

Comune di Cerda

Città Metropolitana di Palermo

Oggetto: Manutenzione straordinaria con adeguamento sismico della scuola materna di via Kennedy

ELABORATO

RELAZIONE DI CALCOLO VERIFICA TAMPONATURE

Codice

A2.3

Scala disegno

-

| Rev. | Data | Descrizione | Redazione | Controllo | Approvazione |
|------|--------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| 0 | Gennaio 2023 | Prima Emissione | Ing. G. Macaluso | Ing. G. Macaluso | Ing. G. Macaluso |
| | | | | | |
| | | | | | |

IL PROGETTISTA

Ing. Giuseppe Macaluso

IL RUP

Geom. Giuseppe Chiappone

Approvazioni

Sommario

| | |
|--|----|
| Verifica Tamponature..... | 2 |
| 1.1 Introduzione | 2 |
| 1.2 Dati sismici..... | 2 |
| 1.3 Tipologie di tamponatura | 2 |
| 1.4 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto NE – fili 25-18-11/12-7-1..... | 3 |
| 1.5 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto NE – fili 25-18-11/12-7-1 | 4 |
| 1.6 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto NO – fili 11-12/1-2-3/4-5-6/16-17..... | 6 |
| 1.7 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto NO – fili 11-12/1-2-3/4-5-6/16-17..... | 7 |
| 1.8 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto SO – fili 3-4/6-10-15-16/17-22-24 | 9 |
| 1.9 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto SO – fili 3-4/6-10-15-16/17-22-24 | 10 |
| 1.10 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto SE – fili 24-23/21-20/27-26-25..... | 12 |
| 1.11 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto SE – fili 24-23/21-20/27-26-25..... | 13 |
| 1.12 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y– fili 20-27..... | 15 |
| 1.13 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y– fili 20-27... | 16 |
| 1.14 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y – fili 23-21..... | 18 |
| 1.15 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y– fili 23-21... | 19 |

Verifica Tamponature

VERIFICA FUORI PIANO DI PANNELLI DI TAMPONAMENTO

Ai sensi del par. 7.3.6.2 e 7.2.3 del D.M. 17/01/2018

1.1 Introduzione

La seguente relazione è relativa alla verifica delle tamponature secondo i paragrafi 7.3.6.2 e 7.2.3 del D.M. 17/01/2018. Secondo le "Norme Tecniche per le Costruzioni", gli elementi costruttivi senza funzione strutturale devono essere verificati sotto l'azione sismica F_a , al fine di evitare collassi fragili e prematuri e la possibile espulsione in merito allo *Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV)*.

L'azione sismica corrispondente allo *SLV*, calcolata per ogni pannello, viene elaborata considerando una probabilità di superamento nel periodo di riferimento pari a 10%, e verrà applicata nel baricentro di ogni tamponatura in direzione ortogonale al piano del telaio in modo da produrre spostamenti e sollecitazioni "fuori piano".

La verifica consisterà nel confronto tra le sollecitazioni resistenti con quelle di calcolo generate dall'azione sismica. In presenza di più strati resistenti (ad esempio per le tamponature a cassetta) si considera che gli strati siano collegati trasversalmente. Nel caso di un solo strato la connessione non è necessaria.

1.2 Dati sismici

Al fine di calcolare l'azione sismica *SLV* verranno utilizzati i seguenti parametri:

$$a_g/g = 0.193$$

$$F_0 = 2.403$$

$$Suolo = B$$

$$Cat. T. = T1$$

$$H = 3.9 \text{ m}$$

dove:

a_g/g : Accelerazione massima orizzontale al sito rapportata a g ;

F_0 : Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

Suolo : Categoria del sottosuolo di fondazione (Par. 3.2.2);

Cat. T. : Categoria topografica del sito (Par. 3.2.2);

H : Altezza edificio;

1.3 Tipologie di tamponatura

Le tipologie di tamponatura utilizzate nella struttura hanno le seguenti caratteristiche:

Tipologia N.1 (Tip Tamp (1))

| | |
|--------------------------------|--|
| Elementi | : Rigidamente connessa (es. tamp. in mattoni forati) |
| Descrizione | : Tamponatura in blocchi di laterizio $s=30$ cm |
| Tipo malta | : M2.5 |
| Resistenza malta (f_m) | : 2.50 N/mm ² |
| Resistenza blocco (f_{bk}) | : 2.50 N/mm ² |
| Peso | : 2.60 kN/m ² |

| Strato | Descrizione | Spessore cm | Peso kN/m ² | Connesso |
|--------|-------------------------|----------------|---------------------------|----------|
| 1 | Intonaco | 2.50 | 16.00 | NO |
| 2 | Blocco laterizio forato | 30.00 | 6.00 | SI |
| 3 | Intonaco | 2.50 | 16.00 | NO |

Gli strati considerati "connessi" contribuiscono sia come massa che come resistenza. I rimanenti strati si considerano solo come massa portata dagli strati connessi.

1.4 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto NE - fili 25-18-11/12-7-1

Per ogni pannello di tamponatura, l'azione sismica fuori piano è stata calcolata considerando le indicazioni del paragrafo 7.2.3 delle NTC. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$F_s = \frac{S_a \cdot W}{q_a}$$

dove, per il metodo "formulazione semplificata":

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / a \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / b \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

| | a | B | a_p |
|-----------------------|-----|-----|-------|
| $T_1 < 0,5 s$ | 0.8 | 1,4 | 5,0 |
| $0,5 s < T_1 < 1,0 s$ | 0.3 | 1,2 | 4,0 |
| $T_1 > 1,0 s$ | 0.3 | 1,0 | 2,5 |

S_s : coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo, pari a:

| Categoria sottosuolo | S_s |
|----------------------|---|
| A | 1.00 |
| B | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 F a_g / g \leq 1.20$ |
| C | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 F a_g / g \leq 1.50$ |
| D | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 F a_g / g \leq 1.80$ |
| E | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 F a_g / g \leq 1.60$ |

S_t : coefficiente che tiene conto della categoria topografica, pari a:

| Categoria topografica | S_t |
|-----------------------|-------|
| T1 | 1.00 |
| T2 | 1.20 |
| T3 | 1.20 |
| T4 | 1.40 |

T : periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 : periodo fondamentale di vibrazione della costruzione;

Z : quota del baricentro della tamponatura;

H_t : altezza della tamponatura;

q_a : fattore di comportamento dell'elemento;

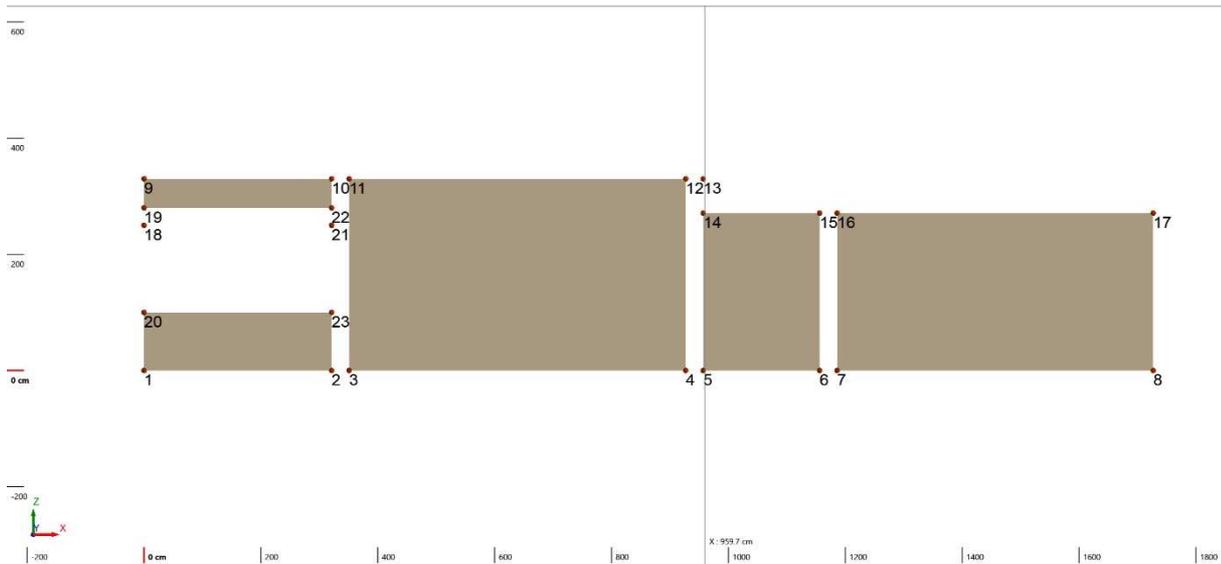
F_s : forza sismica agente sull'elemento;

Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;

Mod. acc. : modello di accelerazioni: "FS" se formulazione semplificata, "MV" se accelerazioni modi di vibrare;

Si riportano, per il caso in esame, le azioni sismiche per ogni pannello:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Mod. acc. | Z [cm] | H_t [cm] | T [sec] | T_1 [sec] | W [kN] | q_a | F_s [kN] |
|----------------------|-------|----------|------|-----------|--------|------------|-----------|-------------|----------|-------|------------|
| Tamp. 1 (11-3-4-12) | - | 1 | 1 | FS | 165.00 | 330.0 | 0.059 | 0.271 | 39.54 | 2 | 10.489 |
| Tamp. 2 (14-15-6-5) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.271 | 9.82 | 2 | 2.094 |
| Tamp. 3 (16-17-8-7) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.271 | 30.50 | 2 | 6.507 |
| Tamp. 4 (19-22-10-9) | - | 1 | 1 | FS | 305.00 | 50.0 | 0.001 | 0.271 | 4.17 | 2 | 0.87 |
| Tamp. 5 (1-2-23-20) | - | 1 | 1 | FS | 50.00 | 100.0 | 0.005 | 0.271 | 8.35 | 2 | 1.136 |



1.5 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto NE – fili 25-18-11/12-7-1

I pannelli rigidamente connessi, ovvero che interferiscono con la deformabilità della struttura, vengono verificati, utilizzando l'azione sismica "fuori piano", ipotizzando lo schema "dell'articolazione", tenendo conto del meccanismo resistente ad arco (Paulay, T., & Priestley, M. J. N., "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley & Sons, 1992), in base al quale sotto l'azione "fuori piano" si formano delle cerniere agli estremi del pannello e in mezzeria.

La verifica verrà effettuata confrontando il valore resistente della forza orizzontale (relativa allo schema di plasticizzazione) con la forza sismica agente sul pannello. La forza resistente viene calcolata mediante l'analisi plastica del modello iniziale vincolato con:

- Cerniera in testa
- Incastro al piede

Il modello finale, equilibrato dai momenti resistenti applicati al piede e in mezzeria presenta i seguenti vincoli:

- Cerniera in testa
- Cerniera in mezzeria
- Cerniera al piede

Il modello utilizzato è applicabile per le tamponature interamente confinate dal telaio in c.a., grazie all' meccanismo di resistenza "ad arco" che si oppone all'espulsione fuori dal piano. I parapetti vengono invece verificati come una mensola incastrata alla base e considerando, dopo la rottura, l'equilibrio a ribaltamento della stessa.

La verifica all'azione sismica ha esito positivo se:

$$F_s \leq F_u$$

La verifica ai carichi orizzontali H_k ha esito positivo se:

$$H_k \leq F_u \cdot H_k$$

dove:

- F_s : forza sismica agente sulla tamponatura;
- H_k : carico variabile totale orizzontale (punto 3.1.4.1) agente sulla tamponatura;
- F_u : forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione sismica);
- $F_u \cdot H_k$: Forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione H_k);
- Mu_p : momento resistente al piede del pannello;
- Mu_M : momento resistente in mezzeria del pannello;

I momenti resistenti sono calcolati mediante la seguente relazione:

$$M_r = \left(\frac{t^2 l_c \sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_m} \right)$$

dove:

- Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;
- Tipo Rinf. : tipologia di rinforzo associata ai pannelli;
- t : spessore della sezione da verificare considerando gli strati "connessi";
- l_c : lunghezza della sezione da verificare;
- σ_0 : tensione media agente sulla sezione calcolata come N/l_t ;
- f_m : resistenza unitaria della muratura;
- s : F_u/F_s ;

Si riportano i dati relativi alla verifica all'azione sismica dei singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_p [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u [kN] | F_s [kN] | s | Esito |
|----------------------|-------|----------|------|------------|-------------|---------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-------|-------|
| Tamp. 1 (11-3-4-12) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 576.0 | 0.80 | 5.731 | 2.915 | 14.014 | 10.489 | 1.34 | V |
| Tamp. 2 (14-15-6-5) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 199.0 | 0.80 | 1.437 | 0.727 | 4.267 | 2.094 | 2.04 | V |
| Tamp. 3 (16-17-8-7) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 541.0 | 0.80 | 4.448 | 2.256 | 13.224 | 6.507 | 2.03 | V |
| Tamp. 4 (19-22-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 321.0 | 0.80 | 0.622 | 0.312 | 9.967 | 0.87 | 11.46 | V |
| Tamp. 5 (1-2-23-20) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 321.0 | 0.80 | 1.236 | 0.622 | 9.919 | 1.136 | 8.74 | V |

Si riportano i dati relativi alla verifica ai carichi orizzontali H_k (punto 3.1.4.1 NTC) per i singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_p [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u-H_k [kN] | H_k [kN] | s | Esito |
|----------------------|-------|----------|------|------------|-------------|------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------|------|-------|
| Tamp. 1 (11-3-4-12) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 576.0 | 0.533 | 5.631 | 3.653 | 9.476 | 5.76 | 1.65 | V |
| Tamp. 2 (14-15-6-5) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 199.0 | 0.533 | 1.419 | 0.804 | 2.384 | 1.99 | 1.20 | V |
| Tamp. 3 (16-17-8-7) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 541.0 | 0.533 | 4.385 | 2.49 | 7.378 | 5.41 | 1.36 | V |
| Tamp. 4 (19-22-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 321.0 | 0.533 | 0.62 | 0.311 | 4.972 | 3.21 | 1.55 | V |
| Tamp. 5 (1-2-23-20) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 321.0 | 0.533 | 1.228 | 0.62 | 4.936 | 3.21 | 1.54 | V |

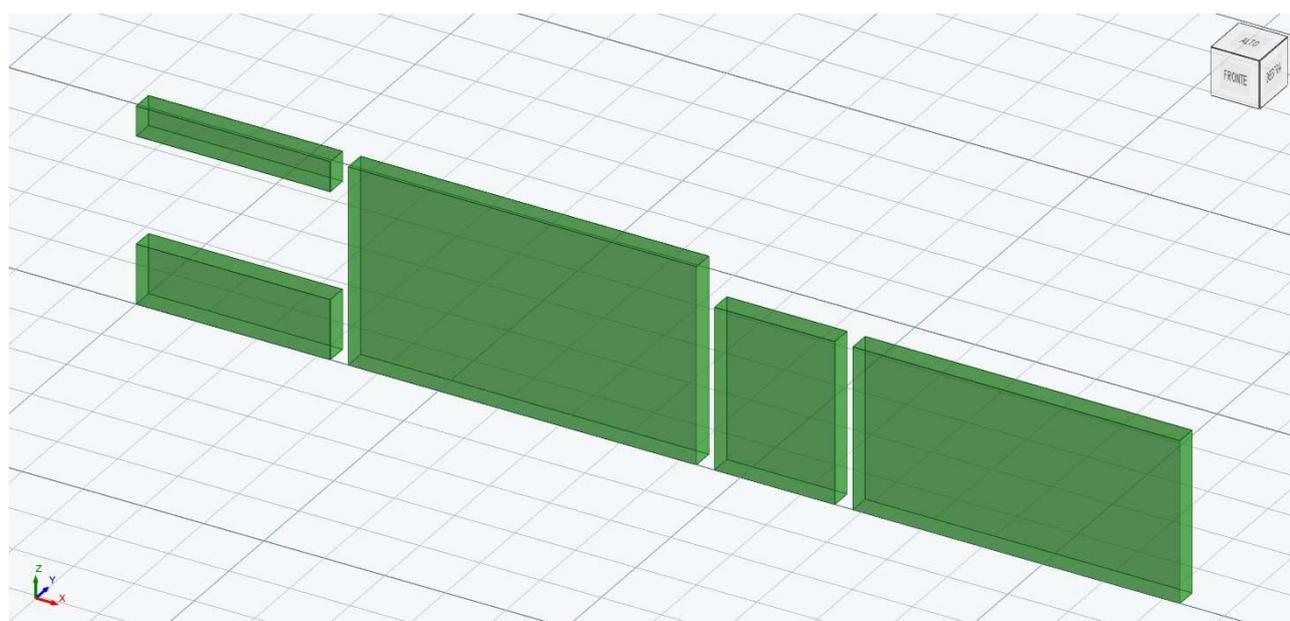


Figura 1 – vista 3D dei pannelli oggetto della verificata nella configurazione di progetto – esisto favorevole

1.6 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto NO - fili 11-12/1-2-3/4-5-6/16-17

Per ogni pannello di tamponatura, l'azione sismica fuori piano è stata calcolata considerando le indicazioni del paragrafo 7.2.3 delle NTC. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$F_s = \frac{S_a \cdot W}{q_a}$$

dove, per il metodo "formulazione semplificata":

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / a \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / b \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

| | α | B | a_p |
|---------------------------------------|----------|-----|-------|
| $T_1 < 0,5 \text{ s}$ | 0.8 | 1,4 | 5,0 |
| $0,5 \text{ s} < T_1 < 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,2 | 4,0 |
| $T_1 > 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,0 | 2,5 |

S_s : coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo, pari a:

| Categoria sottosuolo | S_s |
|----------------------|---|
| A | 1.00 |
| B | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 F a_g / g \leq 1.20$ |
| C | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 F a_g / g \leq 1.50$ |
| D | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 F a_g / g \leq 1.80$ |
| E | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 F a_g / g \leq 1.60$ |

S_t : coefficiente che tiene conto della categoria topografica, pari a:

| Categoria topografica | S_t |
|-----------------------|-------|
| T1 | 1.00 |
| T2 | 1.20 |
| T3 | 1.20 |
| T4 | 1.40 |

T : periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 : periodo fondamentale di vibrazione della costruzione;

Z : quota del baricentro della tamponatura;

H_t : altezza della tamponatura;

q_a : fattore di comportamento dell'elemento;

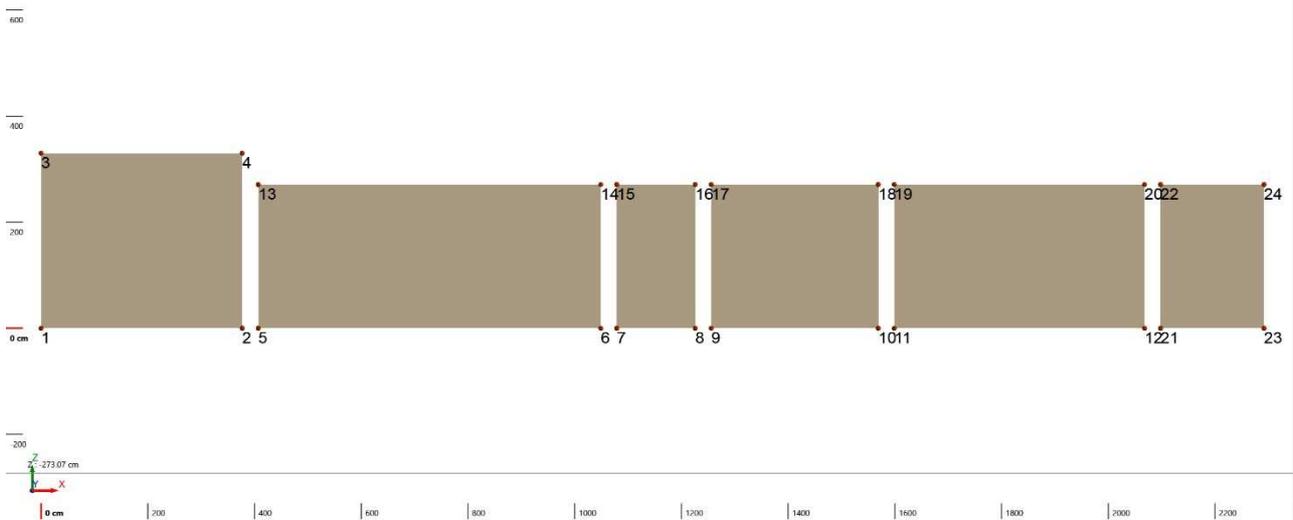
F_s : forza sismica agente sull'elemento;

Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;

Mod. acc. : modello di accelerazioni: "FS" se formulazione semplificata, "MV" se accelerazioni modi di vibrare;

Si riportano, per il caso in esame, le azioni sismiche per ogni pannello:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Mod. acc. | Z [cm] | H_t [cm] | T [sec] | T_1 [sec] | W [kN] | q_a | F_s [kN] |
|-----------------------|-------|----------|------|-----------|--------|------------|-----------|-------------|----------|-------|------------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | FS | 165.00 | 330.0 | 0.059 | 0.204 | 21.03 | 2 | 6.625 |
| Tamp. 2 (5-6-14-13) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.204 | 40.71 | 2 | 9.699 |
| Tamp. 3 (7-8-16-15) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.204 | 6.21 | 2 | 1.48 |
| Tamp. 4 (9-10-18-17) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.204 | 17.64 | 2 | 4.203 |
| Tamp. 5 (19-20-12-11) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.204 | 33.05 | 2 | 7.872 |
| Tamp. 6 (22-21-23-24) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.204 | 13.67 | 2 | 3.256 |



1.7 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto NO – fili 11-12/1-2-3/4-5-6/16-17

I pannelli rigidamente connessi, ovvero che interferiscono con la deformabilità della struttura, vengono verificati, utilizzando l'azione sismica "fuori piano", ipotizzando lo schema "dell'articolazione", tenendo conto del meccanismo resistente ad arco (Paulay, T., & Priestley, M. J. N., "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley & Sons, 1992), in base al quale sotto l'azione "fuori piano" si formano delle cerniere agli estremi del pannello e in mezzeria.

La verifica verrà effettuata confrontando il valore resistente della forza orizzontale (relativa allo schema di plasticizzazione) con la forza sismica agente sul pannello. La forza resistente viene calcolata mediante l'analisi plastica del modello iniziale vincolato con:

- Cerniera in testa
- Incastro al piede

Il modello finale, equilibrato dai momenti resistenti applicati al piede e in mezzeria presenta i seguenti vincoli:

- Cerniera in testa
- Cerniera in mezzeria
- Cerniera al piede

Il modello utilizzato è applicabile per le tamponature interamente confinate dal telaio in c.a., grazie all'meccanismo di resistenza "ad arco" che si oppone all'espulsione fuori dal piano. I parapetti vengono invece verificati come una mensola incastrata alla base e considerando, dopo la rottura, l'equilibrio a ribaltamento della stessa.

La verifica all'azione sismica ha esito positivo se:

$$F_s \leq F_u$$

La verifica ai carichi orizzontali H_k ha esito positivo se:

$$H_k \leq F_u \cdot H_k$$

dove:

- F_s : forza sismica agente sulla tamponatura;
- H_k : carico variabile totale orizzontale (punto 3.1.4.1) agente sulla tamponatura;
- F_u : forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione sismica);
- $F_u \cdot H_k$: Forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione H_k);
- Mu_P : momento resistente al piede del pannello;
- Mu_M : momento resistente in mezzeria del pannello;

I momenti resistenti sono calcolati mediante la seguente relazione:

$$M_r = \left(\frac{t^2 l_c \sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_m} \right)$$

dove:

- Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;
- Tipo Rinf. : tipologia di rinforzo associata ai pannelli;
- t : spessore della sezione da verificare considerando gli strati "connessi";
- l_c : lunghezza della sezione da verificare;
- σ_0 : tensione media agente sulla sezione calcolata come N/l_t ;
- f_m : resistenza unitaria della muratura;
- s : F_u/F_s ;

Si riportano i dati relativi alla verifica all'azione sismica dei singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_p [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u [kN] | F_s [kN] | s | Esito |
|-----------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|------------|------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 377.0 | 0.80 | 3.068 | 1.555 | 7.489 | 6.625 | 1.13 | V |
| Tamp. 2 (5-6-14-13) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 642.0 | 0.80 | 5.917 | 3.006 | 17.607 | 9.699 | 1.82 | V |
| Tamp. 3 (7-8-16-15) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 147.0 | 0.80 | 0.913 | 0.461 | 2.709 | 1.48 | 1.83 | V |
| Tamp. 4 (9-10-18-17) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 313.0 | 0.80 | 2.573 | 1.305 | 7.651 | 4.203 | 1.82 | V |
| Tamp. 5 (19-20-12-11) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 469.0 | 0.80 | 4.786 | 2.436 | 14.254 | 7.872 | 1.81 | V |
| Tamp. 6 (22-21-23-24) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 194.0 | 0.80 | 1.98 | 1.007 | 5.896 | 3.256 | 1.81 | V |

Si riportano i dati relativi alla verifica ai carichi orizzontali H_k (punto 3.1.4.1 NTC) per i singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_p [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u-H_k [kN] | H_k [kN] | s | Esito |
|-----------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|----------------|------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 377.0 | 0.533 | 3.024 | 1.955 | 5.08 | 3.77 | 1.35 | V |
| Tamp. 2 (5-6-14-13) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 642.0 | 0.533 | 5.822 | 3.314 | 9.808 | 6.42 | 1.53 | V |
| Tamp. 3 (7-8-16-15) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 147.0 | 0.533 | 0.903 | 0.51 | 1.516 | 1.47 | 1.03 | V |
| Tamp. 4 (9-10-18-17) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 313.0 | 0.533 | 2.537 | 1.441 | 4.268 | 3.13 | 1.36 | V |
| Tamp. 5 (19-20-12-11) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 469.0 | 0.533 | 4.70 | 2.682 | 7.928 | 4.69 | 1.69 | V |
| Tamp. 6 (22-21-23-24) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 194.0 | 0.533 | 1.944 | 1.109 | 3.279 | 1.94 | 1.69 | V |

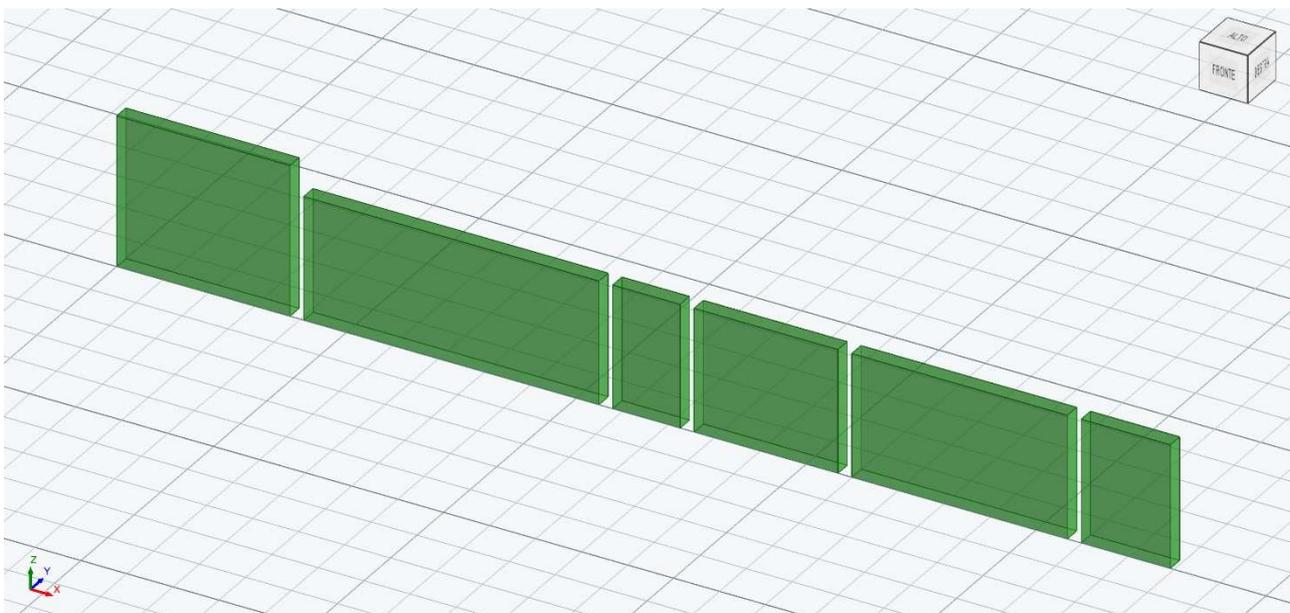


Figura 2 – vista 3D dei pannelli oggetto della verificata nella configurazione di progetto – esisto favorevole

1.8 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto SO - fili 3-4/6-10-15-16/17-22-24

Per ogni pannello di tamponatura, l'azione sismica fuori piano è stata calcolata considerando le indicazioni del paragrafo 7.2.3 delle NTC. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$F_s = \frac{S_a \cdot W}{q_a}$$

dove, per il metodo "formulazione semplificata":

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / a \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / b \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

| | α | B | a_p |
|---------------------------------------|----------|-----|-------|
| $T_1 < 0,5 \text{ s}$ | 0.8 | 1,4 | 5,0 |
| $0,5 \text{ s} < T_1 < 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,2 | 4,0 |
| $T_1 > 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,0 | 2,5 |

S_s : coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo, pari a:

| Categoria sottosuolo | S_s |
|----------------------|---|
| A | 1.00 |
| B | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 F a_g / g \leq 1.20$ |
| C | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 F a_g / g \leq 1.50$ |
| D | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 F a_g / g \leq 1.80$ |
| E | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 F a_g / g \leq 1.60$ |

S_t : coefficiente che tiene conto della categoria topografica, pari a:

| Categoria topografica | S_t |
|-----------------------|-------|
| T1 | 1.00 |
| T2 | 1.20 |
| T3 | 1.20 |
| T4 | 1.40 |

T : periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 : periodo fondamentale di vibrazione della costruzione;

Z : quota del baricentro della tamponatura;

H_t : altezza della tamponatura;

q_a : fattore di comportamento dell'elemento;

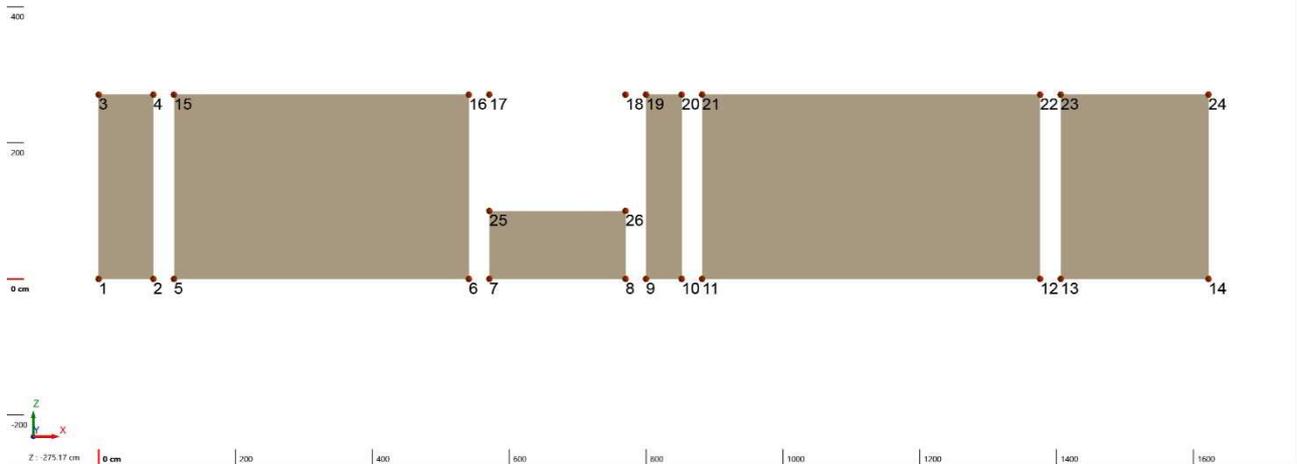
F_s : forza sismica agente sull'elemento;

Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;

Mod. acc. : modello di accelerazioni: "FS" se formulazione semplificata, "MV" se accelerazioni modi di vibrare;

Si riportano, per il caso in esame, le azioni sismiche per ogni pannello:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Mod. acc. | Z [cm] | H_t [cm] | T [sec] | T_1 [sec] | W [kN] | q_a | F_s [kN] |
|-----------------------|-------|----------|------|-----------|-------------|---------------|--------------|----------------|-------------|-------|---------------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.271 | 3.66 | 2 | 0.782 |
| Tamp. 2 (15-16-6-5) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.271 | 22.78 | 2 | 4.86 |
| Tamp. 3 (19-20-10-9) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.271 | 3.66 | 2 | 0.782 |
| Tamp. 4 (21-22-12-11) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.271 | 24.37 | 2 | 5.199 |
| Tamp. 5 (23-24-14-13) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.271 | 15.22 | 2 | 3.247 |
| Tamp. 6 (25-7-8-26) | - | 1 | 1 | FS | 50.00 | 100.0 | 0.005 | 0.271 | 5.17 | 2 | 0.704 |



1.9 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y prospetto SO – fili 3-4/6-10-15-16/17-22-24

I pannelli rigidamente connessi, ovvero che interferiscono con la deformabilità della struttura, vengono verificati, utilizzando l'azione sismica "fuori piano", ipotizzando lo schema "dell'articolazione", tenendo conto del meccanismo resistente ad arco (Paulay, T., & Priestley, M. J. N., "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley & Sons, 1992), in base al quale sotto l'azione "fuori piano" si formano delle cerniere agli estremi del pannello e in mezzeria.

La verifica verrà effettuata confrontando il valore resistente della forza orizzontale (relativa allo schema di plasticizzazione) con la forza sismica agente sul pannello. La forza resistente viene calcolata mediante l'analisi plastica del modello iniziale vincolato con:

- Cerniera in testa
- Incastro al piede

Il modello finale, equilibrato dai momenti resistenti applicati al piede e in mezzeria presenta i seguenti vincoli:

- Cerniera in testa
- Cerniera in mezzeria
- Cerniera al piede

Il modello utilizzato è applicabile per le tamponature interamente confinate dal telaio in c.a., grazie all' meccanismo di resistenza "ad arco" che si oppone all'espulsione fuori dal piano. I parapetti vengono invece verificati come una mensola incastrata alla base e considerando, dopo la rottura, l'equilibrio a ribaltamento della stessa.

La verifica all'azione sismica ha esito positivo se:

$$F_s \leq F_u$$

La verifica ai carichi orizzontali H_k ha esito positivo se:

$$H_k \leq F_u \cdot H_k$$

dove:

- F_s : forza sismica agente sulla tamponatura;
- H_k : carico variabile totale orizzontale (punto 3.1.4.1) agente sulla tamponatura;
- F_u : forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione sismica);
- $F_u \cdot H_k$: Forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione H_k);
- Mu_p : momento resistente al piede del pannello;
- Mu_M : momento resistente in mezzeria del pannello;

I momenti resistenti sono calcolati mediante la seguente relazione:

$$M_r = \left(\frac{t^2 l_c \sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_m} \right)$$

dove:

- Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;
- Tipo Rinf. : tipologia di rinforzo associata ai pannelli;
- t : spessore della sezione da verificare considerando gli strati "connessi";
- l_c : lunghezza della sezione da verificare;
- σ_0 : tensione media agente sulla sezione calcolata come N/l_t ;
- f_m : resistenza unitaria della muratura;
- s : F_u/F_s ;

Si riportano i dati relativi alla verifica all'azione sismica dei singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u [kN] | F_s [kN] | s | Esito |
|-----------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|------------|------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 80.0 | 0.80 | 0.537 | 0.272 | 1.595 | 0.782 | 2.04 | V |
| Tamp. 2 (15-16-6-5) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 431.0 | 0.80 | 3.328 | 1.686 | 9.889 | 4.86 | 2.03 | V |
| Tamp. 3 (19-20-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 52.0 | 0.80 | 0.531 | 0.27 | 1.58 | 0.782 | 2.02 | V |
| Tamp. 4 (21-22-12-11) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 494.0 | 0.80 | 3.566 | 1.805 | 10.593 | 5.199 | 2.04 | V |
| Tamp. 5 (23-24-14-13) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 216.0 | 0.80 | 2.204 | 1.122 | 6.565 | 3.247 | 2.02 | V |
| Tamp. 6 (25-7-8-26) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 199.0 | 0.80 | 0.766 | 0.386 | 6.149 | 0.704 | 8.74 | V |

Si riportano i dati relativi alla verifica ai carichi orizzontali H_k (punto 3.1.4.1 NTC) per i singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u-H_k [kN] | H_k [kN] | s | Esito |
|-----------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|----------------|------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 80.0 | 0.533 | 0.531 | 0.30 | 0.892 | 0.80 | 1.11 | V |
| Tamp. 2 (15-16-6-5) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 431.0 | 0.533 | 3.284 | 1.862 | 5.522 | 4.31 | 1.28 | V |
| Tamp. 3 (19-20-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 52.0 | 0.533 | 0.521 | 0.297 | 0.879 | 0.52 | 1.69 | V |
| Tamp. 4 (21-22-12-11) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 494.0 | 0.533 | 3.522 | 1.995 | 5.919 | 4.94 | 1.20 | V |
| Tamp. 5 (23-24-14-13) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 216.0 | 0.533 | 2.165 | 1.235 | 3.651 | 2.16 | 1.69 | V |
| Tamp. 6 (25-7-8-26) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 199.0 | 0.533 | 0.761 | 0.384 | 3.06 | 1.99 | 1.54 | V |

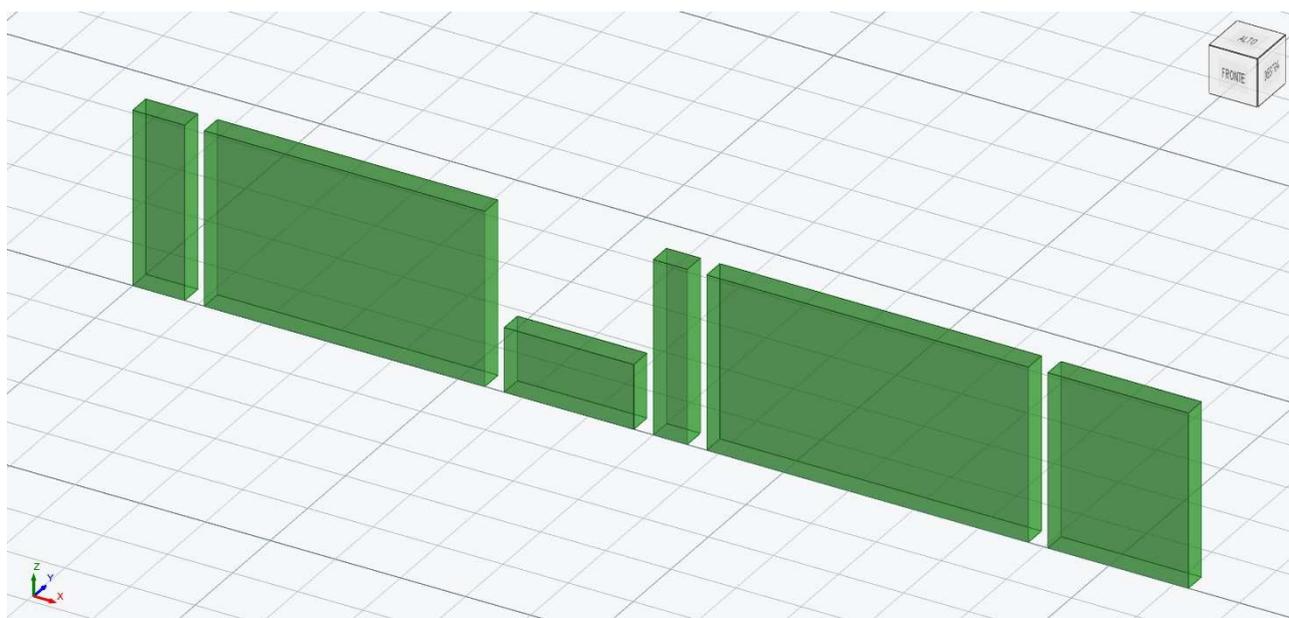


Figura 3 – vista 3D dei pannelli oggetto della verificata nella configurazione di progetto – esisto favorevole

1.10 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto SE - fili 24-23/21-20/27-26-25

Per ogni pannello di tamponatura, l'azione sismica fuori piano è stata calcolata considerando le indicazioni del paragrafo 7.2.3 delle NTC. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$F_s = \frac{S_a \cdot W}{q_a}$$

dove, per il metodo "formulazione semplificata":

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a/a \cdot T_1\right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a/b \cdot T_1\right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

| | α | B | a_p |
|---------------------------------------|----------|-----|-------|
| $T_1 < 0,5 \text{ s}$ | 0.8 | 1,4 | 5,0 |
| $0,5 \text{ s} < T_1 < 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,2 | 4,0 |
| $T_1 > 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,0 | 2,5 |

S_s : coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo, pari a:

| Categoria sottosuolo | S_s |
|----------------------|---|
| A | 1.00 |
| B | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 F a_g/g \leq 1.20$ |
| C | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 F a_g/g \leq 1.50$ |
| D | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 F a_g/g \leq 1.80$ |
| E | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 F a_g/g \leq 1.60$ |

S_t : coefficiente che tiene conto della categoria topografica, pari a:

| Categoria topografica | S_t |
|-----------------------|-------|
| T1 | 1.00 |
| T2 | 1.20 |
| T3 | 1.20 |
| T4 | 1.40 |

T : periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 : periodo fondamentale di vibrazione della costruzione;

Z : quota del baricentro della tamponatura;

H_t : altezza della tamponatura;

q_a : fattore di comportamento dell'elemento;

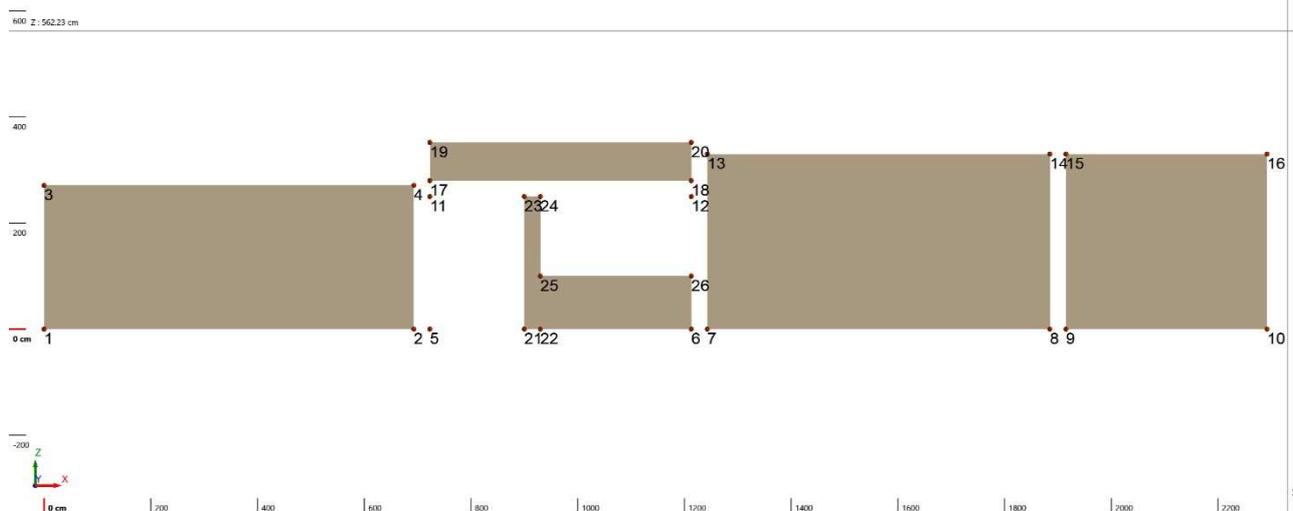
F_s : forza sismica agente sull'elemento;

Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;

Mod. acc. : modello di accelerazioni: "FS" se formulazione semplificata, "MV" se accelerazioni modi di vibrare;

Si riportano, per il caso in esame, le azioni sismiche per ogni pannello:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Mod. acc. | Z [cm] | H_t [cm] | T [sec] | T_1 [sec] | W [kN] | q_a | F_s [kN] |
|--------------------------|-------|----------|------|-----------|--------|------------|---------|-------------|--------|-------|------------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | FS | 135.50 | 271.0 | 0.04 | 0.204 | 29.30 | 2 | 6.979 |
| Tamp. 2 (13-14-8-7) | - | 1 | 1 | FS | 165.00 | 330.0 | 0.059 | 0.204 | 46.82 | 2 | 14.752 |
| Tamp. 3 (15-16-10-9) | - | 1 | 1 | FS | 165.00 | 330.0 | 0.059 | 0.204 | 22.64 | 2 | 7.134 |
| Tamp. 4 (19-20-18-17) | - | 1 | 1 | FS | 316.00 | 72.0 | 0.003 | 0.204 | 9.17 | 2 | 1.977 |
| Tamp. 5 (22-6-26-25) | - | 1 | 1 | FS | 50.00 | 100.0 | 0.005 | 0.204 | 7.36 | 2 | 1.015 |
| Tamp. 6 (23-21-22-25-24) | - | 1 | 1 | FS | 125.00 | 250.0 | 0.034 | 0.204 | 1.95 | 2 | 0.426 |



1.11 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione X prospetto SE – fili 24-23/21-20/27-26-25

I pannelli rigidamente connessi, ovvero che interferiscono con la deformabilità della struttura, vengono verificati, utilizzando l'azione sismica "fuori piano", ipotizzando lo schema "dell'articolazione", tenendo conto del meccanismo resistente ad arco (Paulay, T., & Priestley, M. J. N., "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley & Sons, 1992), in base al quale sotto l'azione "fuori piano" si formano delle cerniere agli estremi del pannello e in mezzeria.

La verifica verrà effettuata confrontando il valore resistente della forza orizzontale (relativa allo schema di plasticizzazione) con la forza sismica agente sul pannello. La forza resistente viene calcolata mediante l'analisi plastica del modello iniziale vincolato con:

- Cerniera in testa
- Incastro al piede

Il modello finale, equilibrato dai momenti resistenti applicati al piede e in mezzeria presenta i seguenti vincoli:

- Cerniera in testa
- Cerniera in mezzeria
- Cerniera al piede

Il modello utilizzato è applicabile per le tamponature interamente confinate dal telaio in c.a., grazie all' meccanismo di resistenza "ad arco" che si oppone all'espulsione fuori dal piano. I parapetti vengono invece verificati come una mensola incastrata alla base e considerando, dopo la rottura, l'equilibrio a ribaltamento della stessa.

La verifica all'azione sismica ha esito positivo se:

$$F_s \leq F_u$$

La verifica ai carichi orizzontali H_k ha esito positivo se:

$$H_k \leq F_u \cdot H_k$$

dove:

- F_s : forza sismica agente sulla tamponatura;
- H_k : carico variabile totale orizzontale (punto 3.1.4.1) agente sulla tamponatura;
- F_u : forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione sismica);
- $F_u \cdot H_k$: Forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione H_k);
- Mu_p : momento resistente al piede del pannello;
- Mu_M : momento resistente in mezzeria del pannello;

I momenti resistenti sono calcolati mediante la seguente relazione:

$$M_r = \left(\frac{t^2 l_c \sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_m} \right)$$

dove:

- Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;
- Tipo Rinf. : tipologia di rinforzo associata ai pannelli;
- t : spessore della sezione da verificare considerando gli strati "connessi";
- l_c : lunghezza della sezione da verificare;
- σ_0 : tensione media agente sulla sezione calcolata come N/l_t ;
- f_m : resistenza unitaria della muratura;
- s : F_u/F_s ;

Si riportano i dati relativi alla verifica all'azione sismica dei singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u [kN] | F_s [kN] | s | Esito |
|--------------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|------------|------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 693.0 | 0.80 | 4.304 | 2.175 | 12.771 | 6.979 | 1.83 | V |
| Tamp. 2 (13-14-8-7) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 642.0 | 0.80 | 6.772 | 3.449 | 16.569 | 14.752 | 1.12 | V |
| Tamp. 3 (15-16-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 377.0 | 0.80 | 3.296 | 1.673 | 8.052 | 7.134 | 1.13 | V |
| Tamp. 4 (19-20-18-17) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 490.0 | 0.80 | 1.363 | 0.685 | 15.183 | 1.977 | 7.68 | V |
| Tamp. 5 (22-6-26-25) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 283.0 | 0.80 | 1.09 | 0.548 | 8.745 | 1.015 | 8.62 | V |
| Tamp. 6 (23-21-22-25-24) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 30.0 | 0.80 | 0.283 | 0.144 | 0.914 | 0.426 | 2.15 | V |

Si riportano i dati relativi alla verifica ai carichi orizzontali H_k (punto 3.1.4.1 NTC) per i singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u-H_k [kN] | H_k [kN] | s | Esito |
|--------------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|----------------|------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 693.0 | 0.533 | 4.258 | 2.406 | 7.147 | 6.93 | 1.03 | V |
| Tamp. 2 (13-14-8-7) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 642.0 | 0.533 | 6.647 | 4.317 | 11.192 | 6.42 | 1.74 | V |
| Tamp. 3 (15-16-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 377.0 | 0.533 | 3.246 | 2.101 | 5.456 | 3.77 | 1.45 | V |
| Tamp. 4 (19-20-18-17) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 490.0 | 0.533 | 1.357 | 0.683 | 7.565 | 4.90 | 1.54 | V |
| Tamp. 5 (22-6-26-25) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 283.0 | 0.533 | 1.083 | 0.547 | 4.351 | 2.83 | 1.54 | V |
| Tamp. 6 (23-21-22-25-24) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 30.0 | 0.533 | 0.279 | 0.148 | 0.47 | 0.30 | 1.57 | V |

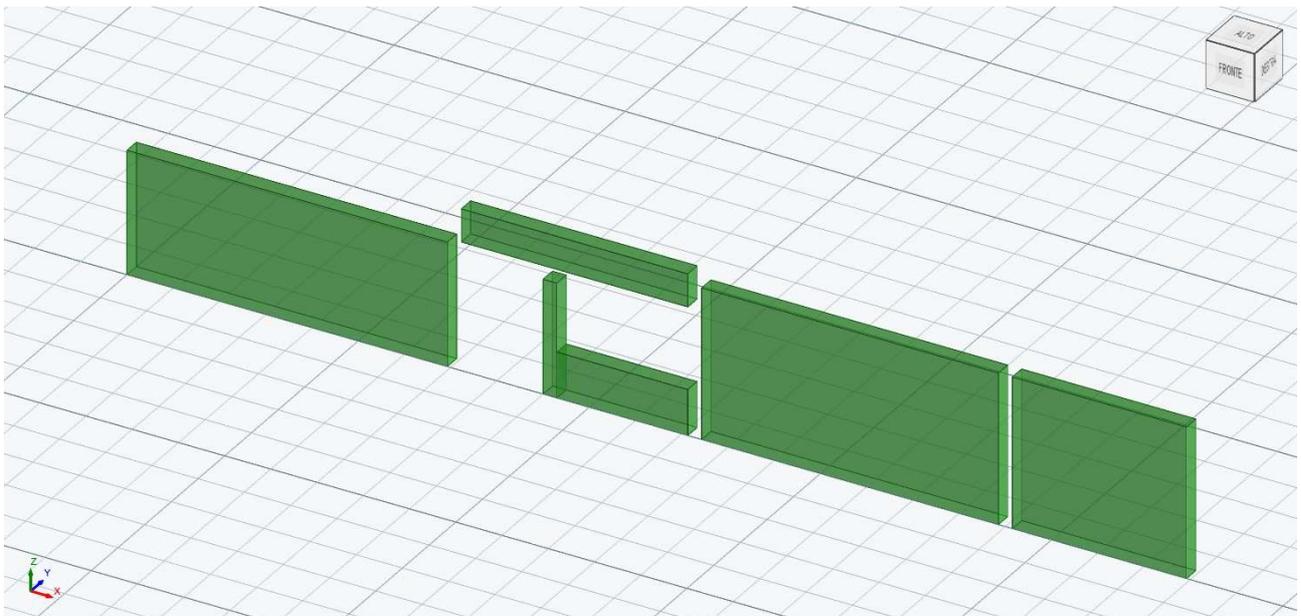


Figura 4 – vista 3D dei pannelli oggetto della verificata nella configurazione di progetto – esito favorevole

1.12 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y- fili 20-27

Per ogni pannello di tamponatura, l'azione sismica fuori piano è stata calcolata considerando le indicazioni del paragrafo 7.2.3 delle NTC. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$F_s = \frac{S_a \cdot W}{q_a}$$

dove, per il metodo "formulazione semplificata":

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / a \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / b \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

| | a | B | a_p |
|---------------------------------------|----------|----------|----------------------|
| $T_1 < 0,5 \text{ s}$ | 0.8 | 1,4 | 5,0 |
| $0,5 \text{ s} < T_1 < 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,2 | 4,0 |
| $T_1 > 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,0 | 2,5 |

S_s : coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo, pari a:

| Categoria sottosuolo | S_s |
|----------------------|---|
| A | 1.00 |
| B | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 F a_g / g \leq 1.20$ |
| C | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 F a_g / g \leq 1.50$ |
| D | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 F a_g / g \leq 1.80$ |
| E | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 F a_g / g \leq 1.60$ |

S_t : coefficiente che tiene conto della categoria topografica, pari a:

| Categoria topografica | S_t |
|-----------------------|-------|
| T1 | 1.00 |
| T2 | 1.20 |
| T3 | 1.20 |
| T4 | 1.40 |

T : periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 : periodo fondamentale di vibrazione della costruzione;

Z : quota del baricentro della tamponatura;

H_t : altezza della tamponatura;

q_a : fattore di comportamento dell'elemento;

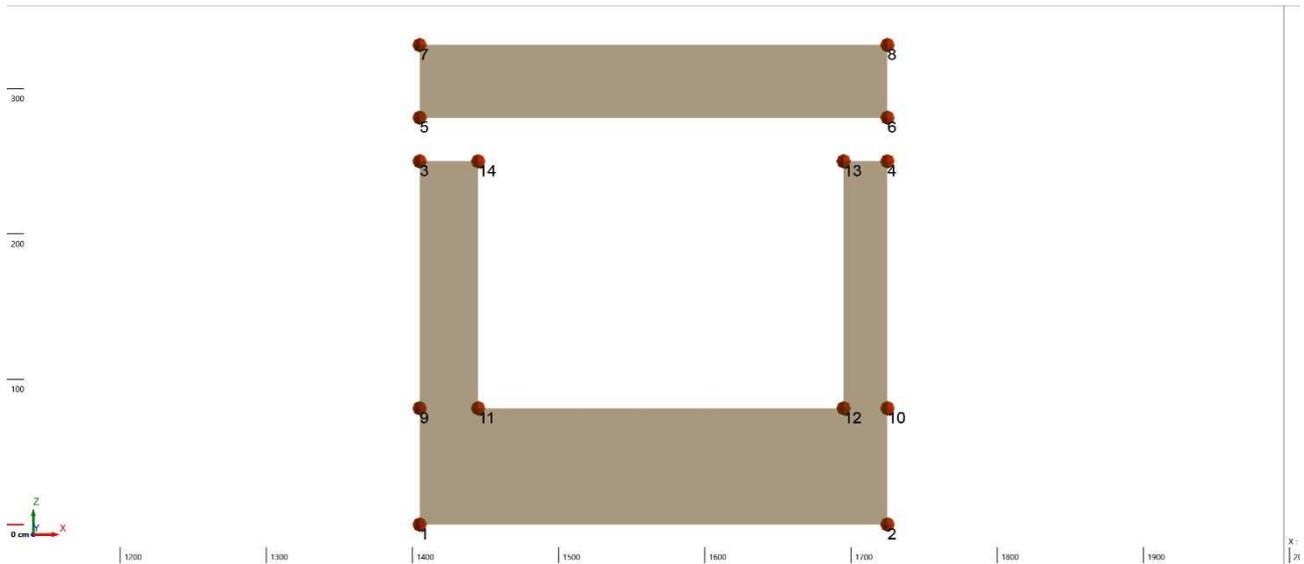
F_s : forza sismica agente sull'elemento;

Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;

Mod. acc. : modello di accelerazioni: "FS" se formulazione semplificata, "MV" se accelerazioni modi di vibrare;

Si riportano, per il caso in esame, le azioni sismiche per ogni pannello:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Mod. acc. | Z [cm] | H_t [cm] | T [sec] | T_1 [sec] | W [kN] | q_a | F_s [kN] |
|----------------------|-------|----------|------|-----------|--------|------------|-----------|-------------|----------|-------|------------|
| Tamp. 1 (7-8-6-5) | - | 1 | 1 | FS | 305.00 | 50.0 | 0.001 | 0.271 | 4.16 | 2 | 0.867 |
| Tamp. 2 (1-2-10-9) | - | 1 | 1 | FS | 40.00 | 80.0 | 0.003 | 0.271 | 6.66 | 2 | 0.872 |
| Tamp. 3 (3-9-11-14) | - | 1 | 1 | FS | 165.00 | 170.0 | 0.016 | 0.271 | 1.77 | 2 | 0.328 |
| Tamp. 4 (13-12-10-4) | - | 1 | 1 | FS | 165.00 | 170.0 | 0.016 | 0.271 | 1.33 | 2 | 0.246 |



1.13 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y- fili 20-27

I pannelli rigidamente connessi, ovvero che interferiscono con la deformabilità della struttura, vengono verificati, utilizzando l'azione sismica "fuori piano", ipotizzando lo schema "dell'articolazione", tenendo conto del meccanismo resistente ad arco (Paulay, T., & Priestley, M. J. N., "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley & Sons, 1992), in base al quale sotto l'azione "fuori piano" si formano delle cerniere agli estremi del pannello e in mezzeria.

La verifica verrà effettuata confrontando il valore resistente della forza orizzontale (relativa allo schema di plasticizzazione) con la forza sismica agente sul pannello. La forza resistente viene calcolata mediante l'analisi plastica del modello iniziale vincolato con:

- Cerniera in testa
- Incastro al piede

Il modello finale, equilibrato dai momenti resistenti applicati al piede e in mezzeria presenta i seguenti vincoli:

- Cerniera in testa
- Cerniera in mezzeria
- Cerniera al piede

Il modello utilizzato è applicabile per le tamponature interamente confinate dal telaio in c.a., grazie all'meccanismo di resistenza "ad arco" che si oppone all'espulsione fuori dal piano. I parapetti vengono invece verificati come una mensola incastrata alla base e considerando, dopo la rottura, l'equilibrio a ribaltamento della stessa.

La verifica all'azione sismica ha esito positivo se:

$$F_s \leq F_u$$

La verifica ai carichi orizzontali H_k ha esito positivo se:

$$H_k \leq F_u \cdot H_k$$

dove:

- F_s : forza sismica agente sulla tamponatura;
- H_k : carico variabile totale orizzontale (punto 3.1.4.1) agente sulla tamponatura;
- F_u : forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione sismica);
- $F_u \cdot H_k$: Forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione H_k);
- Mu_p : momento resistente al piede del pannello;
- Mu_M : momento resistente in mezzeria del pannello;

I momenti resistenti sono calcolati mediante la seguente relazione:

$$M_r = \left(\frac{t^2 l_c \sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_m} \right)$$

dove:

- Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;
- Tipo Rinf. : tipologia di rinforzo associata ai pannelli;
- t : spessore della sezione da verificare considerando gli strati "connessi";
- l_c : lunghezza della sezione da verificare;
- σ_0 : tensione media agente sulla sezione calcolata come N/l_t ;
- f_m : resistenza unitaria della muratura;
- s : F_u/F_s ;

Si riportano i dati relativi alla verifica all'azione sismica dei singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u [kN] | F_s [kN] | s | Esito |
|----------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|------------|------------|-------|-------|
| Tamp. 1 (7-8-6-5) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 320.0 | 0.80 | 0.62 | 0.311 | 9.936 | 0.867 | 11.46 | V |
| Tamp. 2 (1-2-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 320.0 | 0.80 | 0.988 | 0.497 | 9.908 | 0.872 | 11.36 | V |
| Tamp. 3 (3-9-11-14) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 40.0 | 0.80 | 0.259 | 0.131 | 1.228 | 0.328 | 3.74 | V |
| Tamp. 4 (13-12-10-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 30.0 | 0.80 | 0.195 | 0.098 | 0.921 | 0.246 | 3.74 | V |

Si riportano i dati relativi alla verifica ai carichi orizzontali H_k (punto 3.1.4.1 NTC) per i singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | $F_u H_k$ [kN] | H_k [kN] | s | Esito |
|----------------------|-------|----------|------|------------|----------|------------|----------------------------|--------------|--------------|----------------|------------|------|-------|
| Tamp. 1 (7-8-6-5) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 320.0 | 0.533 | 0.618 | 0.311 | 4.956 | 3.20 | 1.55 | V |
| Tamp. 2 (1-2-10-9) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 320.0 | 0.533 | 0.983 | 0.495 | 4.935 | 3.20 | 1.54 | V |
| Tamp. 3 (3-9-11-14) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 40.0 | 0.533 | 0.257 | 0.077 | 0.433 | 0.40 | 1.08 | V |
| Tamp. 4 (13-12-10-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 30.0 | 0.533 | 0.192 | 0.058 | 0.325 | 0.30 | 1.08 | V |

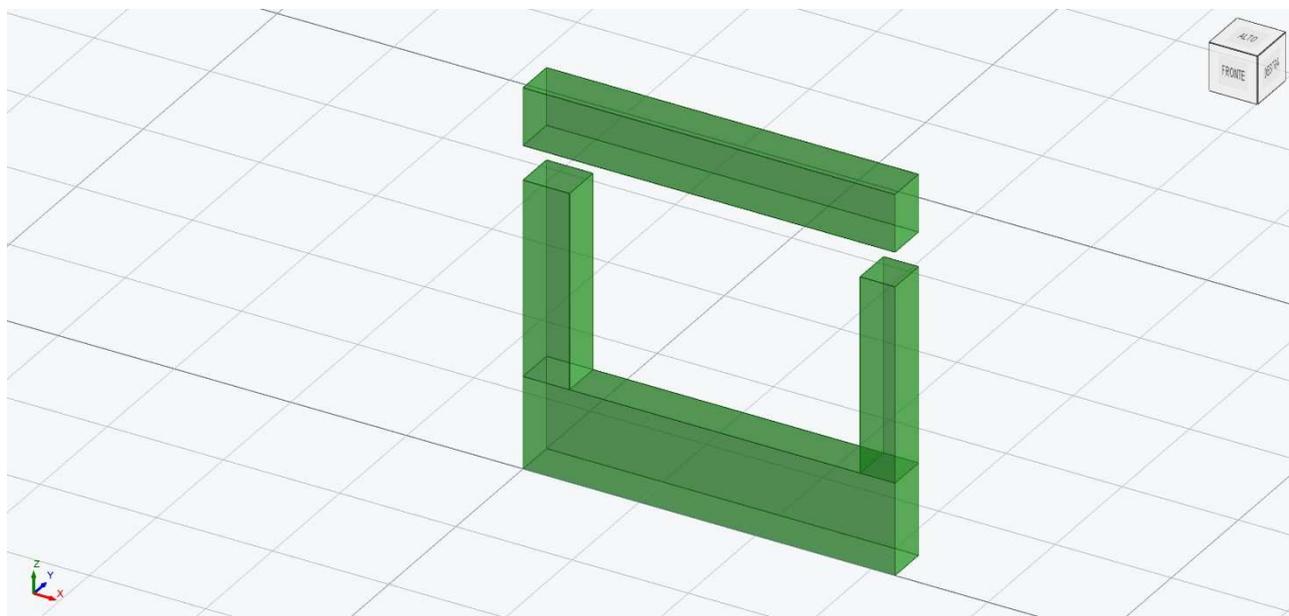


Figura 5 – vista 3D dei pannelli oggetto della verificata nella configurazione di progetto – esisto favorevole

1.14 Calcolo dell'azione sismica per le Tamponature dei telai in direzione Y - fili 23-21

Per ogni pannello di tamponatura, l'azione sismica fuori piano è stata calcolata considerando le indicazioni del paragrafo 7.2.3 delle NTC. La formulazione utilizzata è la seguente:

$$F_s = \frac{S_a \cdot W}{q_a}$$

dove, per il metodo "formulazione semplificata":

$$S_a(T_a) = \begin{cases} \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / a \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a < a \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot a_p & \text{per } a \cdot T_1 < T_a < b \cdot T_1 \\ \alpha \cdot S \cdot (1 + z/H) \cdot \left[\frac{a_p}{1 + (a_p - 1) \left(1 - T_a / b \cdot T_1 \right)^2} \right] \geq \alpha \cdot S & \text{per } T_a \geq b \cdot T_1 \end{cases}$$

| | a | B | a_p |
|---------------------------------------|----------|----------|----------------------|
| $T_1 < 0,5 \text{ s}$ | 0.8 | 1,4 | 5,0 |
| $0,5 \text{ s} < T_1 < 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,2 | 4,0 |
| $T_1 > 1,0 \text{ s}$ | 0.3 | 1,0 | 2,5 |

S_s : coefficiente che tiene conto della categoria del sottosuolo, pari a:

| Categoria sottosuolo | S_s |
|----------------------|---|
| A | 1.00 |
| B | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 F a_g / g \leq 1.20$ |
| C | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 F a_g / g \leq 1.50$ |
| D | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 F a_g / g \leq 1.80$ |
| E | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 F a_g / g \leq 1.60$ |

S_t : coefficiente che tiene conto della categoria topografica, pari a:

| Categoria topografica | S_t |
|-----------------------|-------|
| T1 | 1.00 |
| T2 | 1.20 |
| T3 | 1.20 |
| T4 | 1.40 |

T : periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 : periodo fondamentale di vibrazione della costruzione;

Z : quota del baricentro della tamponatura;

H_t : altezza della tamponatura;

q_a : fattore di comportamento dell'elemento;

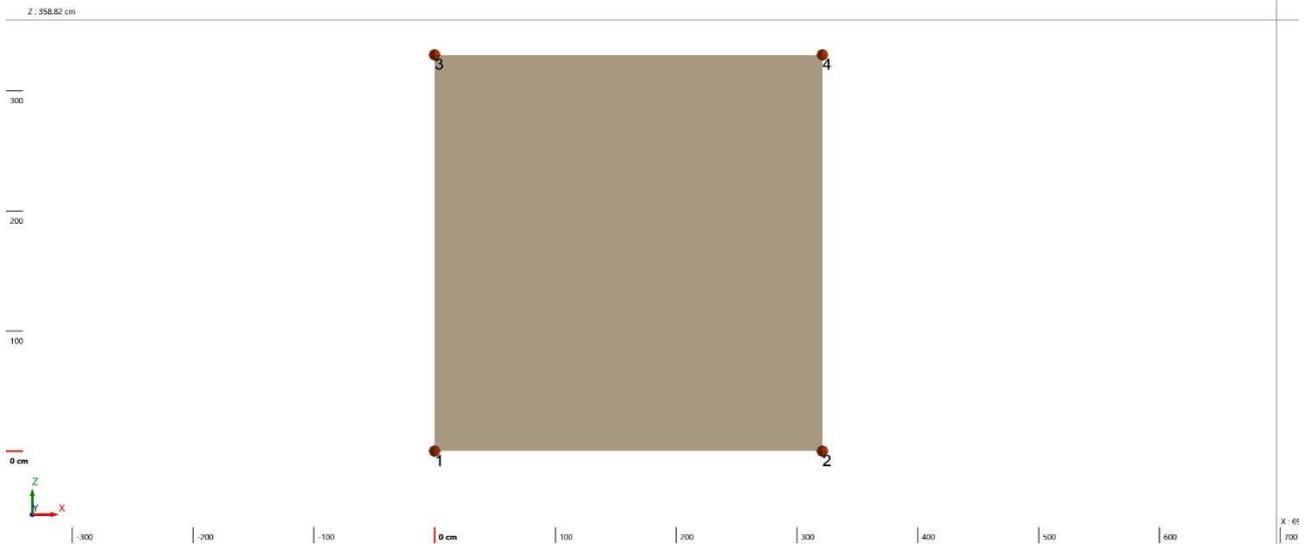
F_s : forza sismica agente sull'elemento;

Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;

Mod. acc. : modello di accelerazioni: "FS" se formulazione semplificata, "MV" se accelerazioni modi di vibrare;

Si riportano, per il caso in esame, le azioni sismiche per ogni pannello:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Mod. acc. | Z [cm] | H_t [cm] | T [sec] | T_1 [sec] | W [kN] | q_a | F_s [kN] |
|-------------------|-------|----------|------|-----------|-----------|---------------|------------|----------------|-----------|-------|---------------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | FS | 165.00 | 330.0 | 0.059 | 0.271 | 27.54 | 2 | 7.307 |



1.15 Verifica pannelli rigidamente connessi per le Tamponature dei telai in direzione Y- fili 23-21

I pannelli rigidamente connessi, ovvero che interferiscono con la deformabilità della struttura, vengono verificati, utilizzando l'azione sismica "fuori piano", ipotizzando lo schema "dell'articolazione", tenendo conto del meccanismo resistente ad arco (Paulay, T., & Priestley, M. J. N., "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings", John Wiley & Sons, 1992), in base al quale sotto l'azione "fuori piano" si formano delle cerniere agli estremi del pannello e in mezzeria.

La verifica verrà effettuata confrontando il valore resistente della forza orizzontale (relativa allo schema di plasticizzazione) con la forza sismica agente sul pannello. La forza resistente viene calcolata mediante l'analisi plastica del modello iniziale vincolato con:

- Cerniera in testa
- Incastro al piede

Il modello finale, equilibrato dai momenti resistenti applicati al piede e in mezzeria presenta i seguenti vincoli:

- Cerniera in testa
- Cerniera in mezzeria
- Cerniera al piede

Il modello utilizzato è applicabile per le tamponature interamente confinate dal telaio in c.a., grazie all'meccanismo di resistenza "ad arco" che si oppone all'espulsione fuori dal piano. I parapetti vengono invece verificati come una mensola incastrata alla base e considerando, dopo la rottura, l'equilibrio a ribaltamento della stessa.

La verifica all'azione sismica ha esito positivo se:

$$F_s \leq F_u$$

La verifica ai carichi orizzontali H_k ha esito positivo se:

$$H_k \leq F_u \cdot H_k$$

dove:

- F_s : forza sismica agente sulla tamponatura;
- H_k : carico variabile totale orizzontale (punto 3.1.4.1) agente sulla tamponatura;
- F_u : forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione sismica);
- $F_u \cdot H_k$: Forza massima resistente del meccanismo di collasso della tamponatura (azione H_k);
- Mu_p : momento resistente al piede del pannello;
- Mu_M : momento resistente in mezzeria del pannello;

I momenti resistenti sono calcolati mediante la seguente relazione:

$$M_r = \left(\frac{t^2 l_c \sigma_0}{2} \right) \left(1 - \frac{\sigma_0}{0.85 f_m} \right)$$

dove:

- Tipo : tipologia di tamponatura associata ai pannelli;
- Tipo Rinf. : tipologia di rinforzo associata ai pannelli;
- t : spessore della sezione da verificare considerando gli strati "connessi";
- l_c : lunghezza della sezione da verificare;
- σ_0 : tensione media agente sulla sezione calcolata come N/l_t ;
- f_m : resistenza unitaria della muratura;
- s : F_u/F_s ;

Si riportano i dati relativi alla verifica all'azione sismica dei singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | F_u [kN] | F_s [kN] | s | Esito |
|-------------------|-------|----------|------|------------|-------------|------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 321.0 | 0.80 | 3.958 | 2.022 | 9.699 | 7.307 | 1.33 | V |

Si riportano i dati relativi alla verifica ai carichi orizzontali H_k (punto 3.1.4.1 NTC) per i singoli pannelli:

| Tamp. | Piano | Pannello | Tipo | Tipo Rinf. | t [cm] | l_c [cm] | f_m [N/mm ²] | Mu_P [kNm] | Mu_M [kNm] | $F_u \cdot H_k$ [kN] | H_k [kN] | s | Esito |
|-------------------|-------|----------|------|------------|-------------|------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|---------------|------|-------|
| Tamp. 1 (3-1-2-4) | - | 1 | 1 | - | 30.0 | 321.0 | 0.533 | 3.871 | 2.523 | 6.53 | 3.21 | 2.03 | V |

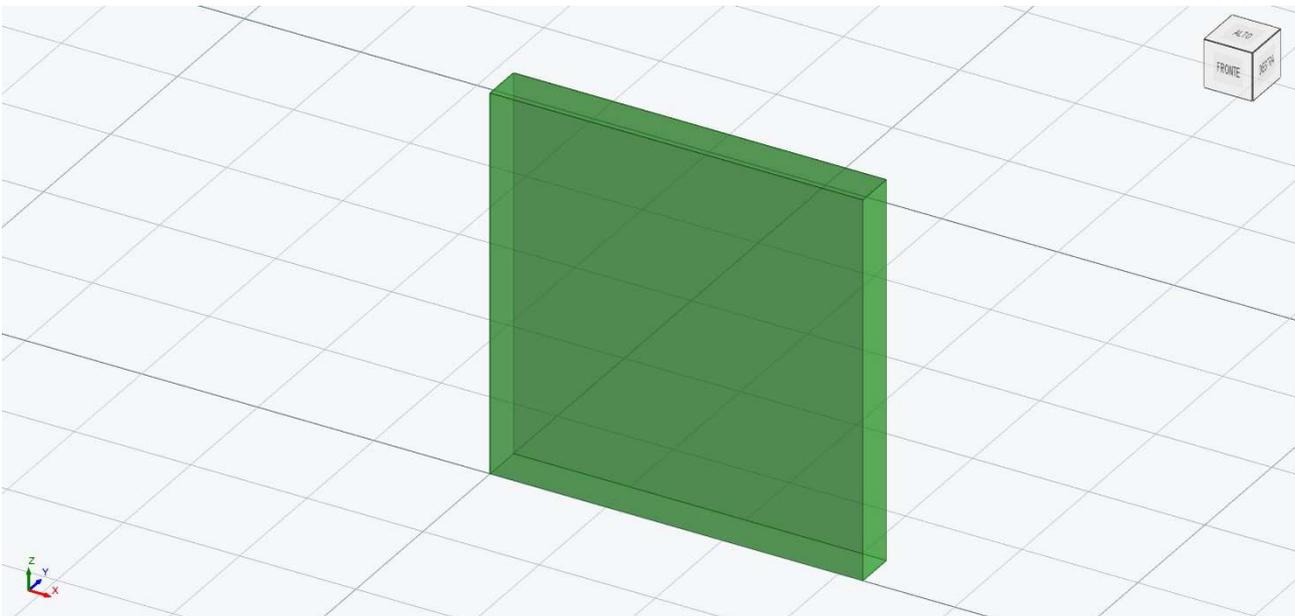


Figura 6 – vista 3D dei pannelli oggetto della verificata nella configurazione di progetto – esisto favorevole