

# COMUNE DI CARBONIA

ASSESSORATO AI LAVORI PUBBLICI  
PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA



Il sindaco  
Pietro Morittu

L'assessore  
Manolo Mureddu / Assessore ai Lavori Pubblici



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



MINISTERO  
DELL'INTERNO

## PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

MISSIONE 5: INCLUSIONE E COESIONE

Componente 2 - Infrastrutture sociali, famiglie, comunità e terzo settore

Investimento 2.1: "Rigenerazione urbana DPCM 21/01/2021"

## RIFUNZIONALIZZAZIONE DELLA EX-CENTRALE ELETTRICA DELLA GRANDE MINIERA DI SERBARIU COME MUSEO DELLA CITTÀ DI FONDAZIONE E ARCHIVIO DEL NOVECENTO

### Progettisti

UFFICIO TECNICO COMUNALE

Arch. Enrico Potenza / Progettista coordinatore

Ing. Mario Mammarella / Responsabile Unico del Procedimento

### Supporto tecnico scientifico

Consulenza progettuale / Università di Cagliari

DICAAR Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura

Prof. Arch. Giorgio Peghin / coordinamento scientifico

Prof. Arch. Adriano Dessì / coordinamento progettuale

Arch. Anna Corda, Arch. Roberta D'Angelo / elaborazioni progettuali

Arch. Roberto Sanna, Arch. Gabriele Sanna, Arch. Luca Floris / collaborazione

Prof. Ing. Fausto Mistretta / strutture

Ing. Emanuele Mura / impianti

Indagini strutturali / Secured Solutions srl

Relazioni geologico-geotecniche / Geol. Fausto Pani

Livello progettuale

**Fattibilità tecnica ed economica**

Cod.identificativo pratica

**22PRU01.00**

Titolo elaborato: Verifica sismica delle strutture esistenti e  
individuazione delle carenze strutturali

Scala:

A09

Data di prima emissione: aprile 2023

Data di verifica del progetto:

Data di validazione del progetto:

**RIFUNZIONALIZZAZIONE DELLA EX-CENTRALE ELETTRICA  
DELLA GRANDE MINIERA DI SERBARIU COME MUSEO DELLA  
CITTÀ DI FONDAZIONE E ARCHIVIO DEL NOVECENTO**

**Verifica sismica delle strutture esistenti e individuazione delle  
carenze strutturali**

## INDICE

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 1        | PREMESSA  | 3  |
| 2        | DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELLA STRUTTURA                       | 3  |
| 3        | INTERVENTI DI RIPRISTINO – RINFORZO                                   | 4  |
| 3.1      | CONSOLIDAMENTO MURATURE   | 4  |
| 3.2      | CONSOLIDAMENTO STRUTTURE IN C.A                                       | 4  |
| 4        | NORMATIVA DI RIFERIMENTO  | 4  |
| 5        | UNITÀ DI MISURA   | 5  |
| 6        | VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO                  | 5  |
| 7        | METODO DI CALCOLO E ACCETTABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO E RISULTATI   | 5  |
| 7.1      | AFFIDABILITÀ E ACCETTABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO E RISULTATI        | 6  |
| 8        | MEDODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA                               | 7  |
| 9        | ACQUISIZIONE DEL LIVELLO DI CONOSCENZA E DEL FATTORE DI CONFIDENZA FC | 7  |
| 10       | ANALISI STRUTTURALI   | 8  |
| 10.1     | CARATTERISTICHE DEI MATERIALI   | 8  |
| 10.2     | ANALISI DEI CARICHI   | 8  |
| 10.3     | COMBINAZIONI DI CARICO  | 10 |
| 10.4     | ANALISI E VERIFICHE PER CARICHI STATICI                               | 11 |
| 10.4.1   | <i>RISULTATI DELLE ANALISI</i>  | 11 |
| 10.4.2   | <i>VERIFICHE PER CARICHI STATICI: STATO ATTUALE</i>                   | 15 |
| 10.4.2.1 | Verifica delle travi in c.a.  | 15 |
| 10.4.2.2 | Verifica dei pilastri in c.a.   | 17 |
| 10.4.2.3 | Risultati delle verifiche a carichi statici: stato di fatto           | 18 |
| 10.4.3   | <i>VERIFICHE PER CARICHI STATICI: STATO DI PROGETTO</i>               | 19 |
| 10.4.3.1 | Verifica delle travi in c.a.  | 19 |
| 10.4.3.2 | Verifica dei pilastri in c.a.   | 21 |
| 10.4.3.3 | Risultati delle verifiche a carichi statici: stato di progetto        | 22 |
| 10.5     | ANALISI E VERIFICHE PER AZIONI DINAMICHE                              | 22 |
| 10.5.1   | <i>RISULTATI DELLE ANALISI</i>  | 23 |
| 10.5.2   | <i>VERIFICHE PER AZIONI DINAMICHE</i>                                 | 26 |
| 10.5.2.1 | Verifica delle travi in c.a.  | 26 |
| 10.5.2.2 | Verifica dei pilastri in c.a.   | 27 |
| 10.5.2.3 | Risultati delle verifiche per azioni dinamiche                        | 27 |
| 11       | CONCLUSIONI   | 28 |

## **1 PREMESSA**

La presente relazione ha lo scopo di descrivere le operazioni e le verifiche eseguite col fine di determinare la vulnerabilità sismica del fabbricato sito nel Comune di Carbonia, sede dell'Ex centrale elettrica della Grande miniera di Serbariu.

Le nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni D.M. 17.01.2018, di seguito NTC2018, e la relativa Circolare applicativa n. 7 del 21.01.2019, forniscono gli strumenti per la valutazione della sicurezza dell'edificio: in particolare per gli edifici esistenti, come citato al punto 8.3 e C8.3 della Circolare, viene definito il coefficiente  $\zeta_E$ , "Indice di Vulnerabilità Sismica", come il rapporto dell'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione sul medesimo suolo e caratteristiche.

Nella presente relazione, attraverso l'implementazione di analisi di tipo dinamica lineare, si è proceduto alla definizione dell'indicatore di rischio nella configurazione attuale connessa all'innescarsi di possibili meccanismi di crisi fragile e duttile.

Una volta determinata la "domanda" sismica della struttura, ovvero la richiesta in accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale rispettando lo SLV, si è definita la "capacità", ovvero la potenzialità della struttura allo stato attuale di sopportare un'azione sismica tale da non creare meccanismi di collasso.

Analogamente sono state condotte anche le verifiche di natura statica secondo le prescrizioni previste nelle attuali NTC2018.

Ai sensi del paragrafo 8.3 NTC2018, la verifica del sistema fondale non è stata affrontata in quanto non sussistono condizioni che possono dar luogo a instabilità globale, non si evidenziano dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni e inoltre, così come riportato nella relazione geologica e geotecnica, non sono presenti condizioni morfologiche sfavorevoli.

## **2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELLA**

### **STRUTTURA**

Il complesso dell'Ex centrale elettrica della Grande miniera di Serbariu è sito nel territorio comunale di Carbonia.

Le indagini visive effettuate hanno messo in evidenza significativi fenomeni di degrado strutturale causati dalla vetustà e mancanza di manutenzione della struttura, che vengono di seguito descritti:

- Fenomeni di erosione delle murature di testata e perimetrali di tamponamento, dovute all'esposizione diretta agli agenti atmosferici a causa della mancanza dello strato di intonaco.
- Quadro di umidità profonda in tutti i solai di copertura piani, dovuto al deterioramento delle impermeabilizzazioni.
- Fenomeni diffusi di espulsione del copriferro e fessurazioni per carbonatazione su gran parte degli elementi in c.a. (pilastri, travi, solette, capriate).
- Fenomeni diffusi di corrosione dei ferri d'armatura su gran parte degli elementi in c.a. (pilastri, travi, solette, capriate); su alcuni elementi si

evidenza anche la rottura delle staffe con conseguente perdita di confinamento del calcestruzzo.

### 3 INTERVENTI DI RIPRISTINO - RINFORZO

Gli interventi previsti in progetto, ai sensi della Circolare esplicativa (paragrafo C8.4.1), sono classificabili come interventi di **“Riparazione o Locali”** e sono volti a conseguire le seguenti finalità:

- Ripristinare, rispetto alla configurazione precedente al danno, le caratteristiche iniziali delle parti di struttura danneggiate;
- Modificare un elemento o una porzione limitata della struttura.

Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e dimostrando che rispetto alla configurazione iniziale non vengano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme.

#### 3.1 CONSOLIDAMENTO MURATURE

L'intervento di consolidamento delle murature di testata e perimetrali si pone l'obiettivo di ripristinare i paramenti localmente degradati.

In tutte le murature, realizzate in pietra, si procederà con la tecnica del "cuci-scuci", alla sostituzione delle parti particolarmente degradate del paramento murario. L'intervento sarà realizzato per tratti di ridotte dimensioni per non compromettere la stabilità della struttura soprastante, creando più zone di intervento sufficientemente distanti. Una volta eliminate le parti degradate, saranno posati i nuovi conci lapidei, utilizzando malta di calce idraulica naturale per l'allettamento. Le murature saranno poi rivestite con un intonaco macroporoso deumidificante.

#### 3.2 CONSOLIDAMENTO STRUTTURE IN C.A

Tutte le strutture in c.a. interessate da fenomeni di umidità diffusa, verranno sottoposte all'asportazione in profondità del calcestruzzo ammalorato mediante idroscarifica e/o sabbiatura, fino al raggiungimento dello strato del cls con caratteristiche di buona solidità ed omogeneità e comunque non carbonatato. Successivamente si eseguirà la riprofilatura delle sezioni mediante ripristino monolitico del copriferro e contestuale trattamento / integrazione delle armature longitudinali e trasversali con applicazione di malta cementizia strutturale, tixotropica, a presa normale, specifica per la passivazione, il ripristino, la rasatura e la protezione monolitica di elementi in calcestruzzo.

### 4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il calcolo e la verifica delle strutture sono stati eseguiti in ottemperanza alle seguenti Norme Tecniche:

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971 Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica;
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992 Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche;
- Decreto Ministeriale del 17/01/2018, "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC18);
- Circolare esplicativa delle Norme tecniche per le costruzioni 2018 del 21/01/2019;
- Eurocodici approvati dal Comitato Europeo di Normazione in forma di Euro Norma (EN)

## 5 UNITÀ DI MISURA

Sistema di misura internazionale di misura "SI", Direttiva CEE del 18 ottobre 1971 (71/354/CEE) modificata il 27 luglio 1976 (76/770/CEE).

## 6 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI

### RIFERIMENTO

La vita nominale di progetto  $V_N$  è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché sia soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di  $V_N$  da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I delle NTC2018 di seguito illustrata:

| TIPI DI COSTRUZIONI |   | Valori minimi di $V_N$ (anni) |
|---------------------|---|-------------------------------|
| 1                   | Costruzioni temporanee e provvisorie            | 10                            |
| 2                   | Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari | 50                            |
| 3                   | Costruzioni con livelli di prestazioni elevati  | 100                           |

Nel caso in oggetto si considera una vita nominale  $V_N = 50$  anni.

Nel caso in esame viene considerata una Classe d'uso II:

**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."

Le azioni sismiche sulla costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava moltiplicando la Vita Nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ ; il coefficiente  $C_U$  è definito al variare della classe d'uso della struttura, nel caso in esame risulta:

**Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$**

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

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni}$$

Il periodo di riferimento inerente al progetto è assunto pari a 50 anni.

## 7 METODO DI CALCOLO E ACCETTABILITÀ DEI CODICI DI

### CALCOLO E RISULTATI

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con il metodo agli stati limite.

Spostamenti e azioni sono calcolati con il metodo agli elementi finiti (FEM), questo si basa sulla schematizzazione di una struttura come insieme di elementi di varie geometrie e caratteristiche, connessi l'un l'altro solo in corrispondenza di un determinato numero di punti chiamati "nodi", singolarmente definiti per mezzo di tre coordinate cartesiane rispetto a un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema sono rappresentate dalle sei componenti di spostamento di ogni nodo, traslazioni secondo X, Y, Z e rotazioni attorno agli stessi assi, riferite alla terna globale. Il metodo permette di giungere ad un sistema di equazioni

lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura, opportunamente concentrati nei nodi.

$$K \cdot u = F$$

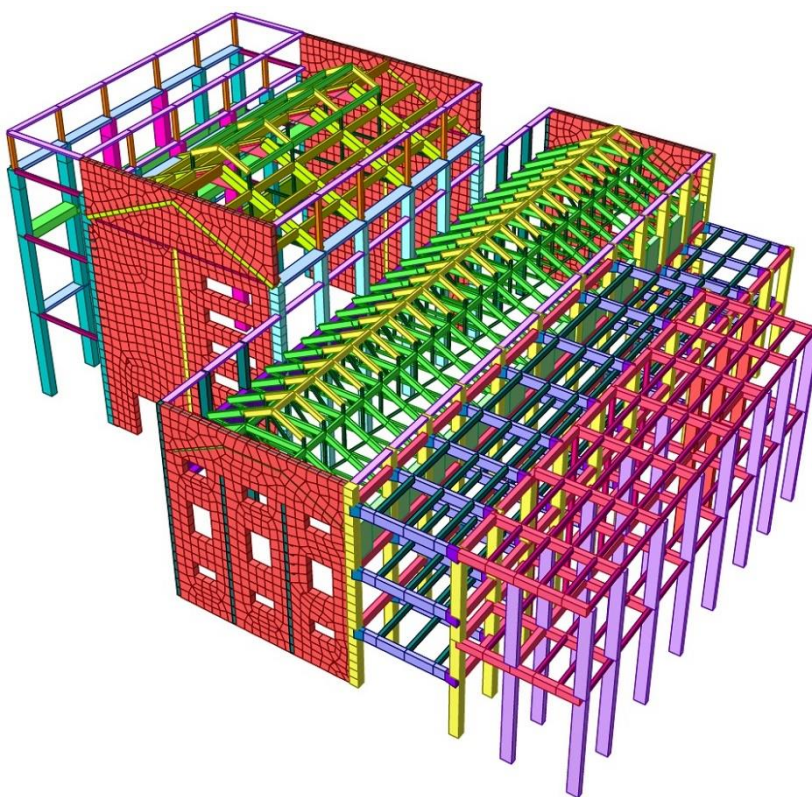
dove:

- K = matrice di rigidezza;
- u = vettore degli spostamenti nodali;
- F = vettore delle forze nodali.

Dagli spostamenti risultanti, ottenuti attraverso la risoluzione del sistema algebrico sopra riportato, vengono dedotte le sollecitazioni e/o tensioni in punti caratteristici di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Nelle modellazioni strutturali condotte travi e pilastri sono rappresentate con elementi beam, elementi monodimensionali reagenti con sei caratteristiche di sollecitazione, azione assiale, due forze di tagli, due momenti flettenti e momento torcente. L'edificio così modellato è stato vincolato a terra mediante incastri perfetti supposti alla base dei pilastri, mentre i mutui collegamenti tengono conto del reale gradi di vincolo e schema statico degli elementi.

Il solutore adottato per le analisi e le verifiche strutturali è MIDAS/GEN 2023 v.1.1.



**Figura 1 – Vista tridimensionale modello FEM**

## **7.1 AFFIDABILITÀ E ACCETTABILITÀ DEI CODICI DI CALCOLO E RISULTATI**

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo dei software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dai produttori contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. Le società produttrici hanno verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali tipici della scienza e della tecnica delle costruzioni. Inoltre, sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione della struttura e delle azioni.

## 8 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

Trattandosi di analisi su costruzioni esistenti ai fini delle verifiche di sicurezza sismiche degli elementi/meccanismi duttili e fragili costituenti l'opera si è condotta un'analisi dinamica modale con fattore di comportamento  $q$ , andando a considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5% e un numero di modi fondamentali la cui massa partecipante totale supera l'85%. Questa analisi prevede:

- la determinazione dei modi di vibrare della costruzione;
- il calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata da uno spettro di risposta, per ciascuno dei modi di vibrare;
- la combinazione degli effetti.

Le verifiche, coerentemente con quanto riportato al §C8.7.2.2 nella Circolare alle NTC del 2019, sono eseguite in termini di resistenza, controllando che, per ciascun elemento la domanda in termini di sollecitazioni sia inferiore o uguale alla corrispondente capacità dell'elemento.

La domanda sugli elementi/meccanismi strutturali duttili si ottiene dall'analisi dinamica con spettro di risposta ridotto del fattore di comportamento  $q$  scelto per la struttura, mentre per i meccanismi fragili il fattore di comportamento  $q$  è posto pari a 1,5.

Per quanto attiene il valore di capacità, vista l'analisi scelta di tipo dinamico lineare, questa si valuta per elementi duttili, dividendo le proprietà dei materiali esistenti per il fattore di confidenza FC, mentre per i meccanismi fragili le proprietà dei materiali esistenti si dividono sia per il fattore di confidenza FC che per il coeff. parziale di sicurezza. A favore di sicurezza anche per le analisi degli elementi duttili è stata condotta dividendo le caratteristiche dei materiali per i loro coefficienti parziali.

## 9 ACQUISIZIONE DEL LIVELLO DI CONOSCENZA E DEL

### FATTORE DI CONFIDENZA FC

Sulla base della documentazione progettuale acquisita e a seguito dei sopralluoghi e prove effettuate si definisce il livello di conoscenza acquisito (LC) a cui corrisponde un fattore di confidenza (FC) da applicare alle proprietà dei materiali.

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

L'identificazione del livello di conoscenza dipende dall'approfondimento conoscitivo della struttura raggiunto dal punto di vista della geometria, dei dettagli costruttivi e delle proprietà dei materiali. I parametri di riferimento contenuti nella Circolare del 21 gennaio 2019 sono tuttavia delle linee guida e hanno pertanto valore indicativo. Tutto ciò a significare che la scelta del livello di conoscenza LC e del relativo fattore di confidenza FC è responsabilità del progettista.

Per quanto riguarda il fabbricato in oggetto, alla luce dei rilievi effettuati in situ, si assume un livello di conoscenza pari a LC1, e pertanto relativo Fattore di Confidenza  $FC = 1,35$ .



## 10 ANALISI STRUTTURALI

### 10.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Le caratteristiche dei materiali sono state dedotte dagli elaborati progettuali a disposizione e dalle risultanze delle indagini in situ. Tenendo conto del Livello di Conoscenza raggiunto, si riportano nel seguito i parametri utilizzati nel calcolo strutturale.

#### Calcestruzzo – Strutture in elevazione

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| Tipo C12/15                                     |                                |
| Resistenza caratteristica a compressione cubica | $R_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2$ ; |
| Modulo di Elasticità                            | $E = 27085 \text{ N/mm}^2$ ;   |
| Coefficiente di Poisson                         | 0.2                            |

#### Acciaio da c.a.

|  |  |
|--|--|
| Tipo ipotizzato                            | Aq50;                                      |
| Resistenza caratteristica allo snervamento | $f_{yk} = 265/1.35 = 196 \text{ N/mm}^2$ ; |
| Modulo di Elasticità                       | $E = 200000 \text{ N/mm}^2$                |

### 10.2 ANALISI DEI CARICHI

I carichi agenti sulla struttura sono rappresentati dal peso proprio degli elementi stessi, dai carichi permanenti non strutturali, dai carichi di esercizio e dalle azioni ambientali. I pesi propri degli elementi strutturali principali sono calcolati in maniera automatica dal software una volta note le caratteristiche geometriche e le proprietà dei materiali. Per quanto attiene le azioni di natura sismica è stato valutato lo spettro di risposta allo stato limite di salvaguardia della vita SLV.

I carichi permanenti sotto riportati sono stati dedotti dal progetto dell'opera e dalle indagini effettuate, mentre per quanto riguarda i sovraccarichi variabili si è fatto riferimento alle NTC2018.

#### Carichi permanenti strutturali $q_1$

|                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| Soletta in c.a. calpestio | 3,00 kN/m <sup>2</sup> |
|---------------------------|------------------------|

#### Carichi permanenti portati $q_2$

|                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| Calpestio         | 2,00 kN/m <sup>2</sup> |
| Coperture piane   | 2,00 kN/m <sup>2</sup> |
| Coperture a falde | 1,50 kN/m <sup>2</sup> |

#### Carichi di esercizio $q_k$ :

|   |                        |
|---|------------------------|
| Solai di calpestio (Cat. C – Ambienti suscettibili di affollamento) | 3,00 kN/m <sup>2</sup> |
| Copertura - (Cat H sola manutenzione)                               | 0,50 kN/m <sup>2</sup> |

|   |                        |
|---|------------------------|
| <u>Carichi da neve <math>q_N</math></u> | 0,48 kN/m <sup>2</sup> |
|---|------------------------|

#### Azione del vento

|                                     |                               |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| Zona 5, Sardegna orientale;         |                               |
| Velocità di riferimento             | 28 m/s;                       |
| Tempo di ritorno                    | 50 anni;                      |
| altezza sul livello del mare        | 111 m;                        |
| Classe di rugosità                  | B;                            |
| Categoria di esposizione            | III;                          |
| pressione cinematica di riferimento | $q_p = 0,49 \text{ kN/m}^2$ ; |
| coef. dinamico                      | $C_d = 1$ ;                   |
| coef. di esposizione                | $C_e = 1,71$                  |

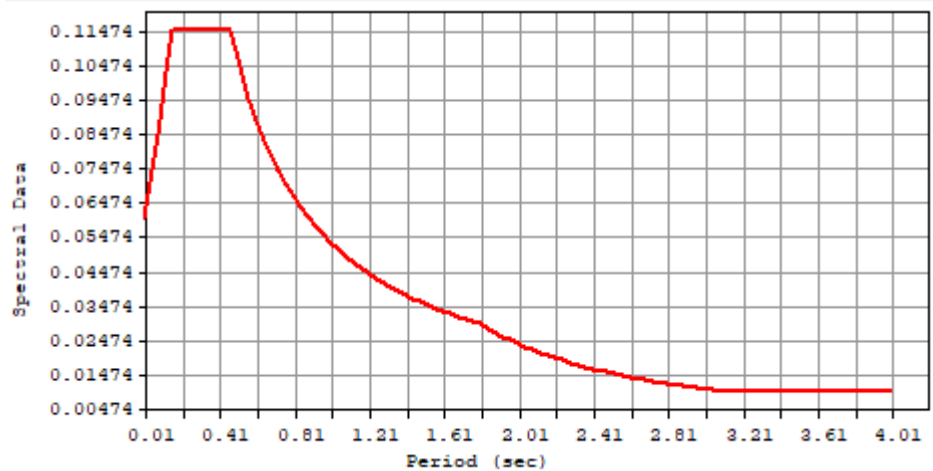
### Azione sismica

Trattandosi di edifici esistenti, la valutazione della sicurezza sotto azioni sismiche è stata effettuata per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

|   |                  |
|---|------------------|
| Vita nominale                               | $V_N = 50$ anni  |
| Classe d'uso: Classe II                     | $C_u = 1,0$      |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica | $V_R = 50$ anni  |
| Probabilità di superamento per SLV          | 10%              |
| Periodo di ritorno SLV                      | $T_R = 475$ anni |
| Categoria di sottosuolo                     | Cat. B           |
| Categoria topografica                       | Cat. $T_1$       |

In funzione di questi parametri sono stati ricavati i seguenti valori di pericolosità sismica validi per lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

|                 |                   |
|-----------------|-------------------|
| $S = 1.2$       | $a_g = 0,05$ g    |
| $T_B = 0.154$ s | $F_0 = 2,88$      |
| $T_C = 0,463$ s | $T_C^* = 0,339$ s |
| $T_D = 1,80$    |                   |
| $q = 1.5$       |                   |



**Figura 2 - Spettro di riferimento SLV ( $q=1,5$ )**

### 10.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Le azioni riportate nell'analisi dei carichi sono state opportunamente combinate e amplificate come prescritto dalle vigenti normative tecniche; di seguito sono elencate le combinazioni di carico utilizzate.

| N  | Comb   | Active | G <sub>1</sub> | G <sub>2</sub> | Q <sub>k</sub> | Q <sub>cop</sub> | N    | V <sub>x</sub> | V <sub>y</sub> |
|----|--------|--------|----------------|----------------|----------------|------------------|------|----------------|----------------|
| 1  | gLCB1  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0    | 0              | 0              |
| 2  | gLCB2  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0    | 0              | 0              |
| 3  | gLCB3  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0.75 | 0              | 0              |
| 4  | gLCB4  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0.75 | 0              | 0              |
| 5  | gLCB5  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 1.5  | 0              | 0              |
| 6  | gLCB6  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0    | 0.9            | 0              |
| 7  | gLCB7  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0    | 0              | 0.9            |
| 8  | gLCB8  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0    | 0.9            | 0              |
| 9  | gLCB9  | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0    | 0              | 0.9            |
| 10 | gLCB10 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0    | 1.5            | 0              |
| 11 | gLCB11 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0    | 0              | 1.5            |
| 12 | gLCB12 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0    | -0.9           | 0              |
| 13 | gLCB13 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0    | 0              | -0.9           |
| 14 | gLCB14 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0    | -0.9           | 0              |
| 15 | gLCB15 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0    | 0              | -0.9           |
| 16 | gLCB16 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0    | -1.5           | 0              |
| 17 | gLCB17 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0    | 0              | -1.5           |
| 18 | gLCB18 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0.75 | 0.9            | 0              |
| 19 | gLCB19 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0.75 | 0              | 0.9            |
| 20 | gLCB20 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0.75 | 0.9            | 0              |
| 21 | gLCB21 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0.75 | 0              | 0.9            |
| 22 | gLCB22 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0.75 | 1.5            | 0              |
| 23 | gLCB23 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0.75 | 0              | 1.5            |
| 24 | gLCB24 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0.75 | -0.9           | 0              |
| 25 | gLCB25 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.5            | 0                | 0.75 | 0              | -0.9           |
| 26 | gLCB26 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0.75 | -0.9           | 0              |
| 27 | gLCB27 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 1.5              | 0.75 | 0              | -0.9           |
| 28 | gLCB28 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0.75 | -1.5           | 0              |
| 29 | gLCB29 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 0.75 | 0              | -1.5           |
| 30 | gLCB30 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 1.5  | 0.9            | 0              |
| 31 | gLCB31 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 1.5  | 0              | 0.9            |
| 32 | gLCB32 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 1.5  | -0.9           | 0              |
| 33 | gLCB33 | SLU    | 1.3            | 1.3            | 1.05           | 0                | 1.5  | 0              | -0.9           |

**Tabella 1 - Combinazioni di carico statiche SLU**

| N  | Comb   | Active | G <sub>1</sub> | G <sub>2</sub> | Q <sub>k</sub> | Q <sub>COP</sub> | N | V <sub>x</sub> | V <sub>y</sub> | SLV<br>X<br>(RS) | SLV<br>Y<br>(RS) | SLV<br>X<br>(ES) | SLV<br>Y<br>(ES) |
|----|--------|--------|----------------|----------------|----------------|------------------|---|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1  | cLCB34 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | 0.3              | 1                | 0.3              |
| 2  | cLCB35 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | 0.3              | -1               | -0.3             |
| 3  | cLCB36 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | -0.3             | 1                | -0.3             |
| 4  | cLCB37 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | -0.3             | -1               | 0.3              |
| 5  | cLCB38 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | 1                | 0.3              | 1                |
| 6  | cLCB39 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | 1                | -0.3             | -1               |
| 7  | cLCB40 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | 1                | -0.3             | 1                |
| 8  | cLCB41 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | 1                | 0.3              | -1               |
| 9  | cLCB42 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | 0.3              | 1                | -0.3             |
| 10 | cLCB43 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | 0.3              | -1               | 0.3              |
| 11 | cLCB44 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | -0.3             | 1                | 0.3              |
| 12 | cLCB45 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 1                | -0.3             | -1               | -0.3             |
| 13 | cLCB46 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | 1                | -0.3             | 1                |
| 14 | cLCB47 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | 1                | 0.3              | -1               |
| 15 | cLCB48 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | 1                | 0.3              | 1                |
| 16 | cLCB49 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | 1                | -0.3             | -1               |
| 17 | cLCB50 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | -0.3             | -1               | -0.3             |
| 18 | cLCB51 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | -0.3             | 1                | 0.3              |
| 19 | cLCB52 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | 0.3              | -1               | 0.3              |
| 20 | cLCB53 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | 0.3              | 1                | -0.3             |
| 21 | cLCB54 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | -1               | -0.3             | -1               |
| 22 | cLCB55 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | -1               | 0.3              | 1                |
| 23 | cLCB56 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | -1               | 0.3              | -1               |
| 24 | cLCB57 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | -1               | -0.3             | 1                |
| 25 | cLCB58 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | -0.3             | -1               | 0.3              |
| 26 | cLCB59 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | -0.3             | 1                | -0.3             |
| 27 | cLCB60 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | 0.3              | -1               | -0.3             |
| 28 | cLCB61 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -1               | 0.3              | 1                | 0.3              |
| 29 | cLCB62 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | -1               | 0.3              | -1               |
| 30 | cLCB63 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | -0.3             | -1               | -0.3             | 1                |
| 31 | cLCB64 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | -1               | -0.3             | -1               |
| 32 | cLCB65 | SLV    | 1              | 1              | 0.6            | 0                | 0 | 0              | 0              | 0.3              | -1               | 0.3              | 1                |

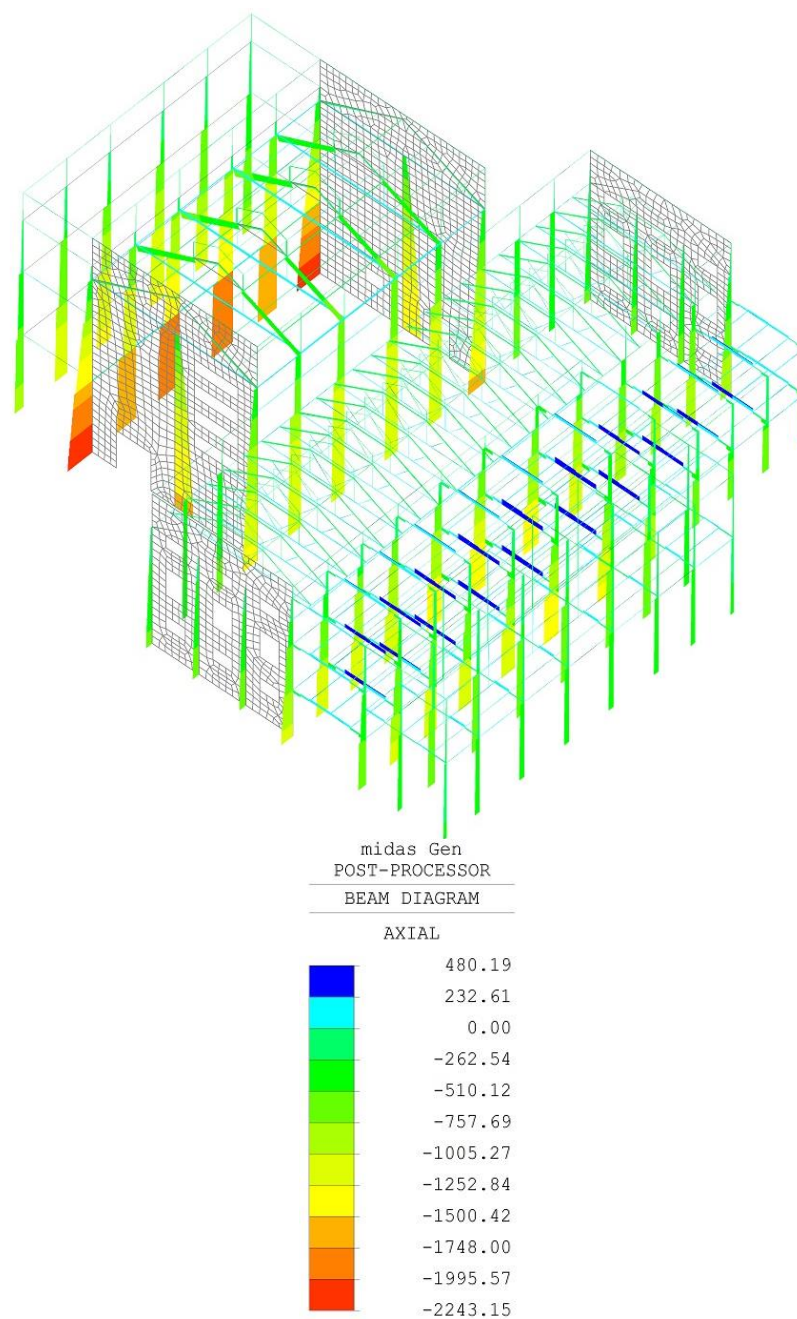
**Tabella 2 - Combinazione dei carichi con l'azione sismica SLV.**

#### 10.4 ANALISI E VERIFICHE PER CARICHI STATICI

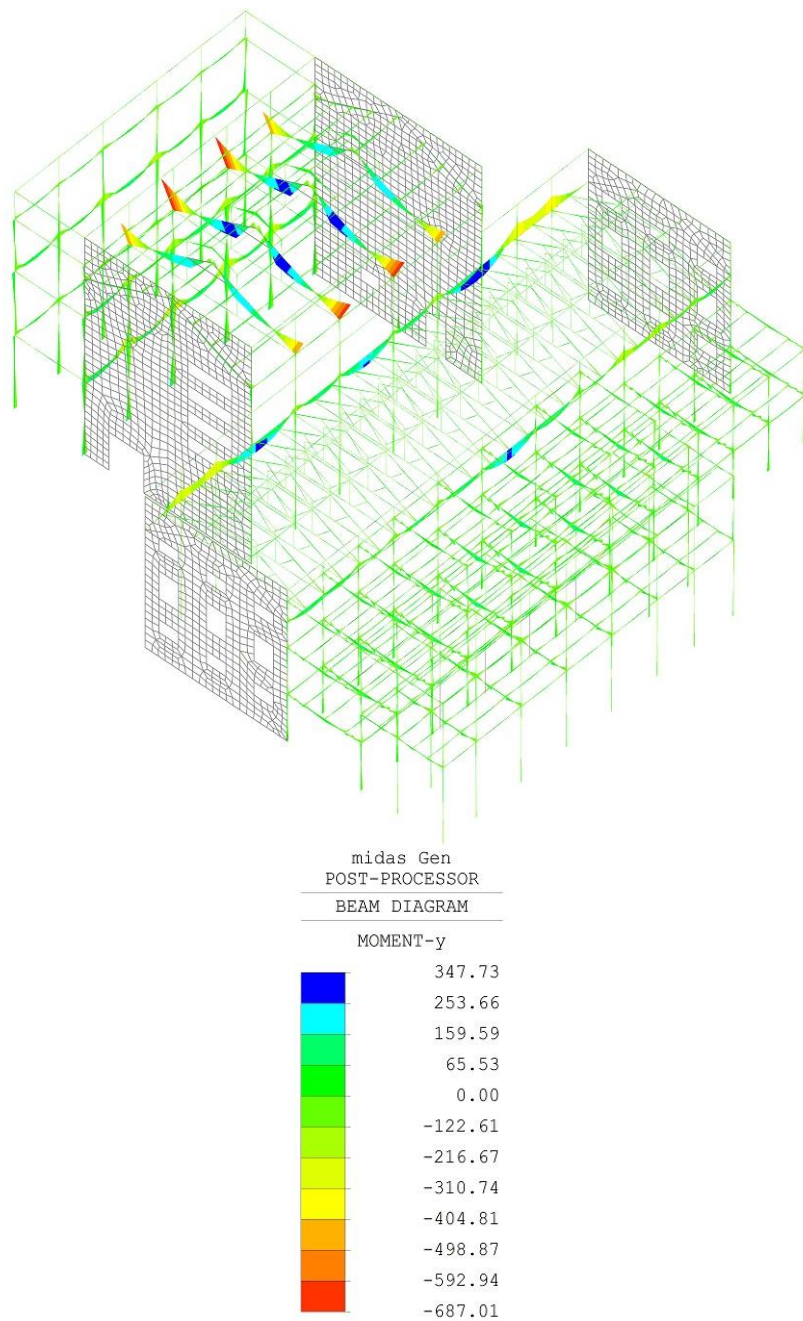
Il controllo delle condizioni di sicurezza deve essere effettuato dapprima nei confronti delle azioni statiche, svolte considerando in primo luogo lo stato attuale delle strutture (riduzione delle sezioni in calcestruzzo dovute all'espulsione dei copriferri e riduzione dei diametri delle armature a causa della corrosione), e successivamente verranno condotte le verifiche considerando gli interventi di consolidamento previsti in progetto.

##### 10.4.1 RISULTATI DELLE ANALISI

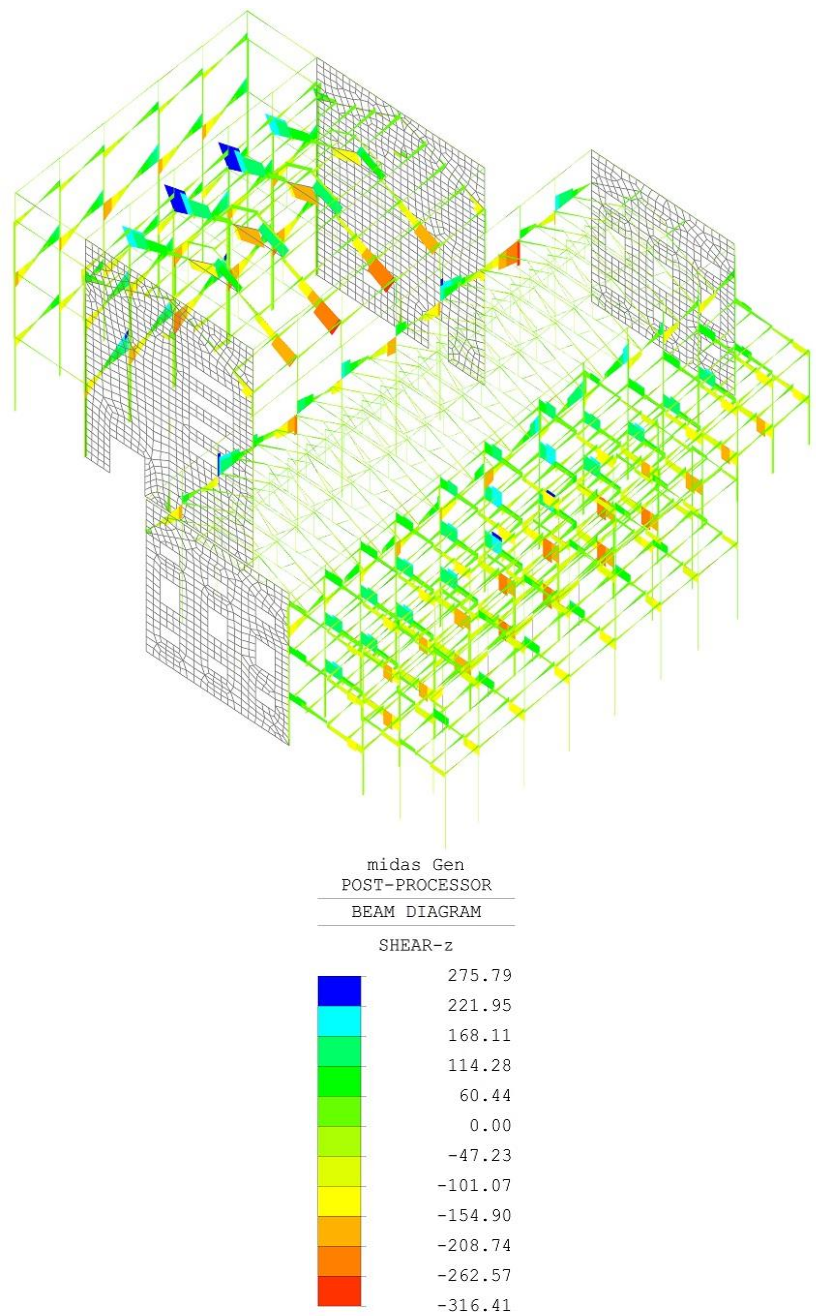
Di seguito si riportano i principali risultati delle analisi, espressi in termini di sollecitazioni a cui è soggetta la struttura agli stati limite ultimi, rappresentati in maniera grafica mediante colorazione contour.



**Figura 3 – Azione assiale Fx – Combinazione involucro SLU [KN]**



**Figura 4 – Momento flettente  $M_y$  – Combinazione involucro SLU [KNm]**



**Figura 5 – Taglio Fz – Combinazione inviluppo SLU [KN]**

#### 10.4.2 VERIFICHE PER CARICHI STATICI: STATO ATTUALE

Nel seguito si riportano i tabulati sintetici di verifica allo stato limite ultimo per gli elementi costituenti la struttura. Nello specifico, per ogni tipologia di sezione (travi e pilastri), vengono riportati gli indici di verifica dell'elemento maggiormente sollecitato.

##### 10.4.2.1 Verifica delle travi in c.a.

| N° Elem | Sezione       |      | POS | Resistenza Momento Negativo |        |                       |                       | Resistenza Momento Positivo |        |                       |                       | Resistenza a Taglio |        |              |               |               |         |         | CHK |
|---------|---------------|------|-----|-----------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------|--------------|---------------|---------------|---------|---------|-----|
|         | Luce          | B    |     | H                           | Comb   | N(-)<br>M_Ed<br>[kNm] | N(-)<br>M_Rd<br>[kNm] | Rat-N                       | Comb   | P(+)<br>M_Ed<br>[kNm] | P(+)<br>M_Rd<br>[kNm] | Rat-P               | Comb   | V_Ed<br>[kN] | V_Rdc<br>[kN] | V_Rds<br>[kN] | Rat- Vc | Rat- Vs |     |
| [m]     | [cm]          | [cm] |     |                             |        |                       |                       |                             |        |                       |                       |                     |        |              |               |               |         |         |     |
| 0       | Tr 32x75      |      | I   | 25                          | 115.80 | 117.18                | 0.990                 | 7                           | 132.67 | 117.18                | 1.130                 | 25                  | 249.07 | 73.05        | 52.21         | 3.410         | 4.770   | 4.770   | PV  |
| 2.10    | 32            | 75   | M   | 25                          | 61.81  | 117.67                | 0.530                 | 25                          | 101.28 | 140.64                | 0.720                 | 25                  | 247.37 | 77.63        | 52.21         | 3.190         | 4.740   | 4.740   |     |
|         |               |      | J   | 7                           | 109.46 | 117.18                | 0.930                 | 25                          | 152.49 | 117.18                | 1.300                 | 7                   | 243.98 | 73.05        | 52.21         | 3.340         | 4.670   | 4.670   |     |
| 0       | Tr 25x40      |      | I   | 12                          | 76.46  | 34.86                 | 2.190                 | 18                          | 12.71  | 34.86                 | 0.360                 | 12                  | 79.07  | 38.00        | 31.98         | 2.080         | 2.470   | 2.470   | NPV |
| 5.98    | 25            | 40   | M   | 33                          | 0.00   | 34.86                 | 0.000                 | 12                          | 42.17  | 34.86                 | 1.210                 | 33                  | 39.67  | 38.00        | 31.98         | 1.040         | 1.240   | 1.240   |     |
|         |               |      | J   | 6                           | 76.24  | 34.86                 | 2.190                 | 12                          | 13.14  | 34.86                 | 0.380                 | 6                   | 78.92  | 38.00        | 31.98         | 2.080         | 2.470   | 2.470   |     |
| 0       | TR 20x40 CAPR |      | I   | 27                          | 18.04  | 25.48                 | 0.710                 | 26                          | 81.56  | 25.48                 | 3.200                 | 27                  | 38.56  | 29.31        | 15.74         | 1.320         | 2.450   | 2.450   | PV  |
| 2.83    | 20            | 40   | M   | 27                          | 0.55   | 25.48                 | 0.020                 | 26                          | 58.40  | 25.48                 | 2.290                 | 27                  | 37.21  | 29.31        | 15.74         | 1.270         | 2.360   | 2.360   |     |
|         |               |      | J   | 21                          | 18.89  | 25.48                 | 0.740                 | 26                          | 81.51  | 25.48                 | 3.200                 | 21                  | 38.87  | 29.31        | 15.74         | 1.330         | 2.470   | 2.470   |     |
| 0       | Tr 16x15 CAPR |      | I   | 27                          | 2.23   | 2.38                  | 0.940                 | 23                          | 0.73   | 2.38                  | 0.310                 | 27                  | 9.23   | 9.63         | 1.84          | 0.960         | 5.030   | 0.960   | OK  |
| 3.39    | 16            | 15   | M   | 29                          | 1.38   | 2.38                  | 0.580                 | 27                          | 1.03   | 2.38                  | 0.430                 | 29                  | 9.15   | 9.63         | 1.84          | 0.950         | 4.990   | 0.950   |     |
|         |               |      | J   | 11                          | 1.86   | 2.38                  | 0.780                 | 27                          | 1.40   | 2.38                  | 0.590                 | 11                  | 9.00   | 9.63         | 1.84          | 0.930         | 4.900   | 0.930   |     |
| 0       | Tr 20x45 CAPR |      | I   | 26                          | 35.43  | 23.03                 | 1.540                 | 20                          | 18.84  | 23.03                 | 0.820                 | 26                  | 45.62  | 28.68        | 18.20         | 1.590         | 2.510   | 2.510   | NPV |
| 5.98    | 20            | 45   | M   | 29                          | 13.33  | 23.03                 | 0.580                 | 27                          | 32.83  | 23.03                 | 1.430                 | 29                  | 22.82  | 28.68        | 18.20         | 0.800         | 1.250   | 0.800   |     |
|         |               |      | J   | 20                          | 35.30  | 23.03                 | 1.530                 | 26                          | 18.76  | 23.03                 | 0.810                 | 20                  | 45.57  | 28.68        | 18.20         | 1.590         | 2.500   | 2.500   |     |
| 0       | Tr 15x15 CAPR |      | I   | 20                          | 3.61   | 5.39                  | 0.670                 | 26                          | 3.61   | 5.39                  | 0.670                 | 20                  | 4.36   | 12.10        | 4.24          | 0.360         | 1.030   | 0.360   | OK  |
| 5.93    | 15            | 15   | M   | 20                          | 2.09   | 5.39                  | 0.390                 | 26                          | 2.10   | 5.39                  | 0.390                 | 20                  | 4.36   | 12.10        | 4.24          | 0.360         | 1.030   | 0.360   |     |
|         |               |      | J   | 20                          | 3.98   | 5.39                  | 0.740                 | 20                          | 3.98   | 5.39                  | 0.740                 | 20                  | 4.36   | 12.10        | 4.24          | 0.360         | 1.030   | 0.360   |     |
| 0       | Tr 40x60      |      | I   | 25                          | 118.07 | 75.92                 | 1.560                 | 7                           | 83.58  | 75.92                 | 1.100                 | 25                  | 123.75 | 70.76        | 50.39         | 1.750         | 2.460   | 2.460   | NPV |
| 5.98    | 40            | 60   | M   | 25                          | 64.94  | 75.92                 | 0.860                 | 7                           | 41.20  | 75.92                 | 0.540                 | 25                  | 120.55 | 70.76        | 50.39         | 1.700         | 2.390   | 2.390   |     |
|         |               |      | J   | 7                           | 96.85  | 75.92                 | 1.280                 | 25                          | 86.03  | 75.92                 | 1.130                 | 7                   | 123.05 | 70.76        | 50.39         | 1.740         | 2.440   | 2.440   |     |
| 0       | Tr 20x33      |      | I   | 12                          | 48.66  | 30.89                 | 1.580                 | 18                          | 7.39   | 30.89                 | 0.240                 | 12                  | 57.36  | 30.65        | 15.46         | 1.870         | 3.710   | 3.710   | NV  |
| 7.10    | 20            | 33   | M   | 23                          | 1.05   | 30.89                 | 0.030                 | 12                          | 24.48  | 30.89                 | 0.790                 | 23                  | 54.16  | 30.65        | 15.46         | 1.770         | 3.500   | 3.500   |     |
|         |               |      | J   | 18                          | 48.65  | 30.89                 | 1.570                 | 21                          | 10.67  | 30.89                 | 0.350                 | 18                  | 57.23  | 30.65        | 15.46         | 1.870         | 3.700   | 3.700   |     |
| 0       | TR 60x70 CAPR |      | I   | 27                          | 584.90 | 170.23                | 3.440                 | 27                          | 281.73 | 170.23                | 1.660                 | 27                  | 244.94 | 124.38       | 72.84         | 1.970         | 3.360   | 3.360   | NPV |
| 2.83    | 60            | 70   | M   | 21                          | 475.52 | 170.23                | 2.790                 | 21                          | 273.06 | 170.23                | 1.600                 | 21                  | 245.00 | 124.38       | 72.84         | 1.970         | 3.360   | 3.360   |     |
|         |               |      | J   | 21                          | 610.76 | 170.23                | 3.590                 | 21                          | 285.92 | 170.23                | 1.680                 | 21                  | 251.74 | 124.38       | 72.84         | 2.020         | 3.460   | 3.460   |     |
| 0       | Tr 25x60 CAPR |      | I   | 21                          | 64.91  | 78.26                 | 0.830                 | 21                          | 32.18  | 78.26                 | 0.410                 | 21                  | 55.24  | 52.16        | 28.71         | 1.060         | 1.920   | 1.920   | V   |
| 5.98    | 25            | 60   | M   | 22                          | 10.59  | 78.26                 | 0.140                 | 21                          | 32.18  | 78.26                 | 0.410                 | 22                  | 36.50  | 52.16        | 28.71         | 0.700         | 1.270   | 0.700   |     |
|         |               |      | J   | 20                          | 66.74  | 78.26                 | 0.850                 | 21                          | 31.53  | 78.26                 | 0.400                 | 20                  | 55.87  | 52.16        | 28.71         | 1.070         | 1.950   | 1.950   |     |



Si riportano nella seguente tabella le armature resistenti considerate nel calcolo strutturale allo stato attuale:

| Elem | Sezione       |      | POS | Armatura inferiore | Staffe |
|------|---------------|------|-----|--------------------|--------|
| Luce | B             | H    |     |                    |        |
| [m]  | [cm]          | [cm] |     |                    |        |
| 2.10 | Tr 32x75      |      | I   | 5Ø16               | Ø8/300 |
|      | 32            | 75   | M   | 6Ø16               | Ø8/300 |
|      |               |      | J   | 5Ø16               | Ø8/300 |
| 5.98 | Tr 25x40      |      | I   | 3Ø12               | Ø6/300 |
|      | 25            | 40   | M   | 3Ø12               | Ø6/300 |
|      |               |      | J   | 3Ø12               | Ø6/300 |
| 2.83 | TR 20x40 CAPR |      | I   | 2Ø8                | Ø6/450 |
|      | 20            | 40   | M   | 2Ø8                | Ø6/450 |
|      |               |      | J   | 2Ø8                | Ø6/450 |
| 3.39 | Tr 16x15 CAPR |      | I   | 2Ø6                | Ø4/450 |
|      | 16            | 15   | M   | 2Ø6                | Ø4/450 |
|      |               |      | J   | 2Ø6                | Ø4/450 |
| 5.98 | Tr 20x45 CAPR |      | I   | 2Ø10               | Ø6/450 |
|      | 20            | 45   | M   | 2Ø10               | Ø6/450 |
|      |               |      | J   | 2Ø10               | Ø6/450 |
| 5.93 | Tr 15x15 CAPR |      | I   | 2Ø10               | Ø4/450 |
|      | 15            | 15   | M   | 2Ø10               | Ø4/450 |
|      |               |      | J   | 2Ø10               | Ø4/450 |
| 5.98 | Tr 40x60      |      | I   | 4Ø14               | Ø6/300 |
|      | 40            | 60   | M   | 4Ø14               | Ø6/300 |
|      |               |      | J   | 4Ø14               | Ø6/300 |
| 7.10 | Tr 20x33      |      | I   | 3Ø12               | Ø5/300 |
|      | 20            | 33   | M   | 3Ø12               | Ø5/300 |
|      |               |      | J   | 3Ø12               | Ø5/300 |
| 5.98 | Tr 25x60 CAPR |      | I   | 2Ø14               | Ø6/300 |
|      | 25            | 60   | M   | 2Ø14               | Ø6/300 |
|      |               |      | J   | 2Ø14               | Ø6/300 |

### 10.4.2.2 Verifica dei pilastri in c.a.

| Sezione            |      | Comb | Azione Assiale |         |       | Momento Flettente Lungo y |        |        | Momento Flettente Lungo z |        |        | Comb | Taglio Sezione Estremità |           |           |                      |           | Taglio Sezione Mezzeria |           |           |                      |           | CHK |
|--------------------|------|------|----------------|---------|-------|---------------------------|--------|--------|---------------------------|--------|--------|------|--------------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----|
| B                  | H    |      | N_Ed           | N_Rdmax | Rat-N | M_Edy                     | M_Rdy  | Rat-My | M_Edz                     | M_Rdz  | Rat-Mz |      | V_Ed end                 | V_Rdc end | V_Rds end | Rat-Vc<br>Rat-Vs end | Rat-V end | V_Ed mid                | V_Rdc mid | V_Rds mid | Rat-Vc<br>Rat-Vs mid | Rat-V mid |     |
| [cm]               | [cm] |      | [kN]           | [kN]    |       | [kNm]                     | [kNm]  |        | [kNm]                     | [kNm]  |        |      | [kN]                     | [kN]      | [kN]      |                      |           | [kN]                    | [kN]      | [kN]      |                      |           |     |
| P 70x60<br>70 60   |      | 21   | 266.01         | 3184.91 | 1.189 | 24.28                     | 20.54  | 1.182  | 208.23                    | 176.47 | 1.180  | 21   | 127.22                   | 145.10    | 22.85     | 0.877<br>5.568       | 0.877     | 127.22                  | 147.37    | 22.85     | 0.863<br>5.568       | 0.863     | NM  |
| P 70x40<br>70 40   |      | 17   | 582.75         | 2251.56 | 0.443 | 51.74                     | 120.60 | 0.429  | 29.97                     | 66.75  | 0.449  | 11   | 23.68                    | 0.00      | 13.96     | 0.000<br>1.697       | 1.697     | 24.36                   | 85.64     | 13.96     | 0.284<br>1.745       | 0.284     | V   |
| P 80x60<br>80 60   |      | 27   | 563.51         | 3757.20 | 2.551 | 13.27                     | 5.41   | 2.452  | 665.09                    | 259.19 | 2.566  | 27   | 159.98                   | 209.43    | 11.50     | 0.764<br>13.906      | 0.764     | 159.98                  | 212.27    | 11.50     | 0.754<br>13.906      | 0.754     | NM  |
| P 80x40<br>80 40   |      | 19   | 706.44         | 2591.63 | 0.349 | 28.79                     | 82.72  | 0.348  | 28.79                     | 78.87  | 0.365  | 29   | 15.79                    | 108.78    | 25.77     | 0.145<br>0.613       | 0.145     | 15.79                   | 113.85    | 25.77     | 0.139<br>0.613       | 0.139     | OK  |
| P 80x50<br>80 50   |      | 29   | 704.58         | 3052.51 | 0.309 | 28.71                     | 91.73  | 0.313  | 62.06                     | 197.03 | 0.315  | 29   | 13.88                    | 152.57    | 25.77     | 0.091<br>0.539       | 0.091     | 13.88                   | 160.02    | 25.77     | 0.087<br>0.539       | 0.087     | OK  |
| P 100x60<br>100 60 |      | 26   | 617.10         | 4577.45 | 1.067 | 26.02                     | 24.10  | 1.080  | 500.86                    | 478.84 | 1.046  | 23   | 163.20                   | 239.44    | 32.64     | 0.682<br>5.000       | 0.682     | 103.09                  | 165.59    | 32.64     | 0.623<br>3.158       | 0.623     | NM  |
| P 120x60<br>120 60 |      | 21   | 746.24         | 5635.63 | 0.849 | 18.98                     | 22.73  | 0.835  | 710.01                    | 854.41 | 0.831  | 26   | 190.23                   | 292.31    | 39.51     | 0.651<br>4.814       | 0.651     | 190.23                  | 299.25    | 39.51     | 0.636<br>4.814       | 0.636     | OK  |
| P 30x25<br>30 25   |      | 28   | 42.35          | 641.56  | 0.224 | 2.77                      | 12.35  | 0.224  | 5.50                      | 24.10  | 0.228  | 17   | 5.91                     | 33.46     | 7.59      | 0.177<br>0.779       | 0.177     | 5.91                    | 33.77     | 7.59      | 0.175<br>0.779       | 0.175     | OK  |
| P 30x30<br>30 30   |      | 29   | 15.25          | 743.56  | 0.571 | 4.77                      | 8.40   | 0.568  | 11.08                     | 19.75  | 0.561  | 17   | 6.06                     | 34.54     | 7.59      | 0.176<br>0.799       | 0.176     | 6.06                    | 35.12     | 7.59      | 0.173<br>0.799       | 0.173     | OK  |

Si riportano nella seguente tabella le armature resistenti considerate nel calcolo strutturale allo stato attuale:

| Sezione            |      | POS                     | Armatura longitudinale | Staffe |
|--------------------|------|-------------------------|------------------------|--------|
| B                  | H    |                         |                        |        |
| [cm]               | [cm] |                         |                        |        |
| P 70x60<br>70 60   |      | End (I,J)<br>Center (M) | 10Ø16                  | Ø6/250 |
| P 70x40<br>70 40   |      | End (I,J)<br>Center (M) | 4Ø26                   | Ø6/400 |
| P 80x60<br>80 60   |      | End (I,J)<br>Center (M) | 4Ø24 + 6Ø16            | Ø5/400 |
| P 80x40<br>80 40   |      | End (I,J)<br>Center (M) | 10Ø18                  | Ø6/250 |
| P 80x50<br>80 50   |      | End (I,J)<br>Center (M) | 8Ø18                   | Ø6/250 |
| P 100x60<br>100 60 |      | End (I,J)<br>Center (M) | 8Ø22                   | Ø6/250 |
| P 120x60<br>120 60 |      | End (I,J)<br>Center (M) | 10Ø24                  | Ø6/250 |
| P 30x25<br>30 25   |      | End (I,J)<br>Center (M) | 4Ø16                   | Ø6/300 |
| P 30x30<br>30 30   |      | End (I,J)<br>Center (M) | 4Ø16                   | Ø6/300 |

#### 10.4.2.3 Risultati delle verifiche a carichi statici: stato di fatto

Dalle verifiche di resistenza agli Stati limite ultimi si evince che gran parte degli elementi strutturali in c.a., visto il loro stato di degrado, non risultano essere idonei nei confronti dei carichi statici di progetto.

Alla luce di quanto detto sopra e viste le criticità riscontrate in campo statico, non è possibile procedere con le successive valutazioni in campo dinamico/sismico, in quanto queste possono essere eseguite solo qualora non vi siano criticità sotto il profilo statico.

Pertanto, ai sensi delle NTC2018, l'indicatore di vulnerabilità sismica risulta pari a 0.

### 10.4.3 VERIFICHE PER CARICHI STATICI: STATO DI PROGETTO

Nel seguito si riportano i tabulati sintetici di verifica allo stato limite ultimo considerando gli interventi di consolidamento/rinforzo degli elementi in c.a.

Nello specifico, per ogni tipologia di sezione (travi e pilastri), vengono riportati gli indici di verifica dell'elemento maggiormente sollecitato.

#### 10.4.3.1 Verifica delle travi in c.a.

| N° Elem | Sezione       |      | POS | Resistenza Momento Negativo |        |              | Resistenza Momento Positivo |       |        | Resistenza a Taglio |              |       |        |        |        | CHK   |       |         |         |
|---------|---------------|------|-----|-----------------------------|--------|--------------|-----------------------------|-------|--------|---------------------|--------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|---------|
|         | Luce          | B    |     | H                           | Comb   | N(-)<br>M_Ed | N(-)<br>M_Rd                | Rat-N | Comb   | P(+)<br>M_Ed        | P(+)<br>M_Rd | Rat-P | Comb   | V_Ed   | V_Rdc  |       | V_Rds | Rat- Vc | Rat- Vs |
| [m]     | [cm]          | [cm] |     |                             | [kNm]  | [kNm]        |                             |       | [kNm]  | [kNm]               |              |       | [kN]   | [kN]   | [kN]   |       |       |         |         |
| 0       | Tr 32x75      |      | I   | 25                          | 112.18 | 261.93       | 0.430                       | 7     | 135.44 | 261.93              | 0.520        | 25    | 86.55  | 86.61  | 284.30 | 1.000 | 0.300 | 1.000   | OK      |
| 2.10    | 32            | 75   | M   | 25                          | 58.60  | 262.99       | 0.220                       | 25    | 102.36 | 314.48              | 0.330        | 25    | 91.99  | 92.04  | 284.30 | 1.000 | 0.320 | 1.000   |         |
|         |               |      | J   | 7                           | 107.64 | 261.93       | 0.410                       | 25    | 152.55 | 261.93              | 0.580        | 7     | 86.56  | 86.61  | 284.30 | 1.000 | 0.300 | 1.000   |         |
| 0       | Tr 25x40      |      | I   | 12                          | 76.46  | 97.51        | 0.780                       | 18    | 12.74  | 97.51               | 0.130        | 12    | 48.60  | 48.71  | 108.85 | 1.000 | 0.450 | 1.000   | OK      |
| 5.98    | 25            | 40   | M   | 12                          | 0.04   | 97.51        | 0.000                       | 12    | 42.20  | 97.51               | 0.430        | 12    | 39.69  | 48.71  | 108.85 | 0.810 | 0.360 | 0.810   |         |
|         |               |      | J   | 6                           | 76.21  | 97.51        | 0.780                       | 12    | 13.19  | 97.51               | 0.140        | 6     | 48.55  | 48.71  | 108.85 | 1.000 | 0.450 | 1.000   |         |
| 0       | TR 20x40 CAPR |      | I   | 27                          | 28.39  | 68.57        | 0.410                       | 26    | 58.57  | 68.57               | 0.850        | 27    | 34.09  | 37.12  | 111.83 | 0.920 | 0.300 | 0.920   | OK      |
| 2.83    | 20            | 40   | M   | 21                          | 5.52   | 68.57        | 0.080                       | 26    | 38.57  | 68.57               | 0.560        | 21    | 32.74  | 37.12  | 111.83 | 0.880 | 0.290 | 0.880   |         |
|         |               |      | J   | 26                          | 29.23  | 68.57        | 0.430                       | 27    | 58.52  | 68.57               | 0.850        | 26    | 34.40  | 37.12  | 111.83 | 0.930 | 0.310 | 0.930   |         |
| 0       | Tr 20x20 CAPR |      | I   | 29                          | 3.93   | 29.71        | 0.130                       | 23    | 1.24   | 29.71               | 0.040        | 29    | 11.01  | 25.82  | 41.75  | 0.430 | 0.260 | 0.430   | OK      |
| 3.39    | 20            | 20   | M   | 29                          | 2.88   | 29.71        | 0.100                       | 29    | 1.84   | 29.71               | 0.060        | 29    | 10.88  | 25.82  | 41.75  | 0.420 | 0.260 | 0.420   |         |
|         |               |      | J   | 11                          | 3.65   | 29.71        | 0.120                       | 29    | 1.84   | 29.71               | 0.060        | 11    | 10.62  | 25.82  | 41.75  | 0.410 | 0.250 | 0.410   |         |
| 0       | Tr 20x45 CAPR |      | I   | 26                          | 38.14  | 77.75        | 0.490                       | 20    | 18.90  | 77.75               | 0.240        | 26    | 39.31  | 39.32  | 126.74 | 1.000 | 0.310 | 1.000   | OK      |
| 5.98    | 20            | 45   | M   | 29                          | 12.41  | 77.75        | 0.160                       | 27    | 30.13  | 77.75               | 0.390        | 29    | 23.78  | 39.32  | 126.74 | 0.600 | 0.190 | 0.600   |         |
|         |               |      | J   | 20                          | 37.99  | 77.75        | 0.490                       | 26    | 18.82  | 77.75               | 0.240        | 20    | 39.24  | 39.32  | 126.74 | 1.000 | 0.310 | 1.000   |         |
| 0       | Tr 20x20 CAPR |      | I   | 20                          | 7.83   | 26.50        | 0.300                       | 26    | 7.85   | 26.50               | 0.300        | 20    | 9.42   | 24.82  | 49.21  | 0.380 | 0.190 | 0.380   | OK      |
| 5.93    | 20            | 20   | M   | 20                          | 4.49   | 26.50        | 0.170                       | 26    | 4.49   | 26.50               | 0.170        | 20    | 9.42   | 24.82  | 49.21  | 0.380 | 0.190 | 0.380   |         |
|         |               |      | J   | 20                          | 8.58   | 26.50        | 0.320                       | 26    | 8.55   | 26.50               | 0.320        | 20    | 9.42   | 24.82  | 49.21  | 0.380 | 0.190 | 0.380   |         |
| 0       | Tr 40x60      |      | I   | 25                          | 118.11 | 255.00       | 0.460                       | 7     | 84.56  | 255.00              | 0.330        | 25    | 96.53  | 96.53  | 134.79 | 1.000 | 0.720 | 1.000   | OK      |
| 5.98    | 40            | 60   | M   | 25                          | 64.95  | 255.00       | 0.250                       | 7     | 41.71  | 255.00              | 0.160        | 25    | 96.38  | 96.53  | 134.79 | 1.000 | 0.710 | 1.000   |         |
|         |               |      | J   | 7                           | 98.70  | 255.00       | 0.390                       | 25    | 86.05  | 255.00              | 0.340        | 7     | 96.32  | 96.53  | 134.79 | 1.000 | 0.710 | 1.000   |         |
| 0       | Tr 20x33      |      | I   | 12                          | 48.65  | 49.03        | 0.990                       | 18    | 7.42   | 36.90               | 0.200        | 12    | 32.54  | 32.54  | 90.96  | 1.000 | 0.360 | 1.000   | OK      |
| 7.10    | 20            | 33   | M   | 23                          | 1.18   | 36.92        | 0.030                       | 12    | 24.48  | 36.92               | 0.660        | 23    | 29.01  | 29.56  | 90.96  | 0.980 | 0.320 | 0.980   |         |
|         |               |      | J   | 18                          | 48.67  | 49.03        | 0.990                       | 21    | 10.46  | 36.90               | 0.280        | 18    | 32.49  | 32.54  | 90.96  | 1.000 | 0.360 | 1.000   |         |
| 0       | TR 60x70 CAPR |      | I   | 27                          | 491.51 | 810.71       | 0.610                       | 27    | 210.64 | 656.87              | 0.320        | 27    | 190.74 | 191.14 | 240.00 | 1.000 | 0.790 | 1.000   | OK      |
| 2.83    | 60            | 70   | M   | 21                          | 399.08 | 654.07       | 0.610                       | 21    | 216.05 | 654.07              | 0.330        | 21    | 176.59 | 177.44 | 240.00 | 1.000 | 0.740 | 1.000   |         |
|         |               |      | J   | 21                          | 520.66 | 810.71       | 0.640                       | 21    | 216.05 | 656.87              | 0.330        | 21    | 191.13 | 191.14 | 240.00 | 1.000 | 0.800 | 1.000   |         |
| 0       | Tr 25x60 CAPR |      | I   | 21                          | 54.20  | 128.82       | 0.420                       | 21    | 30.05  | 128.82              | 0.230        | 21    | 51.73  | 56.01  | 168.49 | 0.920 | 0.310 | 0.920   | OK      |
| 5.98    | 25            | 60   | M   | 10                          | 5.52   | 128.82       | 0.040                       | 21    | 30.05  | 128.82              | 0.230        | 10    | 33.08  | 56.01  | 168.49 | 0.590 | 0.200 | 0.590   |         |
|         |               |      | J   | 20                          | 56.22  | 128.82       | 0.440                       | 21    | 29.32  | 128.82              | 0.230        | 20    | 52.45  | 56.01  | 168.49 | 0.940 | 0.310 | 0.940   |         |

Si riportano nella seguente tabella le armature resistenti considerate nel calcolo strutturale allo stato di progetto:

| N° Elem     | Sezione                  | POS | Armatura inferiore | Staffe |
|-------------|--------------------------|-----|--------------------|--------|
| Luce<br>[m] | B<br>[cm]      H<br>[cm] |     |                    |        |
| 0           | Tr 32x75                 | I   | 5Ø16               | Ø8/150 |
| 2.10        | 32      75               | M   | 6Ø16               | Ø8/150 |
|             |                          | J   | 5Ø16               | Ø8/150 |
| 0           | Tr 25x40                 | I   | 3Ø18               | Ø8/200 |
| 5.98        | 25      40               | M   | 3Ø18               | Ø8/200 |
|             |                          | J   | 3Ø18               | Ø8/200 |
| 0           | TR 20x40 CAPR            | I   | 2Ø18               | Ø8/200 |
| 2.83        | 20      40               | M   | 2Ø18               | Ø8/200 |
|             |                          | J   | 2Ø18               | Ø8/200 |
| 0           | Tr 20x20 CAPR            | I   | 2Ø18               | Ø8/250 |
| 3.39        | 20      20               | M   | 2Ø18               | Ø8/250 |
|             |                          | J   | 2Ø18               | Ø8/250 |
| 0           | Tr 20x45 CAPR            | I   | 2Ø18               | Ø8/200 |
| 5.98        | 20      45               | M   | 2Ø18               | Ø8/200 |
|             |                          | J   | 2Ø18               | Ø8/200 |
| 0           | Tr 20x20 CAPR            | I   | 2Ø18               | Ø8/200 |
| 5.93        | 20      20               | M   | 2Ø18               | Ø8/200 |
|             |                          | J   | 2Ø18               | Ø8/200 |
| 0           | Tr 40x60                 | I   | 4Ø20               | Ø8/250 |
| 5.98        | 40      60               | M   | 4Ø20               | Ø8/250 |
|             |                          | J   | 4Ø20               | Ø8/250 |
| 0           | Tr 20x33                 | I   | 3Ø12               | Ø8/200 |
| 7.10        | 20      33               | M   | 3Ø12               | Ø8/200 |
|             |                          | J   | 3Ø12               | Ø8/200 |
| 0           | TR 60x70 CAPR            | I   | 4Ø30               | Ø8/200 |
| 2.83        | 60      70               | M   | 4Ø30               | Ø8/200 |
|             |                          | J   | 4Ø30               | Ø8/200 |
| 0           | Tr 25x60 CAPR            | I   | 2Ø20               | Ø8/200 |
| 5.98        | 25      60               | M   | 2Ø20               | Ø8/200 |
|             |                          | J   | 2Ø20               | Ø8/200 |

### 10.4.3.2 Verifica dei pilastri in c.a.

| Sezione            |      | Comb | Azione Assiale |         |       | Momento Flettente Lungo y |        |        | Momento Flettente Lungo z |         |        | Comb | Taglio Sezione Estremità |           |           |                         |           | Taglio Sezione Mezzeria |           |           |                         |           | CHK |
|--------------------|------|------|----------------|---------|-------|---------------------------|--------|--------|---------------------------|---------|--------|------|--------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|-----|
| B                  | H    |      | N_Ed           | N_Rdmax | Rat-N | M_Edy                     | M_Rdy  | Rat-My | M_Edz                     | M_Rdz   | Rat-Mz |      | V_Ed end                 | V_Rdc end | V_Rds end | Rat-Vc<br>Rat-Vs<br>end | Rat-V end | V_Ed mid                | V_Rdc mid | V_Rds mid | Rat-Vc<br>Rat-Vs<br>mid | Rat-V mid |     |
| [cm]               | [cm] |      | [kN]           | [kN]    |       | [kNm]                     | [kNm]  |        | [kNm]                     | [kNm]   |        |      | [kNm]                    | [kNm]     | [kN]      | [kN]                    | [kN]      |                         | [kN]      | [kN]      | [kN]                    |           |     |
| P 70x60<br>70 60   |      | 28   | 1500.28        | 3406.59 | 0.662 | 30.01                     | 46.59  | 0.644  | 198.39                    | 295.22  | 0.672  | 21   | 104.41                   | 152.24    | 25.65     | 0.686<br>4.071          | 0.686     | 104.41                  | 154.50    | 25.65     | 0.676<br>4.071          | 0.676     | OK  |
| P 70x40<br>70 40   |      | 28   | 596.91         | 2536.44 | 0.447 | 72.96                     | 160.00 | 0.456  | 11.94                     | 26.12   | 0.457  | 23   | 13.69                    | 0.00      | 44.77     | 0.000<br>0.306          | 0.306     | 19.16                   | 93.87     | 25.07     | 0.204<br>0.764          | 0.204     | OK  |
| P 80x60<br>80 60   |      | 27   | 575.94         | 6928.07 | 0.649 | 14.42                     | 23.33  | 0.618  | 498.10                    | 779.50  | 0.639  | 27   | 116.14                   | 254.03    | 105.37    | 0.457<br>1.102          | 0.457     | 116.14                  | 256.93    | 105.37    | 0.452<br>1.102          | 0.452     | OK  |
| P 80x40<br>80 40   |      | 18   | 706.48         | 2744.03 | 0.351 | 36.24                     | 102.38 | 0.354  | 28.79                     | 80.19   | 0.359  | 29   | 14.47                    | 108.55    | 28.93     | 0.133<br>0.500          | 0.133     | 14.47                   | 113.62    | 28.93     | 0.127<br>0.500          | 0.127     | OK  |
| P 80x50<br>80 50   |      | 29   | 706.58         | 3174.43 | 0.295 | 30.64                     | 101.45 | 0.302  | 58.27                     | 192.95  | 0.302  | 29   | 13.17                    | 152.59    | 28.93     | 0.086<br>0.455          | 0.086     | 13.17                   | 160.04    | 28.93     | 0.082<br>0.455          | 0.082     | OK  |
| P 100x60<br>100 60 |      | 23   | 2233.37        | 4824.26 | 0.612 | 87.55                     | 148.89 | 0.588  | 261.68                    | 427.58  | 0.612  | 23   | 136.56                   | 247.21    | 36.64     | 0.552<br>3.727          | 0.552     | 88.81                   | 170.08    | 36.64     | 0.522<br>2.424          | 0.522     | OK  |
| P 120x60<br>120 60 |      | 26   | 753.94         | 5977.50 | 0.414 | 20.88                     | 51.55  | 0.405  | 521.08                    | 1289.79 | 0.404  | 26   | 140.53                   | 297.76    | 44.35     | 0.472<br>3.168          | 0.472     | 140.53                  | 304.70    | 44.35     | 0.461<br>3.168          | 0.461     | OK  |
| P 30x25<br>30 25   |      | 25   | 84.86          | 689.80  | 0.189 | 1.70                      | 9.22   | 0.184  | 4.66                      | 24.66   | 0.189  | 17   | 5.65                     | 33.46     | 8.52      | 0.169<br>0.663          | 0.169     | 5.65                    | 33.76     | 8.52      | 0.167<br>0.663          | 0.167     | OK  |
| P 30x30<br>30 30   |      | 17   | 15.25          | 791.80  | 0.441 | 4.76                      | 10.89  | 0.437  | 11.12                     | 25.75   | 0.432  | 17   | 6.11                     | 34.54     | 8.52      | 0.177<br>0.718          | 0.177     | 6.11                    | 35.12     | 8.52      | 0.174<br>0.718          | 0.174     | OK  |

Si riportano nella seguente tabella le armature resistenti considerate nel calcolo strutturale allo stato di progetto:

| Sezione  |      | POS        | Armatura longitudinale    | Staffe       |
|----------|------|------------|---------------------------|--------------|
| B        | H    |            |                           |              |
| [cm]     | [cm] |            |                           |              |
| P 70x60  |      | End (I,J)  |                           |              |
| 70       | 60   | Center (M) | 4 $\phi$ 20 + 6 $\phi$ 16 | $\phi$ 6/250 |
| P 70x40  |      | End (I,J)  |                           |              |
| 70       | 40   | Center (M) | 4 $\phi$ 30               | $\phi$ 8/250 |
| P 80x60  |      | End (I,J)  |                           |              |
| 80       | 60   | Center (M) | 4 $\phi$ 26 + 6 $\phi$ 20 | $\phi$ 8/250 |
| P 80x40  |      | End (I,J)  |                           |              |
| 80       | 40   | Center (M) | 10 $\phi$ 18              | $\phi$ 6/250 |
| P 80x50  |      | End (I,J)  |                           |              |
| 80       | 50   | Center (M) | 8 $\phi$ 18               | $\phi$ 6/250 |
| P 100x60 |      | End (I,J)  |                           |              |
| 100      | 60   | Center (M) | 4 $\phi$ 24 + 4 $\phi$ 22 | $\phi$ 6/250 |
| P 120x60 |      | End (I,J)  |                           |              |
| 120      | 60   | Center (M) | 4 $\phi$ 26 + 4 $\phi$ 24 | $\phi$ 6/250 |
| P 30x25  |      | End (I,J)  |                           |              |
| 30       | 25   | Center (M) | 4 $\phi$ 16               | $\phi$ 6/300 |
| P 30x30  |      | End (I,J)  |                           |              |
| 30       | 30   | Center (M) | 4 $\phi$ 16               | $\phi$ 6/300 |

#### 10.4.3.3 Risultati delle verifiche a carichi statici: stato di progetto

Le verifiche post-intervento sono state effettuate considerando un ripristino/consolidamento delle sezioni, ipotizzando una ricostruzione volumetrica della parte di calcestruzzo ammalorato con trattamento e integrazione di nuovi ferri d'armatura.

Per tutto quanto riportato si può concludere che, a seguito degli interventi di rinforzo e/o consolidamento strutturale proposti, la struttura sarà idonea a sopportare i carichi dovuti alle azioni statiche di progetto valutate in accordo con le NTC2018.

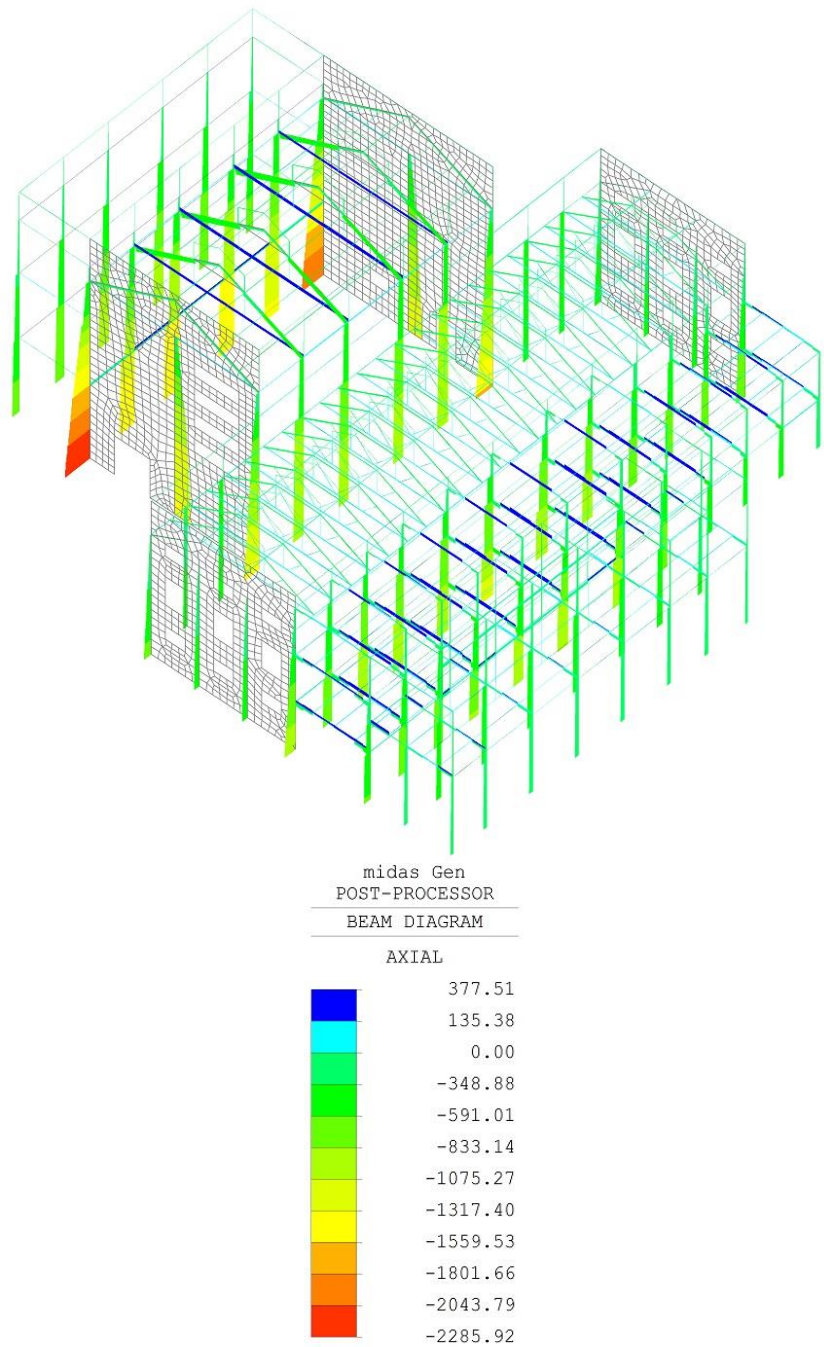
### 10.5 ANALISI E VERIFICHE PER AZIONI DINAMICHE

Nel seguito si riportano le risultanze delle verifiche condotte sotto forzante sismica. Tali verifiche possono essere effettuate solamente qualora la struttura risulti essere idonea nei confronti dei carichi statici di normativa.

Come prescritto dalle NTC 2018 al capitolo 8 Costruzioni esistenti, paragrafo 8.3, per la combinazione sismica le verifiche agli SLU vengono eseguite rispetto alla condizione di salvaguardia della vita umana SLV. Il livello di sicurezza della costruzione verrà quantificato di seguito attraverso il rapporto  $\zeta_E$  tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione.

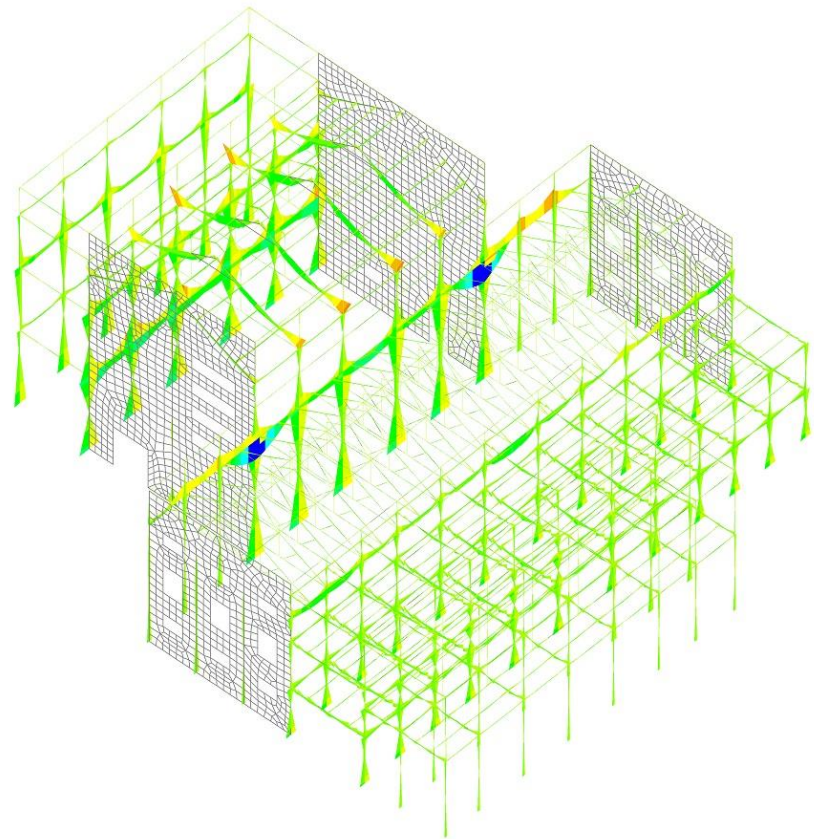
### 10.5.1 RISULTATI DELLE ANALISI

Di seguito si riportano i principali risultati delle analisi, espressi in termini di sollecitazioni a cui è soggetta la struttura allo stato limite di salvaguardia della vita, rappresentati in maniera grafica mediante colorazione contour.

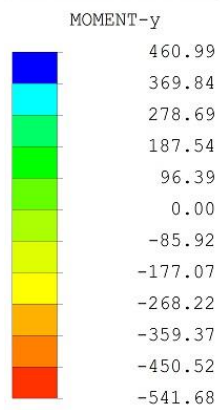


**Figura 6 – Azione assiale Fx – Combinazione involucro SLV [KN]**

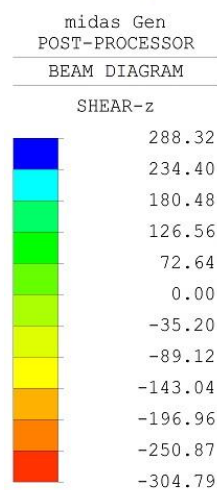
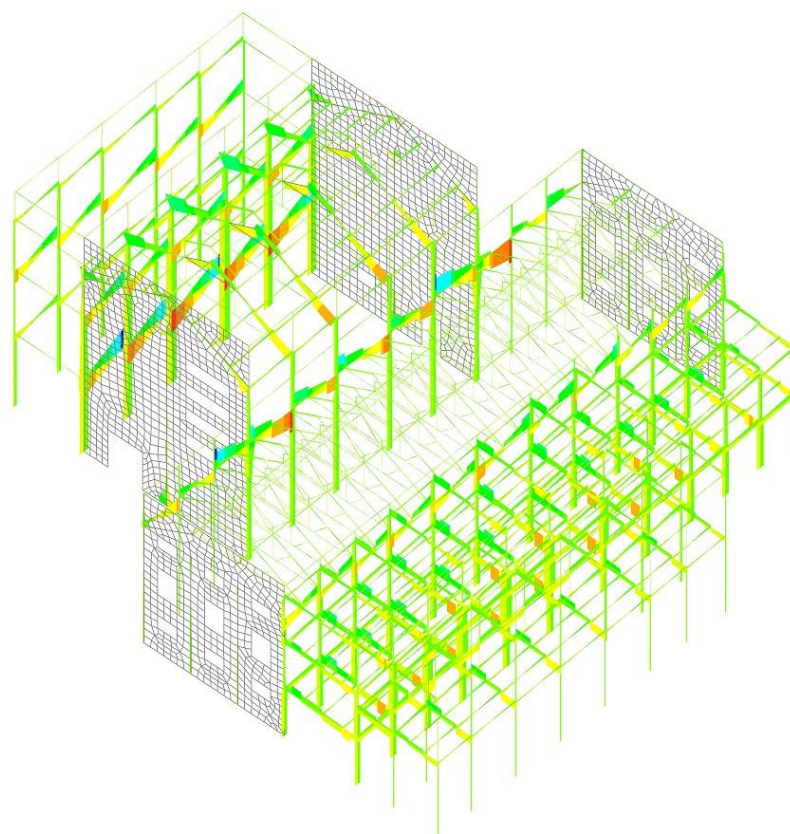




midas Gen  
POST-PROCESSOR  
BEAM DIAGRAM



**Figura 7 – Momento flettente  $M_y$  – Combinazione involucro SLV [KNm]**



**Figura 8 – Taglio Fz – Combinazione involucro SLV [KN]**

### 10.5.2 VERIFICHE PER AZIONI DINAMICHE

L'analisi è stata svolta in primo luogo implementando l'azione sismica di progetto (domanda) e successivamente, qualora le verifiche non dovessero essere soddisfatte mediante procedimento iterativo l'intensità dell'azione sismica viene gradualmente scalata agendo sull'accelerazione massima al suolo ( $a_g$ ) fino al raggiungimento della condizione di verifica di tutti gli elementi strutturali ed assumendo tale punto come indicatore della capacità della struttura allo stato attuale.

Di seguito si riportano le verifiche allo stato limite SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita) considerando una vita nominale pari a  $V_N = 50$  anni e spettro di risposta con fattore di comportamento  $q = 1,5$ .

#### 10.5.2.1 Verifica delle travi in c.a.

| N° Elem | Sezione       |      | POS | Resistenza Momento Negativo |        |                       |                       | Resistenza Momento Positivo |        |                       |                       | Resistenza a Taglio |        |              |               |               |         |         | CHK |
|---------|---------------|------|-----|-----------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|--------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------|--------------|---------------|---------------|---------|---------|-----|
|         | Luce          | B    |     | H                           | Comb   | N(-)<br>M_Ed<br>[kNm] | N(-)<br>M_Rd<br>[kNm] | Rat-N                       | Comb   | P(+)<br>M_Ed<br>[kNm] | P(+)<br>M_Rd<br>[kNm] | Rat-P               | Comb   | V_Ed<br>[kN] | V_Rdc<br>[kN] | V_Rds<br>[kN] | Rat- Vc | Rat- Vs |     |
| [m]     | [cm]          | [cm] |     |                             |        |                       |                       |                             |        |                       |                       |                     |        |              |               |               |         |         |     |
| 0       | Tr 32x75      |      | I   | 22                          | 105.95 | 261.93                | 0.400                 | 6                           | 112.58 | 261.93                | 0.430                 | 22                  | 86.59  | 86.61        | 284.30        | 1.000         | 0.300   | 1.000   | OK  |
| 2.10    | 32            | 75   | M   | 22                          | 68.03  | 262.99                | 0.260                 | 6                           | 76.65  | 314.48                | 0.240                 | 22                  | 92.01  | 92.04        | 284.30        | 1.000         | 0.320   | 1.000   |     |
|         |               |      | J   | 21                          | 101.99 | 261.93                | 0.390                 | 5                           | 123.15 | 261.93                | 0.470                 | 21                  | 86.60  | 86.61        | 284.30        | 1.000         | 0.300   | 1.000   |     |
| 0       | Tr 25x40      |      | I   | 18                          | 51.05  | 97.51                 | 0.520                 | 1                           | 10.88  | 97.51                 | 0.110                 | 18                  | 48.16  | 48.71        | 108.85        | 0.990         | 0.440   | 0.990   | OK  |
| 5.98    | 25            | 40   | M   | 17                          | 2.45   | 97.51                 | 0.030                 | 2                           | 26.87  | 97.51                 | 0.280                 | 17                  | 26.06  | 48.71        | 108.85        | 0.540         | 0.240   | 0.540   |     |
|         |               |      | J   | 17                          | 51.23  | 97.51                 | 0.530                 | 1                           | 10.65  | 97.51                 | 0.110                 | 17                  | 48.20  | 48.71        | 108.85        | 0.990         | 0.440   | 0.990   |     |
| 0       | TR 20x40 CAPR |      | I   | 22                          | 21.65  | 68.57                 | 0.320                 | 6                           | 36.48  | 68.57                 | 0.530                 | 22                  | 22.93  | 37.12        | 111.83        | 0.620         | 0.210   | 0.620   | OK  |
| 2.83    | 20            | 40   | M   | 21                          | 6.26   | 68.57                 | 0.090                 | 6                           | 25.11  | 68.57                 | 0.370                 | 21                  | 22.09  | 37.12        | 111.83        | 0.590         | 0.200   | 0.590   |     |
|         |               |      | J   | 21                          | 22.32  | 68.57                 | 0.330                 | 13                          | 36.28  | 68.57                 | 0.530                 | 21                  | 23.37  | 37.12        | 111.83        | 0.630         | 0.210   | 0.630   |     |
| 0       | Tr 20x20 CAPR |      | I   | 21                          | 3.22   | 29.71                 | 0.110                 | 5                           | 1.28   | 29.71                 | 0.040                 | 21                  | 12.75  | 25.82        | 41.75         | 0.490         | 0.310   | 0.490   | OK  |
| 3.39    | 20            | 20   | M   | 21                          | 2.93   | 29.71                 | 0.100                 | 5                           | 1.71   | 29.71                 | 0.060                 | 21                  | 12.65  | 25.82        | 41.75         | 0.490         | 0.300   | 0.490   |     |
|         |               |      | J   | 21                          | 3.81   | 29.71                 | 0.130                 | 5                           | 2.12   | 29.71                 | 0.070                 | 21                  | 12.45  | 25.82        | 41.75         | 0.480         | 0.300   | 0.480   |     |
| 0       | Tr 20x45 CAPR |      | I   | 17                          | 28.29  | 77.75                 | 0.360                 | 2                           | 18.33  | 77.75                 | 0.240                 | 17                  | 28.13  | 39.32        | 126.74        | 0.720         | 0.220   | 0.720   | OK  |
| 5.98    | 20            | 45   | M   | 17                          | 33.59  | 77.75                 | 0.430                 | 1                           | 28.31  | 77.75                 | 0.360                 | 17                  | 29.41  | 39.32        | 126.74        | 0.750         | 0.230   | 0.750   |     |
|         |               |      | J   | 17                          | 48.87  | 77.75                 | 0.630                 | 1                           | 32.67  | 77.75                 | 0.420                 | 17                  | 37.04  | 39.32        | 126.74        | 0.940         | 0.290   | 0.940   |     |
| 0       | Tr 20x20 CAPR |      | I   | 18                          | 8.77   | 26.50                 | 0.330                 | 2                           | 8.63   | 26.50                 | 0.330                 | 18                  | 10.24  | 24.82        | 49.21         | 0.410         | 0.210   | 0.410   | OK  |
| 5.93    | 20            | 20   | M   | 17                          | 4.52   | 26.50                 | 0.170                 | 1                           | 4.60   | 26.50                 | 0.170                 | 17                  | 10.24  | 24.82        | 49.21         | 0.410         | 0.210   | 0.410   |     |
|         |               |      | J   | 17                          | 8.91   | 26.50                 | 0.340                 | 1                           | 9.05   | 26.50                 | 0.340                 | 17                  | 10.24  | 24.82        | 49.21         | 0.410         | 0.210   | 0.410   |     |
| 0       | Tr 40x60      |      | I   | 17                          | 129.26 | 255.00                | 0.510                 | 1                           | 98.90  | 255.00                | 0.390                 | 17                  | 96.38  | 96.53        | 134.79        | 1.000         | 0.710   | 1.000   | OK  |
| 5.98    | 40            | 60   | M   | 17                          | 70.65  | 255.00                | 0.280                 | 1                           | 56.97  | 255.00                | 0.220                 | 17                  | 95.17  | 96.53        | 134.79        | 0.990         | 0.710   | 0.990   |     |
|         |               |      | J   | 18                          | 135.70 | 255.00                | 0.530                 | 2                           | 84.73  | 255.00                | 0.330                 | 18                  | 96.52  | 96.53        | 134.79        | 1.000         | 0.720   | 1.000   |     |
| 0       | Tr 20x33      |      | I   | 17                          | 31.87  | 49.03                 | 0.650                 | 1                           | 5.97   | 36.90                 | 0.160                 | 17                  | 32.21  | 32.54        | 90.96         | 0.990         | 0.350   | 0.990   | OK  |
| 7.10    | 20            | 33   | M   | 21                          | 3.41   | 36.92                 | 0.090                 | 2                           | 15.53  | 36.92                 | 0.420                 | 21                  | 29.39  | 29.56        | 90.96         | 0.990         | 0.320   | 0.990   |     |
|         |               |      | J   | 18                          | 32.37  | 49.03                 | 0.660                 | 5                           | 8.42   | 36.90                 | 0.230                 | 18                  | 32.02  | 32.54        | 90.96         | 0.980         | 0.350   | 0.980   |     |
| 0       | TR 60x70 CAPR |      | I   | 22                          | 398.26 | 810.71                | 0.490                 | 5                           | 186.79 | 656.87                | 0.280                 | 22                  | 158.96 | 191.14       | 240.00        | 0.830         | 0.660   | 0.830   | OK  |
| 2.83    | 60            | 70   | M   | 22                          | 313.20 | 654.07                | 0.480                 | 5                           | 183.41 | 654.07                | 0.280                 | 22                  | 162.41 | 177.44       | 240.00        | 0.920         | 0.680   | 0.920   |     |
|         |               |      | J   | 21                          | 368.48 | 810.71                | 0.450                 | 5                           | 176.94 | 656.87                | 0.270                 | 21                  | 167.59 | 191.14       | 240.00        | 0.880         | 0.700   | 0.880   |     |
| 0       | Tr 25x60 CAPR |      | I   | 17                          | 57.80  | 128.82                | 0.450                 | 2                           | 24.95  | 128.82                | 0.190                 | 17                  | 39.21  | 56.01        | 168.49        | 0.700         | 0.230   | 0.700   | OK  |
| 5.98    | 25            | 60   | M   | 18                          | 19.30  | 128.82                | 0.150                 | 1                           | 25.48  | 128.82                | 0.200                 | 18                  | 27.16  | 56.01        | 168.49        | 0.480         | 0.160   | 0.480   |     |
|         |               |      | J   | 18                          | 59.54  | 128.82                | 0.460                 | 1                           | 25.48  | 128.82                | 0.200                 | 18                  | 39.21  | 56.01        | 168.49        | 0.700         | 0.230   | 0.700   |     |

### 10.5.2.2 Verifica dei pilastri in c.a.

| Sezione            |      | Comb    | Azione Assiale |         |        | Momento Flettente Lungo y |       |        | Momento Flettente Lungo z |       |        | Comb   | Taglio Sezione Estremità |           |                |                         |           | Taglio Sezione Mezzeria |           |                |                         |           | CHK |
|--------------------|------|---------|----------------|---------|--------|---------------------------|-------|--------|---------------------------|-------|--------|--------|--------------------------|-----------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------------|-----------|----------------|-------------------------|-----------|-----|
| B                  | H    |         | N_Ed           | N_Rdmax | Rat-N  | M_Edy                     | M_Rdy | Rat-My | M_Edz                     | M_Rdz | Rat-Mz |        | V_Ed end                 | V_Rdc end | V_Rds end      | Rat-Vc<br>Rat-Vs<br>end | Rat-V end | V_Ed mid                | V_Rdc mid | V_Rds mid      | Rat-Vc<br>Rat-Vs<br>mid | Rat-V mid |     |
| [cm]               | [cm] |         | [kN]           | [kN]    |        | [kNm]                     | [kNm] |        | [kNm]                     | [kNm] |        |        | [kNm]                    | [kNm]     | [kN]           | [kN]                    | [kN]      |                         | [kN]      | [kN]           | [kN]                    |           |     |
| P 70x60<br>70 60   | 30   | 1376.28 | 3406.59        | 0.723   | 112.68 | 155.42                    | 0.725 | 205.92 | 285.60                    | 0.721 | 21     | 96.63  | 131.89                   | 25.65     | 0.733<br>3.768 | 0.733                   | 96.63     | 135.03                  | 25.65     | 0.716<br>3.768 | 0.716                   | OK        |     |
| P 70x40<br>70 40   | 25   | 459.88  | 2536.44        | 0.737   | 127.48 | 176.08                    | 0.724 | 32.10  | 44.90                     | 0.715 | 5      | 45.92  | 143.69                   | 44.77     | 0.320<br>1.026 | 0.320                   | 28.29     | 131.88                  | 25.07     | 0.215<br>1.129 | 0.215                   | OK        |     |
| P 80x60<br>80 60   | 1    | 605.61  | 6928.07        | 0.611   | 339.93 | 566.55                    | 0.600 | 149.74 | 250.83                    | 0.597 | 6      | 152.70 | 253.11                   | 105.37    | 0.603<br>1.449 | 0.603                   | 80.81     | 197.95                  | 105.37    | 0.408<br>0.767 | 0.408                   | OK        |     |
| P 80x40<br>80 40   | 9    | 485.52  | 2744.03        | 0.391   | 57.68  | 150.60                    | 0.383 | 40.75  | 105.30                    | 0.387 | 5      | 24.26  | 106.45                   | 28.93     | 0.228<br>0.839 | 0.228                   | 24.26     | 111.03                  | 28.93     | 0.219<br>0.839 | 0.219                   | OK        |     |
| P 80x50<br>80 50   | 1    | 523.33  | 3174.43        | 0.325   | 68.48  | 206.90                    | 0.331 | 42.57  | 130.98                    | 0.325 | 6      | 23.05  | 137.03                   | 28.93     | 0.168<br>0.797 | 0.168                   | 23.05     | 142.76                  | 28.93     | 0.161<br>0.797 | 0.161                   | OK        |     |
| P 100x60<br>100 60 | 17   | 1952.58 | 4824.26        | 0.845   | 319.26 | 374.72                    | 0.852 | 237.42 | 267.97                    | 0.886 | 6      | 164.97 | 195.15                   | 36.64     | 0.845<br>4.503 | 0.845                   | 131.09    | 167.50                  | 36.64     | 0.783<br>3.578 | 0.783                   | OK        |     |
| P 120x60<br>120 60 | 1    | 1265.15 | 5977.50        | 0.596   | 307.50 | 527.44                    | 0.583 | 49.59  | 86.70                     | 0.572 | 30     | 119.49 | 266.43                   | 44.35     | 0.448<br>2.694 | 0.448                   | 119.49    | 271.77                  | 44.35     | 0.440<br>2.694 | 0.440                   | OK        |     |
| P 30x25<br>30 25   | 2    | 14.85   | 689.80         | 0.378   | 8.12   | 21.47                     | 0.378 | 0.90   | 2.49                      | 0.361 | 5      | 8.05   | 30.79                    | 8.52      | 0.262<br>0.946 | 0.262                   | 8.05      | 31.02                   | 8.52      | 0.260<br>0.946 | 0.260                   | OK        |     |
| P 30x30<br>30 30   | 29   | 19.97   | 791.80         | 0.900   | 1.64   | 1.79                      | 0.914 | 22.27  | 25.10                     | 0.887 | 22     | 5.51   | 34.11                    | 8.52      | 0.161<br>0.646 | 0.161                   | 5.51      | 34.56                   | 8.52      | 0.159<br>0.646 | 0.159                   | OK        |     |

### 10.5.2.3 Risultati delle verifiche per azioni dinamiche

Tutte le verifiche strutturali svolte considerando la situazione post-intervento, in base alle normative in vigore ed alla destinazione d'uso in progetto, risultano soddisfatte per azione sismica di riferimento con  $V_N = 50$  anni e tempo di ritorno  $T_r$  pari a 475 anni.

## 11 CONCLUSIONI

Alla luce di quanto detto sopra si può concludere che, a seguito degli interventi di rinforzo e/o consolidamento proposti, la struttura sarà idonea a sopportare i carichi dovuti alle azioni statiche e sismiche di progetto valutate in accordo con le NTC2018.

La valutazione di vulnerabilità sismica è condotta attraverso la definizione di un indicatore di rischio:

$$\zeta_E = \frac{PGA_c}{PGA_d}$$

In cui:

- $PGA_d$  è l'accelerazione sismica di riferimento (o di "domanda"), ricavata dai parametri di pericolosità sismica del sito, e rappresentante l'azione sismica di progetto;
- $PGA_c$  è l'accelerazione sismica di capacità massima esplicabile dalla struttura, in funzione dello stato di fatto, tale per cui si raggiunge il soddisfacimento delle verifiche di resistenza.

L'analisi è stata svolta implementando l'azione sismica di progetto (**domanda**), considerando un fattore di comportamento pari a 1,5.

Si riporta di seguito uno schema riassuntivo delle analisi dei risultati, riportando l'indicatore di vulnerabilità per lo stato limite di salvaguardia della vita.

| Ex Centrale elettrica – Grande Miniera di Serbariu, Carbonia |         |               |                                |                  |               |                                |                  |             |
|--|---------|---------------|--------------------------------|------------------|---------------|--------------------------------|------------------|-------------|
|  | Domanda |               |                                |                  | Capacità      |                                |                  | Indicatore  |
| STATO LIMITE   | S       | $a$<br>[g/10] | $PGA_D$<br>[m/s <sup>2</sup> ] | $Tr D$<br>[anni] | $a$<br>[g/10] | $PGA C$<br>[m/s <sup>2</sup> ] | $Tr C$<br>[anni] | $\zeta_E$   |
| SLV  | 1,2     | 0,50          | 0,600                          | 475              | 0,50          | 0,60                           | 475              | <b>1,00</b> |

**Tabella 3 - Indicatore di vulnerabilità sismica**

Per tutto quanto sopra riportato si può concludere che il valore dell'indice di vulnerabilità sismica a seguito degli interventi in progetto sarà pari a **1,00**.