | +     | B10      | LE1  | 160.2   | 0.4    | 313.6      | 90.8    | 0.4     | 65.3     |
|  | +     | B11      | LE1  | 160.1   | 0.9    | 313.6      | 90.8    | 0.9     | 65.7     |

| Verifica delle saldature per effetto del carico estremo (Ridistribuzione plastica) |       |          |       |          |        |         |             |          |          |           |          |        |         |
|--|-------|----------|-------|----------|--------|---------|-------------|----------|----------|-----------|----------|--------|---------|
|  | Stato | Articolo | Bordo | Sp. [mm] | L [mm] | Carichi | σw,Ed [MPa] | ε,PI [%] | σ⊥ [MPa] | τ   [MPa] | τ⊥ [MPa] | Ut [%] | Utc [%] |
| >  | +     | PP1a     | B1    | ▲12.0    | 1038   | LE1     | 245.7       | 0.0      | 68.6     | 135.9     | 9.2      | 68.2   | 41.5    |
|  | +     | PP1b     | B2    | ▲12.0    | 1021   | LE1     | 278.2       | 0.0      | 147.8    | -135.7    | -10.2    | 77.3   | 44.8    |

| Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo |       |          |           |         |         |            |          |
|--|-------|----------|-----------|---------|---------|------------|----------|
|  | Stato | Articolo | Materiale | Th [mm] | Carichi | σ,Ed [MPa] | ε,PI [%] |
| >  | ✓     | B1       | S 235     | 25.0    | LE1     | 182.7      | 0.0      |
|  | ✓     | B2       | S 235     | 30.0    | LE1     | 166.9      | 0.0      |
|  | ✓     | PP1a     | S 355     | 16.0    | LE1     | 355.8      | 0.4      |
|  | ✓     | PP1b     | S 355     | 16.0    | LE1     | 355.8      | 0.4      |

## Nodo 2

| DATI DI INPUT   |                    |           |               |  |                        |   |          |
|---|--------------------|-----------|---------------|--|------------------------|---|----------|
| <p>Nodo di attacco della colonna del 3° livello alla colonna sottostante, costituito da una piastra e contropiastra s=12mm, assenza di irrigidimenti e n.8 bulloni M16 classe 10.9; saldature a cordoni d'angolo in officina a=8 mm dei profili alle piastre di base.</p> |                    |           |               |  |                        |  |          |
| Sezioni   |                    |           |               |  |                        |   |          |
| Nome  |                    | Materiale |               |  |                        |   |          |
| 1 - CHS355.6/25.0   |                    | S 235     |               |  |                        |   |          |
| 1 - CHS355.6/25.0   |                    | S 235     |               |  |                        |   |          |
| Bulloni   |                    |           |               |  |                        |   |          |
| Nome  | Assieme di bulloni |           | Diametro [mm] | fu [MPa]   | Superficie lorda [mm²] |   |          |
| M16 10.9  | M16 10.9           |           | 16            | 1000.0   | 201                    |   |          |
| Effetti del carico (equilibrio non richiesto)   |                    |           |               |  |                        |   |          |
| Nome  | Elemento           | N [kN]    | Vy [kN]       | Vz [kN]  | Mx [kNm]               | My [kNm]  | Mz [kNm] |
| LE1   | B1                 | 430.0     | 10.0          | 10.0   | 0.0                    | 0.0   | 0.0      |
| LE2   | B1                 | -1000.0   | 0.0           | 10.0   | 0.0                    | 0.0   | 20.6     |

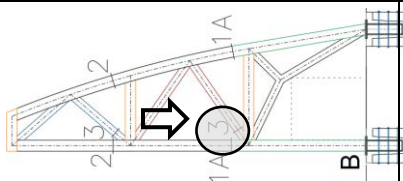
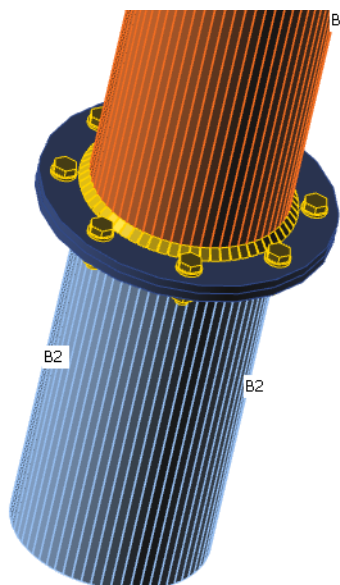
| VERIFICHE NUMERICHE  |       |          |  |         |        |            |         |         |          |  |
|--|-------|----------|--|---------|--------|------------|---------|---------|----------|--|
|  |       |          | Verifica dei bulloni per l'effetto del carico di estremo |         |        |            |         |         |          |  |
|  | Stato | Articolo | Carichi  | Ft [kN] | V [kN] | Fb,Rd [kN] | Utt [%] | Uts [%] | Utts [%] |  |
| >  | +     | B1       | LE1  | 102.7   | 1.8    | 182.4      | 90.9    | 2.8     | 67.7     |  |
|  | +     | B2       | LE1  | 102.6   | 1.6    | 135.5      | 90.7    | 2.6     | 67.4     |  |
|  | +     | B3       | LE1  | 102.5   | 1.8    | 188.2      | 90.7    | 2.8     | 67.6     |  |
|  | +     | B4       | LE1  | 102.6   | 1.9    | 188.2      | 90.8    | 3.0     | 67.9     |  |
|  | +     | B5       | LE1  | 102.7   | 1.8    | 182.3      | 90.9    | 2.8     | 67.7     |  |
|  | +     | B6       | LE1  | 102.6   | 1.7    | 135.5      | 90.7    | 2.6     | 67.4     |  |
|  | +     | B7       | LE1  | 102.5   | 1.8    | 188.2      | 90.7    | 2.8     | 67.6     |  |
|  | +     | B8       | LE1  | 102.6   | 1.9    | 188.2      | 90.7    | 3.0     | 67.8     |  |

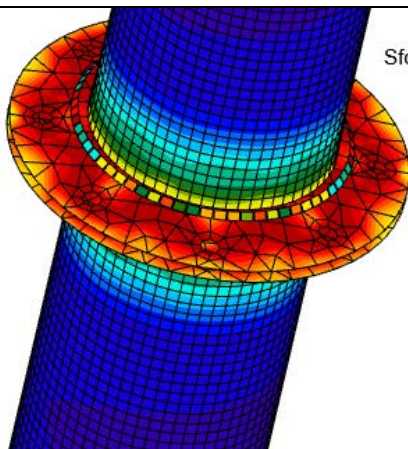
| Verifica delle saldature per effetto del carico estremo (Ridistribuzione plastica) |       |          |       |          |        |         |             |          |          |           |          |        |         |
|--|-------|----------|-------|----------|--------|---------|-------------|----------|----------|-----------|----------|--------|---------|
|  | Stato | Articolo | Bordo | Sp. [mm] | L [mm] | Carichi | σw,Ed [MPa] | ε,PI [%] | σ⊥ [MPa] | τ   [MPa] | τ⊥ [MPa] | Ut [%] | Utc [%] |
| >  | +     | PP1a     | B1    | 8.0      | 1038   | LE1     | 226.2       | 0.0      | 131.9    | -100.1    | -35.3    | 62.8   | 40.3    |
|  | +     | PP1b     | B2    | 8.0      | 1038   | LE1     | 218.6       | 0.0      | 131.9    | 94.3      | -35.4    | 60.7   | 40.3    |

| Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo |       |          |           |         |         |            |          |
|--|-------|----------|-----------|---------|---------|------------|----------|
|  | Stato | Articolo | Materiale | Th [mm] | Carichi | σ,Ed [MPa] | ε,PI [%] |
| >  | +     | B1       | S 235     | 25.0    | LE1     | 126.4      | 0.0      |
|  | +     | B2       | S 235     | 25.0    | LE1     | 126.8      | 0.0      |
|  | +     | PP1a     | S 355     | 12.0    | LE1     | 355.8      | 0.4      |
|  | +     | PP1b     | S 355     | 12.0    | LE1     | 355.8      | 0.4      |



## Nodo 3

| DATI DI INPUT  |                    |           |               |  |                        |          |   |  |  |  |  |  |
|--|--------------------|-----------|---------------|--|------------------------|----------|---|--|--|--|--|--|
| <p>Nodo di attacco delle diagonali di controvento in sito, costituito da una piastra e contropiastra s=12mm, assenza di irrigidimenti e n.8 bulloni M16 classe 10.9; saldature a cordoni d'angolo in officina a=8 mm dei profili alle piastre di base.</p> |                    |           |               |  |                        |          |  |  |  |  |  |  |
| Sezioni  |                    |           |               |  |                        |          |   |  |  |  |  |  |
| Nome   |                    | Materiale |               |  |                        |          |   |  |  |  |  |  |
| 23 - CHS244.5/20.0   |                    | S 235     |               |  |                        |          |   |  |  |  |  |  |
| 10 - CHS244.5/20.0   |                    | S 235     |               |  |                        |          |   |  |  |  |  |  |
| Bulloni  |                    |           |               |  |                        |          |   |  |  |  |  |  |
| Nome   | Assieme di bulloni |           | Diametro [mm] | fu [MPa]   | Superficie lorda [mm²] |          |   |  |  |  |  |  |
| M16 10.9   | M16 10.9           |           | 16            | 1000.0   | 20                     |          |   |  |  |  |  |  |
| Effetti del carico (equilibrio non richiesto)  |                    |           |               |  |                        |          |   |  |  |  |  |  |
| Nome   | Elemento           | N [kN]    | Vy [kN]       | Vz [kN]  | Mx [kNm]               | My [kNm] | Mz [kNm]  |  |  |  |  |  |
| LE1  | B1                 | 480.0     | 5.0           | 0.0  | 0.0                    | 0.0      | 0.0   |  |  |  |  |  |
| LE2  | B1                 | -480.0    | 5.0           | 0.0  | 0.0                    | 0.0      | 0.0   |  |  |  |  |  |

| VERIFICHE NUMERICHE   |   |       |          |   |          |         |                     |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |
|---|---|-------|----------|---|----------|---------|---------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|-------------------|----------------------|--------|---------|
|            |   |       |          | <p>Verifica dei bulloni per l'effetto del carico di estremo</p> |          |         |                     |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |
|   |   | Stato | Articolo | Carichi   | Ft [kN]  | V [kN]  | Fb,Rd [kN]          | Utt [%]               | Uts [%]             | Utts [%]               |                   |                      |        |         |
| >   | + | ✓     | B1       | LE1   | 105.6    | 0.6     | 104.5               | 93.4                  | 0.9                 | 67.7                   |                   |                      |        |         |
|   | + | ✓     | B2       | LE1   | 105.7    | 0.6     | 138.2               | 93.5                  | 1.0                 | 67.8                   |                   |                      |        |         |
|   | + | ✓     | B3       | LE1   | 105.5    | 0.7     | 188.2               | 93.3                  | 1.1                 | 67.7                   |                   |                      |        |         |
|   | + | ✓     | B4       | LE1   | 105.7    | 0.6     | 139.3               | 93.5                  | 1.0                 | 67.8                   |                   |                      |        |         |
|   | + | ✓     | B5       | LE1   | 105.6    | 0.6     | 104.5               | 93.4                  | 1.0                 | 67.7                   |                   |                      |        |         |
|   | + | ✓     | B6       | LE1   | 105.7    | 0.6     | 138.0               | 93.5                  | 1.0                 | 67.8                   |                   |                      |        |         |
|   | + | ✓     | B7       | LE1   | 105.5    | 0.7     | 188.2               | 93.3                  | 1.1                 | 67.7                   |                   |                      |        |         |
|   | + | ✓     | B8       | LE1   | 105.7    | 0.6     | 139.6               | 93.5                  | 1.0                 | 67.8                   |                   |                      |        |         |
| <p>Verifica delle saldature per effetto del carico estremo (Ridistribuzione plastica)</p>     |   |       |          |   |          |         |                     |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |
|   |   | Stato | Articolo | Bordo   | Sp. [mm] | L [mm]  | Carichi             | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{  }$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | Utc [%] |
| >   | + | ✓     | PP1a     | B1  | 8.0      | 705     | LE1                 | 342.3                 | 0.0                 | 181.2                  | -167.2            | -12.9                | 95.1   | 57.9    |
|   | + | ✓     | PP1b     | B2  | 8.0      | 705     | LE1                 | 341.6                 | 0.0                 | 180.7                  | 166.9             | -12.6                | 94.9   | 57.9    |
| <p>Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo</p> |   |       |          |   |          |         |                     |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |
|   |   | Stato | Articolo | Materiale   | Th [mm]  | Carichi | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%]   |                     |                        |                   |                      |        |         |
| >   | ✓ | B1    | S 235    | 20.0  | LE1      | 225.4   | 0.0                 |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |
|   | ✓ | B2    | S 235    | 20.0  | LE1      | 225.4   | 0.0                 |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |
|   | ✓ | PP1a  | S 355    | 12.0  | LE1      | 356.0   | 0.5                 |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |
|   | ✓ | PP1b  | S 355    | 12.0  | LE1      | 356.0   | 0.5                 |                       |                     |                        |                   |                      |        |         |

*Nodo dispositivo C1 – tubolare esoscheletro*

## DATI DI INPUT

## Sezioni

| Nome               | Materiale |
|--------------------|-----------|
| 1 - CHS355 6/25.0  | S 235     |
| 8 - CHS323 9/16.0  | S 355     |
| 23 - CHS244 5/20.0 | S 235     |
| 23 - CHS244 5/20.0 | S 235     |

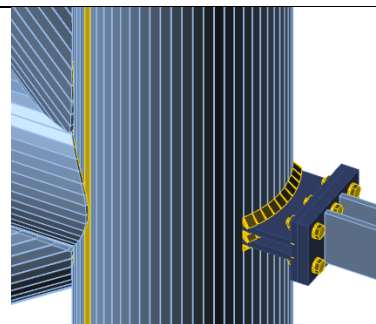
## Bulloni

| Nome     | Assieme di bulloni | Diametro [mm] | $f_u$ [MPa] | Superficie lorda [mm <sup>2</sup> ] |
|----------|--------------------|---------------|-------------|-------------------------------------|
| M12 10.9 | M12 10.9           | 12            | 1000.0      | 113                                 |

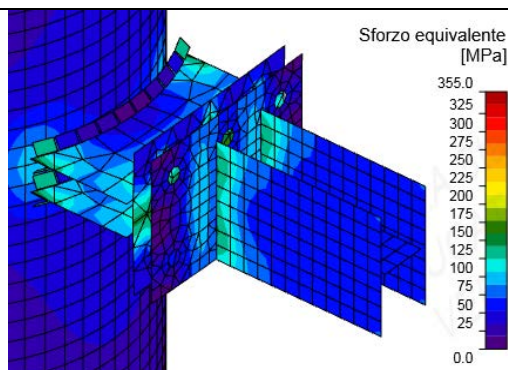
## Effetti del carico (forze in equilibrio)

| Nome | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1  | C        | 33.0   | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | B        | -350.5 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | D        | 410.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | E        | 260.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | M5       | 160.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
| LE2  | C        | 0.0    | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | B        | -33.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | D        | 350.5  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | E        | -410.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | M5       | -260.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
| LE2  | C        | 0.0    | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | B        | -33.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | D        | 350.5  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | E        | -410.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | M5       | -260.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |

Nodo flangiato, costituito da una piastra  $s=20\text{mm}$  e contropiastra  $s=12\text{mm}$ , con irrigidimenti  $s=12\text{mm}$  saldati in officina con sezione di gola  $a=10\text{mm}$ ; le piastre sono collegate in opera con n.6 bulloni M12 classe 10.9.



## VERIFICHE NUMERICHE



## Verifica dei bulloni per l'effetto del carico di estremo

|   | Stato | Articolo | Carichi | $F_t$ [kN] | $V$ [kN] | $F_b, R_d$ [kN] | $U_{tt}$ [%] | $U_{ts}$ [%] | $U_{tt_s}$ [%] |
|---|-------|----------|---------|------------|----------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| > | +     | B1       | LE1     | 25.4       | 1.5      | 109.7           | 41.9         | 4.3          | 34.3           |
|   | +     | B2       | LE1     | 25.4       | 1.5      | 109.7           | 41.9         | 4.3          | 34.3           |
|   | +     | B3       | LE1     | 39.2       | 1.6      | 84.0            | 64.9         | 4.7          | 51.0           |
|   | +     | B4       | LE1     | 39.3       | 1.6      | 84.0            | 64.9         | 4.7          | 51.0           |
|   | +     | B5       | LE1     | 25.4       | 1.5      | 109.7           | 41.9         | 4.3          | 34.3           |
|   | +     | B6       | LE1     | 25.4       | 1.5      | 109.7           | 41.9         | 4.3          | 34.3           |

## Verifica delle saldature per effetto del carico estremo (Ridistribuzione plastica)

|   | Stato | Articolo | Bordo | Materiale | $S_p$ [mm] | $L$ [mm] | Carichi | $\sigma_{w, Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{\parallel}$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | $U_t$ [%] | $U_{tc}$ [%] |
|---|-------|----------|-------|-----------|------------|----------|---------|------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|-----------|--------------|
| > | +     | C-arc 21 | SP1   | S 235     | 10.0       | 16       | LE2     | 130.4                  | 0.0                 | -40.2                  | -59.3                    | -40.1                | 36.2      | 36.2         |
|   | +     |          |       | S 235     | 10.0       | 16       | LE1     | 136.7                  | 0.0                 | 44.0                   | -61.4                    | -42.6                | 38.0      | 38.0         |
|   | +     | C-arc 20 | SP1   | S 235     | 10.0       | 16       | LE2     | 46.0                   | 0.0                 | -14.1                  | -21.2                    | -13.8                | 12.8      | 12.8         |
|   | +     |          |       | S 235     | 10.0       | 16       | LE1     | 49.6                   | 0.0                 | 20.2                   | -18.9                    | -18.0                | 13.8      | 13.8         |
|   | +     | C-arc 19 | SP1   | S 235     | 10.0       | 16       | LE2     | 32.6                   | 0.0                 | -2.6                   | -18.6                    | -2.7                 | 9.1       | 9.1          |

## Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo

|  | Stato | Articolo | Materiale | $T_h$ [mm] | Carichi | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%] |
|--|-------|----------|-----------|------------|---------|---------------------|---------------------|
|  | +     | M5-tf1   | S 355     | 10.0       | LE1     | 144.8               | 0.0                 |
|  | +     | M5-bf1   | S 355     | 10.0       | LE1     | 144.9               | 0.0                 |
|  | +     | M5-w1    | S 355     | 12.0       | LE2     | 68.8                | 0.0                 |
|  | +     | SP1      | S 355     | 12.0       | LE1     | 176.9               | 0.0                 |
|  | +     | SP2      | S 355     | 12.0       | LE1     | 177.0               | 0.0                 |
|  | +     | SP3      | S 355     | 12.0       | LE1     | 200.0               | 0.0                 |
|  | +     | PE1      | S 355     | 20.0       | LE1     | 104.3               | 0.0                 |



Nodo dispositivo C2 – tubolare esoscheletro

## DATI DI INPUT

## Sezioni

| Nome               | Materiale |
|--------------------|-----------|
| 1 - CHS355.6/25.0  | S 235     |
| 8 - CHS323.9/16.0  | S 355     |
| 23 - CHS244.5/20.0 | S 235     |
| 23 - CHS244.5/20.0 | S 235     |

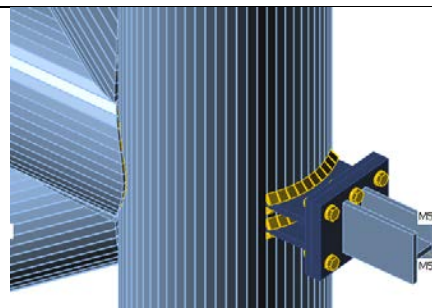
## Bulloni

| Nome     | Assieme di bulloni | Diametro [mm] | fu [MPa] | Superficie lorda [mm <sup>2</sup> ] |
|----------|--------------------|---------------|----------|-------------------------------------|
| M12 10.9 | M12 10.9           | 12            | 1000.0   | 113                                 |

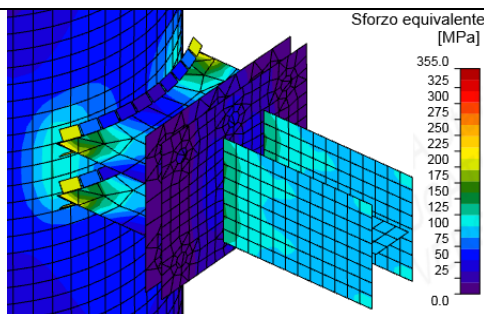
## Effetti del carico (forze in equilibrio)

| Nome | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1  | C        | 33.0   | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | B        | -270.5 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | D        | 410.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | E        | 260.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | M5       | 240.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
| LE2  | C        | 0.0    | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | B        | -33.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | D        | 250.5  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | E        | -410.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | M5       | -260.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | C        | 0.0    | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
|      | M5       | 240.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |

Nodo flangiato, costituito da una piastra  $s=20\text{mm}$  e contropiastra  $s=12\text{mm}$ , con irrigidimenti  $s=12\text{mm}$  saldati in officina con sezione di gola  $a=10\text{mm}$ ; le piastre sono collegate in opera con n.6 bulloni M12 classe 10.9.



## VERIFICHE NUMERICHE



## Verifica dei bulloni per l'effetto del carico di estremo

|   |   | Stato | Articolo | Carichi | Ft<br>[kN] | V<br>[kN] | Fb,Rd<br>[kN] | Utt<br>[%] | Uts<br>[%] | Utts<br>[%] |
|---|---|-------|----------|---------|------------|-----------|---------------|------------|------------|-------------|
| > | + | ✔     | B1       | LE1     | 44.7       | 2.2       | 105.3         | 74.0       | 6.7        | 59.5        |
|   | + | ✔     | B2       | LE1     | 44.7       | 2.2       | 105.2         | 74.0       | 6.7        | 59.5        |
|   | + | ✔     | B3       | LE1     | 55.0       | 2.0       | 84.0          | 91.0       | 6.0        | 71.0        |
|   | + | ✔     | B4       | LE1     | 55.0       | 2.0       | 84.0          | 91.0       | 6.0        | 71.0        |
|   | + | ✔     | B5       | LE1     | 44.7       | 2.2       | 105.2         | 73.9       | 6.6        | 59.4        |
|   | + | ✔     | B6       | LE1     | 44.7       | 2.2       | 105.3         | 74.0       | 6.6        | 59.5        |

## Verifica delle saldature per effetto del carico estremo (Ridistribuzione plastica)

|   | Stato | Articolo | Bordo    | Materiale | Sp. [mm] | L [mm] | Carichi | $\sigma_{w,Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%] | $\sigma_{\perp}$ [MPa] | $\tau_{\parallel}$ [MPa] | $\tau_{\perp}$ [MPa] | Ut [%] | Utc [%] |
|---|-------|----------|----------|-----------|----------|--------|---------|-----------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|--------|---------|
| > | +     | ✓        | C-arc 21 | SP1       | S 235    | 10.0   | LE2     | 212.3                 | 0.0                 | -66.4                  | -95.4                    | -66.7                | 59.0   | 59.0    |
|   | +     | ✓        |          |           | S 235    | 10.0   | LE1     | 212.0                 | 0.0                 | 71.4                   | -94.3                    | -66.2                | 58.9   | 58.9    |
|   | +     | ✓        | C-arc 20 | SP1       | S 235    | 10.0   | LE2     | 77.5                  | 0.0                 | -25.2                  | -35.0                    | -23.8                | 21.5   | 21.5    |
|   | +     | ✓        |          |           | S 235    | 10.0   | LE1     | 83.5                  | 0.0                 | 36.9                   | -29.0                    | -32.0                | 23.2   | 23.2    |
|   | +     | ✓        | C-arc 19 | SP1       | S 235    | 10.0   | LE2     | 54.3                  | 0.0                 | -6.2                   | -30.7                    | -5.1                 | 15.1   | 15.1    |
|   | +     | ✓        |          |           | S 235    | 10.0   | LE2     | 50.6                  | 0.0                 | -1.1                   | 29.1                     | 2.1                  | 14.1   | 14.1    |
|   | +     | ✓        | C-arc 18 | SP1       | S 235    | 10.0   | LE2     | 43.4                  | 0.0                 | -7.9                   | -23.6                    | -7.0                 | 12.1   | 12.1    |

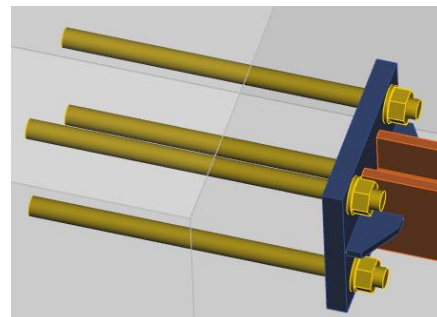
## Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo

|  | Stato | Articolo | Materiale | Th [mm] | Carichi | $\sigma_{Ed}$ [MPa] | $\epsilon_{PI}$ [%] |
|--|-------|----------|-----------|---------|---------|---------------------|---------------------|
|  | ✓     | M5-tfl 1 | S 355     | 10.0    | LE1     | 293.7               | 0.0                 |
|  | ✓     | M5-bfl 1 | S 355     | 10.0    | LE1     | 293.8               | 0.0                 |
|  | ✓     | M5-w 1   | S 355     | 12.0    | LE1     | 128.5               | 0.0                 |
|  | ✓     | SP1      | S 355     | 12.0    | LE1     | 296.4               | 0.0                 |
|  | ✓     | SP2      | S 355     | 12.0    | LE1     | 296.7               | 0.0                 |
|  | ✓     | SP3      | S 355     | 12.0    | LE1     | 244.2               | 0.0                 |
|  | ✓     | PE1      | S 355     | 20.0    | LE1     | 165.8               | 0.0                 |

Ancoraggio dispositivo C1 – nodo in c.a.

## DATI DI INPUT

Ancoraggio piastra s=20mm del dissipatore al nodo in c.a. mediante n.4 barre filettate M20 classe 10.9, con lunghezza di ancoraggio 30 cm; la piastra ha un irrigidimento s=8 mm con saldature a completa penetrazione in officina.



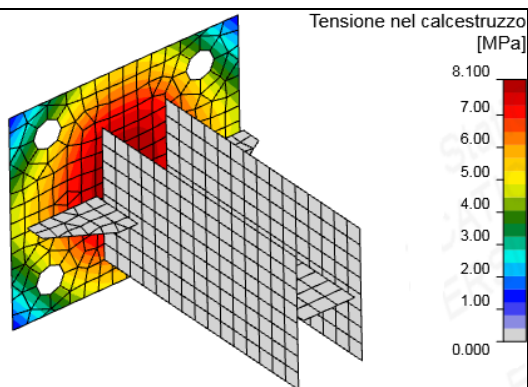
## Ancoraggi

| Nome     | Assieme di bulloni | Diametro [mm] | fu [MPa] | Superficie lorda [mm <sup>2</sup> ] |
|----------|--------------------|---------------|----------|-------------------------------------|
| M20 10.9 | M20 10.9           | 20            | 1000.0   | 314                                 |

## Effetti del carico (equilibrio non richiesto)

| Nome | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1  | COL      | 158.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
| LE2  | COL      | -155.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |

## VERIFICHE NUMERICHE



## Verifica della tensione di contatto nel calcestruzzo per l'effetto del carico di estr

| Stato | Articolo | Carichi | c [mm] | Aeff [m2] | σ [MPa] | Kj   | Fjd [MPa] | Ut [%] |
|-------|----------|---------|--------|-----------|---------|------|-----------|--------|
| ✓     | CB 1     | LE2     | 32     | 0.02      | 6.7     | 3.00 | 46.9      | 14.4   |

$UT = \frac{\sigma}{F_{jd}} = 14.4 \%$   
 $\sigma = \frac{N}{A_{eff}} = 6.7 \text{ MPa}$   
 $F_{jd} = \beta_f k_{cf} c k / \gamma_c = 46.9 \text{ MPa}$   
 dove:  
 $N = 155.0 \text{ kN}$  – Forza normale di progetto  
 $A_{eff} = 22970 \text{ mm}^2$  – Area utile su cui la forza N del pilastro è distribuita  
 $\beta_f = 0.67$  – Coefficiente unione Ri

## Verifica degli ancoraggi per effetto del carico di estremo

|     | Stato | Articolo | Classe       | Carichi | Ft [kN] | V [kN] | Nrdc [kN] | Vrds [kN] | Utt [%] | Uts [%] | Utt,s [%] | Vrd,cp [kN] | Vrd,c [kN] | Vrd,cp,s | Vrd,c,s |
|-----|-------|----------|--------------|---------|---------|--------|-----------|-----------|---------|---------|-----------|-------------|------------|----------|---------|
| > + | ✓     | A1       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 39.5    | 4.8    | 41.3      | 81.7      | 95.8    | 5.8     | 95.4      | 99.1        | 75.1       | ✓        | ✓       |
| +   | ✓     | A2       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 39.5    | 4.7    | 41.3      | 81.7      | 95.8    | 5.8     | 95.4      | 99.1        | 75.1       | ✓        | ✓       |
| +   | ✓     | A3       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 39.5    | 4.8    | 41.3      | 81.7      | 95.8    | 5.8     | 95.4      | 99.1        | 75.1       | ✓        | ✓       |
| +   | ✓     | A4       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 39.5    | 4.7    | 41.3      | 81.7      | 95.8    | 5.8     | 95.4      | 99.1        | 75.1       | ✓        | ✓       |

## Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo

| Stato | Articolo | Th [mm] | Carichi | σ,Ed [MPa] | ε,Pl [%] |
|-------|----------|---------|---------|------------|----------|
| ✓     | BP1      | 20.0    | LE1     | 153.7      | 0.0      |
| ✓     | NER1     | 8.0     | LE1     | 201.3      | 0.0      |
| ✓     | NER3     | 8.0     | LE1     | 201.3      | 0.0      |

Ancoraggio dispositivo C2 – nodo in c.a.

## DATI DI INPUT

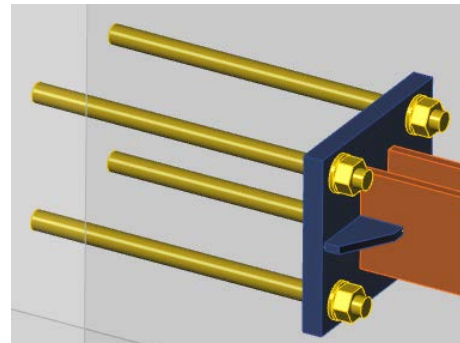
Ancoraggio piastra s=20mm del dissipatore al nodo in c.a. mediante n.4 barre filettate M20 classe 10.9, con lunghezza di ancoraggio 40 cm; la piastra ha un irrigidimento s=8 mm con saldature a completa penetrazione in officina.

## Ancoraggi

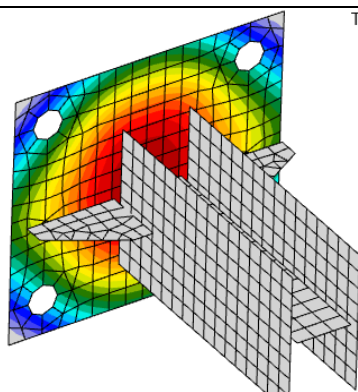
| Nome     | Assieme di bulloni | Diametro [mm] | fu [MPa] | Superficie lorda [mm <sup>2</sup> ] |
|----------|--------------------|---------------|----------|-------------------------------------|
| M20 10.9 | M20 10.9           | 20            | 1000.0   | 314                                 |

## Effetti del carico (equilibrio non richiesto)

| Nome | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1  | COL      | 236.0  | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |
| LE2  | COL      | -236.0 | 0.0     | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |



## VERIFICHE NUMERICHE



Tensione nel calcestruzzo [MPa]

## Verifica della tensione di contatto nel calcestruzzo per l'effetto del carico di estr

|   | Stato | Articolo | Carichi | c [mm] | Aeff [m <sup>2</sup> ] | σ [MPa] | Kj   | Fjd [MPa] | Ut [%] |
|---|-------|----------|---------|--------|------------------------|---------|------|-----------|--------|
| 1 | ✓     | CB 1     | LE2     | 30     | 0.02                   | 9.2     | 3.00 | 53.6      | 17.2   |

$$UT = \frac{\sigma}{F_{jd}} = 17.2 \%$$

$$\sigma = \frac{N}{A_{eff}} = 9.2 \text{ MPa}$$

$$F_{jd} = \beta_j k_j f_{ck} / \gamma_c = 53.6 \text{ MPa}$$

dove:

$$N = 226.1 \text{ kN}$$

$$A_{eff} = 24475 \text{ mm}^2$$

$$\beta_j = 0.67$$

– Forza normale di progetto

– Area utile su cui la forza N del pilastro è distribuita

– Coefficiente unione  $\beta_j$ 

## Verifica degli ancoraggi per effetto del carico di estremo

|   |   | Stato | Articolo | Classe       | Carichi | Ft<br>[kN] | V<br>[kN] | Nrds<br>[kN] | Vrds<br>[kN] | Utt<br>[%] | Uts<br>[%] | Uts<br>[%] | Vrd,cp<br>[kN] | Vrd,c<br>[kN] | Vrd,cp,s | Vrd,c,s |
|---|---|-------|----------|--------------|---------|------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|------------|----------------|---------------|----------|---------|
| > | + | ✓     | A1       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 57.2       | 10.3      | 59.5         | 81.7         | 96.2       | 12.7       | 98.8       | 142.7          | 105.7         | ✓        | ✓       |
|   | + | ✓     | A2       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 57.2       | 10.3      | 59.5         | 81.7         | 96.2       | 12.7       | 98.8       | 142.7          | 105.7         | ✓        | ✓       |
|   | + | ✓     | A3       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 57.2       | 10.4      | 59.5         | 81.7         | 96.2       | 12.7       | 98.8       | 142.7          | 105.7         | ✓        | ✓       |
|   | + | ✓     | A4       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 57.2       | 10.3      | 59.5         | 81.7         | 96.2       | 12.7       | 98.8       | 142.7          | 105.7         | ✓        | ✓       |

## Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo

|  | Stato | Articolo | Th [mm] | Carichi | σ <sub>Ed</sub> [MPa] | ε <sub>Pl</sub> [%] |
|--|-------|----------|---------|---------|-----------------------|---------------------|
|  | ✓     | BP1      | 20.0    | LE1     | 301.5                 | 0.0                 |
|  | ✓     | NER1     | 8.0     | LE1     | 332.6                 | 0.0                 |
|  | ✓     | NER3     | 8.0     | LE1     | 331.2                 | 0.0                 |

Ancoraggio dispositivo C3 – mensola tozza in c.a.

## DATI DI INPUT

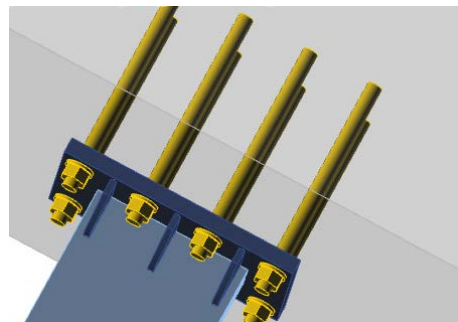
Ancoraggio piastra s=20mm del dissipatore alla mensola in c.a. mediante n.8 barre filettate M20 classe 10.9, con lunghezza di ancoraggio 25 cm; la piastra ha n.6 irrigidimenti s=8 mm con saldature a completa penetrazione in officina.

## Ancoraggi

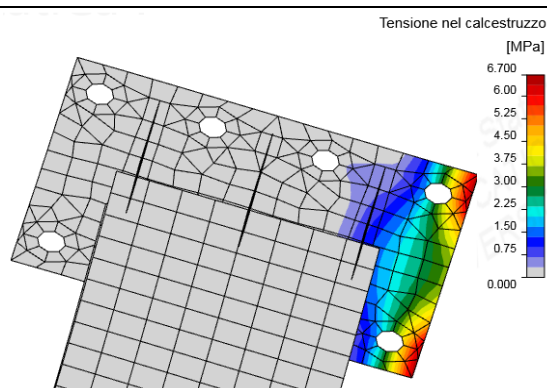
| Nome     | Assieme di bulloni | Diametro [mm] | fu [MPa] | Superficie lorda [mm <sup>2</sup> ] |
|----------|--------------------|---------------|----------|-------------------------------------|
| M20 10.9 | M20 10.9           | 20            | 1000.0   | 314                                 |

## Effetti del carico (equilibrio non richiesto)

| Nome | Elemento | N [kN] | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|------|----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1  | COL      | 0.0    | 360.0   | 0.0     | 0.0      | 0.0      | 0.0      |



## VERIFICHE NUMERICHE



## Verifica della tensione di contatto nel calcestruzzo per l'effetto del carico di estre

|   | Stato | Articolo | Carichi | c [mm] | Aeff [m <sup>2</sup> ] | σ [MPa] | Kj   | Fjd [MPa] | Ut [%] |
|---|-------|----------|---------|--------|------------------------|---------|------|-----------|--------|
| 1 | ✓     | CB 1     | LE1     | 30     | 0.01                   | 4.6     | 3.00 | 53.6      | 8.6    |

$$UT = \frac{\sigma}{F_{jd}} = 8.6 \%$$

$$\sigma = \frac{N}{A_{eff}} = 4.6 \text{ MPa}$$

$$F_{jd} = \beta_j k_{sj} f_{ck} / \gamma_c = 53.6 \text{ MPa}$$

dove:

$$N = 37.2 \text{ kN}$$

– Forza normale di progetto

$$A_{eff} = 8063 \text{ mm}^2$$

– Area utile su cui la forza N del pilastro è distribuita

$$\beta_s = 0.67$$

– Coefficiente unione Ri

## Verifica degli ancoraggi per effetto del carico di estremo

|   |   | Stato | Articolo | Classe       | Carichi | Ft [kN] | V [kN] | Nrdc [kN] | Vrds [kN] | Utt [%] | Uts [%] | Uts [%] | Vrd,cp [kN] | Vrd,c [kN] | Vrd,cp,s | Vrd,c,s |
|---|---|-------|----------|--------------|---------|---------|--------|-----------|-----------|---------|---------|---------|-------------|------------|----------|---------|
| > | + | ✔     | A1       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 0.0     | 44.5   | -         | 81.7      | 0.0     | 54.5    | 90.1    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |
|   | + | ✔     | A2       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 1.5     | 46.3   | -         | 81.7      | 1.0     | 56.7    | 95.7    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |
|   | + | ✔     | A3       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 15.2    | 43.2   | 56.6      | 81.7      | 26.8    | 52.9    | 99.9    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |
|   | + | ✔     | A4       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 1.8     | 46.0   | -         | 81.7      | 1.2     | 56.4    | 94.8    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |
|   | + | ✔     | A5       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 0.0     | 44.5   | -         | 81.7      | 0.0     | 54.5    | 90.1    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |
|   | + | ✔     | A6       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 1.5     | 46.3   | -         | 81.7      | 1.0     | 56.7    | 95.7    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |
|   | + | ✔     | A7       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 15.2    | 43.2   | 56.6      | 81.7      | 26.9    | 52.9    | 99.9    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |
|   | + | ✔     | A8       | M20 10.9 - 1 | LE1     | 1.8     | 46.0   | -         | 81.7      | 1.2     | 56.4    | 94.8    | 47.7        | 54.4       | ✔        | ✔       |

## Verifica degli elementi e delle piastre di acciaio per l'effetto del carico di estremo

|  | Stato | Articolo | Th [mm] | Carichi | σ <sub>Ed</sub> [MPa] | ε <sub>PI</sub> [%] |
|--|-------|----------|---------|---------|-----------------------|---------------------|
|  | ✓     | BP1      | 20.0    | LE1     | 149.8                 | 0.0                 |
|  | ✓     | NER1     | 8.0     | LE1     | 39.1                  | 0.0                 |
|  | ✓     | NER2     | 8.0     | LE1     | 57.0                  | 0.0                 |
|  | ✓     | NER3     | 8.0     | LE1     | 39.1                  | 0.0                 |
|  | ✓     | NER4     | 8.0     | LE1     | 56.8                  | 0.0                 |
|  | ✓     | NER5     | 8.0     | LE1     | 65.5                  | 0.0                 |
|  | ✓     | NER6     | 8.0     | LE1     | 65.2                  | 0.0                 |

### 10.5.2. Verifica dettaglio costruttivo mensola tozza in c.a

Osservando lo stralcio mostrato in FIGURA 10.45, la mensola in c.a. deve essere opportunamente connessa al nodo e alla trave adiacente della struttura in c.a., in modo da permettere al dissipatore tipo C3 la corretta dissipazione. È quindi importante verificare che lo sforzo assiale massimo trasmesso dal dispositivo alla mensola, sia poi trasmesso alla struttura esistente tramite barre di armatura opportunamente inghisate, che pertanto vengono sollecitate a taglio. Tali barre sono evidenziate in rosso in FIGURA 10.45, trascurando, a favore di sicurezza, quelle superiori o posizione 1, la cui funzione è in parte demandata alla resistenza a sfilamento chiamata in causa dal peso proprio della mensola e del dispositivo in un meccanismo tirante-puntone nel piano verticale.

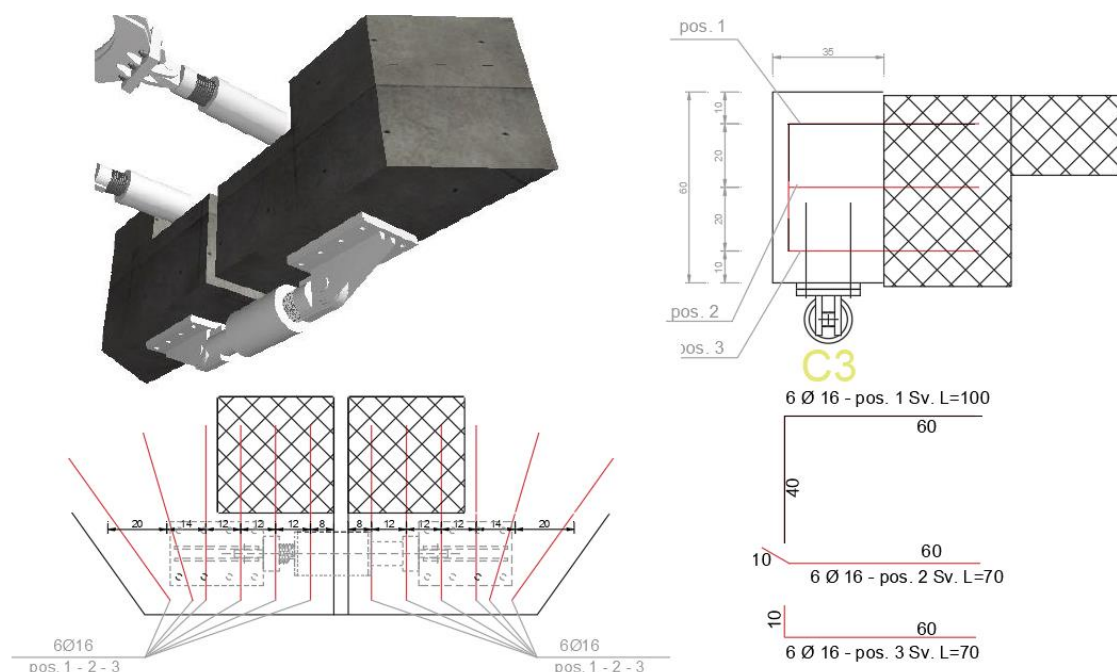


FIGURA 10.45 –DETTAGLIO COSTRUTTIVO DELLA MENSOLA CON EVIDENZA DELLE ARMATURE FI “FORZA” OGGETTO DI VERIFICA

La resistenza a taglio di una barra di armatura annegata nel cls può essere valutata attraverso la seguente espressione di letteratura, tratta dal testo di Leonhardt-Monnig “*L’armatura nelle costruzioni in cemento armato*” – Vol. III, dividendo ulteriormente per il fattore di sicurezza  $\gamma_{M2}$  indicato nelle norme specifiche ETAG :

$$V_{Rd} = \frac{1.3(\sqrt{1 - 1.69\varepsilon^2} - 1.3\varepsilon)\Phi^2\sqrt{f_{cd} \cdot f_{yd}}}{\gamma_{M2}}$$

$$\varepsilon = 3 \cdot \frac{e}{\Phi} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

dove:

- $f_{cd}$  è la resistenza del cls esistente, determinato dal valore medio ridotto del fattore di confidenza;
- $f_{yd}$  è la tensione di snervamento di progetto della barra di armatura;
- $e$  rappresenta l'eccentricità tra la 'radice' di uscita della barra dal getto di calcestruzzo ed il punto di applicazione effettivo della forza di taglio;
- $\Phi$  è il diametro del foro di inghisaggio.

Riportando le formule appena esplicitate su un foglio excel ed indicando con  $n_{bar}$  il numero di barre inghisate che partecipano al meccanismo resistente, si ottiene in definitiva quanto riportato nel tabulato seguente, da cui risulta un fattore di sicurezza maggiore dell'unità nonostante si sia trascurato il contributo degli ancoraggi presenti all'estremità superiore dell'elemento.

| MATERIALI |          |               | GEOMETRIA |        |           | TAGLIO RESISTENTE COMPLESSIVO |        |          |          |       |          |
|-----------|----------|---------------|-----------|--------|-----------|-------------------------------|--------|----------|----------|-------|----------|
| $f_{yd}$  | $f_{cd}$ | $\gamma_{M2}$ | $e$       | $\phi$ | $n_{bar}$ | $\varepsilon$                 | $rid$  | $V_{Rd}$ | $V_{sd}$ | FS    | Verifica |
| [Mpa]     | [Mpa]    | -             | [mm]      | [mm]   | -         | -                             | -      | [kN]     | [kN]     | -     | -        |
| 391.30    | 17.6     | 1.25          | 10        | 20     | 12        | 0.067                         | 0.9084 | 376.3    | 362.0    | 1.040 | OK!      |

## 11. Conclusioni

L'adozione di un sistema innovativo di protezione sismica passiva quale l'utilizzo di dispositivi fluido-viscosi con sistema performante *Mass Proportional Damping* ottenuto grazie alla realizzazione di esoscheletri esterni in carpenteria metallica, permette di migliorare sensibilmente le prestazioni del sistema strutturale in presenza di azioni orizzontali, nonostante l'edificio tradizionale sia risultato sensibilmente vulnerabile per via dell'elevata sismicità di sito. Si ottengono in questo modo notevoli vantaggi, tra cui:

- ✓ limitare al massimo gli interventi da eseguirsi sulla struttura esistente, garantendo così lo svolgimento delle attività quotidiane e non avendo problemi di interruzione dell'attività scolastica;
- ✓ garantire i requisiti prestazionali per gli elementi secondari, nonostante allo stato attuale non sono presenti indagini conoscitive sugli elementi non strutturali quali tramezzi e tamponature;
- ✓ evitare l'allargamento dei giunti tecnici tra i corpi indipendenti (sia giunto tra i blocchi A e B analizzati, sia giunto tra blocco A e corpo lato Sud non oggetto di studio) che altrimenti richiederebbe interventi di tipo invasivo.

Tutto ciò si può rendere attuabile a patto che si faccia attenzione a quella che è considerata la fase più delicata dell'intervento e cioè la corretta messa in opera ed il controllo di accettazione da parte della D.L. dei dissipatori fluido-viscosi, in modo che, nel momento in cui si dovesse verificare l'evento sismico, possano entrare in funzione e fornire al sistema strutturale la dissipazione richiesta.

La proposta progettuale descritta è stata preliminarmente dimensionata e sono state successivamente eseguite le verifiche prestazionali richieste dalla norme mediante l'utilizzo di un modello Fem. Tali analisi hanno confermato l'efficacia degli interventi di rinforzo, avendo ottenuto per ciascun meccanismo esaminato fattori di sicurezza molto rassicuranti; si può pertanto indicare che, ai sensi delle NTC2018, l'edificio è sismicamente adeguato in quanto soddisfa la seguente prescrizione minima:

$$\zeta_E \geq 0.80 .$$