



In collaborazione con



# Metodi non convenzionali di protezione sismica: dai principi alle applicazioni

---

Ing. Pierpaolo Cicchiello | *Presidente Ordine degli Ingegneri Monza e Brianza*

**22-11-2019** | Arena AIST | PAD. 21 | C53

1. **Principi guida** della **protezione sismica** con **metodi non convenzionali**
2. **Pre-dimensionamento** di un sistema di **Isolamento Sismico alla Base (BIS)**
3. **Riferimenti normativi** contenuti nelle NTC2018 relativi all'isolamento sismico
4. **Applicazione** della protezione sismica con l'isolamento di base ad un  
**Edificio esistente in c.a. progettato per soli carichi verticali**

# **Principi guida della** **protezione sismica** **con metodi non convenzionali**

# Tecniche per la protezione sismica degli edifici

Controllo  
ATTIVO

Dispositivi controllati elettronicamente che si attivano in occasione di un terremoto applicando alla struttura forze dinamiche di segno contrario

**Controllo  
PASSIVO**

**ISOLAMENTO  
SISMICO**

**DISSIPAZIONE  
DI ENERGIA**

Controllo  
IBRIDO

Combinazione tra controllo attivo e controllo passivo

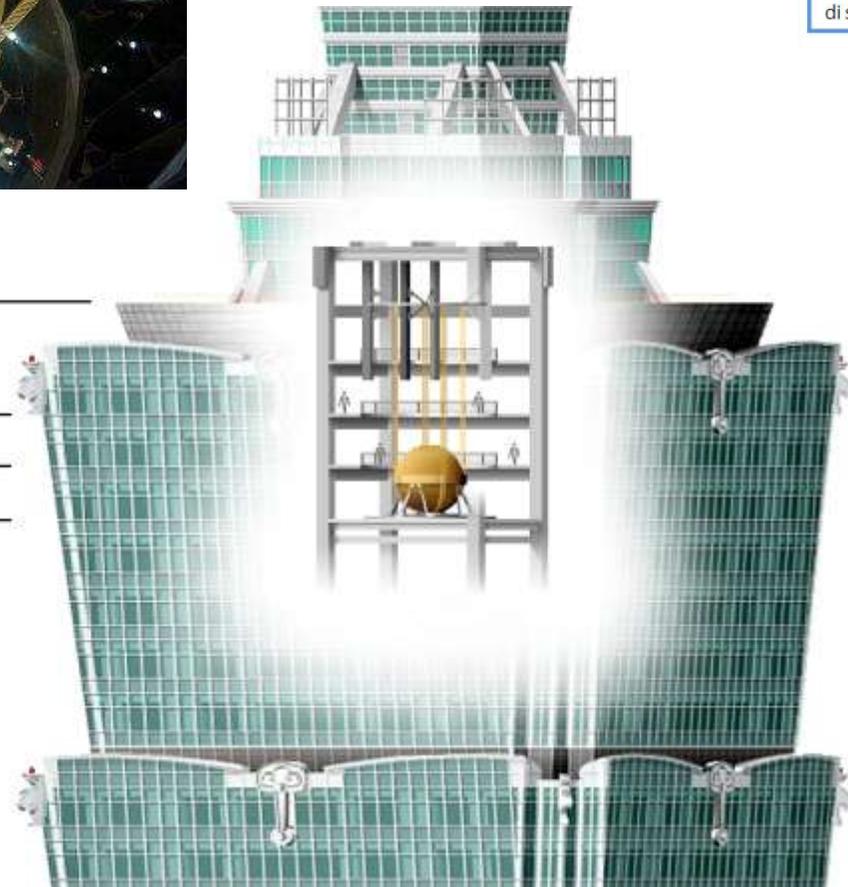


91st Floor (390.60 m)  
(Outdoor Observation Deck)

89th Floor (382.20 m)  
(Indoor Observation Deck)

88th Floor

87th Floor



## Tecniche per la protezione sismica degli edifici

**Controllo ATTIVO**

Dispositivi controllati elettronicamente che si attivano in occasione di un terremoto applicando alla struttura forze dinamiche di segno contrario

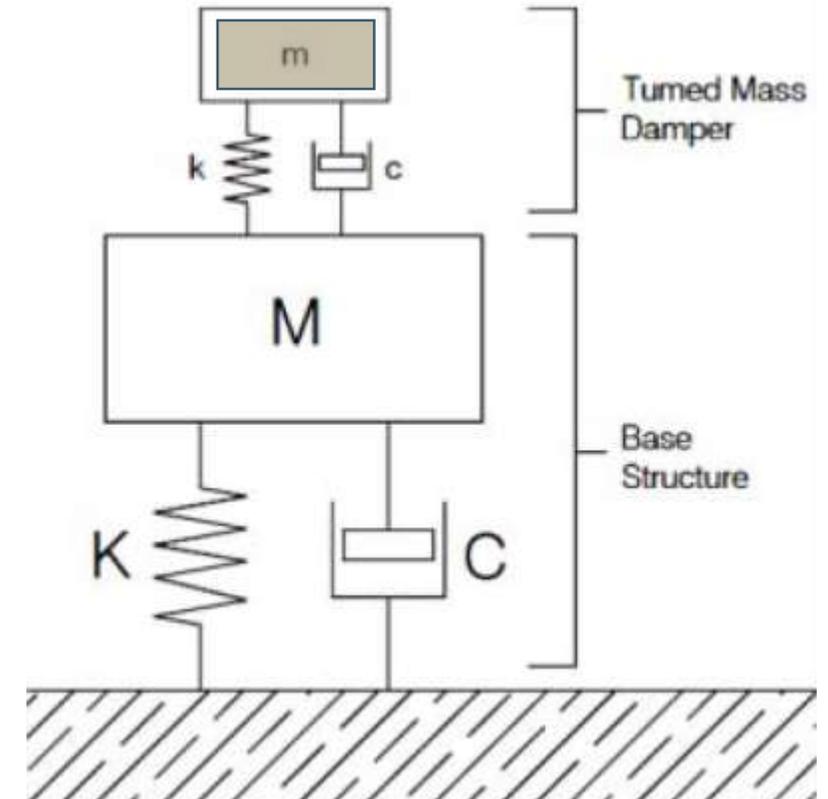
**Controllo PASSIVO**

**ISOLAMENTO SISMICO**

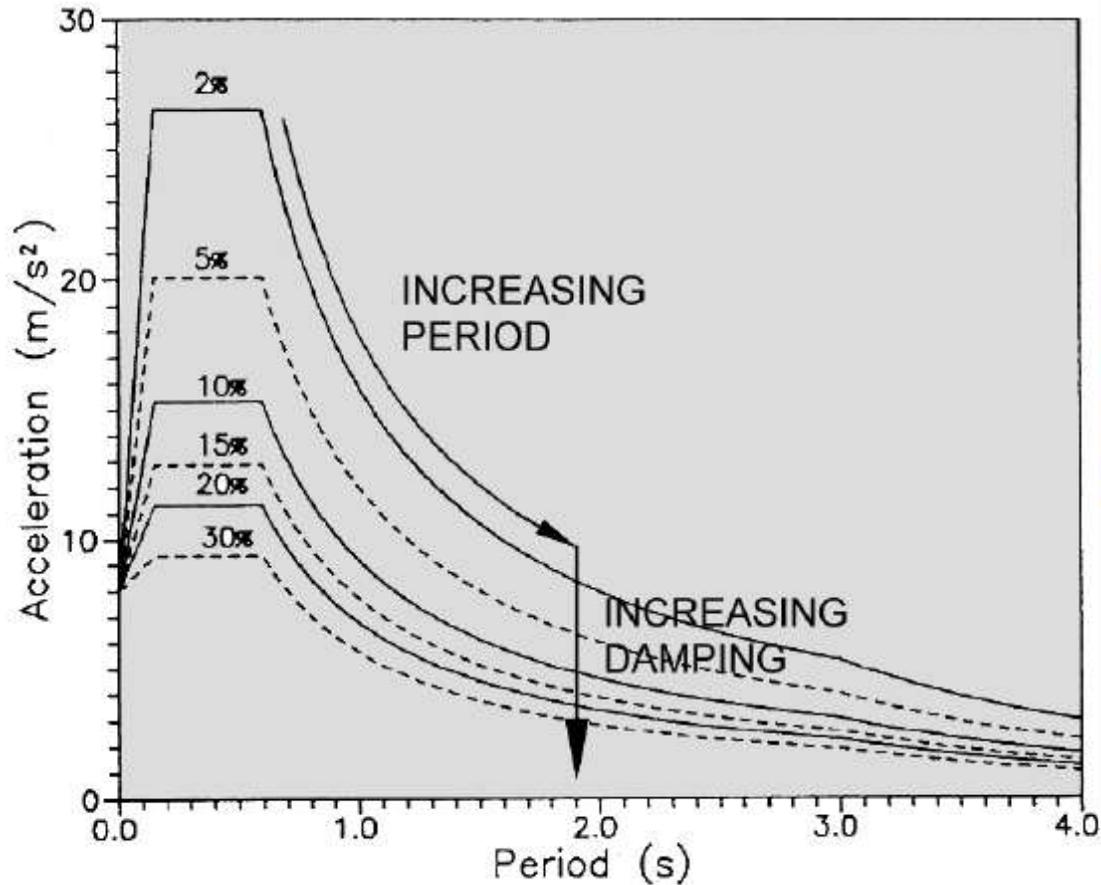
**DISSIPAZIONE DI ENERGIA**

**Controllo IBRIDO**

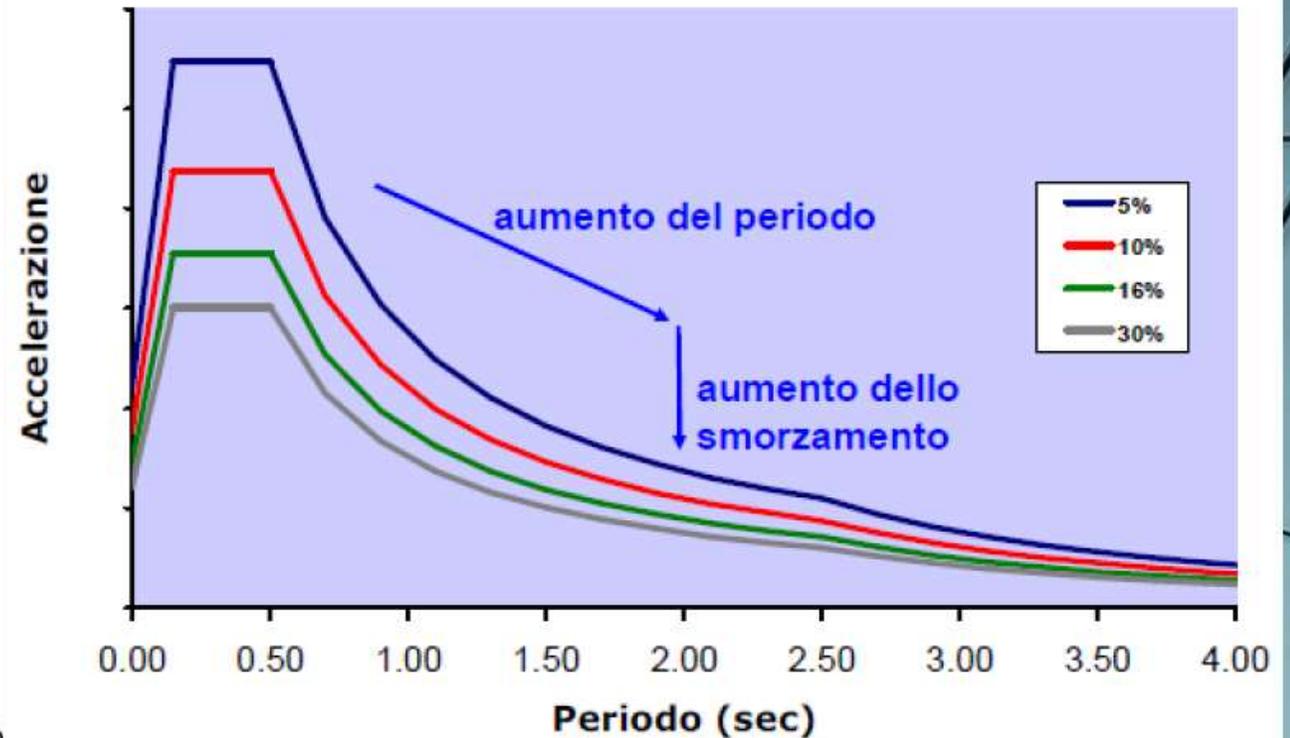
Combinazione tra controllo attivo e controllo passivo



# Protezione sismica con approcci non tradizionali - PRINCIPI

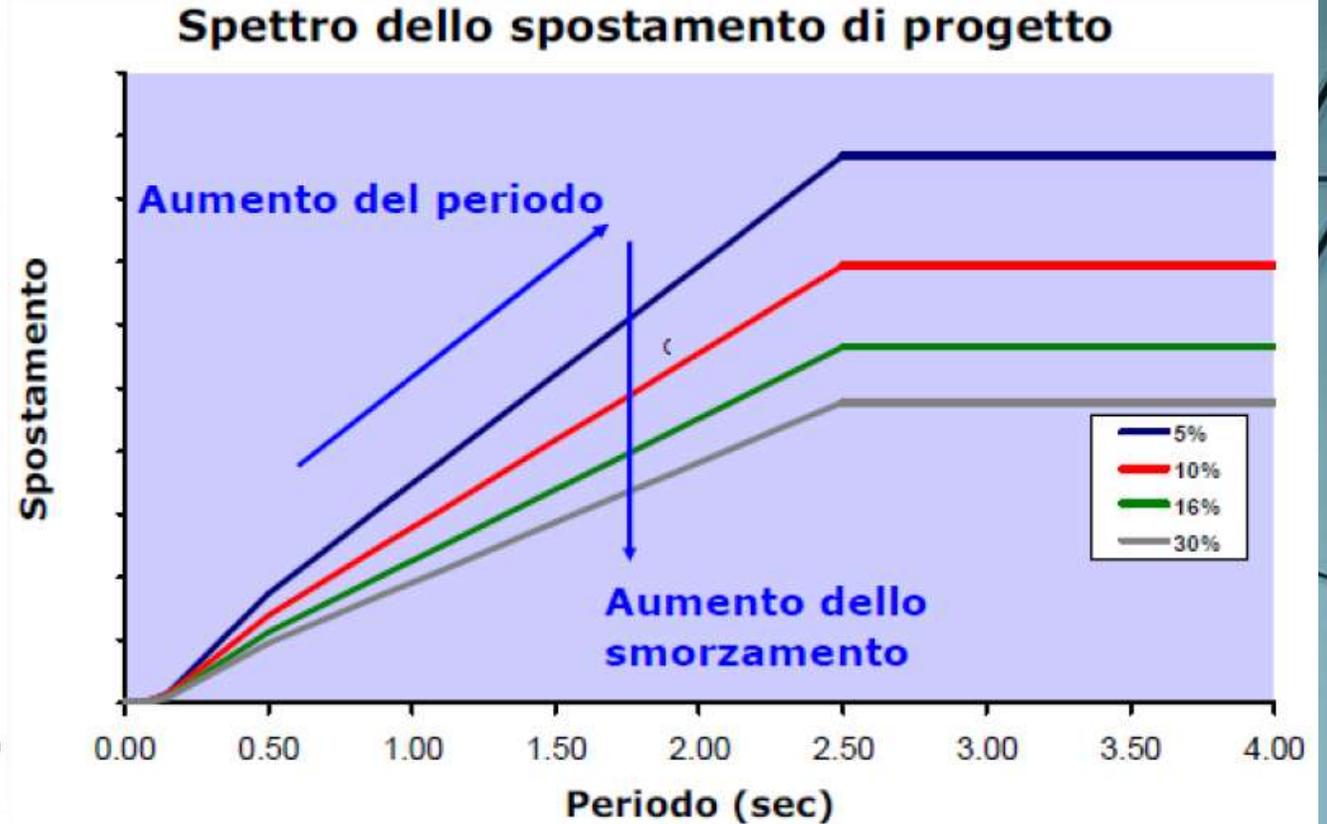
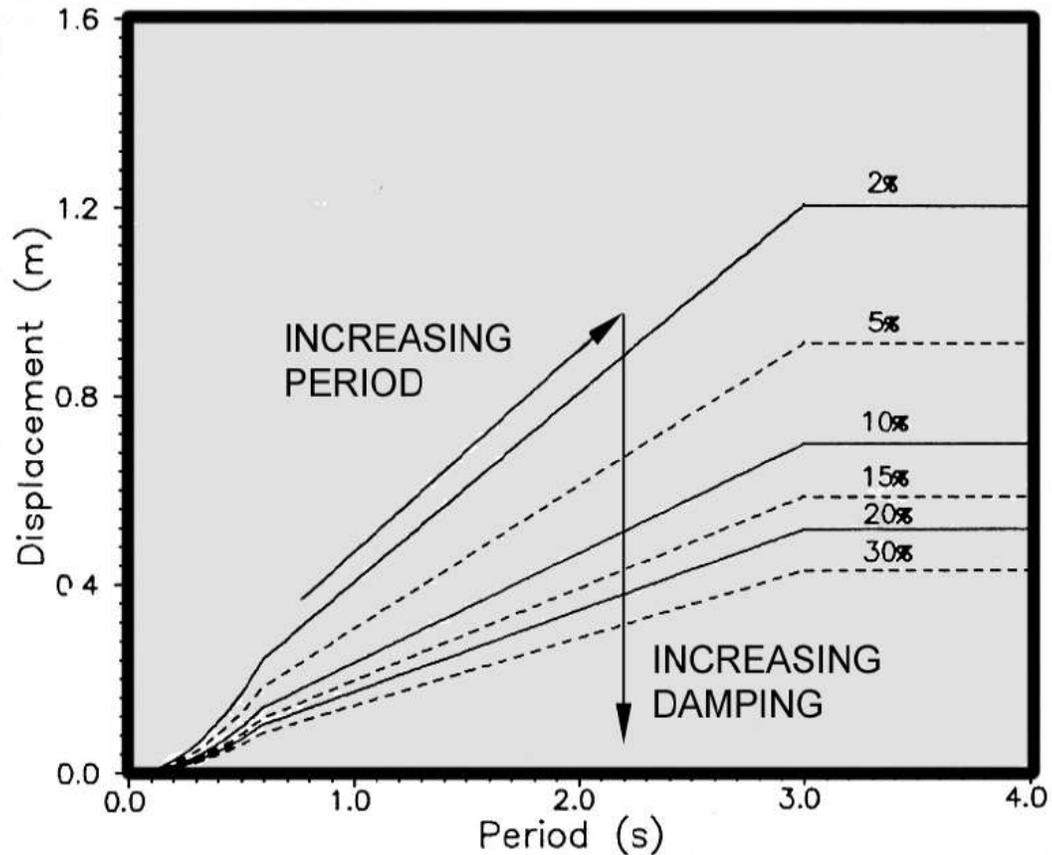


Spettro d'accelerazione di progetto



- Aumento periodo proprio struttura
- Aumento capacità dissipativa
- Combinazione entrambe le strategie

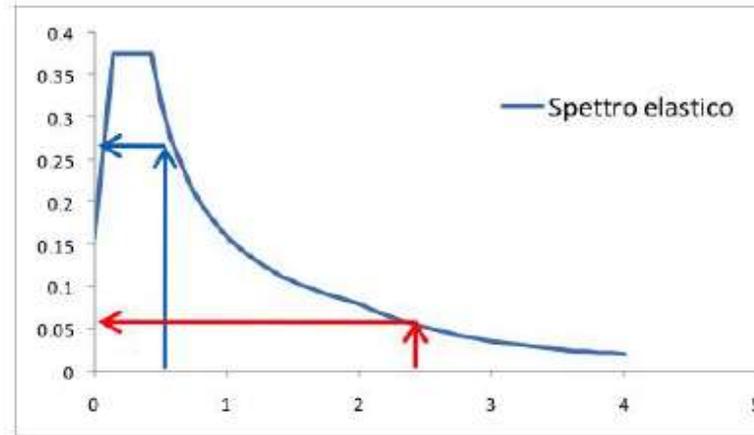
# Protezione sismica con approccio non tradizionale - PRINCIPI



- Aumento periodo proprio struttura
- Aumento capacità dissipativa
- Combinazione entrambe le strategie

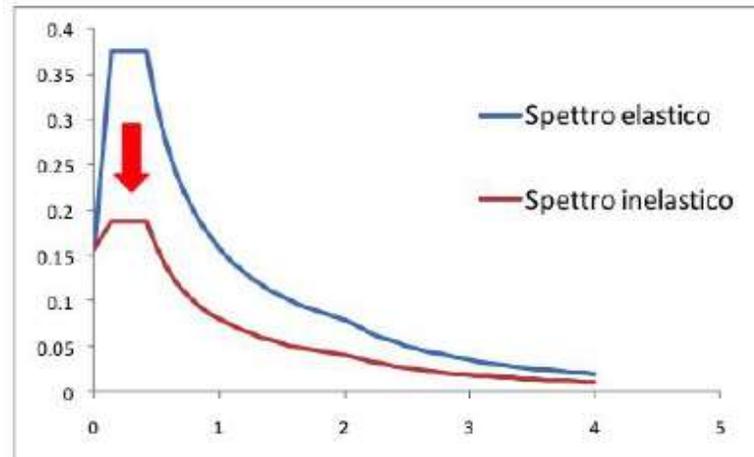
# Protezione sismica con approccio non tradizionale - PRINCIPI

→ *Aumentando il periodo proprio della struttura*

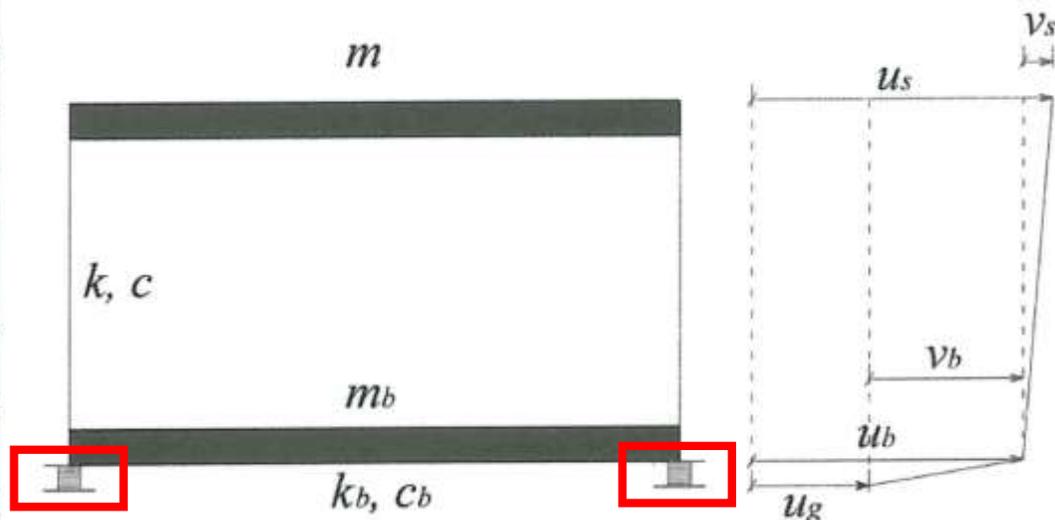


**ISOLAMENTO  
SISMICO**

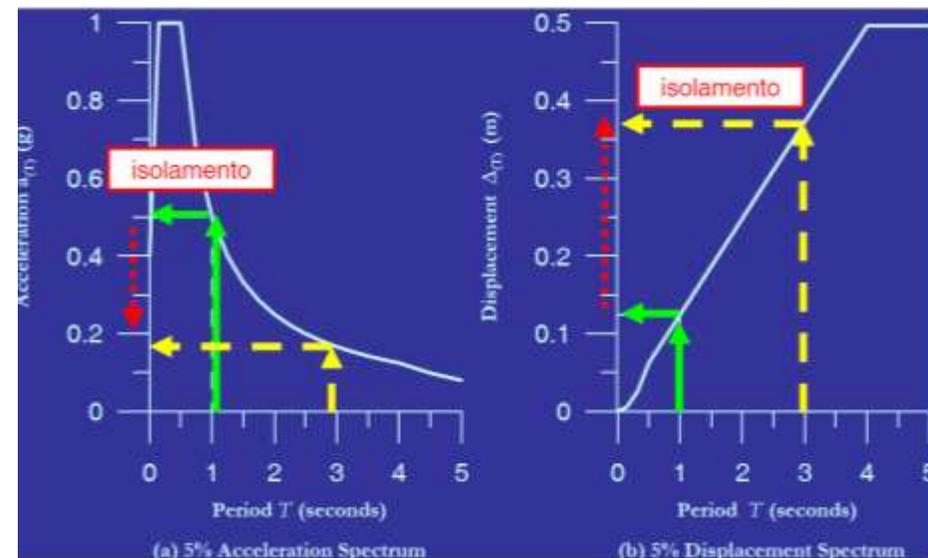
→ *Aumentando la capacità dissipativa*



**SISTEMI  
DISSIPATIVI**

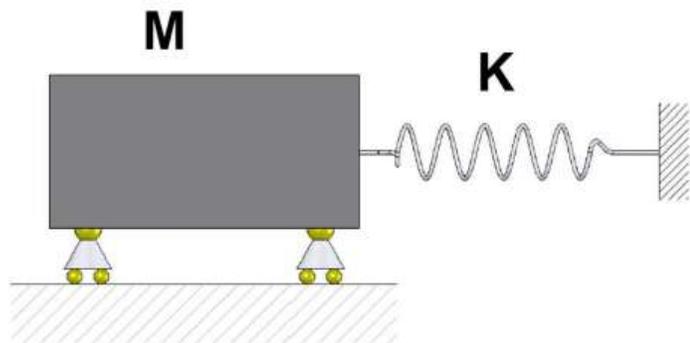


Trattazione di Naeim e Kelly



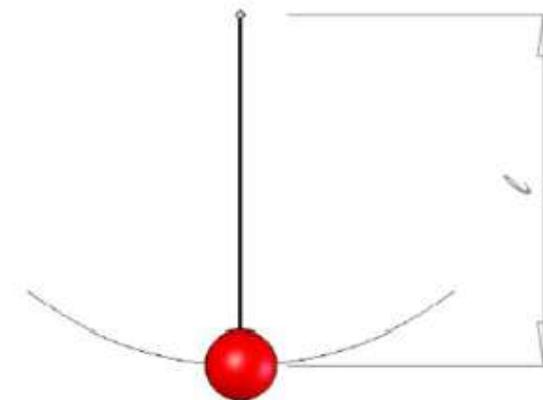
Come si fa ad aumentare il periodo proprio di una parte della struttura?

Inserendo fra la struttura e la sottostruttura un oscillatore che forzi la struttura ad oscillare prevalentemente secondo il periodo proprio dell'oscillatore stesso



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



# **Pre-dimensionamento** di un sistema di **Isolamento Sismico alla Base (BIS)**



**AIST**

Associazione Italiana Software Tecnico

# Esempio di Pre-Dimensionamento 1

## Isolatore Elastomerico HDRB

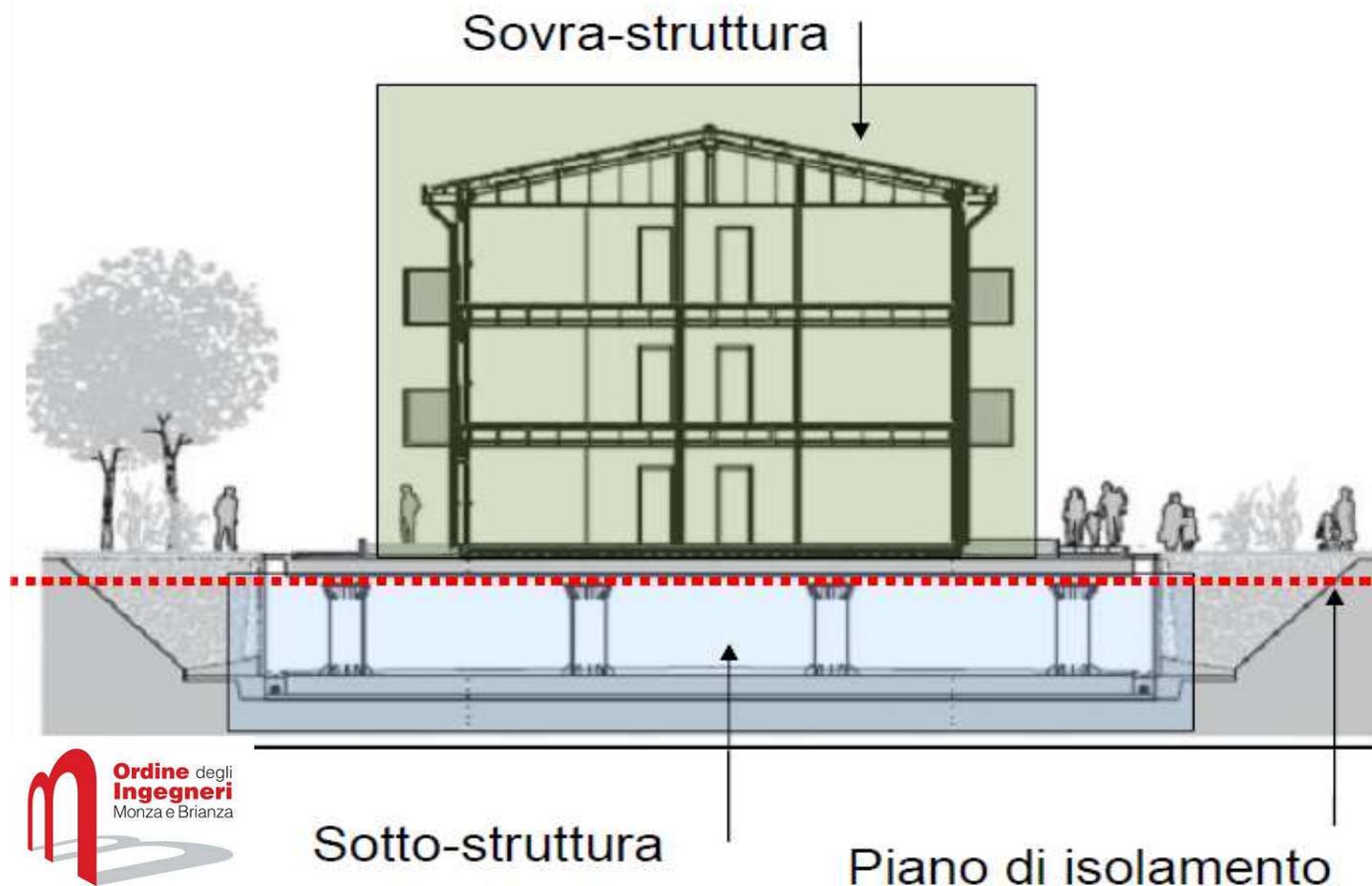


**AIST**

Associazione Italiana Software Tecnico

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento  
“dati del problema”



## Geometria ipotizzata:

- Pianta 20 metri X 11 metri
- Pilastri 12
- Piani 2 fuori terra + 1 terreno e garage
- Altezza 10 metri fuori terra

## Effetti di sito:

- Suolo tipo A
- Categoria di sottosuolo T1

## Primo periodo a base fissa:

- $T_{1bf} = C_1 \cdot H^{(3/4)} = 0,42 \text{ sec}$

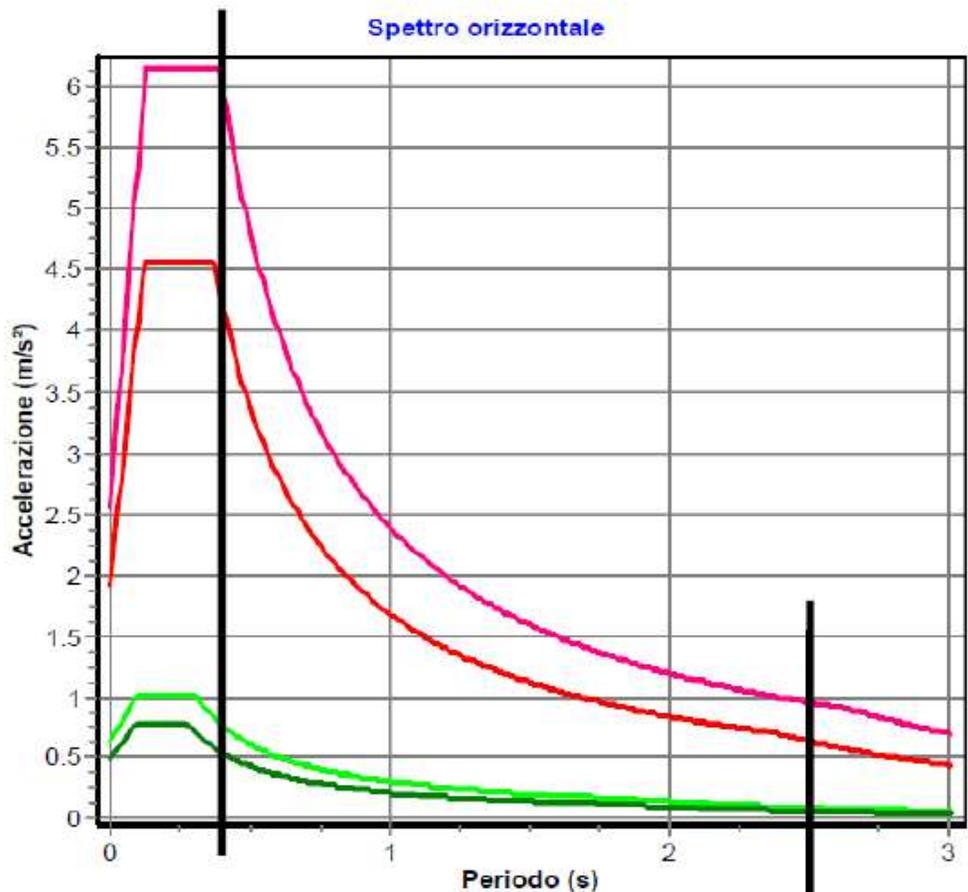
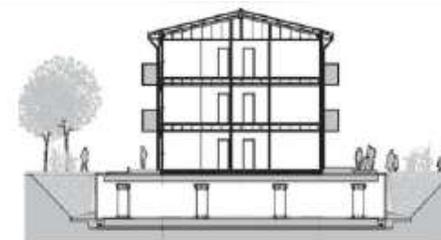
## Periodo di tentativo a base isolata:

- $T_{1is} = 2,5 \text{ sec}$

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento  
“spettri associati”

$$\xi = 5\% \text{ quindi } \eta = 1$$



— Spettro SLU  
— Spettro SLD  
— Spettro SLC  
— Spettro SLO

Definizione di pericolosità sismica di base:

STATO LIMITE	TR [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
SLO	30	0.050	2.348	0.278
SLD	50	0.065	2.347	0.303
SLV	475	0.194	2.398	0.369
SLC	975	0.260	2.414	0.389

T1bf=0,42

T1is=2,50

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

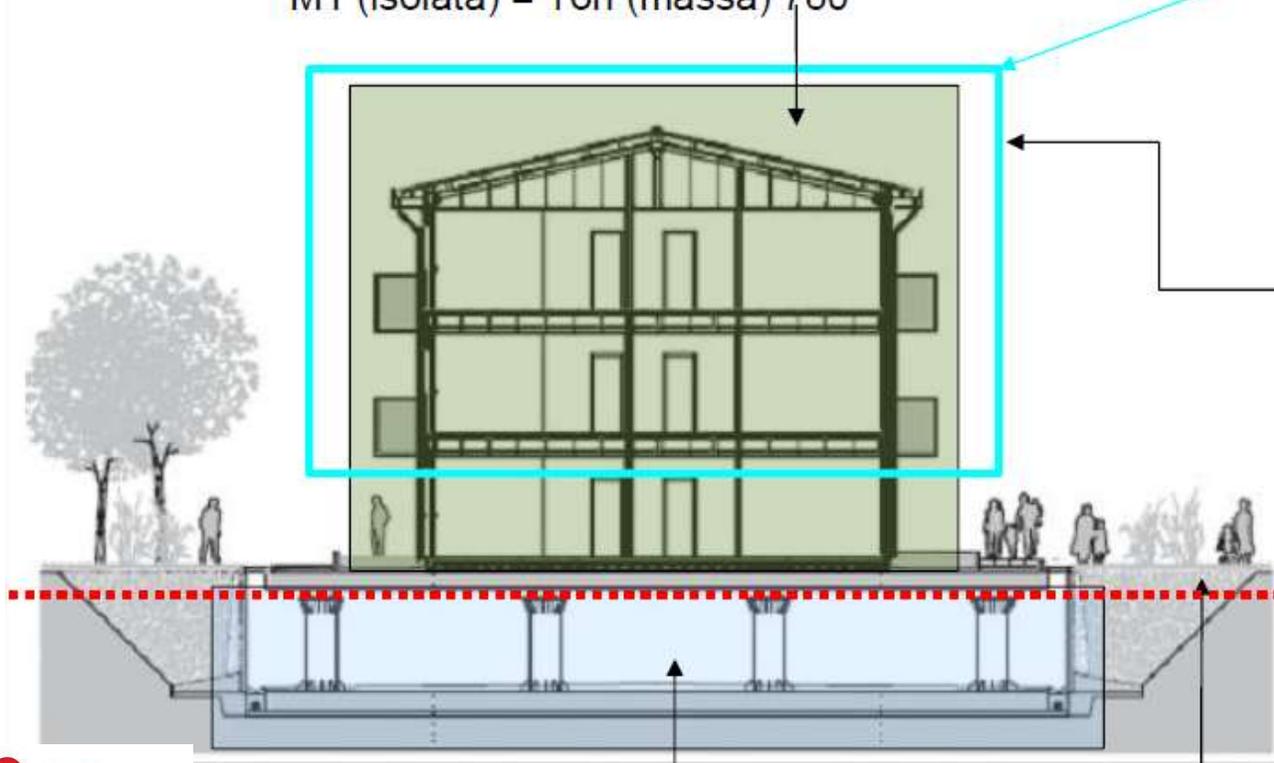
Esempio di pre – dimensionamento  
“masse in gioco”

Peso sismico: D.M. 2008 3,2,4

$$G_1 + G_2 + \sum_j \Psi_{2j} Q_{kj}$$

Massa sopra al piano di isolamento  
M1 (isolata) = Ton (massa) 780

Massa relativa al tagliante alla base  
M2 = Ton (massa) 536



Piano	peso	massa
Copertura	KN 860	Ton 88
II piano	KN 2200	Ton 224
I piano	KN 2200	Ton 224
base mobile	KN 2400	Ton 244
sottostruttura	KN 400	Ton 41

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento  
*Considerazioni sul tagliante alla base (SLV)*

Edificio a base fissa  $T = 0,42\text{sec}$   $q = 3$  (ipotesi)

$\xi = 5\%$  quindi  $\eta = 1$



$V_R$  50 Stalo Limite SLV

$a_g$  0.193  $F_0$  2.397  $T_c^*$  0.369

Suolo A  $S_s$  1.000  $C_c$  1.000

Topo T1  $h/H$  1  $S_T$  1.000

Comp.  Horizontal  Vertical

Behaviour Factor  $q$  3

n° of points 20 + 5

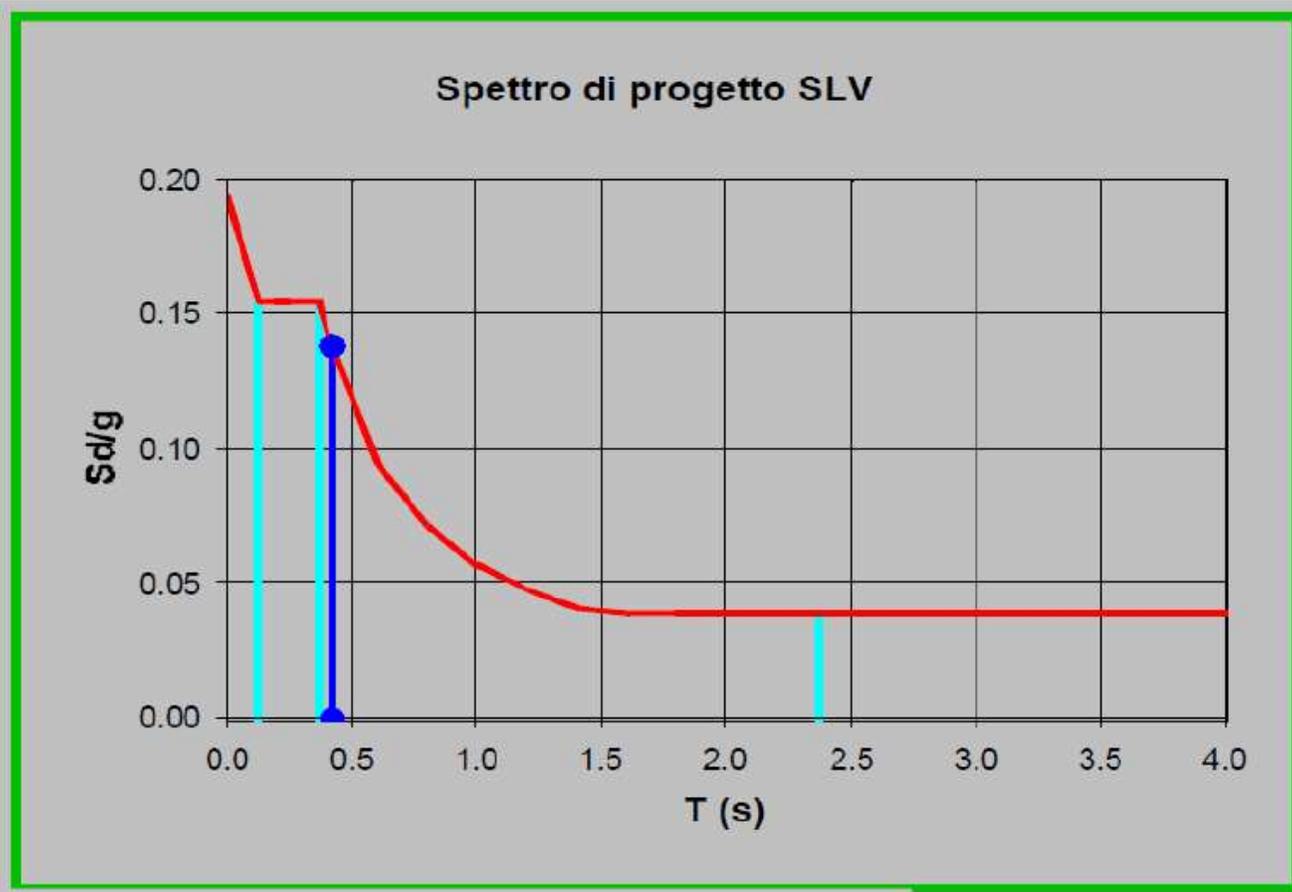
SIMQKE

$T$  0.42 s  $s_d$  0.138 x g

$f$  2.381 Hz

$\omega$  14.96 rad/s

$d_g$  0.0415 m  $v_g$  0.112 m/s

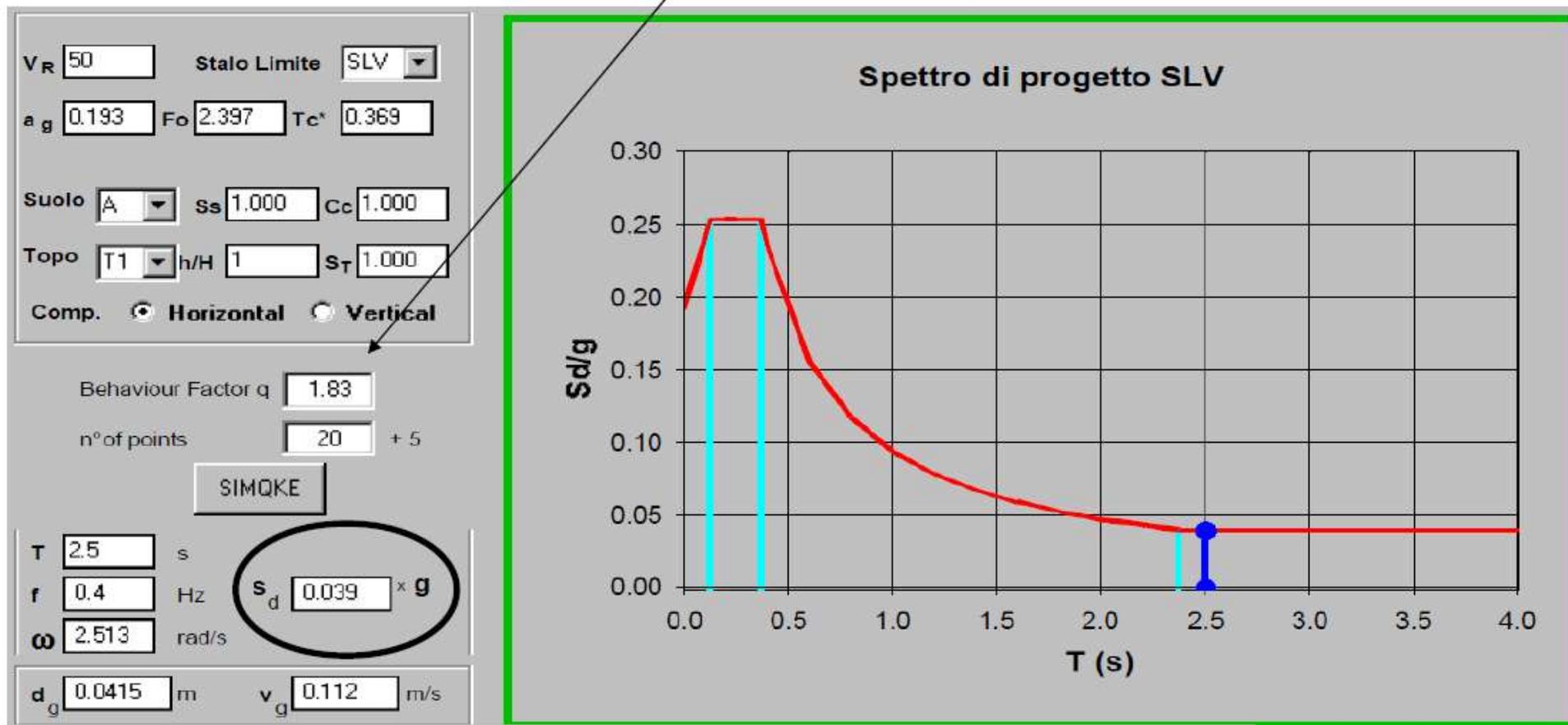


# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre - dimensionamento  
*Considerazioni sul tagliante alla base (SLV)*



Edificio a base mobile  $T = 2,5\text{sec}$      $q = 1,5$      $\xi \approx 10\%$  quindi  $\eta = 0.816$



# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento  
*Tagliante alla base dei pilastri (SLV)*

**Forza orizzontale sul sistema di isolamento (SLV)**

La forza orizzontale complessiva applicata al sistema d'isolamento, da ripartire tra gli elementi strutturali costituenti la sottostruttura in proporzione alle rigidità dei corrispondenti dispositivi d'isolamento, è pari a:

$$F = M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi}) \quad (7.10.1)$$

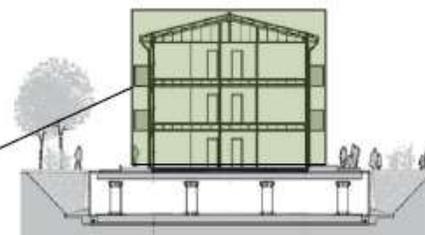
Tagliante alla base edificio a base fissa:  $536\text{Ton} \cdot 0,138 \cdot g = 725\text{KN}$  *con danneggiamento*  
Tagliante alla base edificio isolato:  $536\text{Ton} \cdot 0,039 \cdot g = 205\text{KN}$  *senza danneggiamento*

*La soluzione a base isolata comporta un tagliante sui pilastri mediamente 3,5 volte inferiore della soluzione tradizionale, senza peraltro particolari richieste di duttilità da parte della struttura.*

*A parità di richiesta di duttilità la differenza sale a 7.*

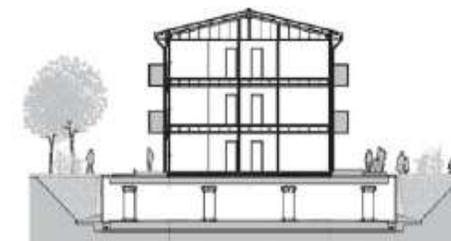
**Forza orizzontale sul sistema di isolamento (SLV)**

Forza orizzontale sul sistema di isolamento:  $780\text{Ton} \cdot 0,039 \cdot g = \mathbf{298\text{KN}} = F$  (della formula 7,10,1)



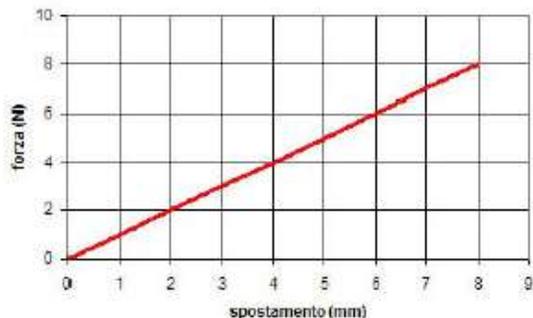
# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento  
*Spostamenti attesi per il centro di rigidezza (SLC)*



Lo spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica  $d_{dc}$  deve essere calcolato, in ciascuna direzione orizzontale, mediante la seguente espressione:

$$d_{dc} = \frac{M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{sm})}{K_{est, min}} \quad (7.10.2)$$



Ma la rigidezza del sistema non è ancora nota

Ricordando che:

$$\omega_B = \sqrt{\frac{K_B}{M}}$$

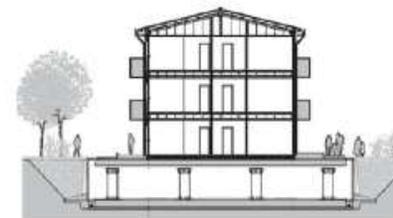
Si ottiene:

$$d_{dc} = S_e(T_{is}, \xi) / \omega^2$$

Integrazione delle accelerazioni

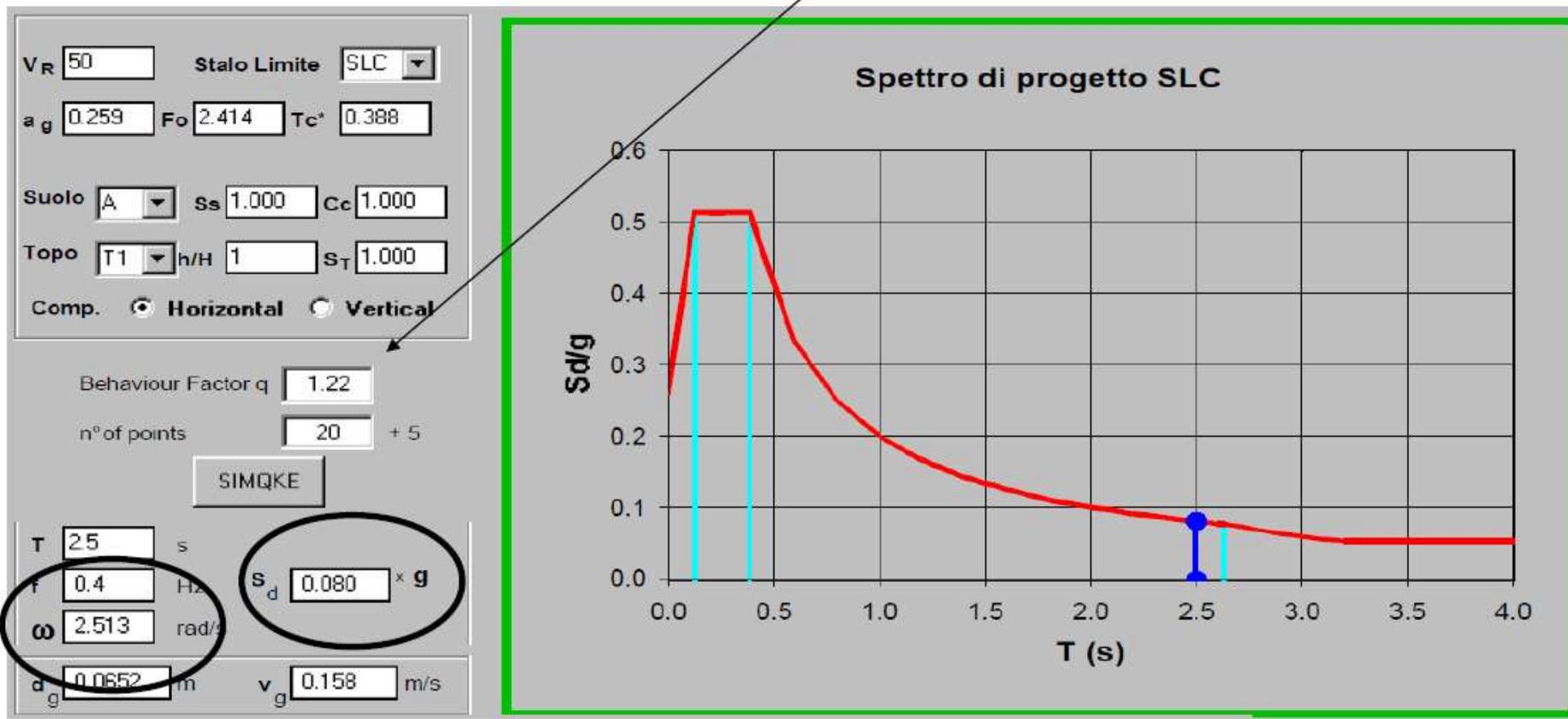
# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre - dimensionamento  
*Spostamenti attesi per il centro di rigidezza (SLC)*



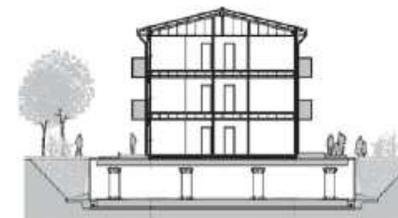
$$d_{dc} = S_e(T_{is}, \xi) / \omega^2$$

$$\xi \approx 10\% \quad \eta = 0.816 \quad q = 1/\eta \approx 1.22$$



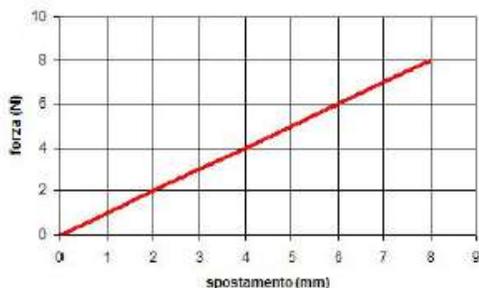
# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento  
*Spostamenti attesi per il centro di rigidezza (SLC)*



Lo spostamento del centro di rigidezza dovuto all'azione sismica  $d_{de}$  deve essere calcolato, in ciascuna direzione orizzontale, mediante la seguente espressione:

$$d_{de} = \frac{M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{eni})}{K_{eni, min}} \quad (7.10.2)$$



Rigidità non ancora nota

Ricordando che:

$$\omega_B = \sqrt{\frac{K_B}{M}}$$

Si ottiene:

$$S_{max} = a_g \cdot \left( \frac{T}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

$$= 0,08 \cdot g / 2,513^2 = 0,12 \text{ metri (centro di rigidezza)}$$

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento

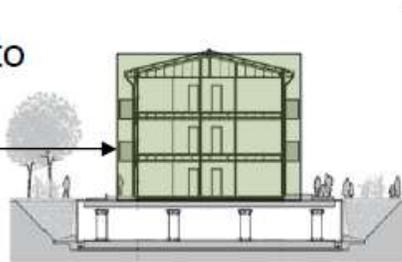
**HDRB (elastomerici ad alto smorzamento)**

Dato aver scelto periodo di primo tentativo lo smorzamento e lo smorzamento dalla formula.

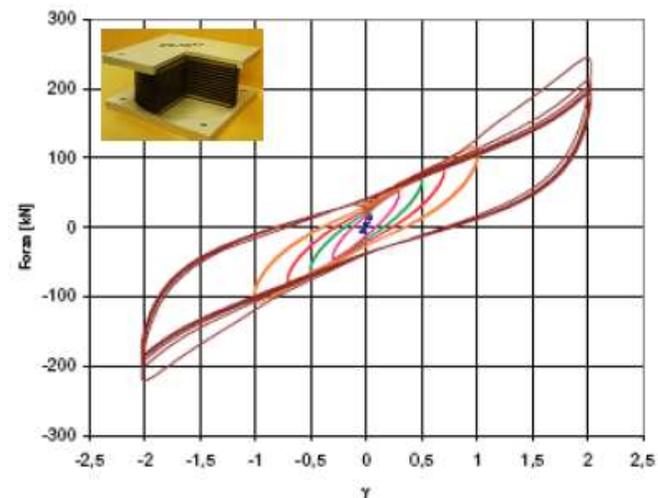
$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$K_r = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot M}{T^2}$$

**Massa sopra al piano di isolamento**  
M1 (isolata) = **Ton (massa) 780**



**Periodo di tentativo a base isolata: T1is=2,5 sec**

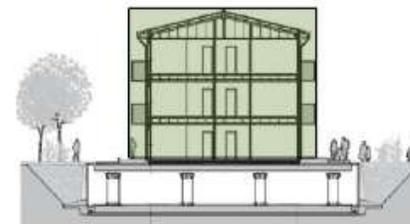


4921KN/m 4,92KN/mm

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1

Esempio di pre – dimensionamento

**HDRB (elastomerici ad alto smorzamento)**



Rigidezza del sistema = 4,92KN/mm

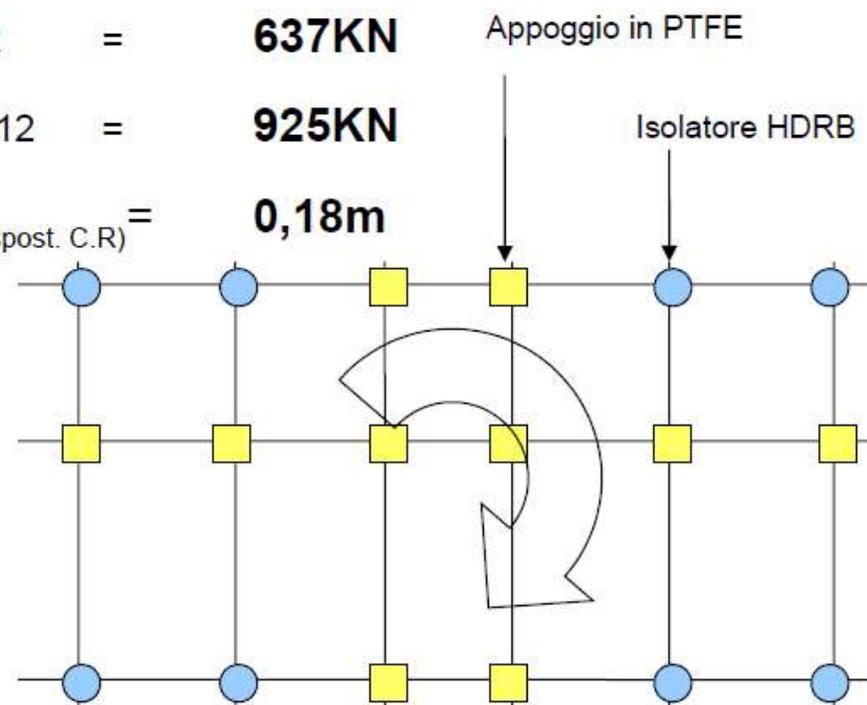
Carichi sui dispositivi  $V_{sism} = 780 \cdot 9,81 / 12 = 637 \text{KN}$

Carico sui dispositivi  $V_{max(slu)} = 780 \cdot 9,81 \cdot \gamma / 12 = 925 \text{KN}$

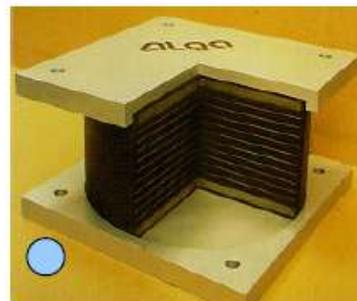
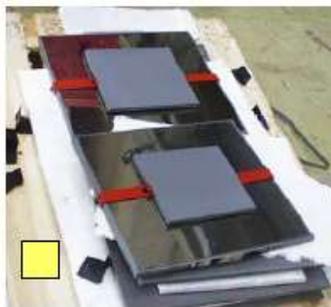
Spostamento max dispositivo =  $1,5 \cdot 0,12 \text{m}_{(spost. C.R)} = 0,18 \text{m}$

Si ipotizza l'impiego di 8 HDRB sul perimetro

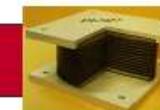
Rigidezza dispositivo =  $4,92 \text{KN/mm} / 8 = 0,61 \text{KN/mm}$



Pianta Ipotetica



# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 1



## D 400 B 450 Z 335

Geometrical DATA		Technical DATA														
		HDS $\xi = 10\%$ - G = 0,4 MPa					HDN $\xi = 10\%$ - G = 0,8 MPa					HDH $\xi = 16\%$ - G = 1,4 MPa				
$t_e$	H	$S_{max}$	$V_{max}$	$V_{sism}$	$K_r$	$K_v$	$S_{max}$	$V_{max}$	$V_{sism}$	$K_r$	$K_v$	$S_{max}$	$V_{max}$	$V_{sism}$	$K_r$	$K_v$
[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN/mm]	[kN/mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN/mm]	[kN/mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN/mm]	[kN/mm]
48	138	100	1300	1300	1,05	1287	100	2650	2650	2,09	2280	100	4650	4650	3,67	3405
56	150	120	1400	1400	0,90	1104	120	2850	2850	1,80	1954	120	5000	5000	3,14	2919
64	162	130	1500	1300	0,79	966	130	3050	2650	1,57	1710	130	5350	4650	2,75	2554
72	174	150	1550	1100	0,70	858	150	3150	2200	1,40	1520	150	5500	3850	2,44	2270
80	195	160	1600	950	0,63	772	160	3250	1900	1,26	1368	160	5650	3350	2,20	2043
88	198	180	1450	800	0,57	702	180	2900	1600	1,14	1244	180	5100	2800	2,00	1857
96	210	200	1300	650	0,52	644	200	2600	1350	1,05	1140	200	4600	2400	1,83	1703
104	222	210	1200	600	0,48	594	210	2400	1200	0,97	1052	210	4200	2150	1,69	1572
112	221	230	1050	500	0,45	552	230	2150	1050	0,90	977	230	3800	1850	1,57	1459
120	232	240	1000	450	0,42	515	240	2000	950	0,84	912	240	3550	1650	1,47	1362
128	243	260	900	400	0,39	483	260	1850	800	0,79	855	260	3250	1400	1,37	1277

[http://www.alga.it/uploads/369\\_ALGA\\_-\\_HDRB\\_LRB.pdf](http://www.alga.it/uploads/369_ALGA_-_HDRB_LRB.pdf)

13

TECHNOLOGICAL THINKING

Rigidezza sistema di isolamento:

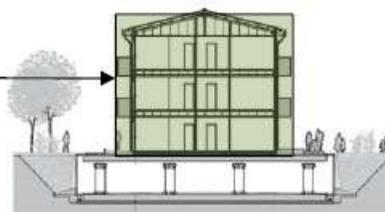
$0,57 \cdot 8 = 4,56 \text{ kN/mm}$   $K = 4560 \text{ kN/m}$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Periodo a base isolata:

•  $T_{is} = 2,59 \text{ sec}$

Massa sopra al piano di isolamento  
 $M_1$  (isolata) = Ton (massa) 780



Non cambiano in modo significativo i dati spettrali iniziali.

# Esempio di Pre-Dimensionamento 2

## Isolatore FP



**AIST**

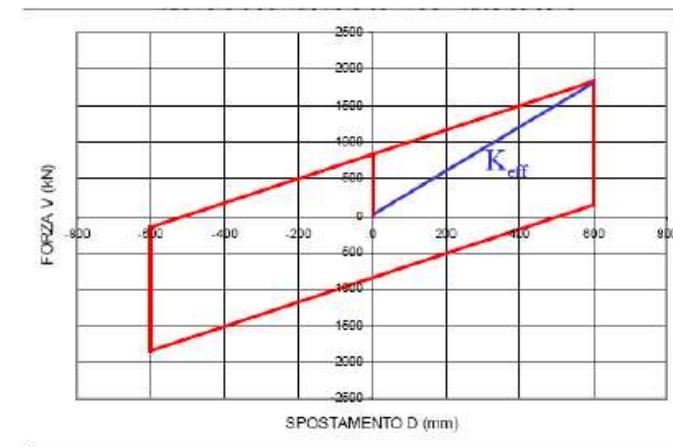
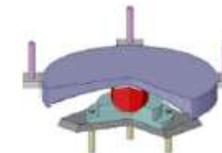
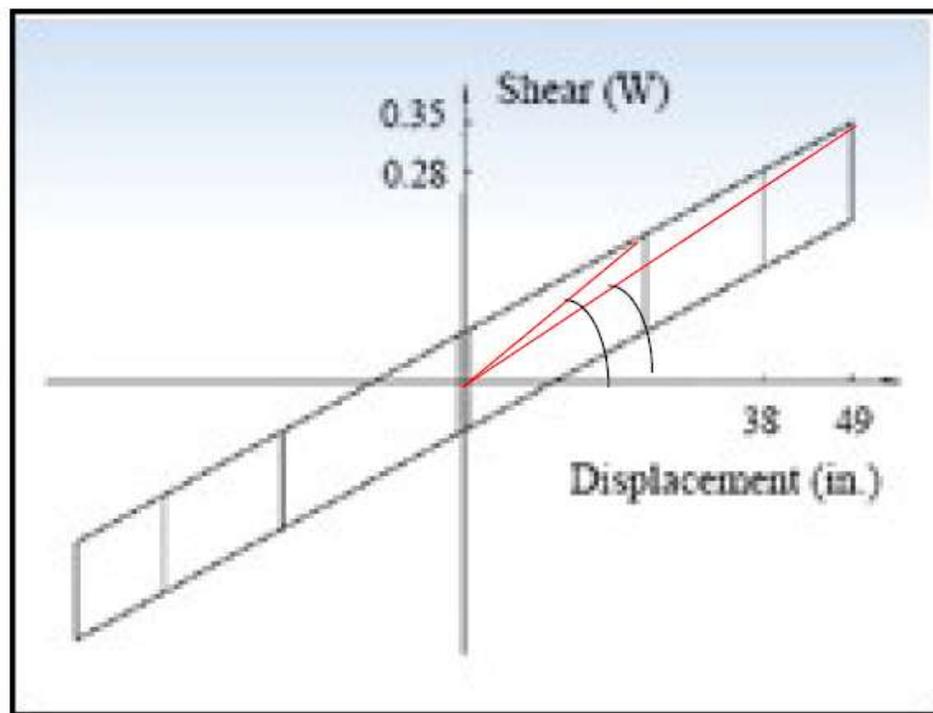
Associazione Italiana Software Tecnico

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 2

Esempio di pre - dimensionamento

**FP (friction pendulum)**

Rigidezza funzione diretta dell'attrito ed inversa con la spostamento



Anche lo smorzamento dipende dallo spostamento e dall'attrito

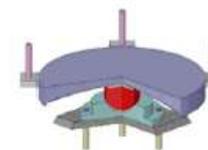
# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 2

Esempio di pre - dimensionamento

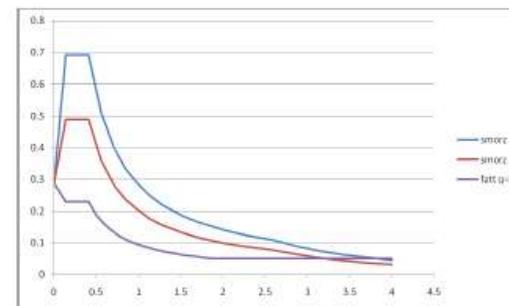
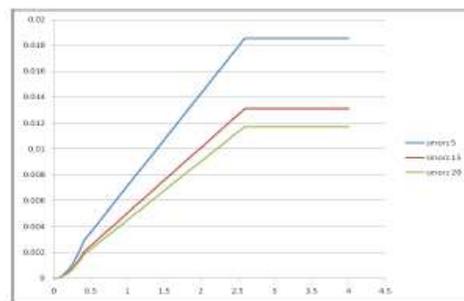
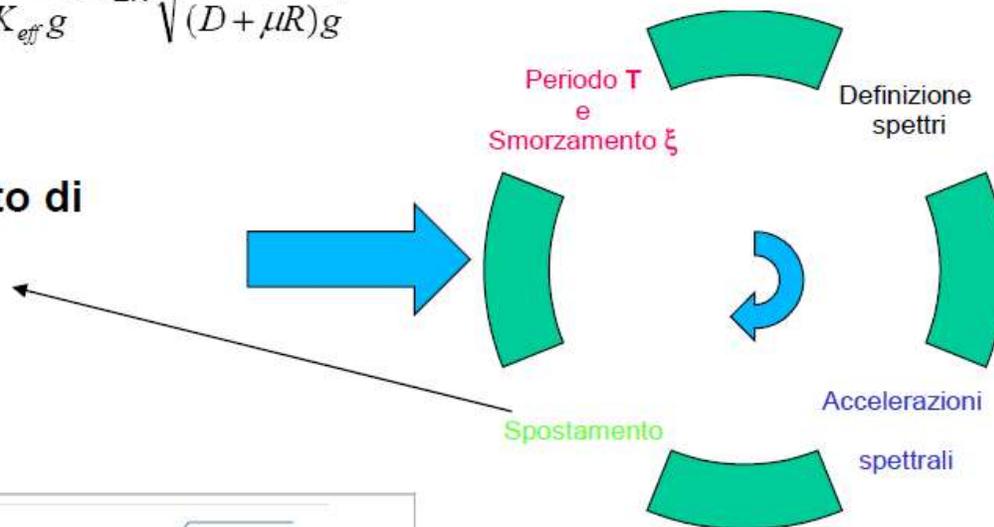
FP (friction pendulum)

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff}g}} = 2\pi \sqrt{\frac{RD}{(D + \mu R)g}}$$

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

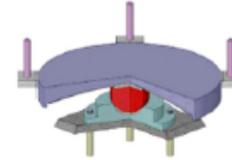


Spostamento di tentativo



# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 2

Esempio di pre – dimensionamento



**FP (friction pendulum)**

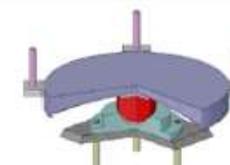
1. **Periodo** di tentativo a base isolata inizialmente senza attrito :  
 $T_i > 2,5$  sec
2. **Attrito** del dispositivo (tra 2% e 20%)
3. **Spostamento di tentativo** (per esempio lo spostamento del centro di rigidità precedentemente calcolato)
4. **Carico** sul dispositivo per evento sismico

1. Si consideri un periodo relativo ad un pendolo privo di attrito pari a 3sec., dalla formula si ricava: **R = 2239 mm**
2. Valore di attrito  $\mu = 2\%$
3. Spostamento iniziale ipotizzato per le iterazioni **D = 0,12 m**

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

# Isolamento di base - Pre-dimensionamento 2

Esempio di pre – dimensionamento



## FP (friction pendulum)

peso	V	kN	637	637	637	637
coeff.attrito	$\mu$		0.02	0.02	0.02	0.02
raggio	R	mm	2239	2239	2239	2239
spostamento	D	mm	120	105.7	102.0	101.0
rigidezza	K	kN/mm	0.28	0.28	0.28	0.28
rigidezza efficace	$K_{eff}$	kN/mm	0.39	0.41	0.41	0.41
periodo	T	s	3.00	3.00	3.00	3.00
periodo efficace	$T_{eff}$	s	2.56	2.52	2.50	2.50
smorzamento	$\xi$		17.3%	18.9%	19.4%	19.6%
fattore di smorzamento	$\eta$		0.670	0.646	0.640	0.638
accelerazione	a	m/s <sup>2</sup>	0.636	0.636	0.637	0.637
spostamento	D	mm	105.692	101.997	100.996	100.721
carico orizzontale	H	kN	43	42	41	41

# **Riferimenti normativi contenuti nelle NTC2018 relativi all'isolamento sismico**



**AIST**

Associazione Italiana Software Tecnico

# Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

## Proprietà del sistema di isolamento (§ 7.10.5.1)

Per l'adozione delle caratteristiche meccaniche dei dispositivi di isolamento non si fa più riferimento alla vita utile ma al parametro  $V_R$  (periodo di riferimento).

*[§ 7.10.5.1 – NTC2018 – c.1] “Le proprietà meccaniche del sistema di isolamento da adottare nelle analisi di progetto, derivanti dalla combinazione delle proprietà meccaniche dei singoli dispositivi che lo costituiscono, sono le più sfavorevoli che si possono verificare durante il periodo di riferimento  $V_R$  considerato.[...]”*

Viene introdotta l'importante considerazione che tiene conto dell'eventuale variazione nel tempo delle caratteristiche meccaniche durante la vita utile del dispositivo di isolamento.

*[§ 7.10.5.1 – NTC2018 – c.2] [...] Inoltre, si deve tener conto dell'eventuale variazione nel tempo delle caratteristiche meccaniche durante la vita utile del dispositivo. [...]*

Inoltre è possibile adottare valori medi delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento per tutte le classi d'uso (le NTC 2008 limitavano questa scelta alle classi d'uso I e II).

*[§ 7.10.5.1 – NTC2018 – c.4] [...] Nel caso in cui i valori estremi (massimo oppure minimo) differiscano di non più del 20% dal valor medio, si potranno adottare i valori medi delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento.”*

## Modellazione (§ 7.10.5.2)

Viene specificato che la rigidezza del sistema a comportamento lineare con cui vengono modellate la sottostruttura e la sovrastruttura, che sono oggetto di isolamento sismico, deve essere quella corrispondente al comportamento strutturale non dissipativo.

*[§ 7.10.5.2 – NTC2018 – c.1] “La sovrastruttura e la sottostruttura devono essere modellate come sistemi a comportamento elastico lineare aventi rigidezza corrispondente al comportamento strutturale non dissipativo. Il sistema di isolamento può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. La deformabilità verticale degli isolatori dovrà essere messa in conto quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento  $K_v$  e la rigidezza equivalente orizzontale  $K_{esi}$  è inferiore a 800.”[...]*

Si introduce l'eventuale interferenza nella risposta sismica del sistema isolato con l'interazione terreno-struttura.

*[§ 7.10.5.2 – NTC2018 – c.6] “Se ritenuta rilevante ai fini della risposta sismica della struttura isolata, è opportuno tenere in conto l'eventuale interazione terreno-struttura come indicato al § 7.9.3.1.”*

## Analisi (§ 7.10.5.3)

Sono sempre previste le tre tipologie di analisi statica lineare, analisi dinamica lineare e analisi dinamica non lineare. Come la precedente norma (NTC 2008) non può essere utilizzata l'analisi statica non lineare.

Per l'analisi dinamica viene introdotta una specificata per i sistemi di isolamento che non sono ubicati subito dopo le fondazioni (per esempio un sistema di isolamento che parte dalla sommità dei pilastri del piano interrato di un garage dove le fondazioni sono situate sotto il livello della pavimentazione carrabile e non ci sono muri di contenimento con funzione scatolare). In questo caso il modello strutturale da analizzare deve comprendere sia la sottostruttura che la sovrastruttura.

*[§ 7.10.5.3.2 – NTC2018 – c.1] [...] Qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni, il modello deve comprendere sia la sovrastruttura sia la sottostruttura, a meno che la sottostruttura non sia assimilabile ad una struttura scatolare rigida come definita al § 7.2.1 [..]*

La sottostruttura ha comportamento assimilabile ad una struttura scatolare rigida quando la sua rigidità rispetto alle azioni orizzontali è significativamente maggiore di quella della sovrastruttura. Si riporta per completezza di informazione il punto § 7.2.1 della normativa.

*[§ 7.2.1 – NTC2018 – c.4] [...] Qualora, immediatamente al di sopra della fondazione, sia presente una struttura scatolare rigida, purché progettata con comportamento non dissipativo, i controlli sulla regolarità in altezza possono essere riferiti alla sola struttura soprastante la scatolare, a condizione che quest'ultima abbia rigidità rispetto alle azioni orizzontali significativamente maggiore di quella della struttura ad essa soprastante. Tale condizione si può ritenere soddisfatta se gli spostamenti della struttura soprastante la scatolare, valutati su un modello con incastri al piede, e gli spostamenti della struttura soprastante, valutati tenendo conto anche della deformabilità della struttura scatolare, sono sostanzialmente coincidenti [...]*

## Verifiche (§ 7.10.6)

### Verifiche degli stati limite ultimi (§ 7.10.6.2)

Sono introdotte verifiche SLU per sistemi esposti particolarmente al vento e per i ponti.

*[§ 7.10.6.2 – NTC2018] Per le costruzioni particolarmente esposte all'azione del vento e per i ponti in generale sarà condotta la verifica dello SLU dei dispositivi di isolamento e/o dissipazione di energia sottoposti alle combinazioni inerenti le azioni variabili orizzontali.*

Per le verifiche SLV sulla sottostruttura viene modificato il riferimento specifico alle “accelerazioni del terreno” in “accelerazioni di risposta” e nel caso di sottostruttura infinitamente rigida ( $T < 0,05s$ ) si considera anche il fattore di amplificazione locale (S). Le vecchie NTC consideravano solo l'accelerazione  $a_g$  adesso invece si prende  $a_g S$  dove con S si considera l'amplificazione sismica locale.

*[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.2] [...] Gli elementi della sottostruttura devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni ottenute direttamente dall'analisi quando il modello include anche la sottostruttura. In caso contrario, essi devono essere verificati rispetto alle sollecitazioni prodotte dalle forze trasmesse dal sistema d'isolamento combinate con le sollecitazioni prodotte dalle accelerazioni di risposta direttamente applicate alla sottostruttura. Nel caso in cui la sottostruttura possa essere assunta infinitamente rigida (periodo proprio inferiore a 0,05s) le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno  $a_g S$ . [...]*

# Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Non è più possibile ridurre, indipendentemente dal tipo di analisi, il fattore di comportamento a  $q=1,5$  ma adesso la norma specifica i valori di  $q$  per l'analisi lineare per gli elementi strutturali e per il terreno nel caso di edifici ( $q \leq 1,50$ ) e dei ponti ( $q=1$ ).

*[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.3] [...] La domanda sugli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura e sul terreno deve essere valutata, nel caso di analisi lineare, considerando un fattore di comportamento  $q \leq 1,50$  nel caso degli edifici e  $q=1$  nel caso dei ponti ed adottando le regole di combinazione di cui al § 2.5.3 [...]*

Si introducono criteri per evitare il martellamento di parti contigue o strutture adiacenti in riferimento agli spostamenti allo SLV.

*[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.6] [...] Al fine di evitare il martellamento tra diverse parti tra loro contigue si dovranno rispettare i criteri enunciati al § 7.2.1, nella sezione "Distanza tra costruzioni contigue", e, per i ponti, al § 7.9.5.2.*

Essendo il martellamento un fenomeno molto delicato in questo caso è consigliabile a vantaggio di sicurezza prendere in considerazione direttamente gli spostamenti massimi allo SLC. Si riporta per completezza di informazione il punto § 7.2.1 della normativa.

*[§ 7.2.1 – NTC2018 – Distanza tra costruzioni contigue – c.1 e c.4] La distanza tra costruzioni contigue deve essere tale da evitare fenomeni di martellamento e comunque non può essere inferiore alla somma degli spostamenti massimi determinati per lo SLV, calcolati per ciascuna costruzione secondo il § 7.3.3 (analisi lineare) o il § 7.3.4 (analisi non lineare) e tenendo conto, laddove significativo, dello spostamento relativo delle fondazioni delle due costruzioni contigue, secondo quanto indicato ai §§ 3.2.4.1, 3.2.4.2 e 7.3.5; [...] Se le costruzioni hanno dispositivi d'isolamento sismico e/o dissipazione, particolare attenzione va posta al dimensionamento dei distacchi e/o giunti, tenendo in conto le indicazioni riportate nel § 7.10.4 e nel § 7.10.6.*

# Richiami Normativi - § 7.10 NTC 2018

Per le verifiche allo SLC e gli spostamenti  $d_2$  dei sistemi di isolamento sono state introdotte indicazioni per gli appoggi mobili e i dispositivi di fine corsa.

*[§ 7.10.6.2.2 – NTC2018 - c.1] Per i ponti e le costruzioni dotate anche di appoggi mobili devono essere rispettati i requisiti enunciati rispettivamente nei §§ 7.9.5.3.2 e 7.2.1.*

*[§ 7.10.6.2.1 – NTC2018 - c.6] I dispositivi di fine corsa, se previsti, devono permettere liberamente gli spostamenti massimi dei dispositivi di isolamento e/o dissipazione di energia e devono essere dimensionati secondo i criteri indicati nel § 7.9.5.3.3. [...]*

Per gli aspetti costruttivi, manutenzione e sostituibilità cambia la parte iniziale del primo paragrafo e scompare il riferimento alla durabilità specifica nel caso della gomma e del teflon.

*[§ 7.10.7 – NTC2018 – c.6] Il progetto deve contenere la descrizione delle modalità di messa in opera dei dispositivi ed il relativo piano di manutenzione. I documenti di progetto devono indicare i dettagli, le dimensioni e le prescrizioni sulla qualità, come pure eventuali dispositivi di tipo speciale e le tolleranze concernenti la messa in opera.*

- 11.9. DISPOSITIVI ANTISISMICI E DI CONTROLLO DELLE VIBRAZIONI**
- 11.9.1. TIPOLOGIE DI DISPOSITIVI**
- 11.9.2. PROCEDURA DI QUALIFICAZIONE**
- 11.9.3. PROCEDURA DI ACCETTAZIONE**
- 11.9.4. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO LINEARE**
  - 11.9.4.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.5. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO NON LINEARE**
  - 11.9.5.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.6. DISPOSITIVI A COMPORTAMENTO VISCOSO**
  - 11.9.6.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.7. ISOLATORI ELASTOMERICI**
  - 11.9.7.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.8. ISOLATORI A SCORRIMENTO**
  - 11.9.8.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.9. DISPOSITIVI A VINCOLO RIGIDO DEL TIPO A “FUSIBILE”**
  - 11.9.9.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI
- 11.9.10. DISPOSITIVI (DINAMICI) DI VINCOLO PROVVISORIO**
  - 11.9.10.1 PROVE DI ACCETTAZIONE SUI DISPOSITIVI

# Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

## Dispositivi antisismici e di controllo di vibrazioni (§ 11.9)

Nella definizione generale oltre i dispositivi antisismici viene aggiunta la dicitura “e di controllo delle vibrazioni” e viene aggiunta “dinamica” al termine del paragrafo con “risposta sismica o dinamica” a marcare la generalizzazione.

*[§ 11.9 – NTC2018 – c.1] “Per dispositivi antisismici e di controllo delle vibrazioni si intendono gli elementi che contribuiscono a modificare la risposta sismica, o in generale dinamica, di una struttura, ad esempio incrementandone il periodo fondamentale, modificando la forma dei modi di vibrare fondamentali, incrementando la dissipazione di energia, limitando la forza trasmessa alla struttura e/o introducendo vincoli permanenti o temporanei che migliorano la risposta sismica o dinamica.”*

Viene aggiunta la sezione sulla vita di servizio in relazione ai parametri termici dove si specifica che per i dispositivi deve essere maggiore di 10 anni. Questo non vuol dire che i dispositivi devono essere sostituiti ogni 10 anni ma è un valore che solleva qualche dubbio sui costi di sostituzione perché non è in linea con la vita nominale di un edificio ordinario pari almeno a 50 anni.

*[§ 11.9 – NTC2018 – c.2] Tutti i dispositivi devono avere una vita di servizio maggiore di 10 anni nel campo di temperatura di riferimento indicato nelle specifiche tecniche applicabili a ciascun dispositivo. In assenza di indicazioni riportate nelle suddette specifiche tecniche il campo di temperatura di riferimento deve essere almeno compreso fra – 15 °C e +45 °C. Per opere particolari, per le quali le temperature prevedibili non rientrano nel suddetto intervallo, potrà farsi riferimento a campi di temperatura diversi da quello sopra citato; per dispositivi operanti in luoghi protetti, si può assumere un campo di temperatura ridotto in relazione ai valori estremi di temperatura ambientale.*

# Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

Si parla di piano di manutenzione e sostituzione. Si ricorda che nella maggior parte dei casi la manutenzione è molto semplice e principalmente limitata a periodiche ispezioni visuali per l'intera vita utile dei dispositivi.

*[§ 11.9 – NTC2018 – c.3] Devono essere previsti piani di manutenzione e di sostituzione allo scadere della vita di servizio, senza significativi effetti sull'uso delle strutture in cui sono installati.*

Viene integrata nelle NTC 2018 la parte della norma armonizzata UNI EN 15129

*[§ 11.9 – NTC2018 – c.4] Nei casi in cui si applica la norma europea armonizzata UNI EN 15129, le grandezze di riferimento ivi citate andranno desunte da quanto prescritto nelle presenti Norme Tecniche per le Costruzioni; in particolare si intende per  $d_{bd}$  lo spostamento valutato per un terremoto riferito allo SLV, e per  $\gamma_x d_{bd}$  lo spostamento valutato per un terremoto riferito allo SLC ( $d_{bd}$  e  $\gamma_x$  sono i simboli utilizzati nella UNI EN 15129 rispettivamente per lo spostamento di progetto di un dispositivo e per il fattore di amplificazione di al § 4.1.2 della stessa UNI EN 15129).*

# Richiami Normativi - § 11.9 NTC 2018

## Procedura di qualificazione (§ 11.9.2)

**Paragrafo completamente rivisto dove è stata integrata la parte della norma europea armonizzata UNI EN 15129.**

*[§ 11.9.2 – NTC2018] I dispositivi antisismici, per i quali si applica quanto specificato al punto A) del § 11.1, devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 15129 e recare la Marcatura CE. Si applica il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione previsto nella suddetta norma europea armonizzata per le applicazioni critiche.*

*Nel caso di dispositivi antisismici non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, si applica il caso C) del §11.1.*

*In aggiunta a quanto previsto ai punti A) o C) del § 11.1, ogni fornitura deve essere accompagnata da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera e la manutenzione.*

*Le procedure di qualificazione hanno lo scopo di dimostrare che il dispositivo è in grado di mantenere la propria funzionalità nelle condizioni d'uso previste durante tutta la vita di progetto.*

**Si riportano per completezza di informazioni i punti (A) e (C) del capitolo § 11.1**

*[Punto (A) § 11.1 – NTC2018] A) materiali e prodotti per i quali sia disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata il cui riferimento sia pubblicato su GUUE. Al termine del periodo di coesistenza il loro impiego nelle opere è possibile soltanto se corredati della "Dichiarazione di Prestazione" e della Marcatura CE, prevista al Capo II del Regolamento UE 305/2011;*

*[Punto (C) § 11.1 – NTC2018] C) materiali e prodotti per uso strutturale non ricadenti in una delle tipologie A) o B. In tali casi il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili; con decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, su conforme parere della competente Sezione, sono approvate Linee Guida relative alle specifiche procedure per il rilascio del "Certificato di Valutazione Tecnica".*

## Procedura di accettazione (§ 11.9.3)

Paragrafo completamente rivisto dove è stata integrata la parte della norma europea armonizzata UNI EN 15129.

*[§ 11.9.3 – NTC2018] I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori per tutte le tipologie di dispositivi e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare la prescritta documentazione di qualificazione, e a rifiutare le eventuali forniture non conformi. Il Direttore dei Lavori dovrà inoltre effettuare la verifica geometrica e delle tolleranze dimensionali, nonché le prove di accettazione di seguito specificate.*

*Le prove di accettazione devono essere eseguite e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione.*

*Per i dispositivi rientranti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, le metodologie per le prove di accettazione ed i relativi criteri di valutazione, ove non diversamente specificato nel seguito, sono quelli indicati, per ciascun tipo di dispositivo, nella suddetta norma europea armonizzata con riferimento alle prove di Controllo di Produzione in Fabbrica (Factory Production Control tests). Il numero dei dispositivi da sottoporre a prove di accettazione è di seguito specificato per ciascun tipo di dispositivo*

*E' possibile impiegare, ai fini delle prove di accettazione, le prove di Controllo di Produzione in Fabbrica effettuate nell'ambito del mantenimento della qualificazione dei dispositivi stessi ai sensi della norma europea sopra detta, nel numero che la stessa norma prevede, a condizione che:*

- il campionamento dei dispositivi sia stato effettuato, sui lotti destinati allo specifico cantiere, dal Direttore dei Lavori del cantiere stesso;*
- le prove siano eseguite e certificate da un laboratorio di cui all'articolo 59 del DPR 380/2001, dotato di adeguata competenza, attrezzatura ed organizzazione.*
- I suddetti certificati riportino esplicitamente l'indicazione del o dei cantieri ove viene utilizzata la fornitura.*

*Per dispositivi non ricadenti nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129 le prove di accettazione, che rimangono obbligatorie, saranno eseguite secondo le modalità e con i criteri di valutazione riportate nelle specifiche tecniche europee, oppure nella Certificazione di valutazione tecnica, di riferimento.*

*Qualora i risultati dei controlli di accettazione non risultassero soddisfacenti, il Direttore dei lavori rifiuta la fornitura.*

*I dispositivi sottoposti a prove di qualificazione o di accettazione potranno essere utilizzati nella costruzione solo se gli elementi sollecitati in campo non lineare vengono sostituiti o se la loro resistenza alla fatica oligociclica è almeno di un ordine di grandezza superiore al numero dei cicli delle prove, e comunque previo accertamento della loro perfetta integrità e piena funzionalità a seguito delle prove, da accertare attraverso la successiva effettuazione delle prove di accettazione ed il controllo dei relativi parametri di verifica.*

# Applicazione della protezione sismica con l'isolamento di base

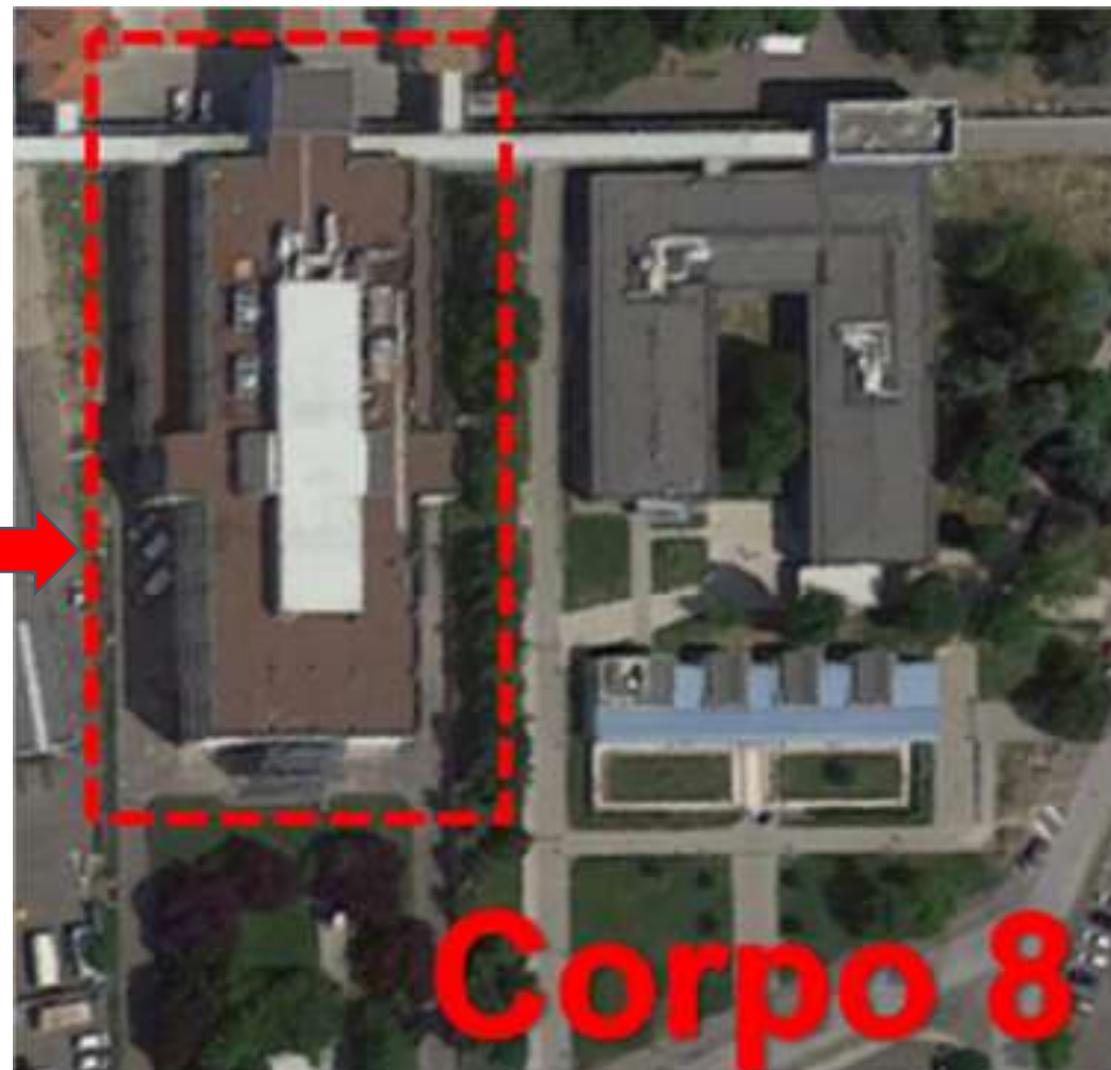


**AIST**

Associazione Italiana Software Tecnico

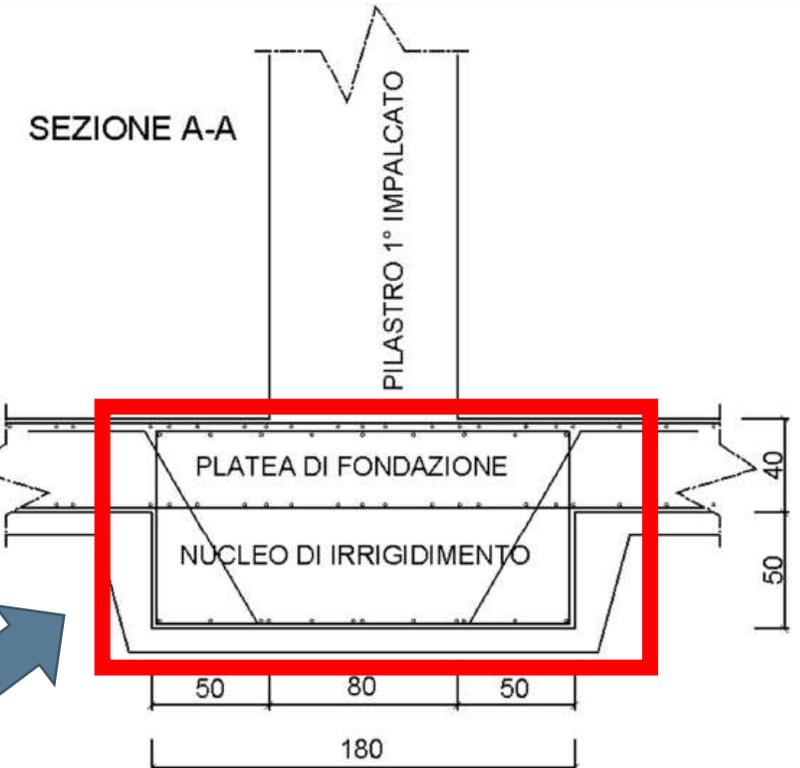
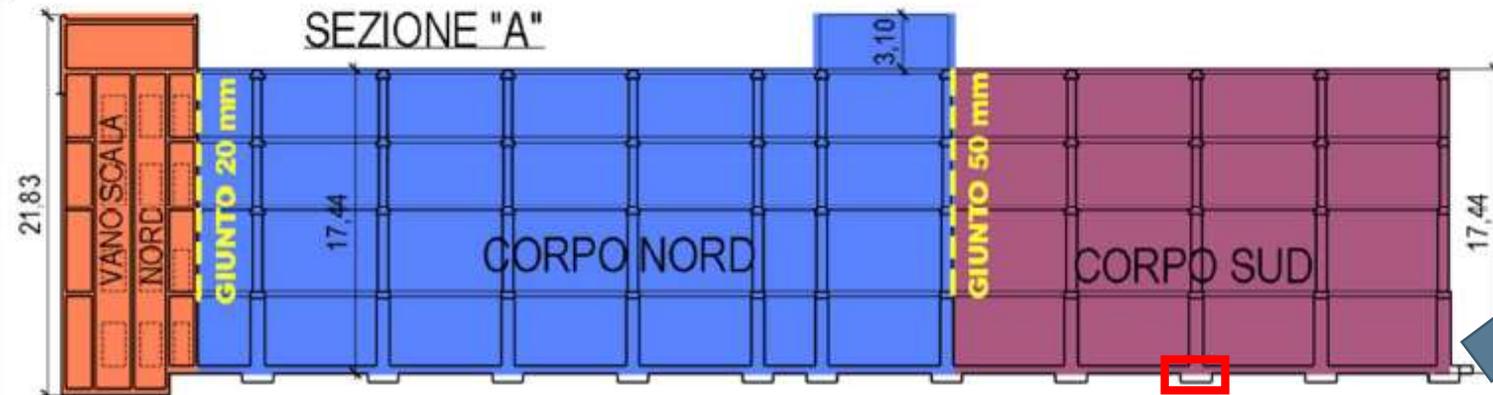
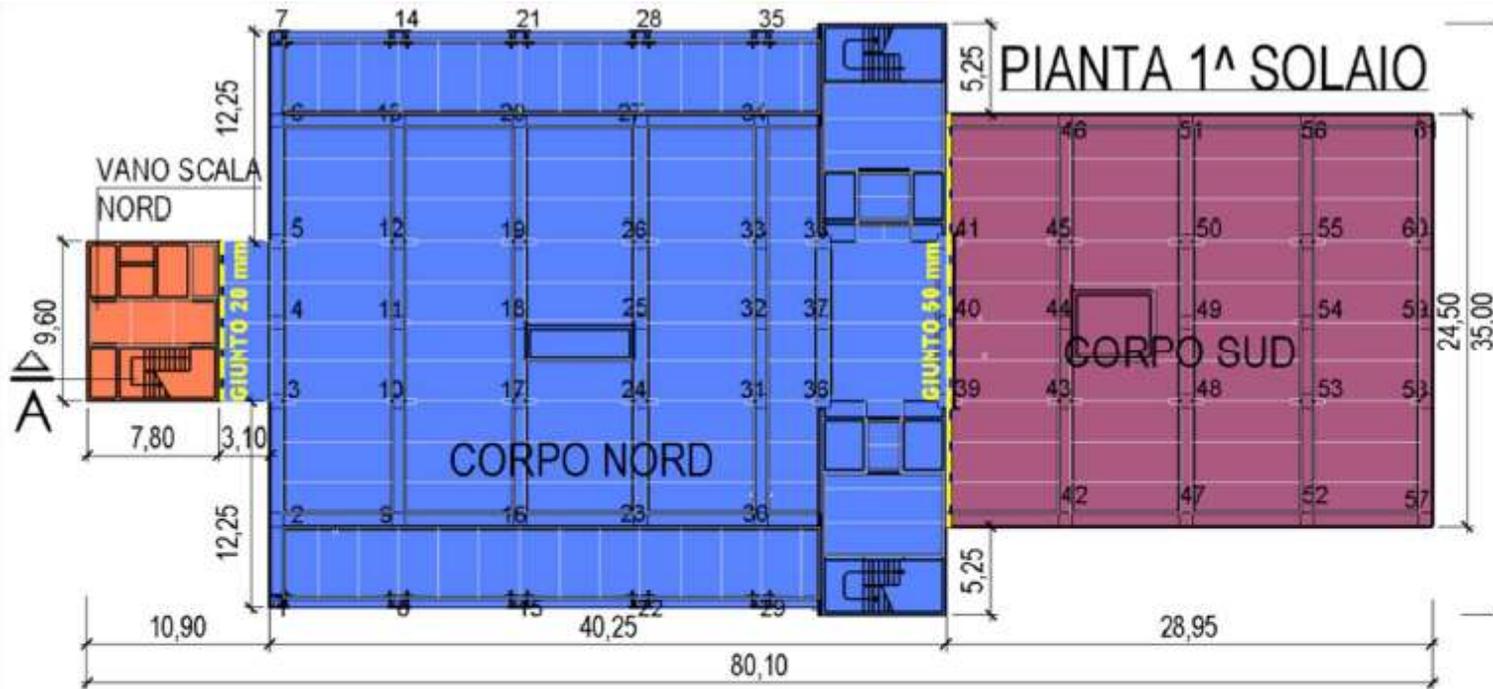
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto - Le ragioni della scelta



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto - Le ragioni della scelta



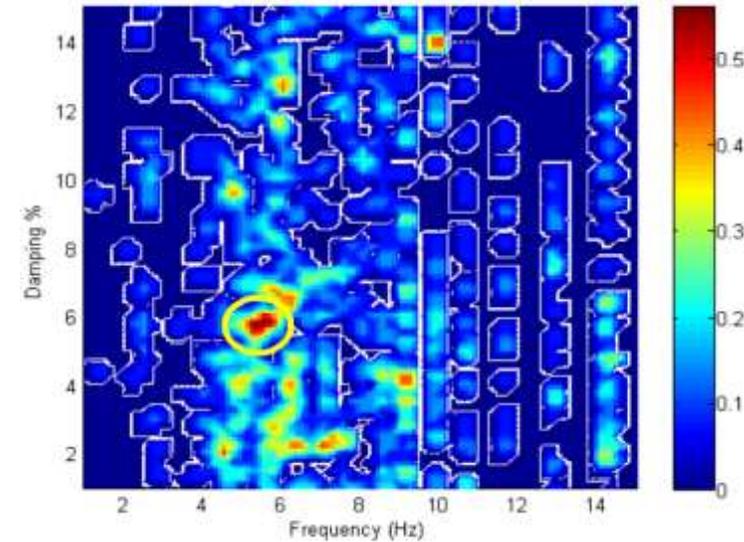
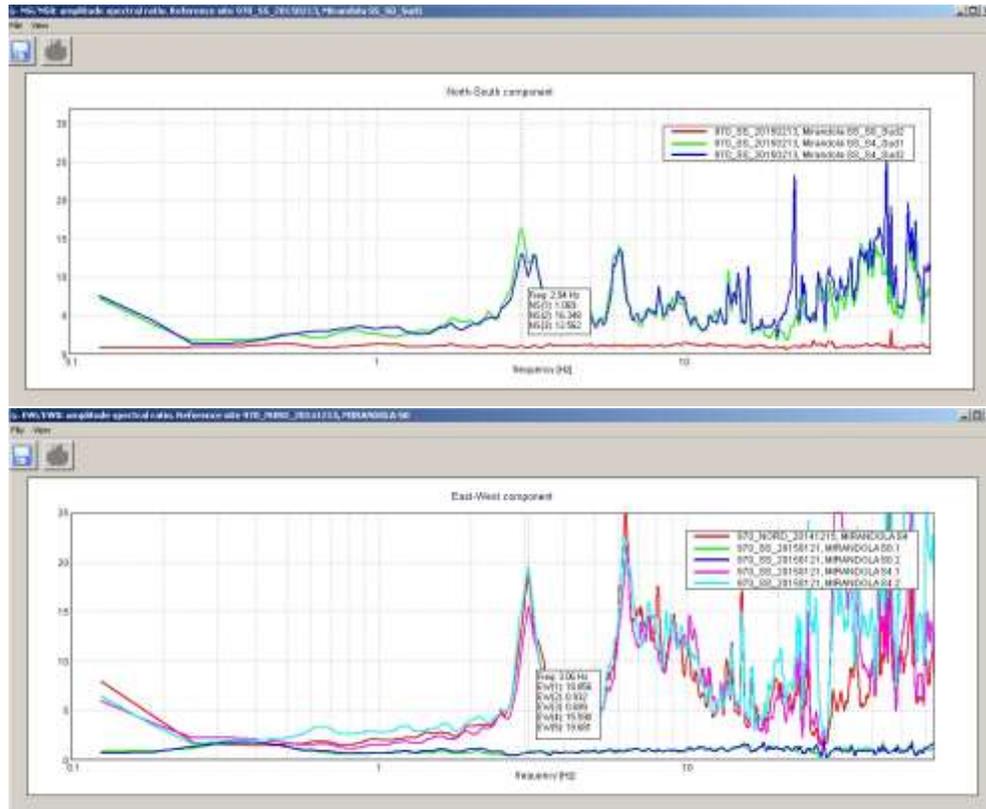
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Caratterizzazione Dinamica

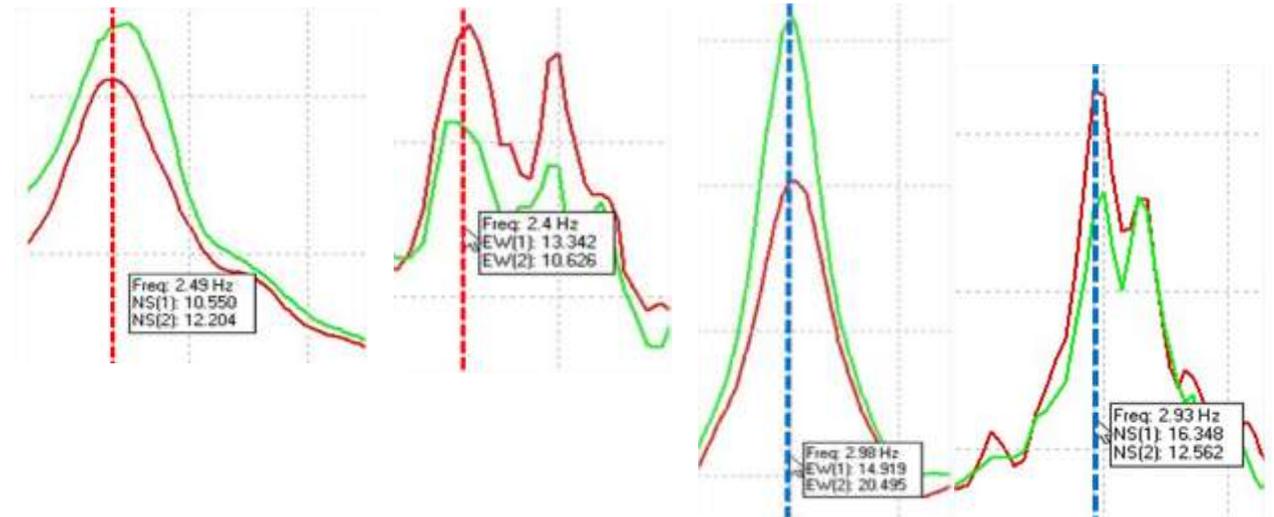


# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Caratterizzazione Dinamica

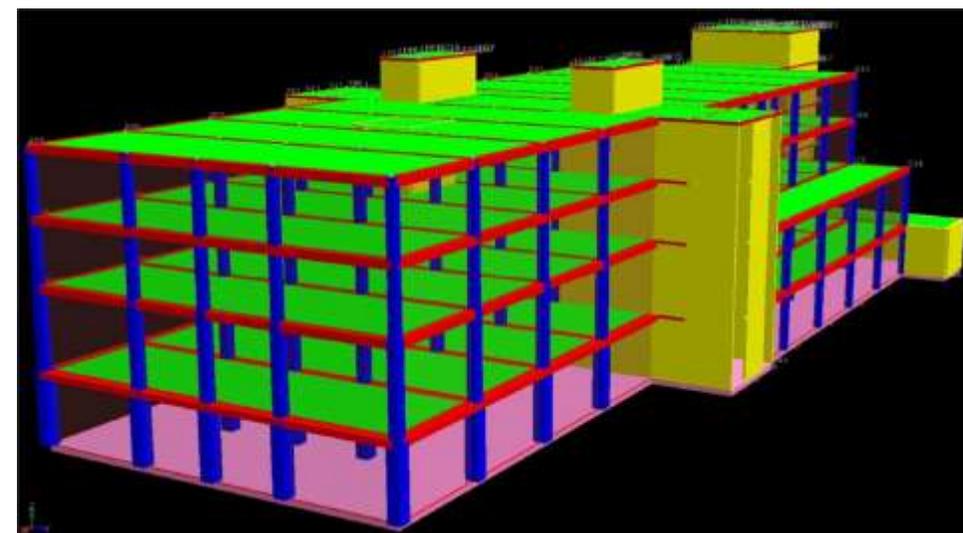
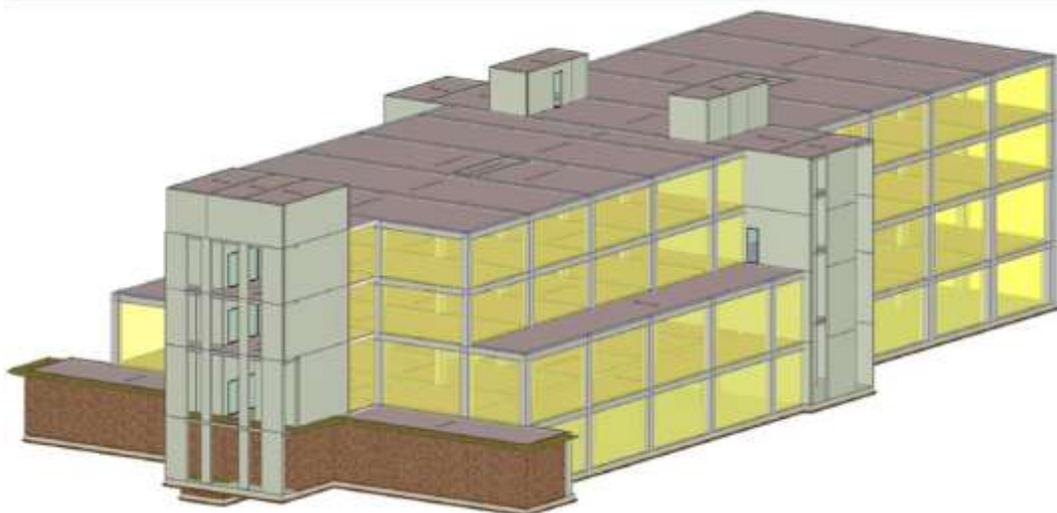
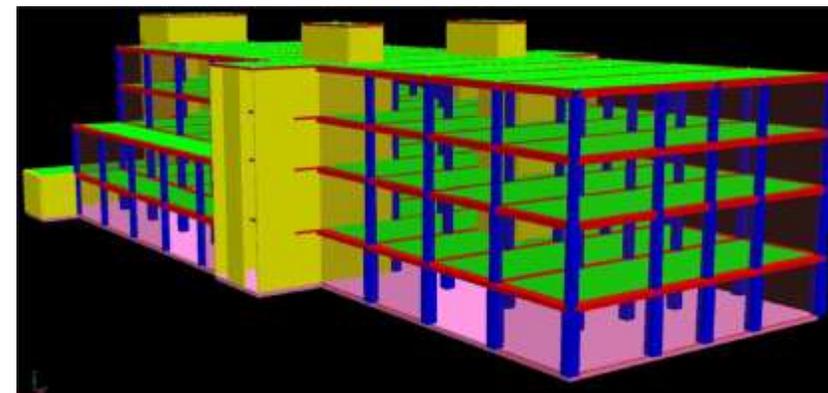
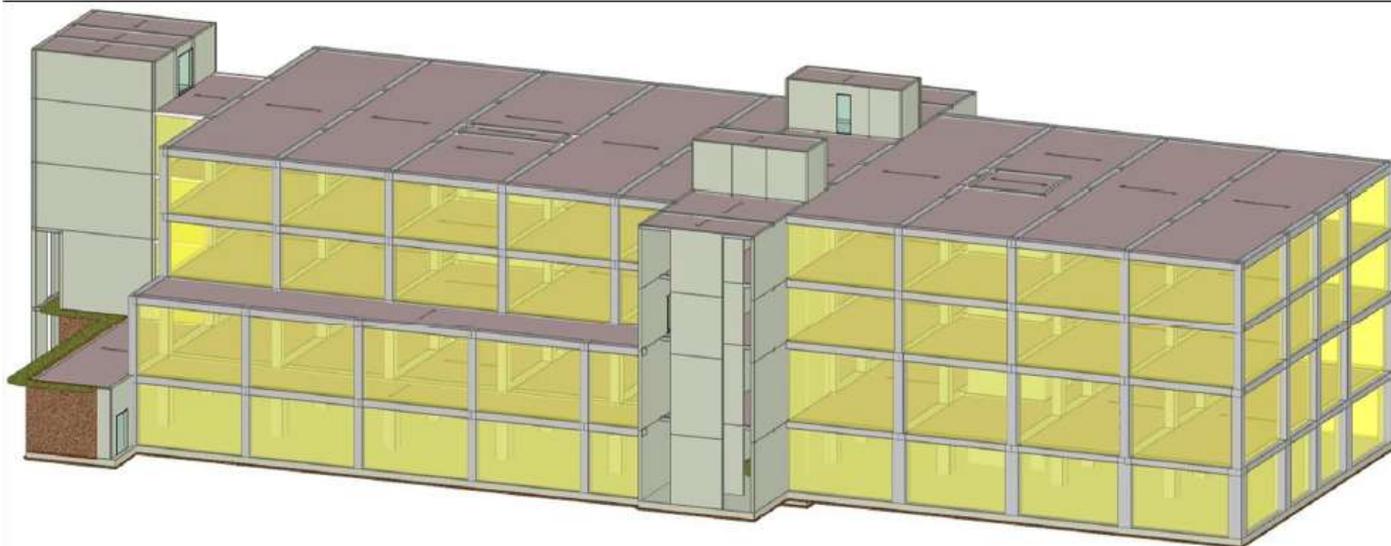


- **Direzione X:**  $f_x = 2,40 \text{ Hz}$      $T_x = 0,42 \text{ s}$ ;
- **Direzione Y:**  $f_y = 2,93 \text{ Hz}$      $T_y = 0,34 \text{ s}$ .



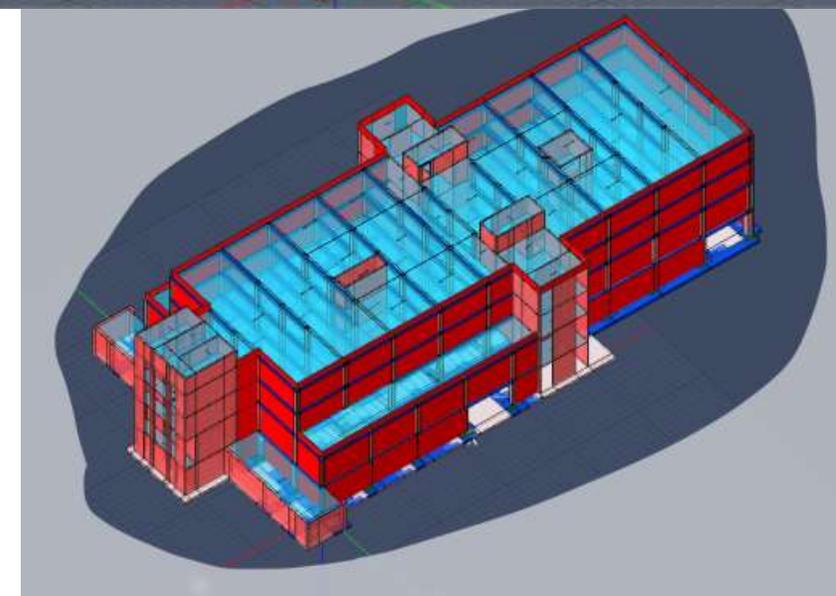
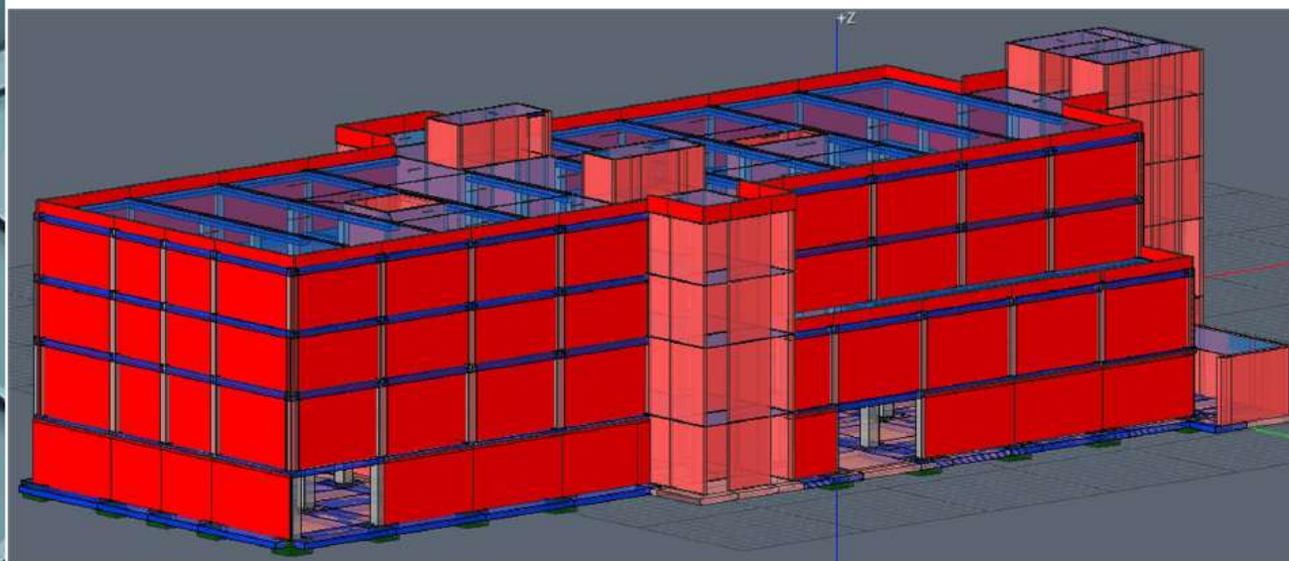
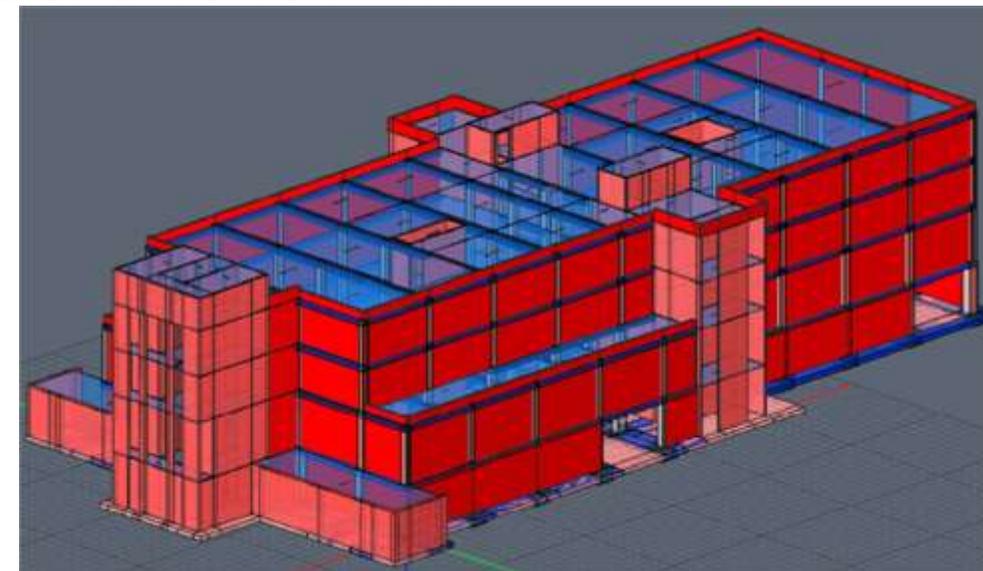
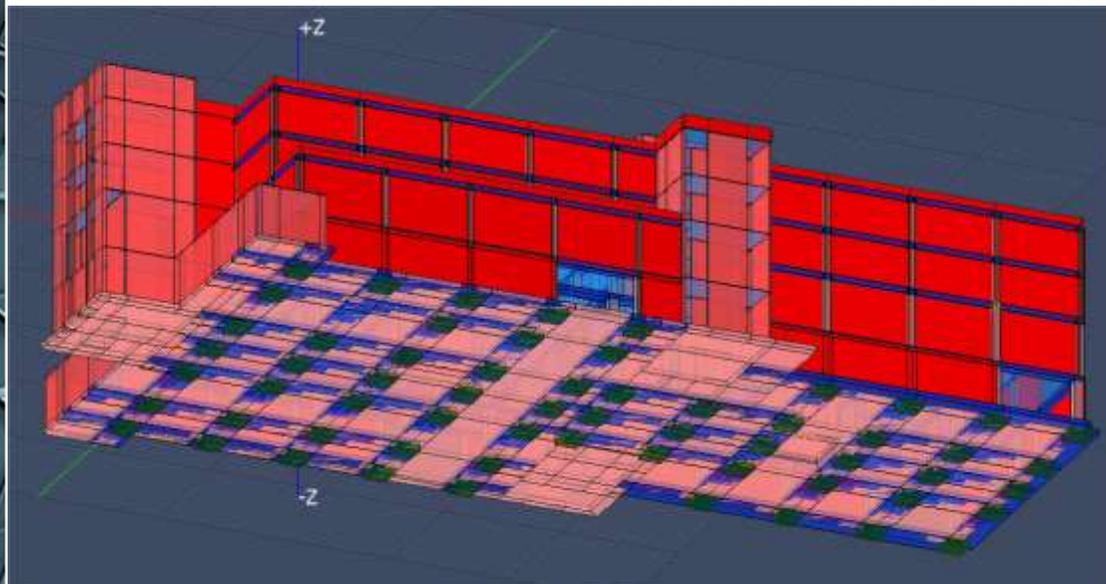
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Modellazione FEM



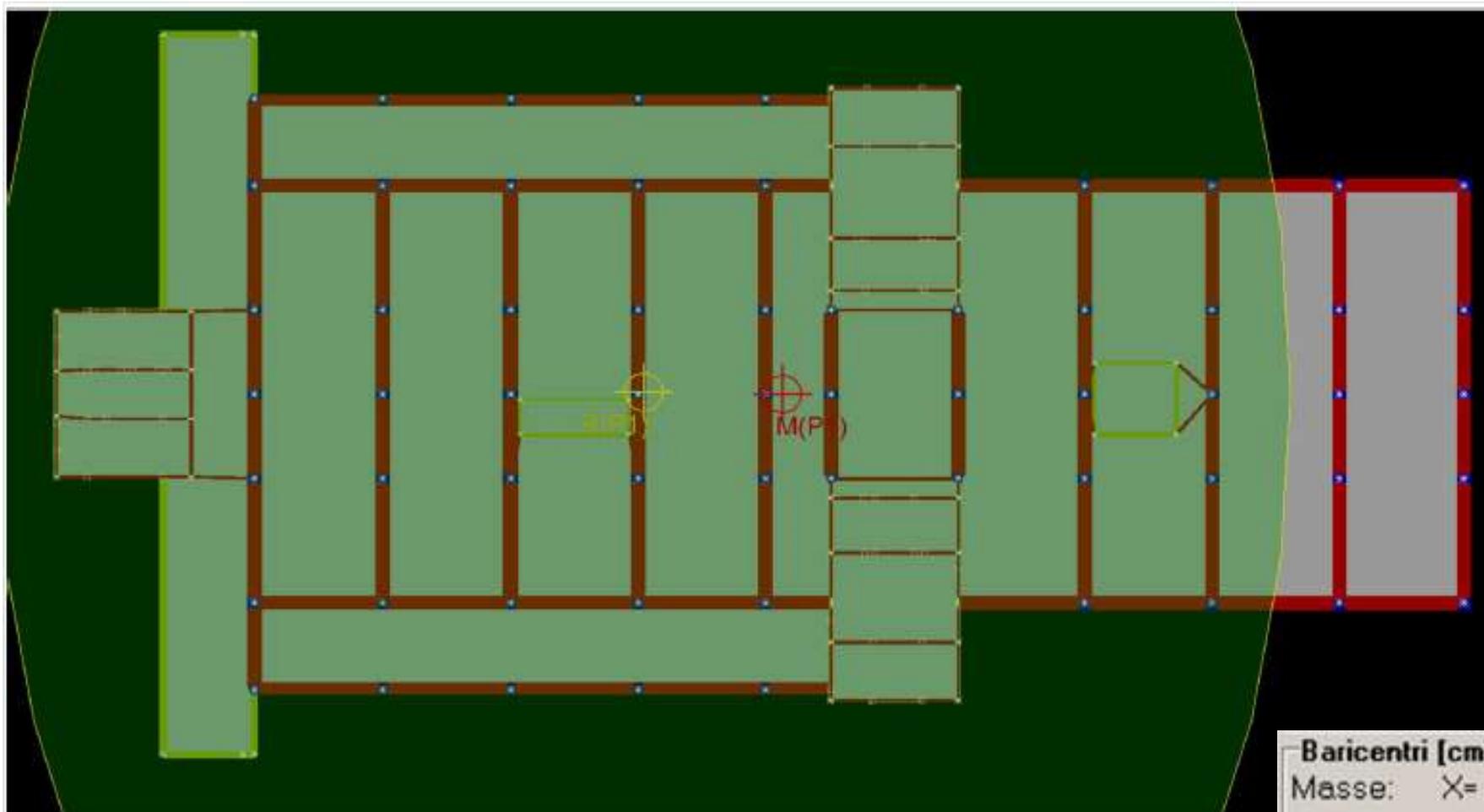
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Modellazione FEM



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Baricentri di Massa e Rigidezza



Baricentri [cm]	
Masse:	X= 2980.6 Y= 1681.0
Rigidezze:	X= 2195.4 Y= 1691.1
Delta X=	-785.2 Delta Y= 10.0
Distanza=	785.3

# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

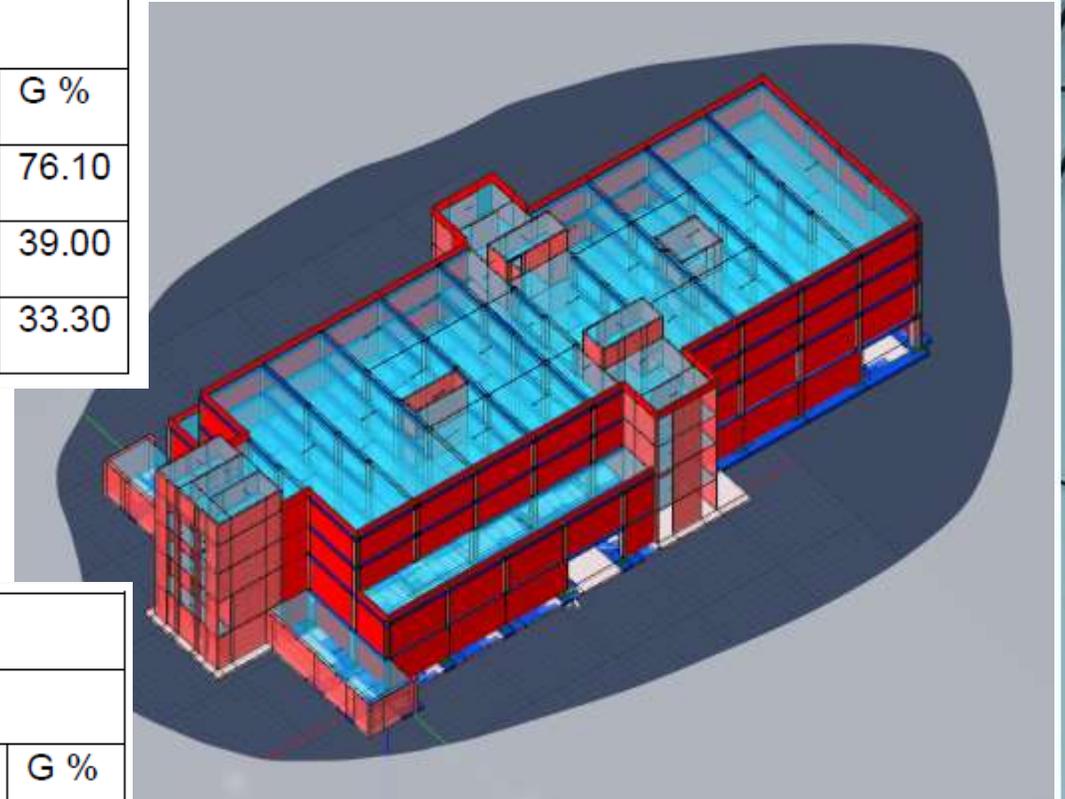
## Analisi stato di fatto – Confronto Modellazioni FEM

MdV	TRAVI CON VINCOLI ESTREMI DI INCASTRO								
	IPERSPACE MAX 7			FATAE			EDILUS		
	f [Hz]	T [s]	G <sup>14</sup> %	f [Hz]	T [s]	G %	f [Hz]	T [s]	G %
1	2.372	0.422	76.09	2.378	0.421	59.10	2.179	0.459	76.10
2	2.833	0.353	34.75	2.963	0.338	30.00	3.247	0.308	39.00
3	3.690	0.271	37.68	3.880	0.258	25.70	2.625	0.381	33.30

• **Direzione X:**  $f_x = 2,40 \text{ Hz}$   $T_x = 0,42 \text{ s}$ ;

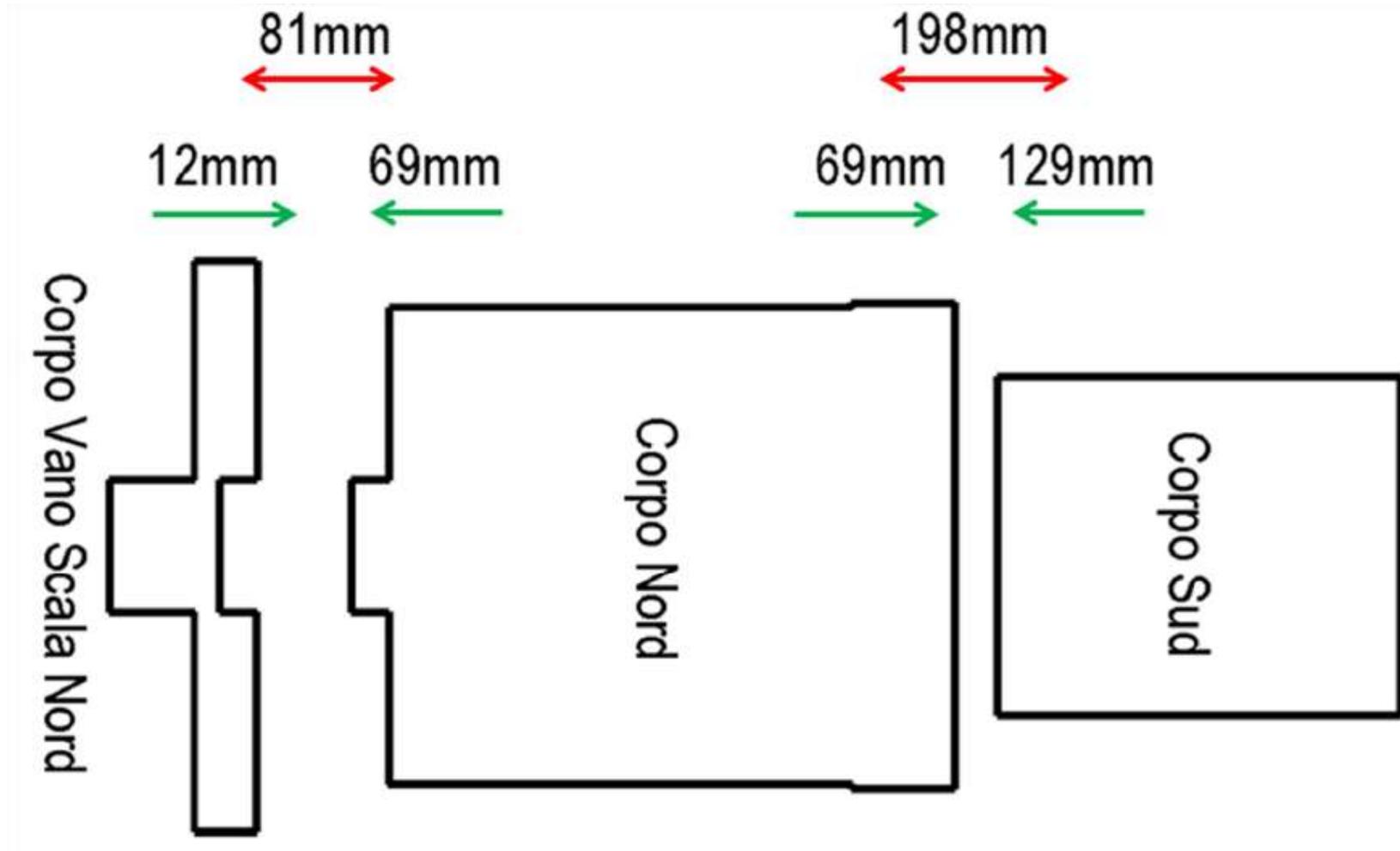
• **Direzione Y:**  $f_y = 2,93 \text{ Hz}$   $T_y = 0,34 \text{ s}$ .

MdV	TRAVI CON VINCOLI ESTREMI DI CERNIERA								
	IPERSPACE MAX 7			FATAE			EDILUS		
	f [Hz]	T [s]	G %	f [Hz]	T [s]	G %	f [Hz]	T [s]	G %
1	2.278	0.439	75.82	2.260	0.442	58.90	2.092	0.478	75.6
2	2.661	0.376	33.80	2.714	0.369	29.60	3.077	0.325	41.6
3	3.521	0.284	38.28	3.728	0.268	25.70	2.421	0.413	30



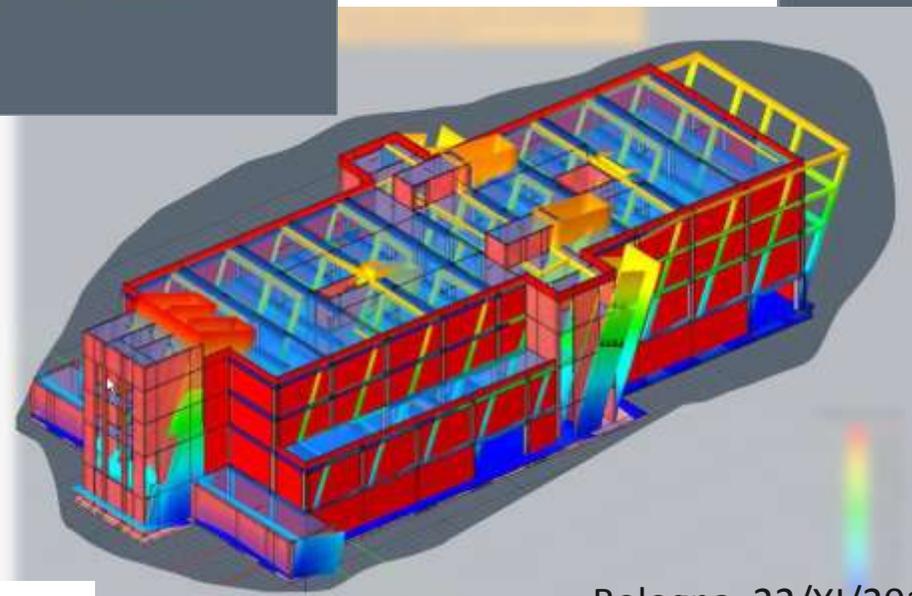
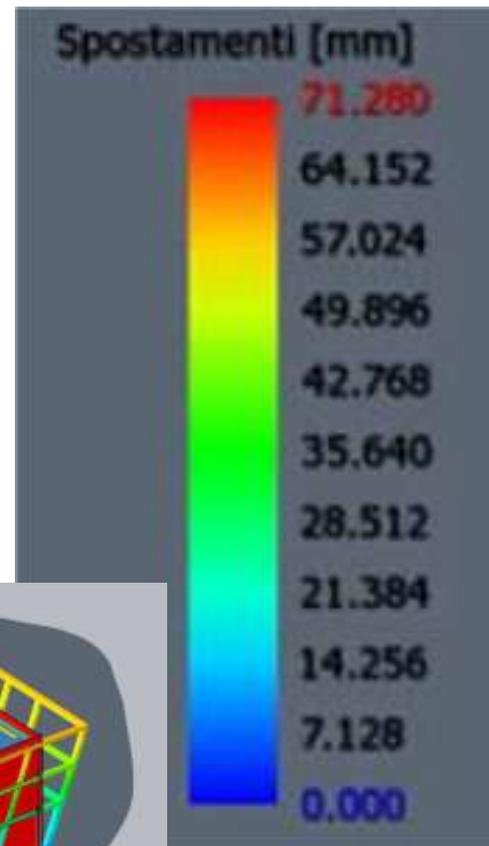
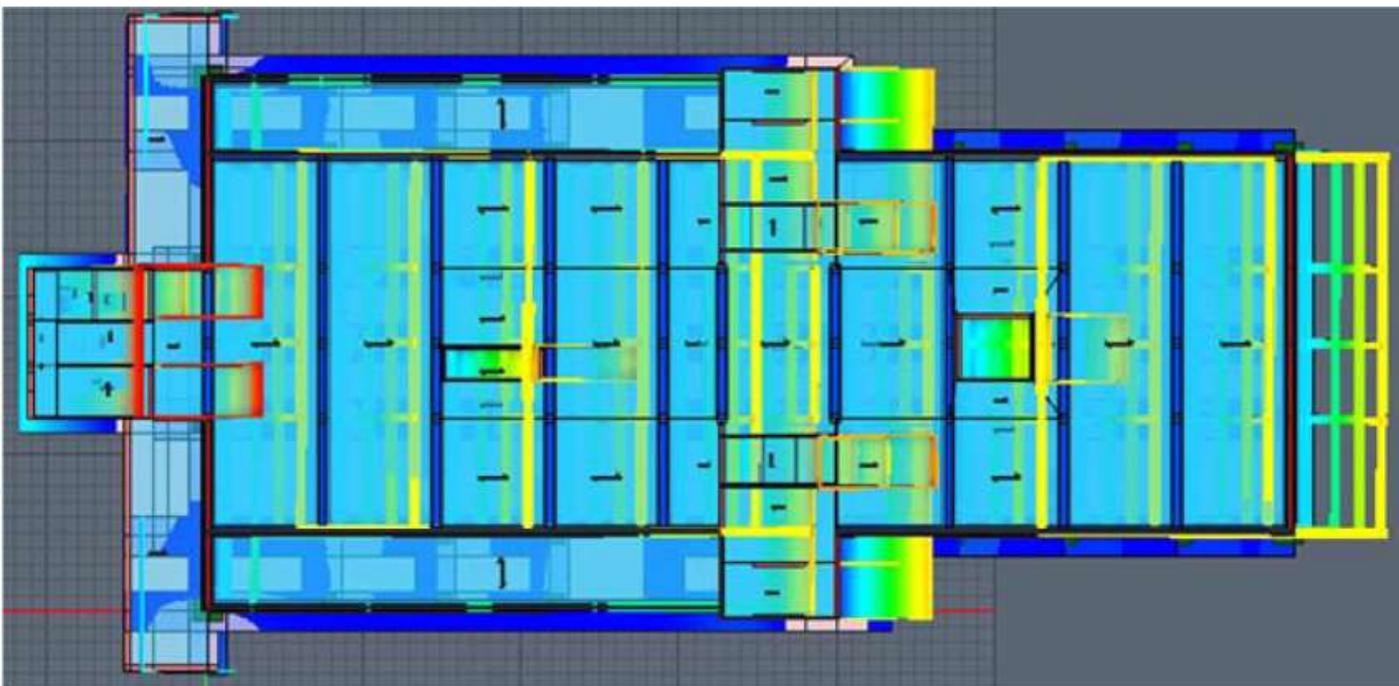
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Il martellamento per $V_n=50$



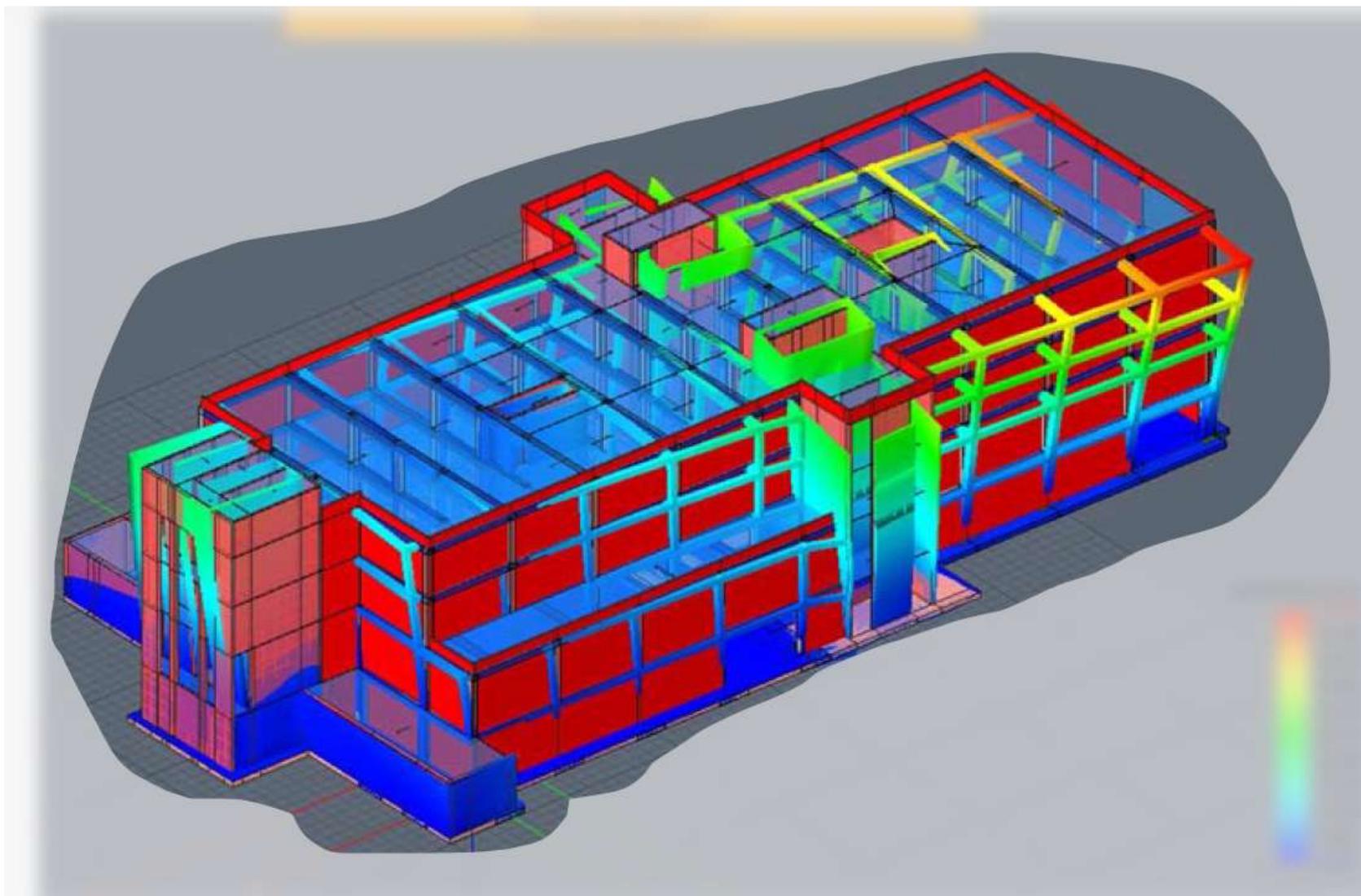
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Il martellamento per $V_n=50$



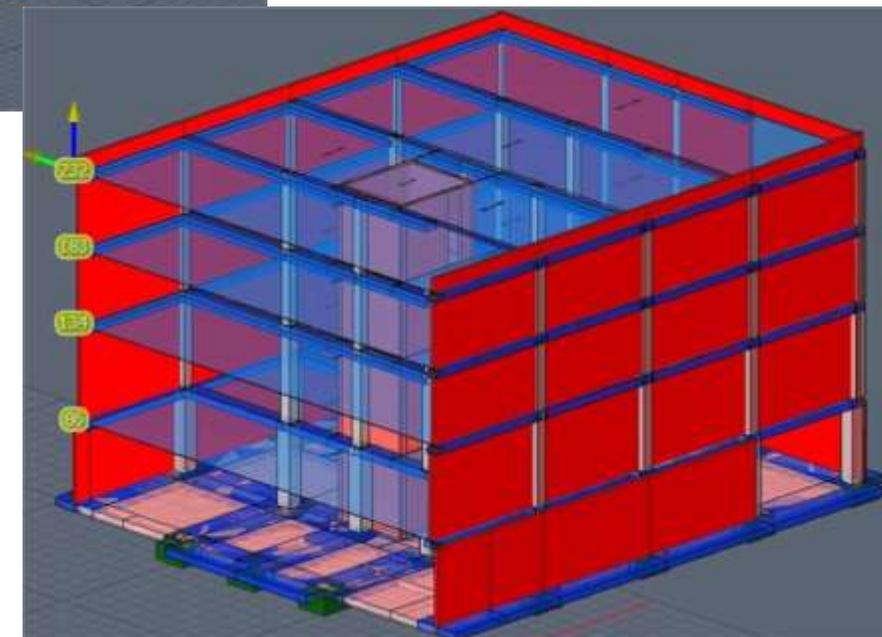
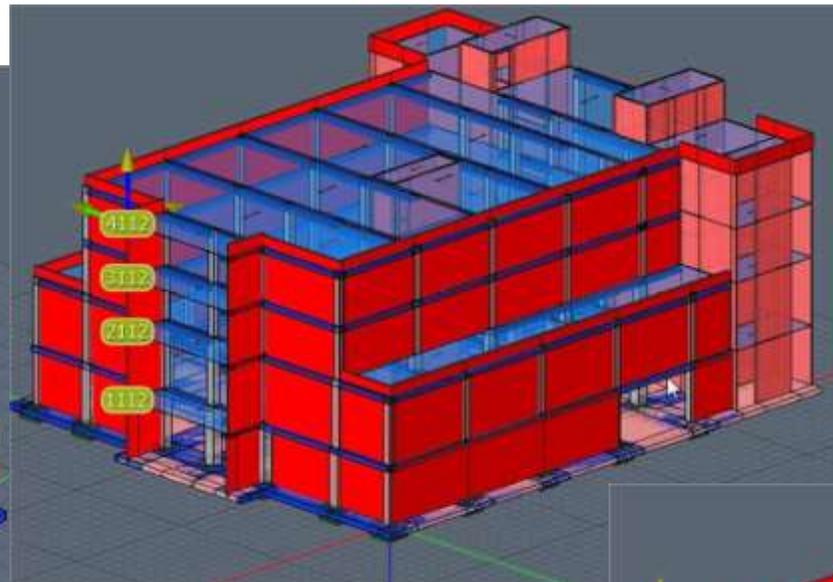
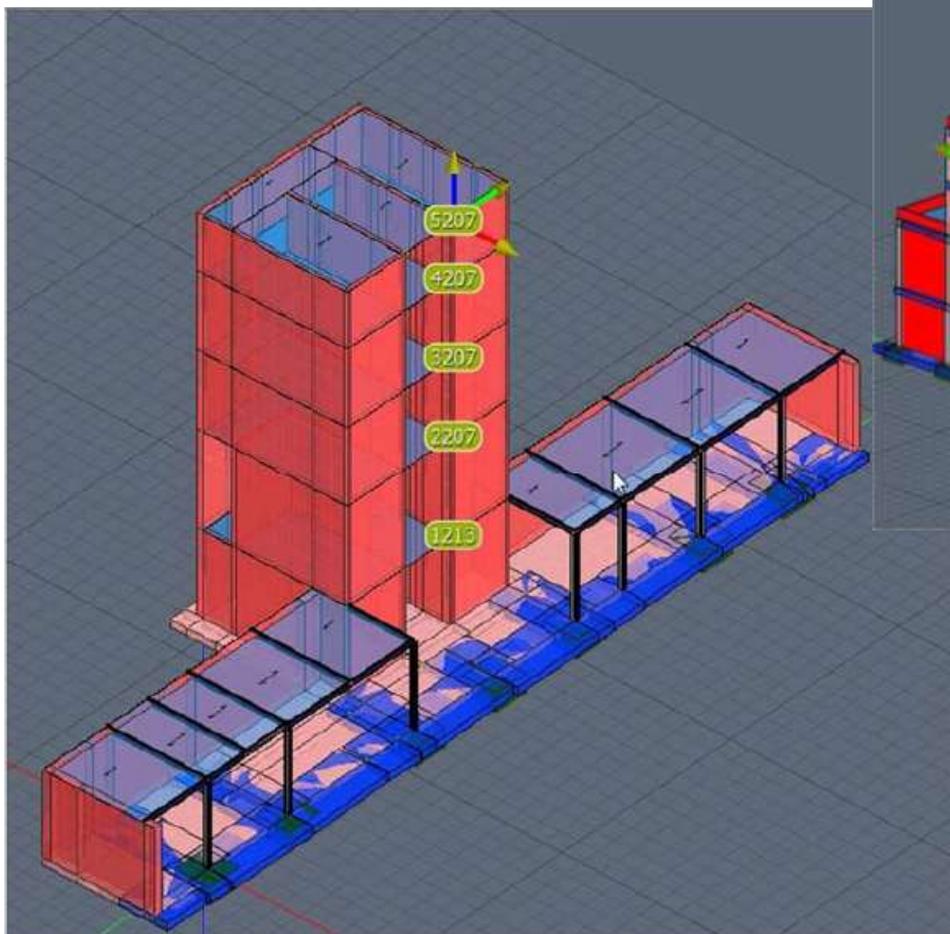
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Il martellamento per $V_n=50$



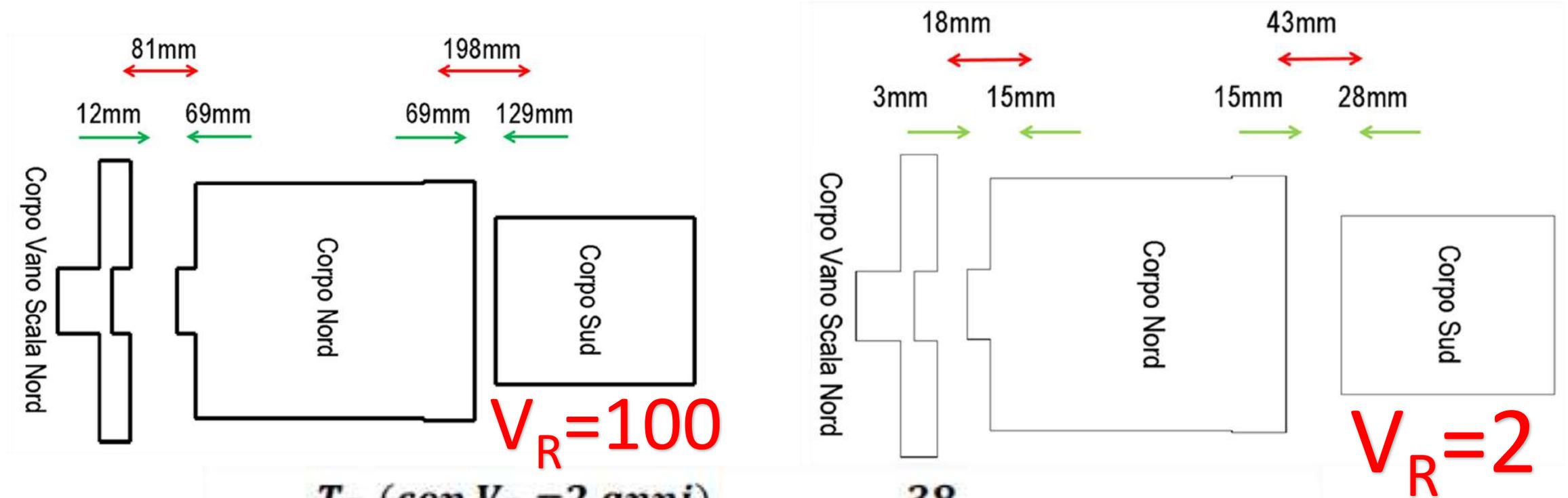
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – Il martellamento per $V_n=50$



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Analisi stato di fatto – La vulnerabilità da martellamento

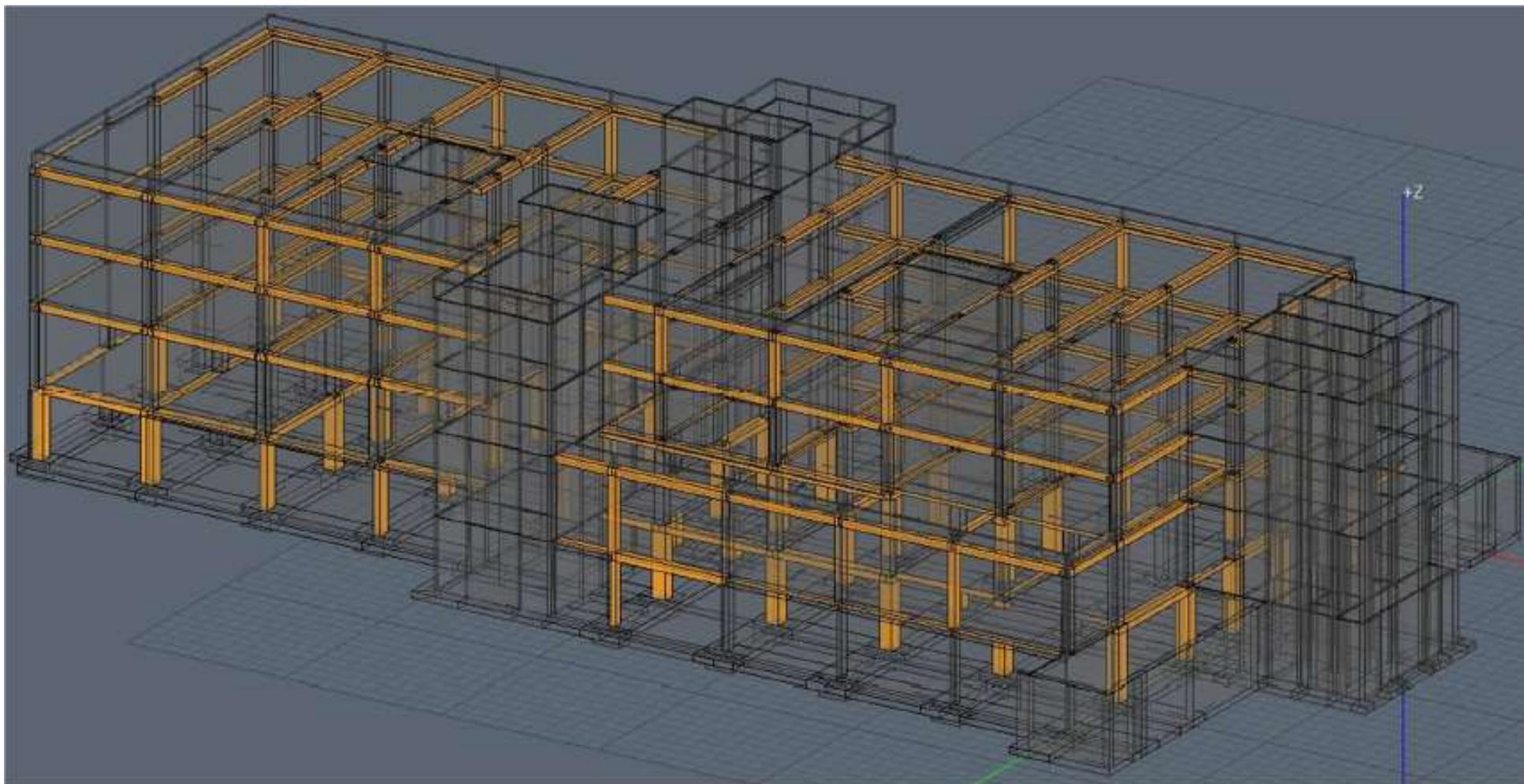


- $$\frac{T_R(\text{con } V_R = 2 \text{ anni})}{T_R(\text{con } V_R = 100 \text{ anni})} \% = \frac{38}{1949} \% = 1,95\%$$
- Indicatore di Rischio -  $I_R = (T_C/T_P)^{0,41} = 0,20$**

Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

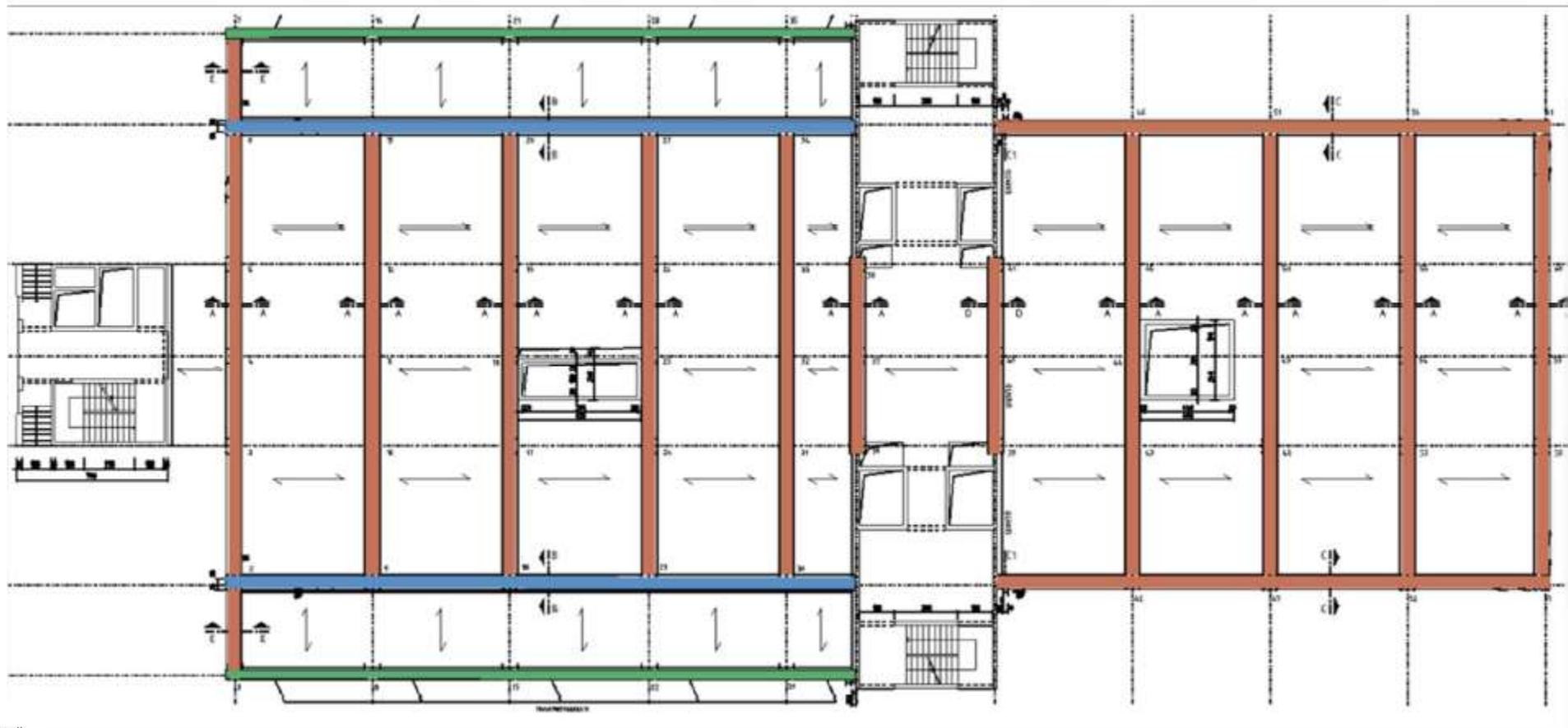
**Elementi non verificati allo SLC**



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

### Approccio Convenzionale – Interventi necessari



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

## Approccio Non Convenzionale: Isolamento di base



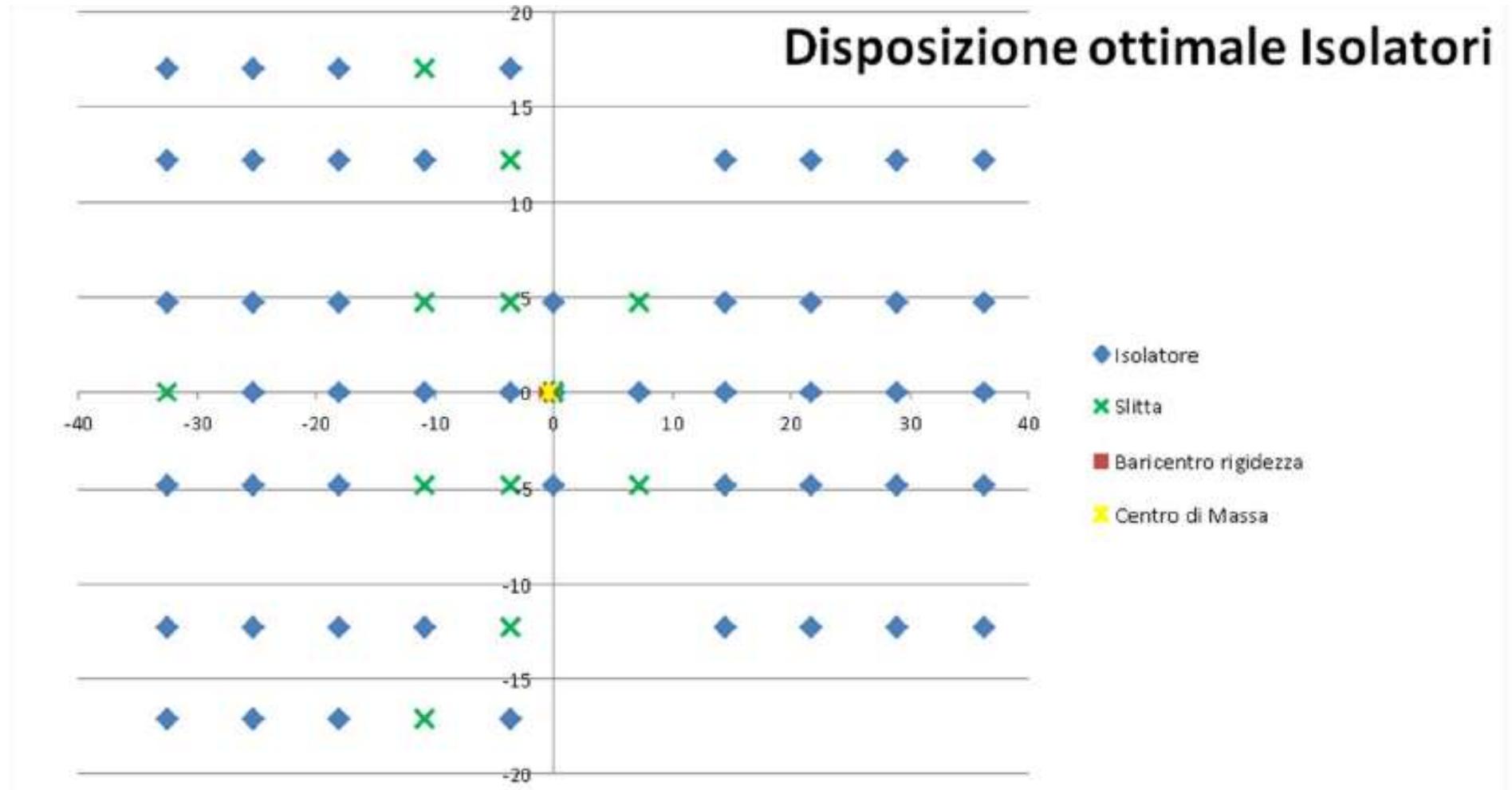
T	$\xi$	$S_e(T)$	Tagliante	Massa partecipante
[sec]	%	[g]	[kN]	[%]
0.42	6	0.9	13891.13	
3	10	0.1	2294.358	83
	15	0.1	1986.972	86

T[sec]	Smorzamento 6%	Smorzamento 10%	Smorzamento 15%
	$d_{dc}^{43}$ [mm]	$d_{dc}$ [mm]	$d_{dc}$ [mm]
3	373.4	319.8	276.9

# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

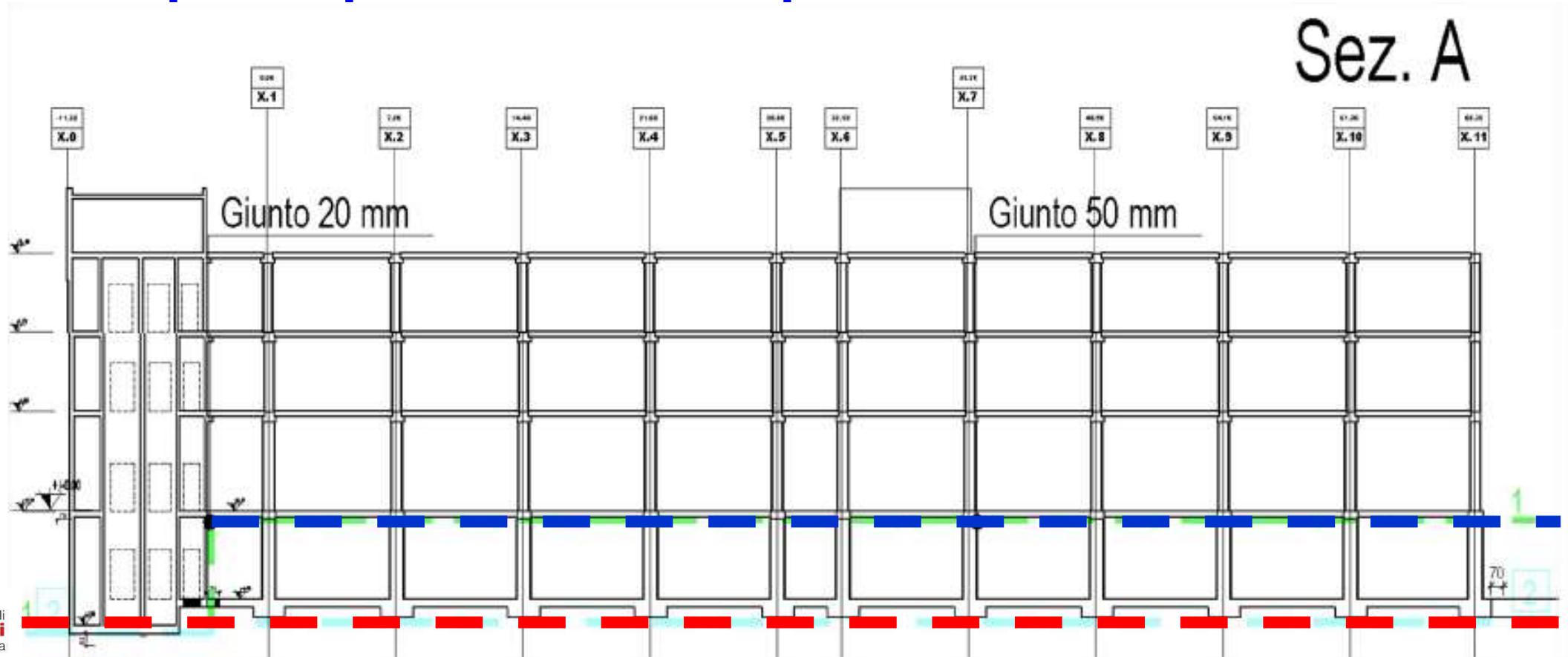
## Approccio Non Convenzionale: Isolamento di base



Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

**Approccio Non Convenzionale: Isolamento di base  
2 Ipotesi per collocazione piano di isolamento**



Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

**Approccio Non Convenzionale: Isolamento di base**

**2 Ipotesi per collocazione piano di isolamento**



**AIST**

Associazione Italiana Software Tecnico



Bologna, 22/XI/2019 - Cicchiello P.  
**Isolamento sismico. Principi ed Applicazioni**

# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

## Accelerazione del SISTEMA ISOLATO

Tipologia strutturale

Tipo costruzione: Opere ordinarie (50-100)

Vn [anni]: 50

Classe d'uso: IV

Cu: 2

Vr [anni]: 100

Struttura in: Cemento armato

Classe di duttilità: CD 'B' (Bassa)

Tipo edificio: struttura deformabile torsionalmente

q0: 2

Tipo struttura: **Telsio 1 piano**

α<sub>v</sub>/α<sub>1</sub>: 1.1

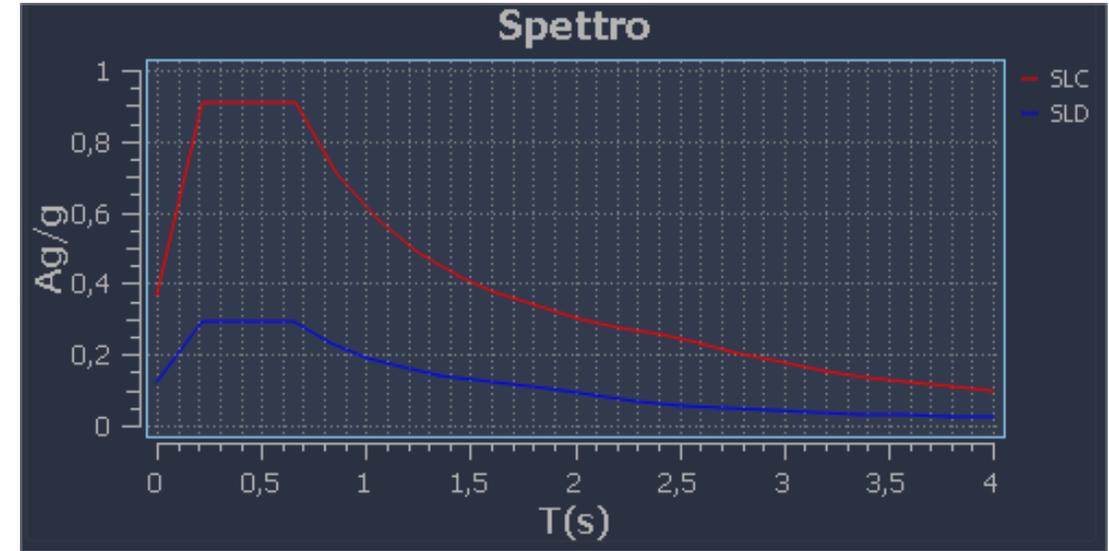
Regolarità in altezza: Edifici non regolari

Regolarità in pianta:

KR: 0.8

Kw: 0.9

	T SLC [s]	SLC [a/g]	T SLD [s]	SLD [a/g]
1	0.000	0.250	0.000	0.250
2	0.050	0.397	0.050	0.397
3	0.150	0.397	0.150	0.397
4	0.362	0.164	0.362	0.164
5	0.575	0.104	0.575	0.104
6	0.787	0.076	0.787	0.076
7	1.000	0.060	1.000	0.060
8	1.231	0.039	1.231	0.039
9	1.462	0.028	1.462	0.028
10	1.692	0.021	1.692	0.021
11	1.923	0.016	1.923	0.016
12	2.154	0.013	2.154	0.013
13	2.385	0.010	2.385	0.010
14	2.615	0.009	2.615	0.009
15	2.846	0.007	2.846	0.007
16	3.077	0.006	3.077	0.006
17	3.308	0.005	3.308	0.005
18	3.538	0.005	3.538	0.005
19	3.769	0.004	3.769	0.004



Ricerca per coordinate  Ricerca per comune  Isole

Longitudine: 11.0672    Latitudine: 44.8877

Parametri interpolati

TR	ag	Fo	Tc*
30	0,037	2,576	0,247
50	0,047	2,516	0,270
72	0,057	2,490	0,275
101	0,068	2,514	0,277
140	0,080	2,573	0,267
201	0,095	2,590	0,268
475	0,141	2,588	0,269
975	0,190	2,539	0,276
2475	0,273	2,444	0,289

di riferime

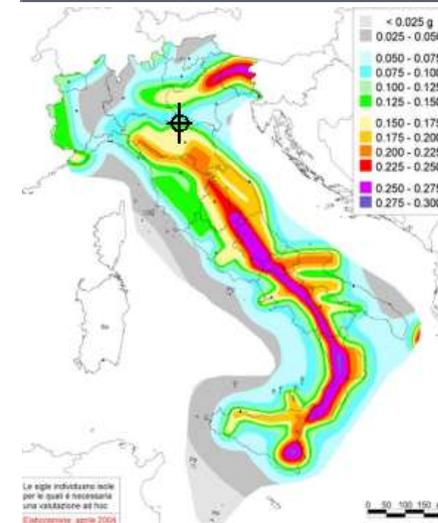
Regione: Emilia-Romagna    Provincia: Modena (MO)

Comune: Mirandola

OK    Cancel

Cerca con Google (Tm)

Coordinate [°]    11.0637    44.8834



Associazione Italiana Software Tecnico



Bologna, 22/XI/2019 - Cicchiello P.  
Isolamento sismico. Principi ed Applicazioni

NTC - Horizontal component

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

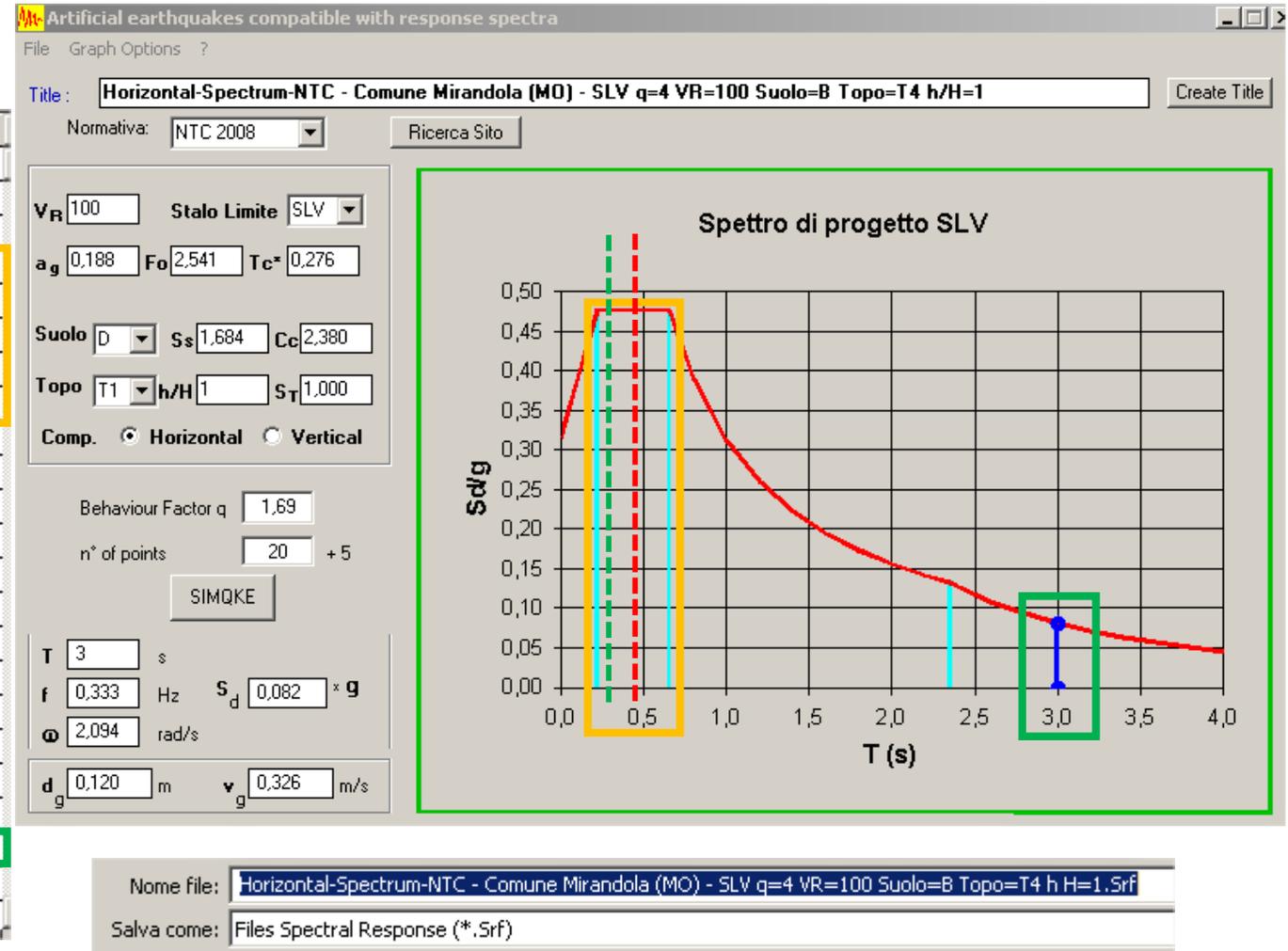
## Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

### Accelerazione del SISTEMA ISOLATO

**$f_x = 2,40 \text{ Hz}$     $T_x = 0,42 \text{ s}$ ;**

**$f_y = 2,93 \text{ Hz}$     $T_y = 0,34 \text{ s}$ .**

	T (s)	Sd/g
1	0,0000	0,3162
2	0,1094	0,3958
3	0,2000	0,4618
4	0,2188	0,4755
5	0,4000	0,4755
6	0,4376	0,4755
7	0,6000	0,4755
8	0,6564	0,4755
9	0,8000	0,3901
10	1,0000	0,3121
11	1,2000	0,2601
12	1,4000	0,2229
13	1,6000	0,1951
14	1,8000	0,1734
15	2,0000	0,1561
16	2,2000	0,1419
17	2,3509	0,1328
18	2,4000	0,1274
19	2,6000	0,1085
20	2,8000	0,0936
21	3,0000	0,0815
22	3,2000	0,0717
23	3,4000	0,0635



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

## Accelerazione del SISTEMA ISOLATO

- Periodo struttura isolata: 3.0 sec;
- Vita di Riferimento  $V_R = 100$  anni;
- Coordinate Reticolo di Mirandola;
- Stato Limite<sup>47</sup>: SLV;
- Coefficiente di struttura = 1.69 stimato come prodotto di 2 fattori.

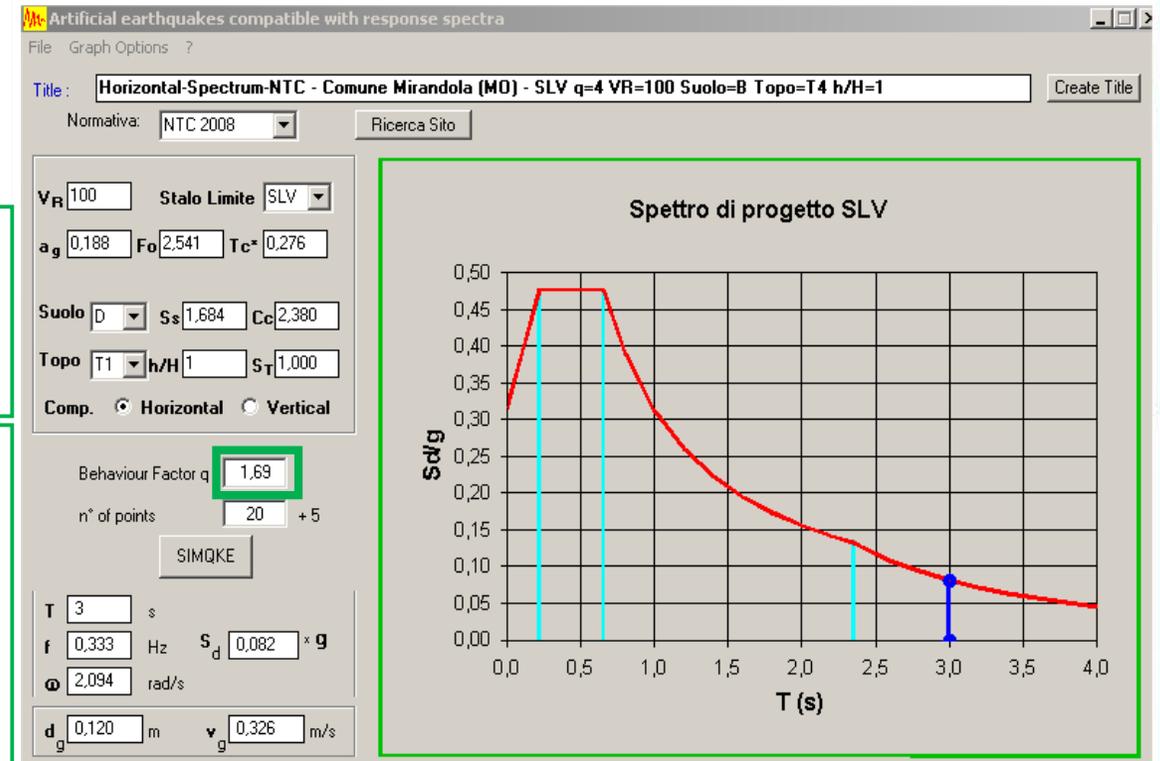
○ 1<sup>a</sup> fattore, espressione "cautelativa" del comportamento della "Struttura Isolata", **1,3**. Il valore assunto è il 15% in meno del valore massimo consentito per tale tipologia strutturale, 1,5 (§ 7.10.6.2.1 NTC2008), per tener conto del fatto che l'edificio è già stato investito da sisma;

○ 2<sup>a</sup> fattore, espressione dello smorzamento effettivo, diverso da quello convenzionale (5%), determinato con l'espressione (§ 3.2.3.2.1 NTC2008) per valori del coefficiente di smorzamento viscoso, che altera lo spettro elastico, diversi dal 5%:

$$q = \sqrt{\frac{5 + \xi}{10}}$$

Assumendo per  $\xi$  il valore di 12% tipico degli isolatori HDRB, diviene

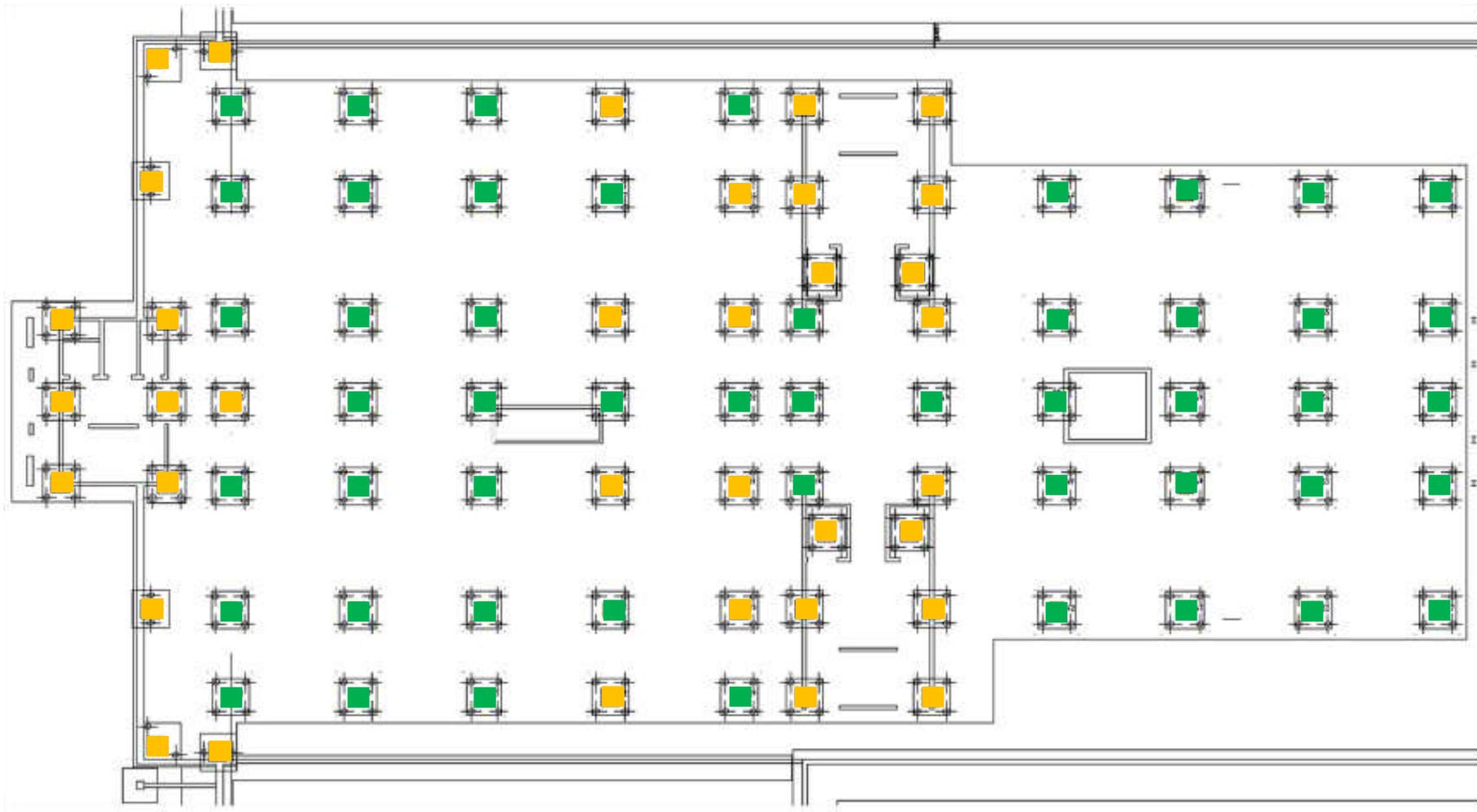
$$q = \sqrt{\frac{5+12}{10}} = 1.304$$



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

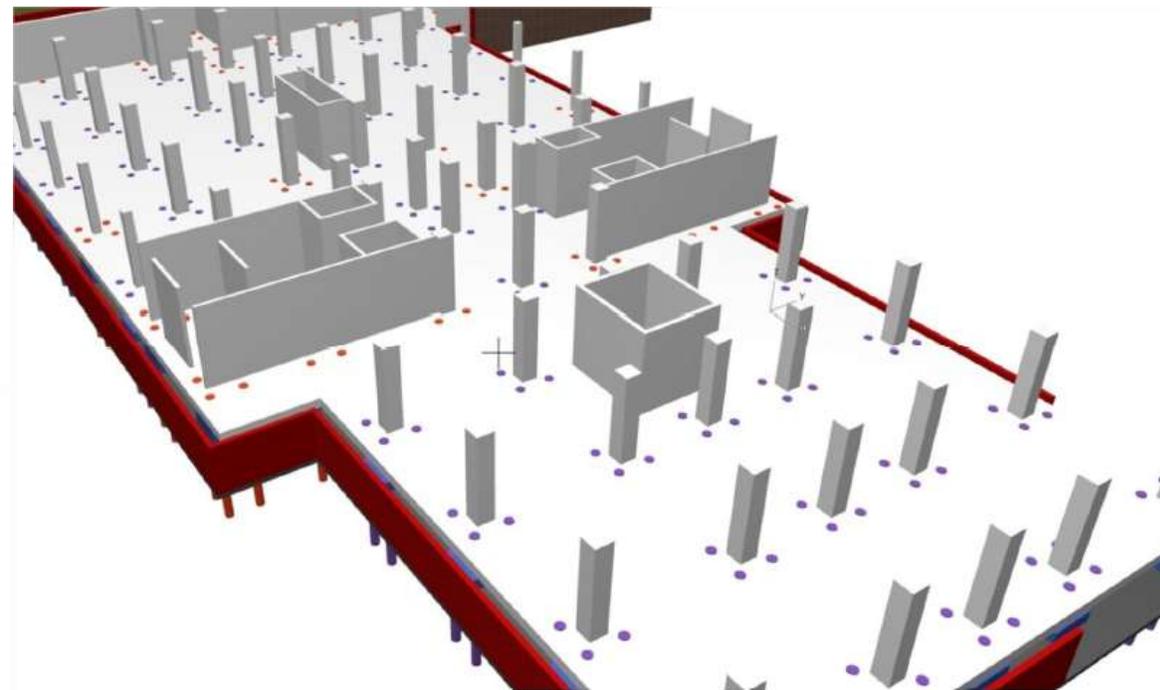
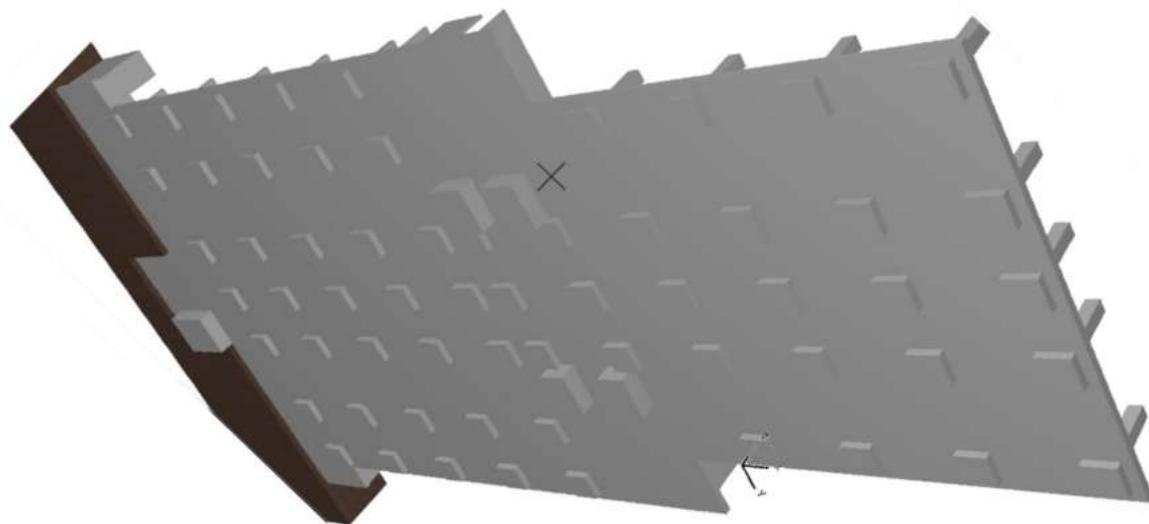
Collocazione Isolatori ■ e SD ■



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

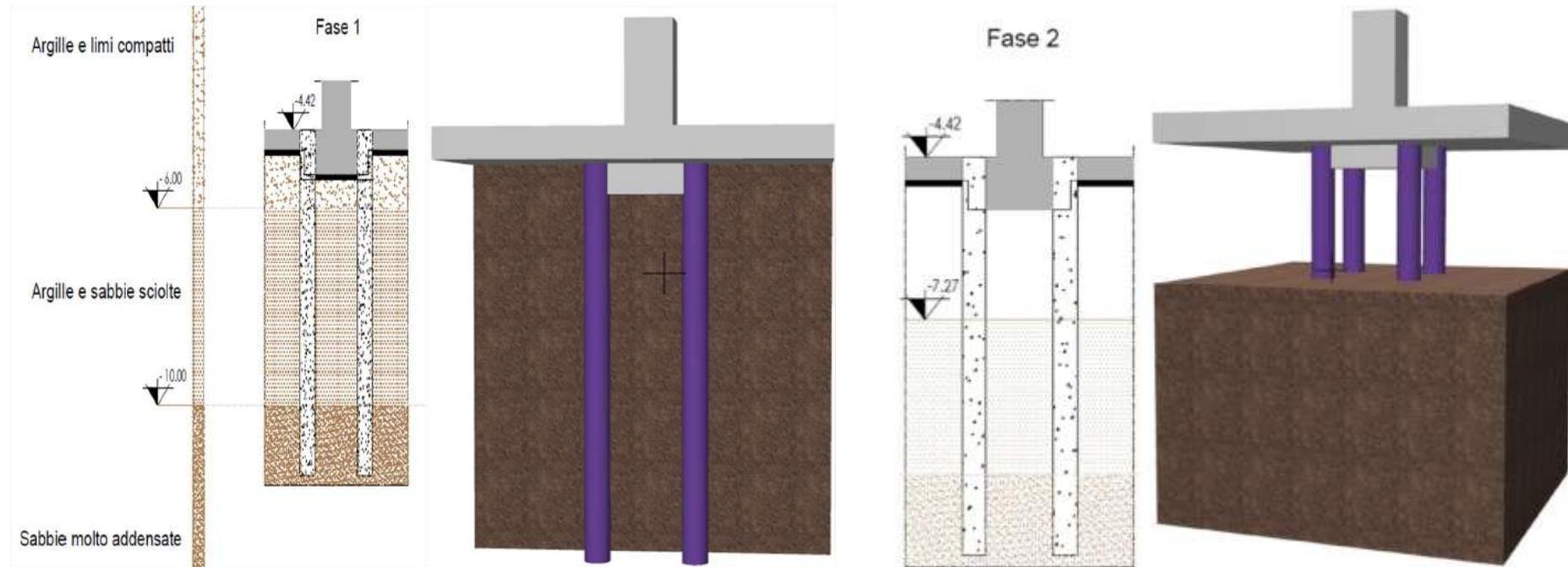
## Isolamento di base – Sequenza operativa



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

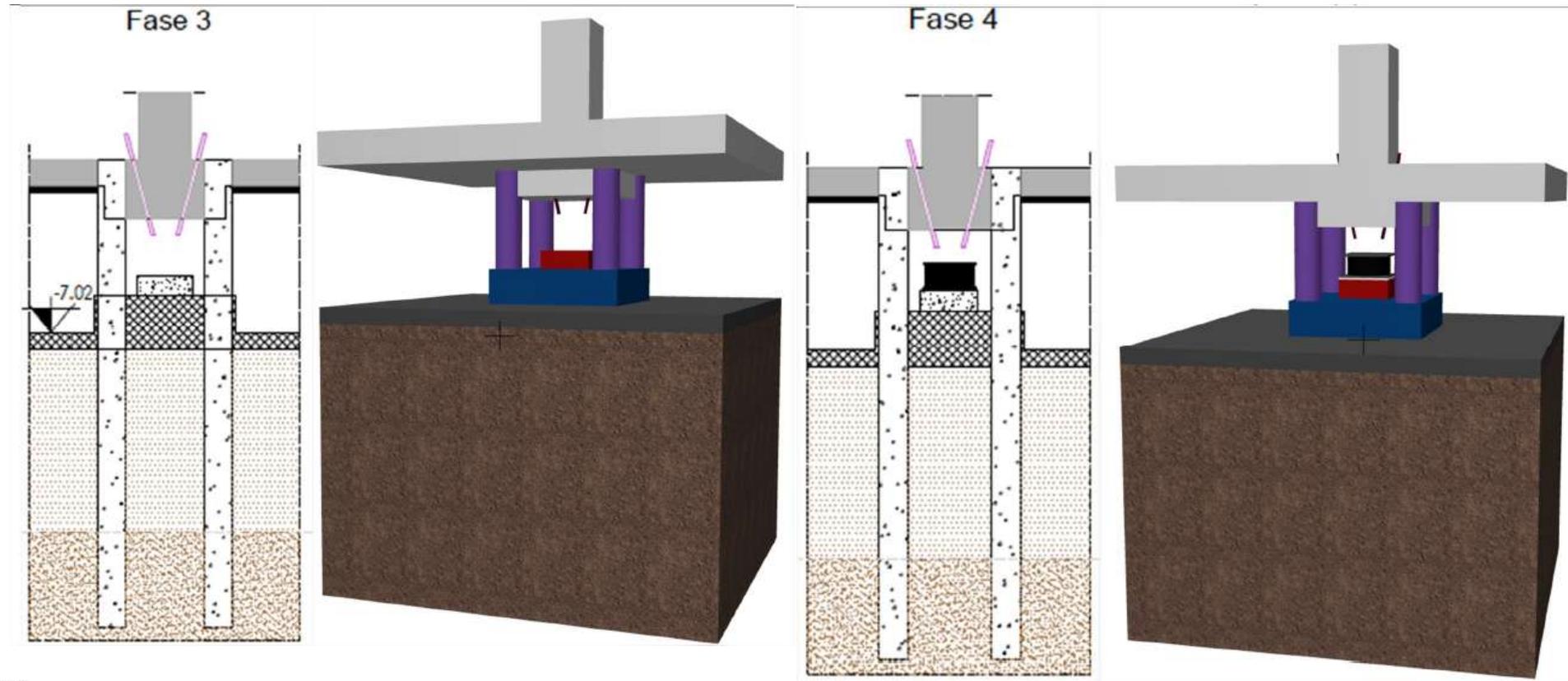
## Isolamento di base – Sequenza operativa



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

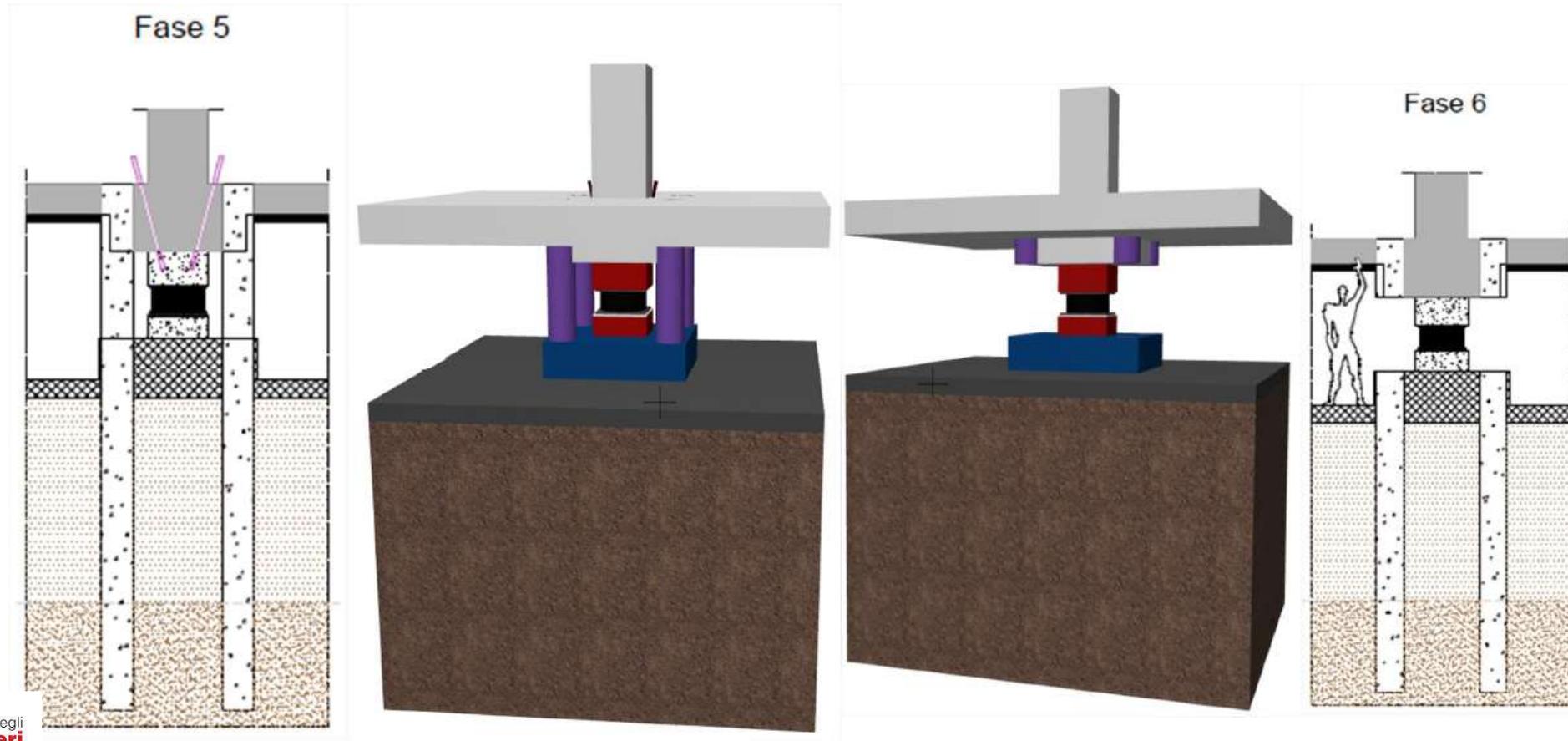
## Isolamento di base – Sequenza operativa



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

**Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%**

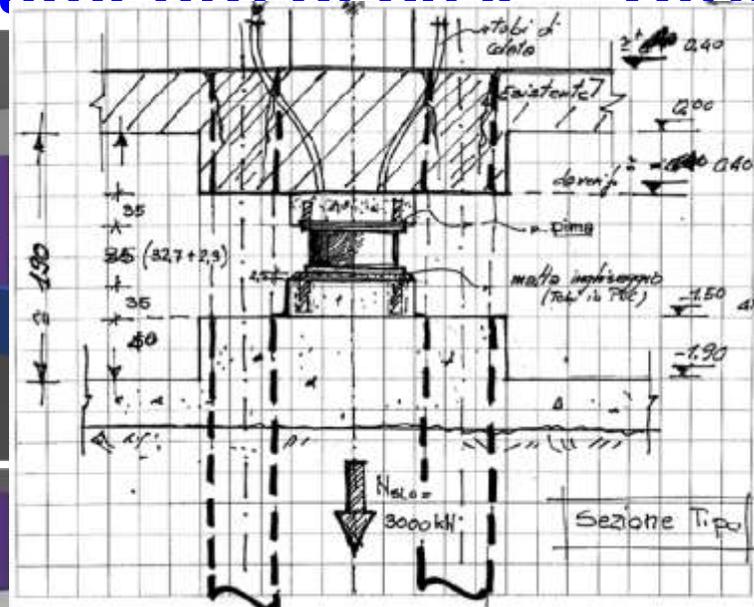
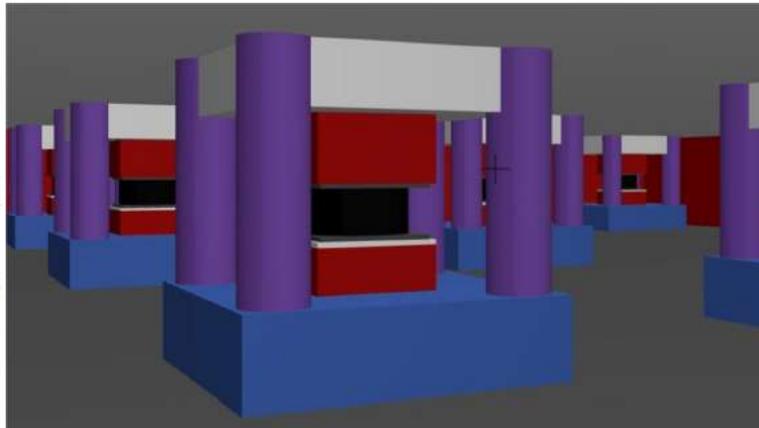
## Isolamento di base – Sequenza operativa



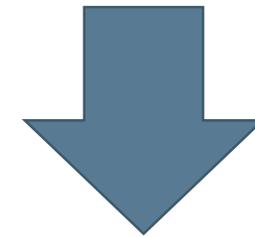
# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

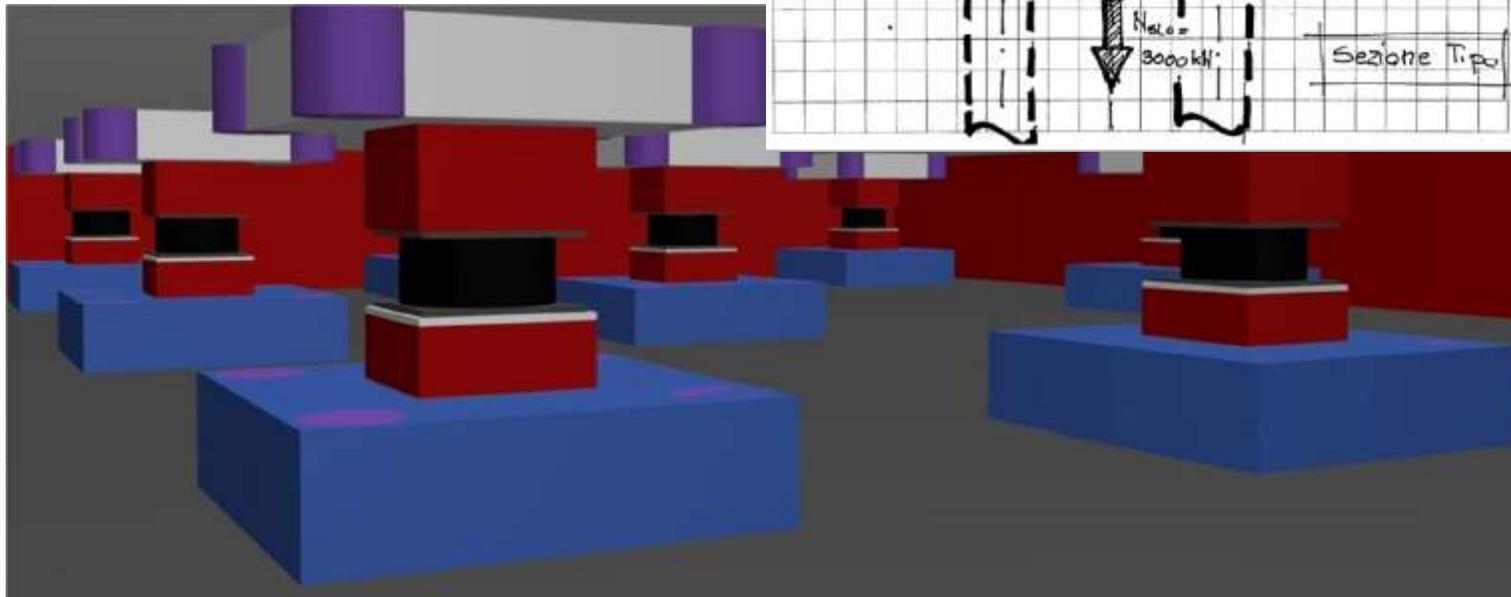
## Isolamento di base – Ultime fasi



**BASE FISSA**



**BIS**



## Isolamento di base – Dati salienti dimensionamento

Caratteristiche del sistema di isolamento			
$T_{is}$	Periodo di isolamenti di progetto	sec	3,00
$M$	Massa della soprastruttura	tonn	16.040
$K_{tot}$	Rigidezza complessiva necessaria	KN/mm	70,36

Caratteristiche del dispositivo		FSS	
$V$	Carico max. sotto sisma allo SLC	KN	2500
$F$	Carico max. in assenza di sisma SLU	KN	3800
$Ca$	Coeff. Attrito /dispositivo nuovo)	max	1%
$\delta_{SLC}$	Spost. Massimo ( $\gamma \leq 2$ )	mm	400

## Isolamento di base – Dati salienti dimensionamento

Caratteristiche del dispositivo		HDRB	
$V$	Carico max. sotto sisma allo SLC	KN	2000
$F$	Carico max. in assenza di sisma SLU	KN	3000
$K_e$	Rigidezza orizzontale equiv. allo spost. max	KN/mm	1,47
$K_e/K_v$	Rapporto di rigidezza	Minimo	800
$S_{pm.}$	Spost. Massimo ( $\gamma \leq 2$ )	mm	400
$\xi$	Smorzamento equival. ( $\gamma = 2$ )	minimo	10%

# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

## COSTI A CONFRONTO

	FRP + Controventi		Isolamento Sismico	
Costo Diretto Intervento	€	1,859,000	€	1,715,000
		<b>107,9 %</b>		<b>92,3 %</b>
Durata Intervento [mesi]		12	50 %	6
Disservizio [m]		12	25 %	3
<hr/>				
Costo disservizio Pronto Soccorso *	€	5,936,794	€	1,484,199
Costo disservizio Reparti Diversi **	€	17,000,000	€	1,062,500
<hr/>				
	€	24,795,794	€	4,261,699
		<b>581,8 %</b>		<b>17,2 %</b>



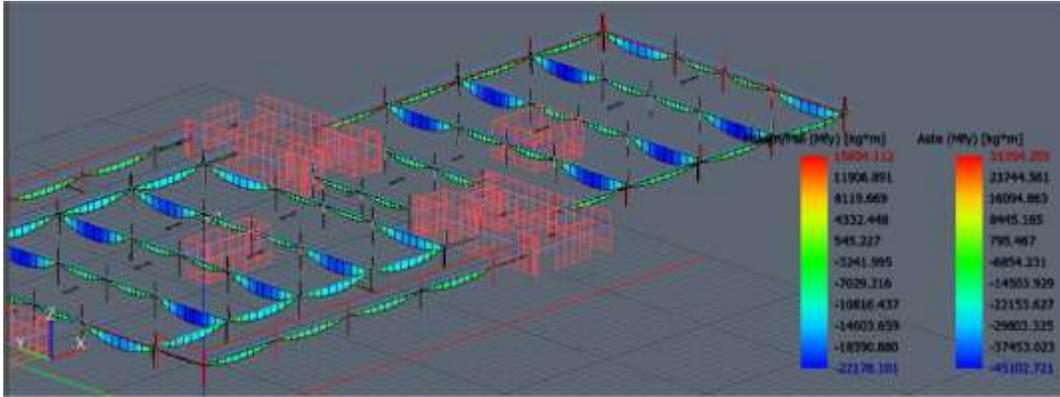
The American Society of Mechanical Engineers

# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

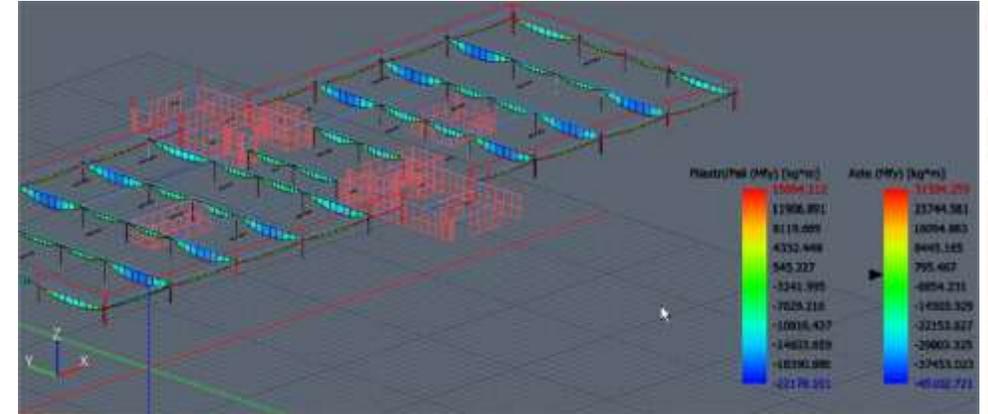
Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

## SOLLECITAZIONI CONSEGUENTI AL BIS

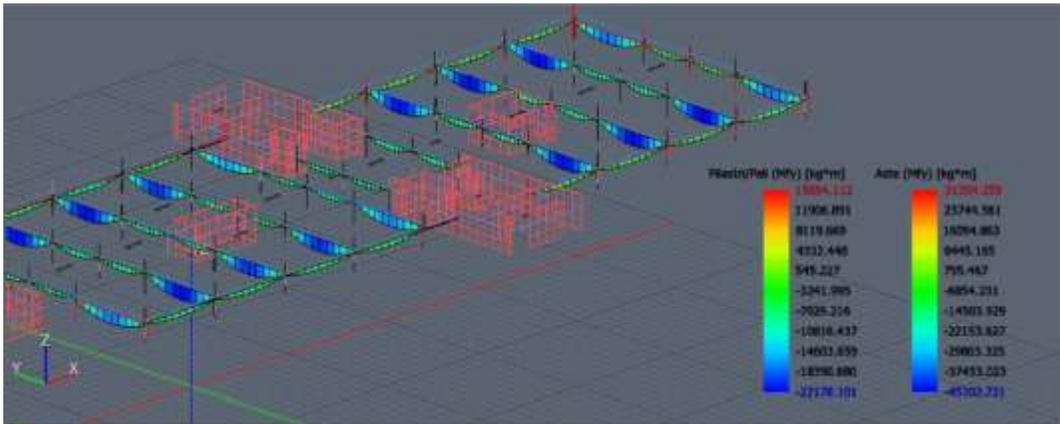
1° IMPALCATO



3° IMPALCATO



2° IMPALCATO



Trattandosi di un **edificio esistente**, per il quale non si prevedeva l'adeguamento ma il **miglioramento**, è stata stimata la percentuale ridotta della sollecitazione flettente, che rappresenta *in toto* la domanda,  $M_{fd}$ , che viene denominata  $M_{fp}$ , cui corrisponde il **passaggio** dalla **fase elastica** a quella **plastica**

# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

## Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

### SOLLECITAZIONI CONSEGUENTI AL BIS

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave a T Tipo 21

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO:

N° Vertici:  Zoom N° barre:  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	-40	0
2	-40	25
3	-20	25
4	-20	48
5	20	48
6	20	25

Tipo Sezione:  Rettan.re  Trapezi  a T  Circolare  Rettangoli  Coord.

Armatura Precompressione: N° cavi:  Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	1.13	-17	45	0
2	1.13	-10	45	0
3	1.13	10	45	0
4	1.13	17	45	0
5	0.79	-37	22	0
6	0.79	-17	22	0

Sollecitazioni: S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>:  kN  
M<sub>xEd</sub>:  kNm  
M<sub>yEd</sub>:  kNm

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls  Coord.[cm]

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Materiali: FeB44k C40/50

$\epsilon_{su}$ :  ‰  $\epsilon_{c2}$ :  ‰  $\sigma_c$ :  N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$ :  N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ :  ‰  $\sigma_s$ :  N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$ :   $f_{cc}/f_{cd}$ :  ?  $\tau_s$ :  ‰  
 $\epsilon_{syd}$ :  ‰  $C_{c,adm}$ :   $d$ :  cm  
 $C_{s,adm}$ :  N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ :   $x$ :   $x/d$ :   
 $\tau_{c1}$ :   $\delta$ :

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

Verifica C.A. S.L.U. - File: Trave a T Tipo 34a - 60%

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

TITOLO:

N° Vertici:  Zoom N° barre:  Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	0	0
2	65	0
3	65	48
4	20	48
5	20	25
6	0	25

Tipo Sezione:  Rettan.re  Trapezi  a T  Circolare  Rettangoli  Coord.

Armatura Precompressione: N° cavi:  Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	$\sigma_{sp}$ [MPa]
1	1.13	23	45	3
2	1.13	62	45	0
3	1.13	35	45	0
4	1.13	50	45	0
5	0.79	3	22	0
6	0.79	23	22	0

Sollecitazioni: S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>:  kN  
M<sub>xEd</sub>:  kNm  
M<sub>yEd</sub>:  kNm

P.to applicazione N:  Centro  Baricentro cls  Coord.[cm]

Metodo di calcolo:  S.L.U.+  S.L.U.-  Metodo n

Materiali: FeB44k C40/50

$\epsilon_{su}$ :  ‰  $\epsilon_{c2}$ :  ‰  $\sigma_c$ :  N/mm<sup>2</sup>  
 $f_{yd}$ :  N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ :  ‰  $\sigma_s$ :  N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$ :   $f_{cc}/f_{cd}$ :  ?  $\tau_s$ :  ‰  
 $\epsilon_{syd}$ :  ‰  $C_{c,adm}$ :   $d$ :  cm  
 $C_{s,adm}$ :  N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ :   $x$ :   $x/d$ :   
 $\tau_{c1}$ :   $\delta$ :

Verifica N° iterazioni:

Precompresso

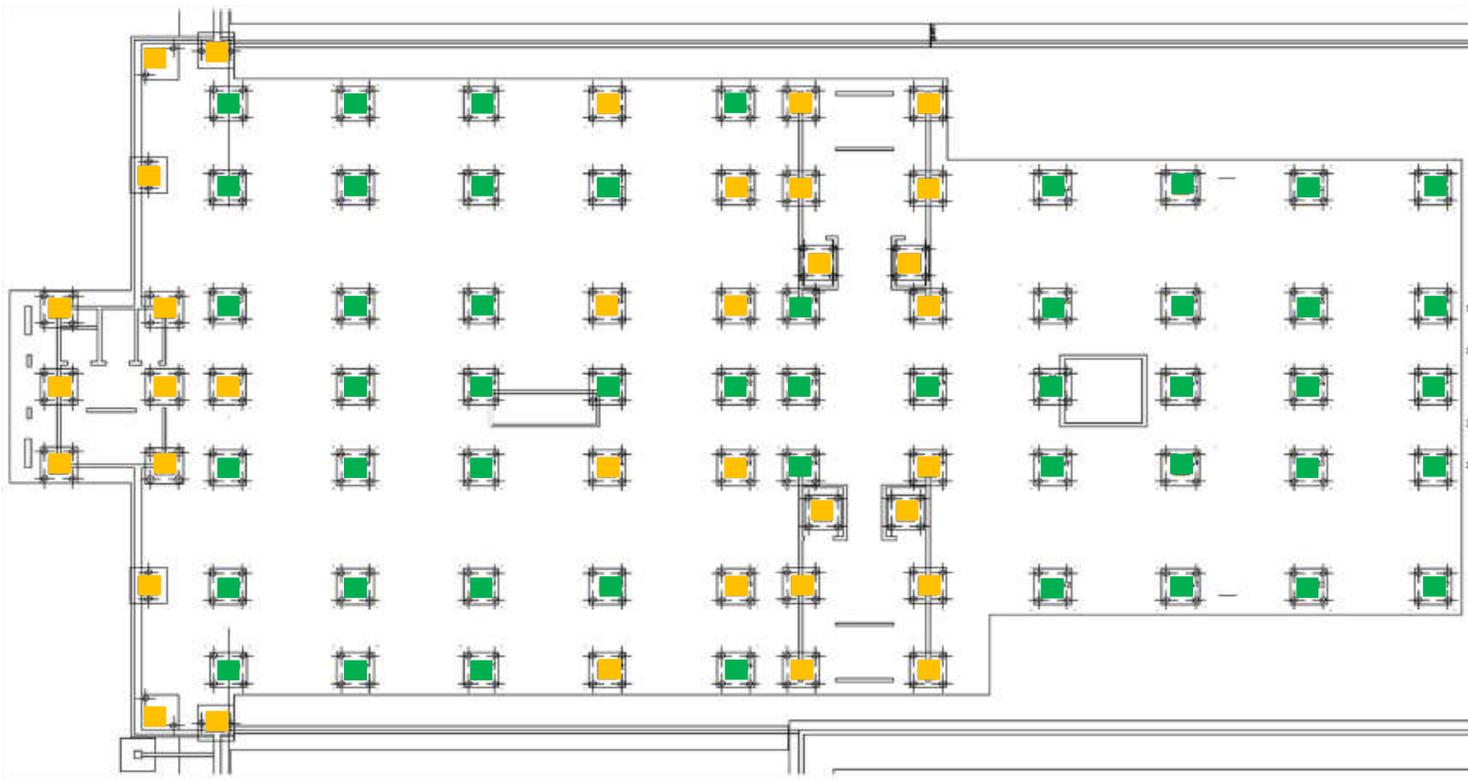
Elemento	M <sub>Id</sub> [kNm]	M <sub>r,p</sub> [kNm]	M <sub>r,p</sub> / M <sub>f,d</sub> [%]
Trave "T" 21 Impalcato 1..3	450	351	78 %
Trave "T" 21 Copertura	372	351	94 %
Trave "L" 34a Impalcato 1..3	360	225	62 %
Trave "L" 34a Copertura	241	225	93 %



# Isolamento all'intradosso della platea fondale di un ospedale

Performance Obiettivo: Vulnerabilità >60%

## HDRB



## SD



Associazione Italiana Software Tecnico



Bologna, 22/XI/2019 - Cicchiello P.  
Isolamento sismico. *Principi ed Applicazioni*

# Bibliografia di approfondimento

- Clemente, Saitta, Buffarini, Bongiovanni, *Isolamento Sismico di Edifici Esistenti*, Grafill, 2019
- Charleson A, Guisasola A., *Seismic Isolation for Architects*, Routledge, 2017
- Kelly J., Konstantinidis D., *Mechanics of Rubber Bearings for Seismic and Vibration Isolation*, Wiley & Sons, 2011
- Foti D., Mongelli M., *Isolatori sismici per edifici esistenti e di nuova costruzione*, Flaccovio, 2011
- Cicchiello P., *Metodi di Protezione Sismica*, Maggioli, 2011
- Higashino M., Okamoto S., *Response Control and Seismic Isolation of Buildings*, Taylor & Francis, 2006
- Christopoulos, C. Filiatrault, A., *Principles of Supplemental Damping and Seismic Isolation*, IUSS Press, 2006.
- Naeim F., Kelly J., *Design of seismic isolated structures*, Wiley & Sons, 1999

**G R A Z I E D E L L ' A T T E N Z I O N E !**