



# **CONOSCENZA, PREVENZIONE E SICUREZZA SISMICA**



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

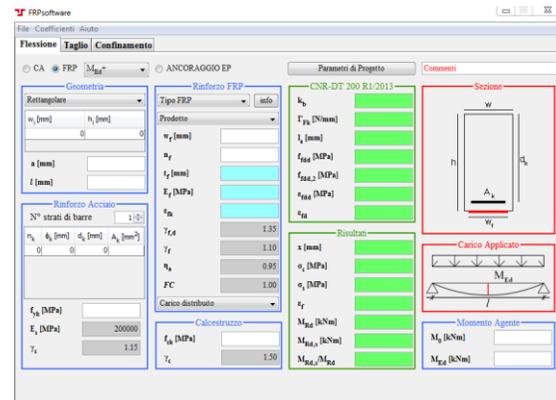
***Relatori: Dott. Ing. Pietro Tomassini***





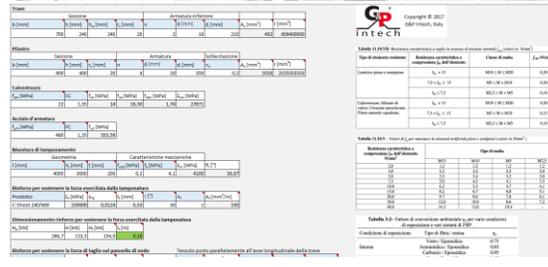
## FRP<sup>®</sup>software

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



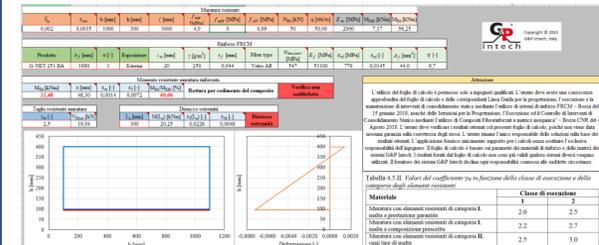
## FRP<sup>®</sup>node

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



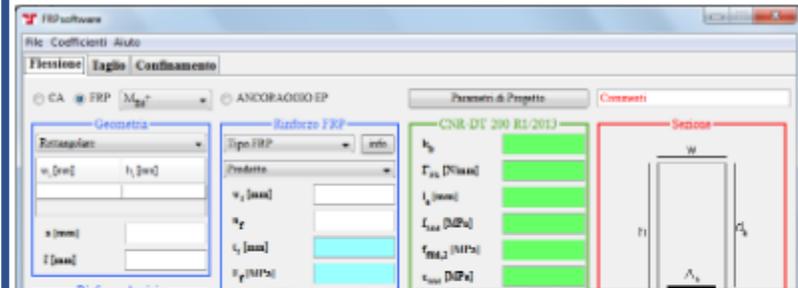


**A CHE COSA SERVE?** Il software FRP costituisce uno strumento di calcolo per il progettista che intende rinforzare elementi in calcestruzzo armato (c.a.) con compositi FRP. Il nuovo software è aggiornato sulla base delle ultime normative DT200R1/2013 e linee guida di qualificazione

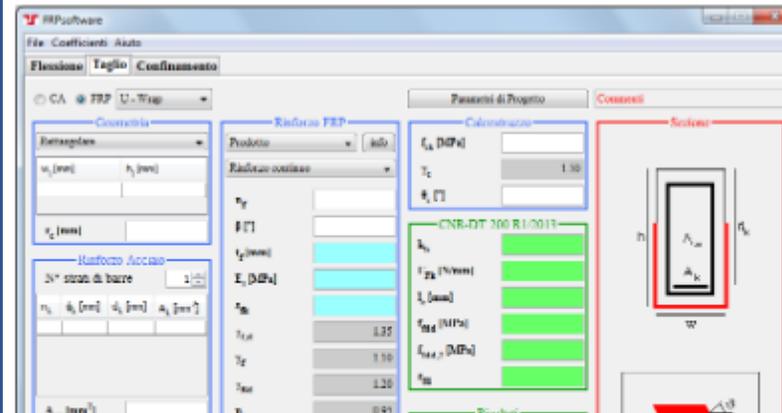
**COME FUNZIONA?**

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

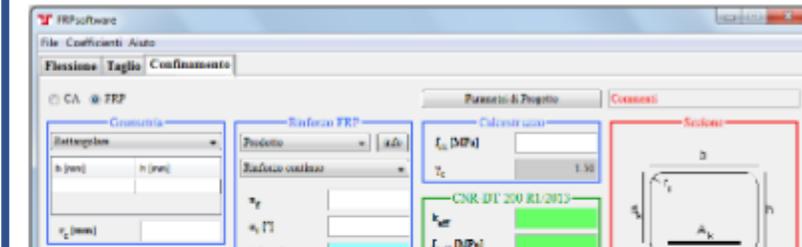
## •RINFORZO A FLESSIONE



## •RINFORZO A TAGLIO



## •RINFORZO A CONFINAMENTO

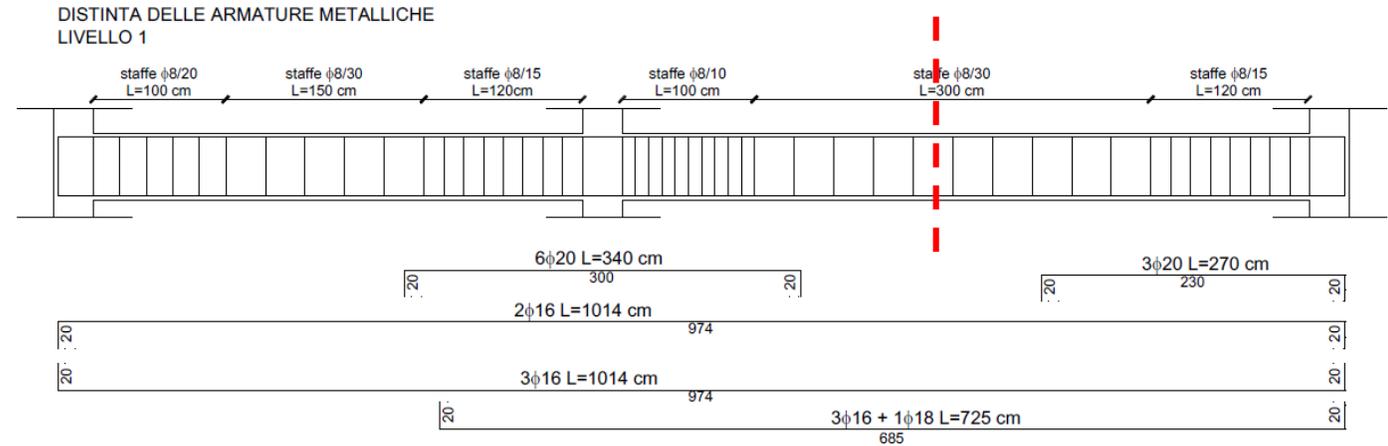
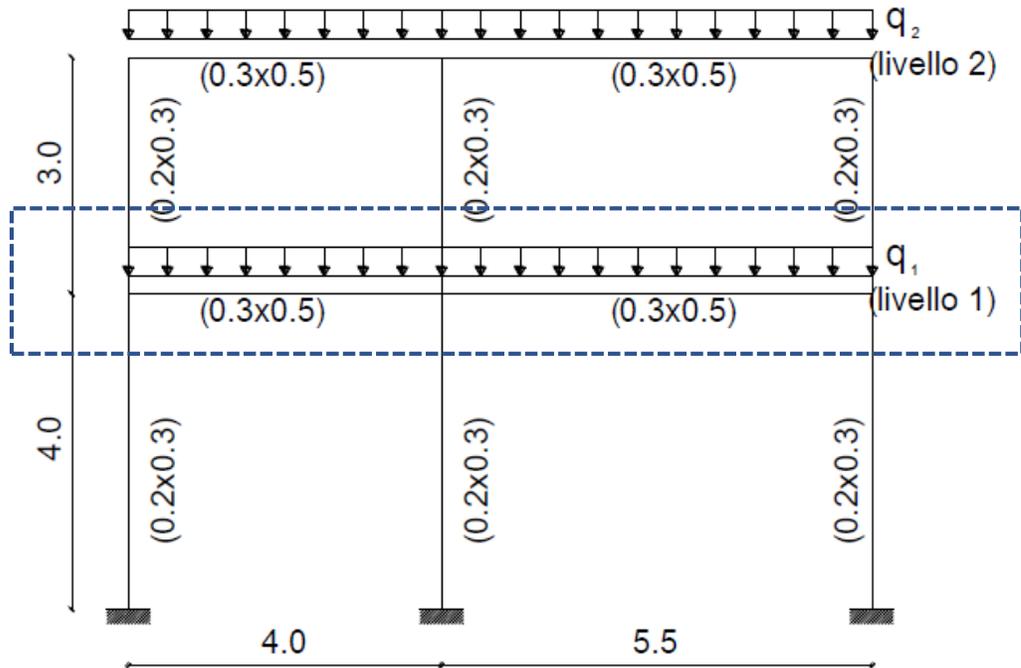


Esempi di intervento: Cambio di destinazione d'uso

Edificio Civile abitazione → Biblioteca

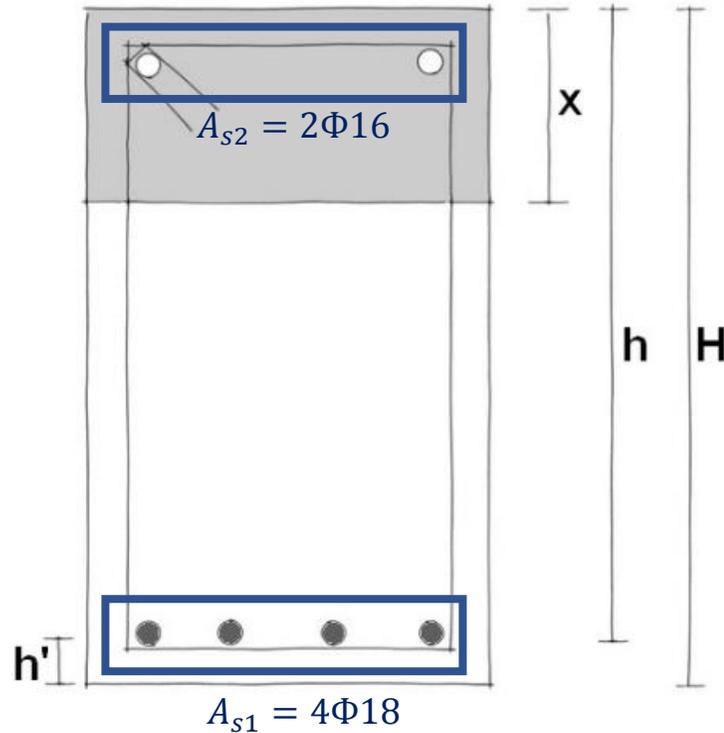
$q_1$ , CIVILE ABITAZIONE. →  $q_{1*}$ , BIBLIOTECA

- 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

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

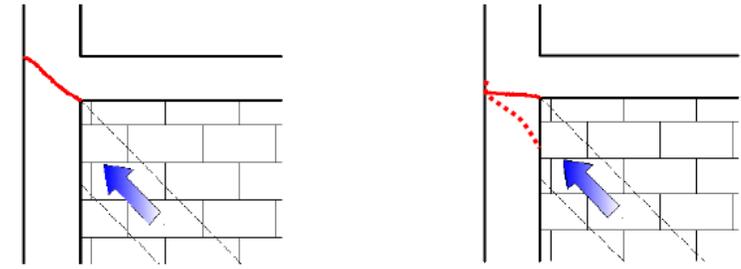
VERIFICA SODDISFATTA



Connettori a fiocco per evitare il distacco di estremità

**INCREMENTO DI RESISTENZA**

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

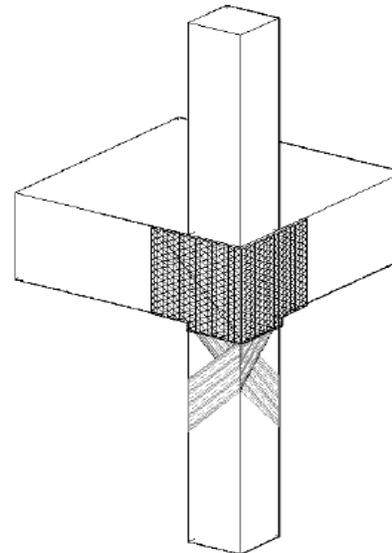


## A CHE COSA SERVE?

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>1</sub> [mm]	n	φ [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> ]	I [mm <sup>4</sup> ]	
700	240	240	20	2	16	210	402	80640000	

Pilastro		Sezione		Armatura		Sollecitazione	
b [mm]	h [mm]	r <sub>1</sub> [mm]	n	φ [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	V <sub>2</sub>	I [mm <sup>4</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>td</sub> [MPa]	f <sub>cm</sub> [MPa]
FC		22	1,35	14	16,30	1,74

Acciaio d'armatura		f <sub>yk</sub> [MPa]	f <sub>td</sub> [MPa]
FC		480	1,35

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]	ε <sub>sk</sub>	f <sub>td</sub> [MPa]	γ [°]	n <sub>1</sub>	A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]
Prodotto		230000	0,0124	0,33	30	1	330

Dimensionamento rinforzo per sostenere la forza esercitata dalla tamponatura		H <sub>1</sub> [kN]	H <sub>2</sub> [kN]	H <sub>3</sub> [kN]	h <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]	ε <sub>sk</sub>	f <sub>td</sub> [MPa]	Tipo tessuto	n <sub>1</sub>	A <sub>s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	γ <sub>1</sub>
FC	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> )
Lanterino 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

Tabella 11.18.V - Valori di f<sub>td</sub> per murature in elementi artificiali pieni e semipieni (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			
	M15	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	4,1	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]	$n_f$ [-]	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> ]	$\eta_f$ [-]
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 matrici 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]	$F_{Hd}$ [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]	$n_f$ [-]	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> ]	$\eta_f$ [-]	
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**

A. Muratura di giuntura discontinua (contatti, piastre esterne e travature)	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, calcareo, ecc.)	2.0

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

Materiale	Classe di esecuzione
argilla I	1 2
argilla II	2.0 2.5
argilla III	2.2 2.7
argilla IV	2.5 3.0

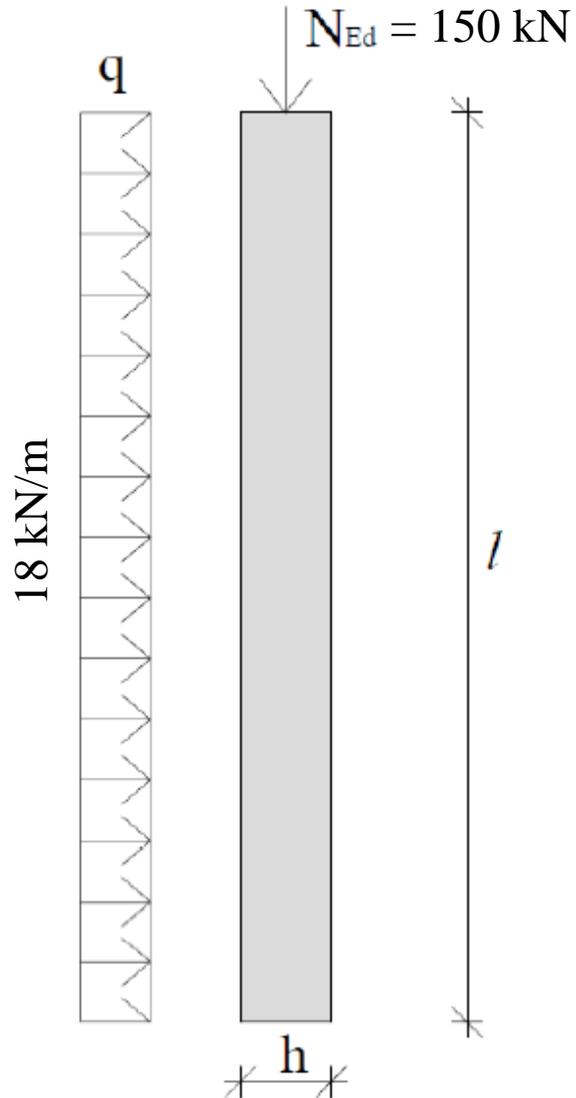
## •RINFORZO A CONFINAMENTO

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

Rafforzamento FRCM											
Prodotto	$d_f$ [mm]	$n_f$ [-]	Esposizione	$l_{ef}$ [mm]	$\gamma$ [g/m <sup>2</sup> ]						
G-NET 251 BA	12	2	Interna	20	250						

# ESEMPIO RINFORZO A FLESSIONE FUORI PIANO DI UN PARAMENTO MURARIO



## Geometria Pannello:

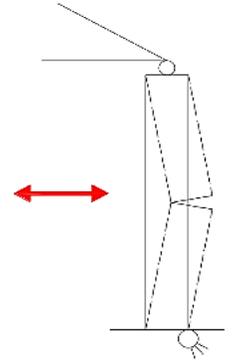
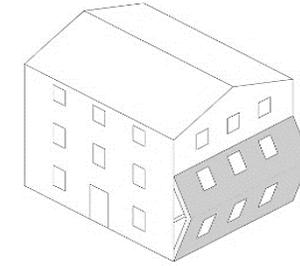
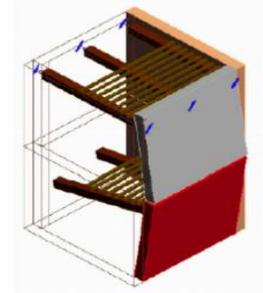
Altezza: 3000mm  
Larghezza: 1000mm  
Spessore: 300mm

## 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  
 $M_{Rd0} = 17,56 \text{ kNm}$

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

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

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

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

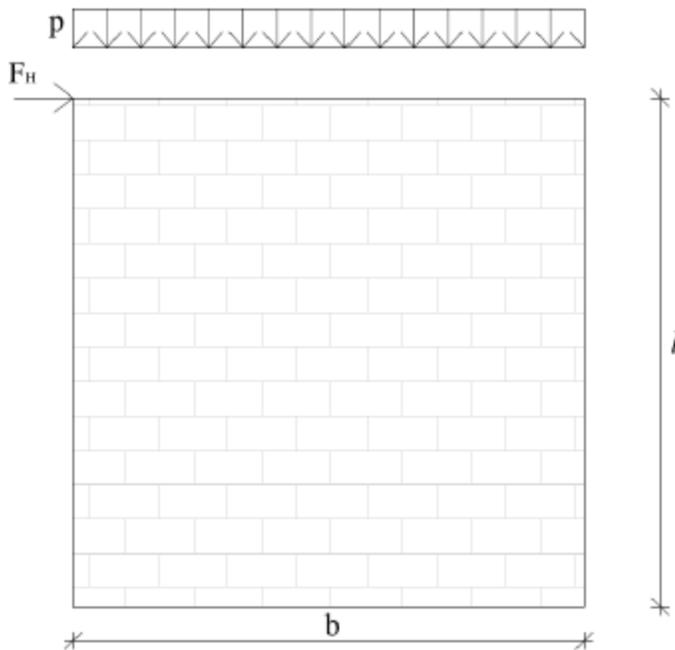
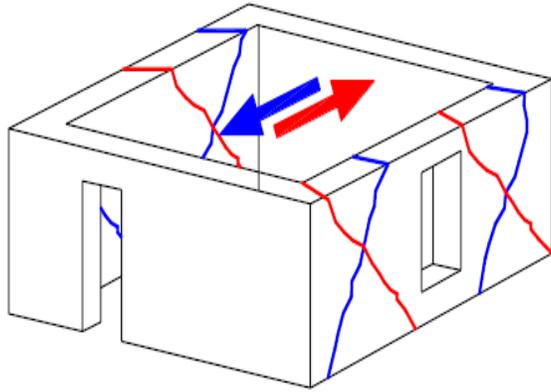
VERIFICA SODDISFATTA



## 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

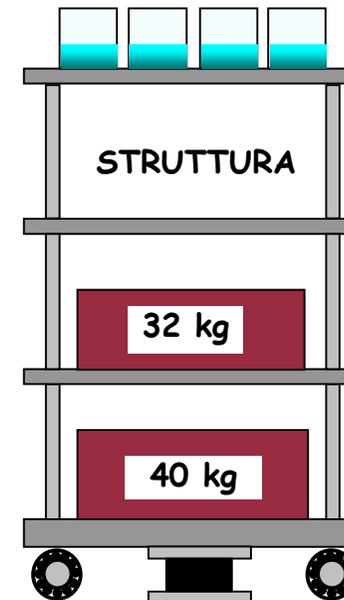
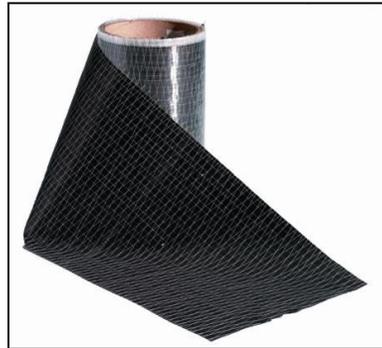
Aumento della resistenza

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



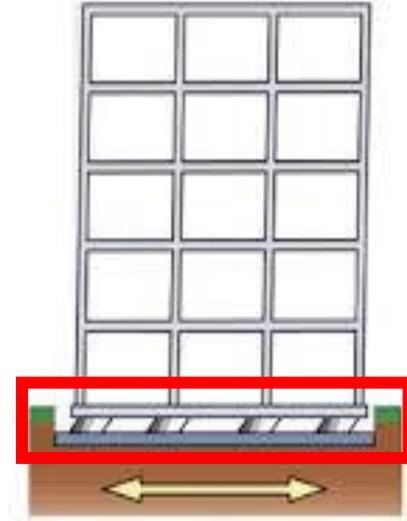
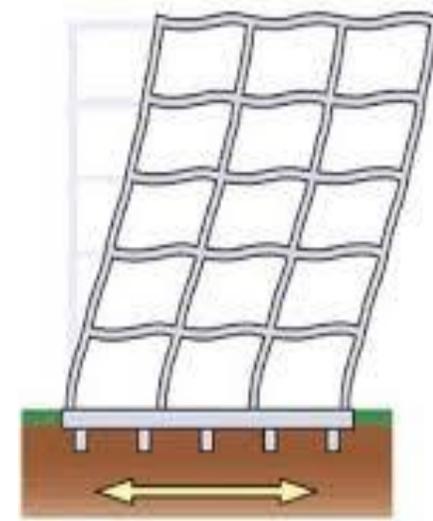
- Appoggi per ponti e viadotti HIFLOW e HIPOT



# ISOLATORI FRICTION PENDULUM- HISLIDE

## Funzione:

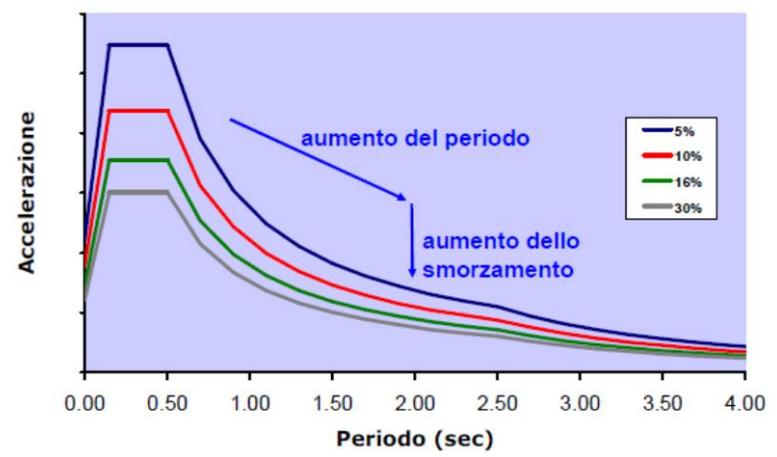
- Disaccoppiamento del moto della struttura da quello del terreno
- Spostamento relativo della sovrastruttura rispetto alla fondazione
- Funzione di appoggio, elevata rigidezza verticale e una bassa rigidezza al moto in direzione orizzontale



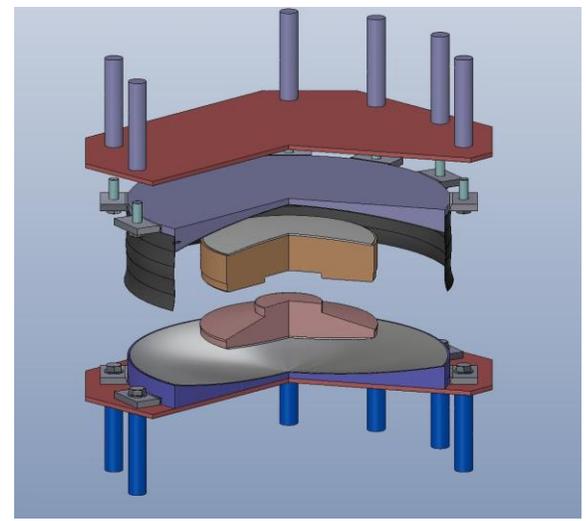
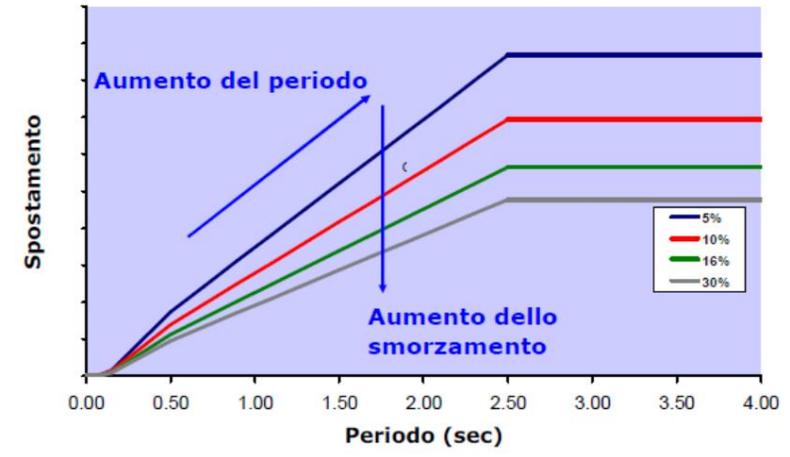
## Vantaggi:

- 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

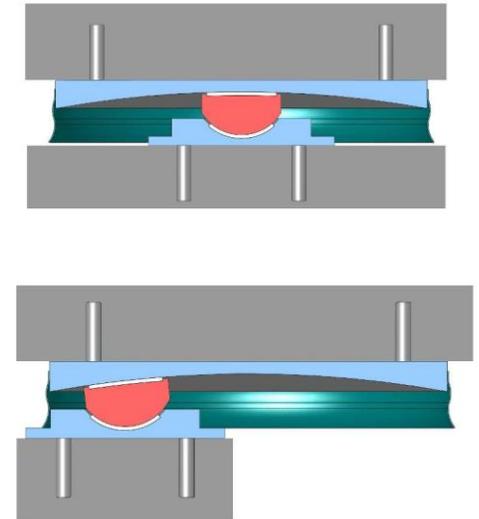
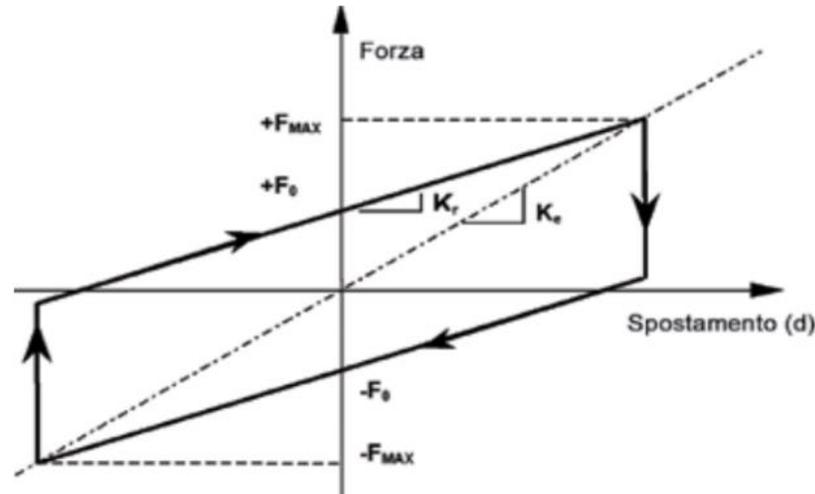


Spettro dello spostamento di progetto



## 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

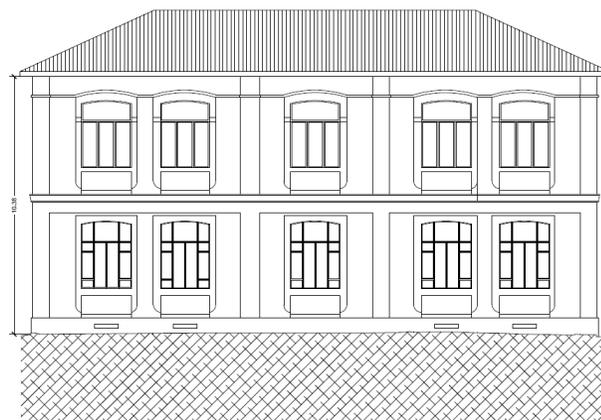
Latitudine 42,96274

Vita Nominale: 100 anni

Classe d'uso: III

Categoria Suolo: C

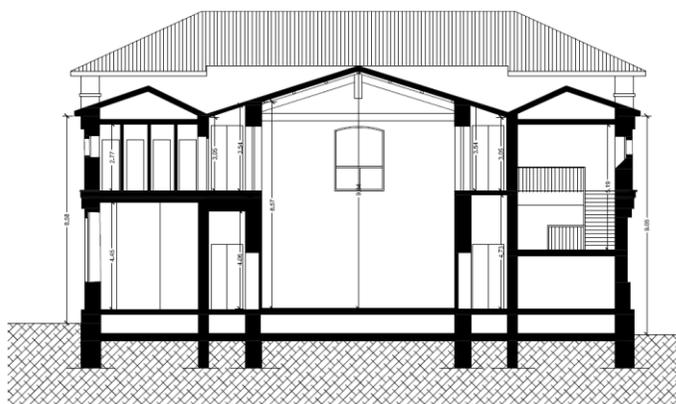
Categoria Topografica: T2



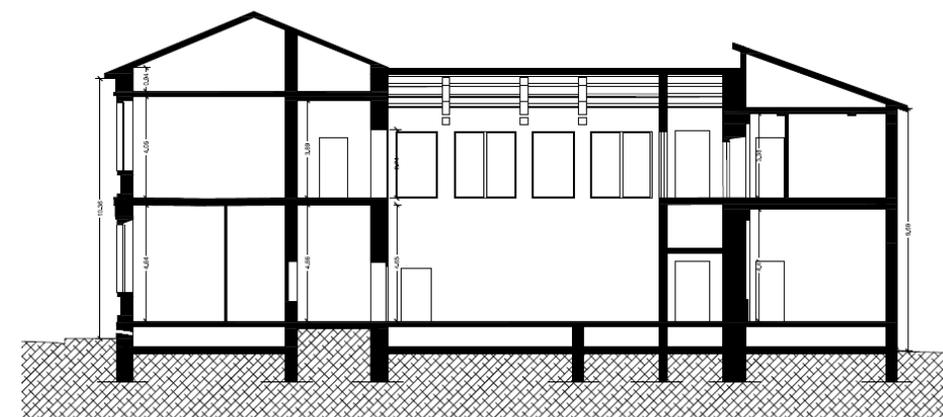
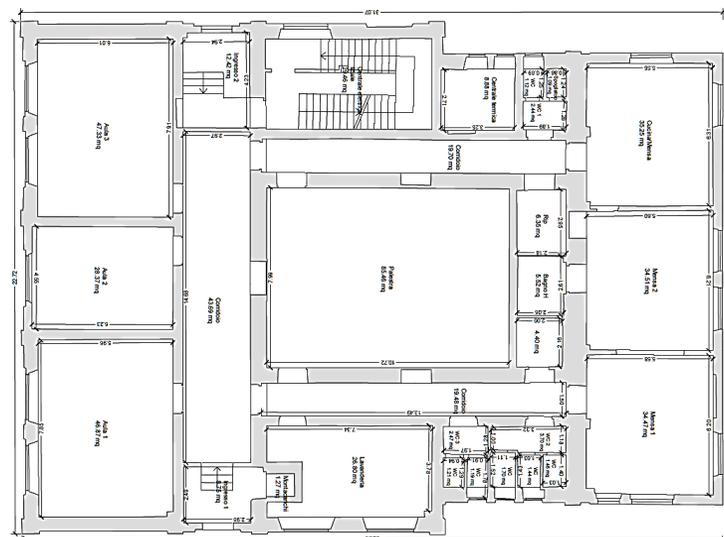
Prospetto Sud



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  
 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	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">C</span> <span style="font-size: small;">info</span>	$S_s =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">1,305</span>	$C_c =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">1,478</span> <span style="font-size: small;">info</span>
Categoria topografica	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">T2</span> <span style="font-size: small;">info</span>	$h/H =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">1,000</span>	$S_T =$ <span style="background-color: red; color: white; padding: 2px;">1,200</span> <span style="font-size: small;">info</span>

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

Compon. orizzontale

<input checked="" type="radio"/> Spettro di progetto elastico (SLE)	$\xi$ (%)	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">5</span>	$\eta =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">1,000</span> <span style="font-size: small;">info</span>
<input type="radio"/> Spettro di progetto inelastico (SLU)	Fattore $q_0$	<span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">2,3625</span>	Regol. in altezza <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">no</span> <span style="font-size: small;">info</span>

Compon. verticale

Spettro di progetto

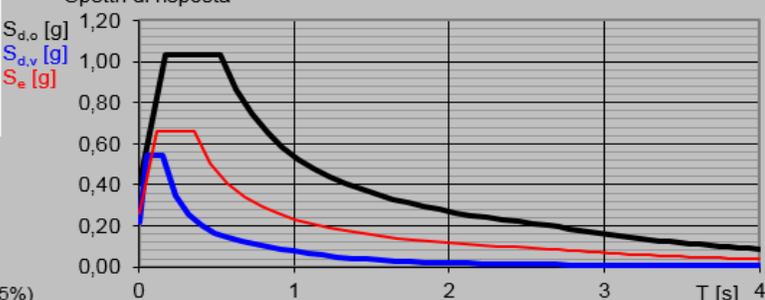
	$q$	<span style="border: 1px solid green; padding: 2px;">1</span>	$\eta =$ <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">1,000</span> <span style="font-size: small;">info</span>
--	-----	---	---

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta >>>

Parametri e punti spettri di risposta >>>

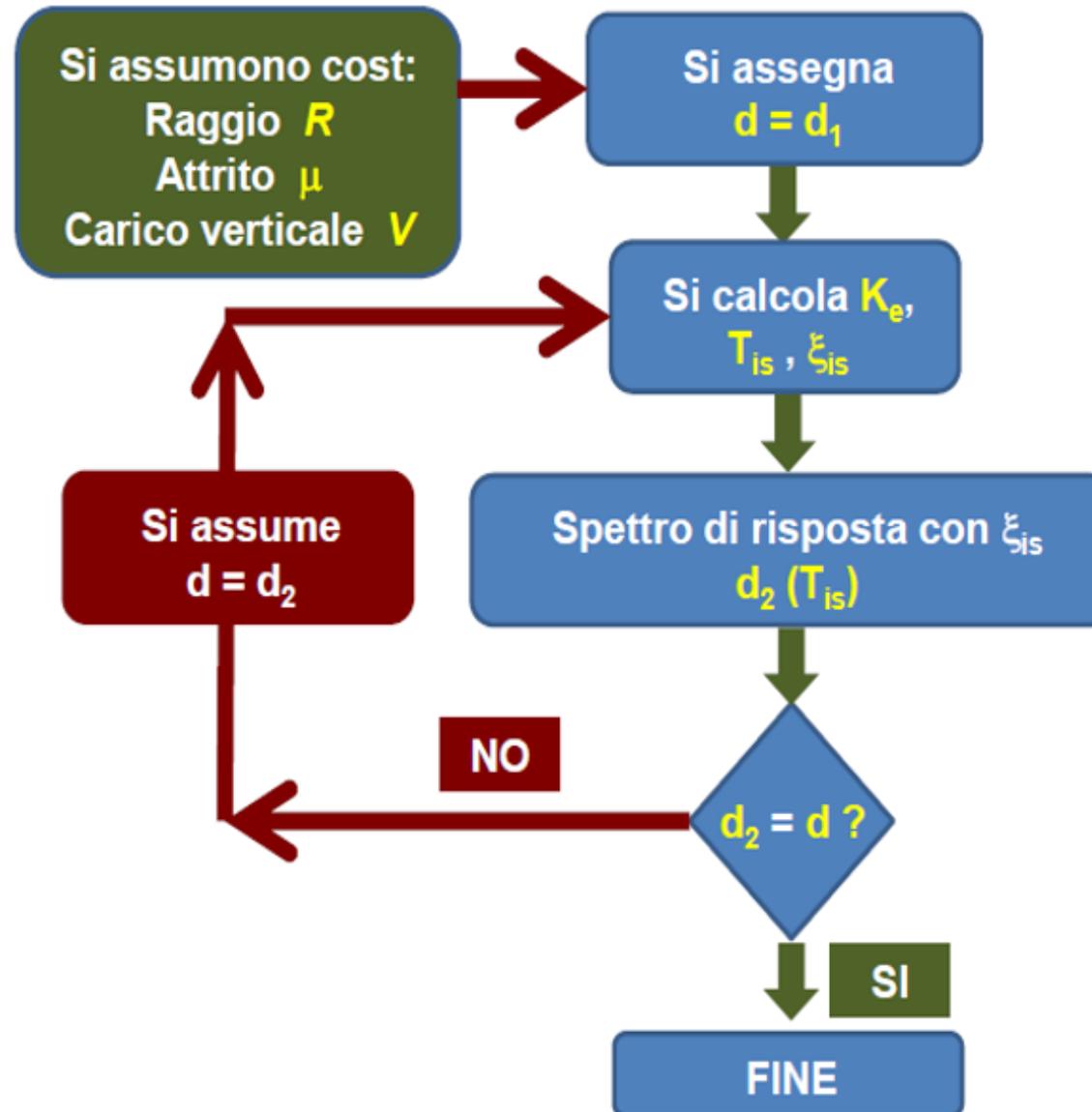
Spettri di risposta



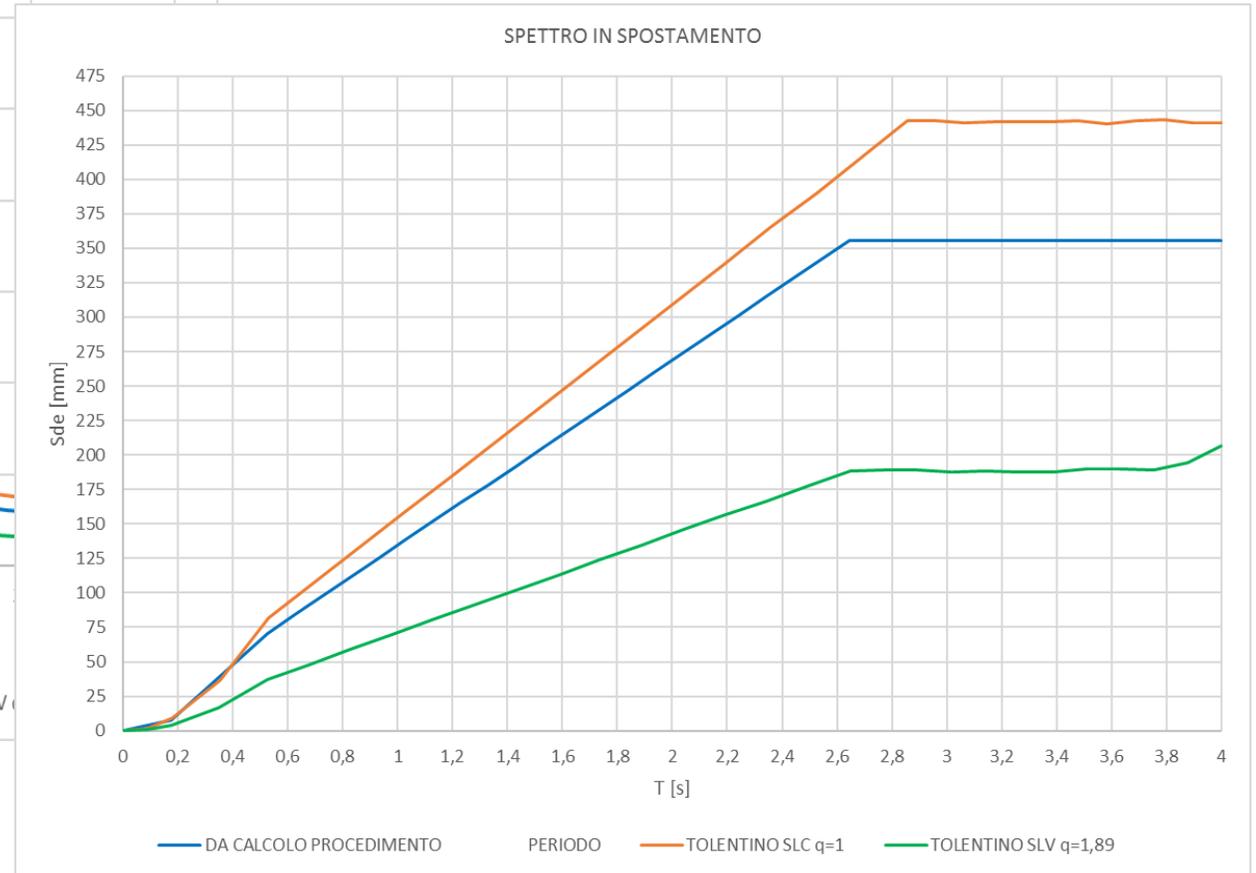
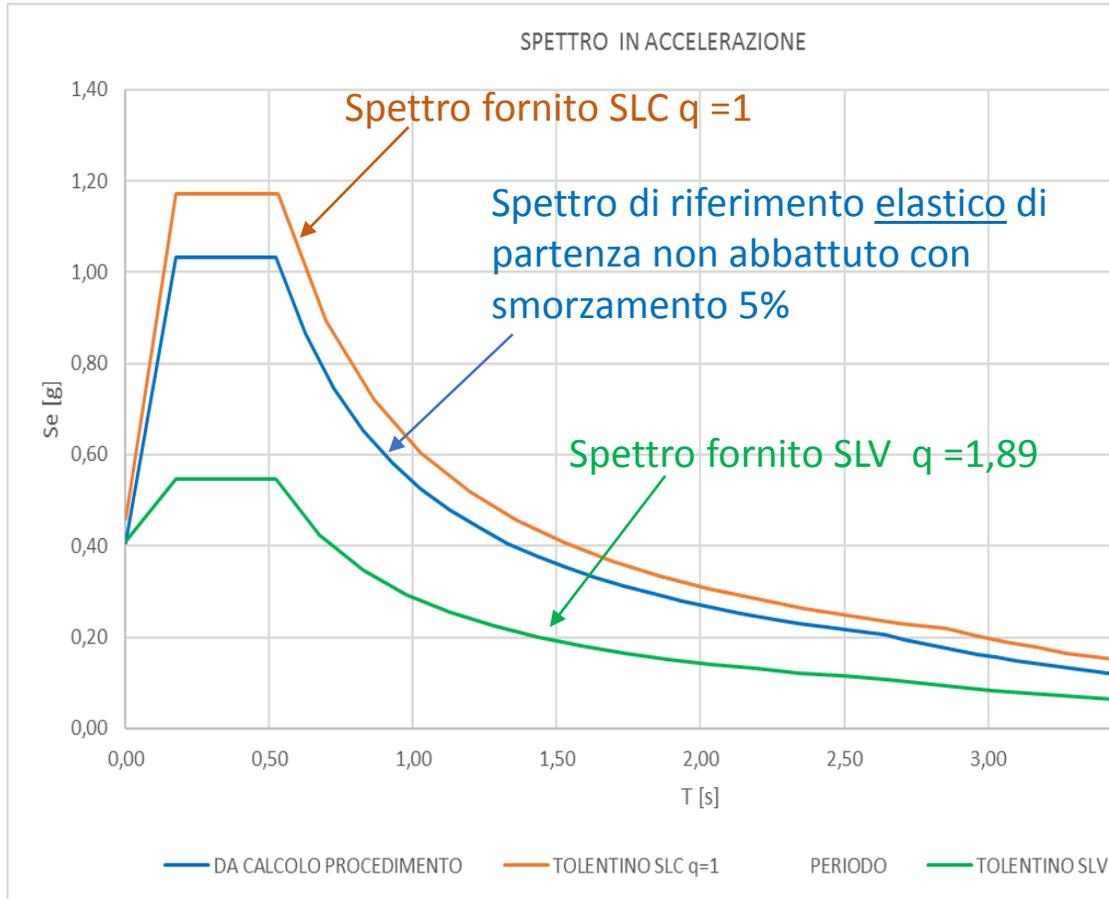
— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

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

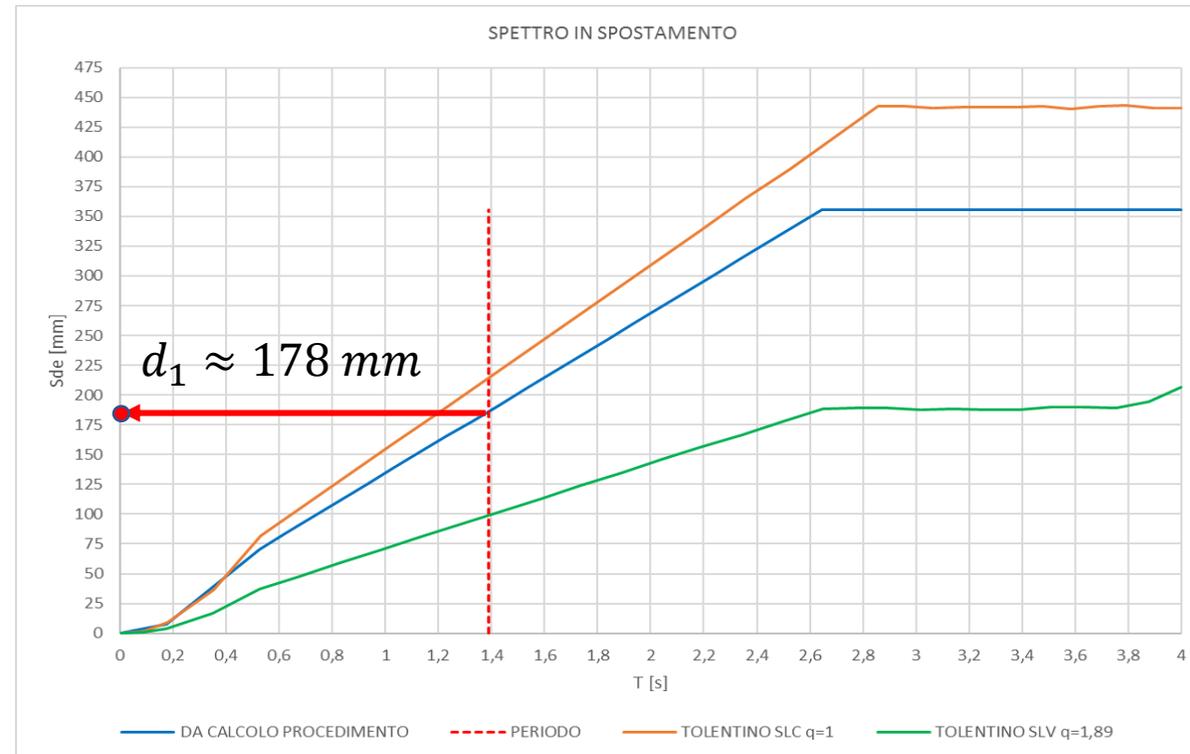
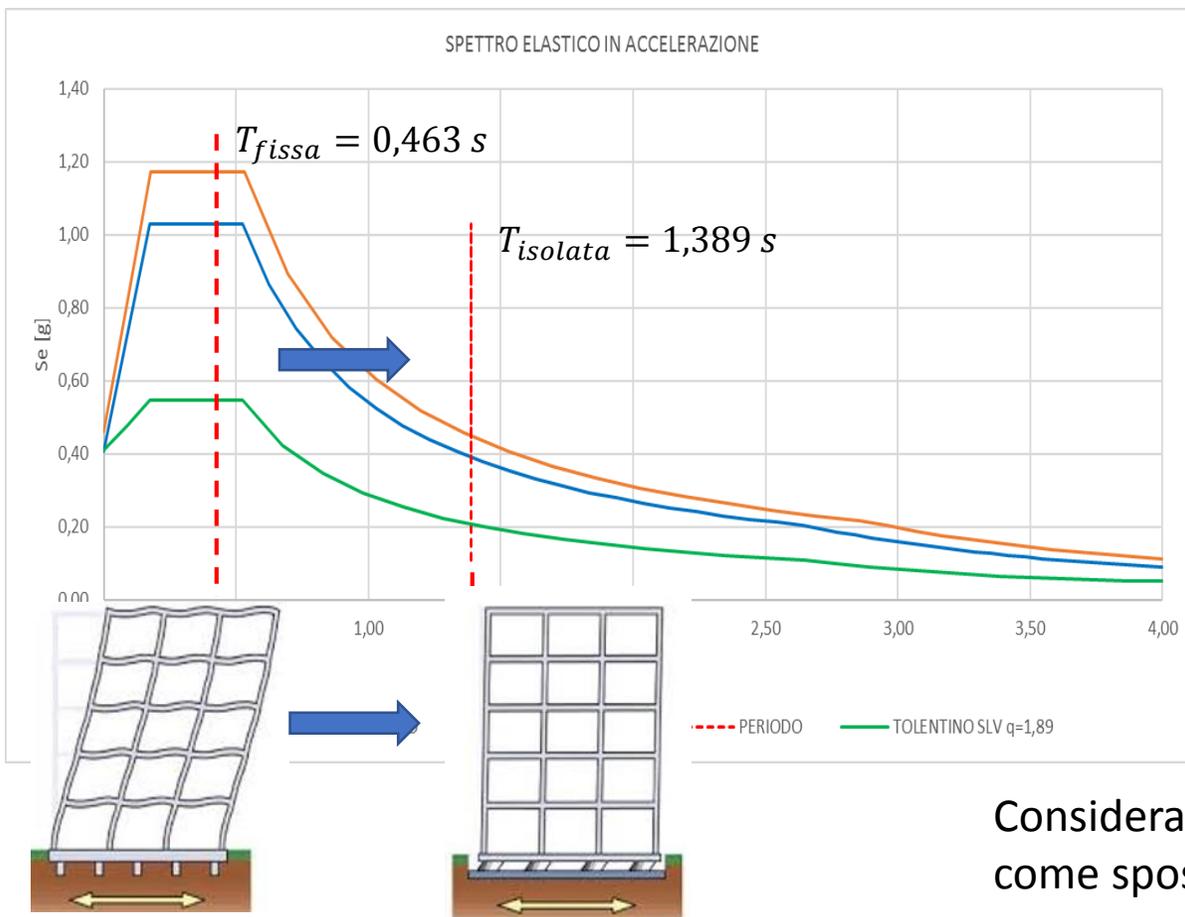
Periodo fondamentale in Dir. X:  $T_{fissa\_x} = 0,57$

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.

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

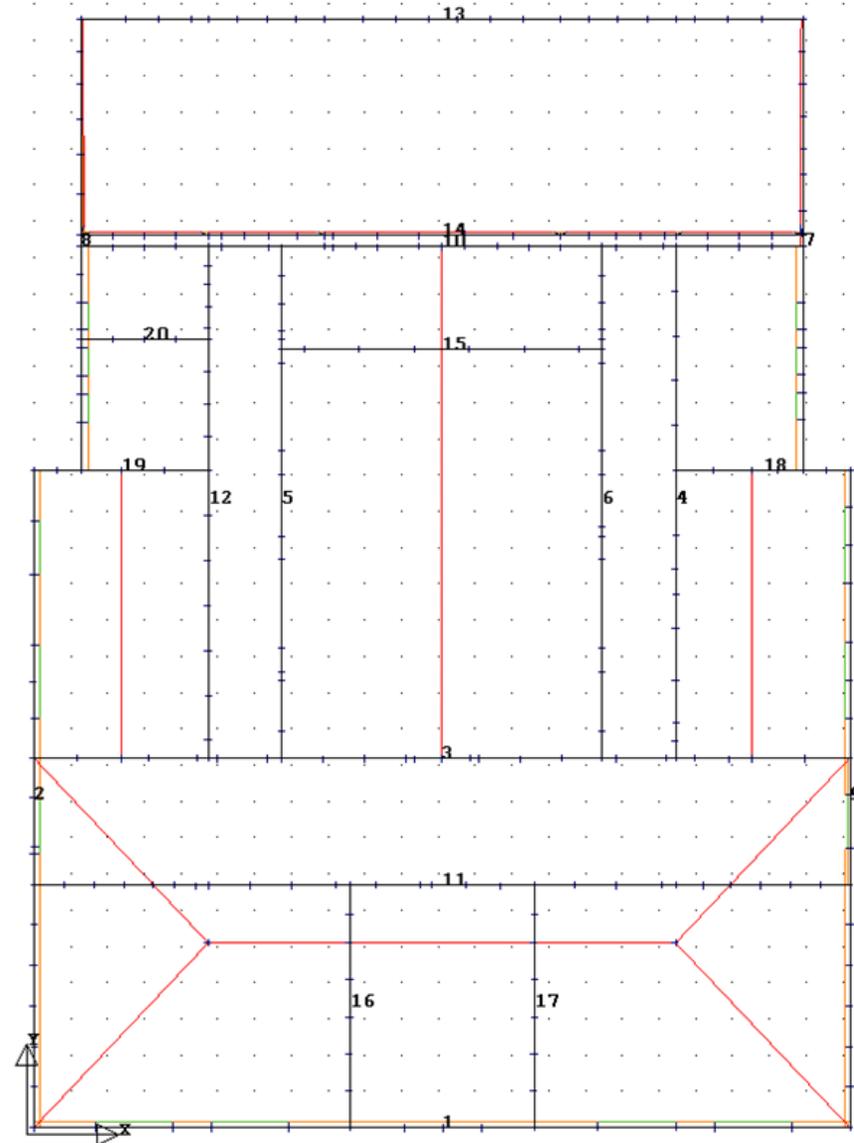
$$T_{is} \cong 3 \cdot T_{base\ fissa} = 3 \cdot 0,463\ s = \mathbf{1,389\ secondi}$$



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	%

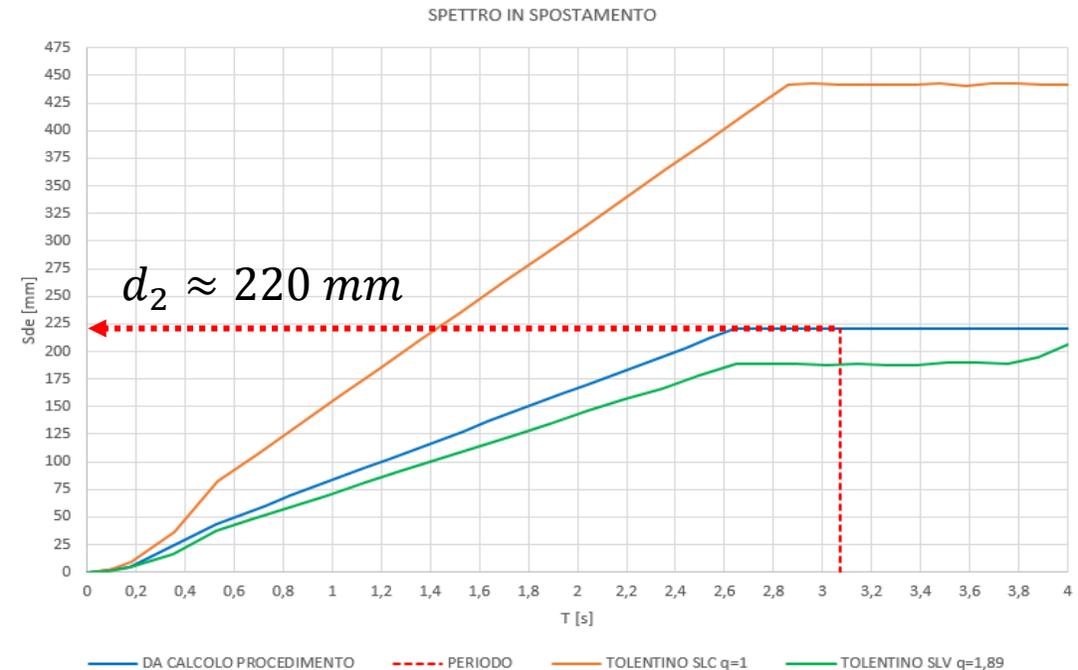
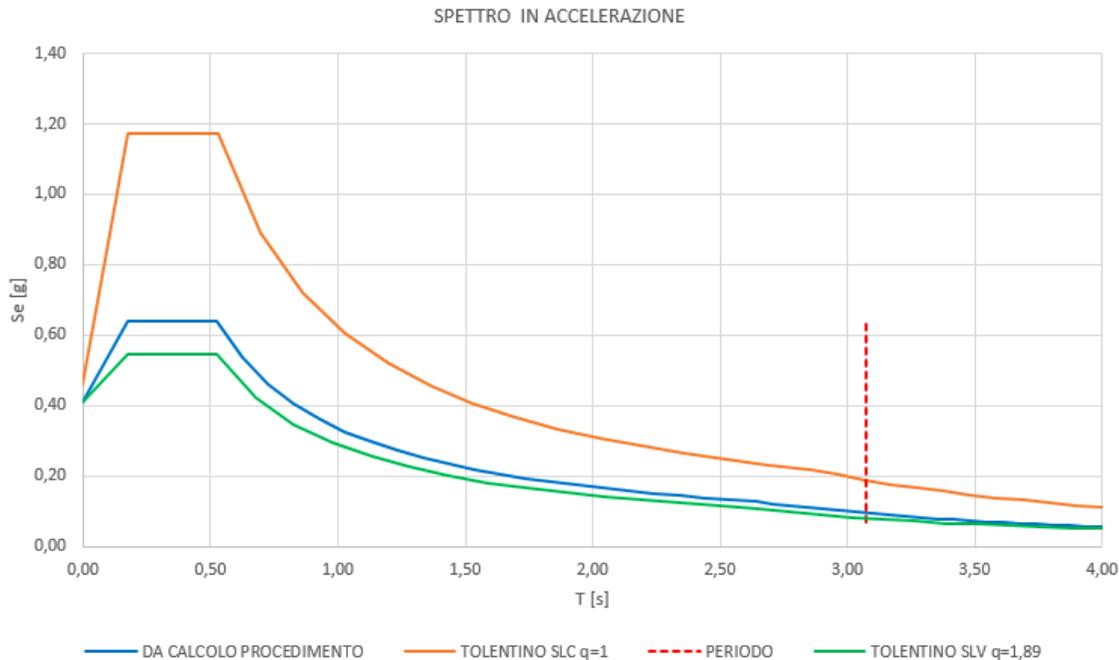
spostamento di primo tentativo  $d_1 \approx 178 \text{ mm}$

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	%

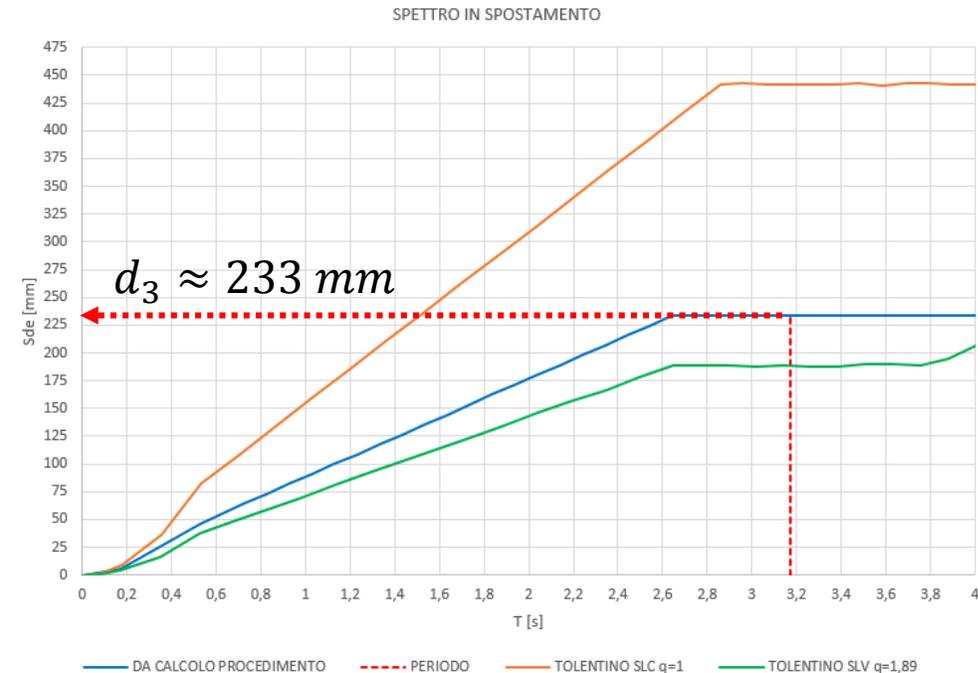
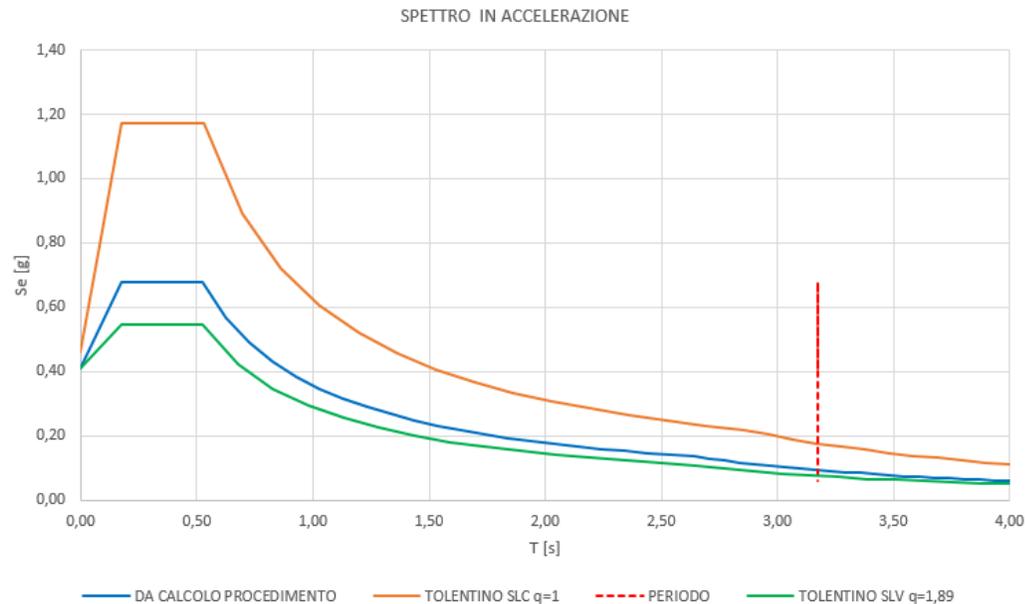
spostamento di secondo tentativo  $d_2 \approx 220 \text{ mm}$

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	%

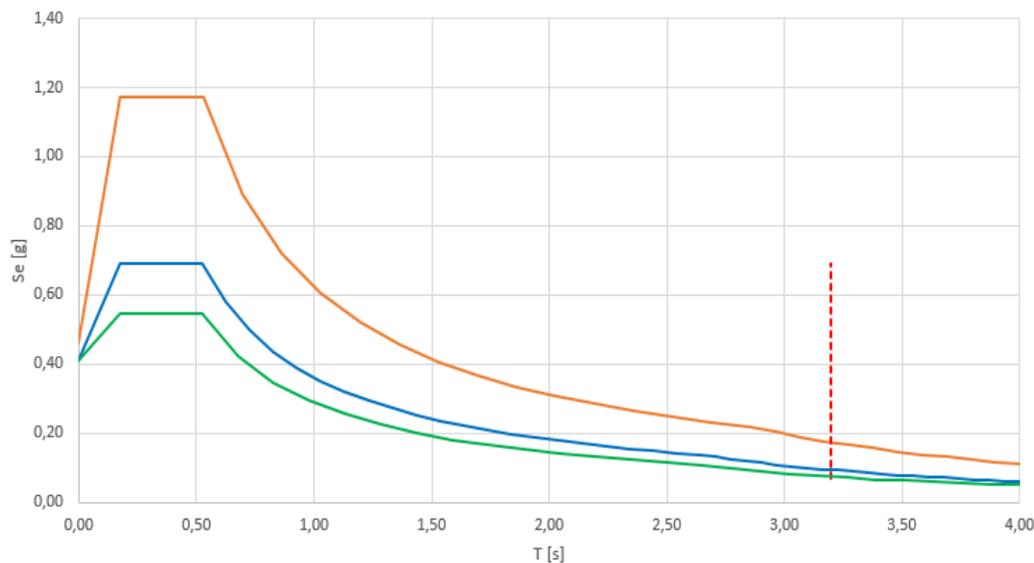
spostamento di terzo tentativo  $d_3 \approx 233 \text{ mm}$

Si ottiene:

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

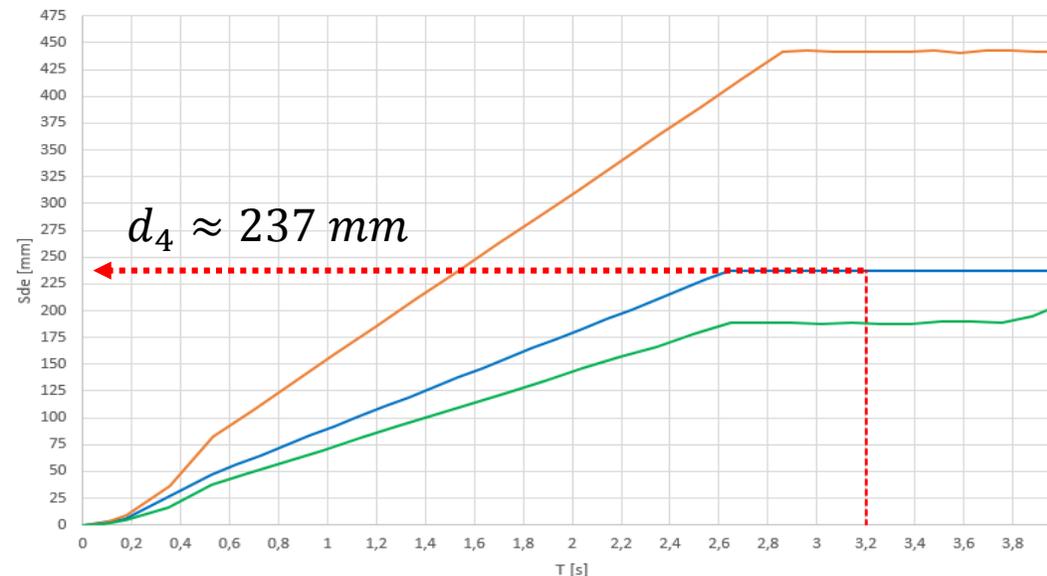
Si aggiorna lo spettro utilizzando uno smorzamento  $\xi_e = 17,38\%$  ed andando a considerare un periodo  $T_e = 3,199 \text{ s}$  per il calcolo dello spostamento di progetto  $D_4$

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  $d_4 \approx 237 \text{ mm}$

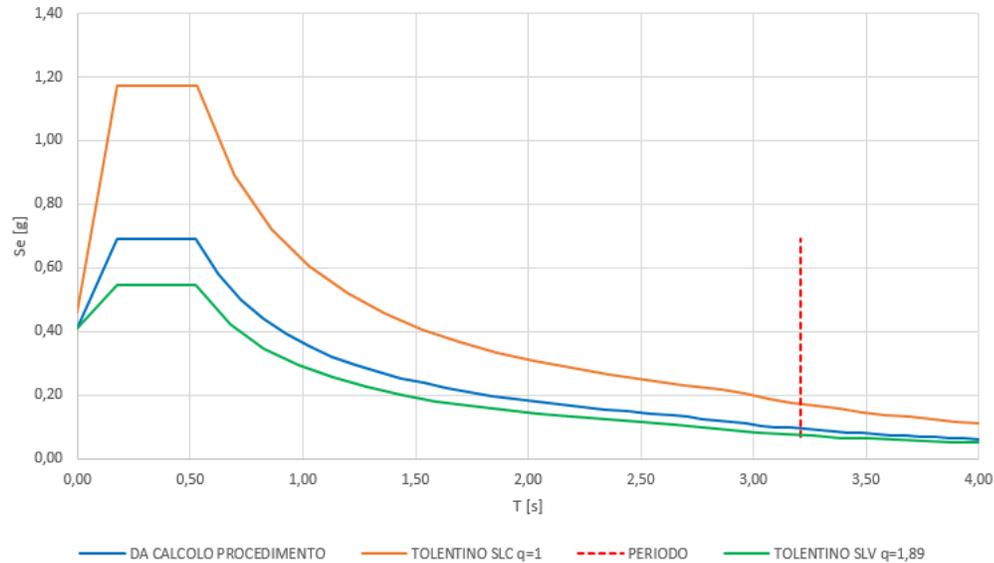
Si ottiene:

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

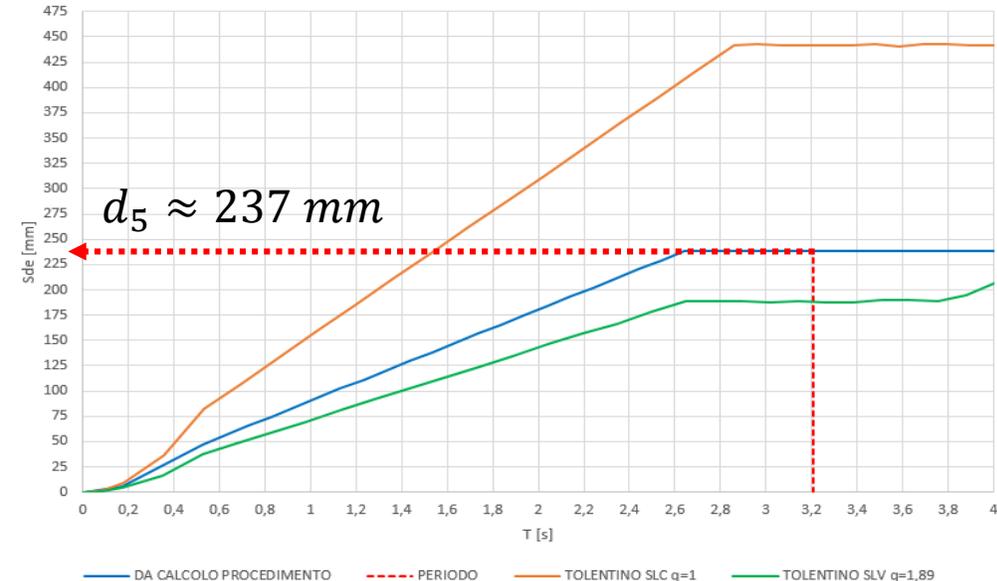
Periodo di vibrazione equivalente  $T_e = 3,207 \text{ s}$

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

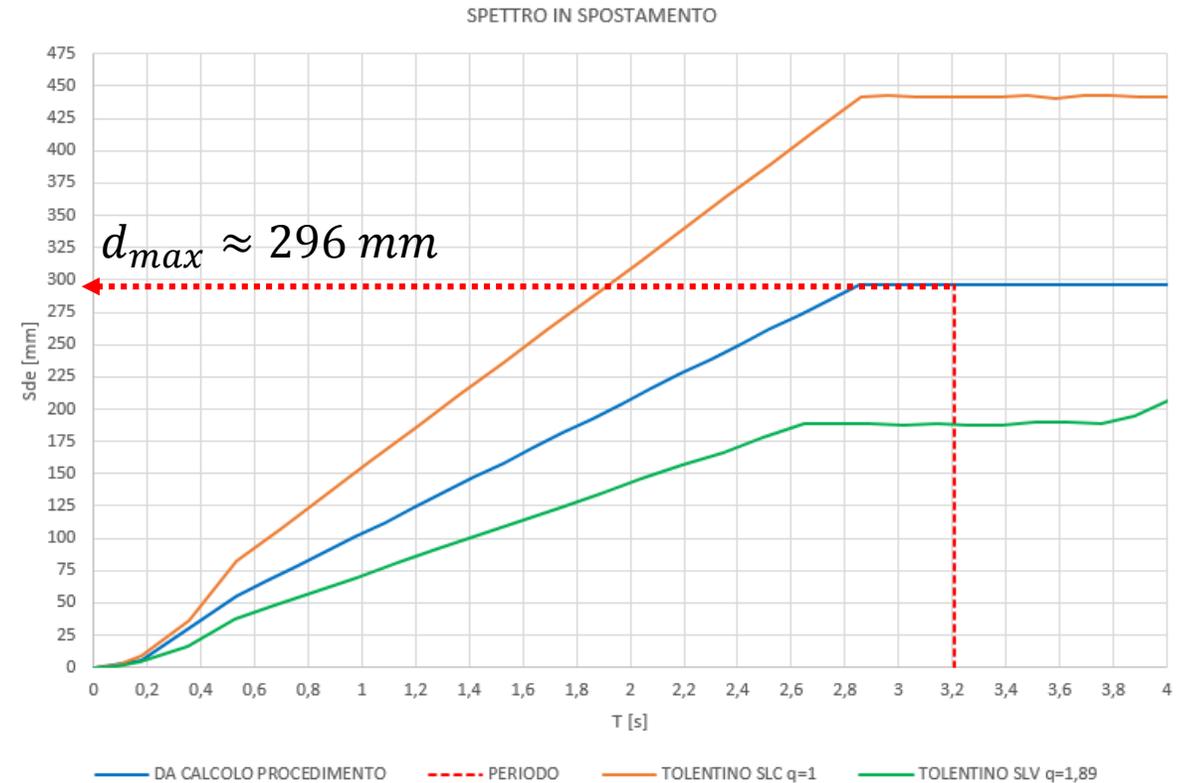
Compon. verticale  
 Spettro di progetto Fattore  $q$ : **1**  $\eta = 1,000$  info

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]

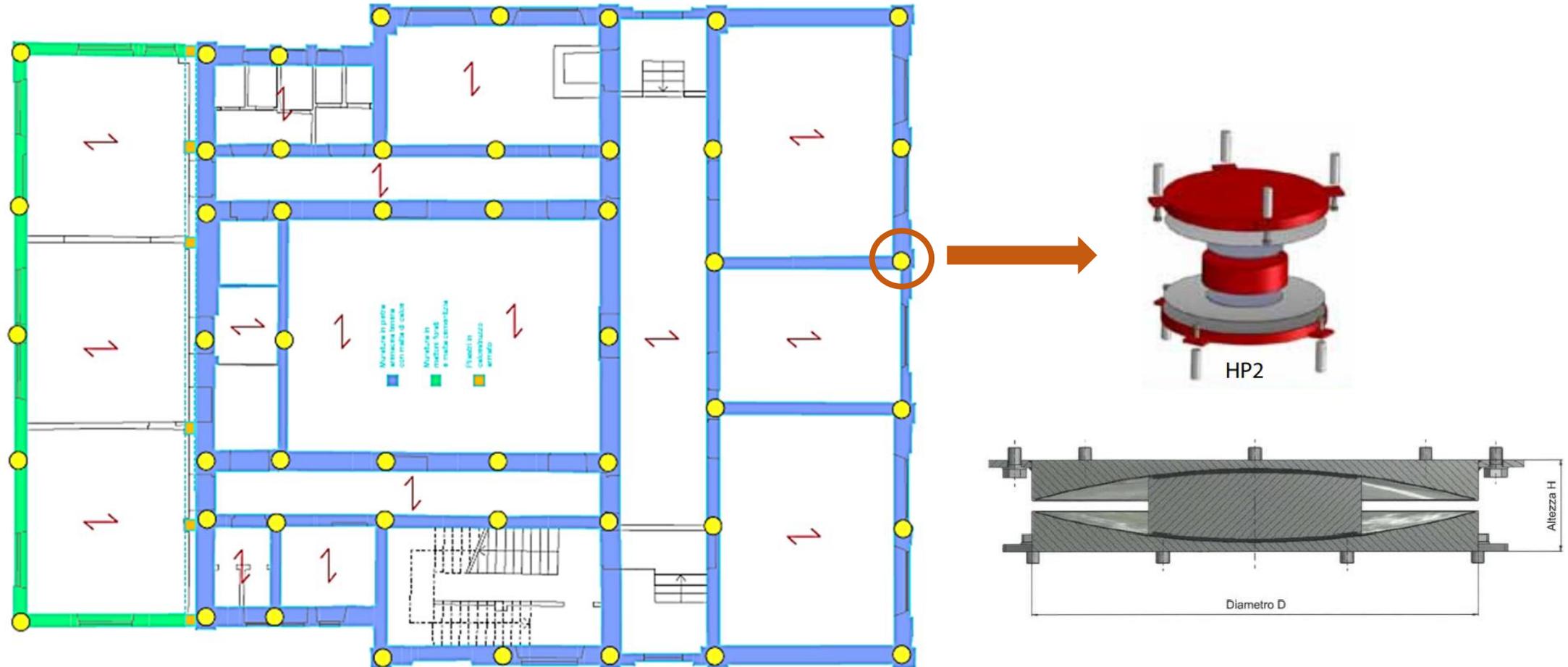
— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

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:

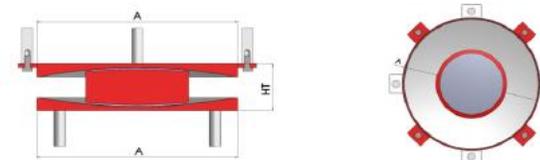
- Max carico in combinazione sismica  $N_{sd}$ : **800 KN**
- Max spostamento di progetto **D: +/- 300mm**
- Raggio di curvatura **R: 3500 mm**
- Coefficiente d'attrito  $\mu$  : **2,5 %**

### 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> kN	V <sub>d</sub> kN	D ± mm	A mm	HT 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 ( $\pm D/2$ )

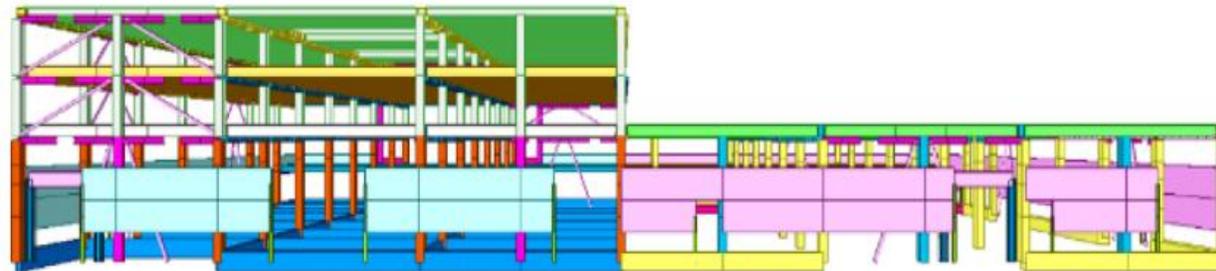
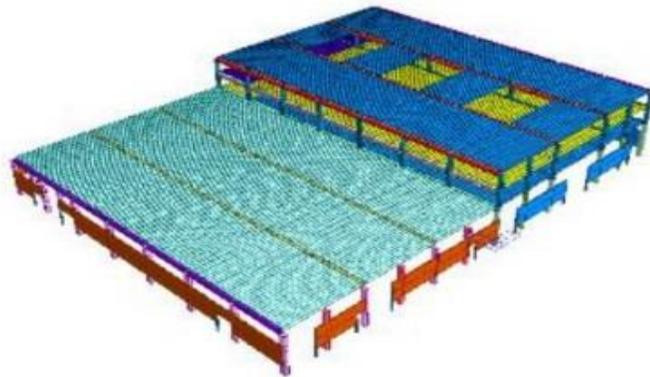
$\mu$ : dynamic friction coefficient (from 2% to 10%)

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



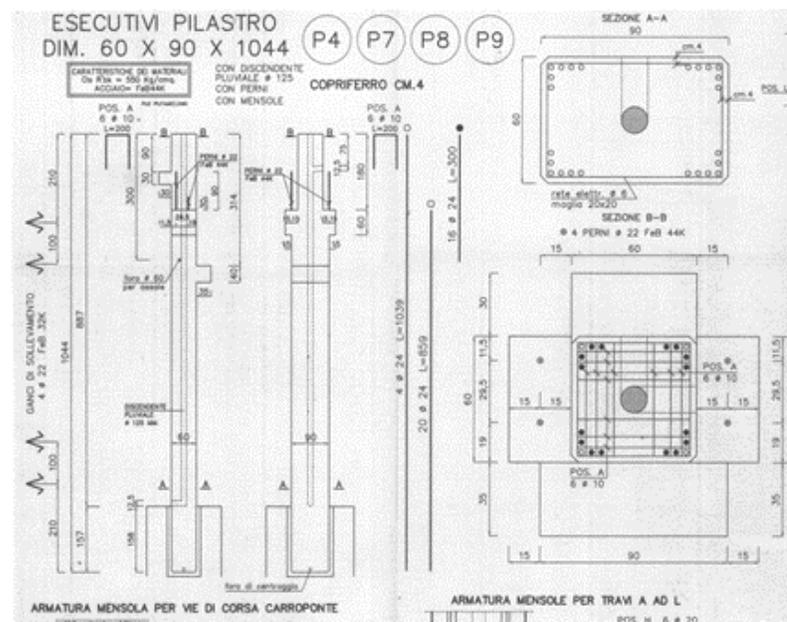


## RILIEVO STRUTTURALE

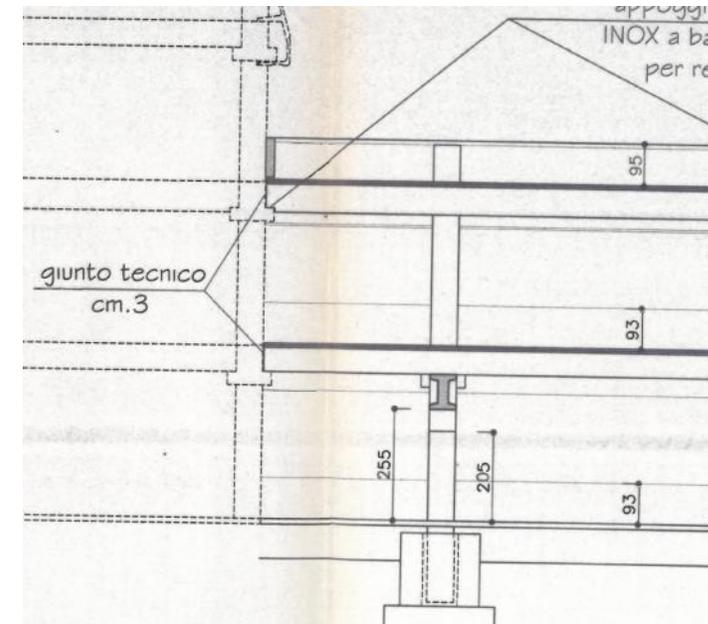
- Strutture regolari in pianta (2 blocchi 70x40m)
- Pilastri prefabbricati
- Travi principali in c.a.p a T rovescia e ad L
- Solai con tegoli TT e soletta integrata
- Fondazione a plinti bi-palo
- Collegamento tra i due edifici con appoggio semplice di tipo «a sella»

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

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



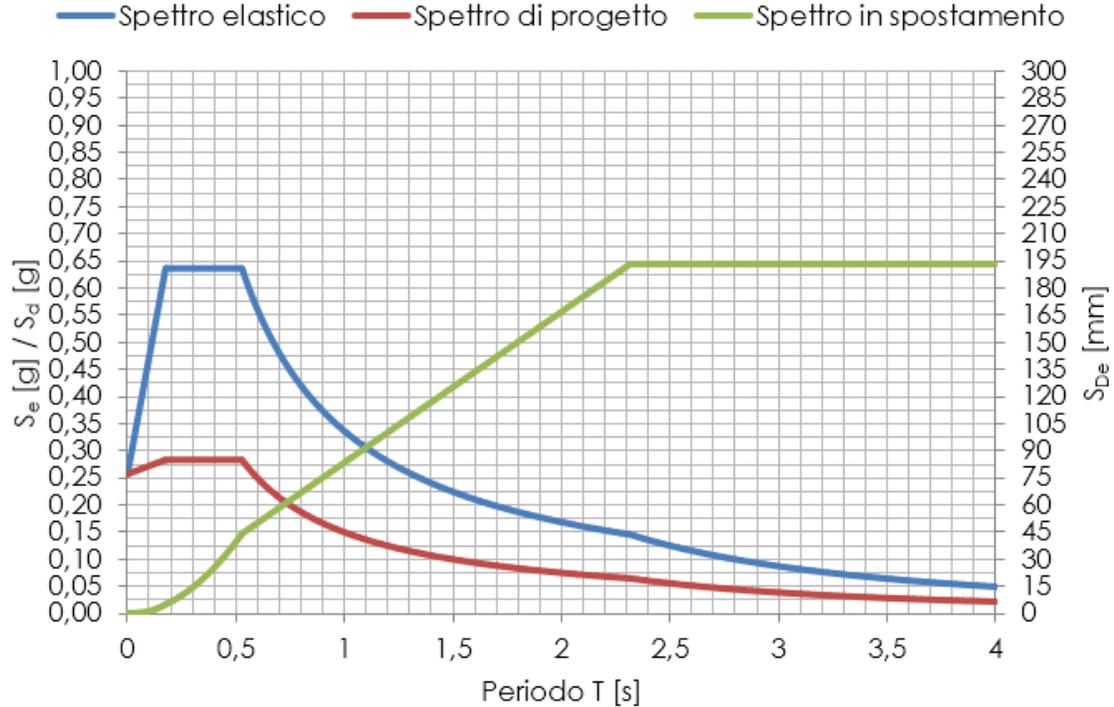
Disegno originale di una colonna prefabbricata



Appoggio semplice delle travi (lato ampliamento)

## VERIFICHE STRUTTURALI PRE-INTERVENTO

Spettro elastico e di progetto



SL	$T_R$ [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

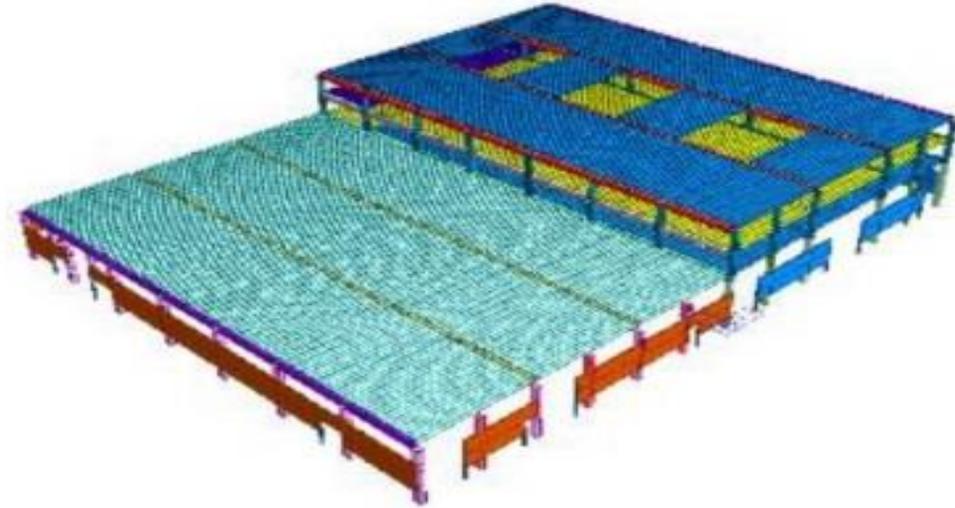


- Adeguata resistenza degli elementi strutturali nei confronti dei carichi statici
- Notevole carenza di rigidezza e resistenza nei confronti azioni orizzontali in combinazioni sismiche
- Crisi principali di tipo flessionale concentrate al piede dei pilastri
- Spostamenti eccessivi fino a superare i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

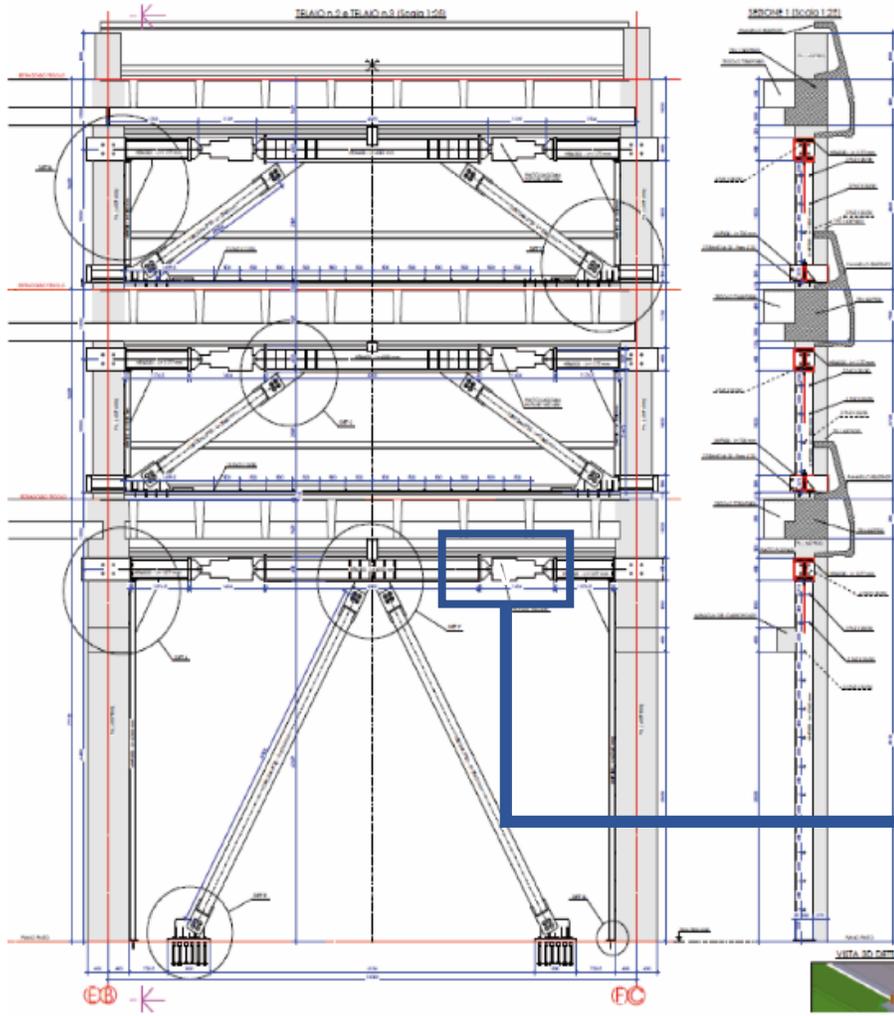
## OBIETTIVI DEL PROGETTO

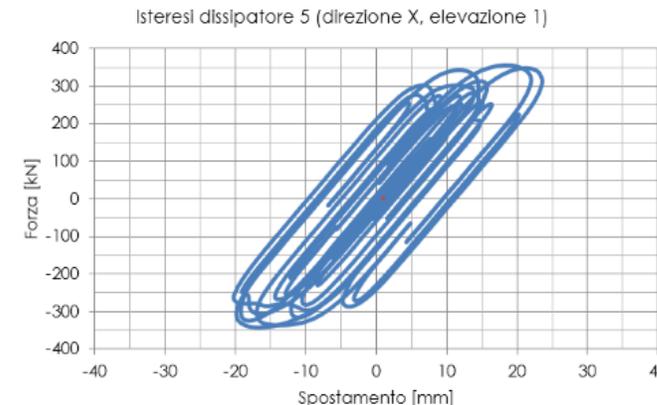
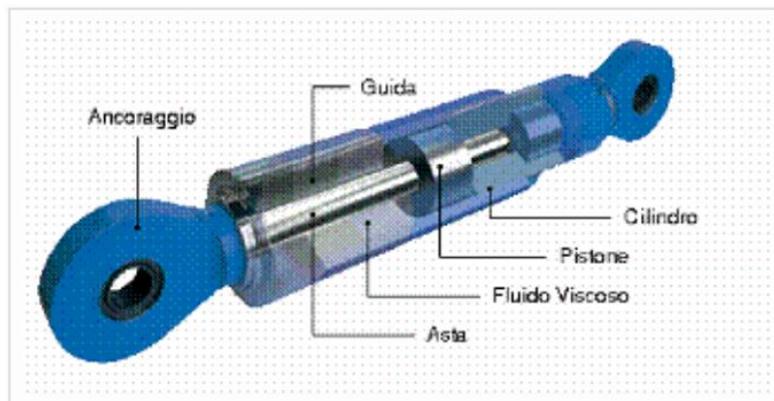
- ✓ Riduzione delle accelerazioni di piano
- ✓ Riduzione degli spostamenti interpiano
- ✓ Ottenimento di un accettabile livello di smorzamento
- ✓ Riduzione dell'invasività dell'intervento
- ✓ Ampliamento di giunti tecnici nei limiti consentiti



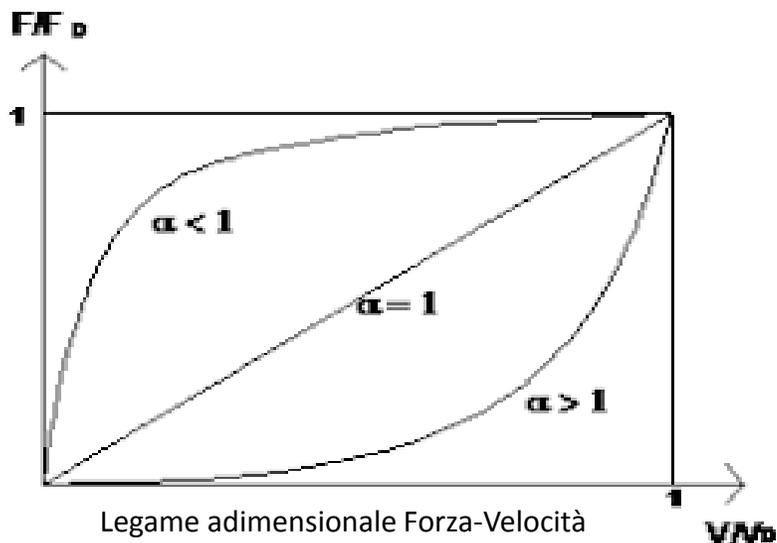
## SOLUZIONE

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)



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

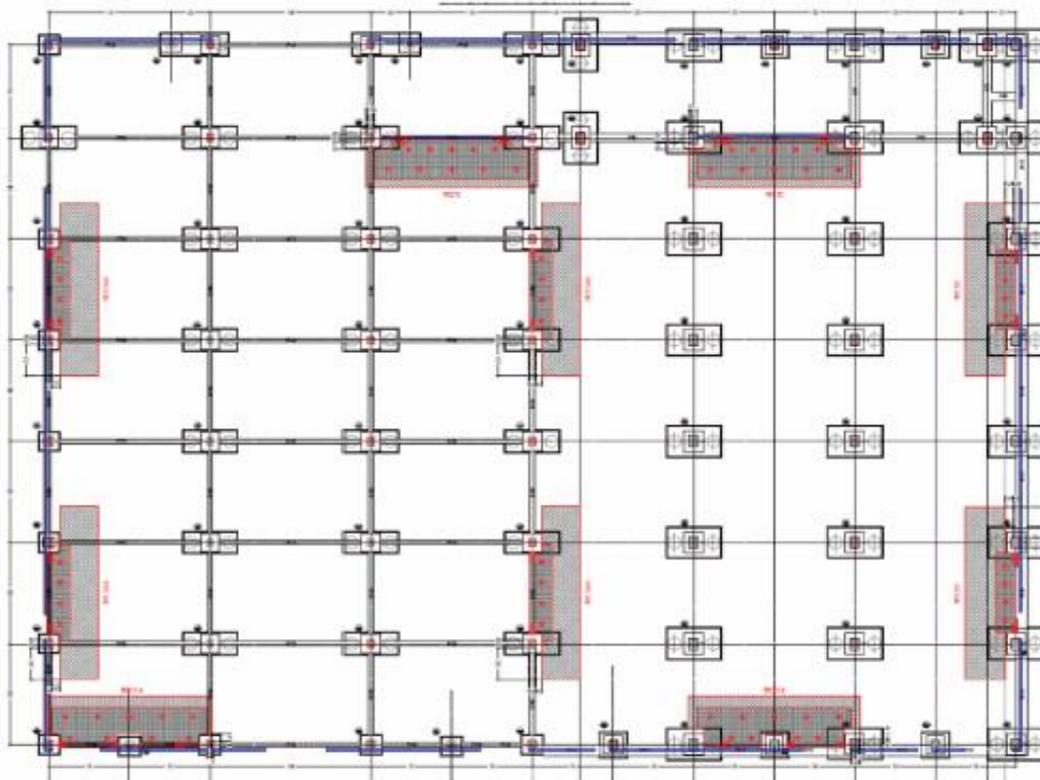
Coefficiente di smorzamento

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

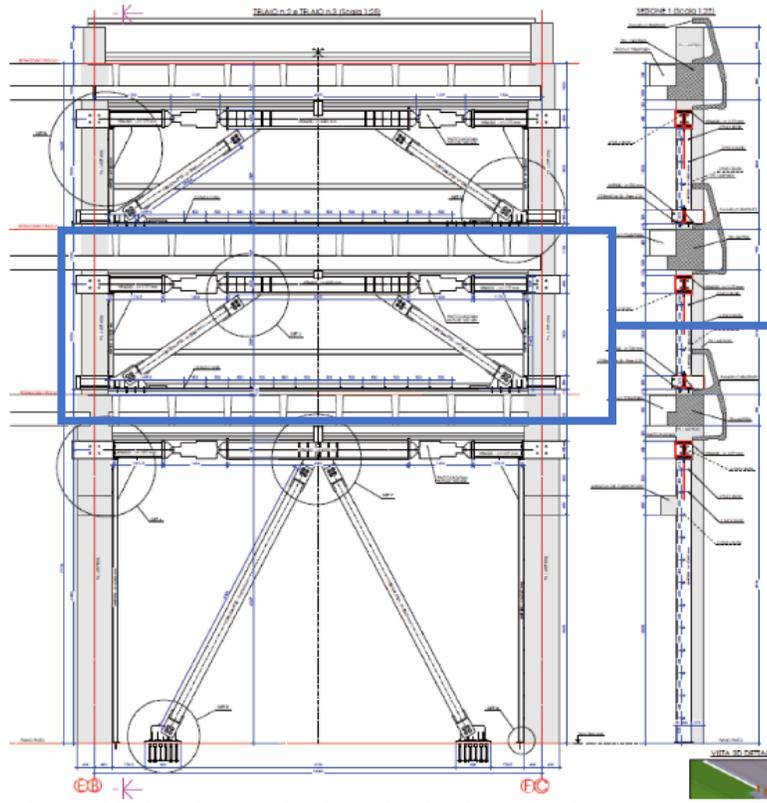


Totale di 44 dispositivi:

- 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

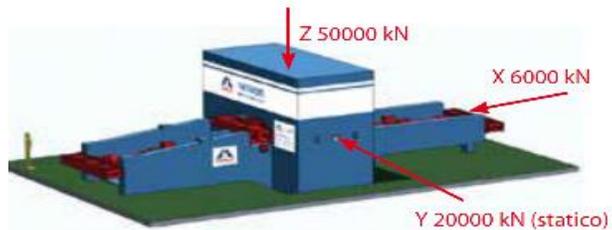




## PROVE DI ACCETTAZIONE E QUALIFICAZIONE EN15129 e NTC 2008/18



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 – capacità di movimento	NO
ISOLATORI A PENDOLO	20% (min. 4)	Rigidezza – coefficiente d'attrito	NO
A VINCOLO PROVVISORIO	20% (min. 4)	Rigidezza – smorzamento - Sovrapressione	NO
FLUIDO-DINAMICI	20% (min.4)	Legge costitutiva 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> [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

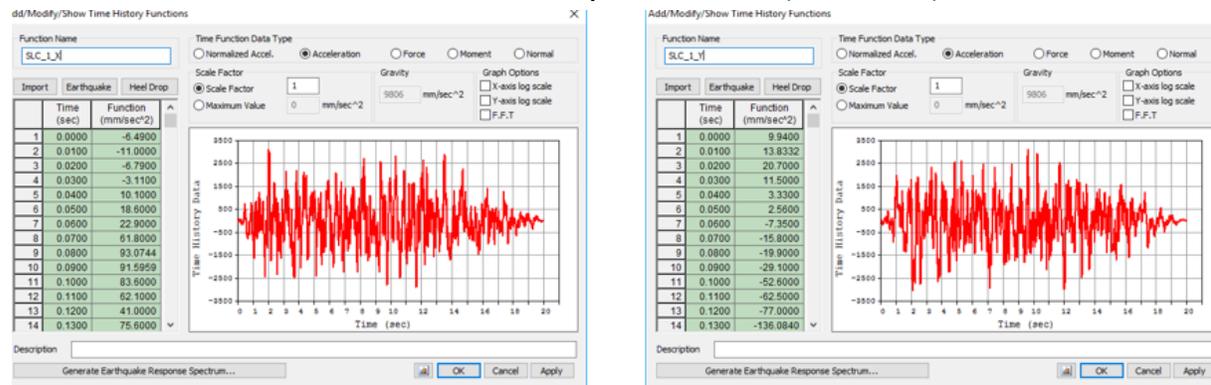
↓  
*PGA<sub>domanda</sub> Accelerazione richiesta*

In termini di sollecitazioni

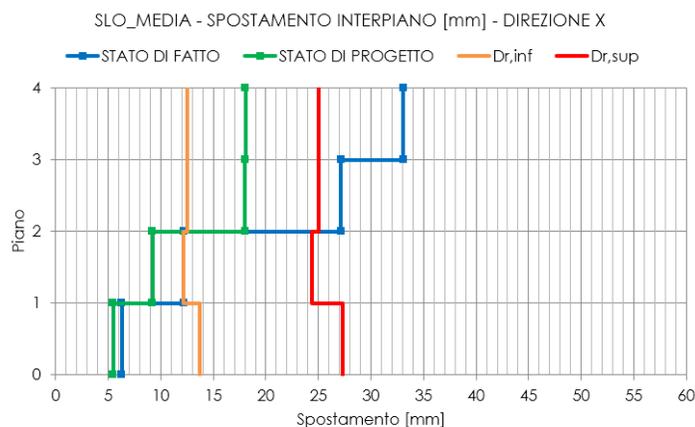
$$\alpha_U = \frac{0.152 a_g/g}{0.183 a_g/g} = 0.831$$

In termini di spostamenti

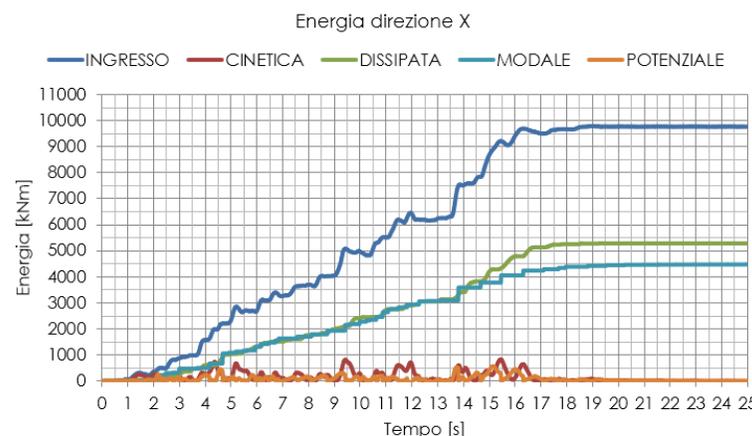
$$\alpha_U = \frac{0.024 a_g/g}{0.183 a_g/g} = 0.131$$



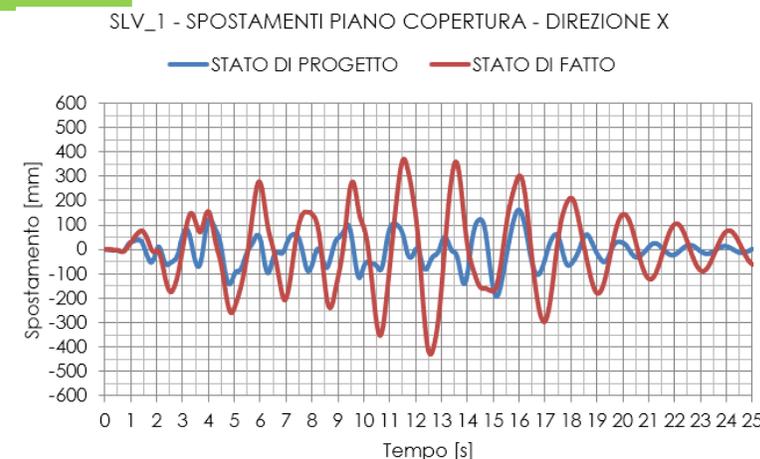
$\alpha_U$	Pre-intervento	Post-intervento
In termini di sollecitazioni	0.831	1.00
In termini di spostamenti	0.131	1.00



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*