



GLIS – Isolamento ed altre Strategie di  
Progettazione Antisismica



CON IL PATROCINIO DI  
Associazione Nazionale Tecnici Enti Locali (ANTEL)  
Anti-Seismic Systems International Society (ASSISi) – Sezione Territoriale Italiana

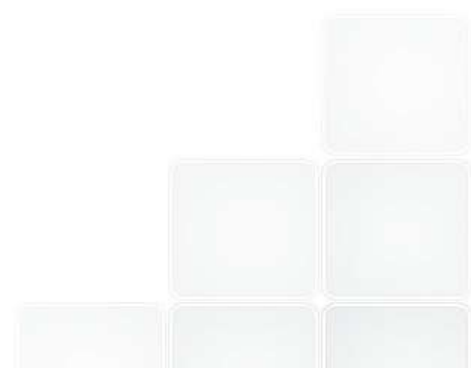
## Seminario

Le tecnologie moderne di protezione antisismica

Torino, Palazzo della Provincia, 16 settembre 2014

# LE TECNOLOGIE MODERNE E IL PATRIMONIO STORICO

Paolo Clemente, PhD

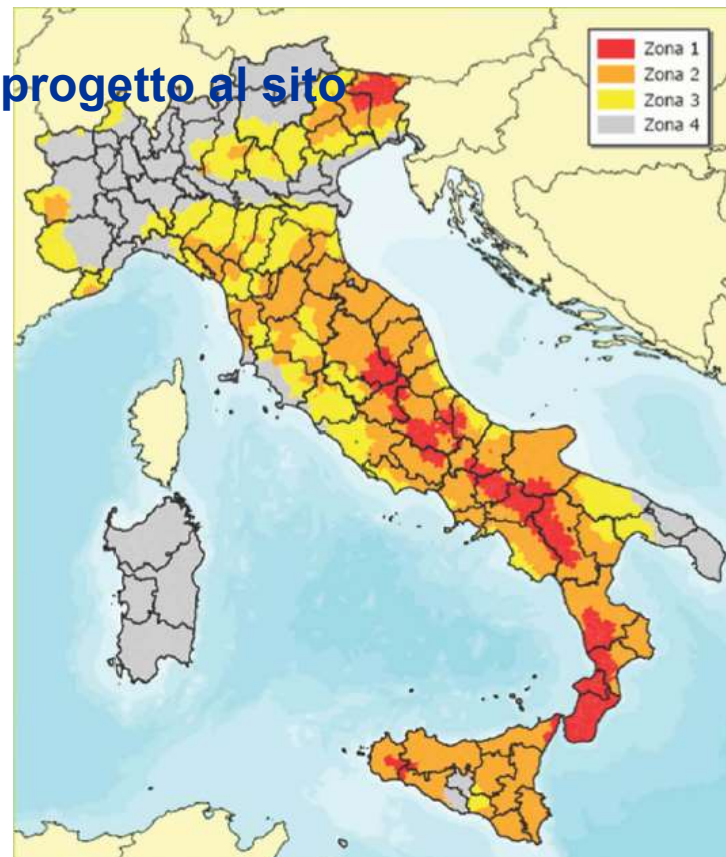


# SICUREZZA SISMICA IN ITALIA

70% dell'edificato non adeguato al sisma di progetto al sito

Evoluzione della classificazione sismica

Evoluzione della Normativa Tecnica



Qualità delle costruzioni e degli interventi sull'esistente

Edifici storici

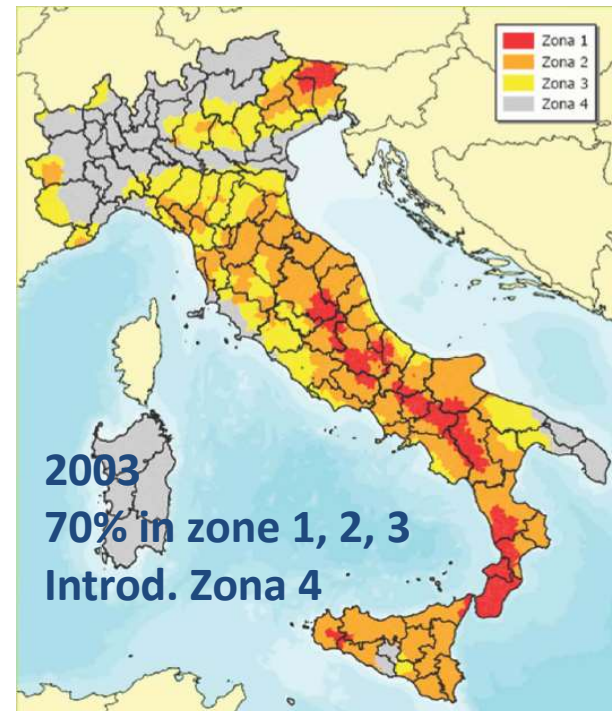
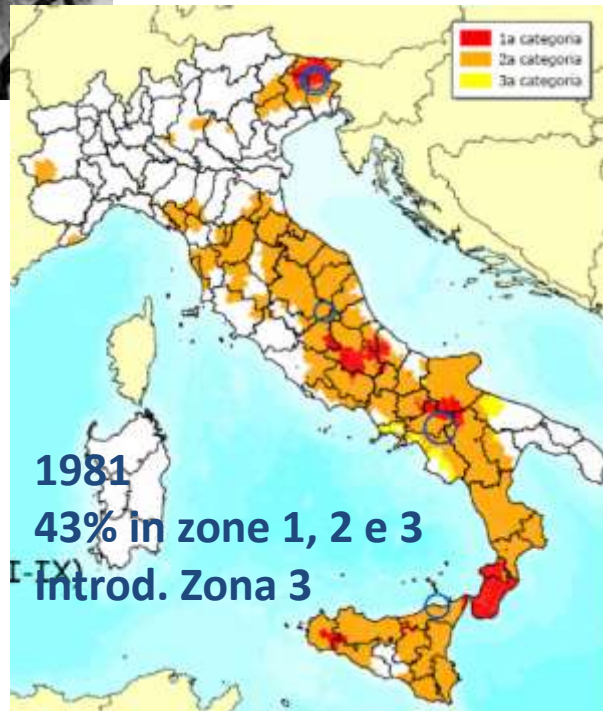
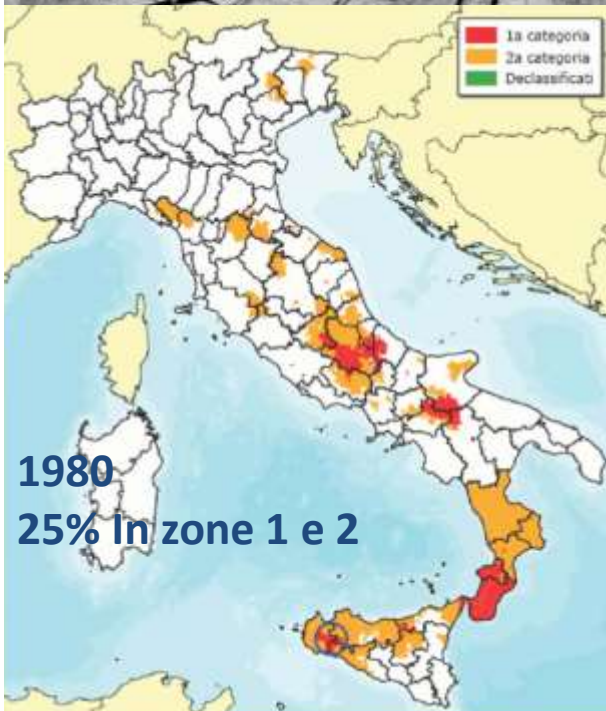


# EVOLUZIONE CLASSIFICAZIONE SISMICA

1908

Terremoto di Messina e Reggio Calabria

Nuove zone classificate solo a seguito di un terremoto



2008: definizione puntuale dei parametri di pericolosità. Scompaiono le zone

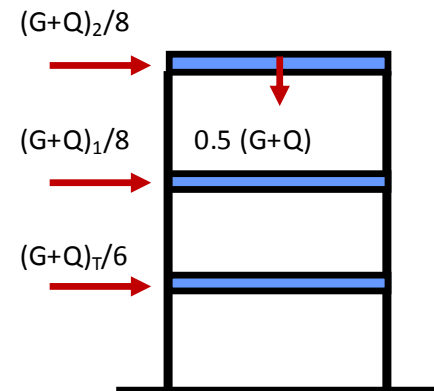
# EVOLUZIONE NORME TECNICHE



Avezzano - Qui sorgeva l'Albergo Roma

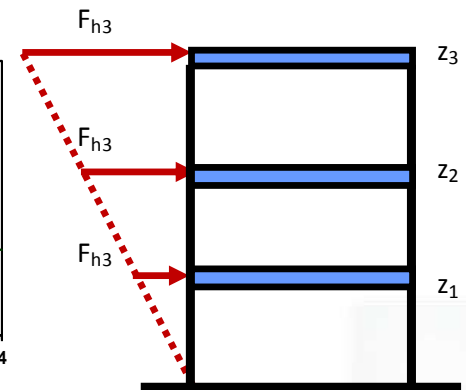
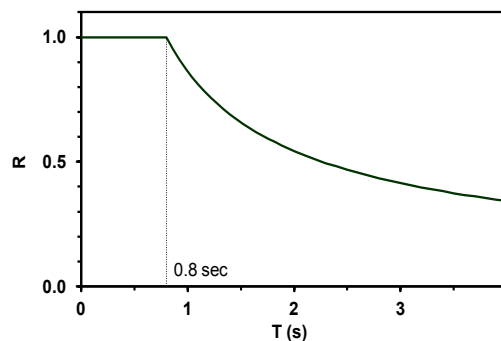
**D.L. 5 novembre 1916 (TU) n. 1526**

forze statiche simulanti l'azione sismica  
(G = carichi permanenti,  
Q = carichi variabili)



**D.M. LL.PP. 03/03/1975 Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche**

Prima normativa di moderna concezione (a seguito della Legge 2 febbraio 1974, n. 64, Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche)



**63.8% delle abitazioni in Italia costruito prima del 1971** (dati ISTAT)  
non rispondono, nominalmente, a criteri di sicurezza sismica

**Norme Tecniche per le Costruzioni** attualmente in vigore dal 2009 decisamente più onerose delle precedenti

# QUALITÀ COSTRUZIONI

**Età > 50 anni** per gran parte degli edifici  
(valore tipico della vita utile)

**Periodi di maggiore attività dopo eventi eccezionali** (guerre, terremoti):  
costruzioni edificate

- **in fretta**
- **senza adeguati controlli**
- **con sistemi e materiali scadenti**



## Edifici storici

- a volte oggetto di **interventi inadeguati**
- **non dovrebbero ospitare** scuole, ospedali, strutture strategiche

# PREVISIONE DEI TERREMOTI

Interv.	Tempo	Utilità	Commenti
<b>Brevis-simo</b>	pochi sec/min	<i>early warning</i> per impianti RIR, treni AV, ...	Possibile ma non utile in Italia
<b>Breve</b>	poche ore ÷ qualche mese	preparare le risorse per emergenza e l'evacuazione	Al momento non siamo in grado di fare ciò
<b>Medio</b>	qualche anno	individuare aree dove intervenire prioritariamente per ridurre il rischio	Esperimenti in corso in alcune aree di grande rischio sismico. I tempi lunghi di realizzazione delle opere di mitigazione del rischio sismico sono in linea con i tempi di vita delle opere di mitigazione del rischio sismico.
<b>Lungo</b>	decine di anni	ridurre vulnerabilità e esposizione, preparare le popolazioni	Le mappe di pericolosità ci danno questa informazione

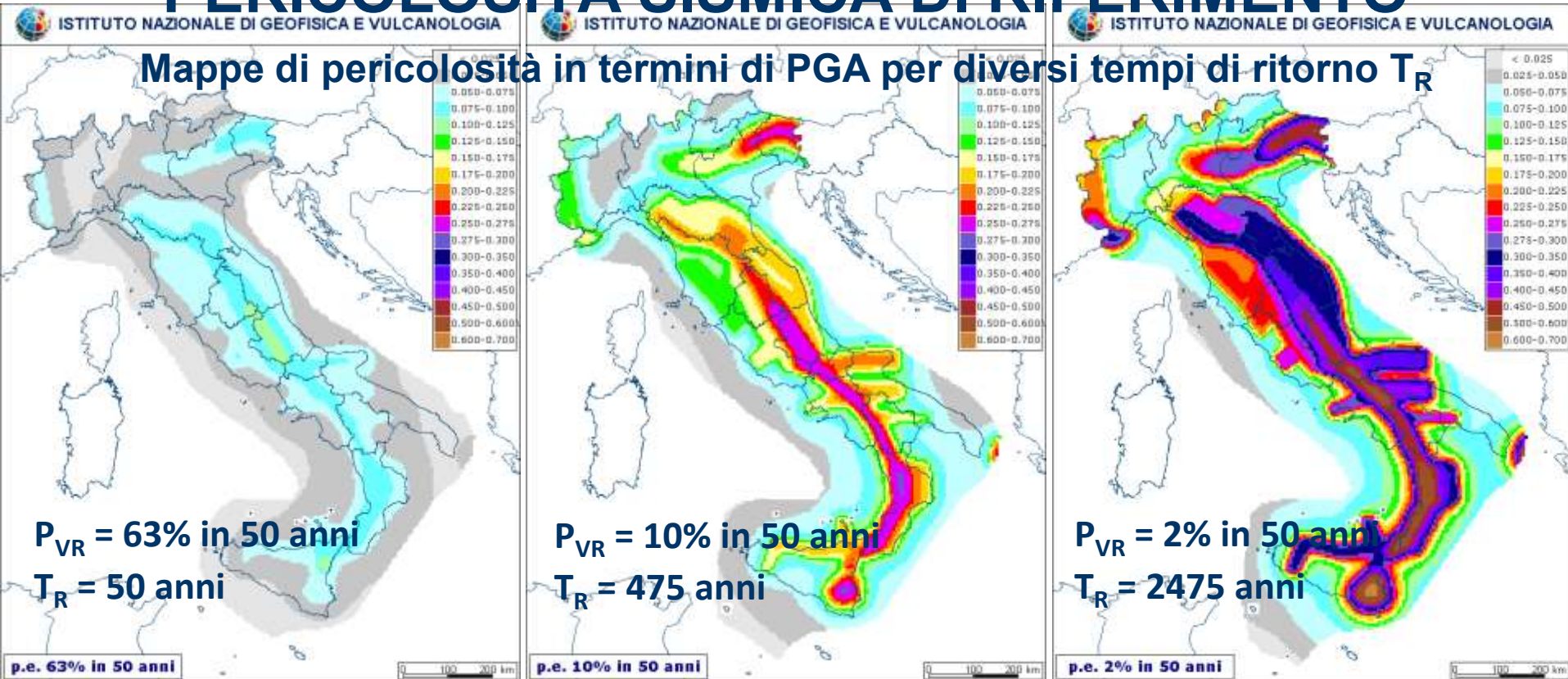


Per salvare vite umane



costruire edifici antisismici

# PERICOLosità SISMICA DI RIFERIMENTO

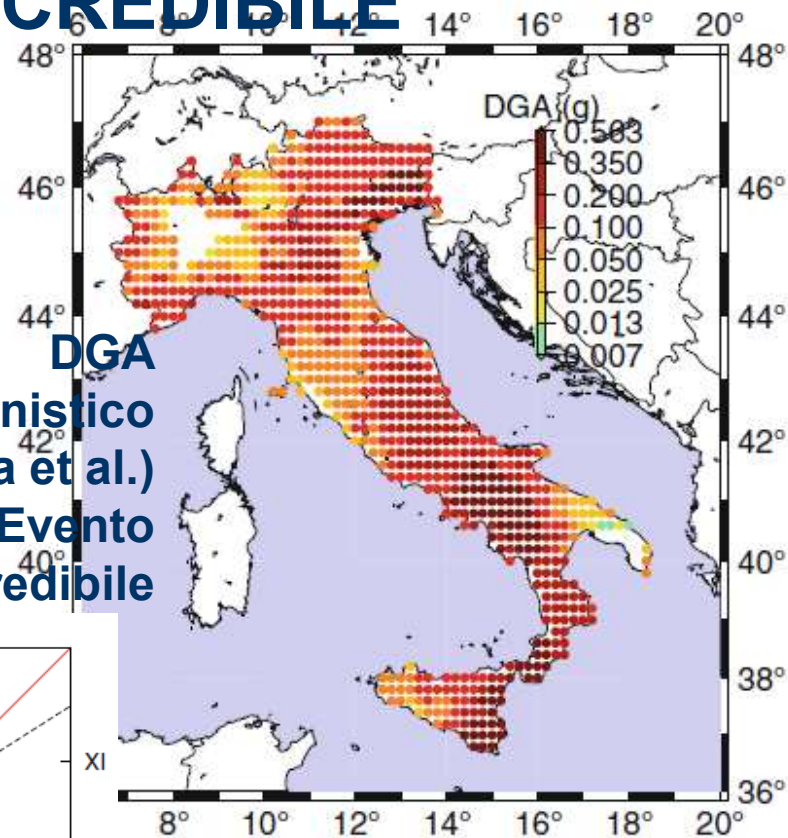
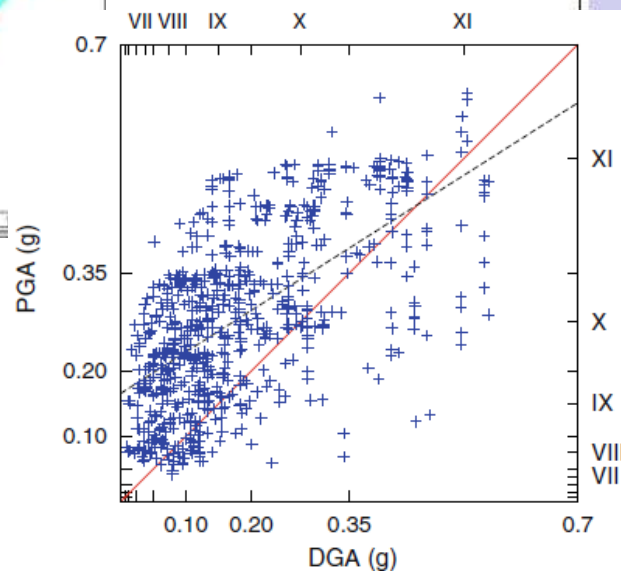
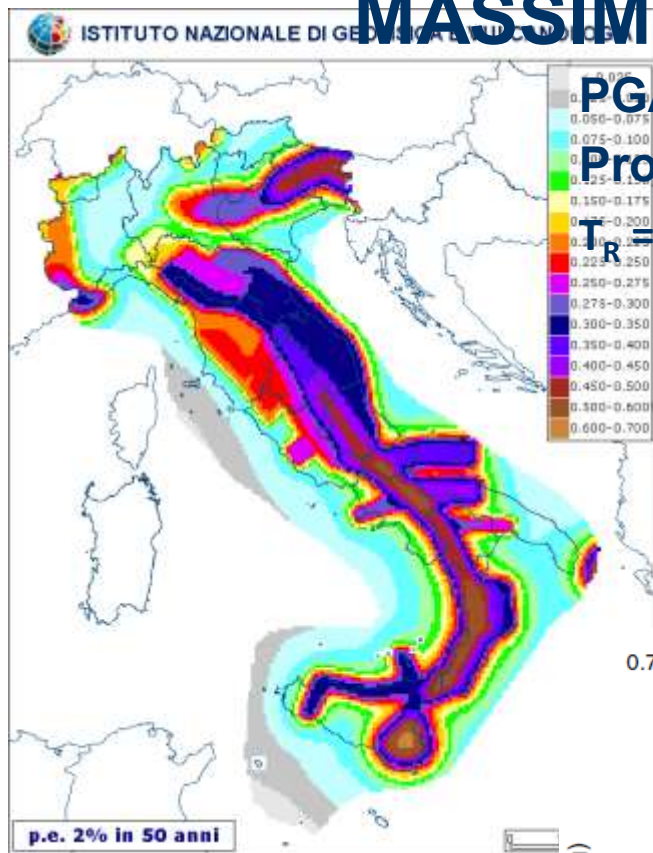


Mappe basate su approccio probabilistico, costruite sulla base di

- conoscenze storiche
- conoscenze sui terremoti più recenti: possibili sorgenti, processi geologici in atto, caratteristiche del sottosuolo a grande scala

$T_R$  max = 2475 anni: correlato alla conoscenza della storia sismica

# MASSIMO EVENTO CREDIBILE



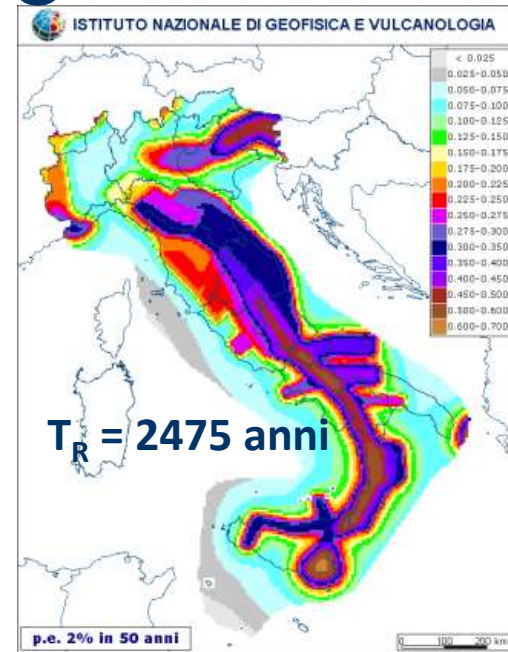
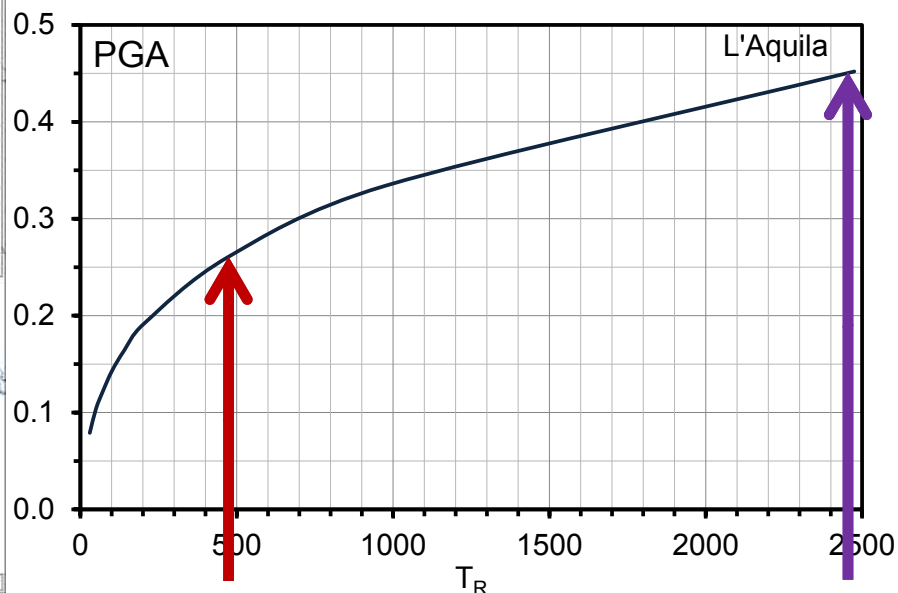
Quasi ovunque  
**PGA > DGA**



# TERREMOTO DI PROGETTO



**Terremoto di pgt per strutture ordinarie**  
**P = 10% in 50 a.**

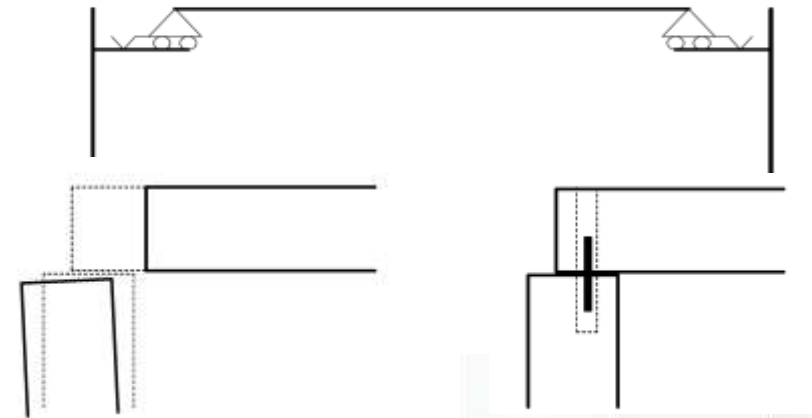
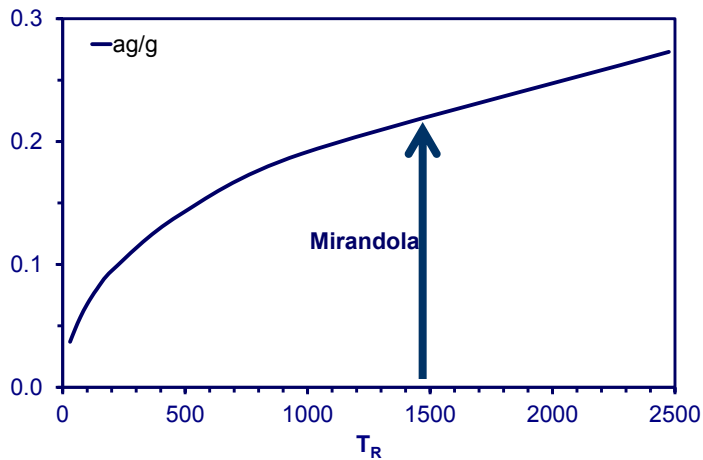


**Terremoto di pgt max**  
**P = 2% prob. in 50 a.**

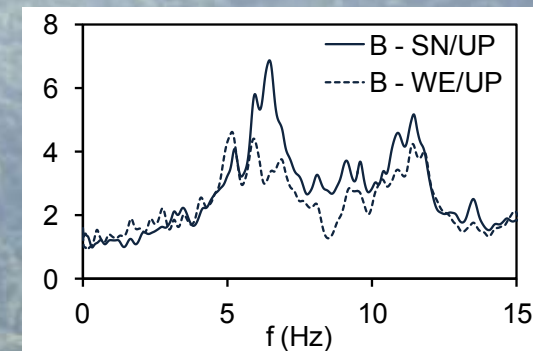
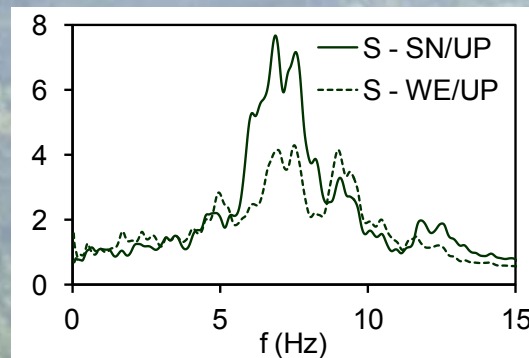
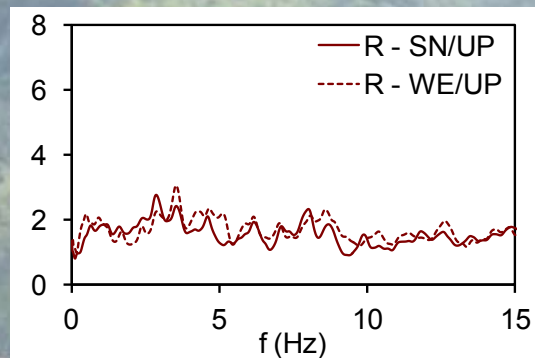
Edifici storici, quasi sempre, ci si deve accontentare di un grado di sicurezza ancora inferiore ( $P > 10\%$ )

Pertanto non è corretto utilizzare edifici storici come strutture strategiche o di particolare rilevanza (scuole, ospedali, ecc.)

# EMILIA: EDIFICI INDUSTRIALI



# RISPOSTA SISMICA LOCALE



R

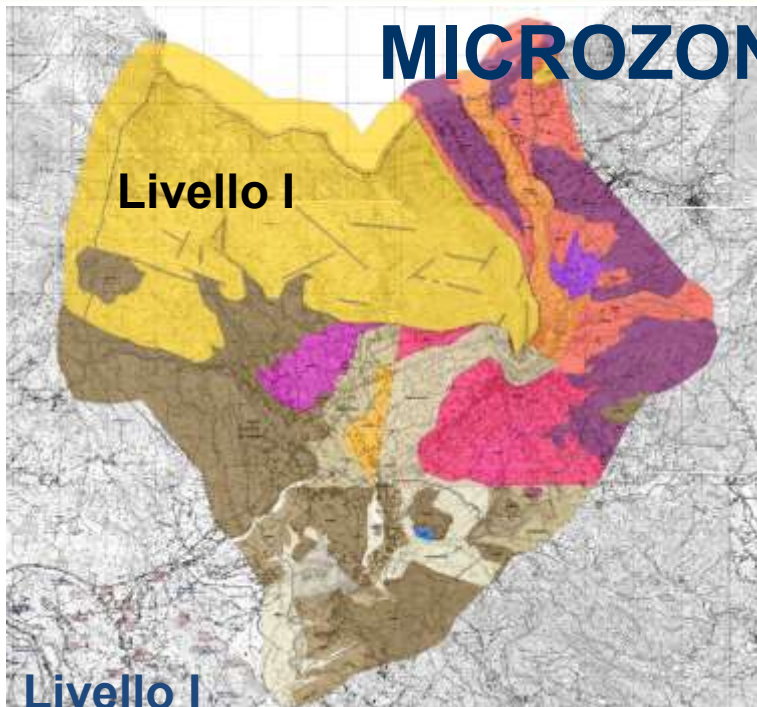
Ai 3 siti si hanno differenti risposte allo stesso evento sismico

S

B

Array velocimetrico a Belmonte Castello (FR): Receiver Functions  
di registrazioni di aftershocks del sisma dell'Aquila, 2009

# MICROZONAZIONE SISMICA



## Definizione MOPS:

microzone omogenee in prospettiva sismica  
(amplificative e non)

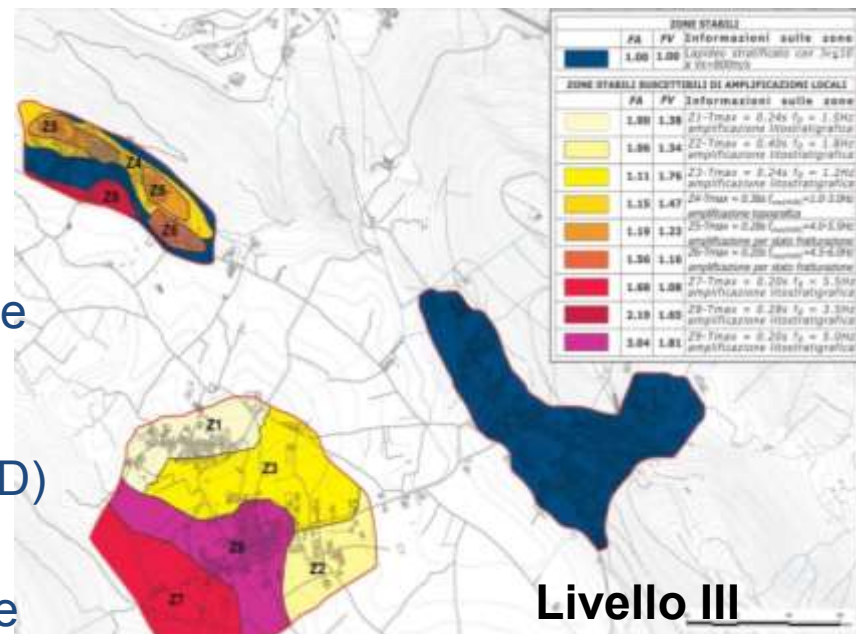
- Scelta siti per nuovi impianti
- Definizione priorità di intervento sugli esistenti

## Livello I

- Zone instabili
- Zone stabili (pianeggianti,  $V_{S30} > 800$  m/s)
- Zone stabili ma suscettibili di amplificazione

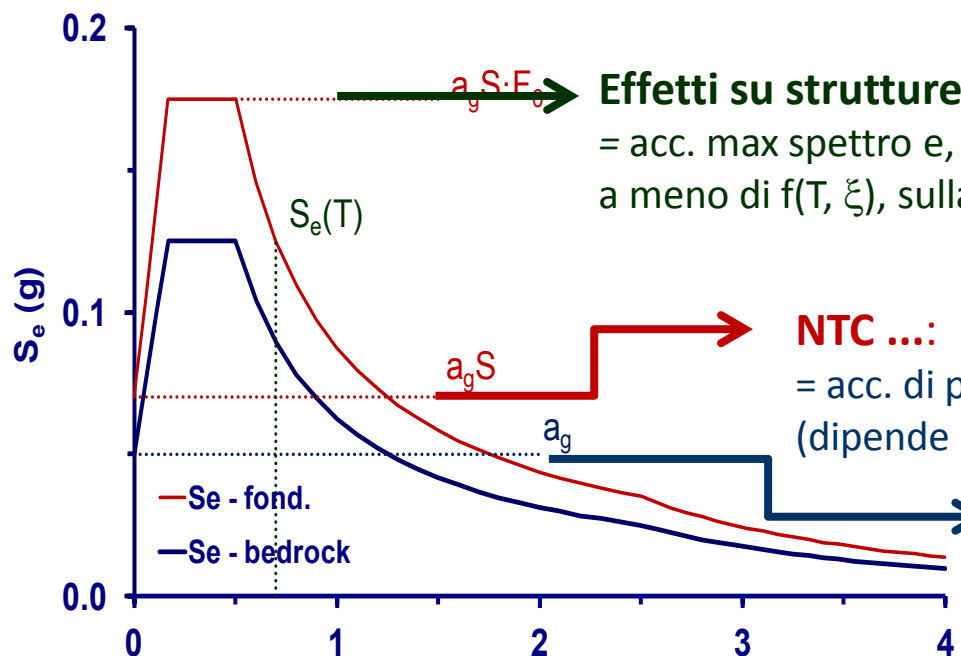
**Livello II:** coefficienti di amplificazione attraverso abachi (situazioni semplici 1D)

**Livello III:** coefficienti di amplificazione attraverso misure in sito e modellazione



## Livello III

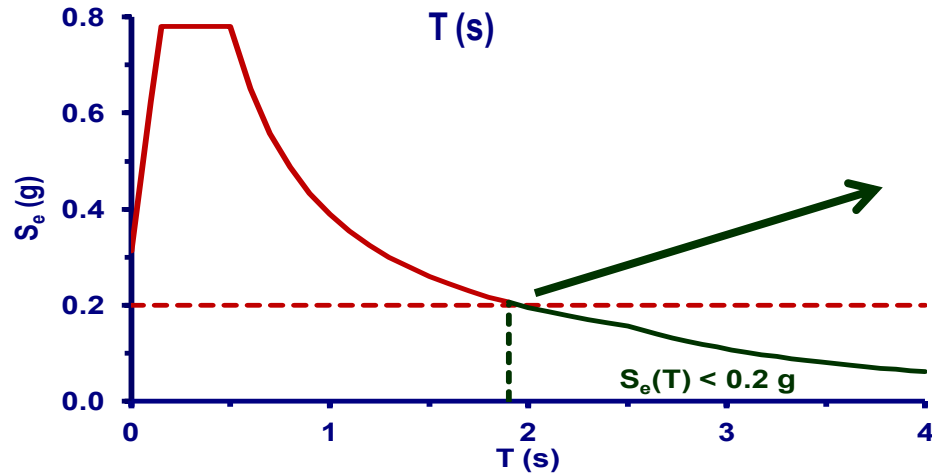
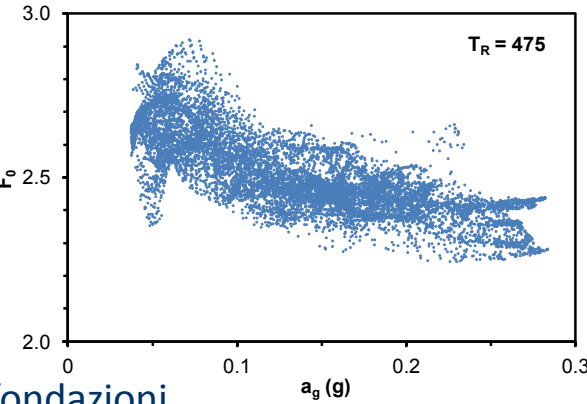
# ZONE A SISMICITÀ MOLTO BASSA



**Effetti su strutture:  $a_g \cdot S \cdot F_0 \leq 0.20 g$**   
= acc. max spettro e,  
a meno di  $f(T, \xi)$ , sulla struttura

**NTC ...:  $a_g \cdot S \leq 0.075 g$**   
= acc. di picco al piano posa fondazioni  
(dipende anche da amplificazione locale e quota fond.)

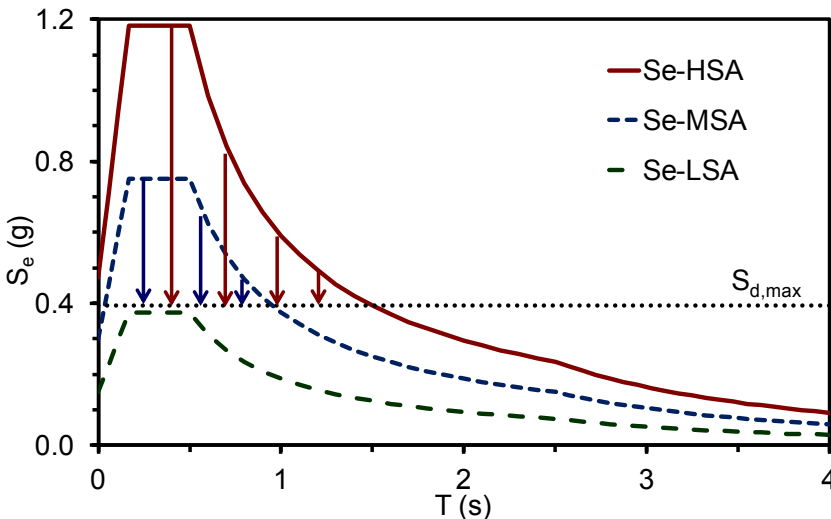
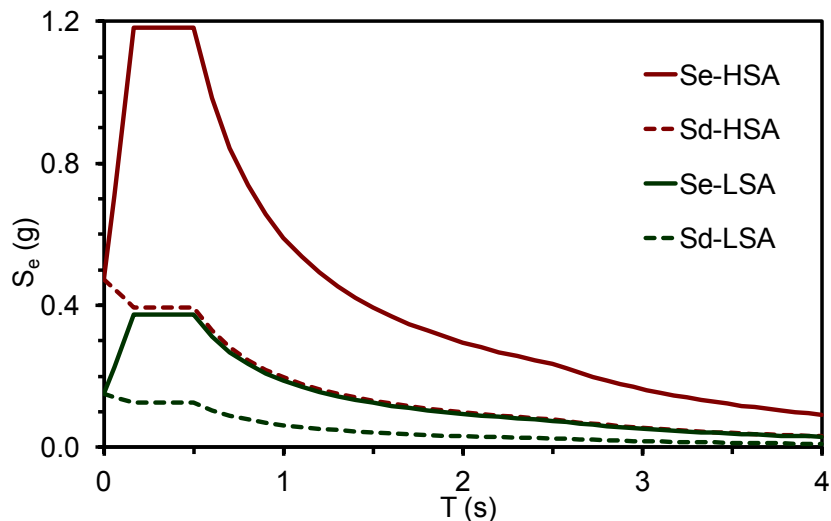
**NTC 2008:  $a_g \leq 0.05 g$  ( $T_R=475$  anni)**  
= acc. di picco al bedrock  
(dipende solo da pericolosità di base del sito )



**Strutture poco sensibili ai terremoti al sito:**  
 **$S_e(T) \leq 0.20 g$**   
(dipende anche dalla struttura e vale soprattutto  
per strutture isolate alla base)

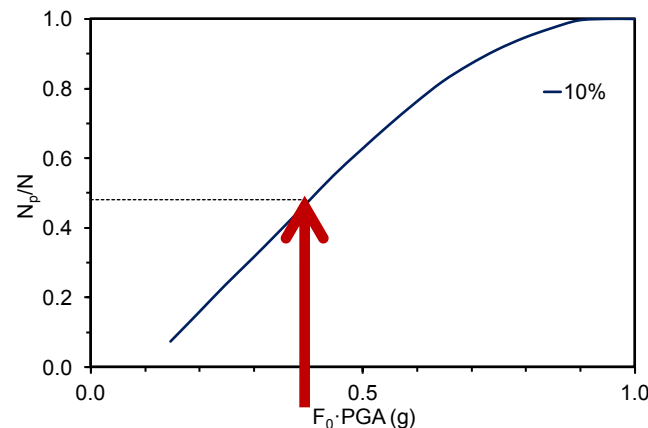
# FATTORE DI STRUTTURA

Non è possibile progettare in campo elastico in zone ad elevata sismicità (HSA)  $\rightarrow q$



**$S_d$  (HSA) >  $S_e$  (LSA)**

In zone a bassa sismicità (LSA) si può progettare senza affidarsi alla duttilità




**Fissato  $S_{d,max}$  (=0.4g)**

(valore massimo accettabile, sulla base di considerazioni economiche e di funzionalità)

**se  $S_e > S_{d,max} \rightarrow S_d = S_{d,max}$**

con  $q = S_e / S_{d,max}$  minimo necessario

## EDIFICI STORICI

- 
- Progettati senza tener conto della azioni sismiche
  - Vulnerabili anche ad azioni sismiche moderate
  - Caratterizzati da:
    - Forma irregolare, sia in pianta che in elevazione
    - Connessioni non efficaci tra le pareti
    - Solai non rigidi nel loro piano
    - Fondazioni superficiali
  - Adeguamento sismico delicato:
    - Grado di sicurezza elevato per la presenza di numerosi turisti
    - Preservare caratteristiche originali, identità e valore storico

## COME VALUTARE LA SICUREZZA ?



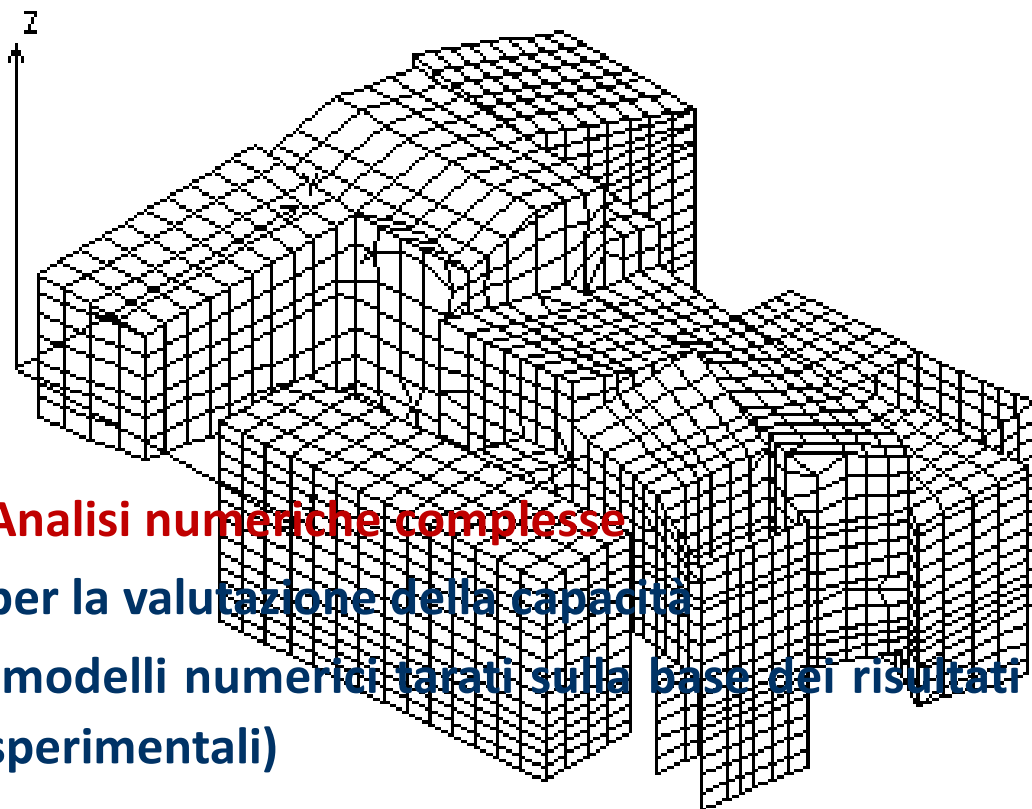
### Analisi sperimentali

- sui materiali (effettive resistenze)



- sulle strutture (effettivo comportamento statico e dinamico)

La valutazione non può basarsi su un semplice esame visivo



### Analisi numeriche complesse

per la valutazione della capacità  
(modelli numerici tarati sulla base dei risultati sperimentali)

**Operazioni costose** ma indispensabili per:

- Diagnosi: valutazione dell'affidabilità strutturale
- Terapia: definizione degli eventuali interventi



# TECNICHE TRADIZIONALI E INNOVATIVE

## Tecniche tradizionali non adatte per adeguamento sismico edifici storici:

- Incremento di resistenza e duttilità
- Irreversibili
- Materiali diversi e incompatibili
- Concezione strutturale originaria
- Possono solo evitare il collasso
- Non possono evitare gravi danni



## Le moderne tecnologie, invece:

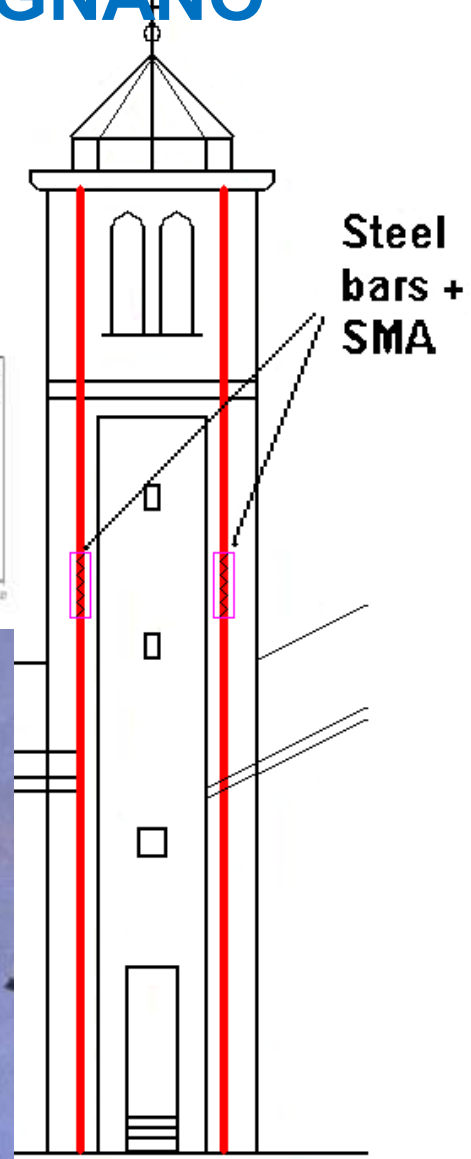
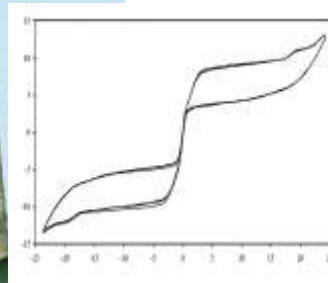
- Riduzione azione sismica
- No danni anche per eventi violenti
- Scarsa interferenza con la struttura

# SMAD E STU – SAN FRANCESCO DI ASSISI (1999)



# CAMPANILE DI S. GIORGIO IN TRIGNANO

Damaged by the 1996  
Reggio Emilia earthquake

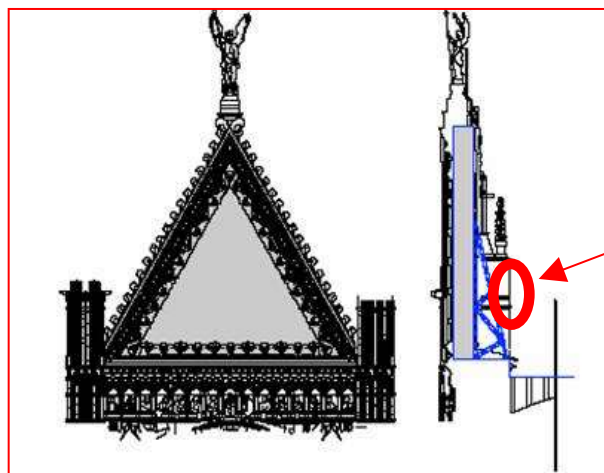


# DISSIPAZIONE DI ENERGIA



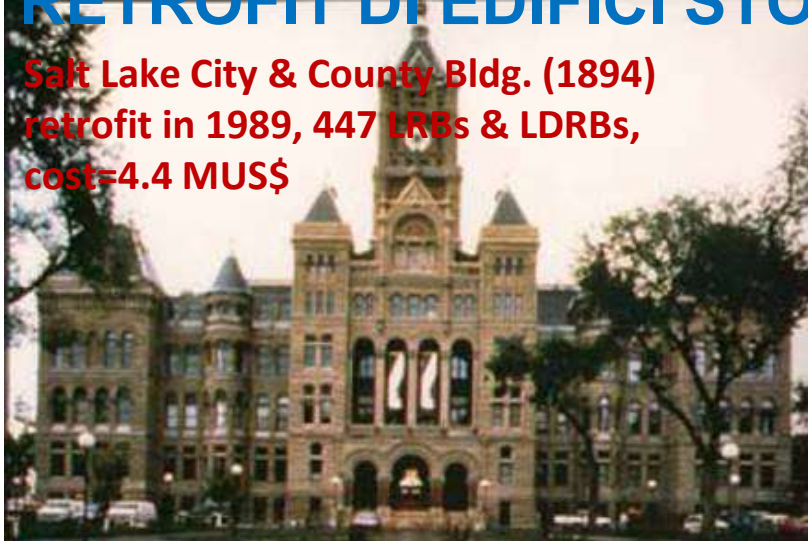
**Santa Maria di Collemaggio in L'Aquila: EP steel braces on the roof**

**Siena Dome: recentring VDs to hinder the overturning of the façade**



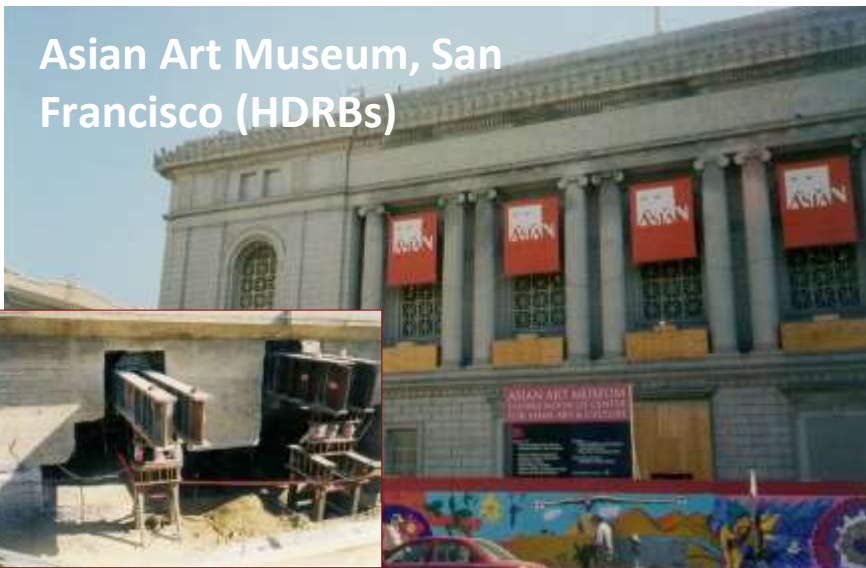
# RETROFIT DI EDIFICI STORICI CON ISOLAMENTO SISMICO

**Salt Lake City & County Bldg. (1894)  
retrofit in 1989, 447 LRBs & LDRBs,  
cost=4.4 MUS\$**



**Wellington Parliament, built in 1921 (retrofit with  
LRBs in 1992-93)**

**Asian Art Museum, San  
Francisco (HDRBs)**



**National Western Art Museum  
(Le Corbusier), Tokyo  
Retrofit with sub-foundation (1999)  
1<sup>st</sup> retrofit of museums with I.S.)**

## AKROTIRI EXCAVATIONS, SANTORINI ISLAND, GREECE

Spatial structure (11,800 m<sup>2</sup>) supported by 94 steel columns on 94 LRBs (2003)



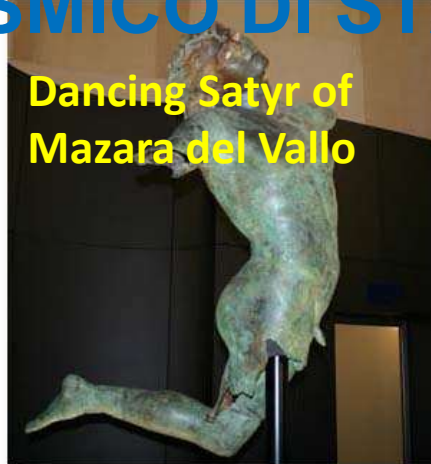
# ISOLAMENTO SISMICO DI STATUE



**Germanicus  
Emperor, Perugia**



**Bronzes of Riace**



**Dancing Satyr of  
Mazara del Vallo**



**Capestrano Warrior**  
Japanese sliding  
table with sphere  
recirculation  
isolators  
(G8 Summit, 2009,  
in L'Aquila)



**Copies of Scylla and Neptune, Messina**

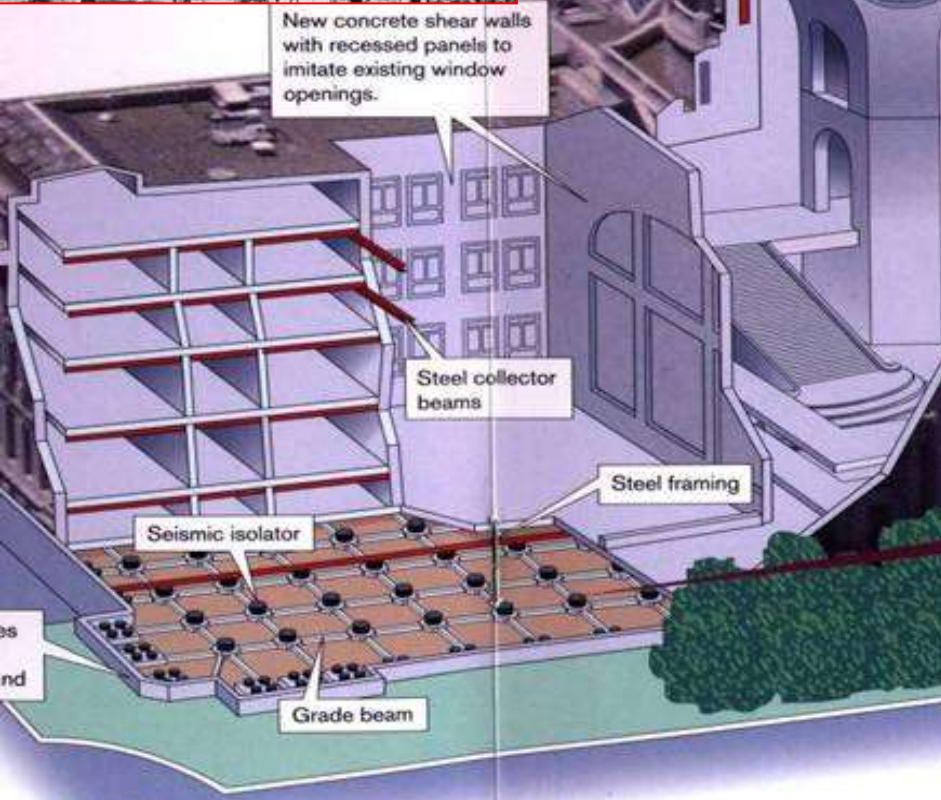
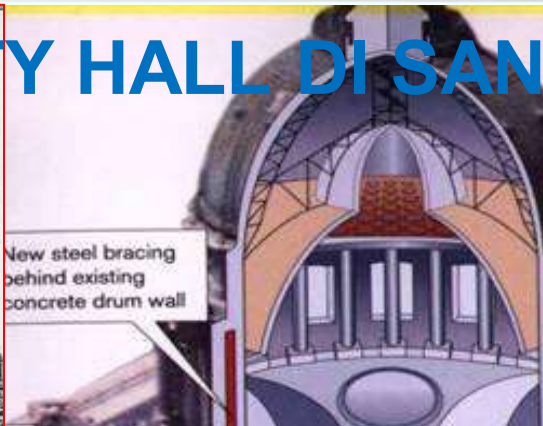


**SMADs + SDs**



**Statue in China**

# CITY HALL DI SAN FRANCISCO



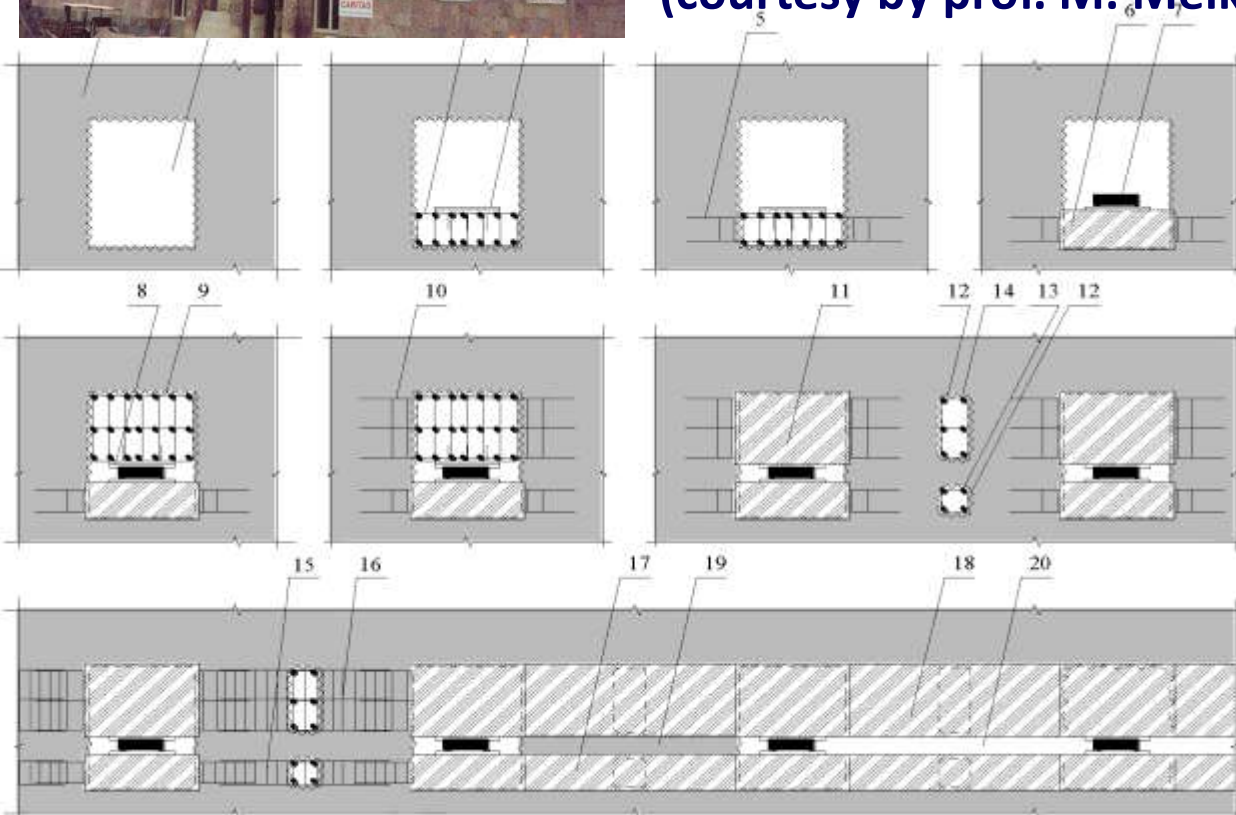
Destroyed by the earthquake of 1906  
Reconstructed in 1912  
Damaged during the earthquake of Loma Prieta in 1989  
Retrofit, 2000 (530 LRB, 62 SD)



# SCHOOL BUILDING IN VANADZOR, ARMENIA



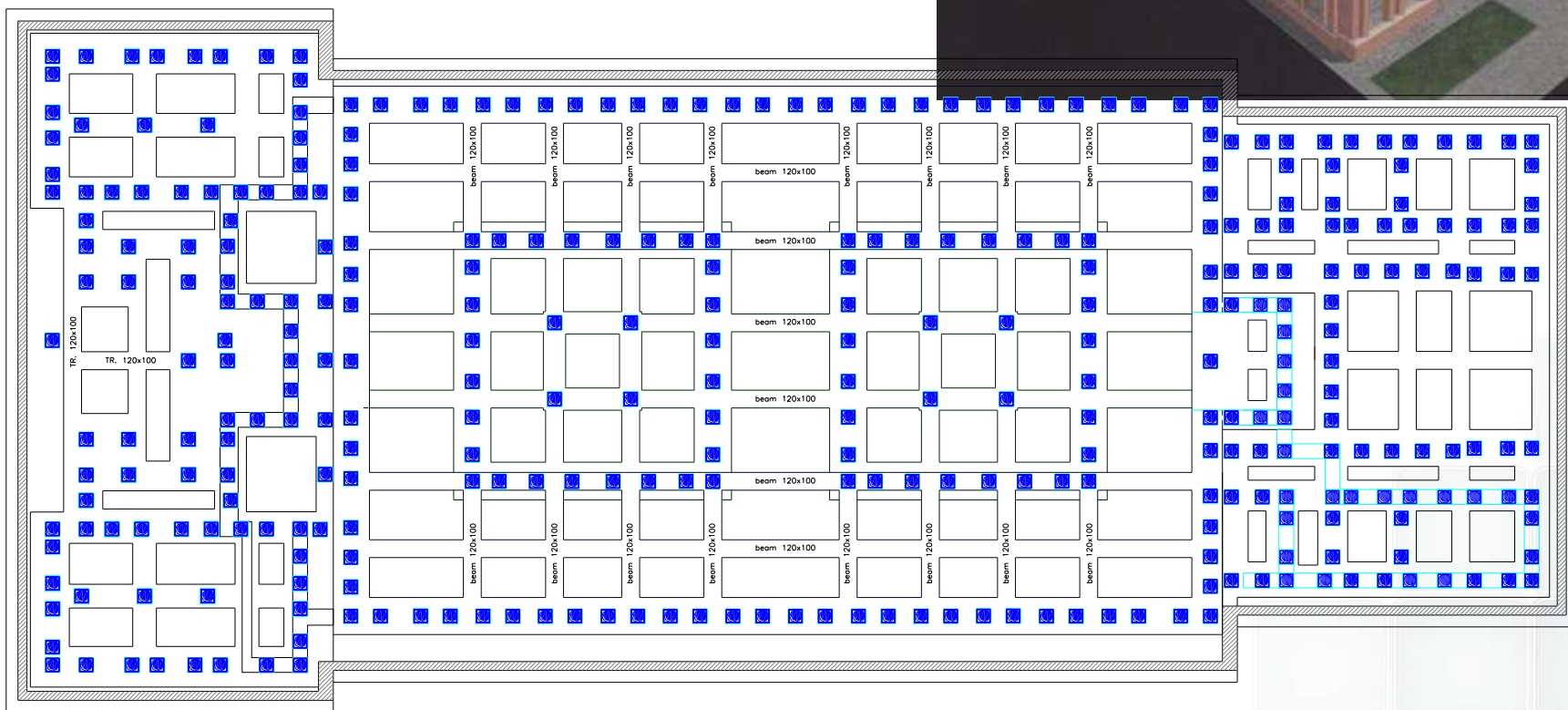
Masonry building 4 levels (55 years)  
 Retrofit, by means of “Medium Damping  
 Rubber Bearings” (MDNB),  
 2002  
 (courtesy by prof. M. Melkumyian)



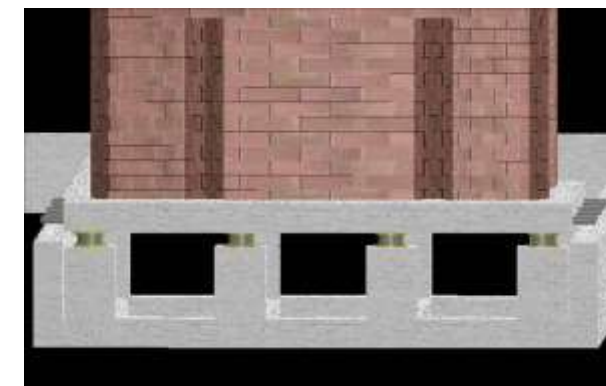
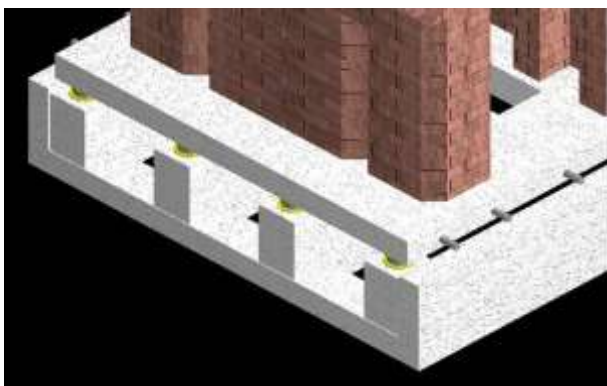
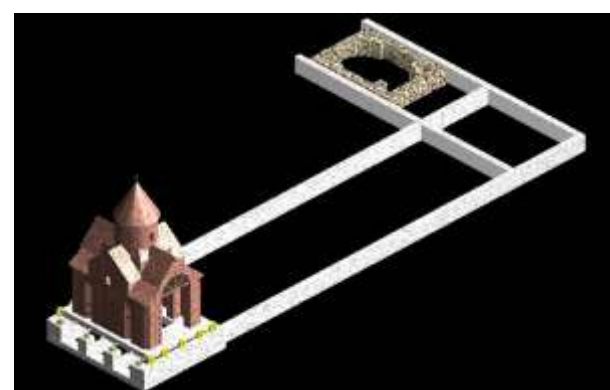
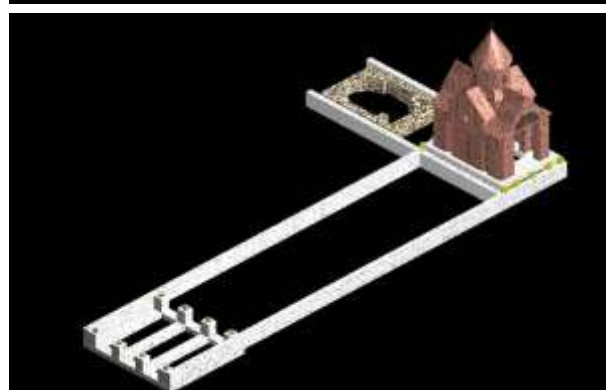
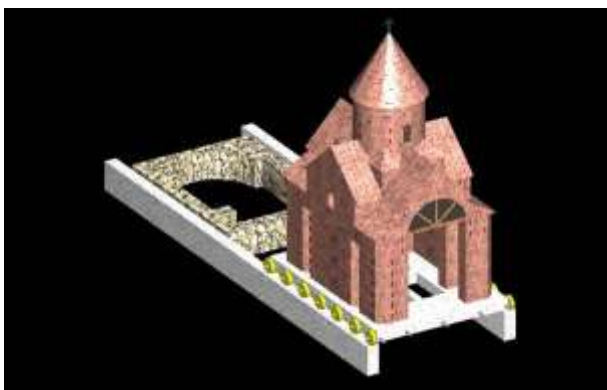
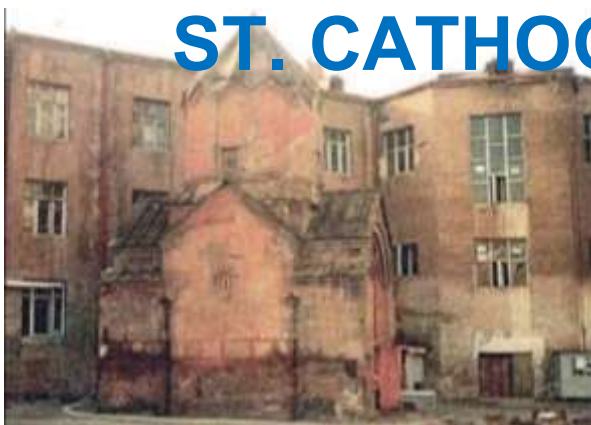
# IRAN BASTAN MUSEUM (TEHRAN)



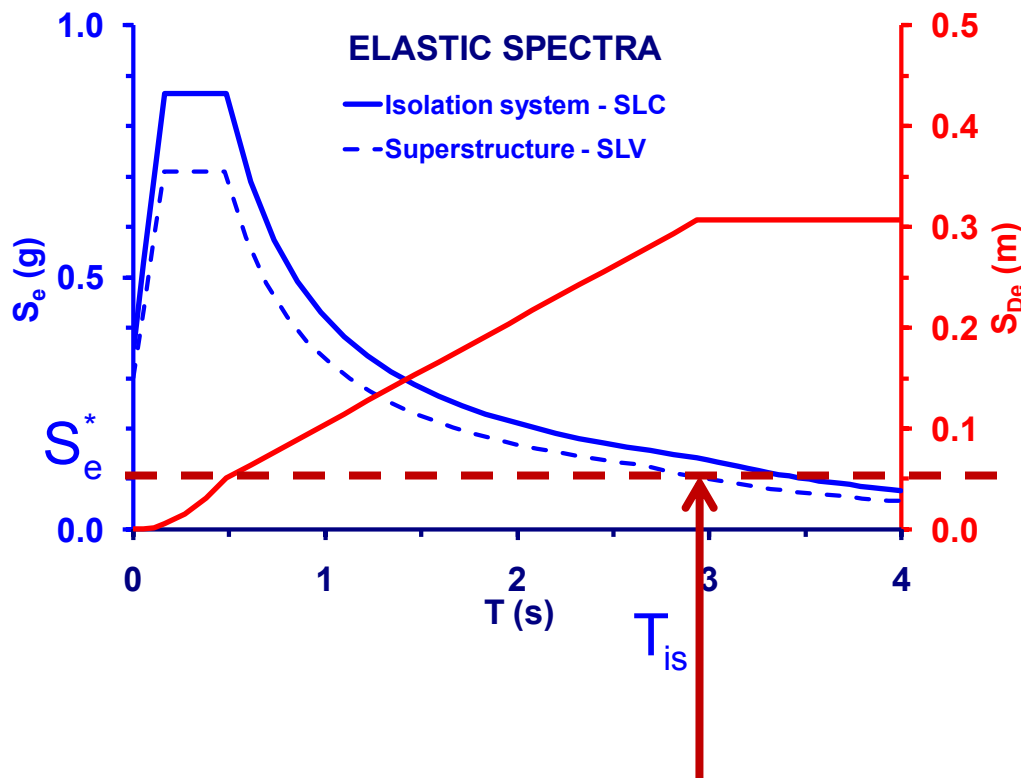
(P. Clemente, A. Santini, M.G. Ashtiany)



# ST. CATHOGHIKEH (YEREVAN, ARMENIA)



# PROGETTO PRELIMINARE: $T_{is}$



Sistema di isolamento: **SLC**

Sovrastruttura: **SLV** ( $q=1.5$ )

Fondazione: **SLV** ( $q=1$ )

$S_e^*$  = corrisponde all'azione sismica che la sovrastruttura consolidata è in grado di sopportare in campo elastico

$T_{is}$  = corrisponde a  $S_e^*$  nello spettro SLV, ma deve anche garantire

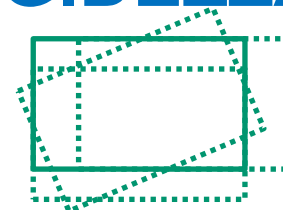
➤ Disaccoppiamento tra moto edificio e terreno

$$T_{is} \gg T_{bf}$$

➤ Spostamento compatibile con il gap disponibile

# PROGETTO PRELIMINARE: RIGIDEZZA

**Modello:** scatola rigida con molle orizzontali  
Sistema 3 DOF (2 traslazioni + 1 rotazione)



**Obiettivo:** primi 2 modi traslazionali nelle 2 direzioni principali

**HRDB:** disposti in modi che  $G_{K_{esi}} \approx G_{massa}$

**CSS:** sempre  $G_{K_{esi}} \approx G_{massa}$

**M** = massa totale  
sovrastuttura

$$T_{is} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_{esi}}}$$

$K_{esi}$  = rigidezza  
orizzontale sistema di  
isolamento

$T_{is}$  = periodo fondamentale  
edificio isolato

**HDRB:** rigidezza  
singolo isolatore

$$K_e = \frac{K_{esi}}{n}$$

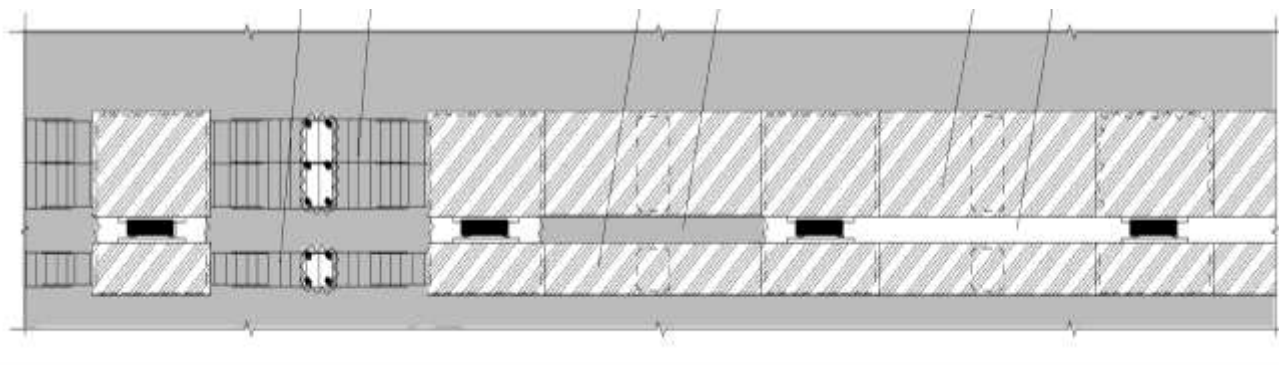
$$T_{is} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d}\right)g}}$$

**CSS:** raggio  
dispositivi

# ISOLAMENTO SISMICO IN FONDAZIONE

## Inserimento dei dispositivi:

- Nelle pareti del piano terra
- Al di sotto delle fondazioni



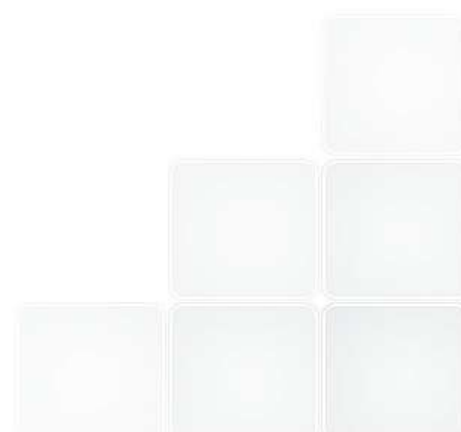
## Tale soluzione:

- Richiede lavori tradizionali
- Non è onerosa economicamente

## Ma presenta i seguenti svantaggi:

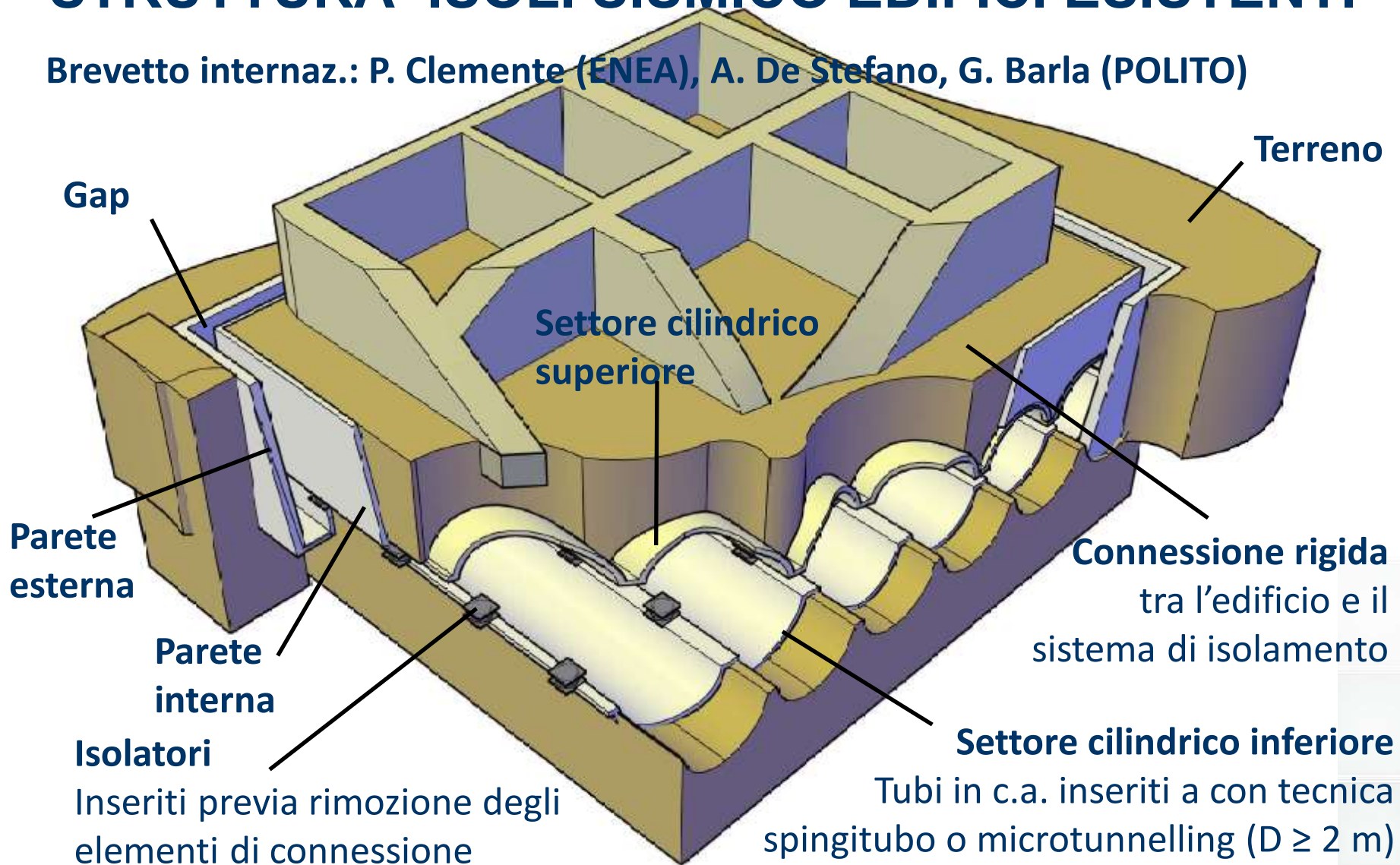
- Modifiche in fondazione
- Non è reversibile

**Non sempre applicabile in edifici storici**

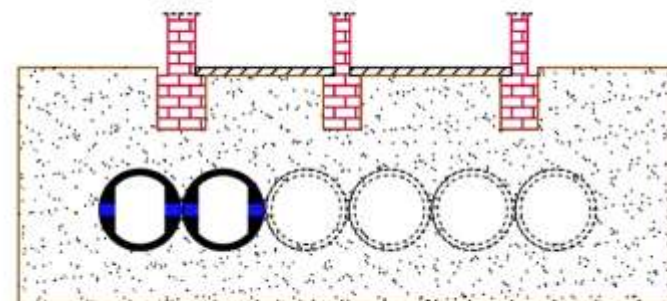
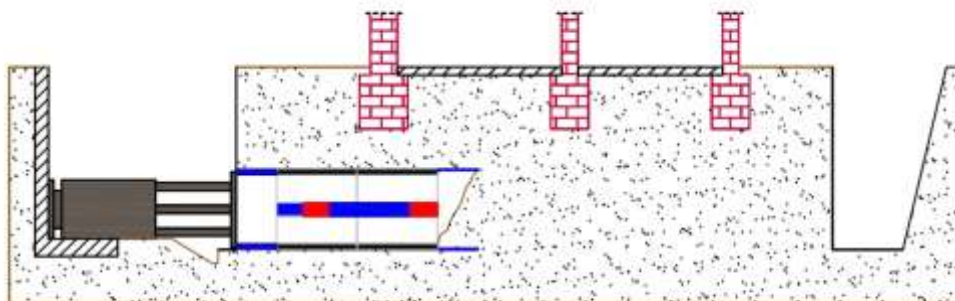


# STRUTTURA ISOL. SISMICO EDIFICI ESISTENTI

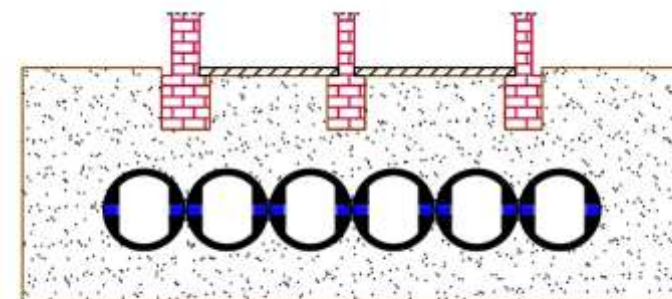
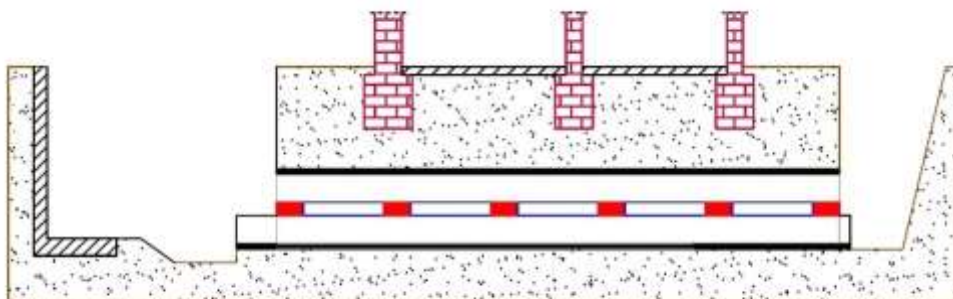
Brevetto internaz.: P. Clemente (ENEA), A. De Stefano, G. Barla (POLITO)



## SISEB: INSERIMENTO DEI TUBI

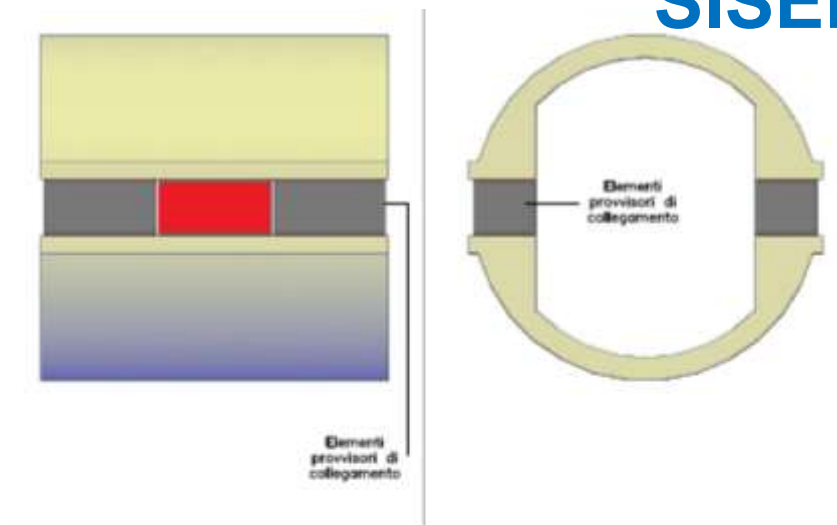


- Scavo trincea
- Inserimento tubi mediante spingitubo o micro-tunnelling (no dig techniques – diametro tubi  $\geq 2$  m, per consentire l'ispezione)



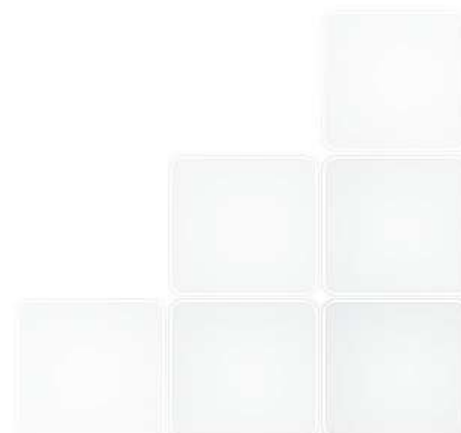
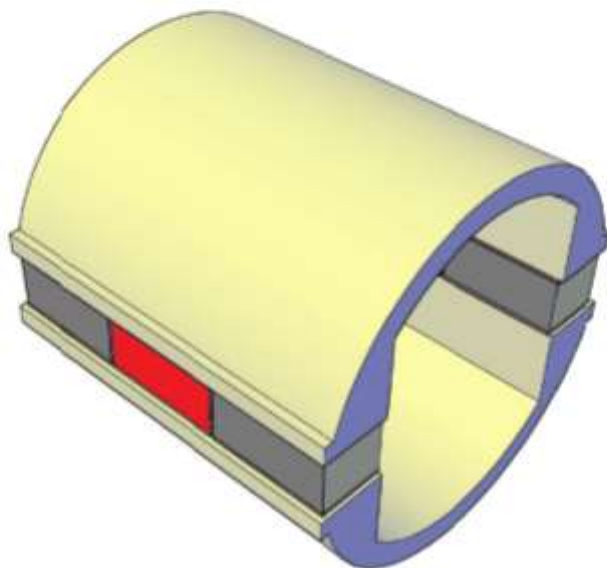


## SISEB: TUBI

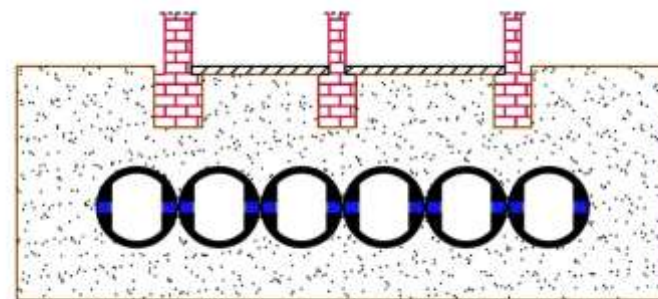
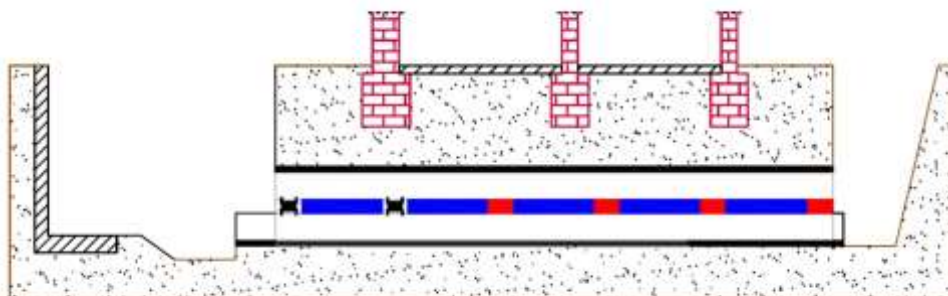


- Forma particolare
- Composti da settori circolari inferiori e superiori connessi mediante elementi removibili:

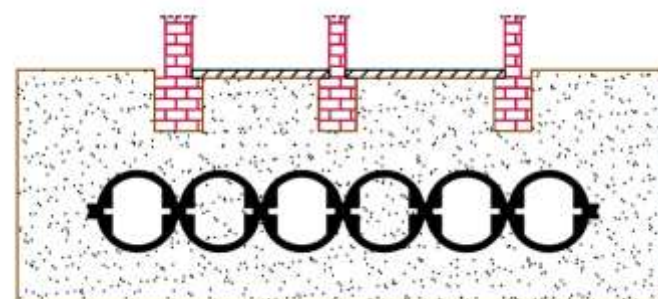
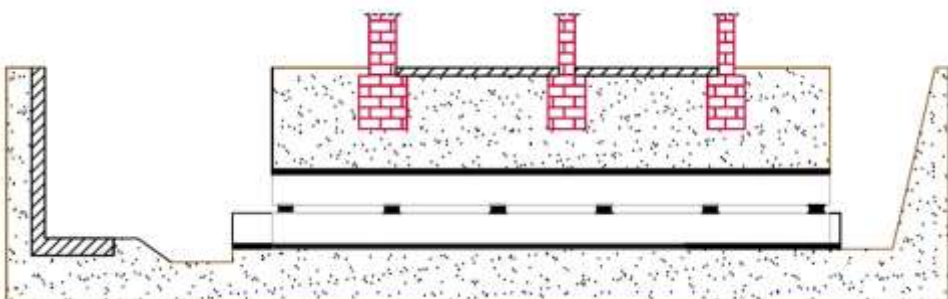
- **Elementi rossi: sostituiti dagli isolatori**
- **Elementi grigi: da rimuovere**



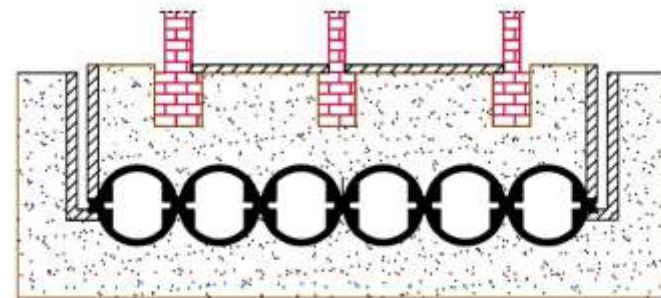
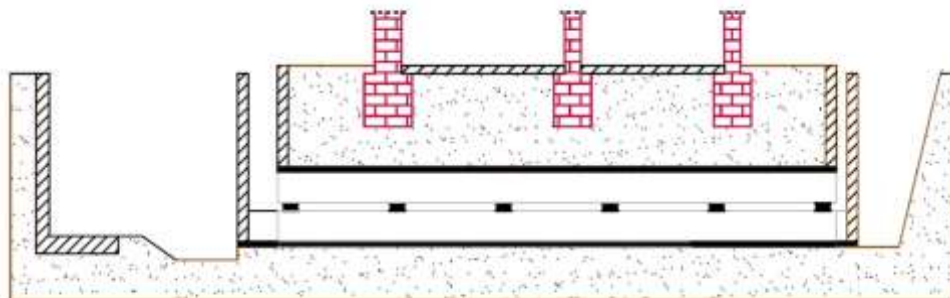
## SISEB: ISOLATORI



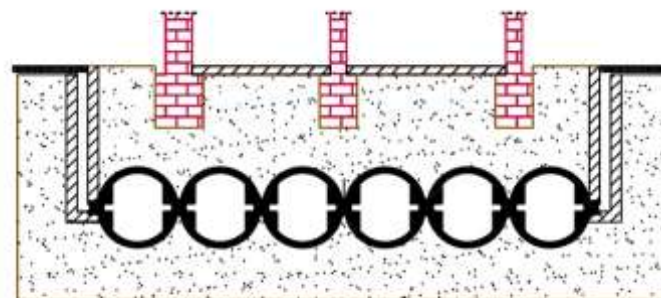
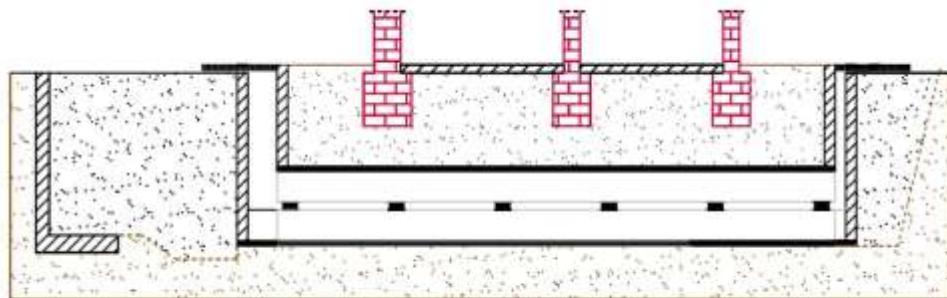
- **Rimozione elementi rossi**
- **Connessione tubi adiacenti con elementi in c.a. o acciaio**
- **Posizionamento dei dispositivi di isolamento**
- **Rimozione elementi grigi**



## SISEB: PARETI



- Pareti verticali
- Irrigidimento terreno o connessioni rigide tra edificio e sistema di isolamento



# CASE STUDY: PALAZZO MARGHERITA (PM)

Attenzione a:      **Vibrazioni indotte**  
                                 **Cedimenti del suolo**

- ✓ **Caratterizzazione dinamica**
- ✓ **Miglioramento sismico convenzionale per sopportare almeno 0.05g**
- ✓ **Isolamento sismico**



# PALAZZO MARGHERITA: PLANIMETRIA



# PALAZZO MARGHERITA: DANNI

Deck  
collapsed



Stairs



Tower



Overturnig of external  
wall

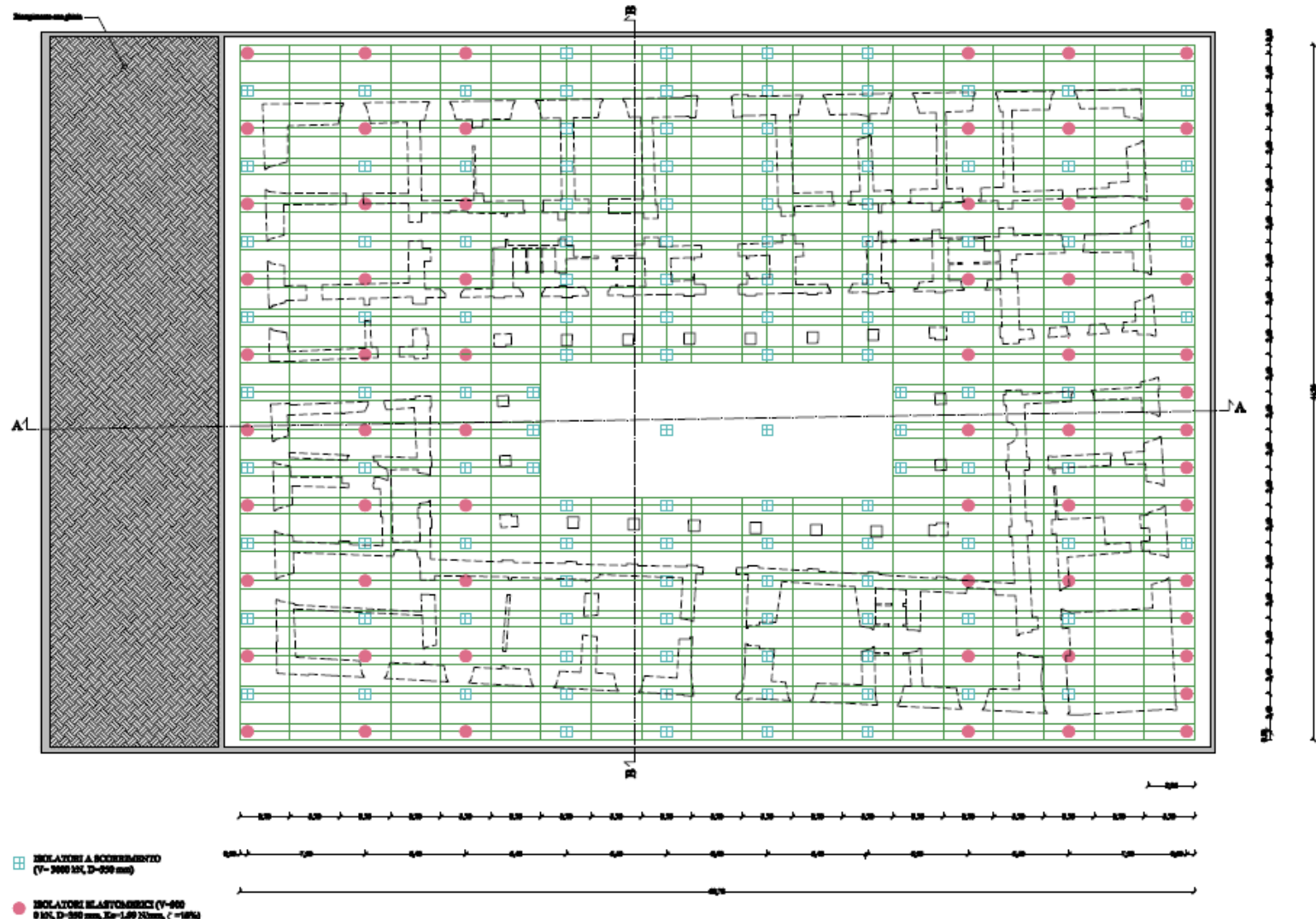


Shear collapse



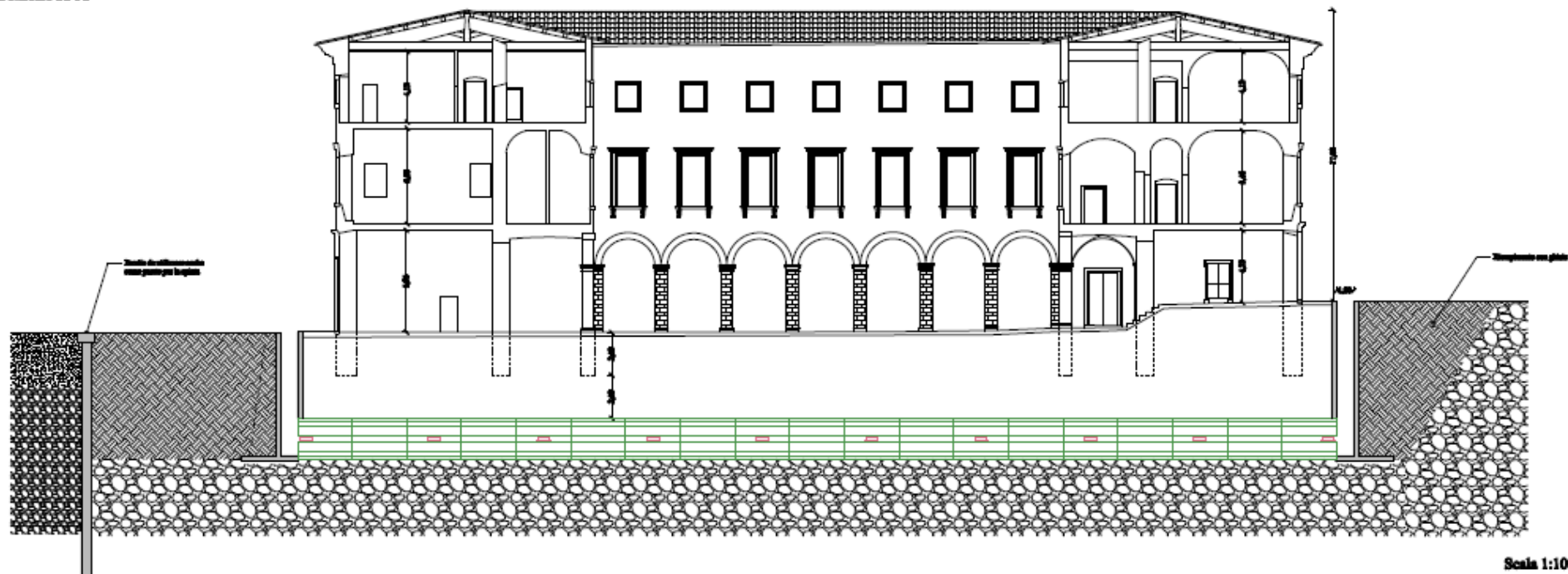
# PALAZZO MARGHERITA - PIANTA

Pianta intervento di isolamento sismico



# PALAZZO MARGHERITA - SEZ. LONGITUDINALE

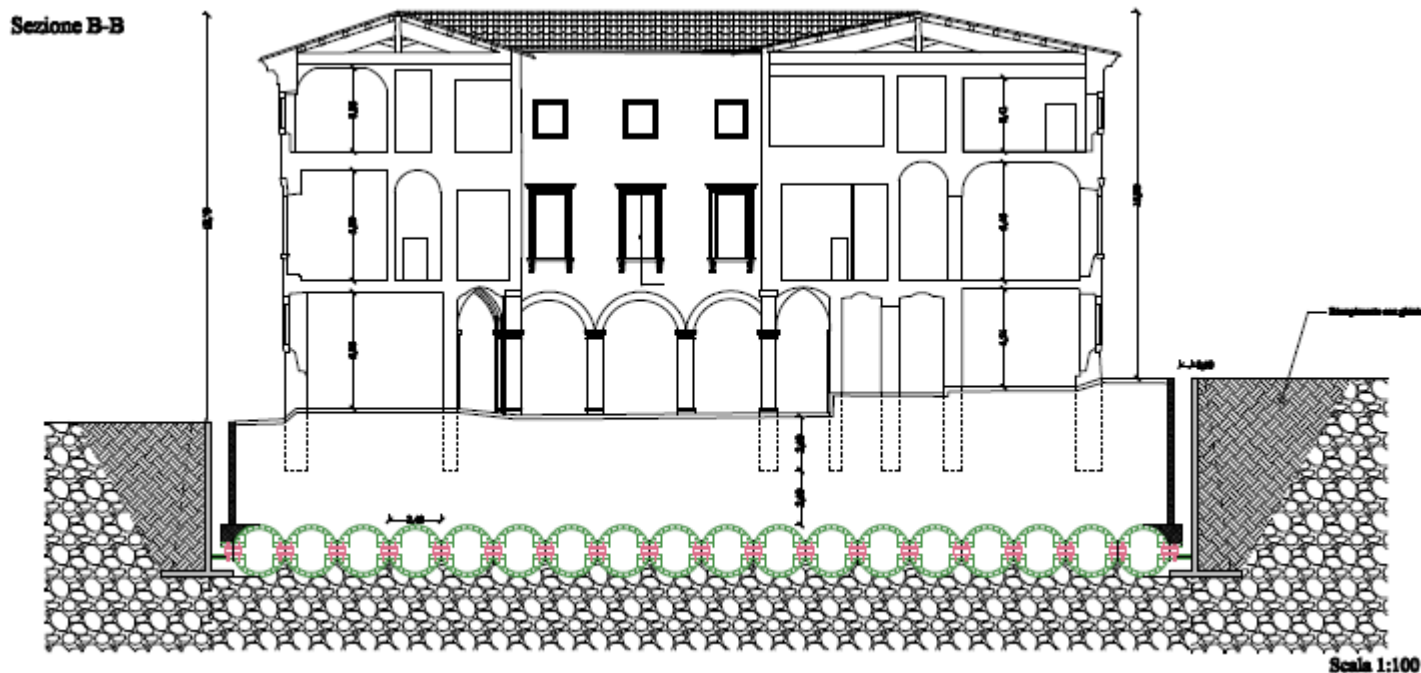
Sezione A-A



Scala 1:100



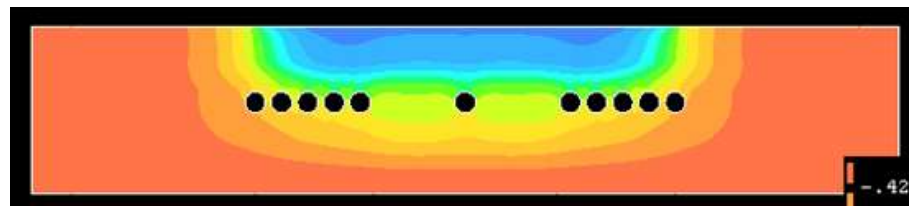
# PALAZZO MARGHERITA - SEZ. TRASVERSALE



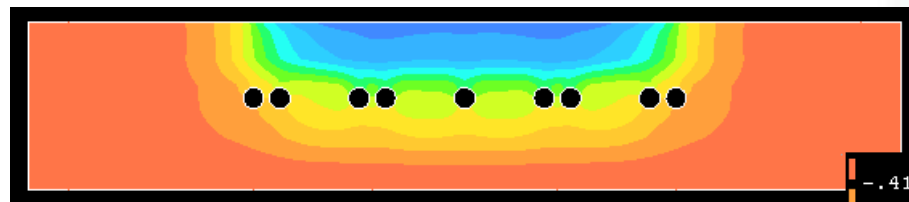
# CEDIMENTI

$\lambda = 0.4$  and  $H/D = 3.5$  ( $H$  = depth of the pipe axis,  $D$  = pipe diameter)

- **Strategy 1:** one central pipe first, then the two most external ones and all the other from the external pipes to the centre
- Easier to apply, Effect on soil adaptation is not so smooth and regular
- Settlement = 6.8 mm



- **Strategy 2:** one central pipe first, then the two most external ones; other pipes are then inserted in intermediate positions, regularly spaced, filling gradually the layer
- More regular advancement
- Settlement = 5.6 mm



**Larger  $H/D$  ratio:** reduces the problem but increases the cost of the trenches

**Technologies to contrast the settlements:** exist, are consolidated, but push the cost up

# CONCLUSIONI

## Progettazione

- Terremoto con  $P = 2\%$  in 50 anni o MCE
- Fattore di struttura solo per valori di  $S_e$  molto alti

## Edifici storici

- non idonei a ospitare strutture strategiche o di particolare rilevanza (scuole, ospedali, ecc.) se non adeguati sismicamente

## Nuovo sistema di adeguamento sismico degli edifici esistenti

- piattaforma isolante sotto le fondazioni
- Edifici singoli ma anche strutture complesse, come i centri storici
- Tunnel per passaggi di pedoni e/o veicoli o per parcheggi
- Adeguamento sismico di impianti chimici e nucleari

**FINE**

**Grazie  
per l'attenzione**

