

Illustrazione sintetica

b) Descrizione generale della struttura

Trattasi di struttura in cemento armato formata da elementi prefabbricati, di superficie coperta di 4678 mq e costituita da doppia campata di larghezza 22,5m.

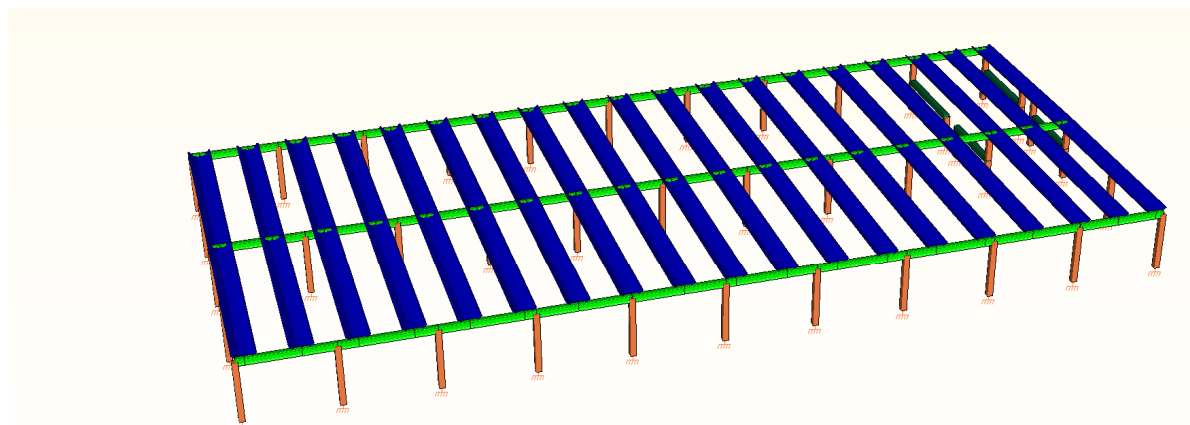
Le fondazioni sono costituite da dadi gettati in opera con tubi forma corrugati predisposti dove verranno inserite, ed annegate con malta cementizia ad alta resistenza, i ferri di armatura che fuoriescono dal pilastro. I plinti sono collegati fra loro da cordolo sismico.

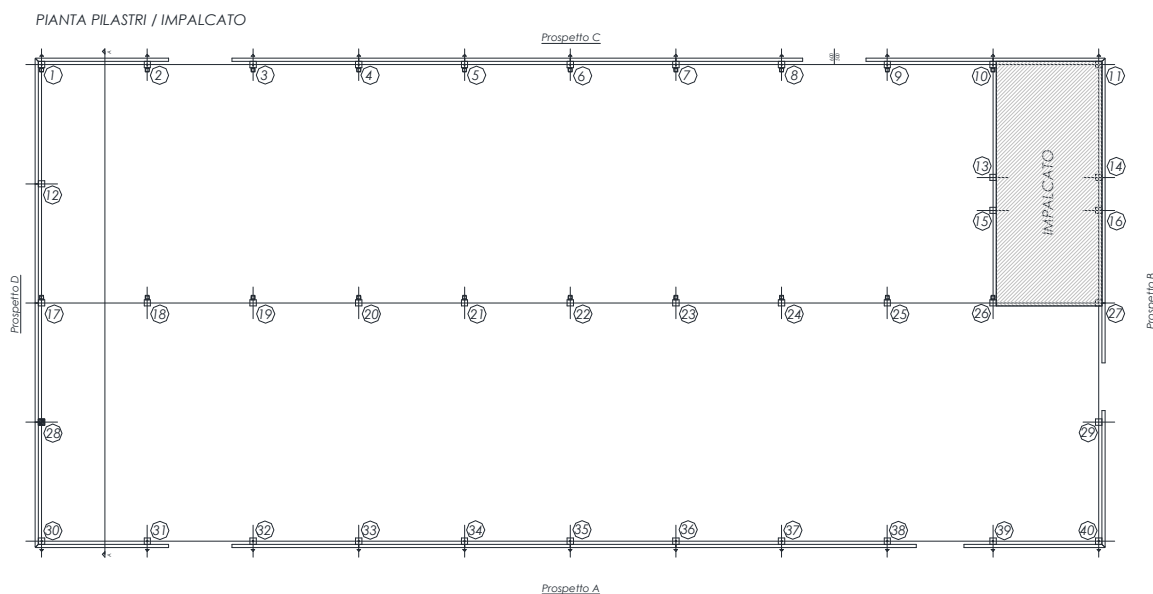
La copertura è costituita da travi alari di lunghezza di 22,50m che sono sostenute da travi di bordo e di spina con sezione ad I in c.a.p.. I pilastri prefabbricati hanno sezione quadrata di dimensioni 60x60cm, sono disposti su tre file con interasse di 10metri.

Su di una campata e solamente nella zona di una delle due testate dell'edificio si sviluppa un impalcato intermedio. È realizzato con travi portanti in c.a.p. ad L su cui posano tegoli binervati anch'essi in c.a.p. Sul piano superiore dei tegoli verrà gettata una cappa collaborante che solidarizza i vari elementi che costituiscono il solaio in modo da formare un piano rigido.

Le pareti di tamponamento perimetrale prefabbricate hanno orientamento orizzontale e sono fissate con appositi inserti alla struttura portante. Le pareti scaricano il loro peso sui plinti e sui cordoli di fondazione.

Modello per analisi dinamica lineare





c) Normativa e riferimenti tecnici

c.1 Normativa Italiana

c.1.1 Norme Generali

- NTC 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008)
- Circolare Applicativa delle NTC 2008 (D.M. 14/01/2008): Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme Tecniche per le Costruzioni' di cui al D.M. 14/01/2008.
- Decreto Ministeriale 9/01/1996: Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche. (Da utilizzarsi nel calcolo col metodo degli stati limite)
- Circolare 15/10/1996: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al D.M. 9/01/1996.
- Decreto Ministeriale 16/01/1996: Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Decreto Ministeriale 16/01/1996: Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni, e dei carichi e sovraccarichi'.
- Circolare 10/04/1997: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D.M. 16/01/1996.
- Circolare 4/07/1996: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al D.M. 16/01/1996.
- Decreto Ministeriale 14/02/1992: Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche. (Da utilizzarsi nel calcolo col metodo delle tensioni ammissibili).
- Legge n°1086 del 5/11/1971 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica.

c.1.2 Strutture Prefabbricate

- Decreto Ministeriale 3 Dicembre 1987: Norme Tecniche per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture prefabbricate.

c.2 Normativa Europea

c.2.1 Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo

- UNI EN 1992-1-1:2005 Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1992-1-2:2005 Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio
- UNI EN 1992-2:2006 Parte 2: Ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi
- UNI EN 1992-3:2006 Parte 3: Strutture di contenimento liquidi

c.2.2 Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica

- UNI EN 1997-1:2005 Parte 1: Regole generali
- UNI EN 1997-2:2007 Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo

c.2.3 Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

- UNI EN 1998-1:2005 Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-2:2009 Parte 2: Ponti
- UNI EN 1998-3:2005 Parte 3: Valutazione e adeguamento degli edifici
- UNI EN 1998-4:2006 Parte 4: Silos, serbatoi e condotte
- UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- UNI EN 1998-6:2005 Parte 6: Torri, pali e camini

d) Parametri sismici di progetto

La verifica sismica è effettuata con il D.M. 14/01/2008. Di seguito si riportano le impostazioni sismiche adottate in fase di calcolo:

- Ferrara (FE)
- Zona sismica 3
- Tipo di Costruzione: 2
- Classe d'Uso: IV
- Vita Nominale: 100 anni
- Vita di riferimento: 200 anni
- Categoria del suolo: C
- Fattore di struttura 1.5 (struttura a pendolo inverso. q_0 per strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano [Tab 7.4.1 NTC2018] è di 1.5).

| Stato Limite | Tr [anni] | ag/g | Fo | Tc* |
|--------------|-----------|-------|------|------|
| SLO | 120 | 0,077 | 2,57 | 0,27 |
| SLD | 201 | 0,099 | 2,57 | 0,27 |
| SLV | 1898 | 0,253 | 2,47 | 0,29 |

– Tipologia : Struttura in Calcestruzzo a Telaio

e) Descrizione dei materiali

e.1 Calcestruzzo per Plinti e strutture di Elevazione

Classi di Resistenza

| Classe | $f_{ck}=0,83 \cdot R_{ck}$ [N/mm ²] | $f_{cm}=f_{ck}+8$ [N/mm ²] | R_{ck} [N/mm ²] |
|--------------------------------|--|---|----------------------------------|
| C40/50 Strutture prefabbricate | 41,5 | 49,5 | 50 |

| Impiego | Classe | Esposizione | Consistenza | Rapporto A/C | Classe Cloruri | Diam. Agg. | Copriferro |
|--------------------------|--------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------|------------|
| Pilastrini Travi e Solai | C40/50 | XC1 | S4 | 0,48 | 0,1 | 20mm | 20mm |

e.2 Acciaio per armatura

| Classe | f_{yk} N/mm ² | f_{tk} N/mm ² |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|
| B450C | 450 | 540 |
| B450A | 450 | 540 |

| Tipo | Impiego | Diametri | | T. Rottura f_{tk} | T. Snerv. f_{yk} | Allungamento $A_{gt,k}$ |
|-------|-------------------------------|----------|------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | | Barre | Rotoli reti & Tralicci | | | |
| B450C | Barre Rotoli, Reti & Tralicci | Ø 6-40 | Ø 6-16 | ≥ 540 N/mm ² | ≥ 450 N/mm ² | $\geq 7,5\%$ |
| B450A | Rotoli Reti & Tralicci | | Ø 5-10 | ≥ 540 N/mm ² | ≥ 450 N/mm ² | $\geq 2,5\%$ |

e.3 Acciaio per precompresso

| Classe | Impiego | Diametri | | T. Rottura minimo f_{tk} | Limite elastico a 1% di allungamento |
|--------|---------|----------|---------------|----------------------------|--------------------------------------|
| | | Pollici | Sezione (mmq) | | |

| | | | | | |
|------|---------|--------|-----|------------------------|-------------------------|
| 1860 | Trefolo | Ø 1/2 | 93 | 1875 N/mm ² | 1687 N/ mm ² |
| 1860 | Trefolo | Ø 6/10 | 139 | 1875 N/mm ² | 1687 N/ mm ² |

f) Criteri di progettazione e di modellazione

La classe di duttilità adottata è la seguente: CDB

Le verifiche delle singole strutture portanti verranno effettuate allo SLV. Verrà effettuata anche una verifica allo SLD e allo SLO per quanto riguarda gli spostamenti di piano.

Il coefficiente di struttura di riferimento q_0 per strutture a pendolo inverso [Tab 7.4.1 NTC2018] è di 1.5.

La struttura nuova è isolata e non è necessario prevedere un giunto sismico.

Gli elementi prefabbricati sono stati progettati per essere fissati tra loro in fase di montaggio.

I pilastri sono stati ipotizzati incastrati alla base e le travi incernierate agli stessi.

Le pareti di tamponamento scaricano il loro peso sui plinti di fondazione e sui cordoli. Tuttavia nell'analisi dinamica lineare in condizioni sismiche la loro massa è stata considerata al fine del calcolo delle azioni prevedendo un carico agente sui pilastri pari al peso del tamponamento che insiste su ciascun pilastro. Tale carico influenza solo i momenti e i tagli alla base dei pilastri e non il carico assiale degli stessi.

g) Principali combinazioni delle azioni

g.1 Analisi dei Carichi

| | | |
|----------------------|--------------|--------------------|
| IMPALCATO: Neve..... | 103 | daN/m ² |
| Perm..... | 40+30 | daN/m ² |
| P.P. tellus..... | 180 | daN/m ² |

| | | |
|---------------------------|------------|--------------------|
| IMPALCATO: Variabile..... | 300 | daN/m ² |
| Perm..... | 250 | daN/m ² |
| P.P. tegoli..... | 280 | daN/m ² |
| Cls (7cm)..... | 150 | daN/m ³ |

CARRO PONTE DA 6 ton AL GANCIO:

$R_{min} = 1.950$ daN carico minimo sulla singola ruota.

$R_{max} = 5.400$ daN carico massimo sulla singola ruota.

$I_{Ruote} = 3,50$ m interasse ruote.

VIE DI CORSA IN ACCIAIO = **50** daN/ml

g.2 Combinazione dei Carichi

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

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

Combinazione **caratteristica (rara)**, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili (cap. § 2.7):

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

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

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

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

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

Combinazione **sismica**, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (cap. § 3.2):

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

Combinazione **eccezionale**, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (cap. § 3.6):

$$\bullet G_1+G_2+P+A_d+\psi_{21}Q_{k1}+\psi_{22}Q_{k2}+\dots$$

Di seguito è riportata la tabella riassuntiva dei coefficienti di combinazione

| Categoria/Azionevariabile | ψ_{0j} | ψ_{1j} | ψ_{2j} |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Vento | 0,6 | 0,2 | 0,0 |
| Neve(aquota ≤ 1000ms.l.m.) | 0,5 | 0,2 | 0,0 |

Tabella 2.5.1

h) Metodo di analisi

Il metodo di analisi seguito è il seguente:

Analisi dinamica lineare. Il fattore θ calcolato è inferiore a 0,1 per entrambe le direzioni del sisma: piano terra ($\theta_x=0.049$; $\theta_y=0.044$). Non è quindi necessario incrementare le azioni sollecitanti dovute al sisma.

| Modo | Direz.X | % | Direz.Y | % |
|-------------|------------|---|------------|----|
| Modo: 1 | +2.59e-001 | 0 | +1.36e+003 | 72 |
| Progressiva | +2.59e-001 | 0 | +1.36e+003 | 72 |
| Modo: 2 | +2.49e+001 | 1 | +1.24e+001 | 1 |
| Progressiva | +2.52e+001 | 1 | +1.37e+003 | 73 |

| Modo | Direz.X | % | Direz.Y | % |
|-------------|------------|----|------------|----|
| Modo: 3 | +6.79e+002 | 36 | +1.77e+000 | 0 |
| Progressiva | +7.04e+002 | 37 | +1.37e+003 | 73 |
| Modo: 4 | +5.01e+002 | 27 | +9.94e-028 | 0 |
| Progressiva | +1.20e+003 | 64 | +1.37e+003 | 73 |
| Modo: 5 | +1.58e+001 | 1 | +1.39e+002 | 7 |
| Progressiva | +1.22e+003 | 65 | +1.51e+003 | 80 |
| Modo: 6 | +4.93e+002 | 26 | +2.70e+000 | 0 |
| Progressiva | +1.71e+003 | 91 | +1.51e+003 | 80 |
| Modo: 7 | +2.90e+000 | 0 | +4.68e+001 | 2 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.56e+003 | 83 |
| Modo: 8 | +1.16e-002 | 0 | +8.59e+001 | 5 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.64e+003 | 87 |
| Modo: 9 | +6.09e-002 | 0 | +7.47e+000 | 0 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.65e+003 | 88 |
| Modo: 10 | +3.54e-002 | 0 | +1.14e+001 | 1 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.66e+003 | 88 |
| Modo: 11 | +1.88e-002 | 0 | +6.18e-002 | 0 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.66e+003 | 88 |
| Modo: 12 | +7.03e-003 | 0 | +1.80e+000 | 0 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.67e+003 | 88 |
| Modo: 13 | +8.79e-001 | 0 | +1.26e+001 | 1 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.68e+003 | 89 |
| Modo: 14 | +2.36e+000 | 0 | +3.44e+001 | 2 |
| Progressiva | +1.72e+003 | 91 | +1.71e+003 | 91 |
| Modo: 15 | +4.60e+001 | 2 | +3.23e+000 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.72e+003 | 91 |
| Modo: 16 | +1.09e+000 | 0 | +2.24e-002 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.72e+003 | 91 |
| Modo: 17 | +2.32e-003 | 0 | +1.12e+000 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.72e+003 | 91 |
| Modo: 18 | +6.76e-003 | 0 | +5.85e-002 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.72e+003 | 91 |
| Modo: 19 | +2.38e-003 | 0 | +8.37e-001 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.72e+003 | 91 |

| Modo | Direz.X | % | Direz.Y | % |
|-------------|------------|-----|------------|-----|
| Modo: 20 | +1.25e-003 | 0 | +1.76e+000 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.72e+003 | 91 |
| Modo: 21 | +4.42e-004 | 0 | +1.99e+001 | 1 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.74e+003 | 92 |
| Modo: 22 | +8.81e-005 | 0 | +3.70e+000 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.74e+003 | 93 |
| Modo: 23 | +3.87e-004 | 0 | +4.61e+001 | 2 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.79e+003 | 95 |
| Modo: 24 | +9.83e-007 | 0 | +3.91e-002 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.79e+003 | 95 |
| Modo: 25 | +3.28e-004 | 0 | +1.95e-001 | 0 |
| Progressiva | +1.77e+003 | 94 | +1.79e+003 | 95 |
| Modo: 84 | +2.61e-019 | 0 | +2.08e-016 | 0 |
| Progressiva | +1.86e+003 | 99 | +1.86e+003 | 99 |
| Modo: 85 | +7.25e-001 | 0 | +2.19e+001 | 1 |
| Progressiva | +1.86e+003 | 99 | +1.88e+003 | 100 |
| Modo: 86 | +1.69e+001 | 1 | +2.14e-001 | 0 |
| Progressiva | +1.88e+003 | 100 | +1.88e+003 | 100 |
| Modo: 90 | +6.23e-001 | 0 | +4.92e-003 | 0 |
| Progressiva | +1.88e+003 | 100 | +1.88e+003 | 100 |

i) Criteri di verifica agli stati limite indagati

Le verifiche di sicurezza effettuate agli stati limite ultimi sono le seguenti:

Verifica dei pilastri con momento sollecitante massimo.

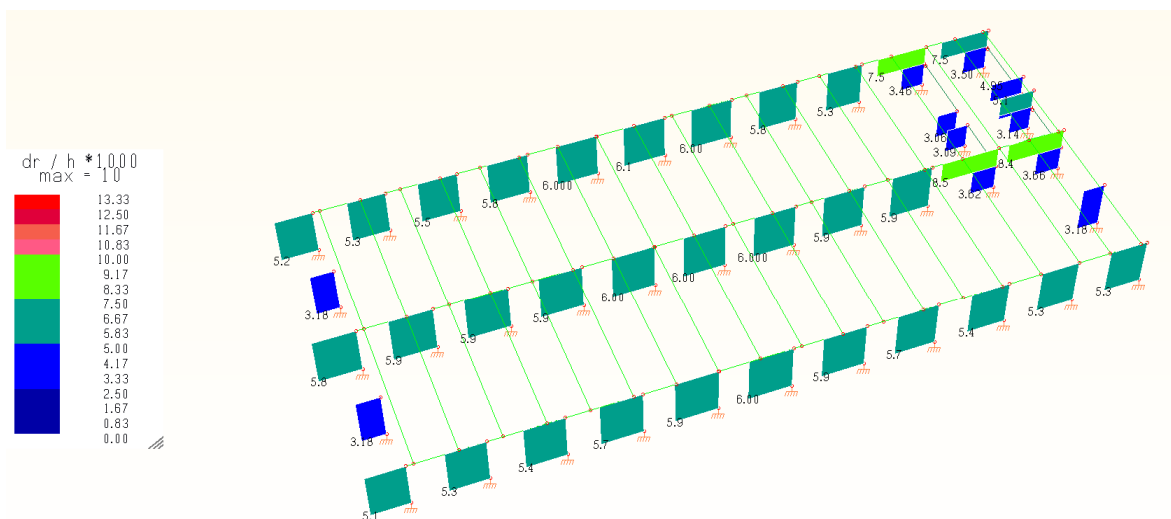
Verifica del fissaggio delle travi con azione sollecitante a taglio pari a (M_r pilastro * 1.1/hpilastro)

Agli Stati limite di esercizio, ed in particolare allo stato limite di danno (SLD) ed allo stato limite di operatività (SLO) viene effettuata una verifica a deformazione della struttura.

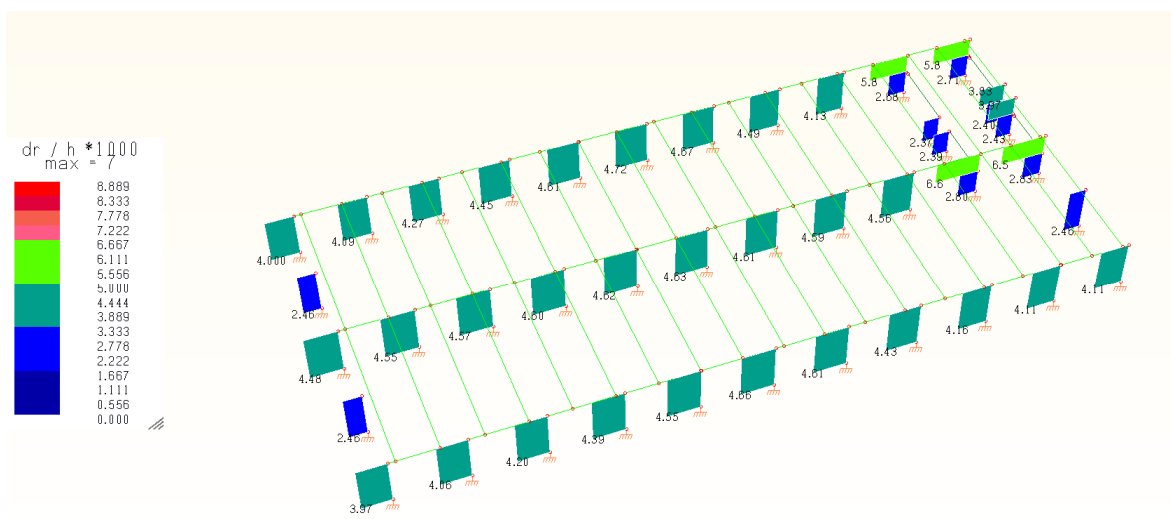
In condizione sismica allo Stato Limite di Danno gli spostamenti di interpiano sono inferiori a 0.01h, dove per h si intende l'altezza dell'interpiano.

Allo SLO gli spostamenti di interpiano sono inferiori a 0.0066h.

La verifica degli spostamenti di interpiano è soddisfatta considerando gli agganci dei tamponamenti perimetrali scorrevoli rispetto alla struttura portante.

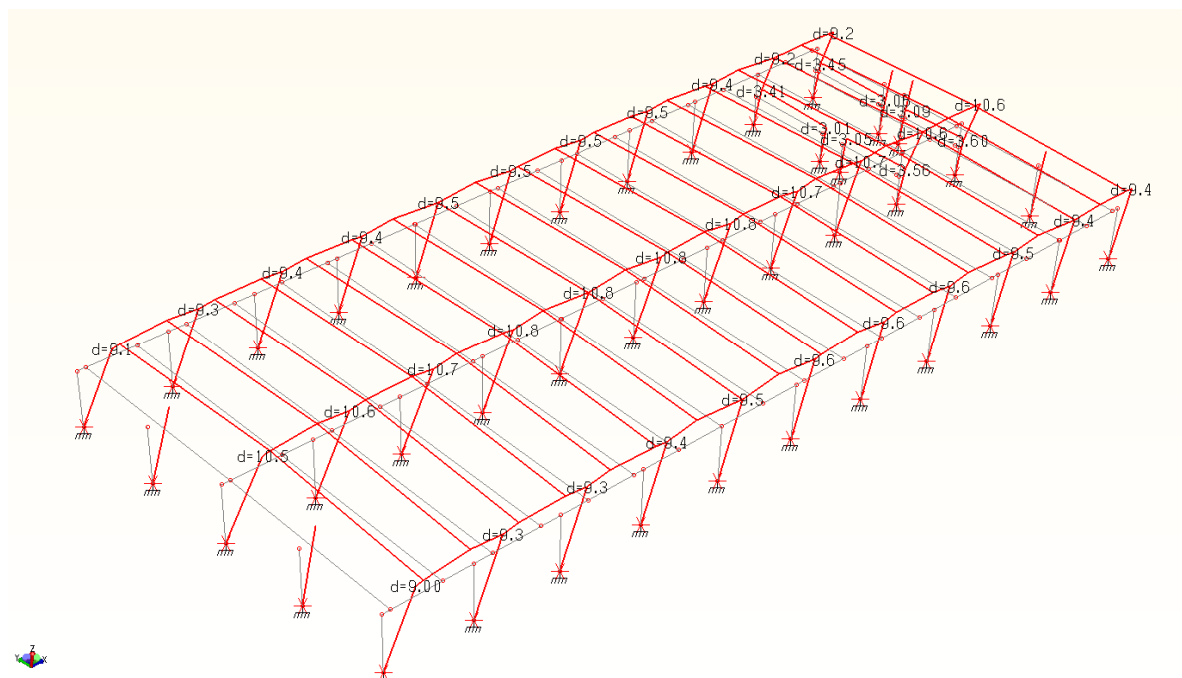


Verifica allo SLD

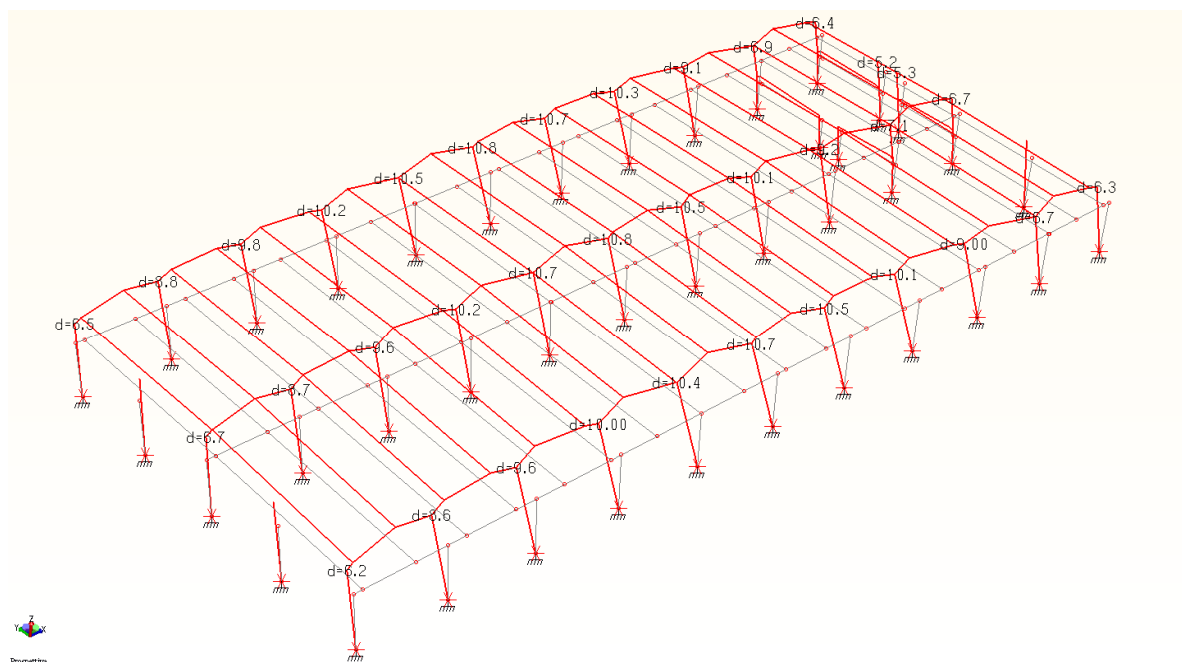


Verifica allo SLO

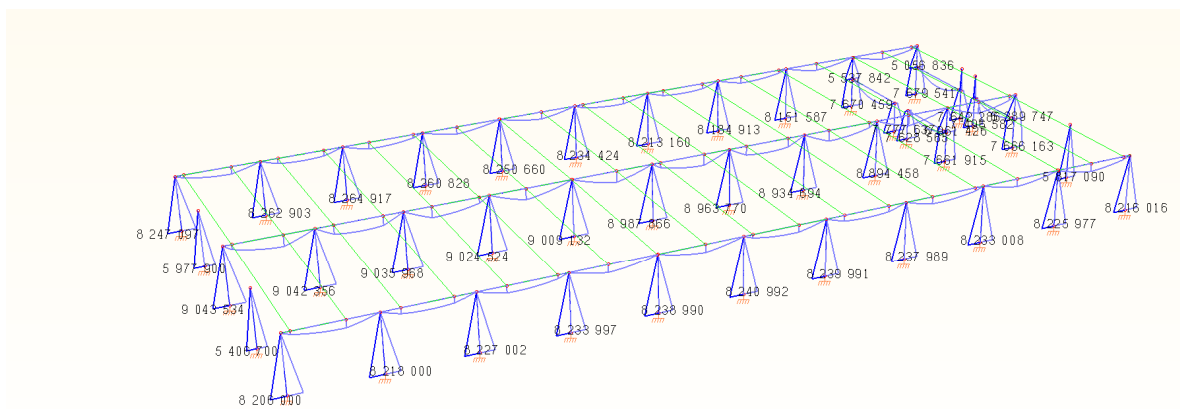
j) Configurazioni deformate e diagramma delle azioni sollecitanti



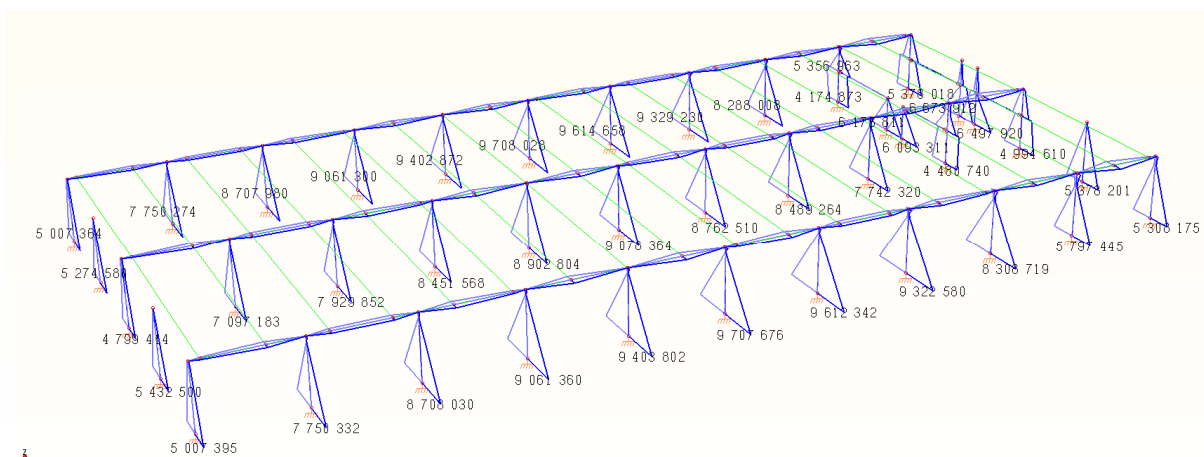
Deformata con Sisma in direzione X



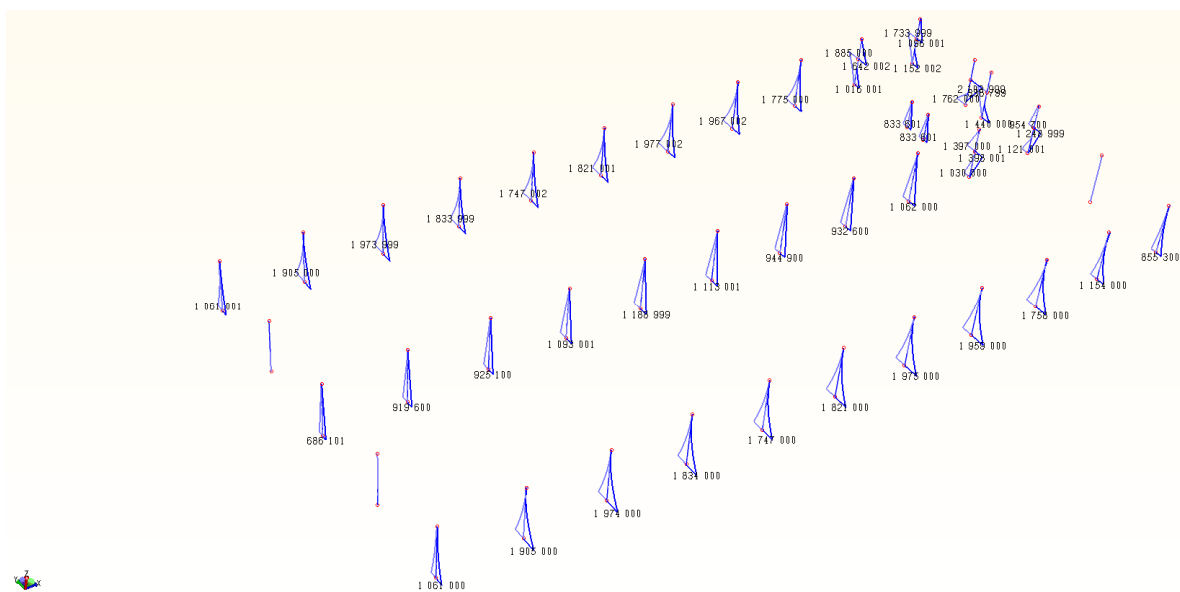
Deformata con Sisma in direzione Y



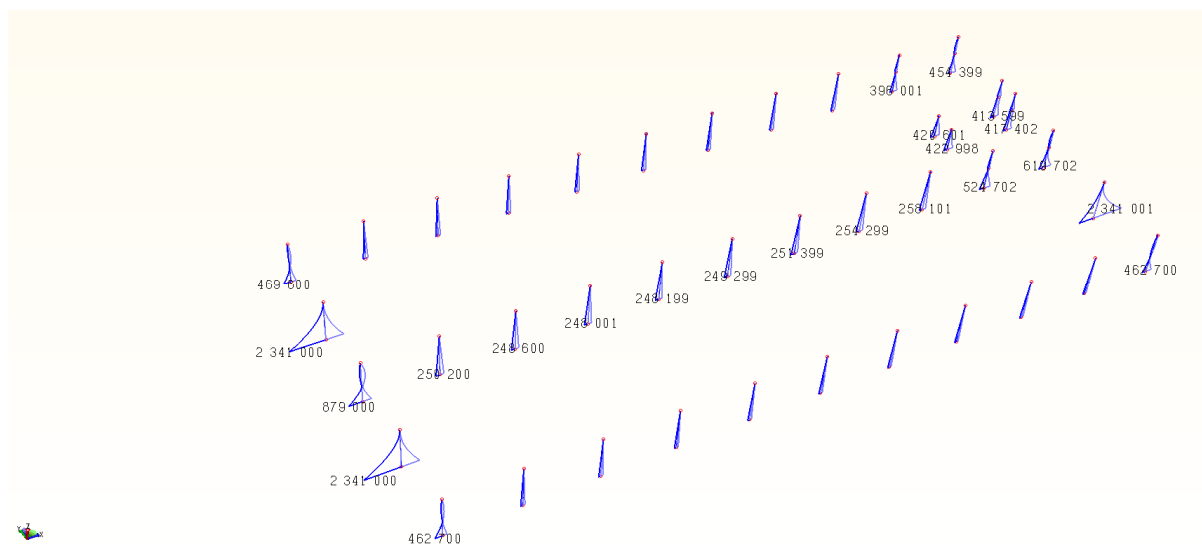
Momento flettente SLV [daNcm] con Sisma in direzione X



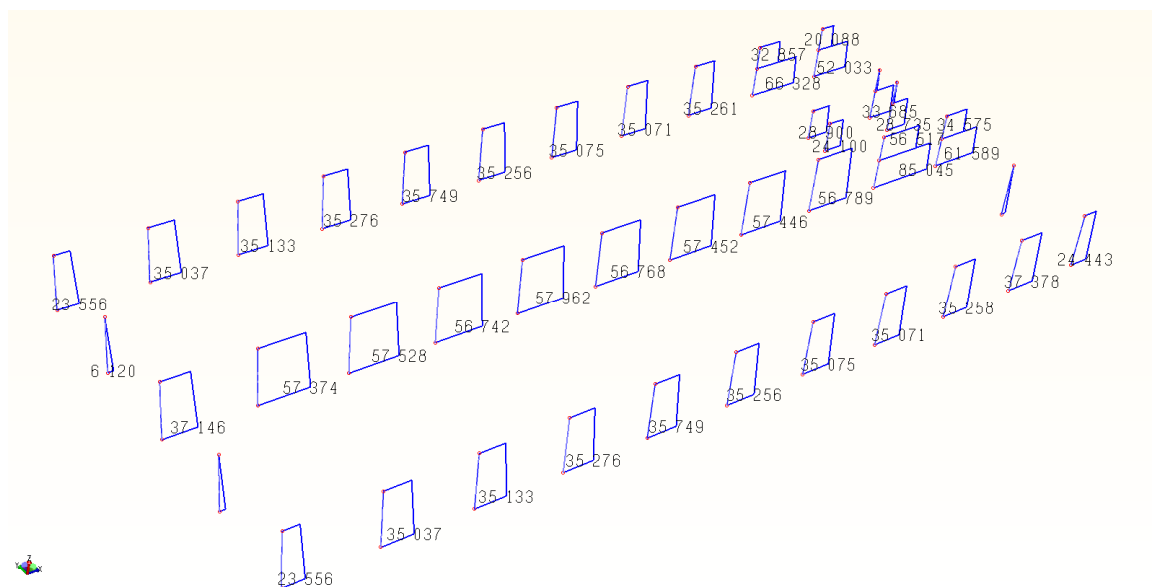
Momento flettente SLV [daNcm] con Sisma in direzione Y



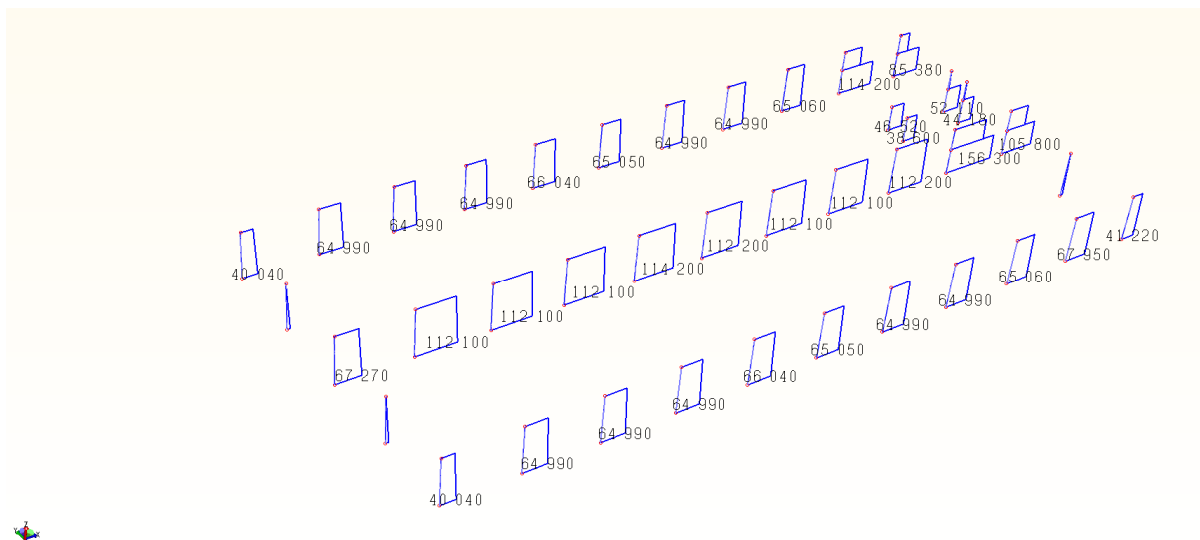
Momento flettente Myy [daNcm] SLU con vento in direzione X



Momento flettente [daNcm] SLU con vento in direzione Y

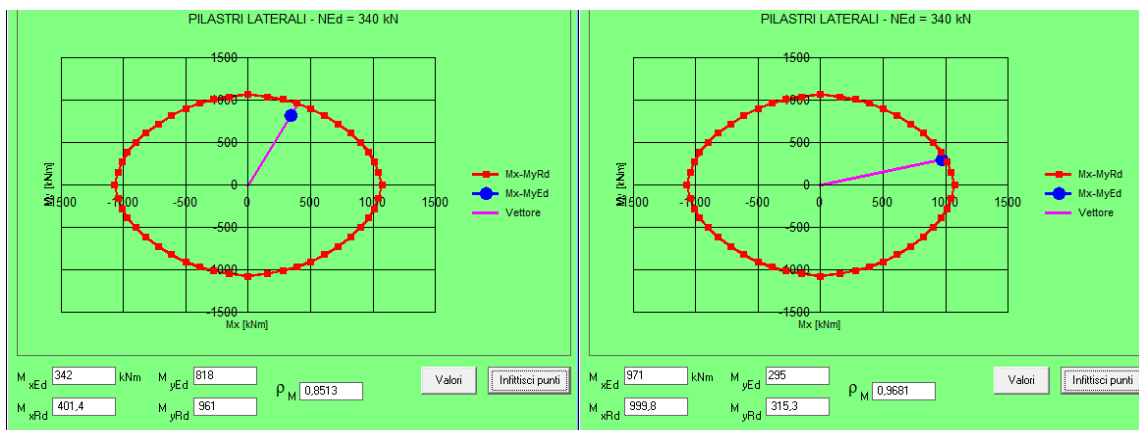


Carico assiale in condizioni sismiche [daN] SLV

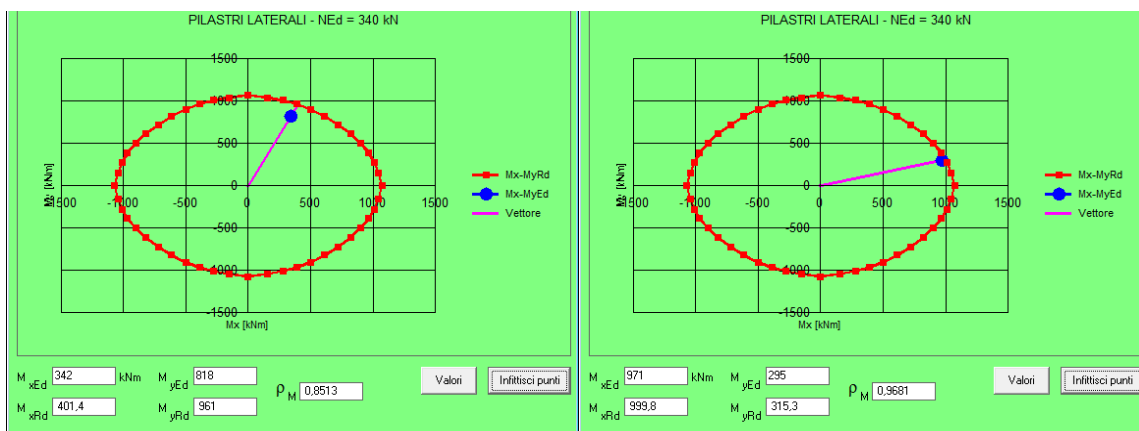


Carico assiale agli SLU [daN]

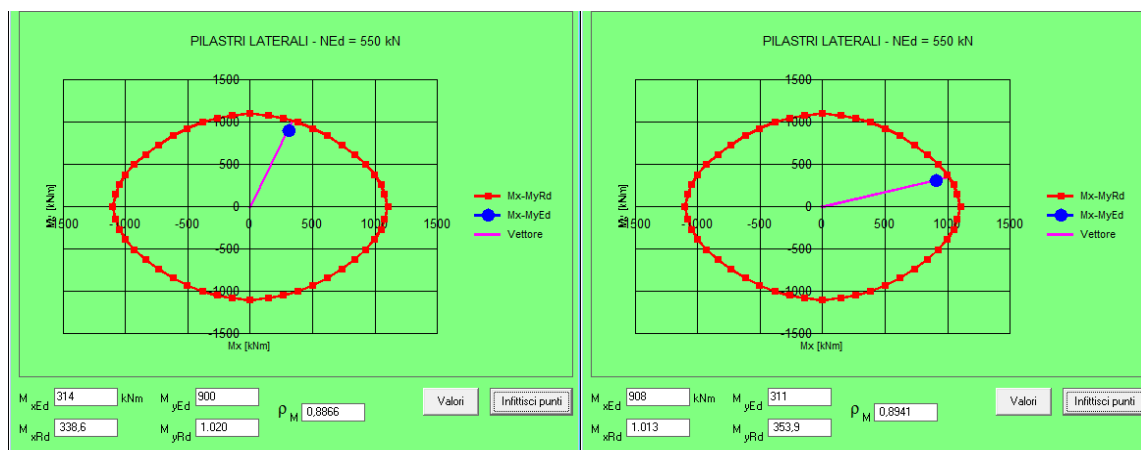
Di seguito si riporta la sintesi della verifica di sicurezza della sezione alla base dei pilastri:
 Pilastri d'angolo



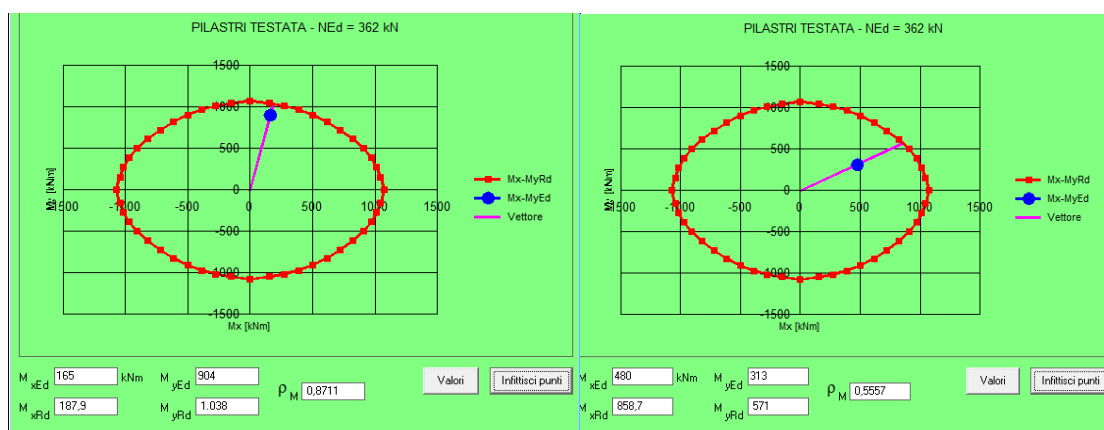
Pilastri laterali



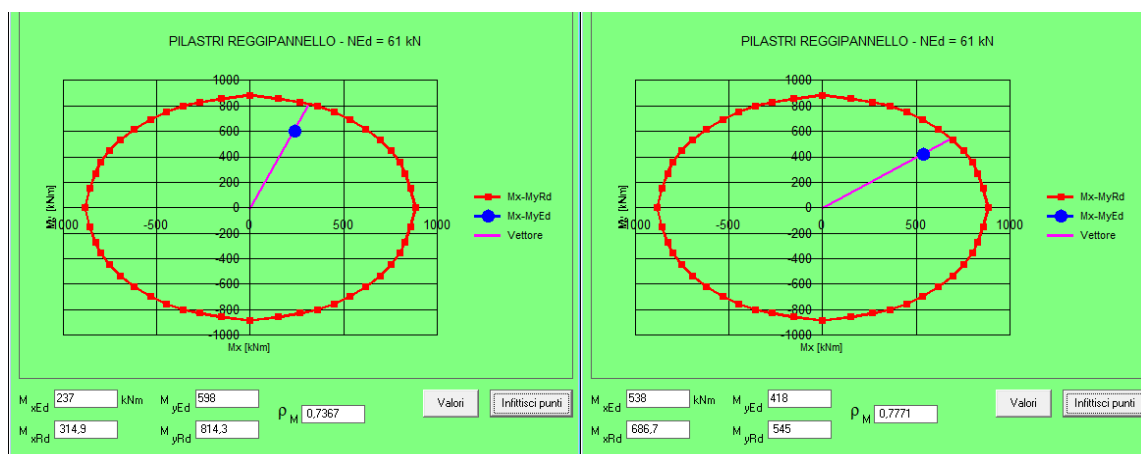
Pilastri centrali



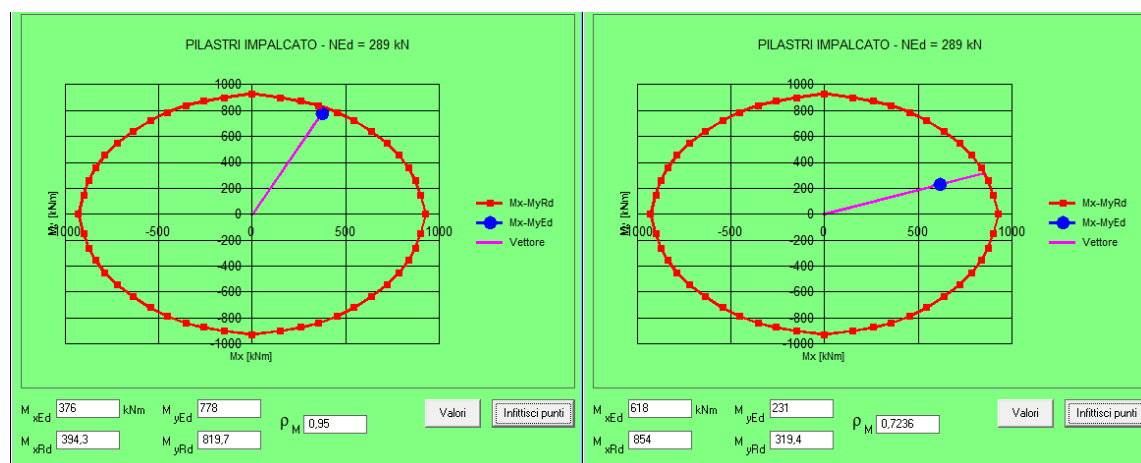
Pilastri testata



Pilastri reggipannello



Pilastri impalcato



Travi agli SLU

| TRAVE | SIGLA | Med [kgm] | Mrd [kgm] |
|----------------|-------|-----------|-----------|
| Trave L | TS01 | 111.099 | 118.926 |
| Tegolo TT40 | SS01 | 18.116 | 22.478 |
| Trave I80centr | TB01 | 132.316 | 166.646 |
| Tellus | TU01 | 146.828 | 151.310 |

k) Affidabilità del codice di calcolo

Per ottenere le sollecitazioni al piede dei pilastri per tutte le combinazioni di carico previste dalla normativa vigente, in particolare per le condizioni sismiche, è stato necessario schematizzare il capannone completo agli elementi finiti utilizzando il programma AMV Software MASTERSAP C.A. 2017. Il software si basa sul processore SAP, da tempo in commercio ed ampiamente testato. Inoltre per testarne la affidabilità, presso lo studio del sottoscritto, una struttura campione è stata calcolata con il software AMV e con SISMICAD (altro programma di largo utilizzo) ottenendo risultati pressoché identici.

La struttura, inoltre, è stata modellata con altro programma di calcolo dallo studio del progettista delle opere di fondazione con le stesse specifiche e gli stessi carichi ottenendo gli stessi risultati in output.

Per questo i risultati sono considerati attendibili

Il Progettista della struttura prefabbricata

