



# CONOSCENZA, PREVENZIONE E SICUREZZA SISMICA



TECNOLOGIE DI RIQUALIFICAZIONE STRUTTURALE E ANTISISMICHE  
DELLE COSTRUZIONI ESISTENTI - MATERIALI COMPOSITI -  
ISOLAMENTO SISMICO – INTRODUZIONE AL SISMABONUS

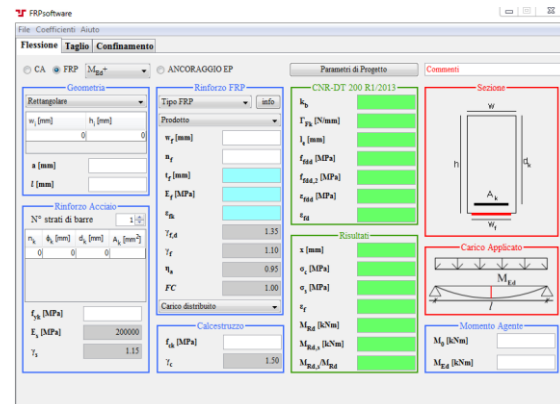
*Relatori: Dott. Ing. Pietro Tomassini*





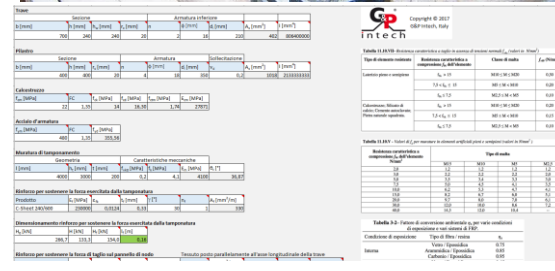
## FRP<sup>®</sup>software

Software per il calcolo di rinforzi strutturali per elementi in c.a. con materiali compositi FRP



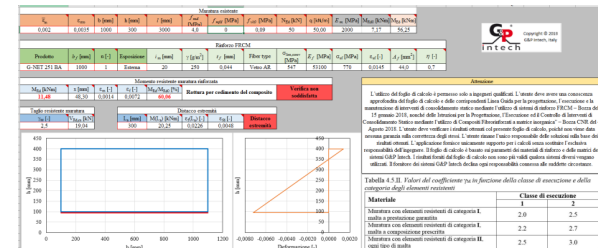
## FRP<sup>®</sup>node

Foglio di calcolo Excel per rinforzi di nodi Trave - Pilastro con materiali compositi FRP



## FRCM<sup>®</sup>wall

Foglio di calcolo Excel per rinforzi di pannelli murari con intonaci armati FRCM



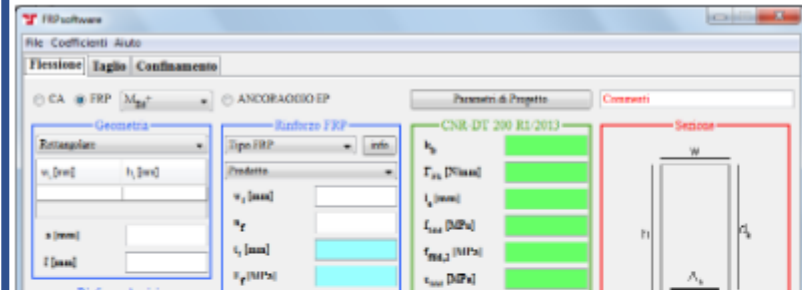


**A CHE COSA SERVE?** Il software FRP costituisce uno strumento di calcolo per il progettista che intende rinforzare elementi in calcestruzzo armato (c.a.) con compositi FRP. Il nuovo software è aggiornato sulla base delle ultime normative DT200R1/2013 e linee guida di qualificazione

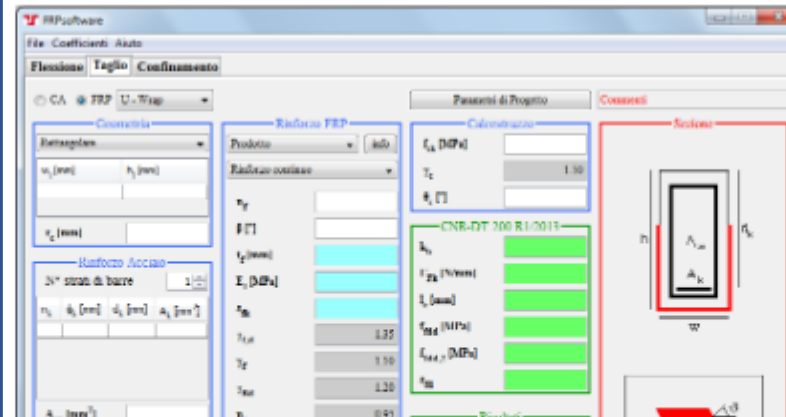
**COME FUNZIONA?**

L'applicazione presenta un'interfaccia intuitiva e di semplice utilizzo. Fornisce tre diversi pannelli a seconda dei tipi di rinforzo:

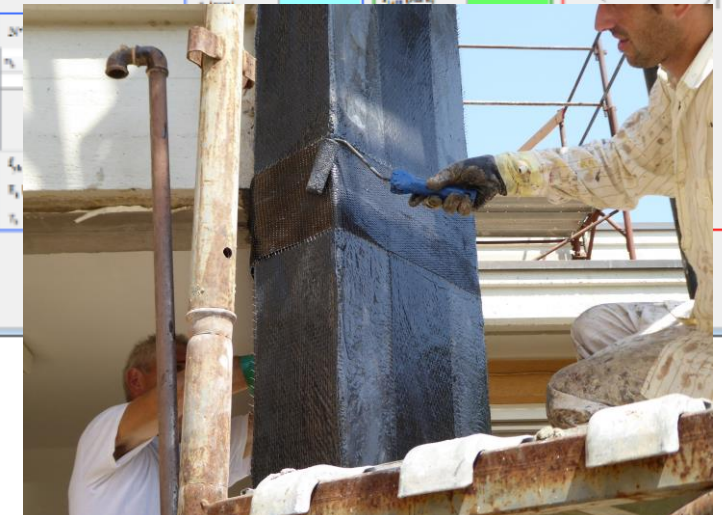
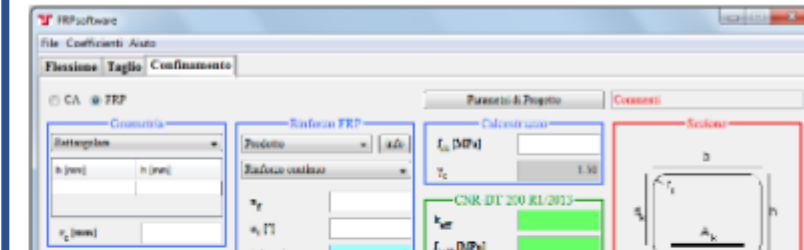
## •RINFORZO A FLESSIONE



## •RINFORZO A TAGLIO



## •RINFORZO A CONFINAMENTO

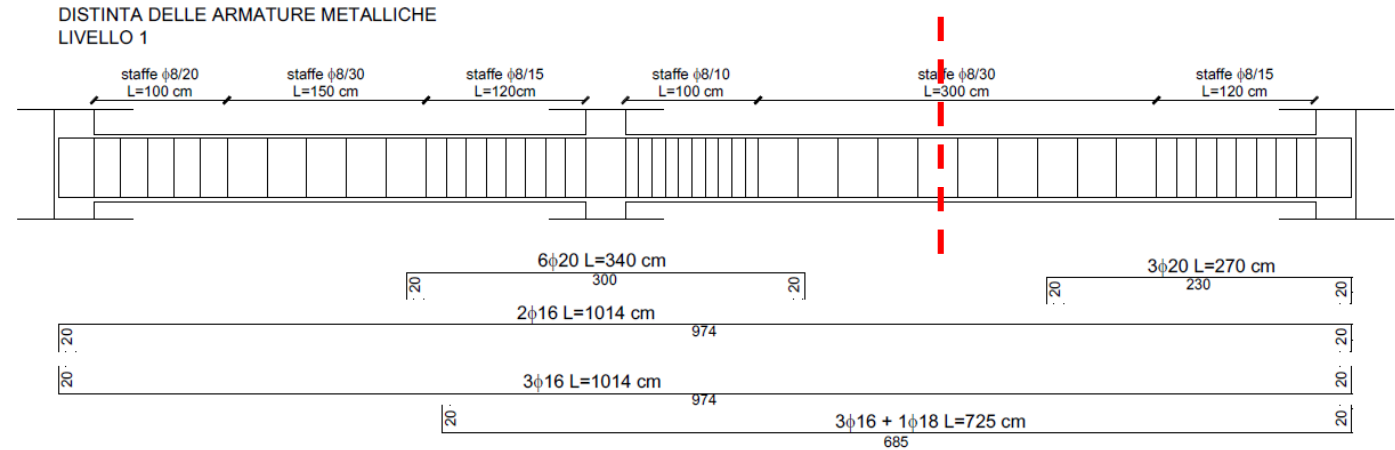
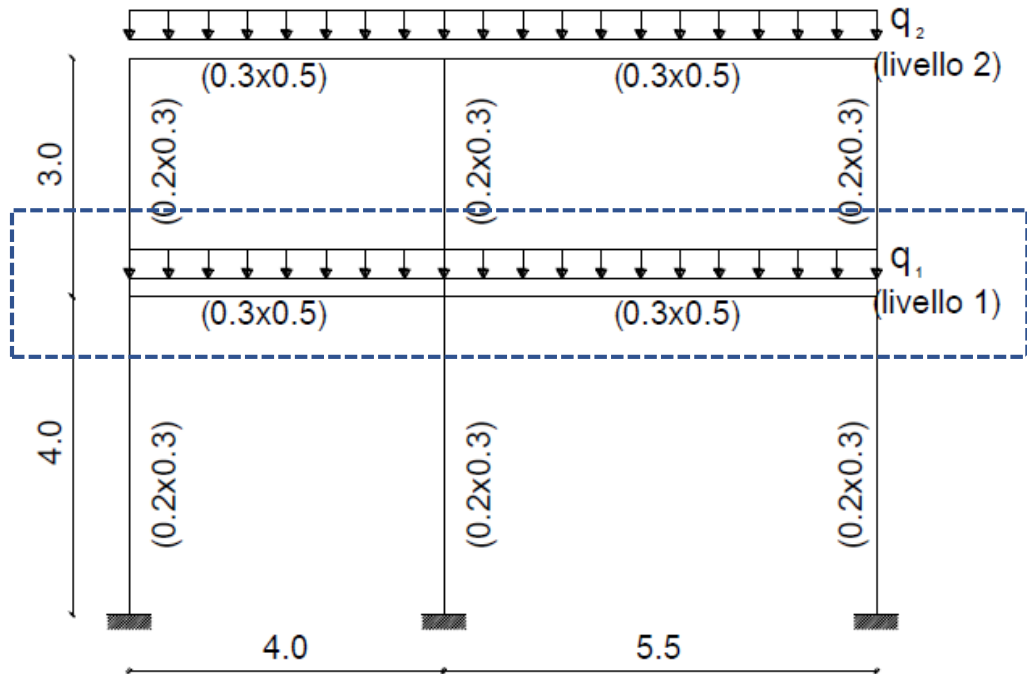


Esempi di intervento: Cambio di destinazione d'uso

Edificio Civile abitazione → Biblioteca

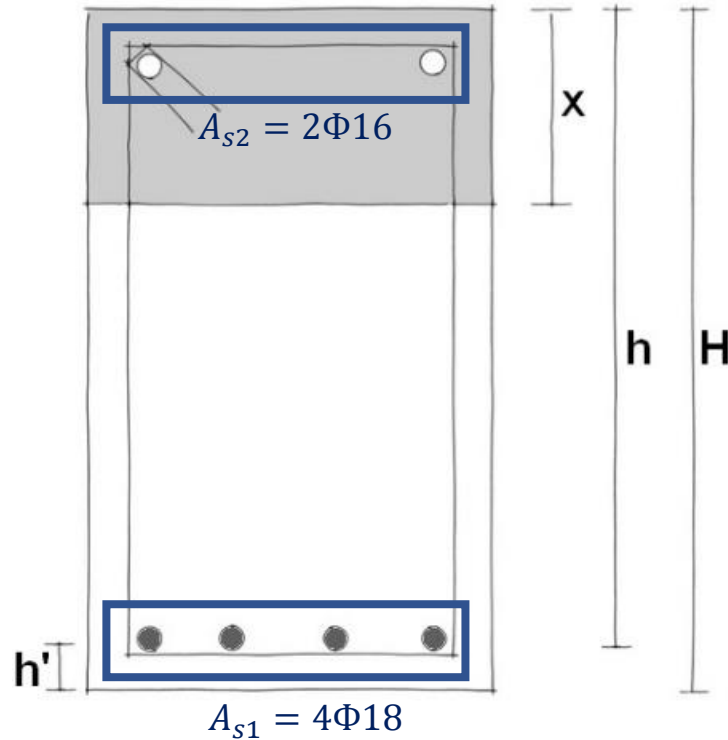
$q_1$ , CIVILE ABITAZIONE. →  $q_{1*}$ , BIBLIOTECA

- Incremento dei carichi utili
- Aumento delle sollecitazioni sugli elementi strutturali



| Livello | Luce della campata [m] | Sezione              | $M_{Sd}$ [kN m] | $A_{s1}$ [cm <sup>2</sup> ] | $A_{s2}$ [cm <sup>2</sup> ] | $M_{Rd}$ [kN m] | Verifica soddisfatta |
|---------|------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|
| 1       | 4.0                    | appoggio di sinistra | -49             | 4.02                        | 6.03                        | -51.7           | SI                   |
|         | 4.0                    | mezzeria             | 69              | 6.03                        | 4.02                        | 76.6            | SI                   |
|         | 4.0                    | appoggio di destra   | -195            | 22.90                       | 14.60                       | -284.3          | SI                   |
|         | 5.5                    | appoggio di sinistra | -242            | 22.90                       | 14.00                       | -283.9          | SI                   |
|         | 5.5                    | mezzeria             | 182             | 14.60                       | 4.02                        | 179.5           | NO                   |
|         | 5.5                    | appoggio di destra   | -99             | 13.40                       | 14.60                       | -167.9          | SI                   |

$M_{Ed} \geq M_{Rd}$



**Geometria Sezione di TRAVE:**

Altezza H: 300mm  
 Larghezza B: 500mm  
 Copriferro h': 30mm  
 Altezza utile h: 470mm

**Materiali esistenti**

Calcestruzzo C25/30  
 $f_{ck} = 25MPa$   
 Acciaio d'armatura B450C  
 $f_{yk} = 450 MPa$

Momento resistente della sezione non rinforzata  $\leq$  Momento agente

$$M_{Rd} = 175 \text{ kNm} \leq M_{Ed} = 182 \text{ kNm}$$

VERIFICA NON SODDISFATTA **X**  
 $M_{Ed} \geq M_{Rd}$

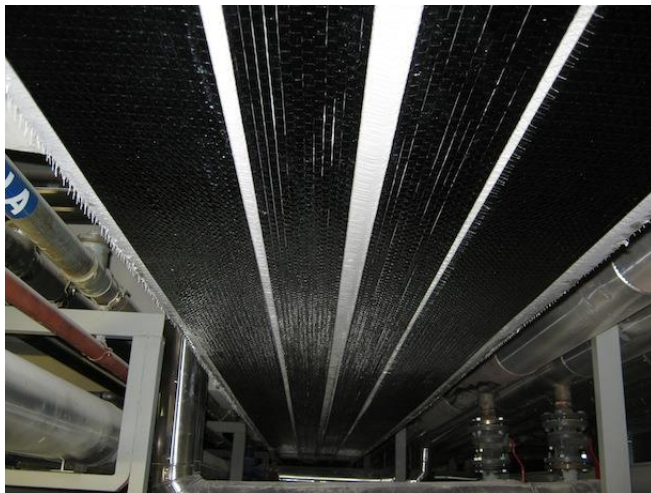
**Rinforzo FRP**

Tessuto C-SHEET 240/300/30  
 Larghezza strato: 30 cm  
 Numero di strati: 1

Momento resistente della muratura rinforzata  $\geq$  Momento agente

$$M_{Rd,s} = 205 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 182 \text{ kNm}$$

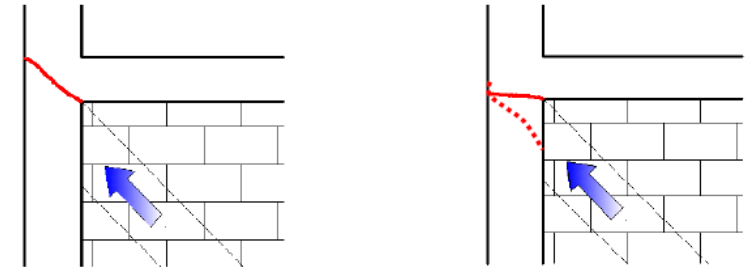
VERIFICA SODDISFATTA



Connettori a fiocco per evitare il distacco di estremità

**INCREMENTO DI RESISTENZA**

$$\frac{M_{Rd,s}}{M_{Rd}} = 17,05\%$$

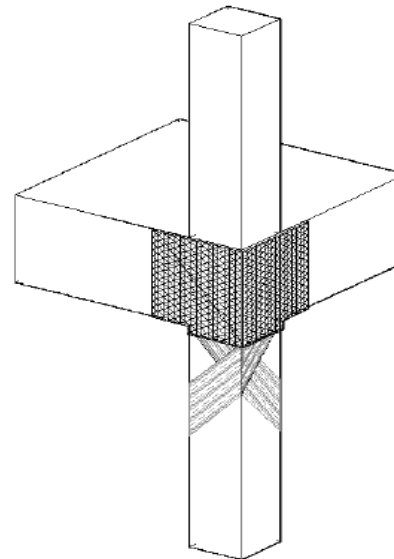


## A CHE COSA SERVE?

Il software costituisce uno strumento di calcolo per il progettista che intende rinforzare elementi in calcestruzzo armato (c.a.) con compositi FRP sulla base delle linee guida ReLUIS. Il nuovo foglio Excel FRP Node è aggiornato alle ultime normative NTC, DT200R1/2013 e linee guida di qualificazione materiali

## COME FUNZIONA?

L'applicazione è un foglio Excel di semplice utilizzo. Verifica il nodo Trave - Pilastro ed il rinforzo FRP necessario sulla base dei materiali certificati disponibili



| Trave  |                      | Sezione   |                       | Armatura inferiore         |                       |                                     |                                     |
|--|----------------------|---|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| b [mm]   | h [mm]               | h <sub>0</sub> [mm]   | r <sub>z</sub> [mm]   | n                          | φ [mm]                | d <sub>1</sub> [mm]                 | A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]   |
| 700  | 240                  | 240   | 20                    | 2                          | 16                    | 210                                 | 402                                 |
| Pilastro   |                      | Sezione   |                       | Armatura                   |                       | Sollecitazione                      |                                     |
| b [mm]   | h [mm]               | r <sub>z</sub> [mm]   | n                     | φ [mm]                     | d <sub>1</sub> [mm]   | V <sub>2</sub>                      | A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]   |
| 400  | 400                  | 20  | 4                     | 18                         | 350                   | 0,2                                 | 1018                                |
| Calcestruzzo   |                      | f <sub>ck</sub> [MPa]   | f <sub>td</sub> [MPa] | f <sub>cm</sub> [MPa]      | f <sub>cm</sub> [MPa] | f <sub>cm</sub> [MPa]               | I [mm <sup>4</sup> ]                |
| 22   | 1,35                 | 14  | 16,30                 | 1,74                       | 27871                 |                                     |                                     |
| Acciaio d'armatura   |                      | f <sub>yk</sub> [MPa]   | f <sub>td</sub> [MPa] |                            |                       |                                     |                                     |
| 480  | 1,35                 | 355,56  |                       |                            |                       |                                     |                                     |
| Muratura di tamponamento   |                      | Geometria   |                       | Caratteristiche meccaniche |                       |                                     |                                     |
| l [mm]   | h <sub>0</sub> [mm]  | t [mm]  | f <sub>mk</sub> [MPa] | f <sub>td</sub> [MPa]      | E <sub>m</sub> [MPa]  | θ <sub>1</sub> [°]                  |                                     |
| 4000   | 3000                 | 200   | 0,2                   | 4,1                        | 4100                  | 36,87                               |                                     |
| Rinforzo per sostenere la forza esercitata dalla tamponatura                 |                      | E <sub>s</sub> [MPa]  | e <sub>s</sub>        | f <sub>td</sub> [MPa]      | γ [°]                 | n <sub>s</sub>                      | A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> /m] |
| Prodotto   | 230000               | 0,0124  | 0,33                  | 30                         | 1                     | 330                                 |                                     |
| C-Sheet 240/600  |                      |   |                       |                            |                       |                                     |                                     |
| Dimensionamento rinforzo per sostenere la forza esercitata dalla tamponatura |                      | H <sub>1</sub> [kN]   | H <sub>2</sub> [kN]   | H <sub>3</sub> [kN]        | l <sub>1</sub> [m]    |                                     |                                     |
| 266,7  | 133,3                | 154,0   | 0,16                  |                            |                       |                                     |                                     |
| Rinforzo per sostenere la forza di taglio sul pannello di nodo               |                      | Tessuto posto parallelamente all'asse longitudinale della trave |                       |                            |                       |                                     |                                     |
| Prodotto   | E <sub>s</sub> [MPa] | e <sub>s</sub>  | f <sub>td</sub> [MPa] | Tipo tessuto               | n <sub>s</sub>        | A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> /m] | γ <sub>1</sub>                      |
| C-Sheet 240/600/1700   | 230000               | 0,0124  | 0,33                  | 30                         | 1                     | 330                                 | 0,31                                |

Copyright © 2017 G&P Intech, Italy

Tabella 11.18.VII - Resistenza caratteristica a taglio in assenza di tensioni normali (valori in N/mm<sup>2</sup>)

| Tipo di elemento resistente   | Resistenza caratteristica a compressione f <sub>ck</sub> dell'elemento | Classe di malta | f <sub>td</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) |
|---|--|-----------------|--------------------------------------|
| Lateralio pieno e scempino  | f <sub>ck</sub> > 15   | M10 ≤ M ≤ M20   | 0,30                                 |
|   | 7,5 < f <sub>ck</sub> ≤ 15   | M5 ≤ M < M10    | 0,20                                 |
| Calcestruzzo: Silicato di calcio; Cemento autocurante; Pietra naturale squadrata. | f <sub>ck</sub> > 15   | M10 ≤ M ≤ M20   | 0,20                                 |
|   | 7,5 < f <sub>ck</sub> ≤ 15   | M5 ≤ M < M10    | 0,15                                 |
|   | f <sub>ck</sub> ≤ 7,5  | M2,5 ≤ M < M5   | 0,10                                 |

Tabella 11.18.V - Valori di f<sub>td</sub> per murature in elementi artificiali pieni e scempino (valori in N/mm<sup>2</sup>)

| Resistenza caratteristica a compressione f <sub>ck</sub> dell'elemento [N/mm <sup>2</sup> ] | Tipo di malta |      |      |      |
|---|---------------|------|------|------|
|   | M1,5          | M10  | M5   | M2,5 |
| 2,0   | 1,2           | 1,2  | 1,2  | 1,2  |
| 3,0   | 2,2           | 2,2  | 2,2  | 2,0  |
| 5,0   | 3,5           | 3,4  | 3,3  | 3,0  |
| 7,5   | 5,0           | 4,5  | 4,3  | 3,5  |
| 10,0  | 6,2           | 5,5  | 4,7  | 4,1  |
| 15,0  | 8,2           | 6,7  | 6,0  | 5,1  |
| 20,0  | 9,7           | 8,0  | 7,0  | 6,1  |
| 30,0  | 12,0          | 10,0 | 8,6  | 7,2  |
| 40,0  | 14,3          | 12,0 | 10,4 | —    |

Tabella 3-2 - Fattore di conversione ambientale α<sub>s</sub> per varie condizioni di esposizione e vari sistemi di FRP

| Condizione di esposizione | Tipo di fibra / resina | α <sub>s</sub> |
|---------------------------|------------------------|----------------|
| Interna                   | Vetro / Epossidica     | 0,75           |
|                           | Aramidica / Epossidica | 0,85           |
| Esterna                   | Vetro / Epossidica     | 0,65           |
|                           | Aramidica / Epossidica | 0,75           |



**A CHE COSA SERVE?** Il software FRCMwall è un applicativo per il calcolo delle murature rinforzate con tecnologia FRCM. Il Software è aggiornato alle ultime normative e linee guida ministeriali e del CNR in merito ai rinforzi FRCM.

**COME FUNZIONA?** L'applicazione presenta un'interfaccia intuitiva e di semplice utilizzo. Fornisce tre diversi pannelli a seconda dei tipi di rinforzo. L'applicativo calcola le strutture murarie rinforzate con FRCM per azioni:

## •RINFORZO A FLESSIONE FUORI PIANO

| Muratura esistente |            |        |        |        |                |                 |               |          |                |                |                      |       |
|--------------------|------------|--------|--------|--------|----------------|-----------------|---------------|----------|----------------|----------------|----------------------|-------|
| $\xi_c$            | $\xi_{cm}$ | b [mm] | h [mm] | f [mm] | $f_{cm}$ [MPa] | $f_{ctd}$ [MPa] | $N_{Ed}$ [kN] | $s$ [mm] | $E_{cm}$ [MPa] | $M_{Ed}$ [kNm] | $M_{Ed}/N_{Ed}$ [mm] |       |
| 0.002              | 0.0035     | 1000   | 300    | 3000   | 4.0            | 0               | 0.09          | 50       | 50.00          | 2000           | 7.17                 | 56.25 |

| Rafforzamento FRCM |            |       |             |               |                              |                |            |                     |             |                  |                     |                          |            |
|--------------------|------------|-------|-------------|---------------|------------------------------|----------------|------------|---------------------|-------------|------------------|---------------------|--------------------------|------------|
| Prodotto           | $d_f$ [mm] | n [-] | Esposizione | $l_{ef}$ [mm] | $\gamma$ [g/m <sup>2</sup> ] | $f_{td}$ [MPa] | Fiber type | $\sigma_{td}$ [MPa] | $E_f$ [MPa] | $\alpha_f$ [MPa] | $\epsilon_{td}$ [-] | $A_f$ [mm <sup>2</sup> ] | $\eta$ [-] |
| G-NET 251 BA       | 1000       | 1     | Interna     | 20            | 250                          | 0.044          | Vetro AR   | 547                 | 53100       | 770              | 0.0145              | 44.0                     | 0.7        |

**Attenzione**

L'utilizzo del foglio di calcolo è permesso solo a ingegneri qualificati. L'utente deve avere una conoscenza approfondita del foglio di calcolo e delle componenti Linea Guida per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di interventi di consolidamento statico mediante l'utilizzo di sistemi di rinforzo FRCM - Bozza del 15 gennaio 2018, nonché delle Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Interventi di Consolidamento Statico mediante l'utilizzo di Compositi Fibroforati a matrice inorganica - Bozza CNR del 4 Agosto 2015. L'utente deve verificare i risultati ottenuti col presente foglio di calcolo, poiché non viene data alcuna garanzia sulla correttezza degli stessi. L'utente rimane l'unico responsabile delle soluzioni sulle basi dei risultati ottenuti. L'applicazione fornisce unicamente supporto per i calcoli senza sostituire l'esclusiva responsabilità dell'ingegnere. Il foglio di calcolo è basato sui parametri dei materiali di rinforzo e delle murature del sistema G&P Intech. I risultati forniti dal foglio di calcolo non sono più validi qualora siano diversi i materiali utilizzati. Il fornitore del sistema G&P Intech declina ogni responsabilità connessa alle suddette circostanze.

## •RINFORZO A TAGLIO NEL PIANO

| Muratura esistente |        |        |        |                |                 |                   |       |               |               |               |       |
|--------------------|--------|--------|--------|----------------|-----------------|-------------------|-------|---------------|---------------|---------------|-------|
| Muratura           | b [mm] | h [mm] | f [mm] | $f_{cm}$ [MPa] | $f_{ctd}$ [MPa] | $\gamma_{m1}$ [-] | k [-] | $N_{Ed}$ [kN] | $F_{Ed}$ [kN] | $V_{Ed}$ [kN] |       |
| C                  | 1000   | 300    | 3000   | 4.0            | 0.1             | 0.09              | 2.2   | 0.5           | 50            | 10            | 15.85 |

| Rafforzamento FRCM |            |            |       |             |               |                              |                |            |                     |             |                  |                     |                          |            |     |
|--------------------|------------|------------|-------|-------------|---------------|------------------------------|----------------|------------|---------------------|-------------|------------------|---------------------|--------------------------|------------|-----|
| Prodotto           | $d_f$ [mm] | $d_f$ [mm] | n [-] | Esposizione | $l_{ef}$ [mm] | $\gamma$ [g/m <sup>2</sup> ] | $f_{td}$ [MPa] | Fiber type | $\sigma_{td}$ [MPa] | $E_f$ [MPa] | $\alpha_f$ [MPa] | $\epsilon_{td}$ [-] | $A_f$ [mm <sup>2</sup> ] | $\eta$ [-] |     |
| G-NET 251 BA       | 1000       | 1000       | 1     | 2           | Aggressiva    | 20                           | 250            | 0.088      | Vetro AR            | 547         | 53100            | 770                 | 0.0145                   | 88.0       | 0.6 |

**Taglio resistente muratura rinforzata**

Rottura per cedimento del composito **Verifica soddisfatta**

Taglio resistente muratura rinforzata secondo Tabella 3.1

Coeff. correttivo:  $V_{Rd}$  [kN]  $V_{Rd}$  [kN]  $V_{Rd}$  [%] **Verifica soddisfatta**

5.72 21.63 360.00 36.44

2.4 38.04 360.00 140.00

**Tabella 3.1**

| Materiali   | Classe di esecuzione |
|---|----------------------|
| A. Muratura di gintoni, disassottiti (contati, piastre estetiche e travasatori) | 1,5                  |
| B. Muratura a conci sbalzati con paramento di limitato spessore                 | 1,5                  |
| C. Muratura di pietre a spacco con buona trafilatura                            | 2,4                  |
| D. Muratura a conci di cotta tenera (tuffo, calcarenate, ecc.)                  | 2,0                  |

**Tabella 4.5.II. Valori del coefficiente  $\gamma_m$  in funzione della classe di esecuzione e della categoria degli elementi resistenti**

| Materiali     | Classe di esecuzione |
|---------------|----------------------|
| categoria I   | 2.0                  |
| categoria II  | 2.2                  |
| categoria III | 2.5                  |

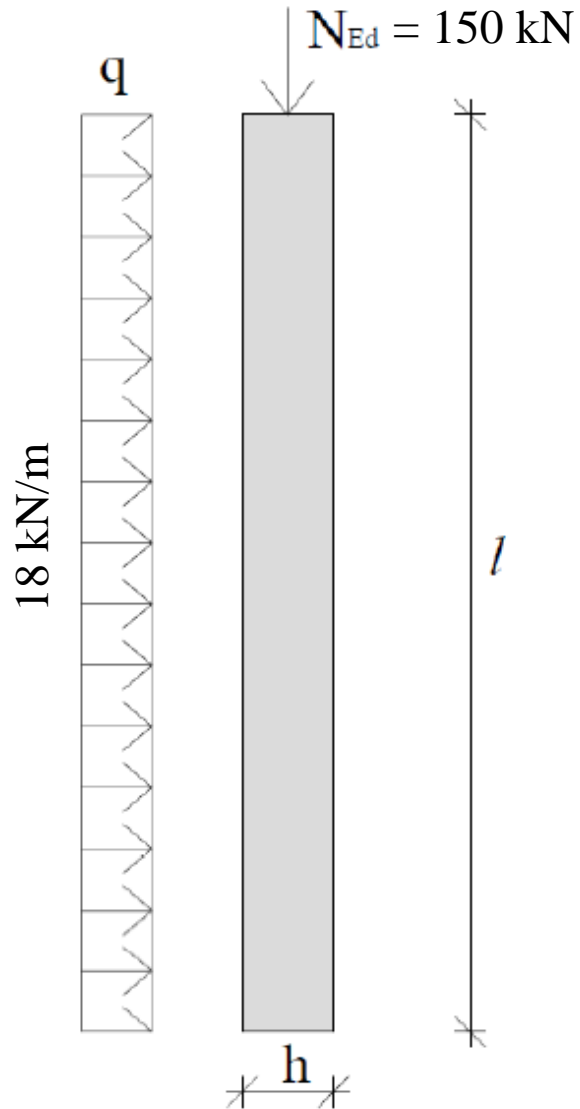
## •RINFORZO A CONFINAMENTO

| Muratura esistente |            |        |        |        |                |                |                   |               |               |               |  |
|--------------------|------------|--------|--------|--------|----------------|----------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|--|
| Sezione            | $r_c$ [mm] | D [mm] | b [mm] | h [mm] | $E_{cm}$ [MPa] | $f_{cm}$ [MPa] | $\gamma_{m1}$ [-] | $N_{Ed}$ [kN] | $N_{Ed}$ [kN] | $N_{Ed}$ [kN] |  |
| Rettilineare       | 25         | 300    | 250    | 250    | 1500           | 4.0            | 1.5               | 270.00        | 250.00        | 250.00        |  |

| Rafforzamento FRCM |            |       |             |               |                              |                |            |                     |             |                  |                     |                          |            |
|--------------------|------------|-------|-------------|---------------|------------------------------|----------------|------------|---------------------|-------------|------------------|---------------------|--------------------------|------------|
| Prodotto           | $d_f$ [mm] | n [-] | Esposizione | $l_{ef}$ [mm] | $\gamma$ [g/m <sup>2</sup> ] | $f_{td}$ [MPa] | Fiber type | $\sigma_{td}$ [MPa] | $E_f$ [MPa] | $\alpha_f$ [MPa] | $\epsilon_{td}$ [-] | $A_f$ [mm <sup>2</sup> ] | $\eta$ [-] |
| G-NET 251 BA       | 12         | 2     | Interna     | 20            | 250                          | 0.044          | Vetro AR   | 547                 | 53100       | 770              | 0.0145              | 44.0                     | 0.7        |

# ESEMPIO RINFORZO A FLESSIONE FUORI PIANO DI UN PARAMENTO MURARIO



## Geometria Pannello:

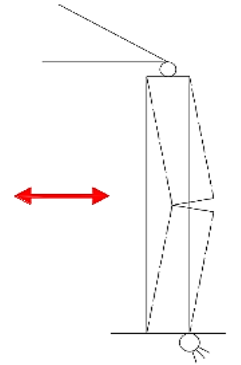
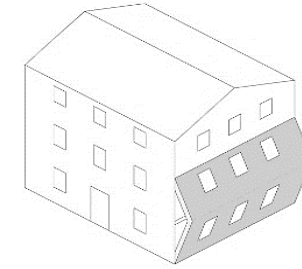
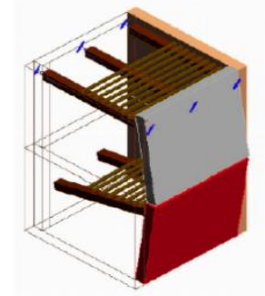
Altezza: 3000mm  
Larghezza: 1000mm  
Spessore: 300mm

## Materiali esistenti

Muratura in mattoni pieni e malta di calce  
 $f_{md} = 2,4 \text{ MPa}$   
 $f_{vko} = 0,06 \text{ MPa}$

## Rinforzo FRCM

Rete in fibra di vetro  
**AR G-NET 251 BA**  
Numero di strati: 1



Momento resistente della muratura non rinforzata  
 $M_{Rd0} = 17,56 \text{ kNm}$

$$\leq \text{Momento agente } M_{Ed} = 20,25 \text{ kNm}$$

VERIFICA NON SODDISFATTA **X**

$$M_{Ed} \geq M_{Rd}$$

Momento resistente della muratura rinforzata  
 $M_{Rd} = 21,48 \text{ kNm}$

$$\geq \text{Momento agente } M_{Ed} = 20,25 \text{ kNm}$$

VERIFICA SODDISFATTA

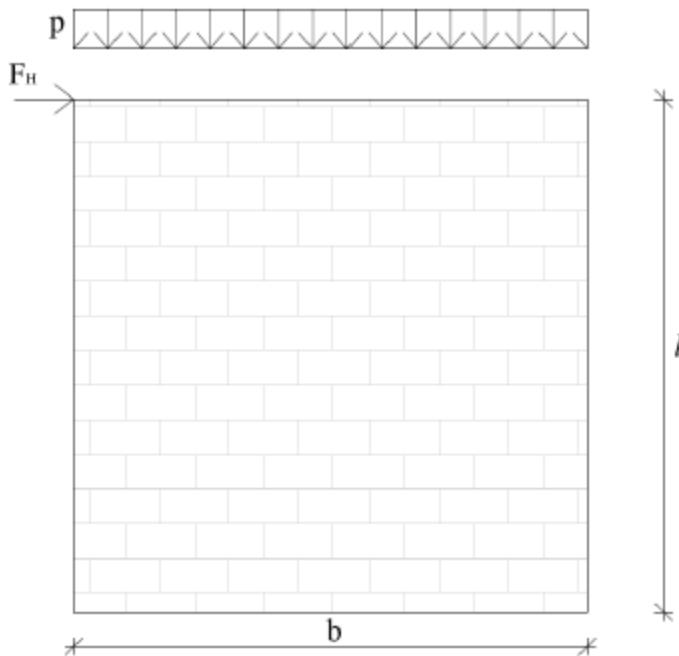
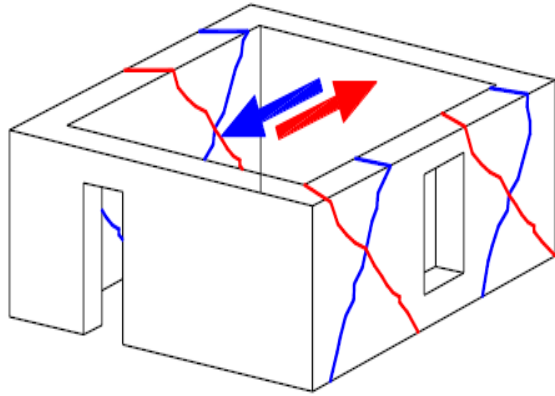


## INCREMENTO DI RESISTENZA

$$\frac{M_{Rd}}{M_{Rd0}} = 22,31\%$$



## ESEMPIO RINFORZO A TAGLIO DI UN PARAMENTO MURARIO



### Geometria Pannello:

Altezza  $l$ : 2000mm  
Larghezza  $b$ : 1000mm  
Spessore  $h$ : 300mm

### Materiali esistenti

Muratura in mattoni pieni e malta di calce  
 $f_{md} = 2,4 \text{ MPa}$   
 $f_{vko} = 0,06 \text{ MPa}$



*Resistenza a taglio della muratura non rinforzata*  
 $V_t = 35,45 \text{ kN}$



*Forza orizzontale agente*  
 $F_H = 45,00 \text{ kN}$

VERIFICA NON SODDISFATTA **X**

$$F_H \geq V_t$$

### Rinforzo FRCM

Rete in fibra di basalto  
**B-NET 350 BA**  
Numero di lati rinforzati: 2



*Resistenza a taglio della muratura rinforzata*  
 $V_{t,R} = 49,00 \text{ kN}$

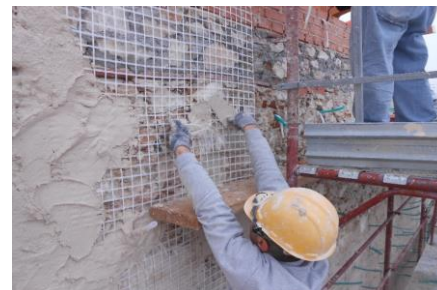


*Forza orizzontale agente*  
 $F_H = 45,00 \text{ kN}$

VERIFICA SODDISFATTA

INCREMENTO DI RESISTENZA

$$\frac{V_{t,R}}{V_t} = 38,21\%$$





# HIRUN ENGINEERING ISOLATORI E DISSIPATORI SISMICI

*G&P intech – Divisione Hiron Engineering*



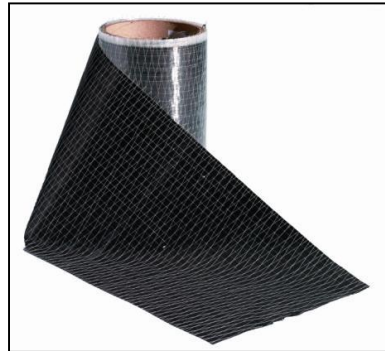
# SISTEMI DI INTERVENTO PER MIGLIORAMENTO ED ADEGUAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE

## Soluzioni

### Sistemi di rinforzo e consolidamento FRP-FRCM

Aumento della resistenza

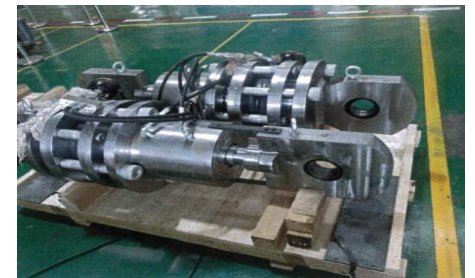
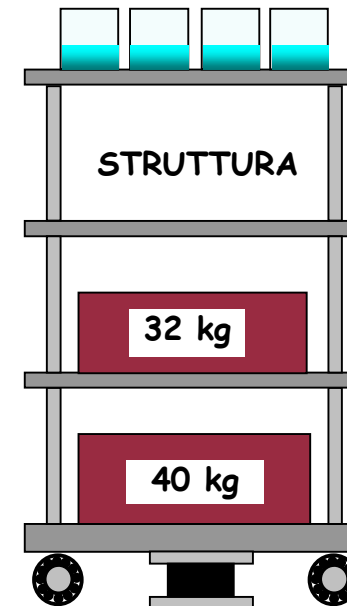
Aumento della duttilità



### Isolamento e dissipazione sismica Div. HIRUN ENGINEERING

Riduzione dell'energia sismica in ingresso

Incremento dell'energia dissipata



# Divisione HIRUN ENGINEERING



Partner principale per la produzione dei dispositivi antisismici , appoggi e giunti è la Società **HIRUN ENGINEERING** con sede a Wuhan – Hubei di proprietà della Wuhan Marine Machinery Plant a sua volta controllata al 100% dalla Società di Stato cinese China Shipbuilding Industry Corporation (CSIC), una delle prime 500 aziende del mondo. L'attuale capacità produttiva è di 60.000 dispositivi annui. Al proprio interno ha inoltre una delle più importanti macchine di prova al mondo per i dispositivi sismici per i tests di qualifica e di accettazione ai sensi delle principali normative mondiali.



## Divisione HIRUN Engineering – PRINCIPALI DISPOSITIVI

- Isolatori a pendolo HISLIDE a semplice (HP1) doppia (HP2) superficie di scorrimento



- Isolatori elastomerici in gomma e acciaio (HDRB) e in piombo (LRB)



- Dissipatori sismici HIFLUID fluodinamici VDD e shock trasmitter LUD



- Appoggi per ponti e viadotti HIFLOW e HIPOT



# ISOLATORI FRICTION PENDULUM- HISLIDE

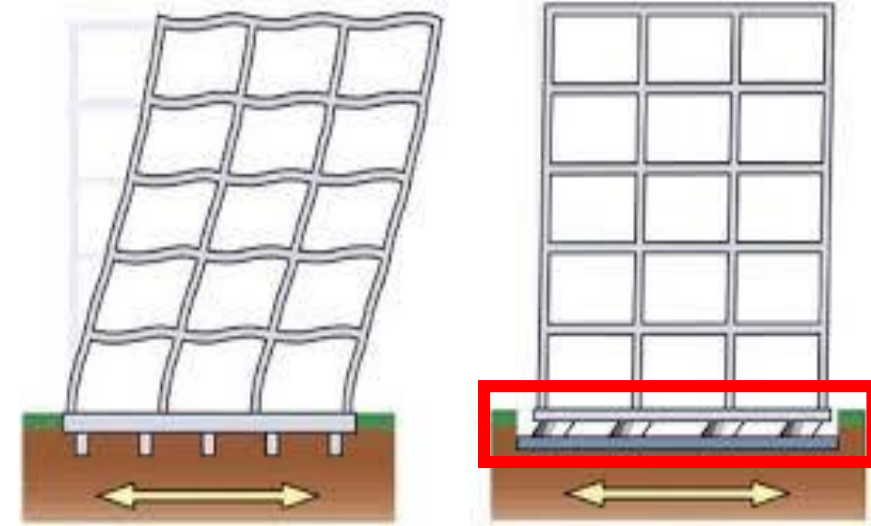
## Funzione:

- Disaccoppiamento del moto della struttura da quello del terreno
- Spostamento relativo della sovrastruttura rispetto alla fondazione
- Funzione di appoggio, elevata rigidezza verticale e una bassa rigidezza al moto in direzione orizzontale

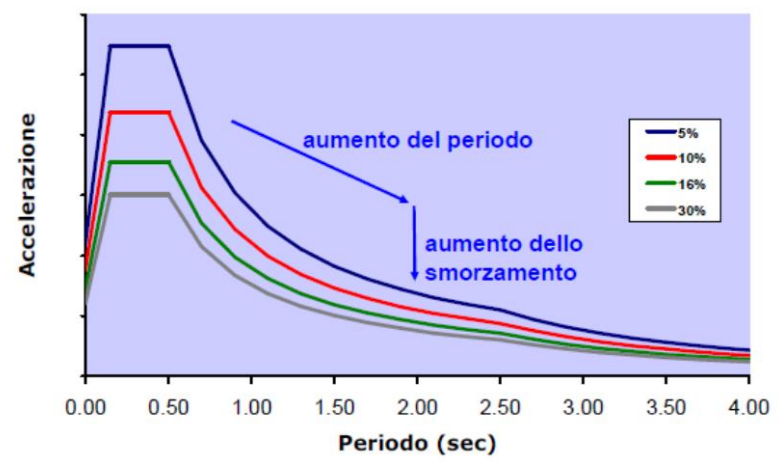


## Vantaggi:

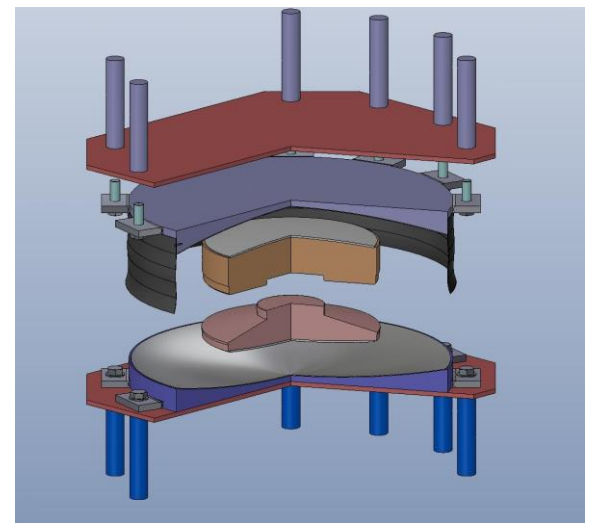
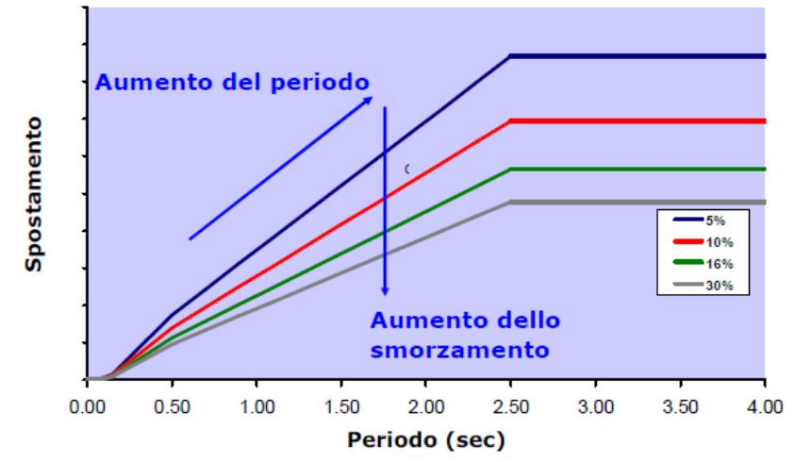
- Incremento del periodo proprio della struttura
- Riduzione delle accelerazioni alla base, riduzione delle sollecitazioni sugli elementi strutturali
- Riduzione degli spostamenti interpiano evitando il danneggiamento degli elementi non strutturali
- Aumento dello smorzamento, buone capacità dissipative e di ricentraggio



Spettro d'accelerazione di progetto

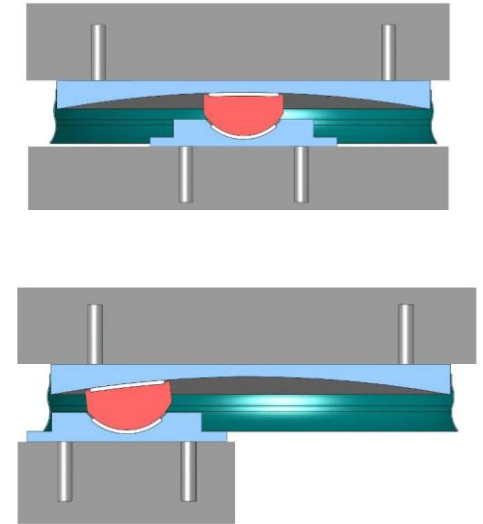
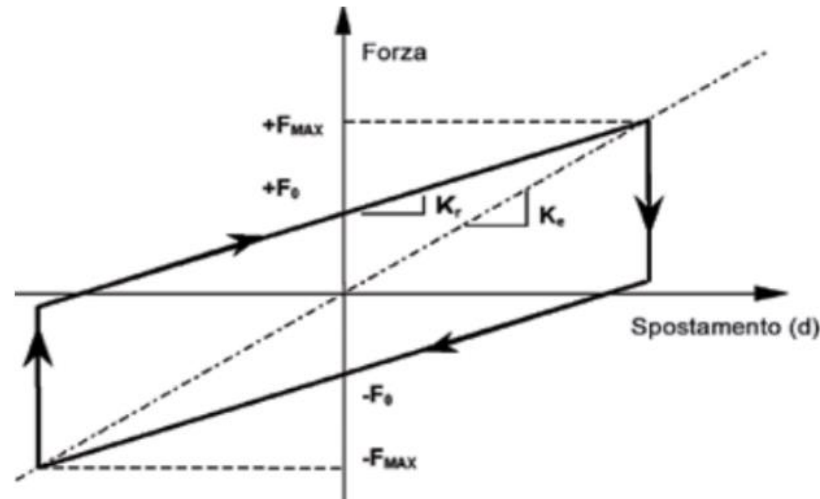


Spettro dello spostamento di progetto



## PARAMETRI CHE CARATTERIZZANO GLI ISOLATORI A PENDOLO E FORMULAZIONE MATEMATICA

- $N_{sd}$  = carico max di progetto che può sostenere l'isolatore
- $R$  = raggio di curvatura della o delle superfici di scorrimento
- $\mu$  = coefficiente d'attrito
- $D$  = spostamento di progetto

**Peculiarità:**

- Periodo proprio indipendente dalla massa della struttura e dipende solo dal raggio di curvatura  $R$  (non come per gli isolatori in gomma nel quale è legato alla massa e alla rigidezza dell'isolatore);
- Centro di massa = centro di rigidezza, no problemi torsionali
- La dissipazione di energia è fornita dall'attrito che sviluppa durante lo scorrimento
- La capacità di ricentraggio è fornita dalla curvatura

$$T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{D} \right)}}$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} \right]$$

$$K_e = N_{sd} \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{D} \right)$$

$$K_r = \frac{N_{sd}}{R}$$

## Dati generali della struttura:

Massima dimens. Dir. X : 22,19 m

Massima dimens. Dir. Y : 30,57 m

Altezza edificio: 13 m

Tipologia: muratura

## Dati sismici:

Longitudine: 13,48944

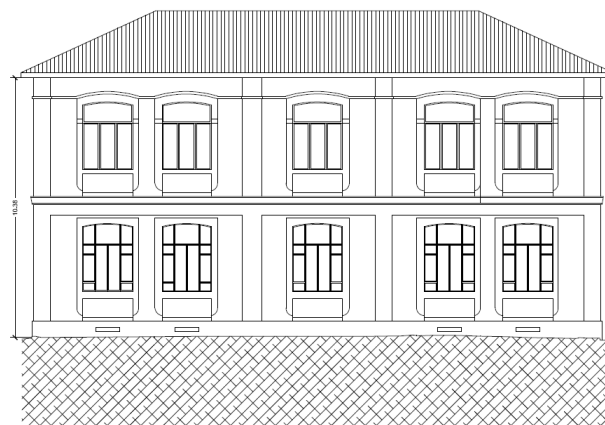
Latitudine 42,96274

Vita Nominale: 100 anni

Classe d'uso: III

Categoria Suolo: C

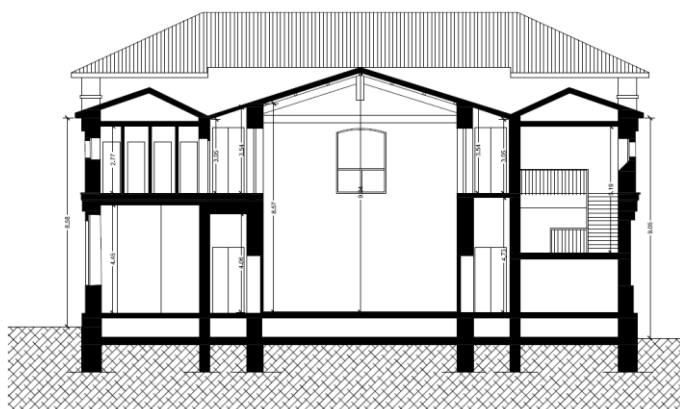
Categoria Topografica: T2



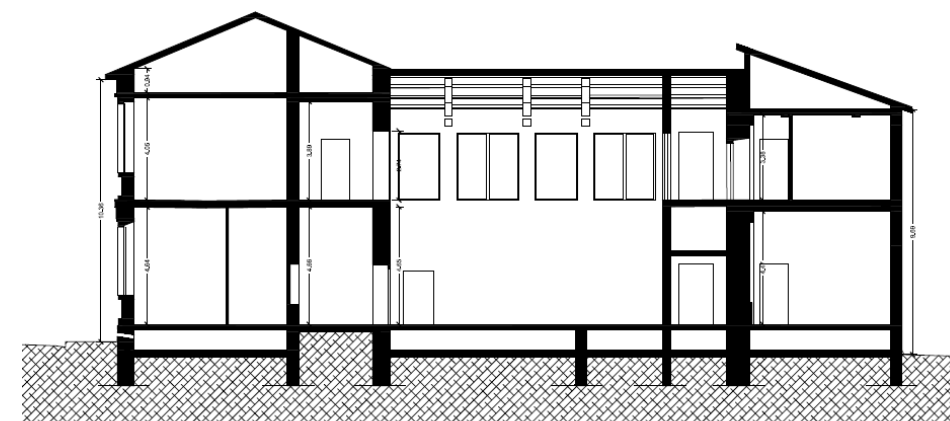
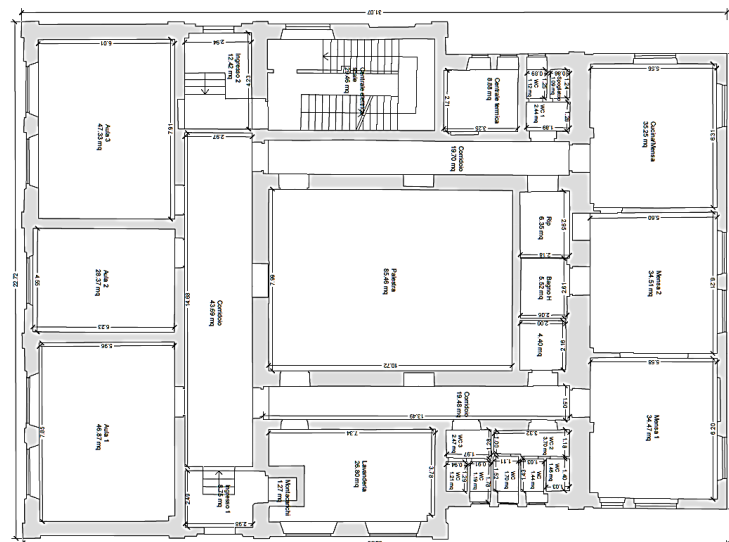
Prospetto Sud



Prospetto Ovest



Sezione BB



Sezione CC



Per la determinazione degli spettri di risposta rappresentativi delle componenti orizzontali delle azioni sismiche di progetto si utilizza il **documento Excel SPETTRI-NTC del Consiglio Superiori LL.PP.**

| SLATO LIMITE | $T_R$ [anni] | $a_g$ [g] | $F_0$ [-] | $T_C^*$ [s] |
|--------------|--------------|-----------|-----------|-------------|
| SLO          | 90           | 0,093     | 2,459     | 0,313       |
| SLD          | 151          | 0,115     | 2,447     | 0,325       |
| SLV          | 1424         | 0,261     | 2,523     | 0,355       |
| SLC          | 2475         | 0,313     | 2,549     | 0,362       |

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 13,48944    LATITUDINE: 42,96274

Ricerca per comune

REGIONE: Friuli-Venezia Giulia    PROVINCIA: Udine    COMUNE: Gemona

Elaborazioni grafiche: Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche: Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Controllo sul reticolo:  
 Sito esterno al reticolo  
 Interpolazione su 3 nodi  
 Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

km7,5    7,5 km

23642    23643  
 -7,5    7,5  
 23864    23865

INTRO    **FASE 1**    FASE 2    FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$ : 100 info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$ : 1,5 info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$ : 150 info

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

Stati limite di esercizio - SLE: SLO -  $P_{VR} = 81\%$  (90), SLD -  $P_{VR} = 63\%$  (151)

Stati limite ultimi - SLU: SLV -  $P_{VR} = 10\%$  (1424), SLC -  $P_{VR} = 5\%$  (2475)

Elaborazioni: Grafici parametri azione, Grafici spettri di risposta, Tabella parametri azione

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO:  
 ---□--- Strategia per costruzioni ordinarie  
 - - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO    FASE 1    **FASE 2**    FASE 3

## STATO LIMITE CONSIDERATO PER IL PREDIMENSIONAMENTO: STATO LIMITE SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)

Per il predimensionamento dei dispositivi a favore di sicurezza è stato considerato lo spettro elastico **non** abbattuto del fattore di struttura

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
Stato Limite considerato: SLV info

---

**Risposta sismica**  
 Categoria di sottosuolo: C info       $S_s = 1,305$        $C_C = 1,478$  info  
 Categoria topografica: T2 info       $h/H = 1,000$        $S_T = 1,200$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

---

**Compon. orizzontale**  
 Spettro di progetto elastico (SLE) info      Smorzamento  $\xi$  (%) 5       $\eta = 1,000$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU) info      Fattore  $q_0$  2,3625      Regol. in altezza no info

---

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto      Fattore  $q$  1       $\eta = 1,000$  info

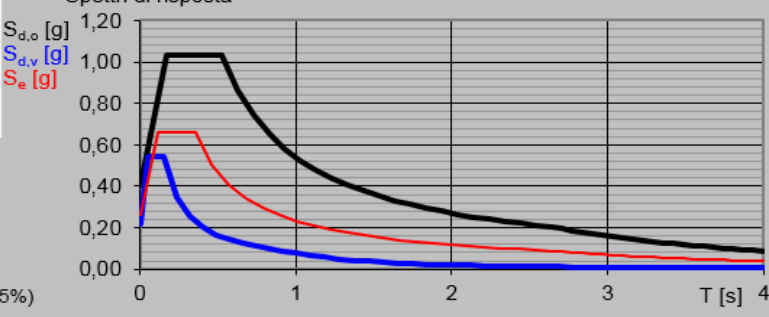
---

**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta info  
 Parametri e punti spettri di risposta info

$S_{d,o}$  [g]

$S_{d,v}$  [g]

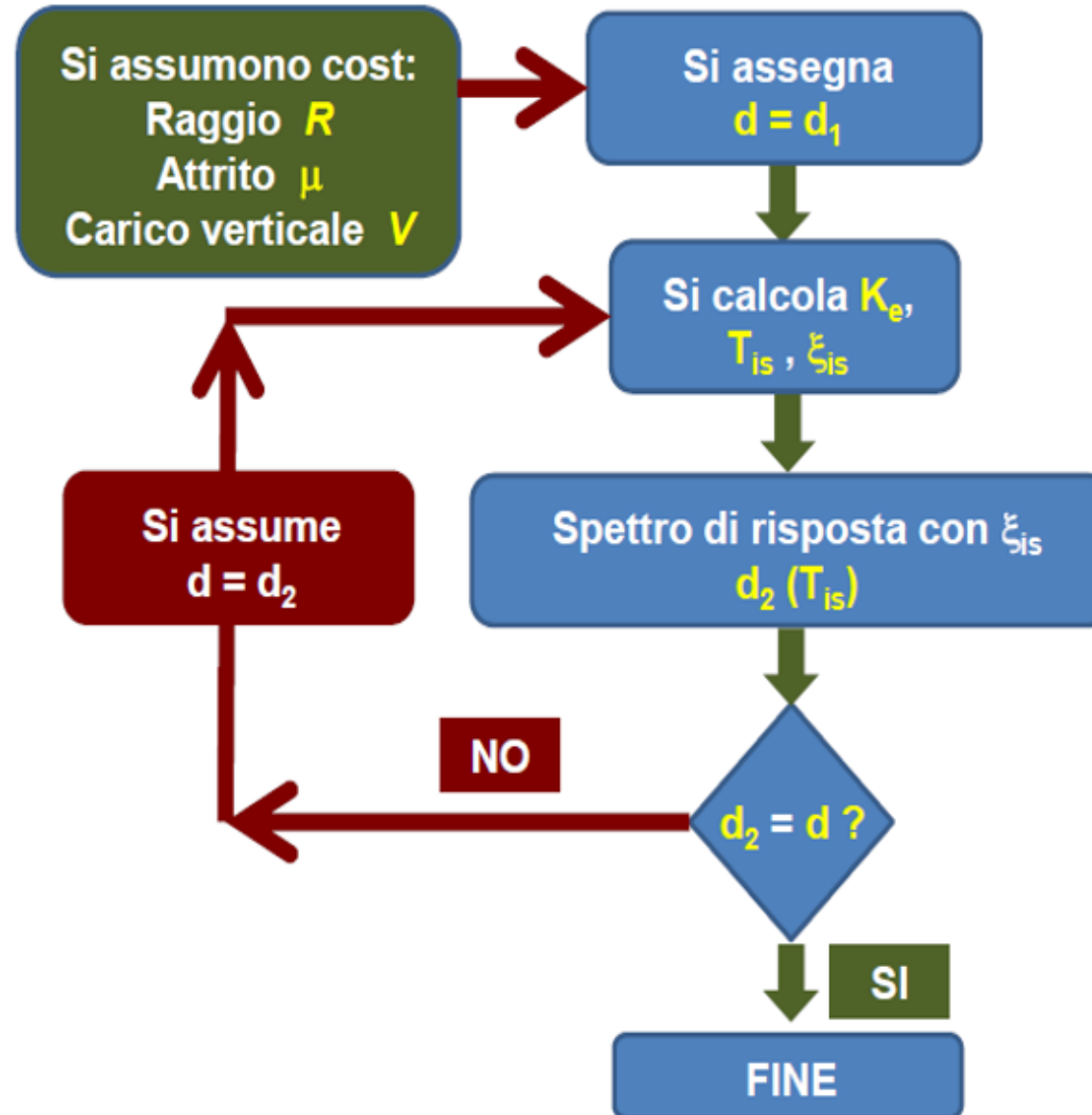
$S_e$  [g]



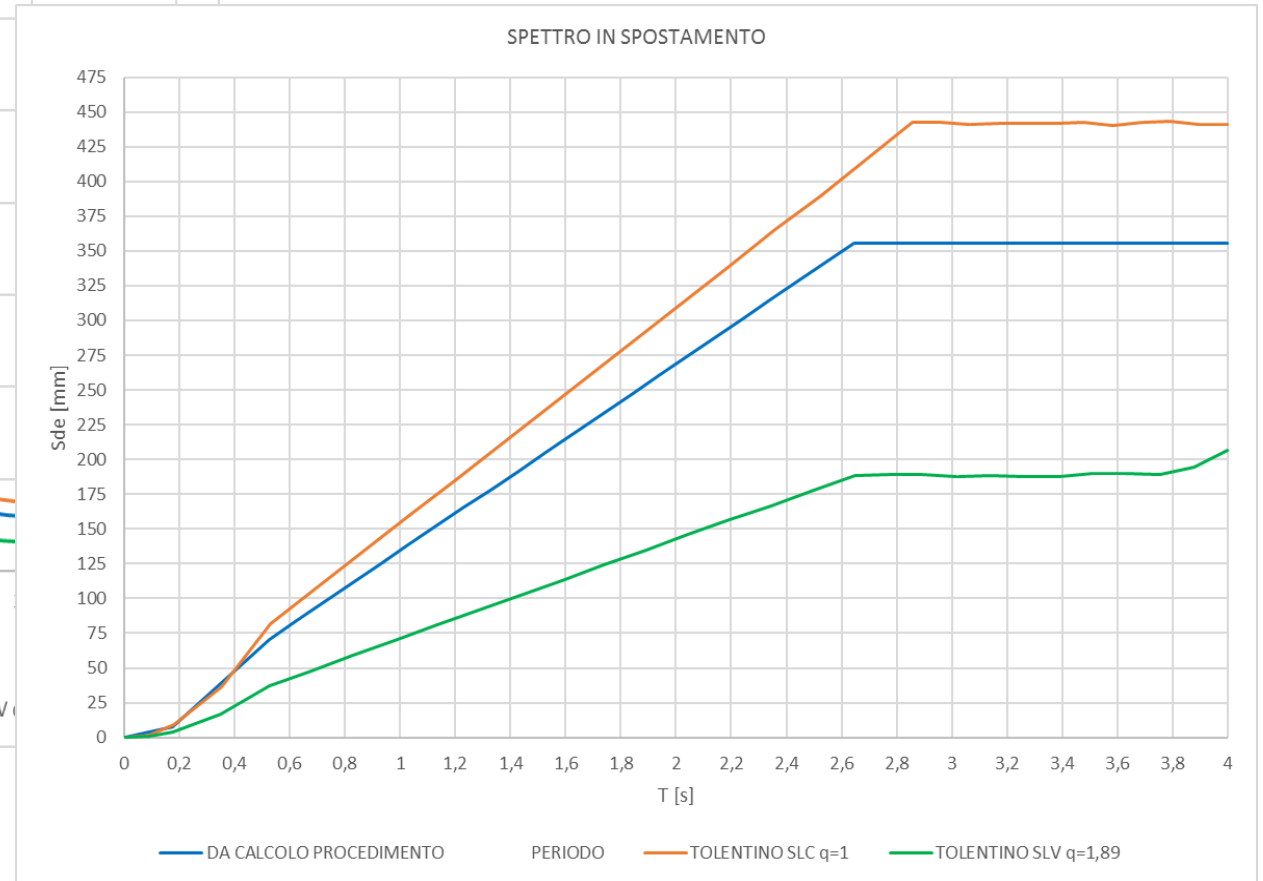
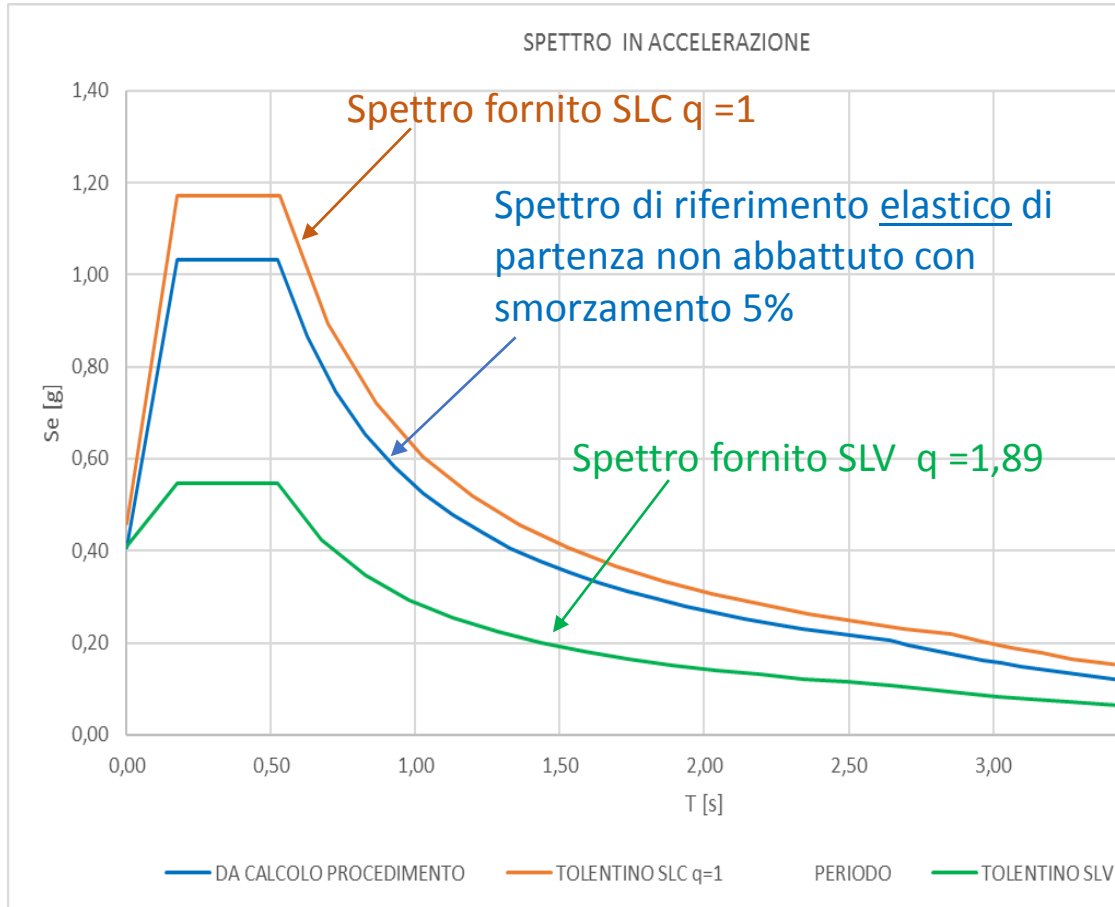
— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

PROCEDIMENTO ITERATIVO DI PREDIMENSIONAMENTO  
PRELIMINARE ISOLATORI A PENDOLO  
MODELLO LINEARE EQUIVALENTE



$$S_{De}(T) = S_e(T) \times \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2$$



# Periodo fondamentale di vibrazione della struttura a base fissa

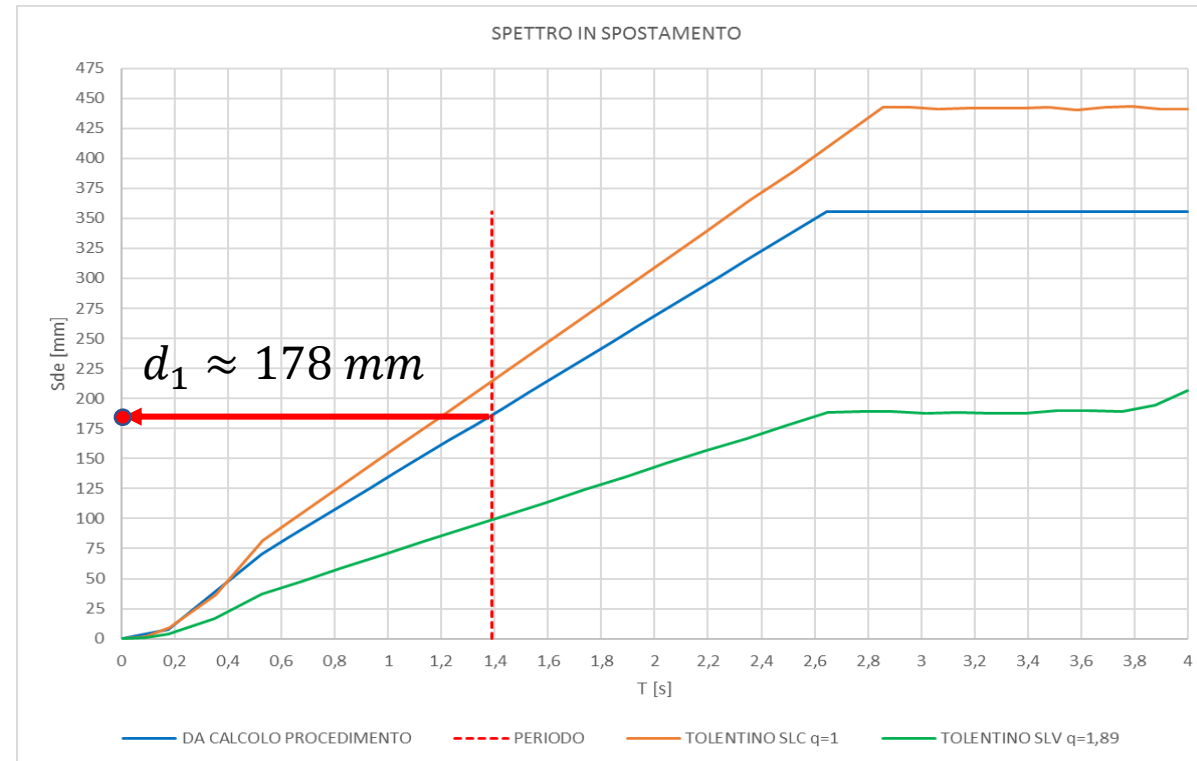
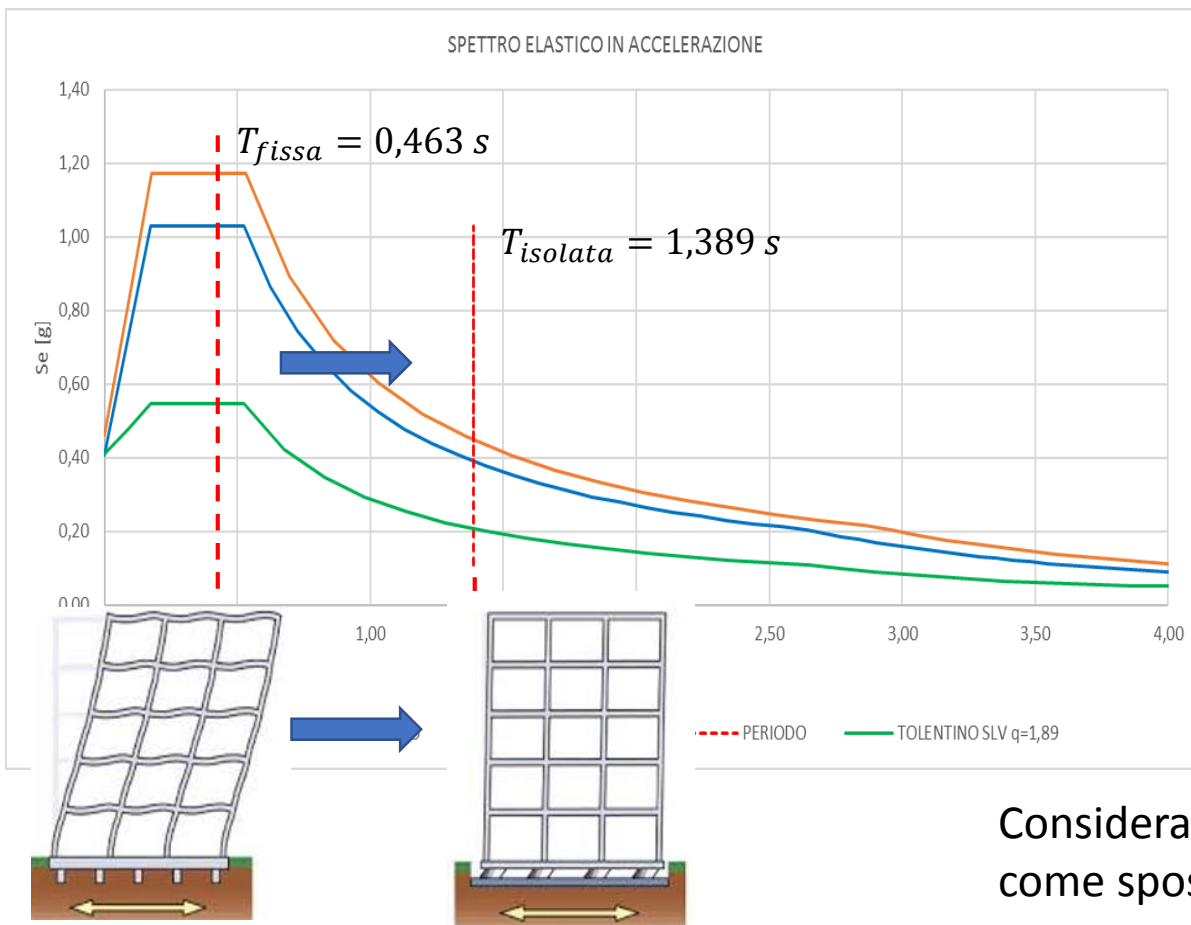
Periodo fondamentale in Dir. X:  $T_{fissa\_x} = 0,57$

Periodo fondamentale in Dir. Y:  $T_{fissa\_y} = 0,463$

Si ipotizza un periodo della struttura isolata di partenza, in genere maggiore di tre volte di quello a base fissa.

$$T_{isolato} > T_{base\ fissa}$$

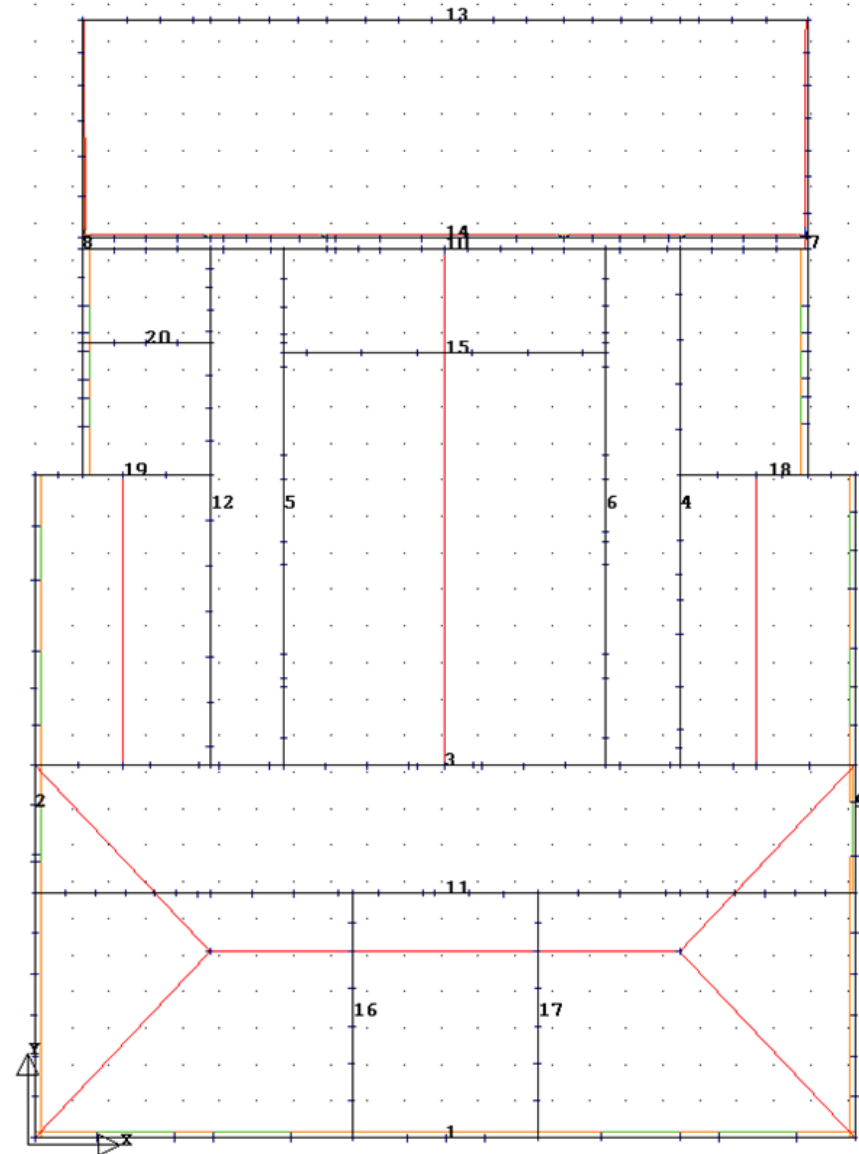
$$T_{is} \cong 3 \cdot T_{base\ fissa} = 3 \cdot 0,463\ s = \mathbf{1,389\ secondi}$$



Considerando un periodo di partenza  $T_{is} = 1,389\ s$  come spostamento di primo tentativo si ottiene  $d_1 \approx 178\ mm$

## INVILUPPO DEI CARICHI DISTRIBUITI IN MODO UNIFORME SUI TELAI MURATURA

| N. TRAVE | INVILUPPO CARICHI STATICI | INVILUPPO CARICHI SISMICI |
|----------|---------------------------|---------------------------|
|          | [t/m]                     | [t/m]                     |
| 1        | 10,09                     | 13,07                     |
| 2        | 6,34                      | 8,49                      |
| 3        | 11,76                     | 4,64                      |
| 4        | 7,40                      | 13,32                     |
| 5        | 9,92                      | 7,30                      |
| 6        | 9,92                      | 7,30                      |
| 7        | 17,50                     | 31                        |
| 8        | 17,50                     | 39                        |
| 9        | 6,34                      | 9,42                      |
| 10       | 13,28                     | 6,51                      |
| 11       | 10,21                     | 11,25                     |
| 12       | 7,40                      | 13,32                     |
| 13       | 8,55                      | 3,42                      |
| 14       | 9,87                      | 1,02                      |
| 15       | 6,20                      | 5,39                      |
| 16       | 10,61                     | 5,23                      |
| 17       | 10,61                     | 5,23                      |
| 18       | 11,41                     | 7,40                      |
| 19       | 11,41                     | 7,40                      |
| 20       | 10,40                     | 8,50                      |



Si considera:

|   |   |
|---|---|
| Raggio di curvatura del dispositivo                                   | <b>R = 3500mm</b>                           |
| Coefficiente d'attrito medio delle superfici di scorrimento           | <b><math>\mu = 2,5\%</math></b>             |
| Carico medio agente su ogni singolo isolatore in combinazione sismica | <b><math>N_{sd} = 800 \text{ kN}</math></b> |



*Nota\*: In questa primissima fase di dimensionamento il carico  $N_{sd}$  è stato scelto pari a 800 kN tenendo presente che una variazione anche abbastanza importante del carico agente sul dispositivo non influisce in modo significativo sul costo del medesimo. Nel campo dell'isolamento è opportuno ottimizzare il posizionamento degli isolatori. Nell'affinamento del progetto si terrà conto delle variazioni dei carichi verticali considerando anche le tecniche di intervento in retrofit e cercando di mantenere il numero di tipologie dei dispositivi non superiori a due.*

Tramite un processo iterativo, partendo da uno spostamento di progetto  $d_1 = 178mm$  si determina:

|   |         |  |
|---|---------|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rigidezza orizzontale equivalente dell'isolatore</li> </ul>    | $K_e$   | $K_e = N_{sd} \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{D} \right)$                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Smorzamento equivalente del sistema di isolamento</li> </ul>   | $\xi_e$ | $\xi_e = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} \right]$       |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodo proprio equivalente della struttura isolata</li> </ul> | $T_e$   | $T_e = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \left( \frac{1}{R} + \frac{\mu}{D} \right)}}$ |



|             |               |          |       |
|-------------|---------------|----------|-------|
| COSTANTI    | R             | 3500     | mm    |
|             | $\mu$         | 2,5      | %     |
|             | $N_{sd}$      | 800      | KN    |
| DATO INPUT  | d             | 178      | mm    |
|             |               |          |       |
| DATI OUTPUT | $T_e$         | 3,072962 | s     |
|             | $K_e$         | 0,340931 | KN/mm |
|             | $\varepsilon$ | 20,98088 | %     |

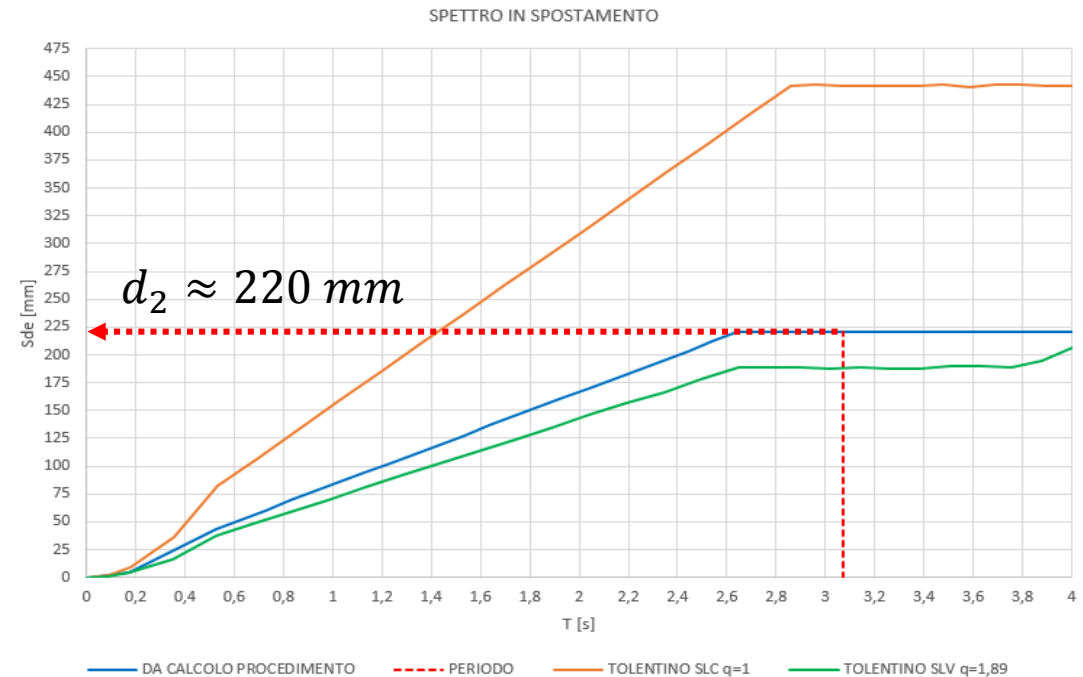
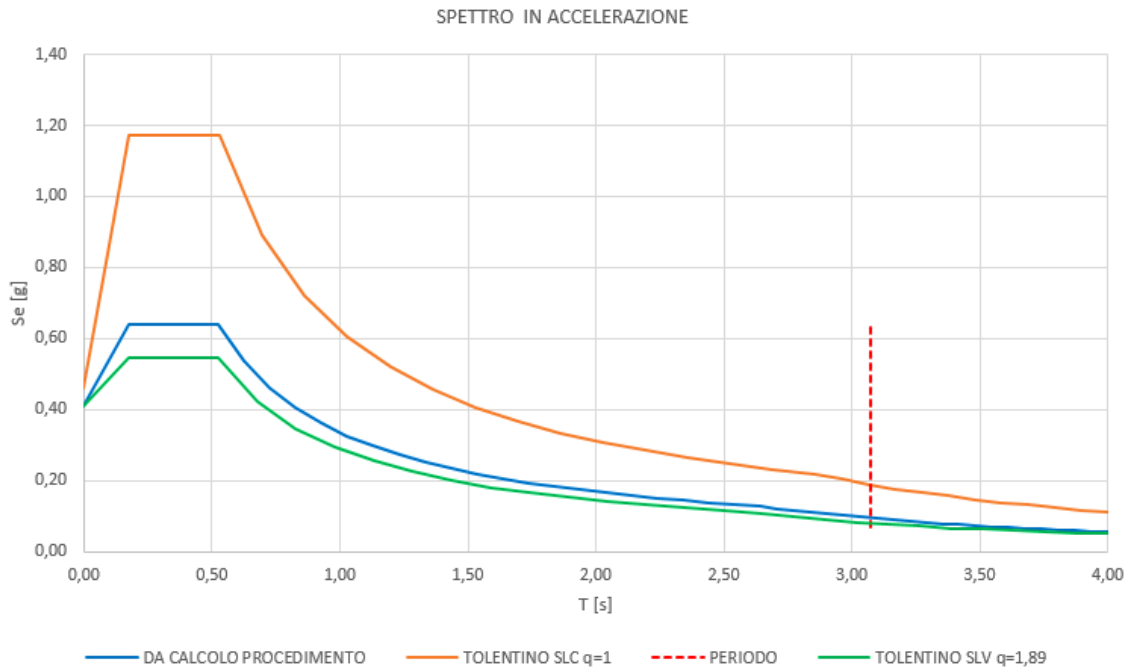
spostamento di primo tentativo  $d_1 \approx 178 \text{ mm}$

Si ottiene:

Coefficiente di smorzamento  $\xi_e = 20,98\%$

Periodo di vibrazione equivalente  $T_e = 3,073 \text{ s}$

Si aggiorna lo spettro utilizzando uno smorzamento  $\xi_e = 20,98\%$  ed andando a considerare un periodo  $T_e = 3,073 \text{ s}$  per il calcolo dello spostamento di progetto  $D_2$



Come spostamento di secondo tentativo si ottiene:  $D_2 \approx 220 \text{ mm}$

|               |          |       |
|---------------|----------|-------|
| R             | 3500     | mm    |
| $\mu$         | 2,5      | %     |
| $N_{sd}$      | 800      | KN    |
| d             | 220      | mm    |
| $T_e$         | 3,174448 | s     |
| $K_e$         | 0,319481 | KN/mm |
| $\varepsilon$ | 18,1152  | %     |

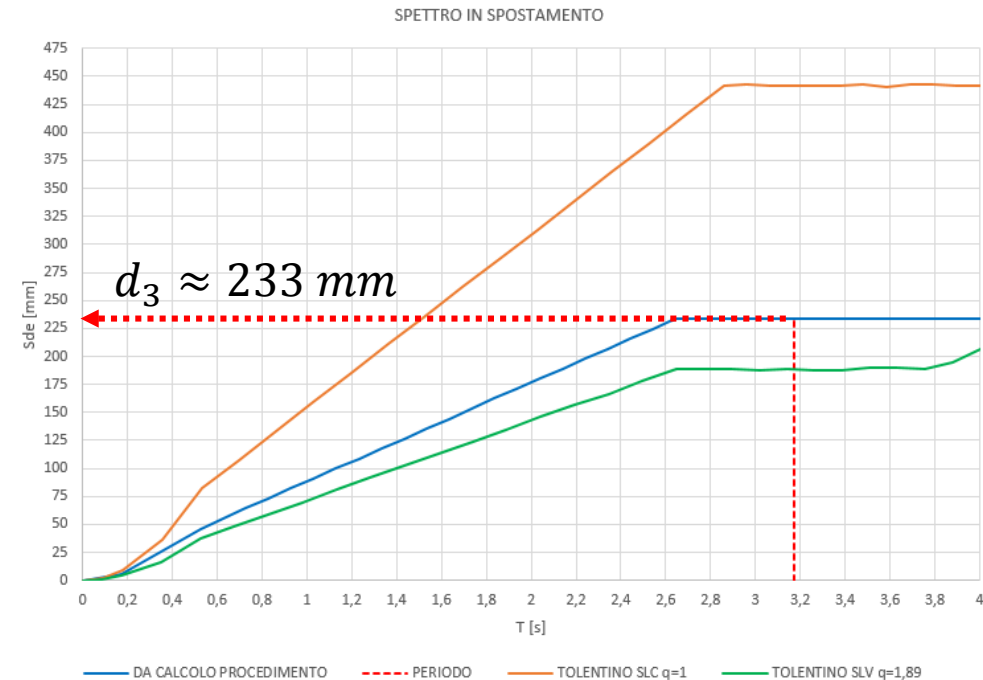
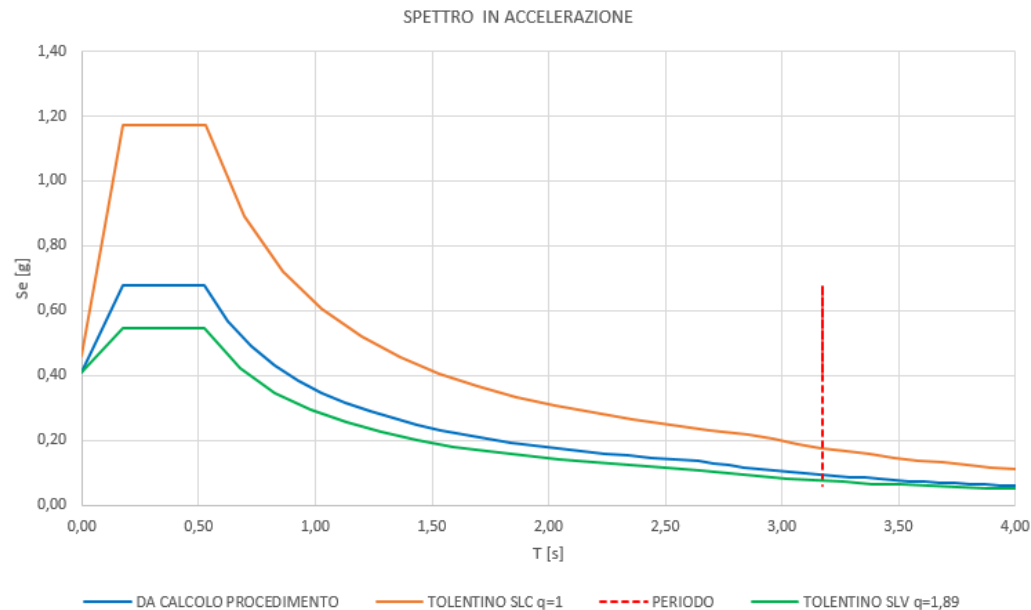
spostamento di secondo tentativo  $d_2 \approx 220 \text{ mm}$

Si ottiene:

Coefficiente di smorzamento  $\xi_e = 18,11\%$

Periodo di vibrazione equivalente  $T_e = 3,174 \text{ s}$

Si aggiorna lo spettro utilizzando uno smorzamento  $\xi_e = 18,11\%$  ed andando a considerare un periodo  $T_e = 3,174 \text{ s}$  per il calcolo dello spostamento di progetto  $D_3$



Come spostamento di terzo tentativo otteniamo:  $D_3 \approx 233 \text{ mm}$

|               |          |       |
|---------------|----------|-------|
| R             | 3500     | mm    |
| $\mu$         | 2,5      | %     |
| $N_{sd}$      | 800      | KN    |
|               |          |       |
| d             | 233      | mm    |
|               |          |       |
| $T_e$         | 3,199951 | s     |
| $K_e$         | 0,314408 | KN/mm |
| $\varepsilon$ | 17,38042 | %     |

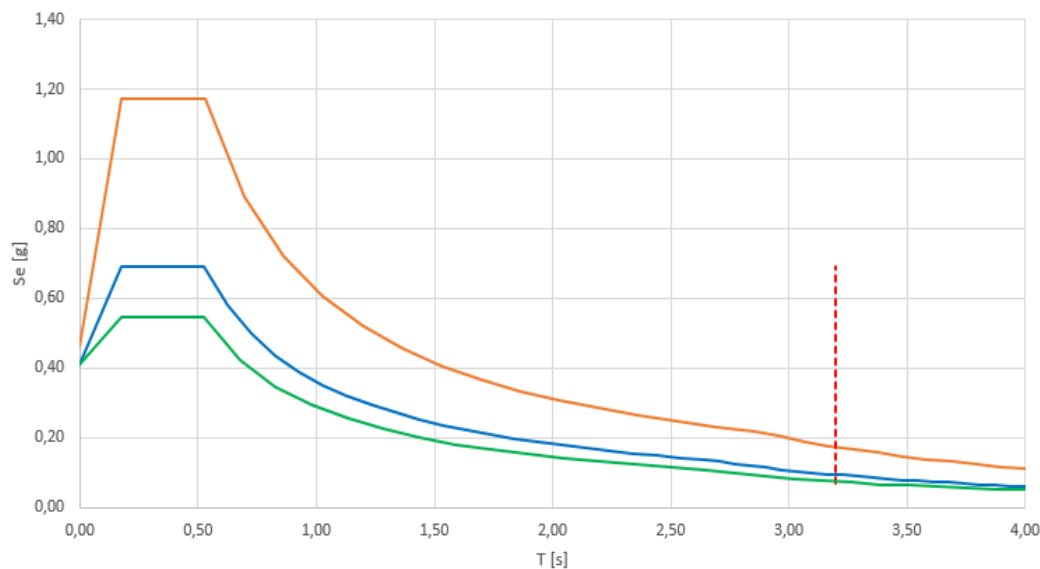
spostamento di terzo tentativo  $d_3 \approx 233 \text{ mm}$

Si ottiene:

Coefficiente di smorzamento  $\xi_e = 17,38\%$  Periodo di vibrazione equivalente  $T_e = 3,199 \text{ s}$

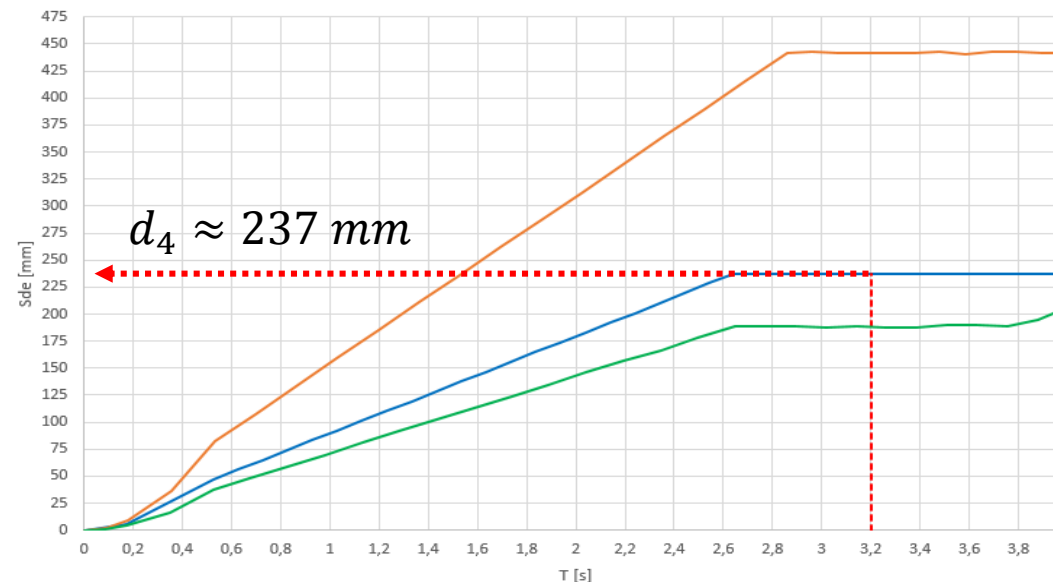
Si aggiorna lo spettro utilizzando uno smorzamento  $\xi_e = 17,38\%$  ed andando a considerare un periodo  $T_e = 3,199 \text{ s}$  per il calcolo dello spostamento di progetto  $D_4$

SPETTRO IN ACCELERAZIONE



— DA CALCOLO PROCEDIMENTO — TOLENTINO SLC q=1 - - - PERIODO — TOLENTINO SLV q=1,89

SPETTRO IN SPOSTAMENTO



— DA CALCOLO PROCEDIMENTO - - - PERIODO — TOLENTINO SLC q=1 — TOLENTINO SLV q=1,89

Come spostamento di quarto tentativo otteniamo:  $D_4 \approx 237 \text{ mm}$

|               |          |       |
|---------------|----------|-------|
| R             | 3500     | mm    |
| $\mu$         | 2,5      | %     |
| $N_{sd}$      | 800      | KN    |
| d             | 237      | mm    |
| $T_e$         | 3,207349 | s     |
| $K_e$         | 0,31296  | KN/mm |
| $\varepsilon$ | 17,16617 | %     |

spostamento di quarto tentativo  $d_4 \approx 237 \text{ mm}$

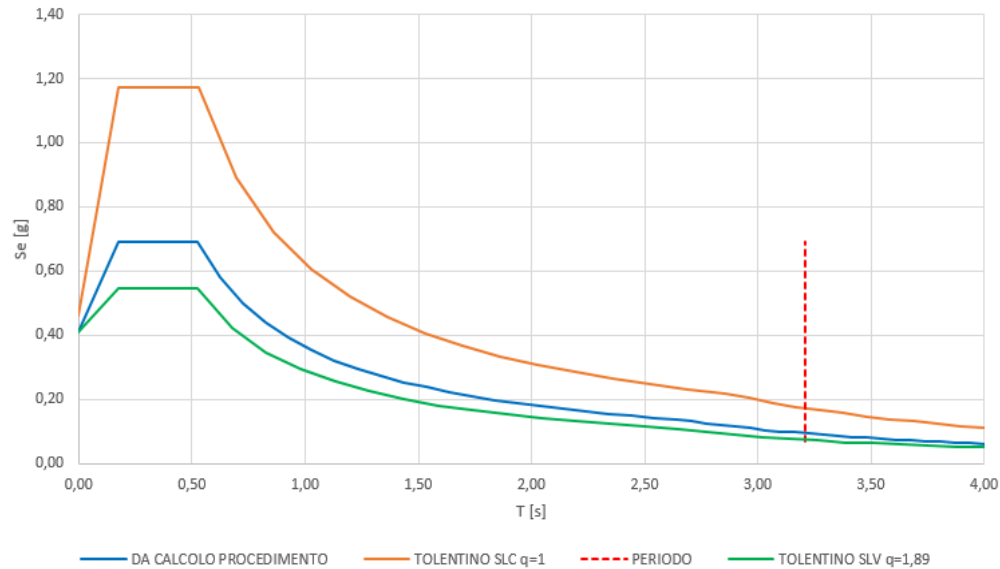
Si ottiene:

Coefficiente di smorzamento  $\xi_e = 17,16\%$

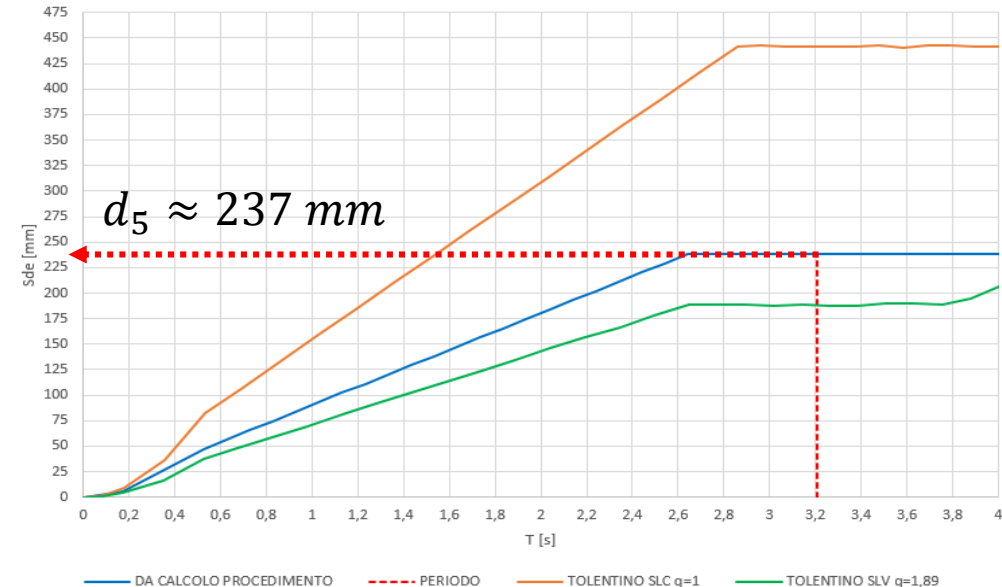
Periodo di vibrazione equivalente  $T_e = 3,207 \text{ s}$

Si aggiorna lo spettro utilizzando uno smorzamento  $\xi_e = 17,16\%$  ed andando a considerare un periodo  $T_e = 3,207 \text{ s}$  per il calcolo dello spostamento di progetto  $D_5$

SPETTRO IN ACCELERAZIONE



SPETTRO IN SPOSTAMENTO



Come spostamento di quinto tentativo otteniamo:  $D_5 \approx 238 \text{ mm}$  e arrestiamo le iterazioni.

| PREDIMENSIONAMENTO                    |        |           |               |             |
|---------------------------------------|--------|-----------|---------------|-------------|
| Raggio di curvatura R                 | 3500   | mm        |               |             |
| Coefficiente d'attrito $\mu$          | 2,5    | %         |               |             |
| Carico medio agente $N_{sd}$          | 800    | KN        |               |             |
| Periodo struttura a base fissa        | 0,46   | secondi   |               |             |
| Periodo di partenza struttura isolata | 1,389  | secondi   |               |             |
| Smorzamento di partenza               | 5      | %         |               |             |
|                                       |        |           |               |             |
|                                       | d [mm] | $T_e$ [s] | $K_e$ [KN/mm] | $\xi_e$ [%] |
| 1^iter                                | 178    | 3,072     | 0,341         | 20,98       |
| 2^iter                                | 220    | 3,174     | 0,319         | 18,11       |
| 3^iter                                | 233    | 3,19      | 0,314         | 17,38       |
| 4^iter                                | 237    | 3,207     | 0,313         | 17,16       |
| 5^iter                                | 238    | 3,209     | 0,312         | 17,11       |

Si considera uno smorzamento  $\xi_e = 17,11\%$  derivante dall'ultima iterazione

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

Stato Limite  
Stato Limite considerato: **SLC** info

Risposta sismica  
 Categoria di sottosuolo: **C** info  
 Categoria topografica: **T2** info  
 $S_S = 1,221$   $C_C = 1,468$  info  
 $h/H = 1,000$   $S_T = 1,200$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale  
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento  $\xi$  (%): **17,11**  $\eta = 0,673$  info  
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_o$ : **2,3625** Regol. in altezza: **no** info

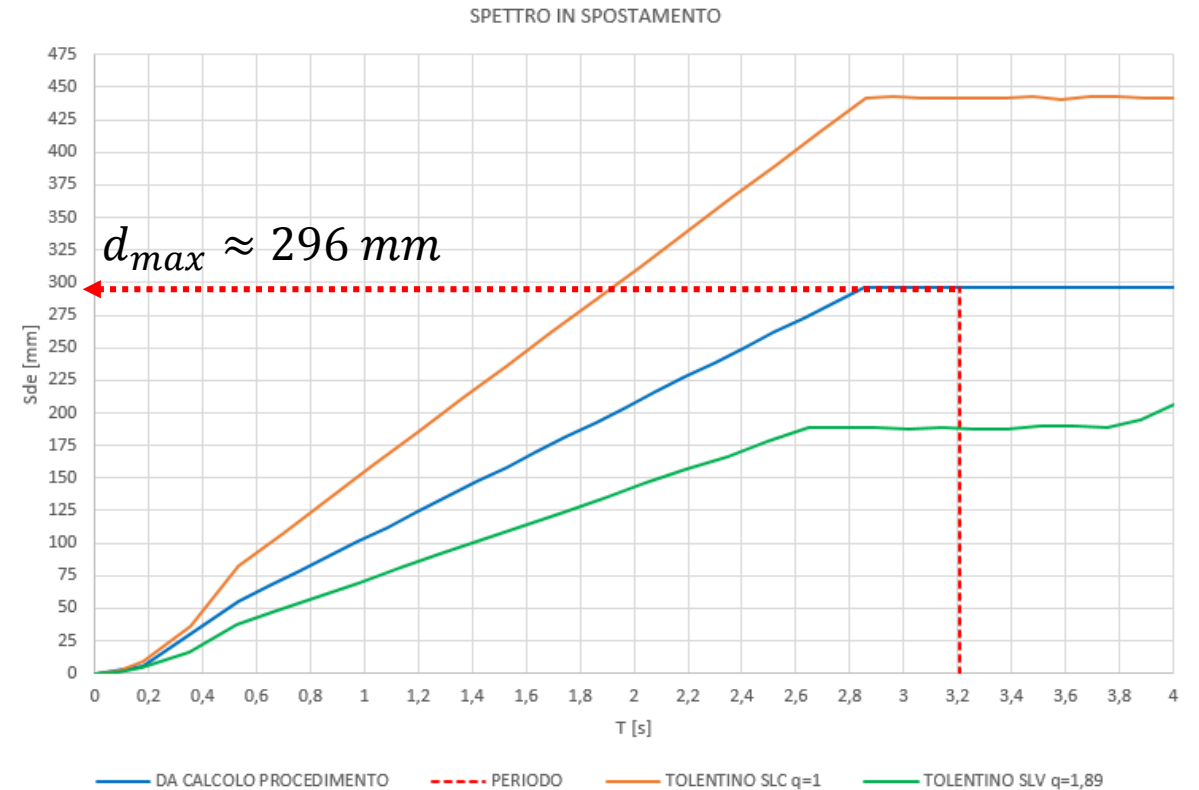
Compon. verticale  
 Spettro di progetto Fattore  $q$ : **1**  $\eta = 1,000$  info

Elaborazioni  
 Grafici spettri di risposta  
 Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta  
 $S_{d,o}$  [g]  
 $S_{d,v}$  [g]  
 $S_e$  [g]

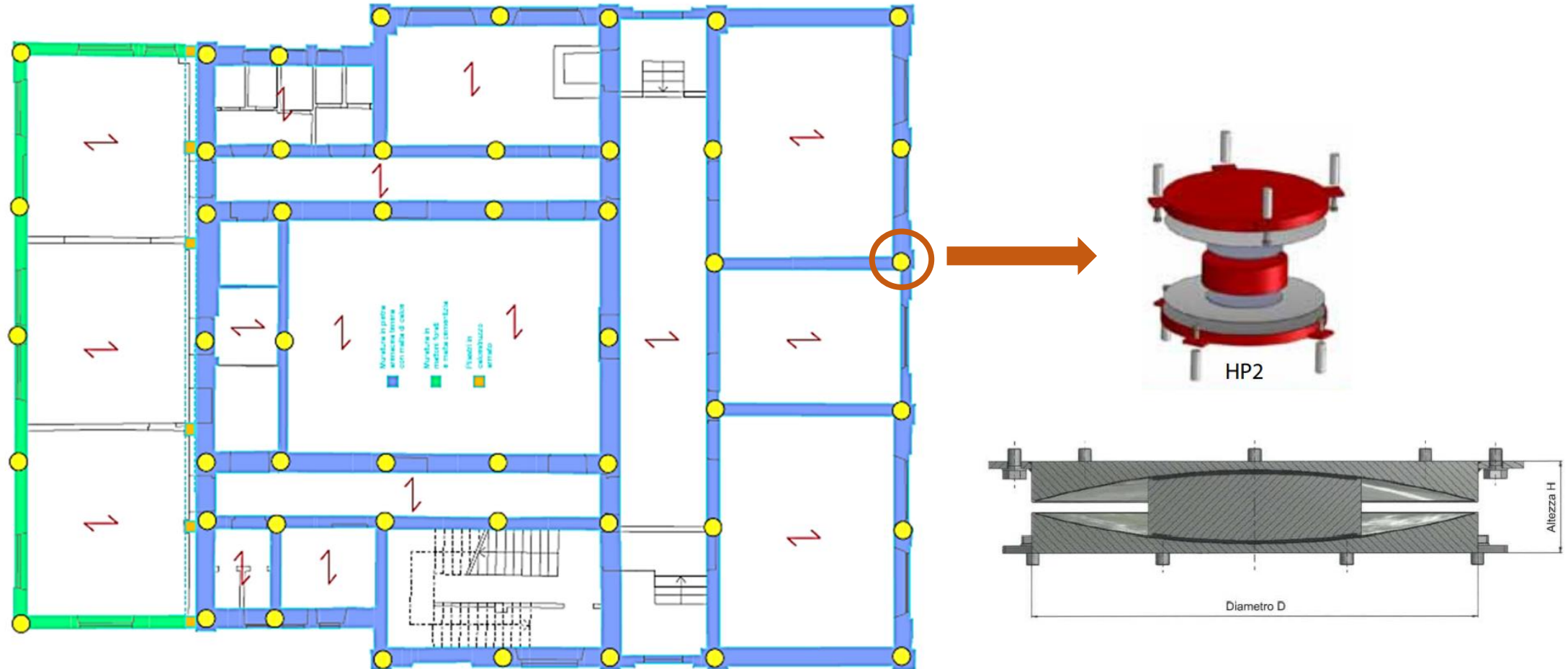
— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO    FASE 1    FASE 2    **FASE 3**



Considerando un periodo  $T = 3,209 \text{ s}$  dallo spettro di spostamento risulta uno **spostamento di progetto  $d_{max} = 296 \text{ mm}$**

Un posizionamento ipotizzato degli isolatori viene riportato in pianta, comunque da valutarsi anche in base alla metodologia di interventi in retrofit.



Numero Totale Isolatori HISLIDE: 50

## Tipo di isolatore proposto:

isolatore a pendolo a doppia superficie di scorrimento

## HISLIDE HP2 800/600

Numero di isolatori: 50

## Caratteristiche:

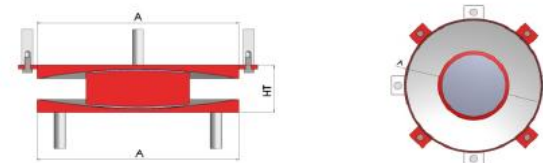
- Max carico in combinazione sismica  $N_{sd}$ : **800 KN**
- Max spostamento di progetto **D: +/- 300mm**
- Raggio di curvatura **R: 3500 mm**
- Coefficiente d'attrito  $\mu$  : **2,5 %**

### DIMENSIONS TABLES:HISLIDE HP2

They are identified by the following Mark:  
HP2 V<sub>k</sub>(kN)/D(mm)

EXAMPLE:

**HP2 3000/500:** Friction Pendulum with single sliding surface with 3000 kN characteristic vertical load and 500 mm horizontal displacement ( $\pm 250$ )



| V <sub>k</sub><br>kN | V <sub>d</sub><br>kN | D<br>± mm | A<br>mm | HT<br>mm |
|----------------------|----------------------|-----------|---------|----------|
| 1000                 | 1400                 | ± 250     | 440     | 108      |
| 2000                 | 2800                 | ± 250     | 520     | 122      |
| 3000                 | 4200                 | ± 250     | 580     | 132      |
| 4000                 | 5600                 | ± 250     | 630     | 139      |
| 5000                 | 7000                 | ± 250     | 680     | 147      |
| 6000                 | 8400                 | ± 250     | 720     | 154      |
| 7000                 | 9800                 | ± 250     | 750     | 160      |
| 8000                 | 11299                | ± 250     | 790     | 167      |
| 9000                 | 12600                | ± 250     | 820     | 170      |
| 10000                | 14000                | ± 250     | 850     | 189      |
| 11000                | 15400                | ± 250     | 880     | 194      |
| 12000                | 16800                | ± 250     | 910     | 199      |
| 13000                | 18200                | ± 250     | 930     | 203      |
| 15000                | 21000                | ± 250     | 980     | 212      |
| 17500                | 24500                | ± 250     | 1040    | 220      |
| 20000                | 28000                | ± 250     | 1100    | 230      |
| 25000                | 35000                | ± 250     | 1200    | 247      |
| 30000                | 42000                | ± 250     | 1290    | 263      |
| 40000                | 56000                | ± 250     | 1440    | 289      |
| 50000                | 70000                | ± 250     | 1590    | 312      |
| 60000                | 84000                | ± 250     | 1710    | 334      |

V<sub>k</sub>: CHARACTERISTIC LOAD (SLS)

HT: TOTAL HEIGHT

V<sub>d</sub>: DESIGN LOAD (ULS)

R: equivalent radius (from 1500mm to 7000mm)

D: HORIZONTAL DISPLACEMENT ( $\pm D/2$ )

$\mu$ : dynamic friction coefficient (from 2% to 10%)

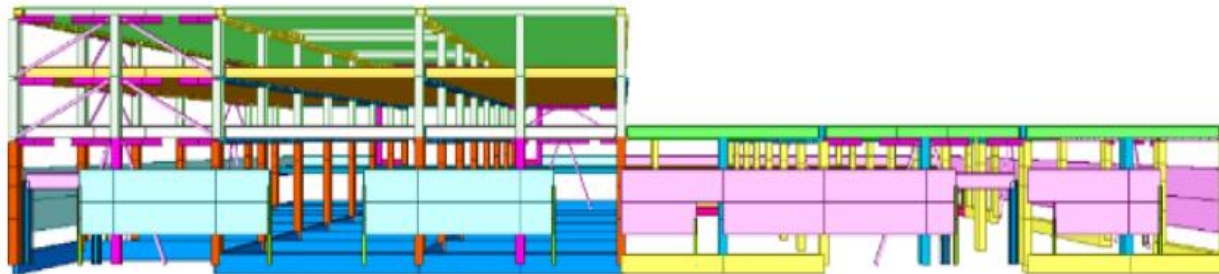
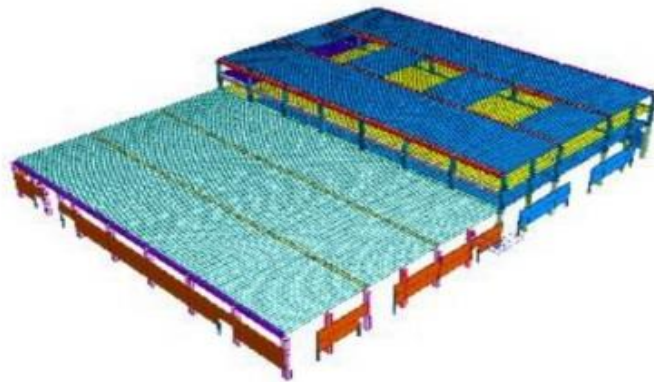
A: PLATE DIMENSIONS

*Esempio di catalogo della HIRUN Engineering*  
*\*\*I dispositivi sono comunque tutti prodotti su misura*



## DISSIPATORI VISCOELASTICI HIFLUID VSD

INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SISMICO DI UN COMPLESSO INDUSTRIALE CON L'UTILIZZO DI CONTROVENTI DISSIPATIVI MUNITI DI DISPOSITIVI VISCOELASTICI



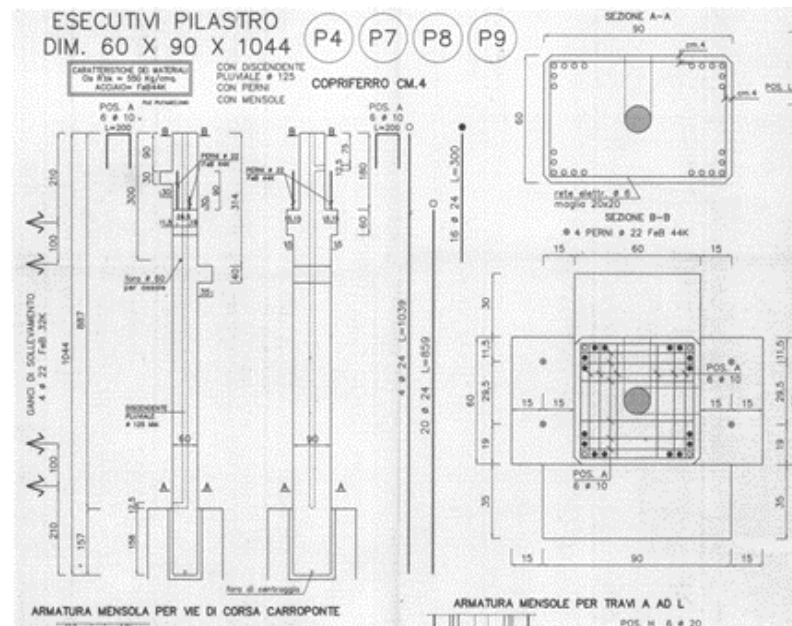


## RILIEVO STRUTTURALE

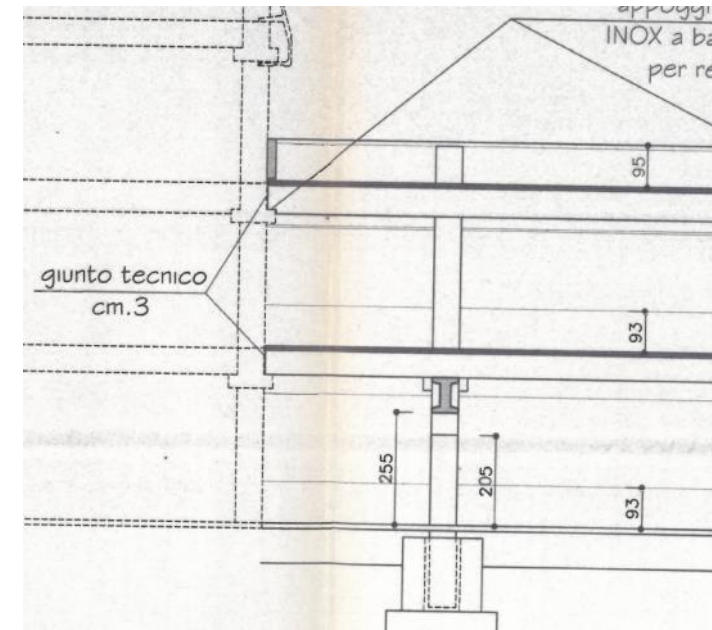
- Strutture regolari in pianta (2 blocchi 70x40m)
- Pilastri prefabbricati
- Travi principali in c.a.p a T rovescia e ad L
- Solai con tegoli TT e soletta integrata
- Fondazione a plinti bi-palo
- Collegamento tra i due edifici con appoggio semplice di tipo «a sella»

- Rilievi
- Indagini in sito
- Carotaggi
- Prove di laboratorio
- Prove ultrasoniche e sclerometriche
- Sondaggi

**Livello di conoscenza LC2 (FC=1.2)**



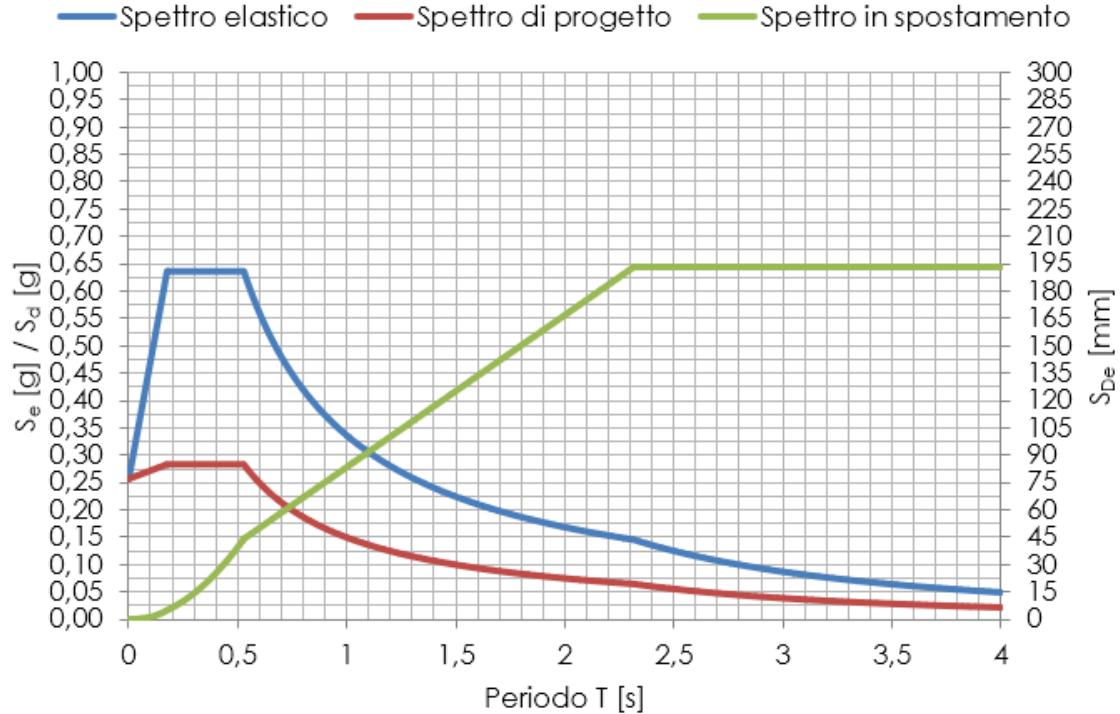
Disegno originale di una colonna prefabbricata



Appoggio semplice delle travi (lato ampliamento)

## VERIFICHE STRUTTURALI PRE-INTERVENTO

Spettro elastico e di progetto



| SL  | $T_R$<br>[s] | $a_g$ [g] | $F_0$ | $T_C^*$ |
|-----|--------------|-----------|-------|---------|
| SLO | 45           | 0.057     | 2.47  | 0.302   |
| SLD | 75           | 0.072     | 2.461 | 0.323   |
| SLV | 712          | 0.183     | 2.482 | 0.358   |
| SLC | 1462         | 0.231     | 2.504 | 0.363   |

ANALISI

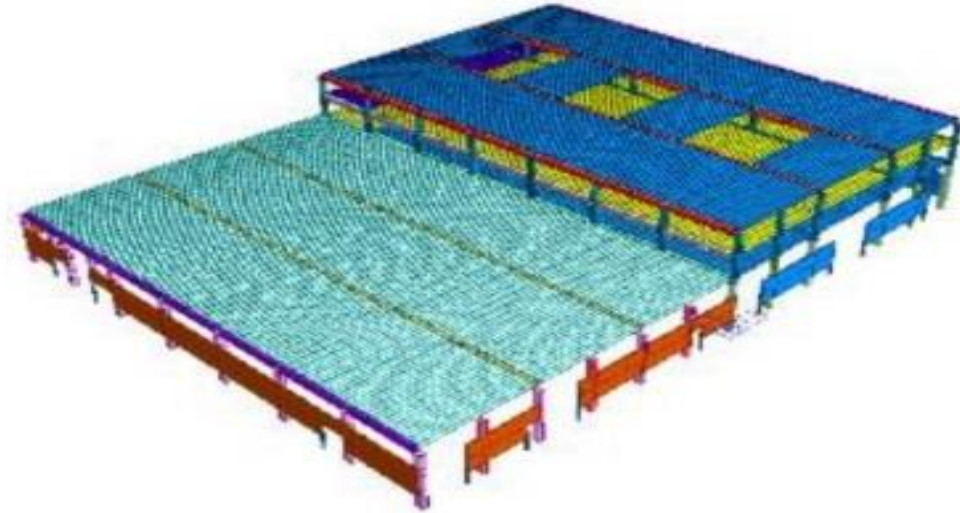


- Adeguata resistenza degli elementi strutturali nei confronti dei carichi statici
- Notevole carenza di rigidezza e resistenza nei confronti azioni orizzontali in combinazioni sismiche
- Crisi principali di tipo flessionale concentrate al piede dei pilastri
- Spostamenti eccessivi fino a superare i 40cm

## PRINCIPALI PROBLEMATICHE STRUTTURALI



Corpo del fabbricato (Google Maps)



Modellazione F.E.M. del fabbricato

- Deformate sotto azioni sismiche incompatibili con i pochi centimetri di giunti tecnici (ordine dei 3/6 cm) presenti rispetto ai corpi adiacenti
- Spostamenti eccessivi nella direzione di appoggio delle travi dell'ampliamento (superiori a 15 cm)



Rischio di importanti fenomeni di «martellamento» tra i corpi adiacenti



Rischio di scivolamento della trave con conseguente perdita dell'appoggio

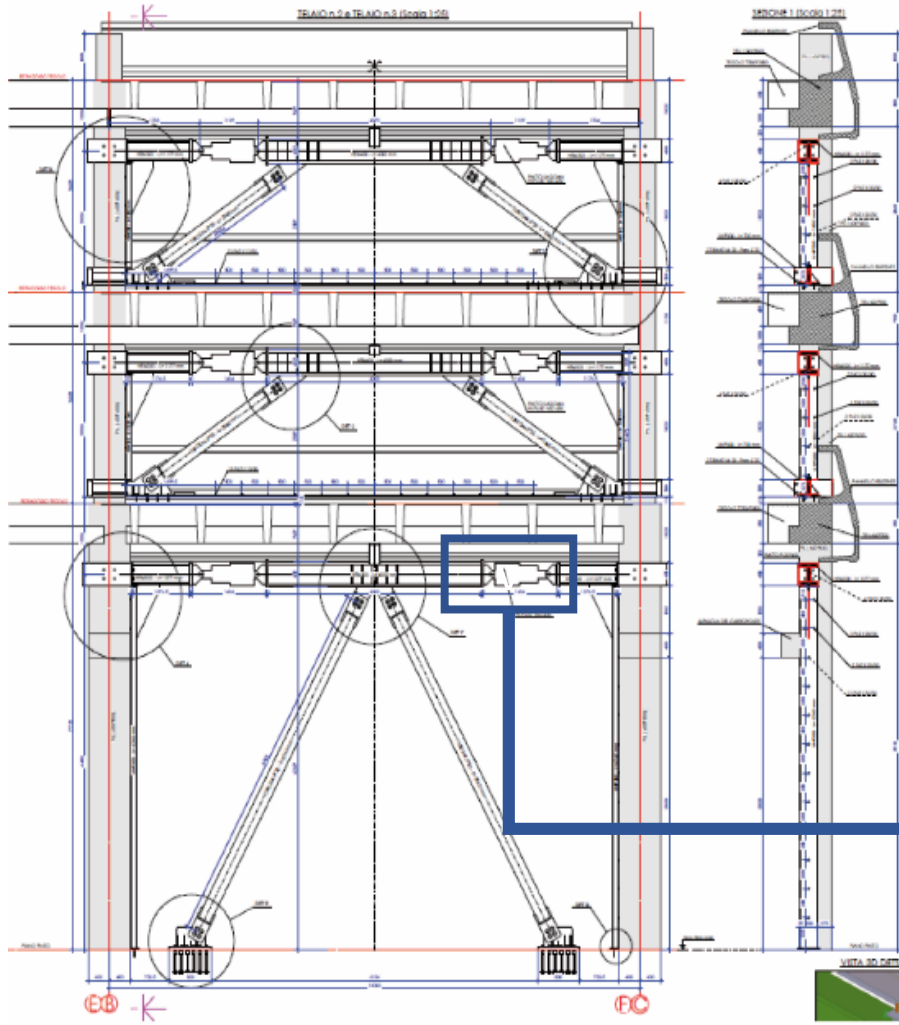
## OBIETTIVI DEL PROGETTO

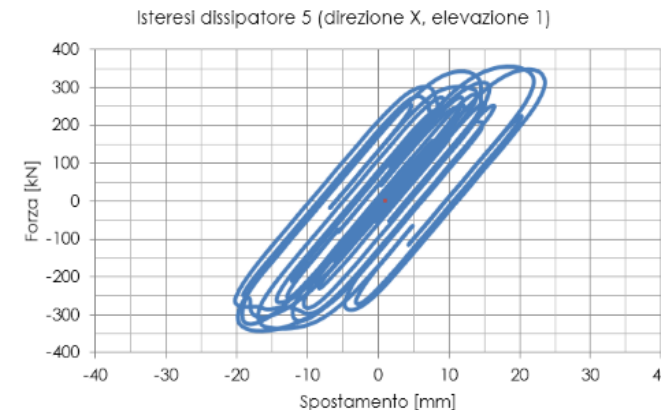
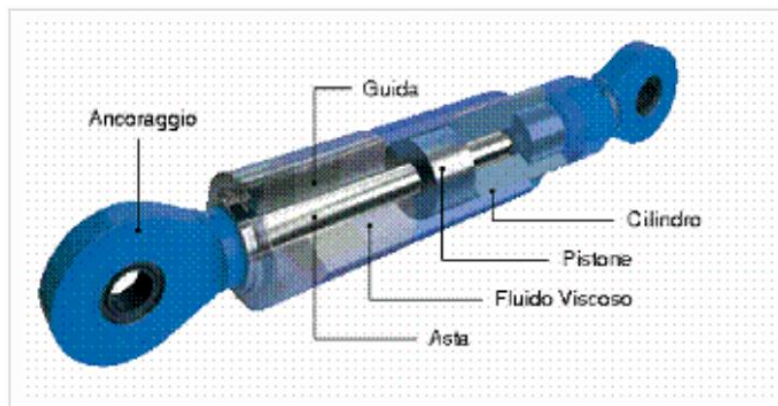
- ✓ Riduzione delle accelerazioni di piano
- ✓ Riduzione degli spostamenti interpiano
- ✓ Ottenimento di un accettabile livello di smorzamento
- ✓ Riduzione dell'invasività dell'intervento
- ✓ Ampliamento di giunti tecnici nei limiti consentiti



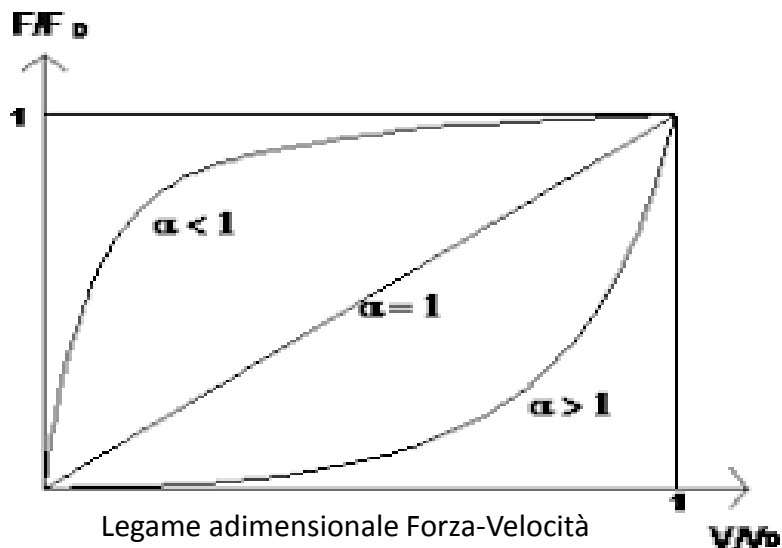
## SOLUZIONE

Dissipazione dell'energia sismica mediante l'utilizzo di **controventi in acciaio muniti di dispositivi viscoelastici**





- Dissipatori «dipendenti dalla velocità»
- Dissipano l'energia sismica in input mediante la non linearità del proprio ciclo isteretico
- Riducono gli effetti delle azioni dinamiche (riduzione degli spostamenti)



$$F = C \cdot v^\alpha$$

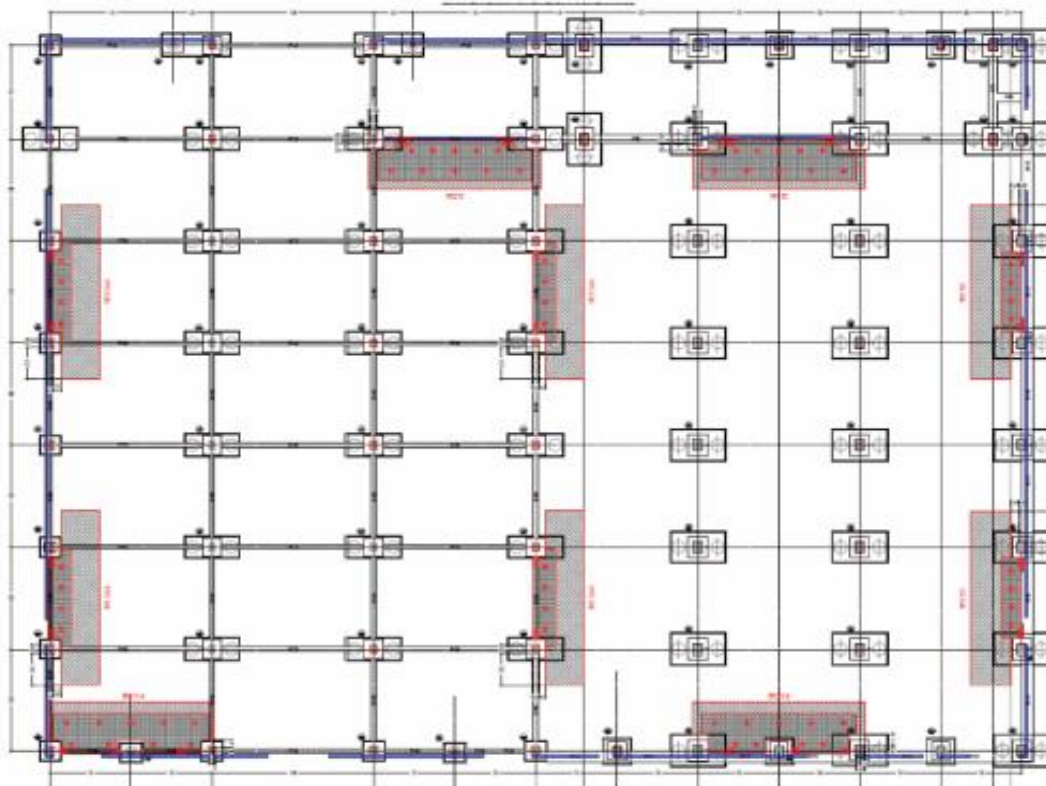
Coefficiente di smorzamento

Velocità relativa del pistone

Fattore esponenziale dipendente dal circuito idraulica  $0 \leq \alpha \leq 2$

## SCelta E DISPOSIZIONE DEI DISPOSITIVI

- I dispositivi viscoelastici presentano un legame costitutivo non lineare, per cui la loro taratura ha richiesto analisi time history non lineari nel tempo tarando opportunamente i parametri  $\nu$ ,  $\alpha$ ,  $C$ .
- Il predimensionamento è stato condotto con un'analisi elastica modellando i dispositivi come link elastici dotati di un'opportuna rigidità, al quale viene definita al fine di ottenere lo smorzamento richiesto
- Le analisi richieste per la finalizzazione di questo tipo di intervento devono essere necessariamente effettuate con analisi dinamiche non lineari con integrazione al passo

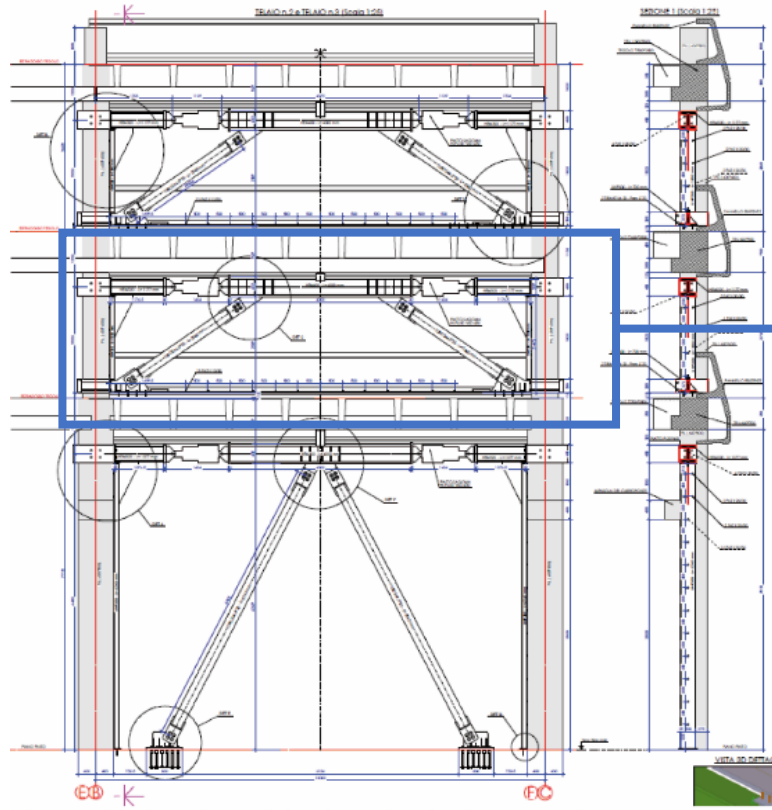


Totale di 44 dispositivi:

- 28 in direzione x
- 16 in direzione y

| DIREZIONE X      |        |       |
|------------------|--------|-------|
| F                | 421.14 | kN    |
| V                | 250    | mm/s  |
| LINEARE          |        |       |
| K <sub>el</sub>  | 11     | kN/mm |
| NON LINEARE      |        |       |
| C                | 139.58 | kN    |
| V <sub>rif</sub> | 1      | mm/s  |
| $\alpha$         | 0.2    |       |
| K <sub>nl</sub>  | 22     | kN/mm |

| DIREZIONE Y      |         |       |
|------------------|---------|-------|
| F                | 1824.92 | kN    |
| V                | 250     | mm/s  |
| LINEARE          |         |       |
| K <sub>el</sub>  | 47      | kN/mm |
| NON LINEARE      |         |       |
| C                | 604.86  | kN    |
| V <sub>rif</sub> | 1       | mm/s  |
| $\alpha$         | 0.2     |       |
| K <sub>nl</sub>  | 94      | kN/mm |







## PROVE DI ACCETTAZIONE E QUALIFICAZIONE EN15129 e NTC 2008/18



Macchina Test dei dispositivi sismici di proprietà HIRUN, Wuhan (Cina)



| DISPOSITIVO           | Quantitativo di prove da effettuare | Cosa è necessario verificare                   | Prove distruttive |
|-----------------------|-------------------------------------|--|-------------------|
| ISOLATORI IN GOMMA    | 20% (min. 4)                        | Rigidezza –<br>capacita' di movimento          | NO                |
| ISOLATORI A PENDOLO   | 20% (min. 4)                        | Rigidezza –<br>coefficiente d'attrito          | NO                |
| A VINCOLO PROVVISORIO | 20% (min. 4)                        | Rigidezza –<br>smorzamento -<br>Sovrapressione | NO                |
| FLUIDO-DINAMICI       | 20% (min.4)                         | Legge costitutiva<br>dinamica                  | NO                |

Dissipatori VSD sono omologati CE e conformi alle norme EN15129

Le prove di accettazione sono eseguite su almeno il 20% dei dispositivi, comunque non meno di 4 e non più del numero di dispositivi da mettere in opera



## VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ SISMICA

### Indici di sicurezza PRE-intervento

$$\text{Indice di rischio } \alpha_U = \frac{PGA_{\text{capacità}}}{PGA_{\text{domanda}}}$$

Al fine di determinare la quota «incassabile» dall'edificio in termini di accelerazioni si è agito sulla probabilità di superamento nel periodo di riferimento %P<sub>vr</sub> finché l'intera struttura non è risultata completamente verificata in termini di sollecitazioni e di spostamento.  
Il valore di target era 60mm.

- Introduzione nel modello strutturale della distribuzione di armatura così come rilevata in sito e desunta dal progetto originario
- Analisi dinamica lineare con q=1.50

| SL  | T <sub>R</sub><br>[s] | a <sub>g</sub> [g] | F <sub>0</sub> | T <sub>C</sub> * |
|-----|-----------------------|--------------------|----------------|------------------|
| SLO | 45                    | 0.057              | 2.47           | 0.302            |
| SLD | 75                    | 0.072              | 2.461          | 0.323            |
| SLV | 712                   | 0.183              | 2.482          | 0.358            |
| SLC | 1462                  | 0.231              | 2.504          | 0.363            |

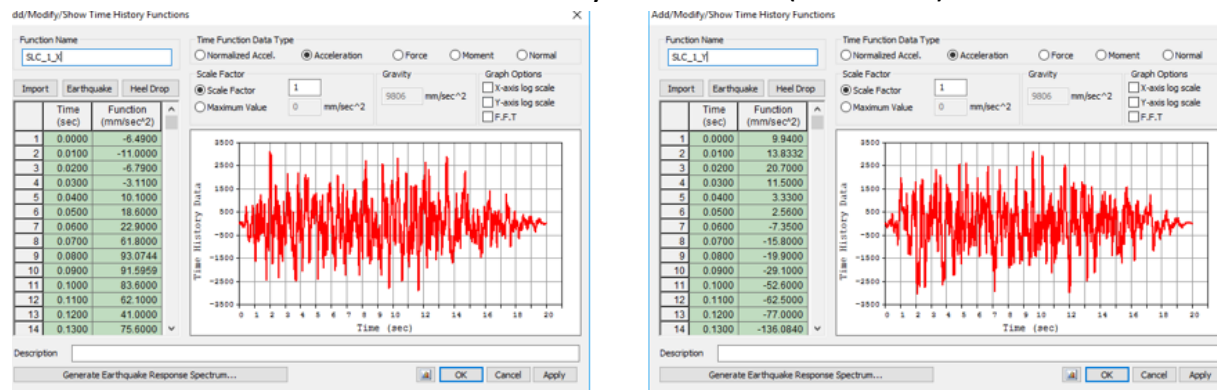
↓  
*PGA<sub>domanda</sub> Accelerazione richiesta*

In termini di sollecitazioni

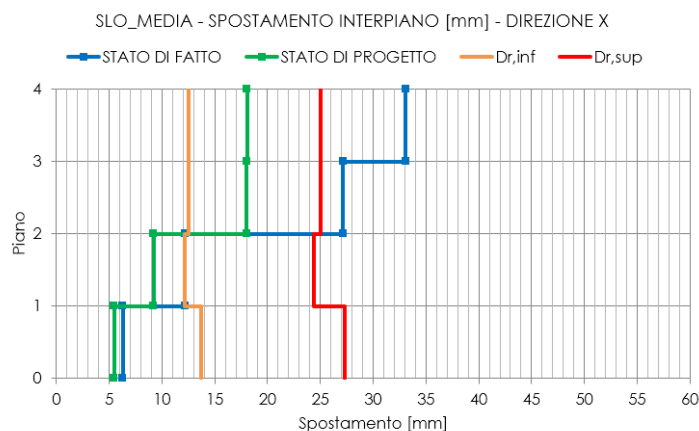
$$\alpha_U = \frac{0.152 a_g/g}{0.183 a_g/g} = 0.831$$

In termini di spostamenti

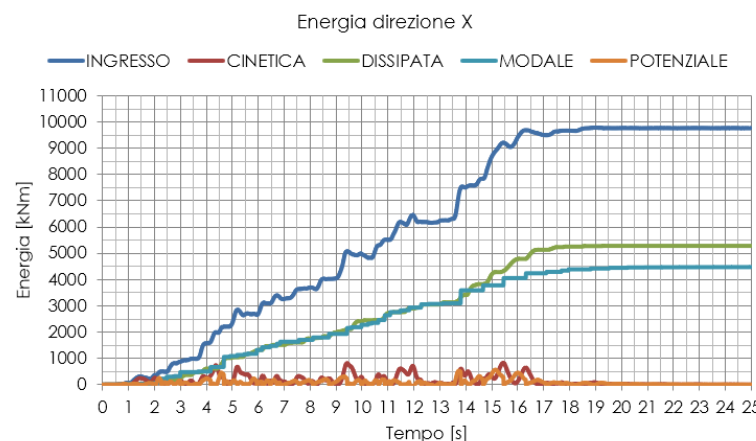
$$\alpha_U = \frac{0.024 a_g/g}{0.183 a_g/g} = 0.131$$



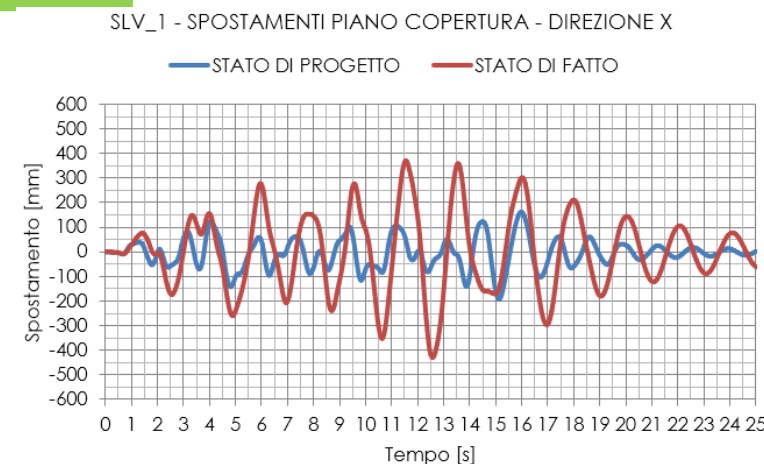
| $\alpha_U$                   | Pre-intervento | Post-intervento |
|------------------------------|----------------|-----------------|
| In termini di sollecitazioni | 0.831          | 1.00            |
| In termini di spostamenti    | 0.131          | 1.00            |



Verifica dei drifts interpiano SLO



Verifica energetica



Verifica spostamenti in copertura

L'intervento con l'introduzione di controventi dissipativi muniti di dispositivi viscoelastici ha soddisfatto i requisiti normativi in termini di accelerazioni al suolo per i nuovi fabbricati ubicati nella zona in esame.

**L'edificio risulta adeguato sismicamente**

# Grazie per l'attenzione



*Rinforzi strutturali – Sistemi antisismici*

*Via Retrone, 39 - 36077 Altavilla Vicentina (VI) Tel.*

*0444/522797 - Fax 0444/349110*

*info@gpintech.com*