



# Handling Exceptions in Structural Engineering

Sistemi Strutturali, Scenari  
Accidentali, Complessità di Progetto

Roma 8-9 Luglio 2010

## ADEGUAMENTO SISMICO DI EDIFICI ESISTENTI MEDIANTE ISOLAMENTO ALLA BASE

Ing. Vincenzo Nunziata

Ogni terremoto ha la sua intensità o forza

# 1) TERREMOTI DI BASSA INTENSITA'

(SLD, NTC 2008) magnitudo Richter :  $M \leq 5$

Handling Exceptions in Structural Engineering



Ing. Vincenzo Nunziata

Ogni terremoto ha la sua intensità o forza

## 2) TERREMOTI DI MEDIA INTENSITA'

(SLV, NTC 2008) magnitudo Richter :  $5 < M \leq 6,5$

Medi spostamenti



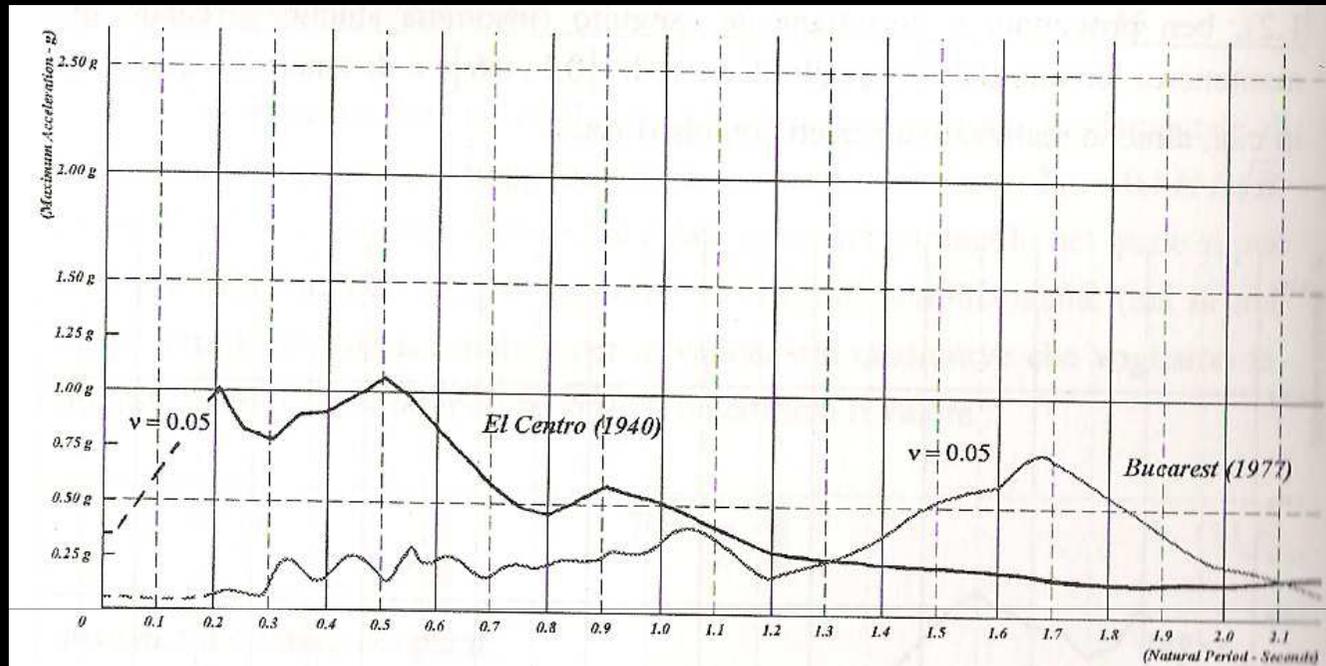
Ogni terremoto ha la sua intensità o forza

### 3) TERREMOTI DI ELEVATA INTENSITA'

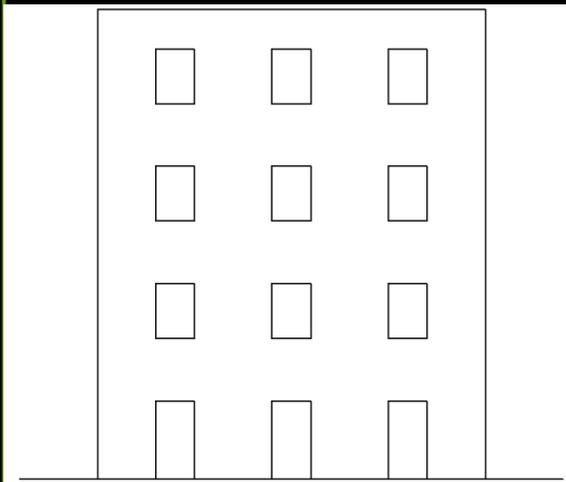
(SLC, NTC 2008) magnitudo Richter :  $M > 6,5$



# Ogni terremoto ha la sua "forma" o spettro di risposta

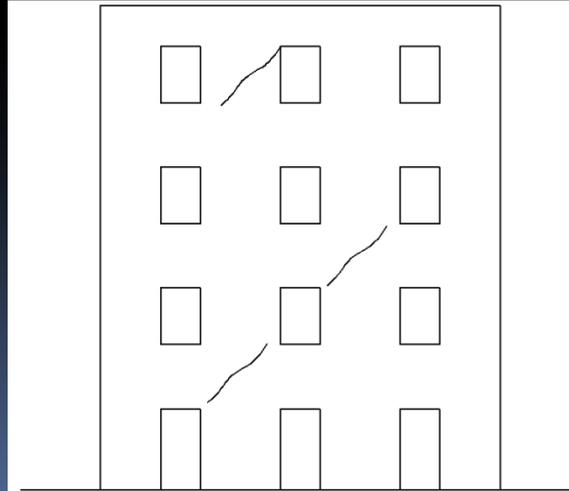


PRIMA

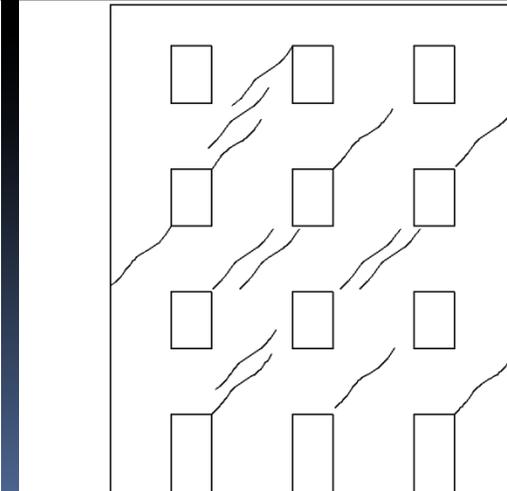


Edificio  $T=0,5$  s

DOPO



Bucarest 1977,  $a/g \approx 0,1$



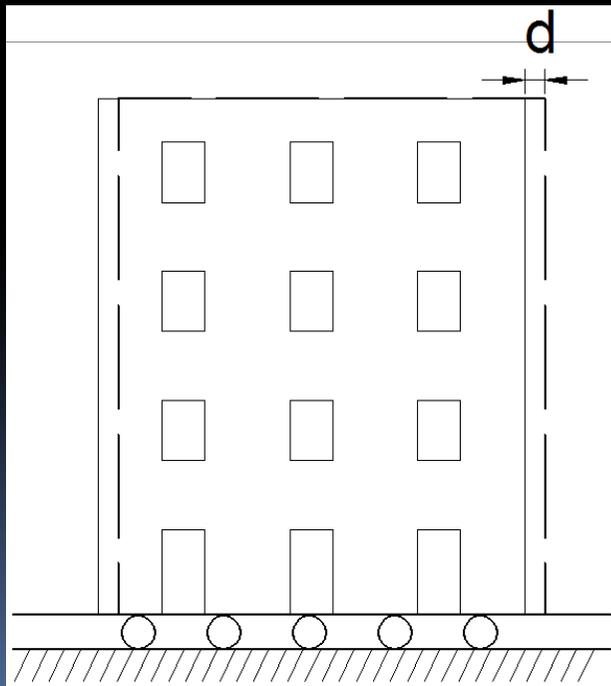
El Centro 1940,  $a/g \approx 1$

# Cosa fare ...

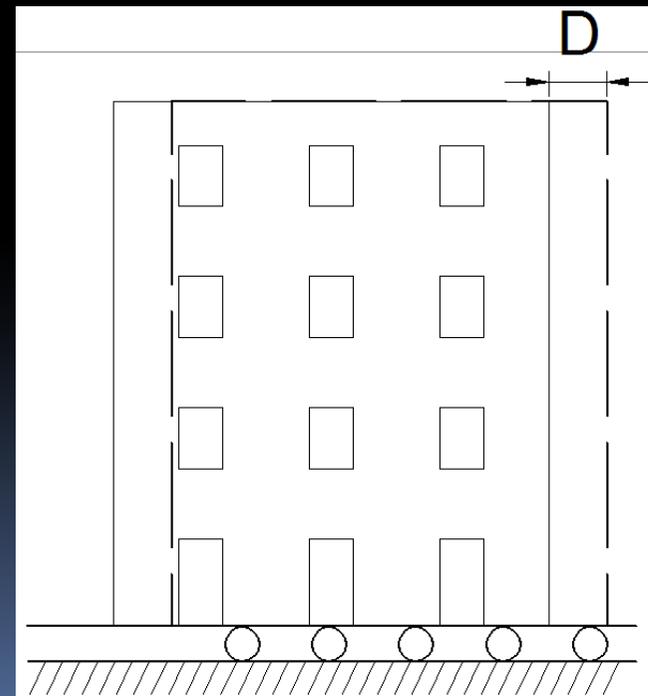


*Eureka*

Handling Exceptions in Structural Engineering



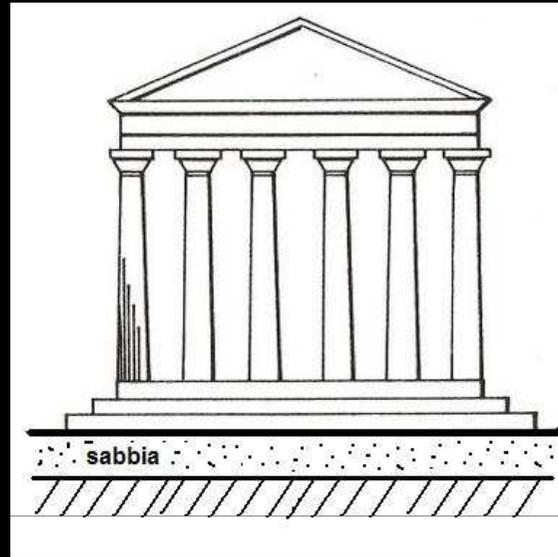
Bucarest 1977,  $a/g \approx 0,1$



El Centro 1940,  $a/g \approx 1$

# ISOLAMENTO SISMICO

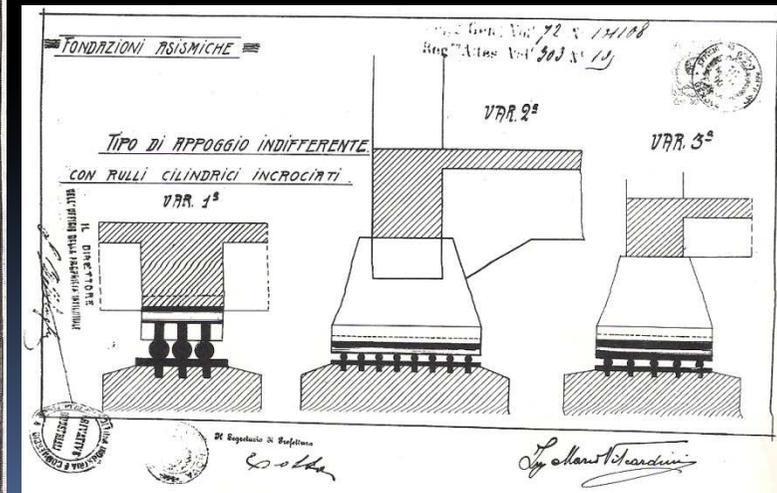
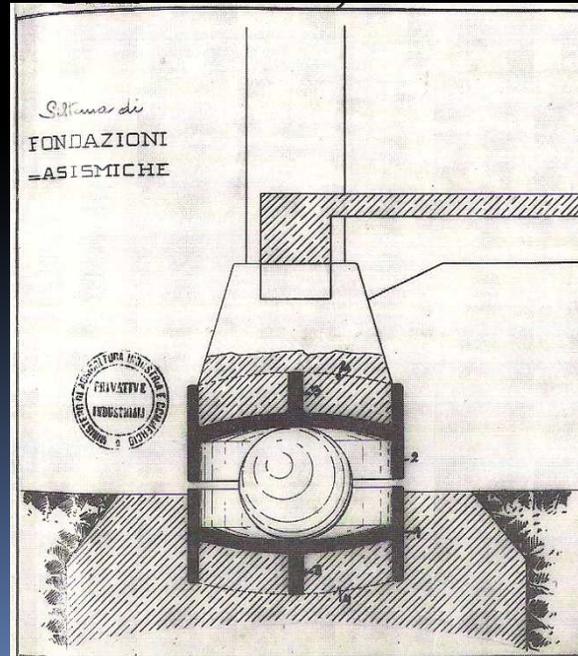
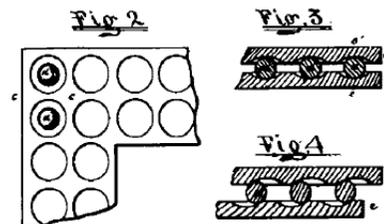
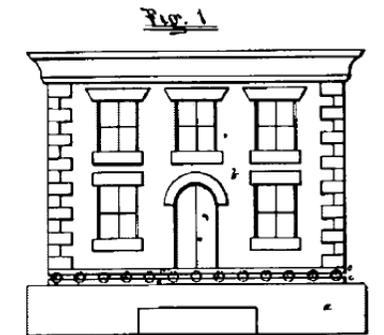
*Uno sguardo al passato ...*



*Vitruvio (80/70 a.C. – 23 a. C.):  
“De Architettura”  
Opportuno  
“... Costruire i templi su strati di sabbia ...”*

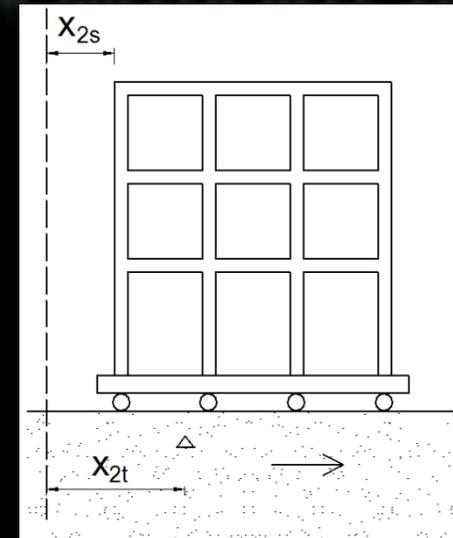
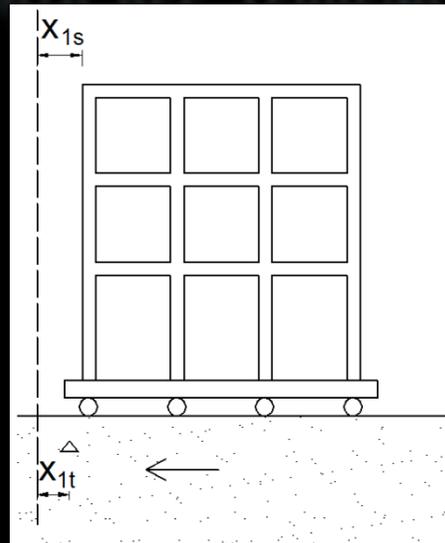
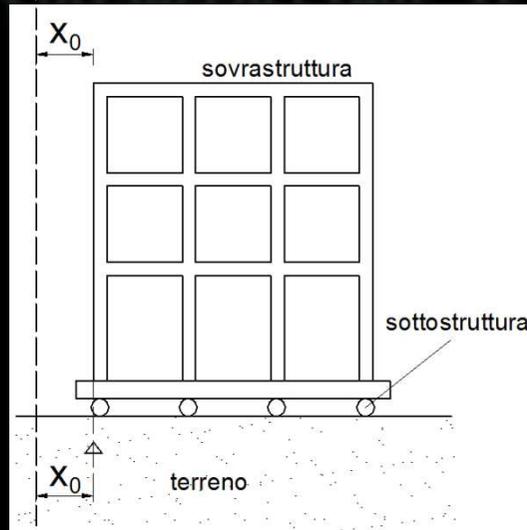
Handling Exceptions in Structural Engineering

*Building.  
No. 99,973. Patented Feb. 15, 1870.*

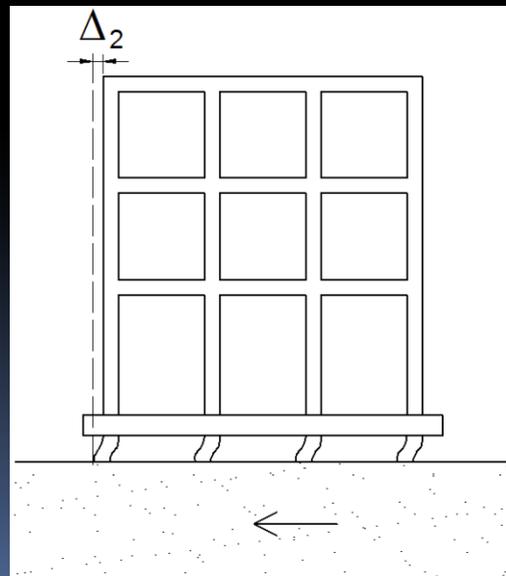
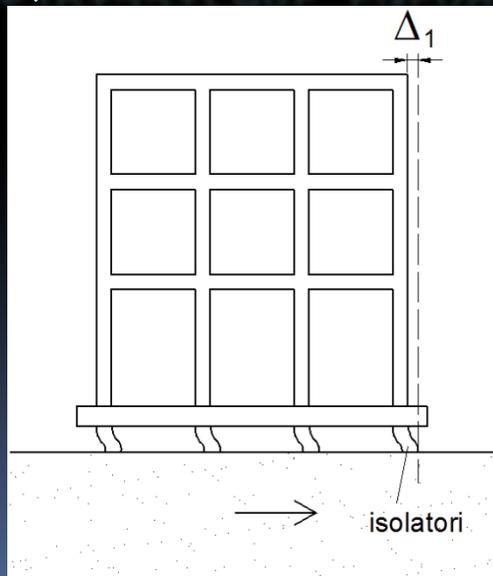


# I PRINCIPI DELL'ISOLAMENTO

## 1) DISACCOMPIARE IL MOTO DEL TERRENO DA QUELLO DELL'EDIFICIO



## 2) DISSIPARE ENERGIA

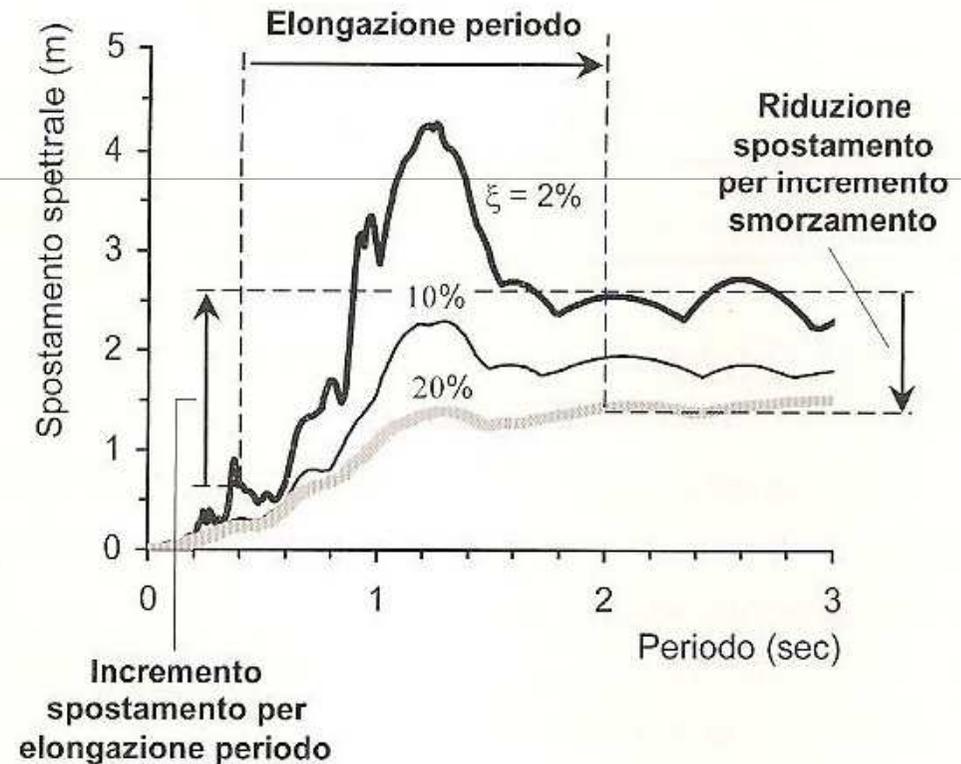
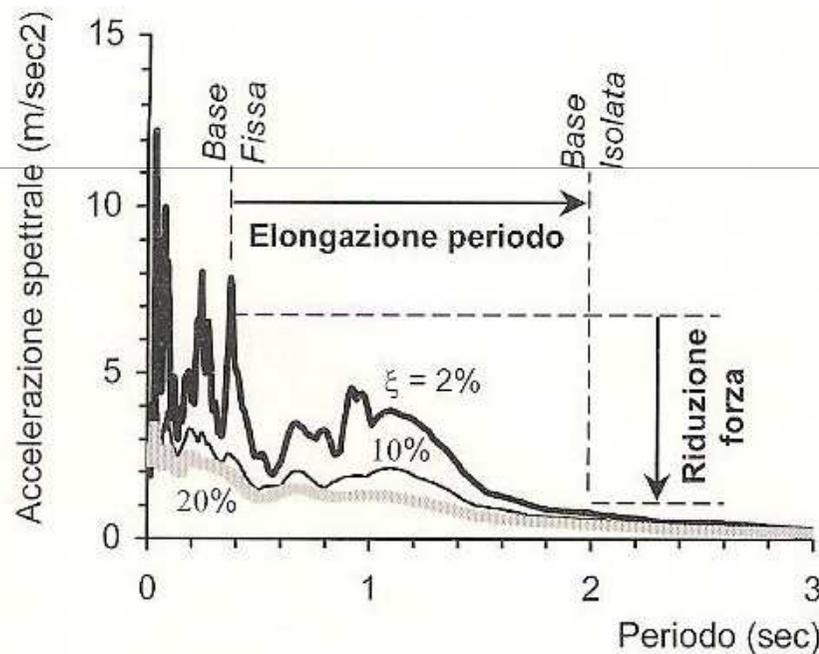


# I PRINCIPI DELL'ISOLAMENTO

OVVERO:

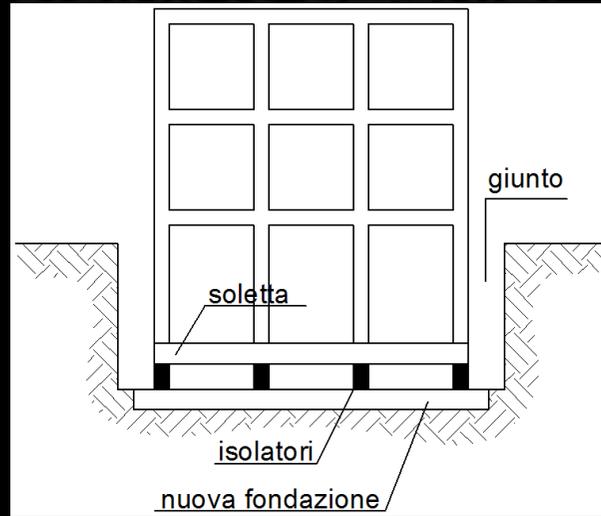
1) INCREMENTARE IL PERIODO PROPRIO FONDAMENTALE  $T$  DELLA STRUTTURA

2) INCREMENTARE LO SMORZAMENTO  $\xi$  DELLA STRUTTURA

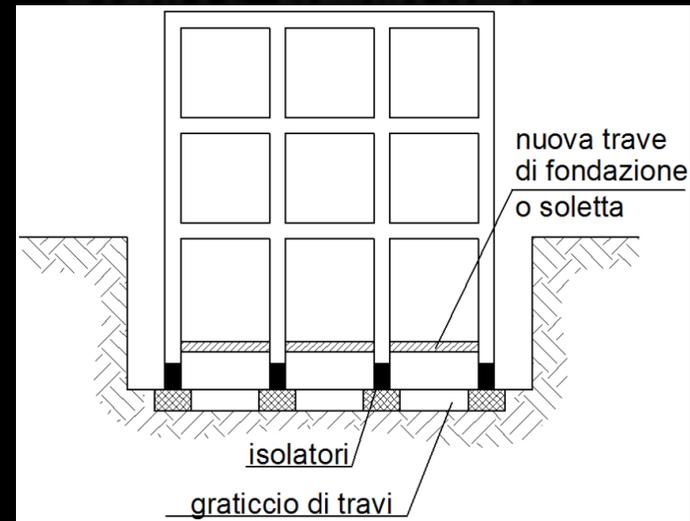


# DISPOSIZIONE ISOLATORI NEGLI EDIFICI

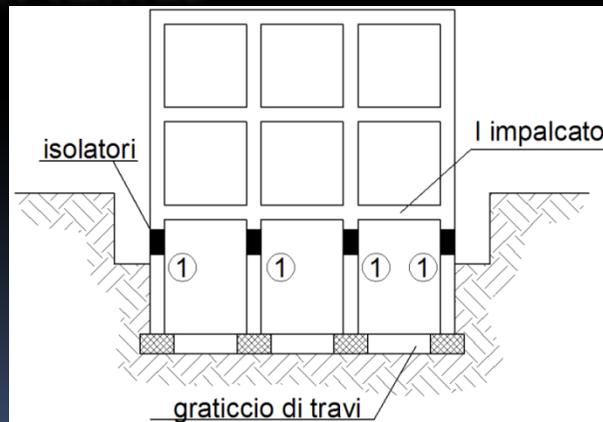
## A) SOTTO LE FONDAZIONI



## B) SULLE FONDAZIONI



## C) ALLA TESTA DEI PILASTRI DEL PRIMO ORDINE

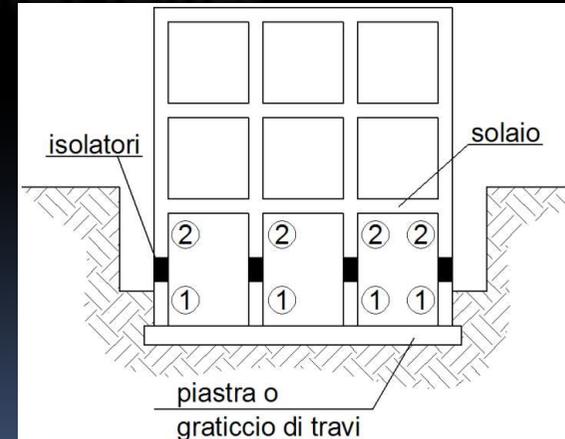


$$\textcircled{1} \quad \Delta_{\text{pil}} < \frac{1}{20} \Delta_{\text{isol}}$$

↑ Spost. orizzontale isolatore

↑ Spost. relativo

## D) AL CENTRO DEI PILASTRI DEL PRIMO ORDINE



$$\textcircled{1} \quad \Delta_{\text{pil}} < \frac{1}{20} \Delta_{\text{isol}}$$

$$\textcircled{2}$$

## BENEFICI DELL'ISOLAMENTO

1) RIDUZIONE DELLE ACCELERAZIONI TRASMESSE ALLA SOVRASTRUTTURA

2) RIDUZIONE DEGLI SPOSTAMENTI D'INTERPIANO

Ciò consente:

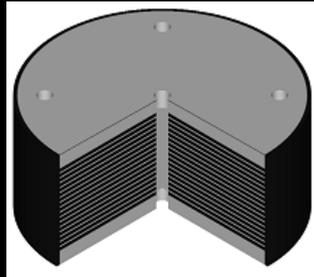
- ➔ *Evitare qualsiasi danno degli elementi strutturali; la struttura si mantiene in campo elastico e può essere progettata **senza applicare i criteri di gerarchia delle resistenze** ;*
- ➔ *Evitare anche il danno degli elementi non strutturali;*
- ➔ *Mantenere la funzionalità dell'edificio;*
- ➔ *Ridurre il panico degli occupanti.*

# TIPI DI ISOLATORI SISMICI

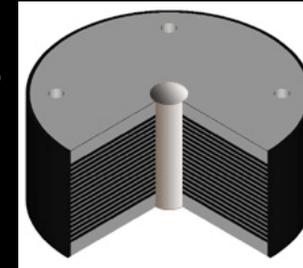
## ELASTOMERICI

- *a basso smorzamento - LDRB*
- *con inserto in piombo - LRB*
- *elevato smorzamento - HDRB*

Isolatore LDRB

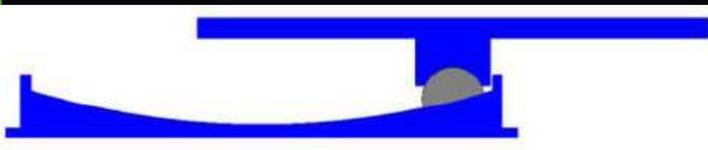


Isolatore LRB

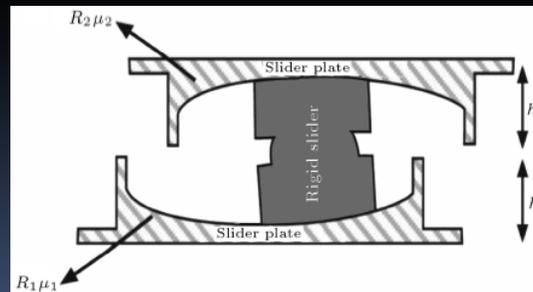


## A PENDOLO SCORREVOLE

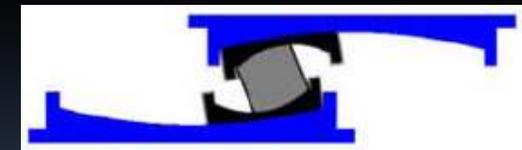
- *a singola curvatura*
- *a doppia curvatura*
- *(a tripla curvatura)*



a singola curvatura



a doppia curvatura



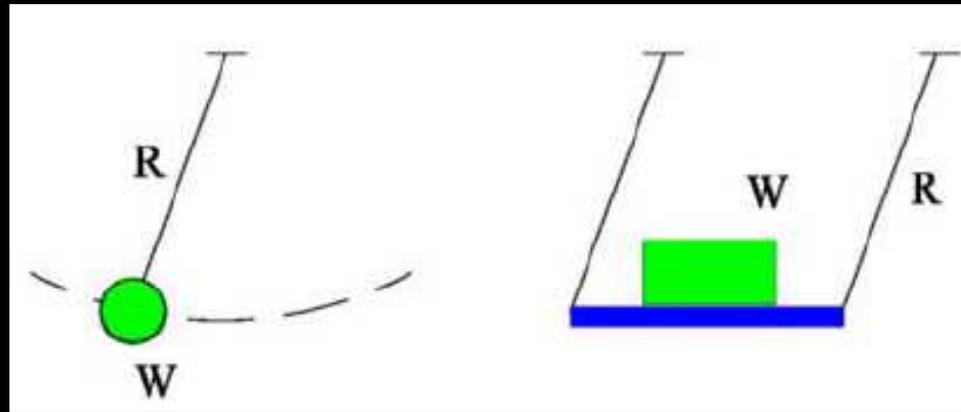
a tripla curvatura

# ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE

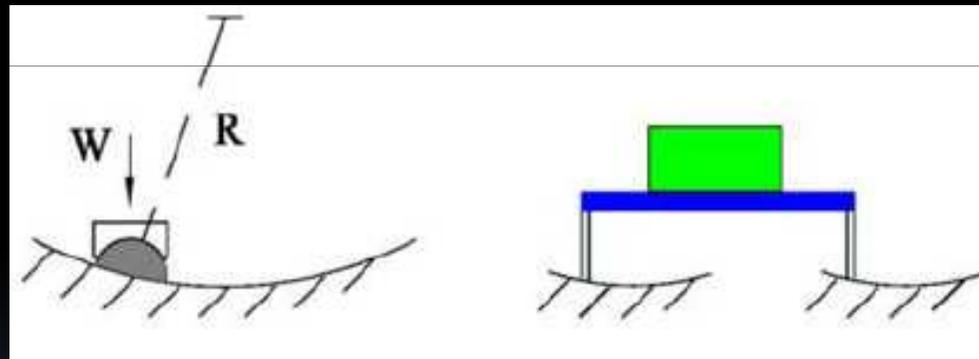
## CARATTERISTICHE :

- ➔ *Permettono lo spostamento relativo della struttura rispetto alle fondazioni, secondo una, due o più superfici sferiche;*
- ➔ *Il raggio di curvatura della o delle superfici sferiche determina il periodo proprio di vibrazione della struttura;*
- ➔ *Il periodo proprio è indipendente dalla massa della struttura;*
- ➔ *L'attrito della superficie di scorrimento, determina lo smorzamento viscoso equivalente;*
- ➔ *Il baricentro delle rigidità coincide con quello delle masse della sovrastruttura;*
- ➔ *Sono auto - ricentranti dopo un evento sismico.*

# PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



**PENDOLO SEMPLICE**

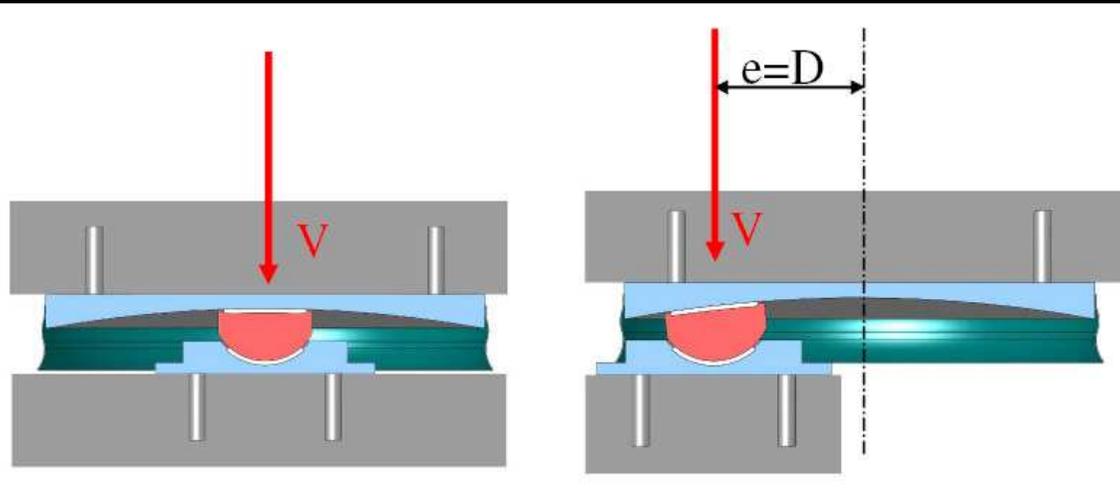


**PENDOLO CURVO**

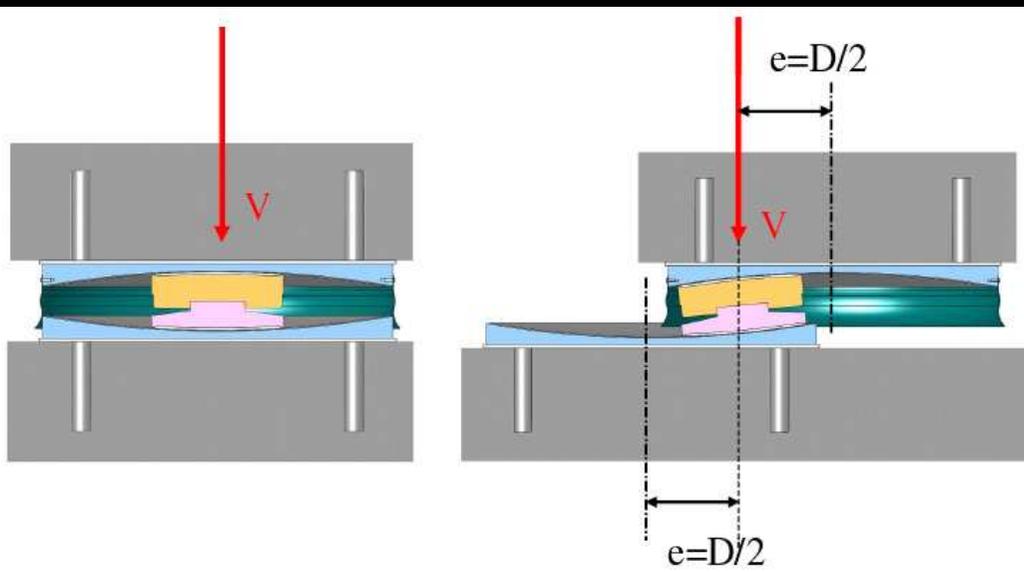
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad K = \frac{W}{R}$$

*Continua ...*

# PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

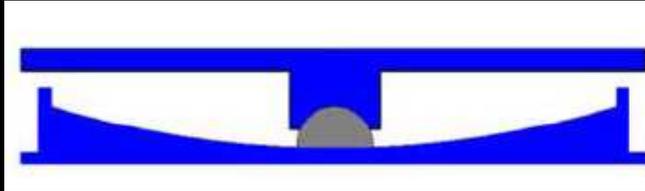


*Spostamento della risultante con un isolatore a pendolo scorrevole dotato di una superficie di scorrimento*

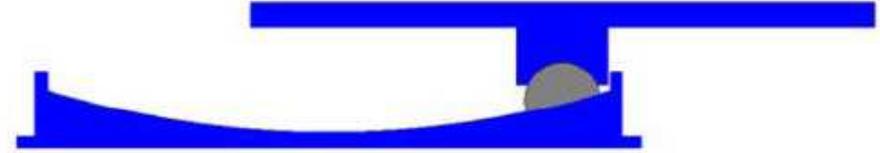


*Spostamento della risultante con un isolatore a pendolo scorrevole dotato di due superfici di scorrimento*

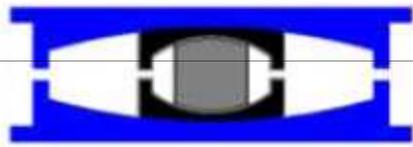
# INNOVAZIONI: Triplo Pendolo



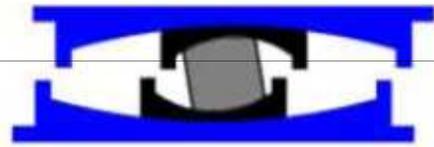
*Single Pendulum Bearing  
Cross Section*



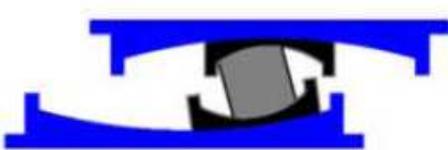
*Single Pendulum Bearing  
Maximum Credible Earthquake*



*Triple Pendulum Bearing  
Center Position*



*Inner Pendulum Motion  
Service Level Earthquake*



*Lower Pendulum Motion  
Design Basis Earthquake*



*Upper Pendulum Motion  
Maximum Credible Earthquake*

***Raffronto tra singolo e triplo pendolo e risposta alle varie intensità del sisma***

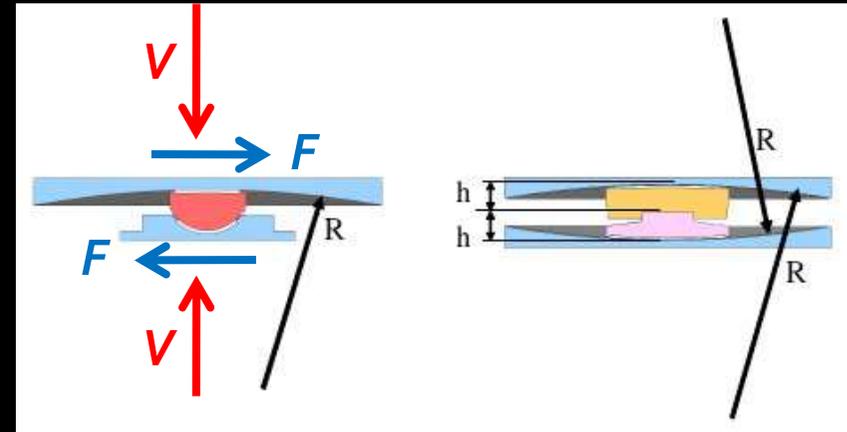
# INNOVAZIONI: Triplo Pendolo



# MODELLAZIONE MATEMATICA

## Detti:

- $T$  periodo proprio di vibrazione trascurando l'attrito
- $T_{eff}$  periodo effettivo
- $g$  accelerazione di gravità
- $\mu$  coefficiente di attrito dinamico
- $V$  carico verticale
- $D$  spostamento di progetto
- $K_{eff}$  rigidità efficace
- $\xi$  smorzamento viscoso equivalente
- $h$  distanza fra il centro dell'articolazione e le superfici sferiche per gli isolatori a due superfici



$$F = \mu V + \frac{VD}{R}$$

Per gli isolatori **ad una** superficie di scorrimento

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad K_{eff} = \frac{V}{R} + \frac{\mu V}{D} = \frac{F}{D}$$

$$T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{V}{gK_{eff}}} \quad \xi = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} \right]$$

Per gli isolatori **a due** superfici di scorrimento

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2(R-h)}{g}}$$

Le altre espressioni per gli isolatori a due superfici, sono **affini a quelle per l'isolatore ad una superficie** prendendo al posto di  $R$ , l'espressione  $2(R-h)$

# MODELLAZIONE STRUTTURALE

## STEP 1:

Calcolo  $K_{eff} = \frac{V}{R} + \frac{\mu V}{D}$      $T_{eff} = 2\pi\sqrt{\frac{V}{gK_{eff}}}$      $\xi = \frac{2}{\pi} \left[ \frac{\mu}{\mu + \frac{D}{R}} \right]$

➔ **DATI:**  $V = G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$  ;  $\mu$  ;  $R$

➔ **INCOGNITE:**  $D$

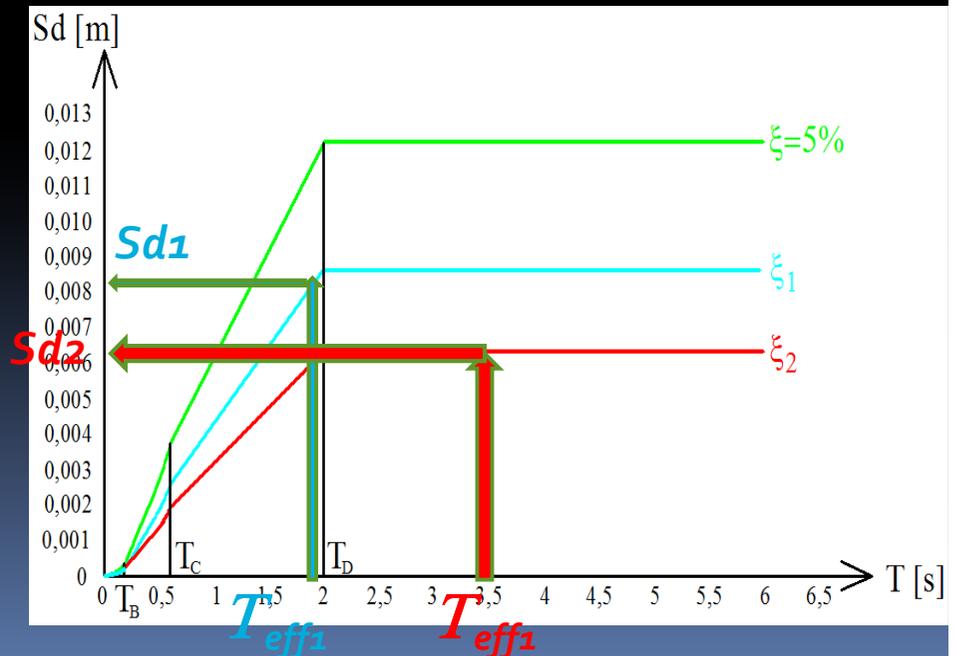
➔ **PROCEDIMENTO ITERATIVO**

SPETTRO SPOSTAMENTO

$D_{tentativo} \longrightarrow T_{eff1} ; \xi_1 \longrightarrow$

$S_{d1} \neq D_{tent.} \longrightarrow S_{d1} \longrightarrow T_{eff2} ; \xi_2$

$S_{d2} = S_{d1} \longrightarrow D = S_{d2}$



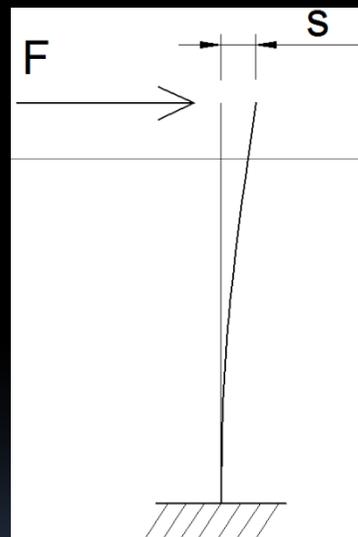
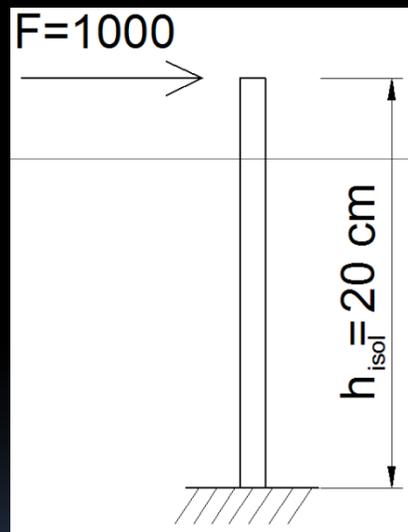
# MODELLAZIONE STRUTTURALE

## STEP 2: Definizione Elemento Isolatore Equivalente

➔ **DATI:**  $K_{eff}$

➔ **INCOGNITE:** Elemento Beam equivalente

➔ **CALCOLO**



$$K = \frac{F}{s} \quad \alpha = \frac{K_{eff}}{K}$$

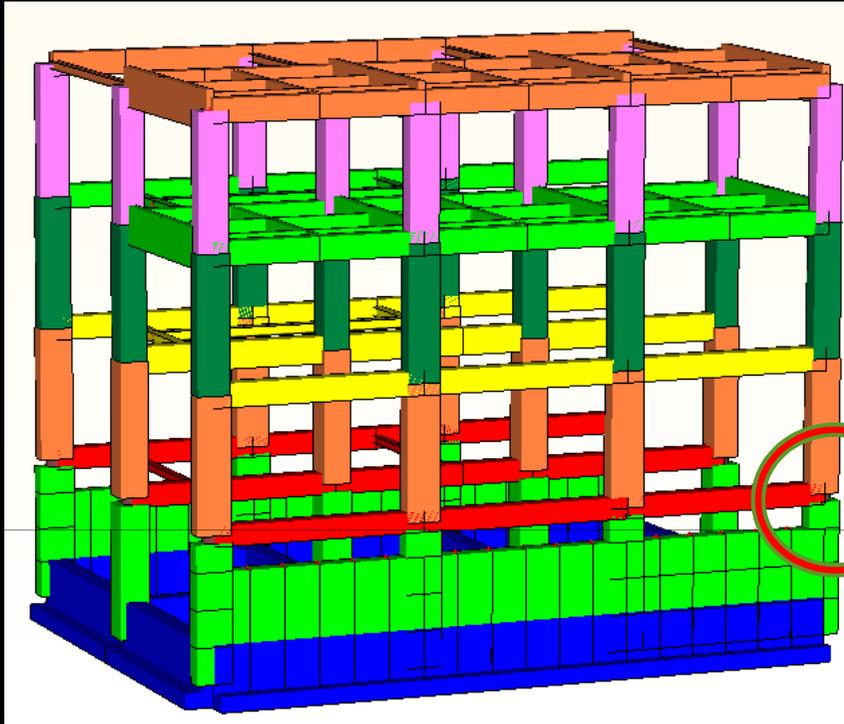
**MATERIALE GENERICO**

$\nu=0$  ; peso=0 ;  
 $E \approx 3000 \div 5000$  daN/cmq

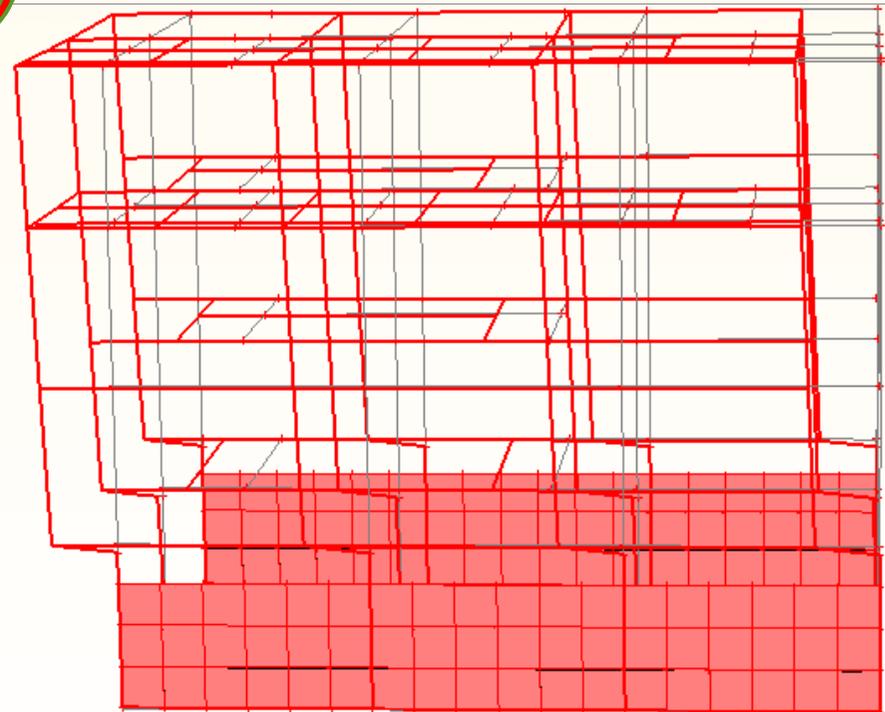
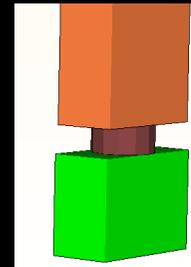
$\alpha$  = rigidezza flettente e  
tagliante materiale

# MODELLAZIONE STRUTTURALE

## *STEP 3: Modello di calcolo agli elementi finiti*



**PARTICOLARE ISOLATORE**



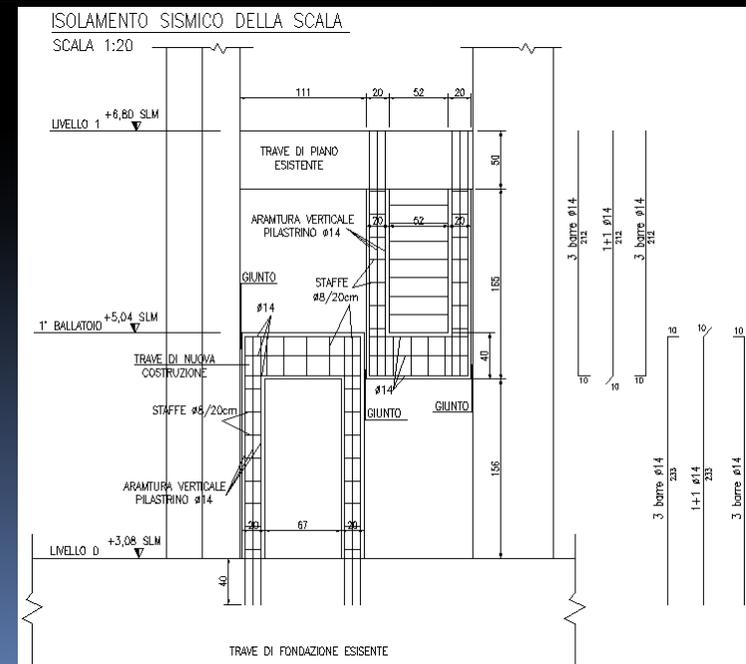
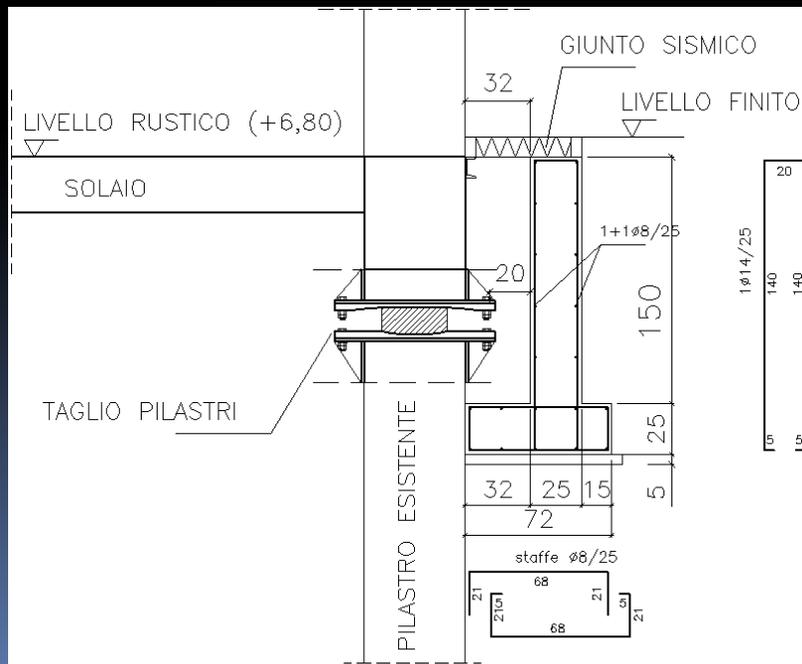
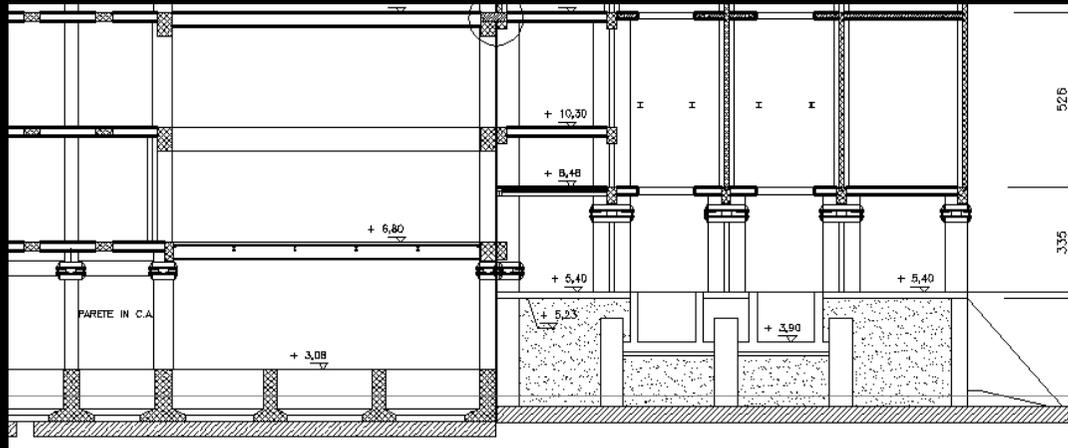
# ISOLAMENTO ALLA BASE DI EDIFICI ESISTENTI

## VANTAGGI :

- ➔ *Incrementare la protezione sismica*
- ➔ *Protezione degli edifici storici*
- ➔ *Tecniche operative di semplice esecuzione*
- ➔ *Comportamento di tipo statico della sovrastruttura  
(no gerarchia delle resistenze)*
- ➔ *Vantaggio economico*

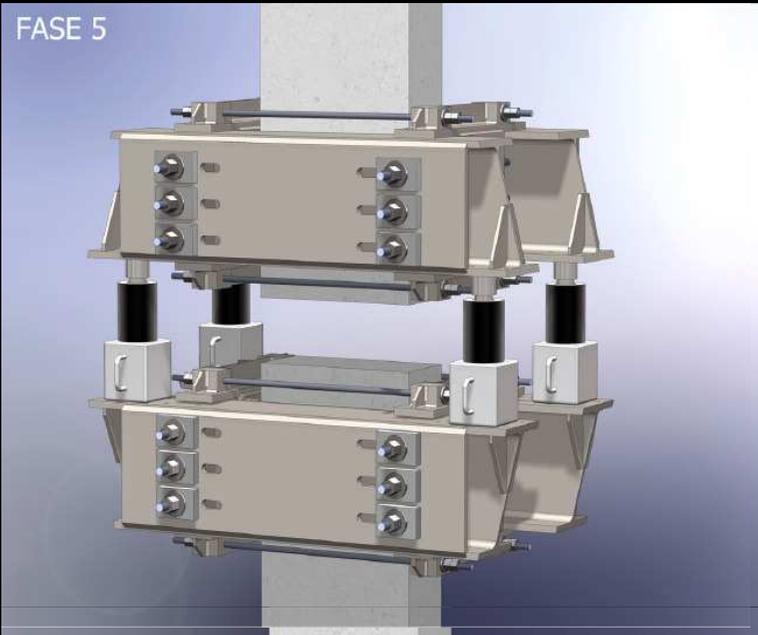
# PROGETTAZIONE E TECNICHE OPERATIVE

- ➔ Scelta posizionamento degli isolatori
- ➔ Giunto sismico per consentire gli spostamenti dell'edificio (20-30 cm)
- ➔ Isolamento di eventuali scale ed ascensori al piano degli isolatori.

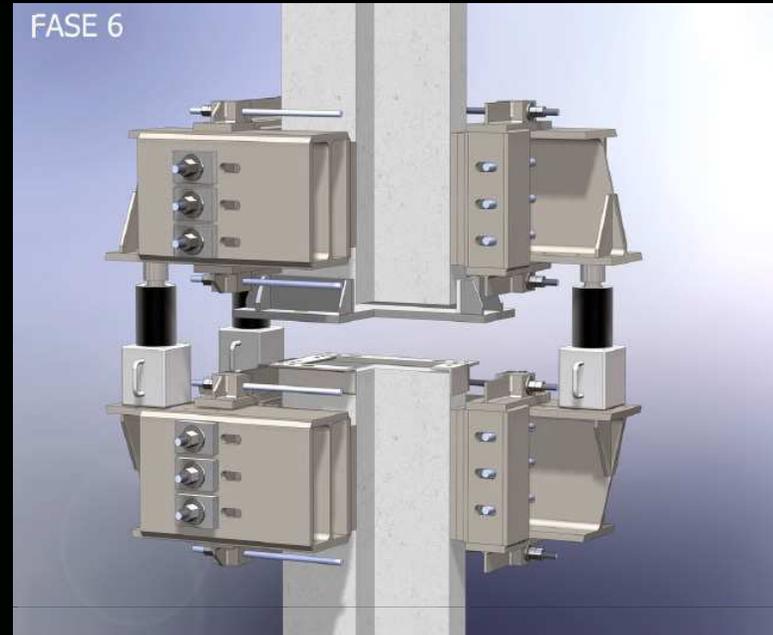


# TAGLIO ALLA BASE E INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI

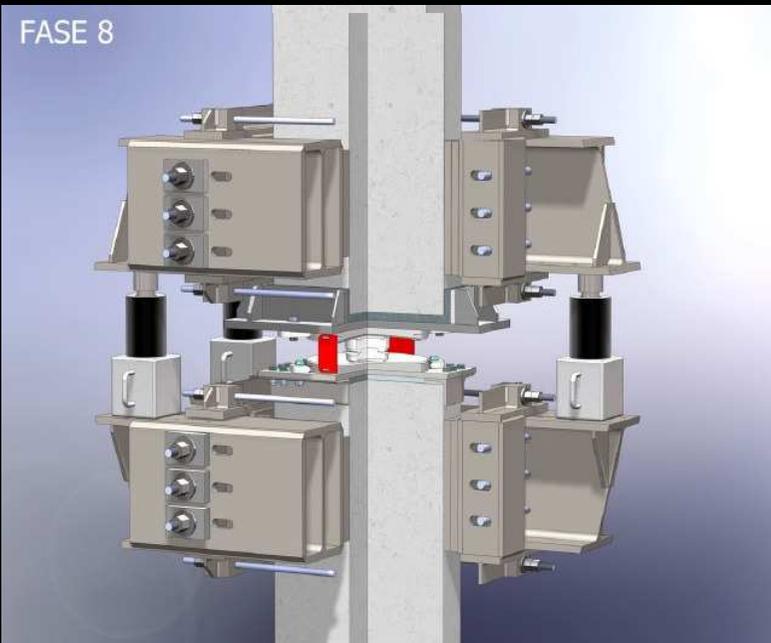
FASE 5



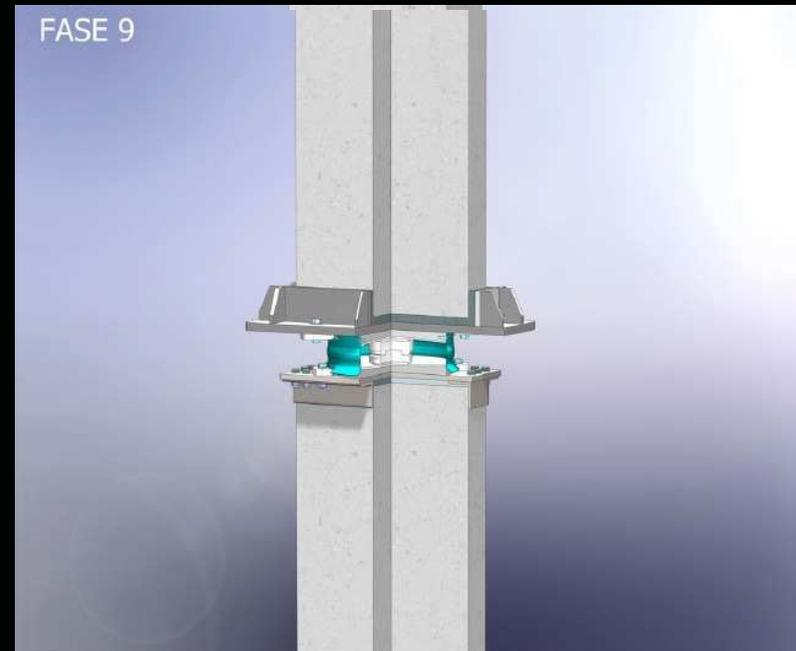
FASE 6



FASE 8



FASE 9



# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## *San Francisco City Hall*

- ➔ *Costruito nel 1915*
- ➔ *Uno dei più belli esempi di architettura neoclassica Americana*
- ➔ *Superficie  $\approx 50.000$  mq; Altezza massima  $\approx 90$ m*
- ➔ *L'edificio fu severamente danneggiato durante il terremoto di Loma Prieta, 1989*

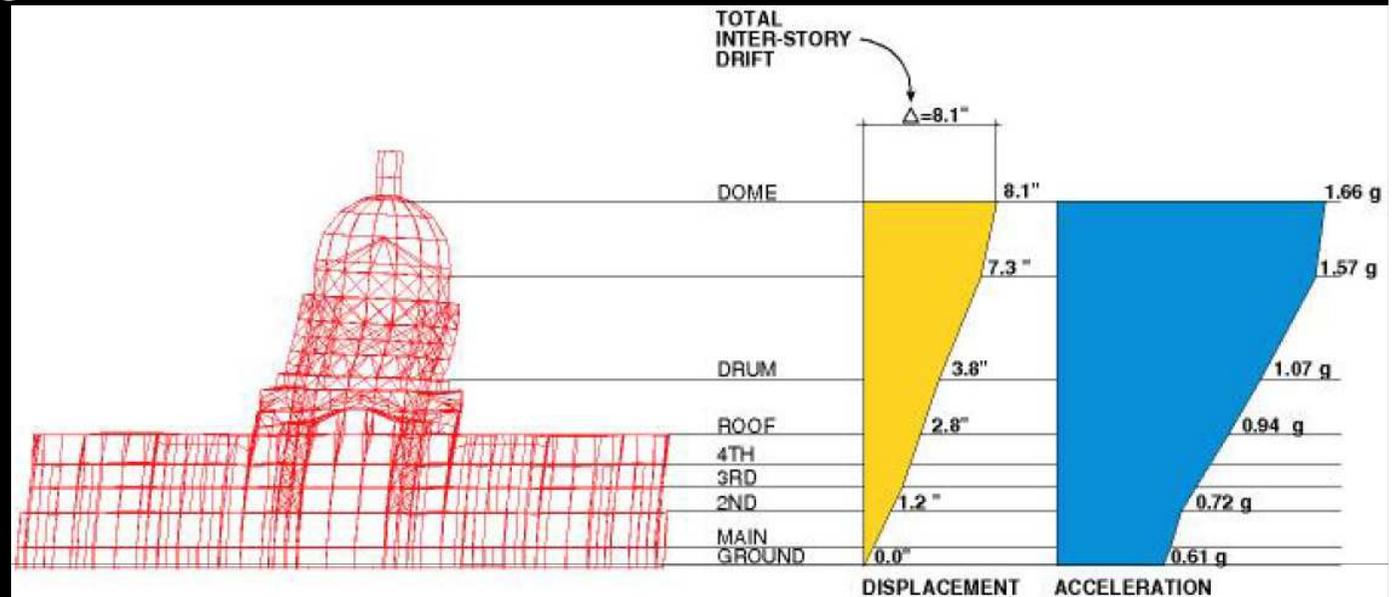


*Continua . . .*

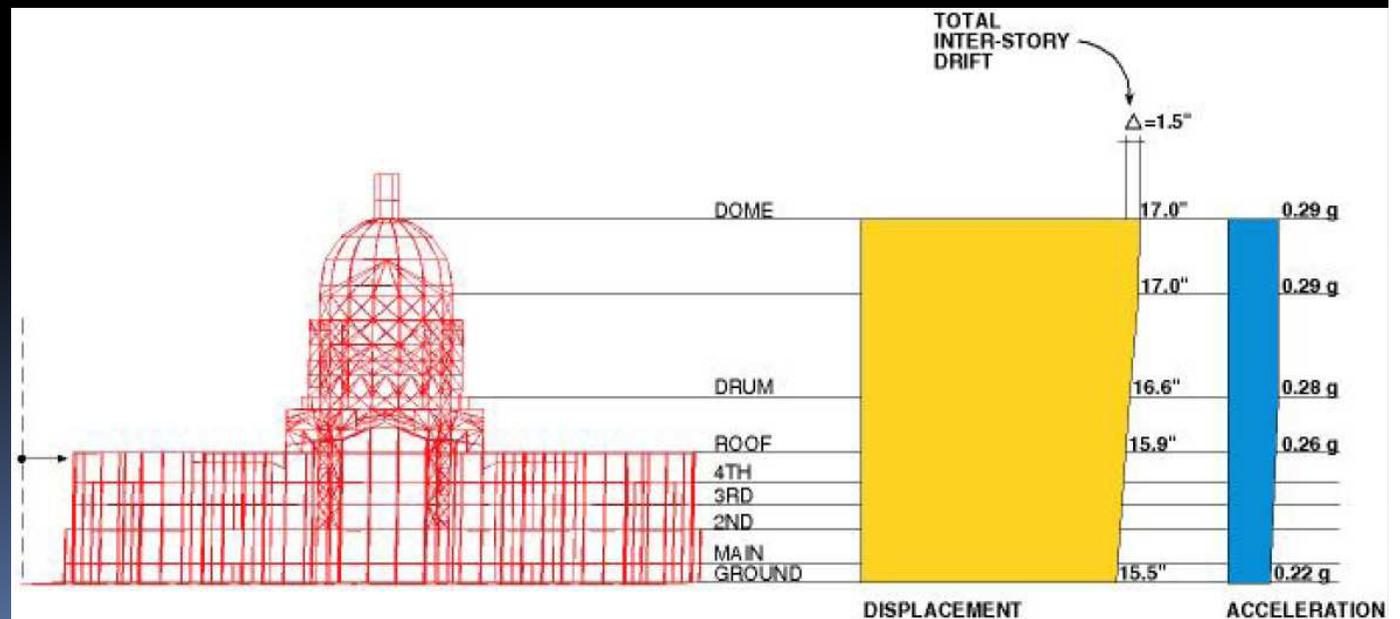
# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## Analisi strutturale

→ A base fissa



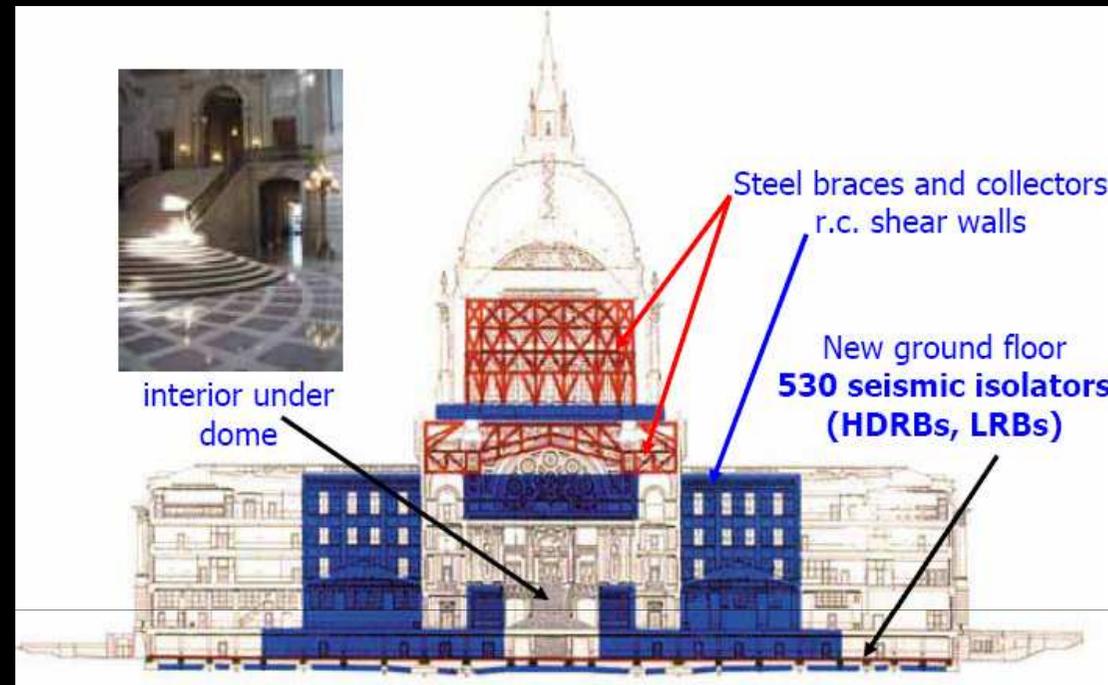
→ A base isolata



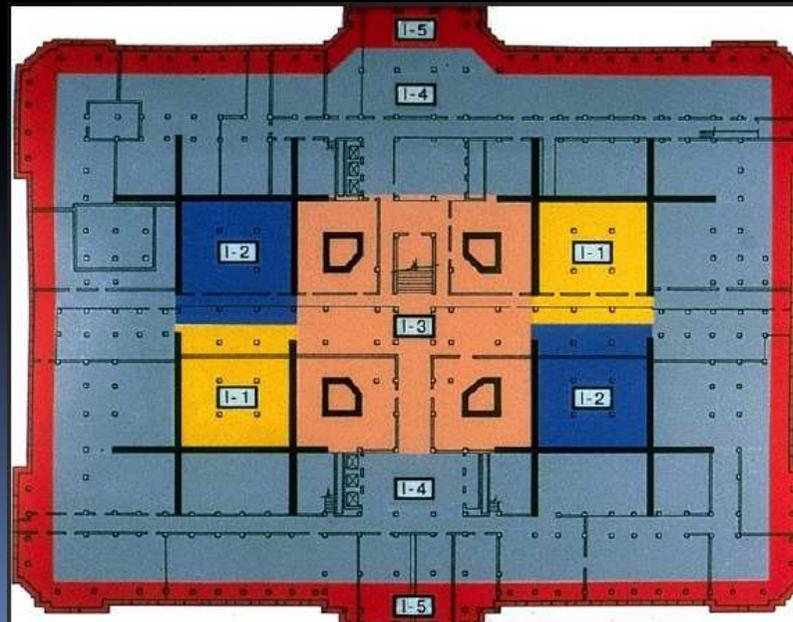
Continua...

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

*Struttura isolata*



*Sequenze di  
costruzione e tagli*



*Continua . . .*

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

Nuova fondazione



Taglio pilastri



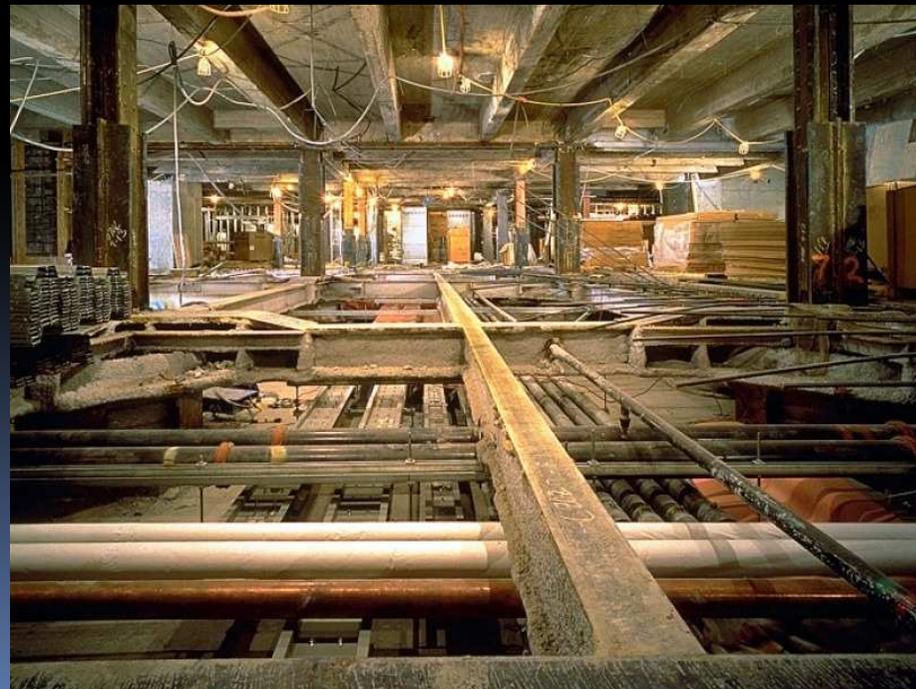
*Continua . . .*

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

Installazione isolatori



Nuovo piano rigido



# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## *Salt Lake City and Country Building*

- ➔ *Edificio tutelato, 1891 - 1894*
- ➔ *Superficie  $\approx 16.000$  mq; Altezza massima  $\approx 76$ m*
- ➔ *Danneggiato dal terremoto di Hansel Valley 1934, in special modo nella torre dell'orologio; ulteriori gravi danni causati dal terremoto Idaho 1983.*



*Continua . . .*

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## Risposta sismica

### Salt Lake City & County Bldg

#### Comportamento dinamico e risposta struttura

#### Periodo principale

- b.i.  $T_I = 2.5$  s
- f.b.  $T_F = 0.5$  s

DBE: 0.20 g

MCE: 0.40 g

#### Taglio alla base

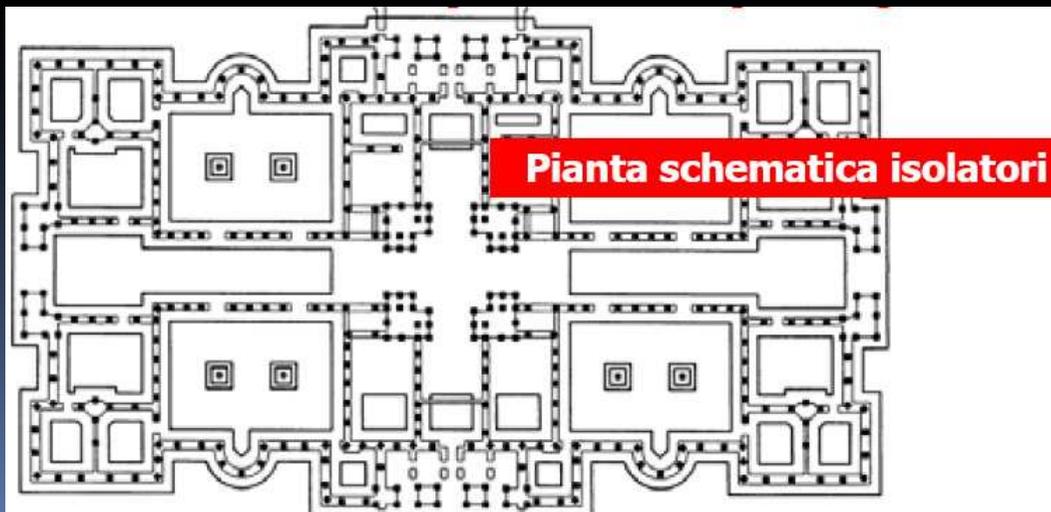
- b.i.  $V_I = 8.5\% W$  (DBE) ;  $19\% W$  (MCE)
- f.b.  $V_F = 55\% W$

#### Spostamento alla base

- b.i.  $D = 127$  mm

*b.i. = base isolata*  
*b.f. = base isolata*

## Interventi



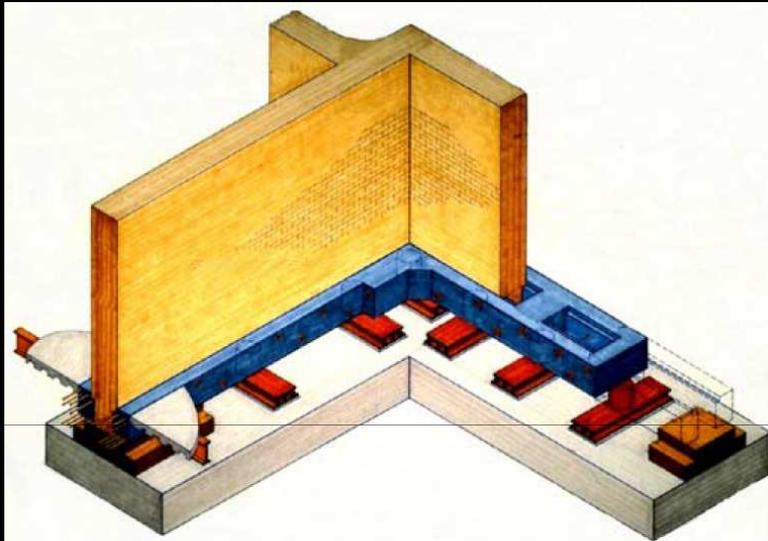
*447 isolatori in gomma*  
*Nuovo solaio in c.a. sul piano degli*  
*isolatori*  
*Ancoraggi elementi verticali –*  
*orizzontali*  
*Intelaiatura reticolare nella torre*

*Continua . . .*

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## *Installazione isolatori*

Setto murario interno



Setto murario esterno



# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## *Oakland City Hall*

- ➔ *Costruito nel 1911*
- ➔ *Superficie  $\approx 14.200$  mq;  
Altezza massima  $\approx 90$  m*
- ➔ *L'edificio fu danneggiato dal terremoto di Loma Pietra 1989.*



*Continua . . .*

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## Interventi

**Oakland City Hall, 1911**

14200 mq, telaio rivettato acciaio+ muri

1989 Loma Prieta ethq damage mainly in clock tower

36 LRBs + 77 RB additional elev. strengthening

Steel framed clock tower with heavy masonry infill

New steel braced tower inside of masonry clock tower

New steel transfer truss to replace steel transfer girders fractured in earthquake

New transverse steel bracing towers added to supplement the seismic capacity of masonry walls

Steel framed office tower with brick masonry infill

Original transfer truss

Podium

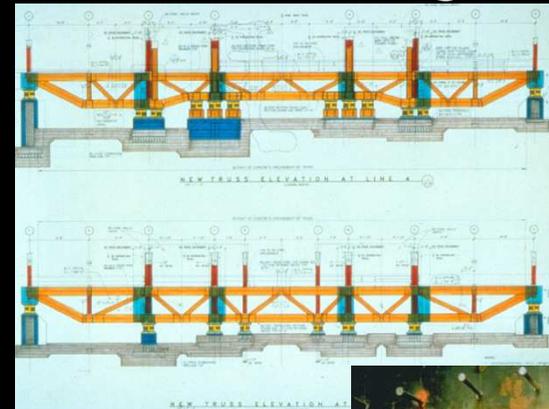
Rotunda

New reinforced concrete shear walls added for strength and stiffness

New steel outrigger truss to accommodate seismic overturning reactions on isolation bearings

Elastomeric base isolation system

## Travi reticolari irrigidenti, piano isolatori



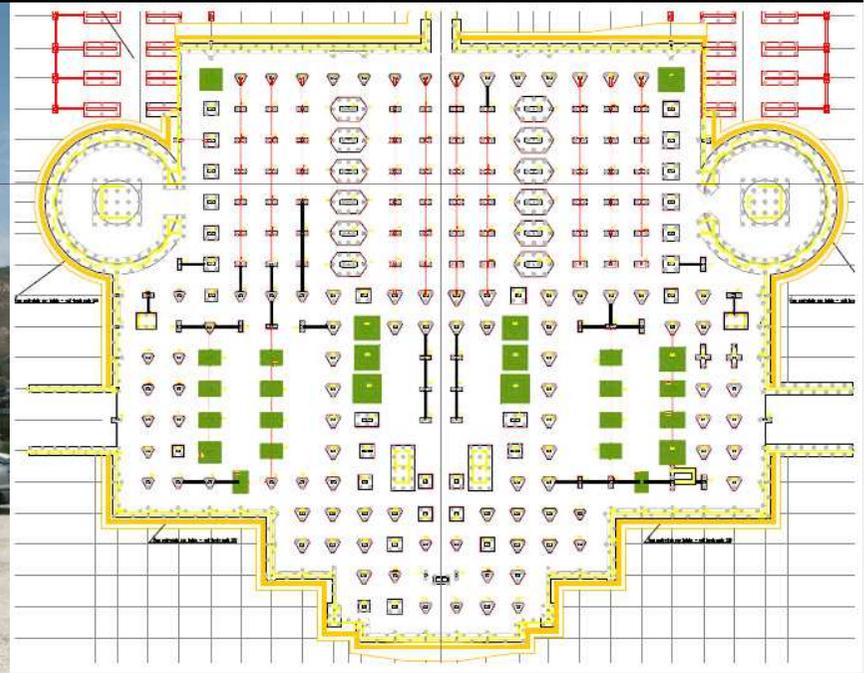
## Taglio pilastri



# UN ESEMPIO ITALIANO

## *Il Centro Polifunzionale di Soccavo al Rione Traiano- Napoli*

- ➔ *Costruito nel 1976 - 1979*
- ➔ *Superficie  $\approx 33.000$  mq; Altezza massima  $\approx 19$  m*
- ➔ *Circa 600 pilastri tagliati, taglio setti e pareti*
- ➔ *Sistema di isolamento 615 HDRB*



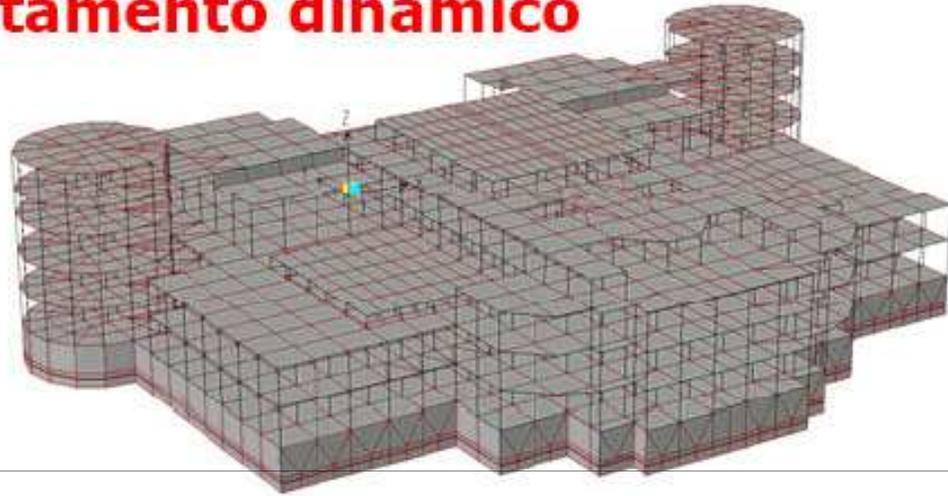
*Continua . . .*

Ing. Vincenzo Nunziata

## Comportamento dinamico

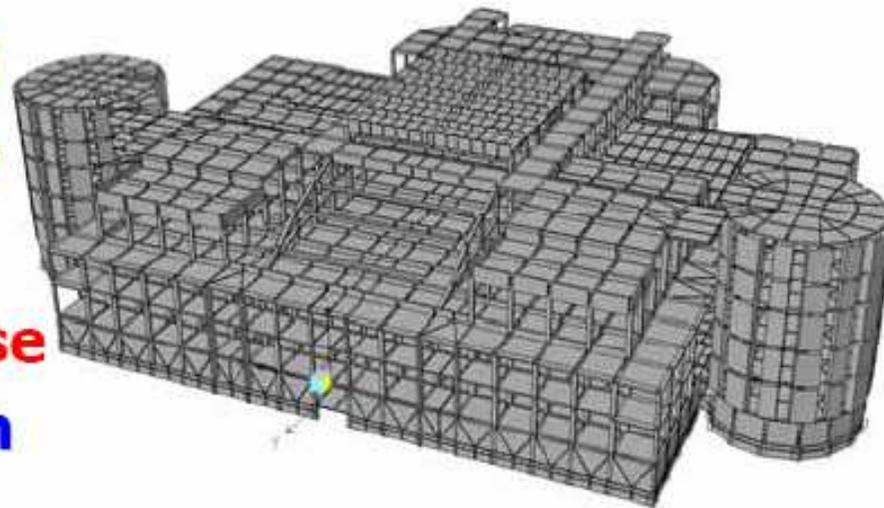
### Periodo

- b.i.  $T_I = 1.8 \text{ s}$
- f.b.  $T_F = 0.6 \text{ s}$



### Taglio alla base

- b.i.  $V_I = 0.18 \text{ W}$
- f.b.  $V_F = 0.31 \text{ W}$



### Spostamento alla base

- b.i.  $D = 125 \text{ mm}$

*Continua . . .*

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

## *Interventi*

### *Presa in carico e taglio pilastri*



*Continua . . .*

Ing. Vincenzo Nunziata

# ESEMPI SIGNIFICATIVI SU EDIFICI ESISTENTI

*Taglio pareti*



**soffitto di ripartizione al livello interrato**



*Nuovo solaio irrigidente*

## *Ex Pastificio Amato – Salerno*

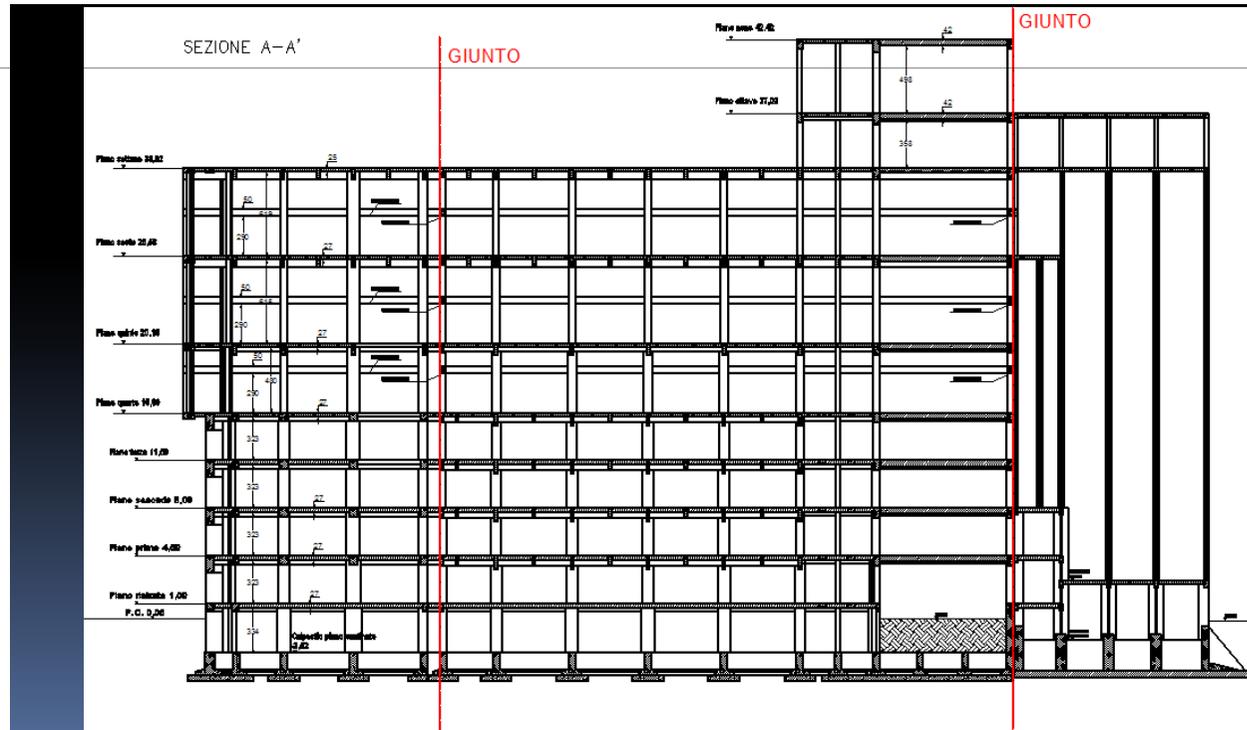
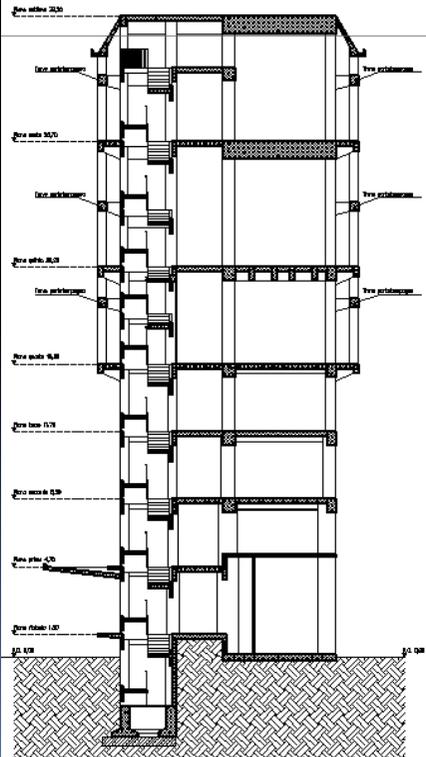
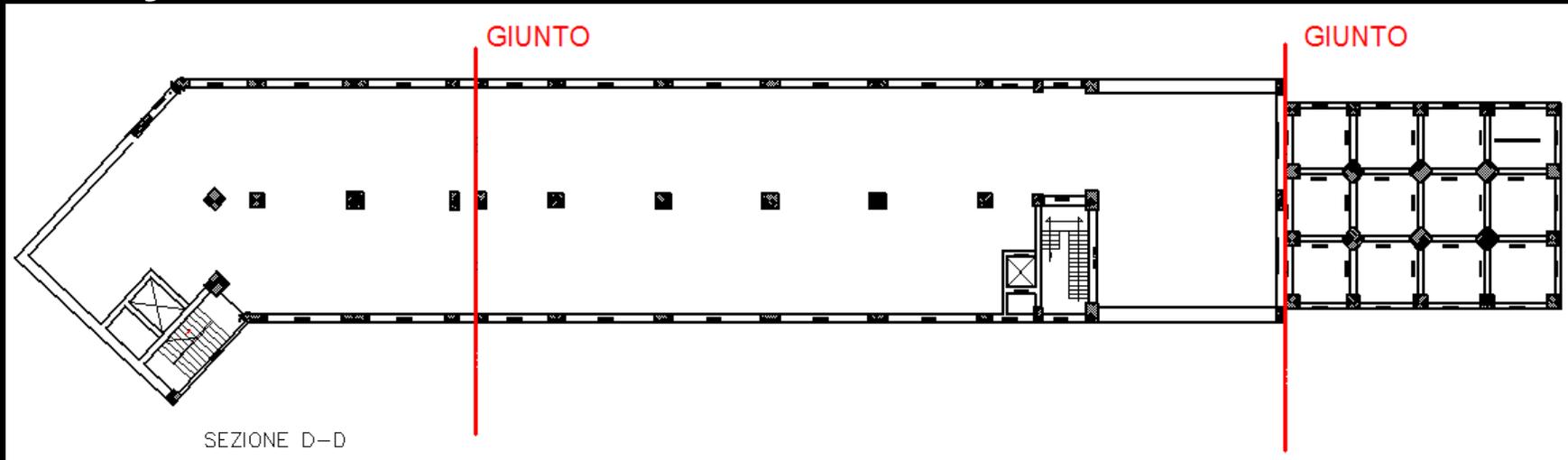
- ➔ *Costruito negli anni '50*
- ➔ *Superficie  $\approx 1.000\text{mq}$ ; 12 piani, Altezza massima  $\approx 45\text{m}$*
- ➔ *64 pilastri da tagliare*
- ➔ *Sistema di isolamento: pendoli a doppia curvatura*

## *Edificio Molino*



*Continua . . .*

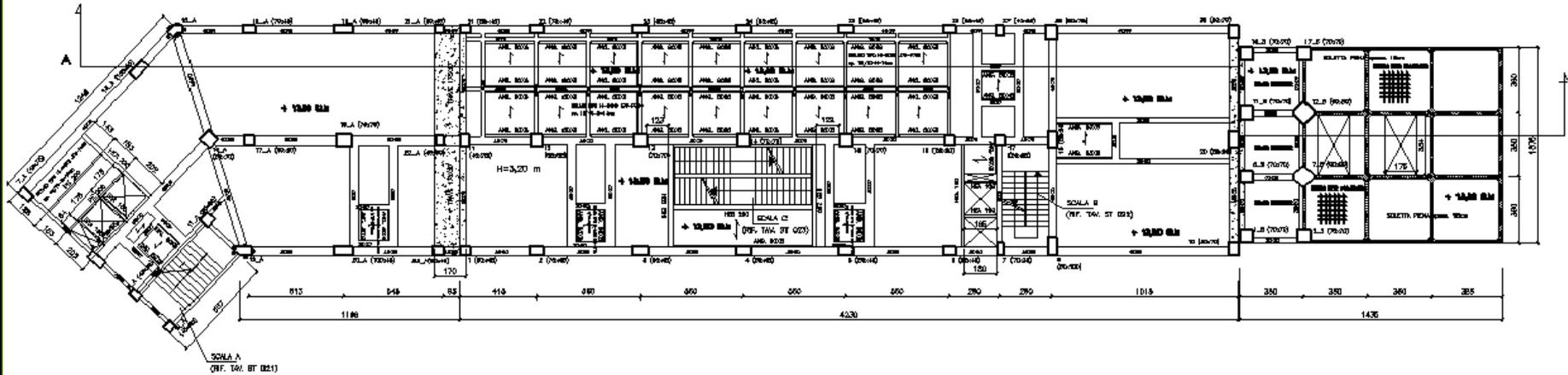
Stato di fatto



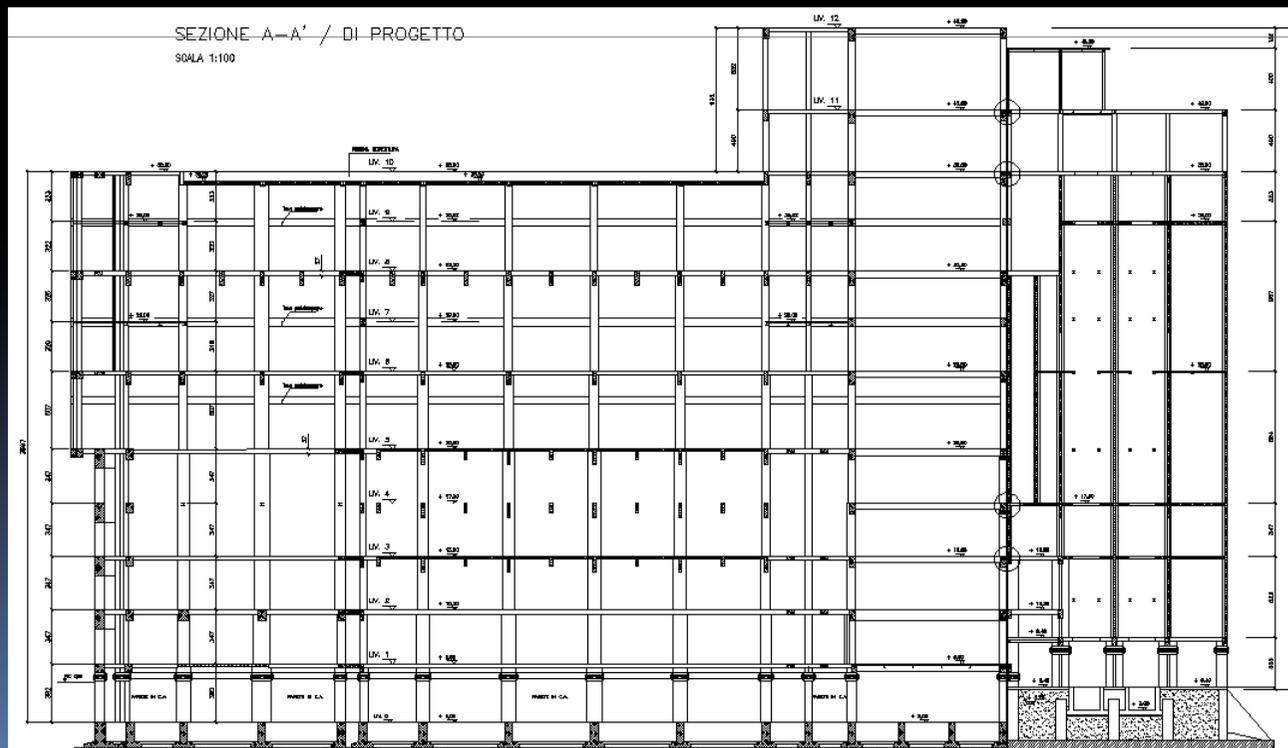
Continua . . .

# Progetto

## Cucitura giunti, adeguamento e rinforzi

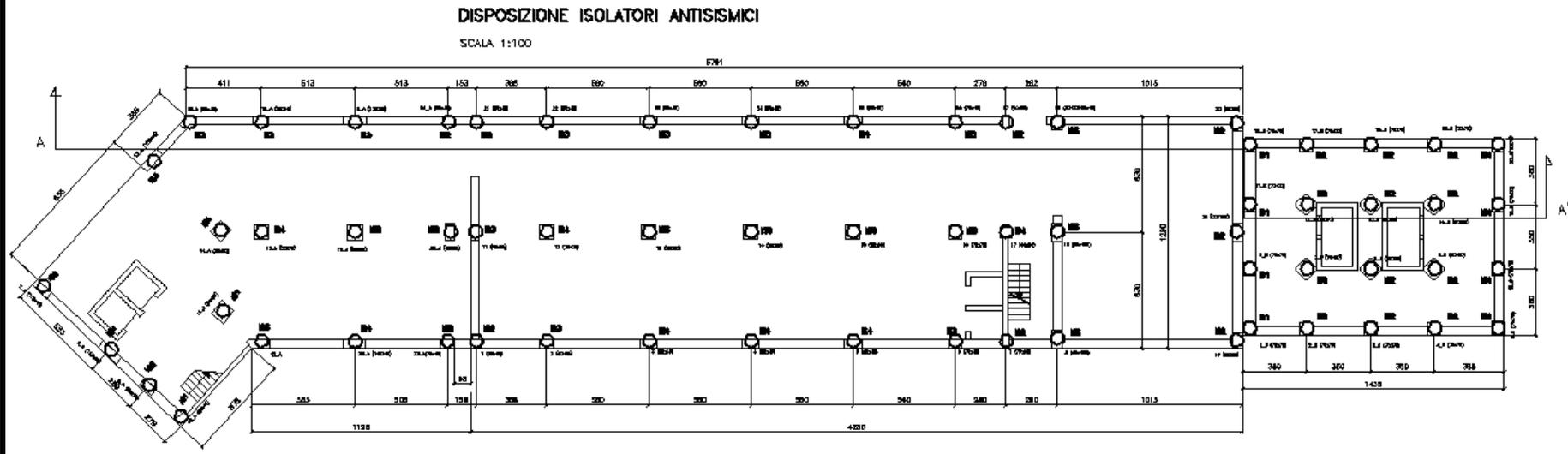


Handling Exceptions in Structural Engineering

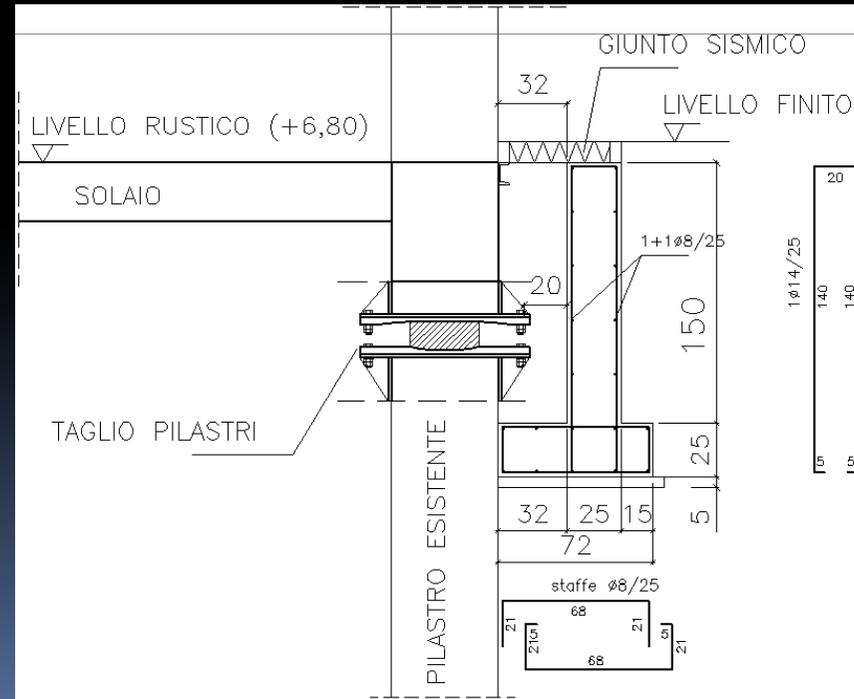
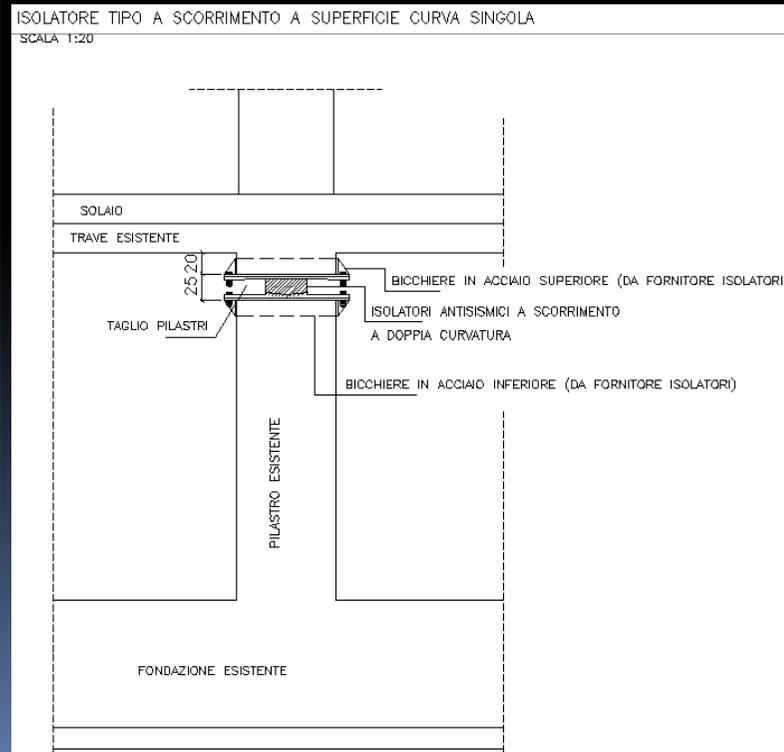


Continua . . .

Disposizione isolatori



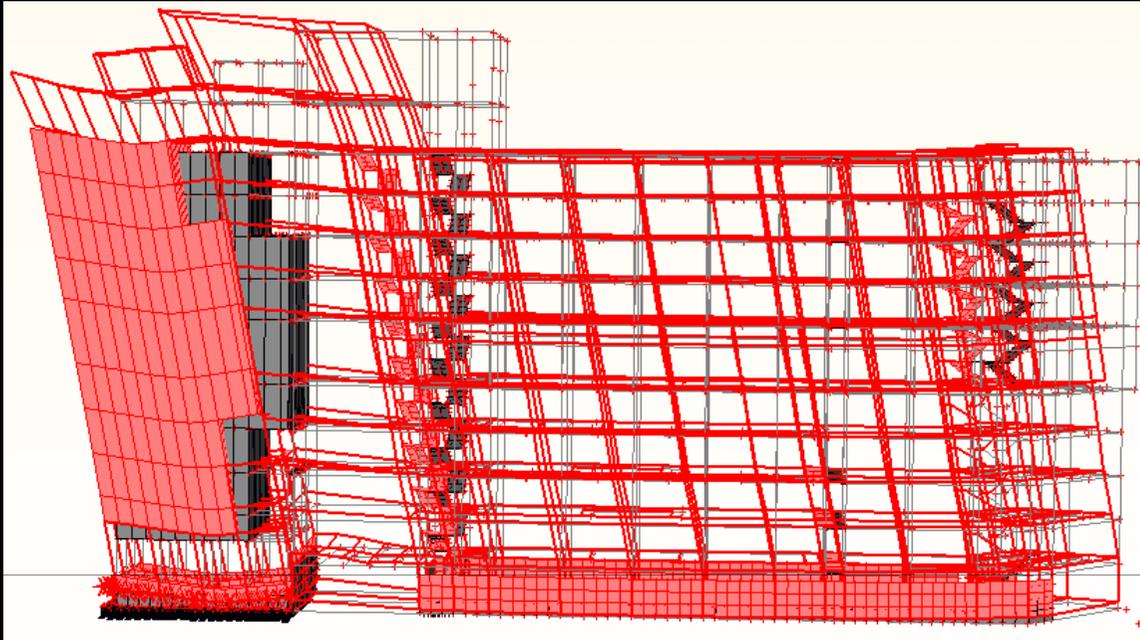
Handling Exceptions in Structural Engineering



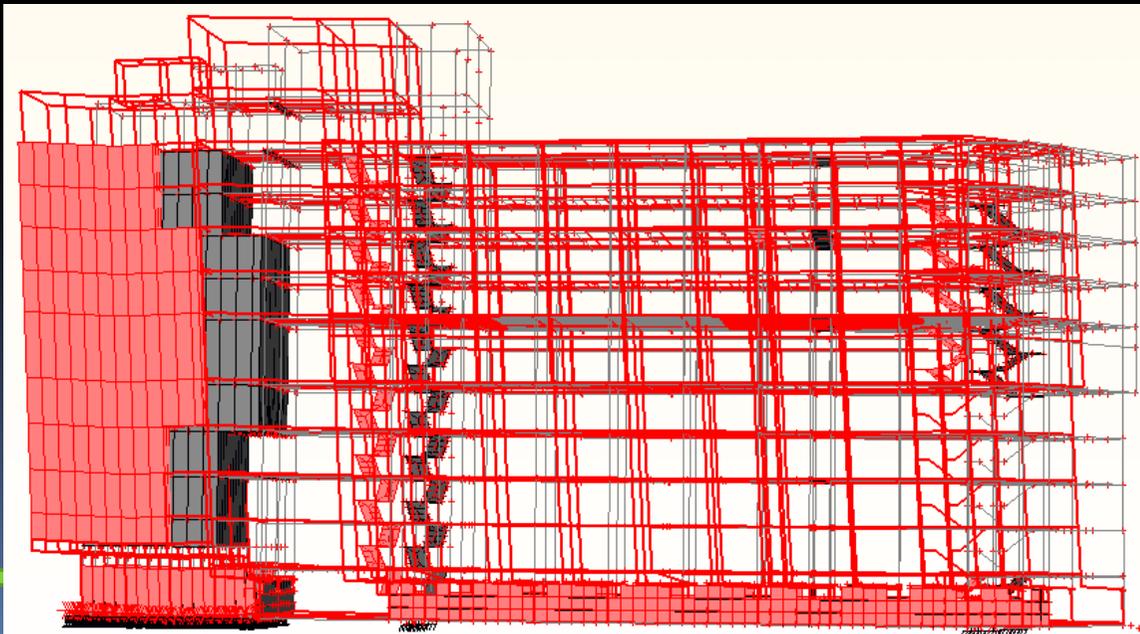
Continua . . .



*Modellazione*



*EDIFICIO A BASE FISSA  
T=1,55 sec*



*EDIFICIO A BASE ISOLATA  
T=2,71 sec*

**GRAZIE**