

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale e  
Norme tecniche per le costruzioni 2008

Villa Redenta - Spoleto 25/26 febbraio 2011

**“Problemi specifici nel progetto di  
strutture isolate alla base”**

Ing. Nino Doganiero    [n.doganiero@tecnoartstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoartstudio.it)

Socio fondatore GLIS  
(Isolamento ed altre strategie di progettazione antisismica)

# OBIETTIVO DELLA PRESENTAZIONE

SENSIBILIZZARE ALLA PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI CON L'UTILIZZO DEI SISTEMI DI ISOLAMENTO SISMICO PER:

IL NOTEVOLE INNALZAMENTO DEI LIVELLI DI SICUREZZA CONSEGUIBILI RISPETTO AI SISTEMI COSTRUTTIVI TRADIZIONALI;

IL MIGLIOR CONTROLLO DEL COMPORTAMENTO DINAMICO DELLA STRUTTURA.

# Argomenti trattati

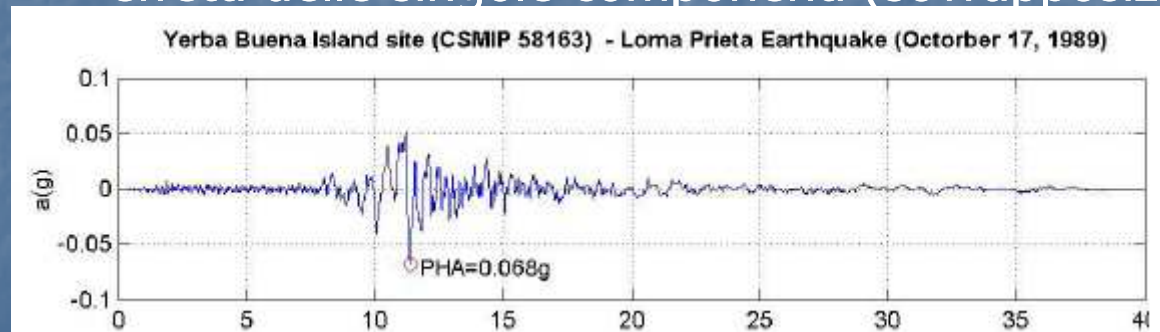
- Richiami di dinamica ed equazioni del moto delle strutture soggette a terremoto.
- Bilancio energetico delle strutture soggette a terremoto.
- Tecniche di protezione strutturale e confronti.
- Esempi di applicazione.
- Considerazioni sui costi per la costruzione di edifici con isolamento sismico.
- Prove di rilascio su struttura reale.
- Sintesi conclusiva



# Richiami di dinamica ed equazioni del moto delle strutture soggette a terremoto

Per semplificare lo studio di strutture elastiche soggette a terremoti, possiamo suddividere in componenti elementari struttura (con l'analisi modale la si riconduce ad N O.E.) e sisma (decomposizione). L'azione sismica è individuata dall'accelerazione del terreno  $\ddot{x}_g$  in un punto espressa in termini di componenti di accelerazione secondo tre direzioni tra loro ortogonali (N-S, E-W, U-D).

L'accelerazione sismica è scomponibile, attraverso uno sviluppo in serie di Fourier, in una somma di funzioni armoniche, il cui effetto complessivo sulle strutture elastiche si ottiene sovrapponendo gli effetti delle singole componenti (sovrapposizione degli effetti).



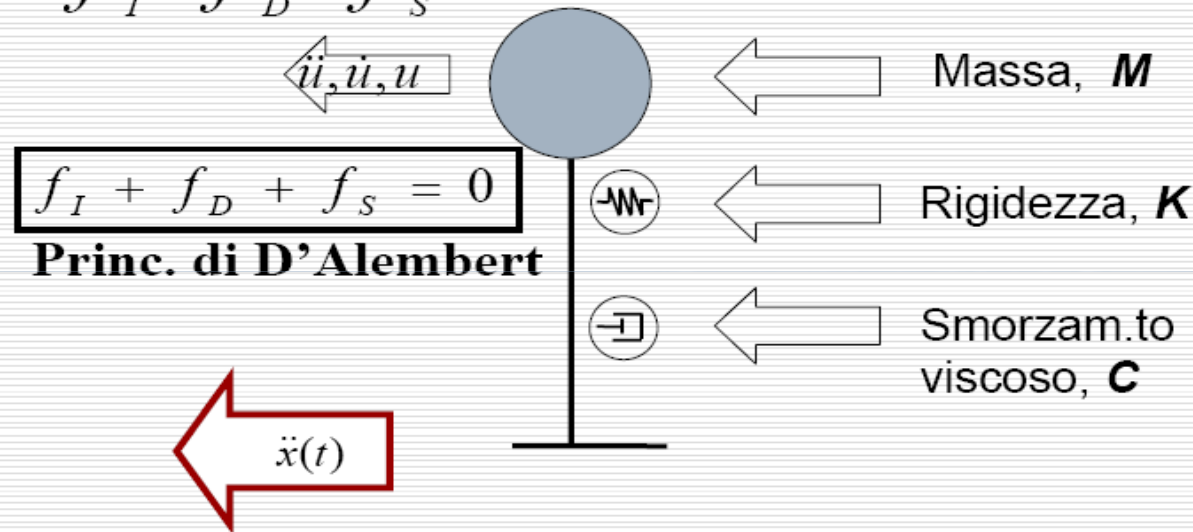
$$\ddot{x}_g = \sum_{n=1}^N C_n \cos(\omega_{En} t - \varphi_{En})$$



# Richiami di dinamica ed equazioni del moto delle strutture soggette a terremoto

Il legame tra accelerazioni impresse (sisma) e forzanti è fornito dal principio di D'Alembert e dall'eq. del moto da esso ricavata

$$f_I + f_D + f_S = 0 = M(\ddot{u} + \ddot{x}) + C\dot{u} + Ku$$



Separando gli spostamenti relativi massa-terreno  $u$ , dagli spostamenti assoluti del terreno  $x$ , si ottiene :

**EQ. DEL MOTO SISMICO**

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\ddot{x}$$

# Richiami di dinamica ed equazioni del moto delle strutture soggette a terremoto

## Equazione del moto per oscillatore sottoposto a sisma

Principio di D'Alembert (in qualsiasi istante temporale tutte le forze in gioco, compresa quella di inerzia, costituiscono un sistema equilibrato)

$$f_I(t) + f_D(t) + f_S(t) = 0$$

$$m[\ddot{u}(t) + \ddot{x}(t)] + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{x}(t) = f_{\text{eff}}(t)$$

in cui

$m$ ,  $c$ ,  $k$  sono la massa, il coefficiente di viscosità e la rigidezza dell'O. E.;

$f_I$  è la forza di inerzia;

$f_D$  è la forza dovuta allo smorzamento (per viscosità);

$f_S$  è la forza resistente o di deformazione;

$u(t)$ ,  $\dot{u}(t)$ ,  $\ddot{u}(t)$  sono lo spostamento, la velocità e l'accelerazione relativa dell'oscillatore rispetto al terreno;

$X(t)$  è lo spostamento assoluto del terreno (eccitazione sismica)

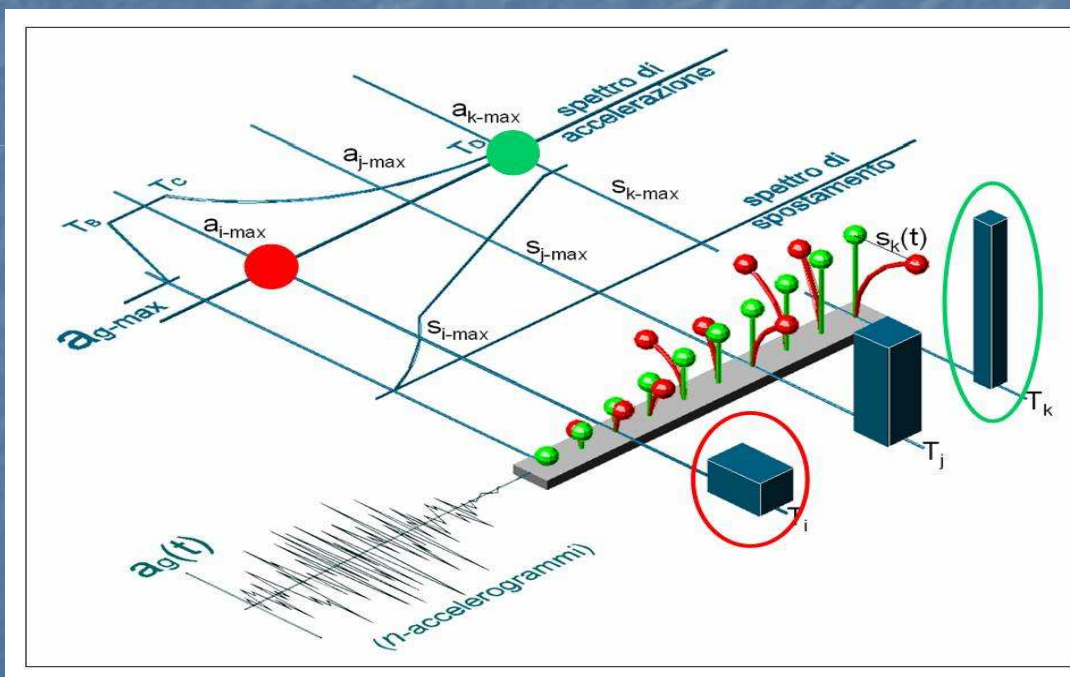
$f_{\text{eff}}(t)$  è la forza dinamica equivalente all'eccitazione sismica.

La forza di inerzia è legata al moto assoluto dell'oscillatore, mentre quella dissipativa e quella elastica è legata al moto relativo dell'oscillatore rispetto alla base.

# Richiami di dinamica ed equazioni del moto delle strutture soggette a terremoto

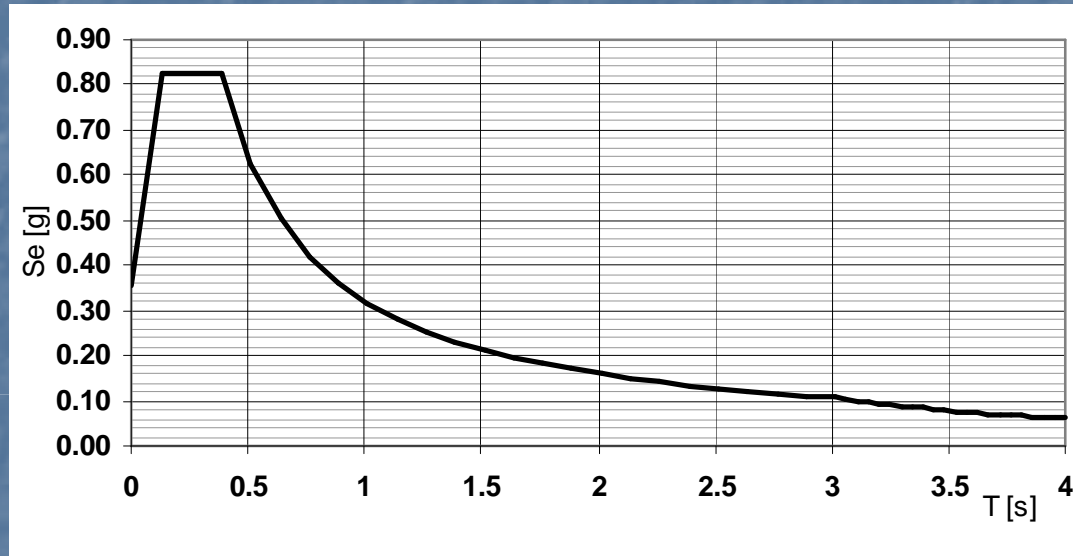
Costruzione dello spettro di risposta:

- applicando a ciascun oscillatore elementare tutte le forzanti in cui può essere decomposta l'azione sismica e sommando le relative risposte;
- facendo variare il periodo proprio  $T$  dell'oscillatore e valutando per ognuno di essi (ossia per ogni  $T$ ) la risposta massima.





# Richiami di dinamica ed equazioni del moto delle strutture soggette a terremoto



Esempio di Spettro di risposta elastico di normativa per lo **SLV** su terreno di sottofondo tipo **B**, con rapporto di smorzamento del **5%**.

# Bilancio energetico delle strutture soggette a terremoto

Nel rispetto del principio di D'Alembert, considerando le forze sismiche come forze esterne applicate, è possibile calcolare il lavoro compiuto dalle forze sismiche sulle deformazioni subite dalla struttura.

Questo lavoro è l'energia trasmessa dal sisma alla struttura (energia in ingresso  $E_I$ ).

Parte dell'energia  $E_I$  è assorbita dalla struttura in forma di energia di deformazione elastica (energia potenziale elastica  $E_p$ : corrisponde alla forza di richiamo elastiche) e convertita periodicamente in energia cinetica dovuta al suo movimento relativo rispetto al terreno ( $E_C$ : corrisponde alla forza d'inerzia).

**La rimanente parte dell'energia in ingresso è dissipata nella struttura ( $E_D$ ).**

$$E_C + E_D + E_p = E_I$$

# Bilancio energetico delle strutture soggette a terremoto

La dissipazione della rimanente parte della  $E_I$  avviene in due modi:

- nella minor parte durante i cicli di deformazione elastica per viscosità (energia dissipata per viscosità o  $E_v$ );
- nella maggior parte durante i cicli di deformazione inelastica per isteresi (energia dissipata per duttilità  $E_\mu$ ).

L'energia viene dissipata durante i cicli di deformazione che la struttura compie durante il terremoto. Il bilancio energetico è:

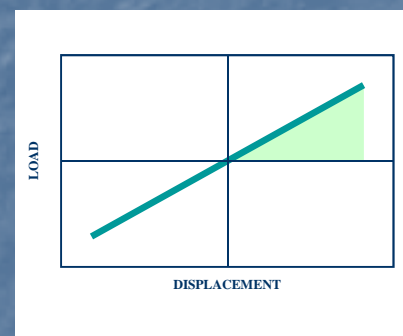
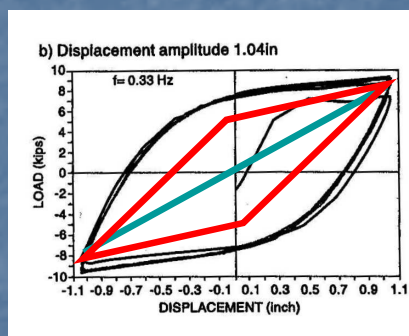
$$E_C + E_v + E_\mu + E_p = E_I$$

Se si rappresenta il comportamento della struttura in un piano "forza-spostamento" (load-displacement) o  $F-\delta$ , si può individuare il cosiddetto "legame caratteristico" tra le forze e gli spostamenti. L'energia dissipata in ogni ciclo di deformazione è pari all'area del ciclo forza-spostamento.

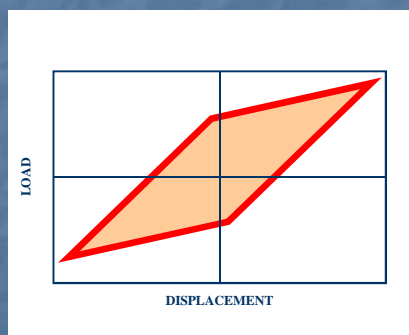


# Bilancio energetico delle strutture soggette a terremoto

Nell'ipotesi di comportamento strutturale elasto-plastico perfetto a viscosità lineare, si possono individuare dei dispositivi specifici (dissipatori viscosi ed isteretici) finalizzati a dissipare energia:

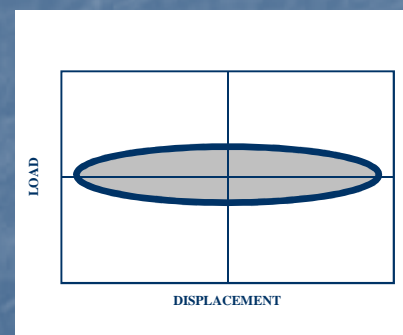


Cicli nel piano F-d durante il sisma



Energia dissipata per deformazione inelastica  
(legata agli spostamenti e quindi alla  $E_p$ )

Energia di deformazione elastica  
(c'è uno scambio continuo tra  $E_C$  e  $E_p$ )

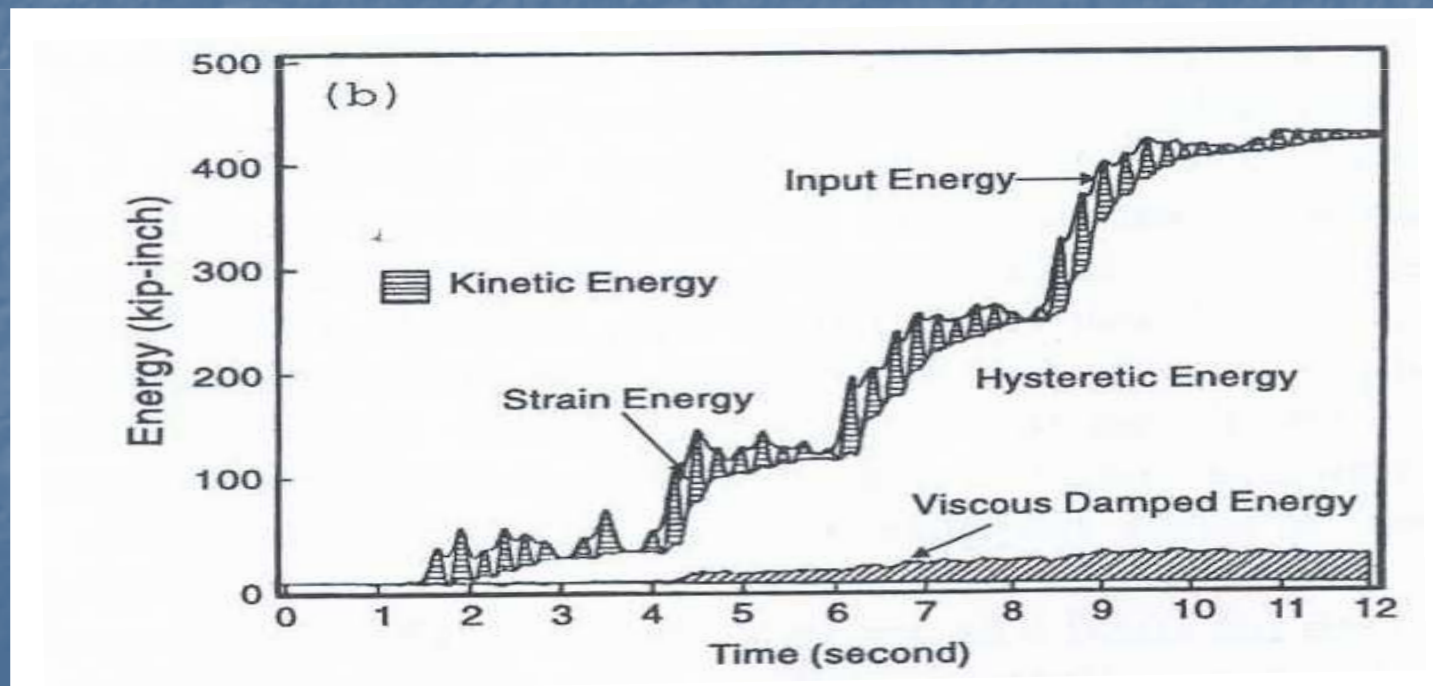


Energia dissipata per viscosità  
(legata alla velocità e quindi alla  $E_C$ )

# Bilancio energetico delle strutture soggette a terremoto

**Il bilancio energetico completo durante una "storia di carico" è dato da:  $E_C + E_V + E_\mu + E_P = E_I$**

**Uang e Bertero (1986)** lo hanno graficato nel tempo: si nota che  $E_P$  e  $E_C$  si scambiano continuamente durante l'oscillazione e che  $E_V$  conta poco rispetto a  $E_\mu$  (gran parte dell'energia viene dissipata per isteresi).



# Bilancio energetico delle strutture soggette a terremoto

Nell'ottica della moderna filosofia di progettazione antisismica, quindi, si previene il collasso ma per motivi di convenienza economica, considerate le significative amplificazioni delle accelerazioni del terreno sulla struttura, **si accettano danni strutturali anche notevoli**. Si accetta l'idea di una struttura che, danneggiandosi riduce la sua rigidità, per carichi orizzontali, riducendo la sua risposta sismica.

Il danneggiamento strutturale è tanto maggiore quanto maggiore è l'energia dissipata per isteresi della struttura.

I metodi di analisi e le tecnologie sviluppate sulla base di questa filosofia hanno permesso di conseguire buoni risultati.

La progettazione prevede infatti la localizzazione delle parti della struttura in cui si vuole che siano concentrati i danni (cerniere plastiche) e la garanzia di un'opportuna gerarchia delle resistenze (danneggiamento controllato).



# Tecniche di protezione strutturale e confronti

Con gli strumenti analitici e tecnologici attuali è possibile garantire una **migliore protezione** delle strutture nei confronti delle azioni dinamiche.

Per ridurre il danneggiamento della struttura occorre limitare  
l'energia  $E_\mu$  richiesta al sistema

$$E_C + E_V + E_\mu + E_P = E_I$$

La **filosofia della protezione strutturale** consiste nel limitare la richiesta di energia  $E_\mu$  e a tal fine è inevitabile considerare la **reale natura dinamica** dei fenomeni fisici.

# Tecniche di protezione strutturale e confronti

La moderna idea di “ANTISISMICO” è dunque quella di una struttura che riduce  $E_I$  oppure aumenta  $E_v$  e/o  $E_\mu$

I moderni metodi di protezione strutturale possono di conseguenza essere divisi in 2 categorie generali:

1. ISOLAMENTO SISMICO (riduce  $E_I$ )

2. DISSIPAZIONE (aumenta  $E_D = E_v + E_\mu$ )

Ognuno di questi metodi concorre alla riduzione della richiesta di energia  $E_\mu$  a cui corrisponde il danno strutturale, operando in maniera diversa sui termini dell'equazione di bilancio energetico.

# Tecniche di protezione strutturale e confronti

- La protezione tramite **l'isolamento Sismico** consiste nel limitare l'energia di ingresso  $E_I$  inserendo una "sconnessione" alla base della struttura. Quindi riducendo  $E_I$  si riducono tutti gli altri termini ed anche l' $E_\mu$  richiesta fino ad annullarla.
- La protezione tramite **dissipazione passiva** consiste nell'introdurre elementi che assorbono e dissipano parte dell'energia di ingresso  $E_I$ . Di conseguenza aggiungendo ulteriore  $E_D$  si riduce anche l' $E_\mu$  richiesta.

La rigidezza degli elementi introdotti deve essere commisurata a quella della struttura e deve essere sufficientemente grande per fare in modo da assorbire e dissipare una buona parte dell'energia  $E_I$ .

Le deformazioni cicliche cui devono essere sottoposti i dissipatori devono essere compatibili con deformazioni della struttura di entità talmente limitata da consentire alla struttura di rimanere sostanzialmente in campo elastico.



# Tecniche di protezione strutturale e confronti

L'isolamento non è sempre efficace. In particolare:

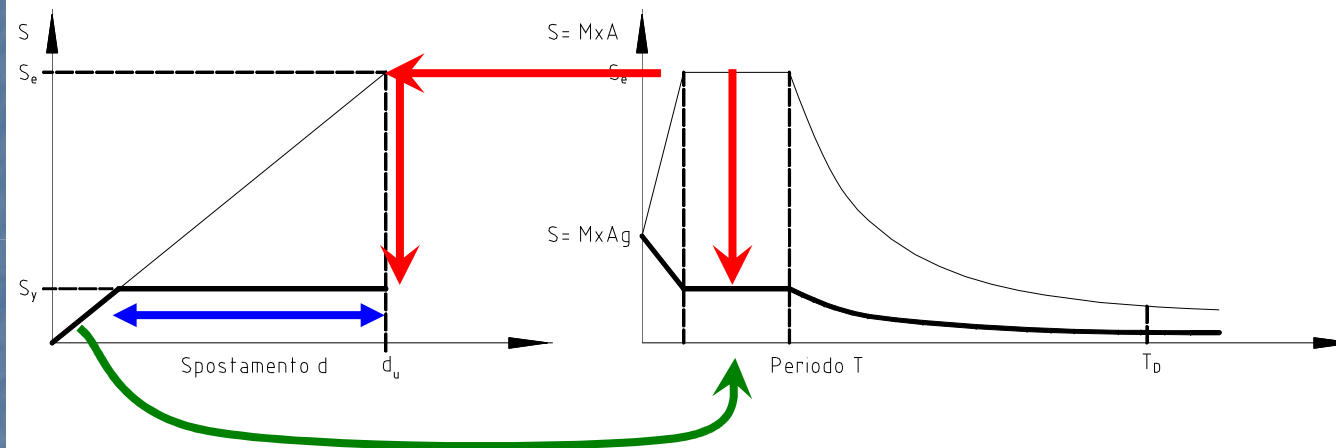
- quando la struttura ha un elevato periodo di oscillazione;
- per particolari condizioni geologiche, nelle quali i maggiori contenuti di energia rilasciata dal sisma sono su frequenze basse (periodi elevati).

I sistemi di protezione passiva mediante dissipazione sono efficaci nei confronti di tutte le azioni dinamiche (qualunque tipo di sisma e vento).

D'altronde, un intervento di protezione passiva mediante dissipazione è generalmente invasivo mentre l'isolamento può essere garantito anche solo intervenendo alla base (isolamento alla base).

# Tecniche di protezione strutturale e confronti

Le diverse tecniche di protezione operano in maniera diversa per aumentare la sicurezza degli edifici.



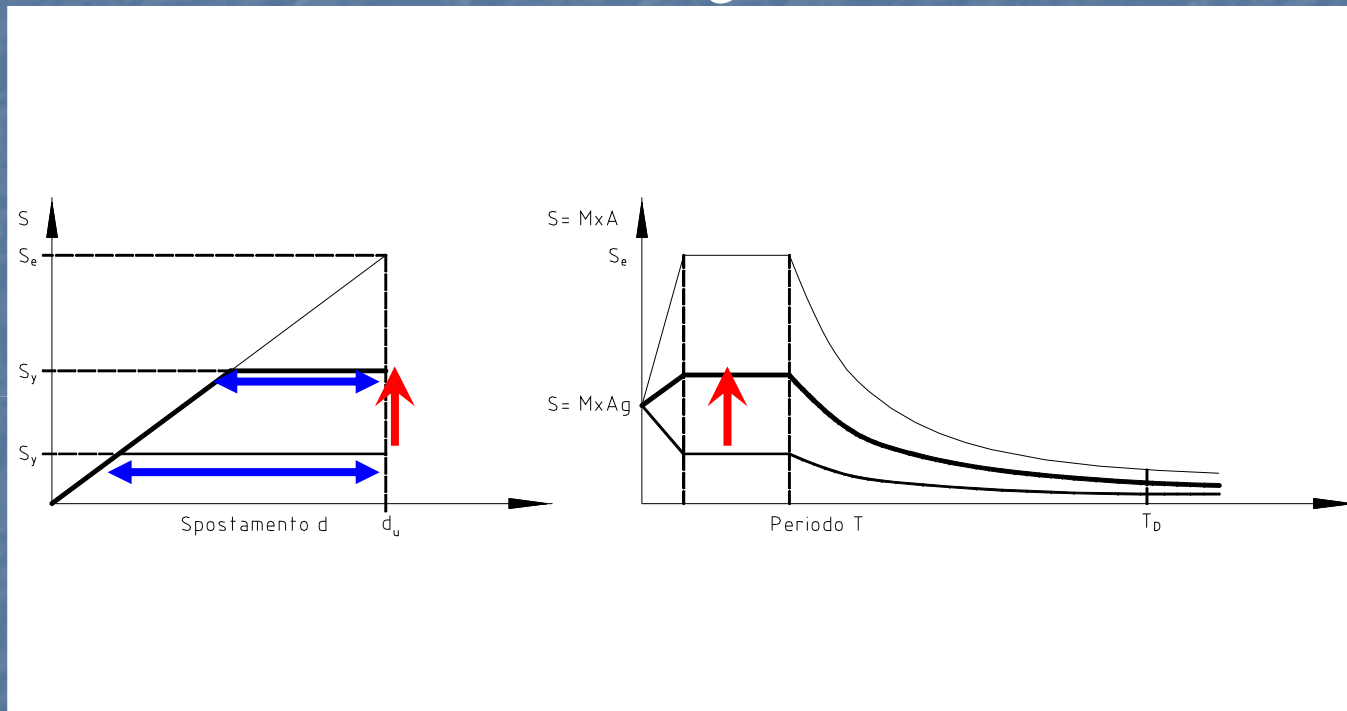
## Progettazione in termini di alta duttilità strutturale

Elevate capacità di duttilità (incremento di  $E_{\mu}$  attraverso il danneggiamento della struttura) consentono elevate riduzioni della resistenza alle sollecitazioni sismiche.

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# Tecniche di protezione strutturale e confronti

Le diverse tecniche di protezione operano in maniera diversa per aumentare la sicurezza degli edifici.



## Progettazione in termini di bassa duttilità strutturale

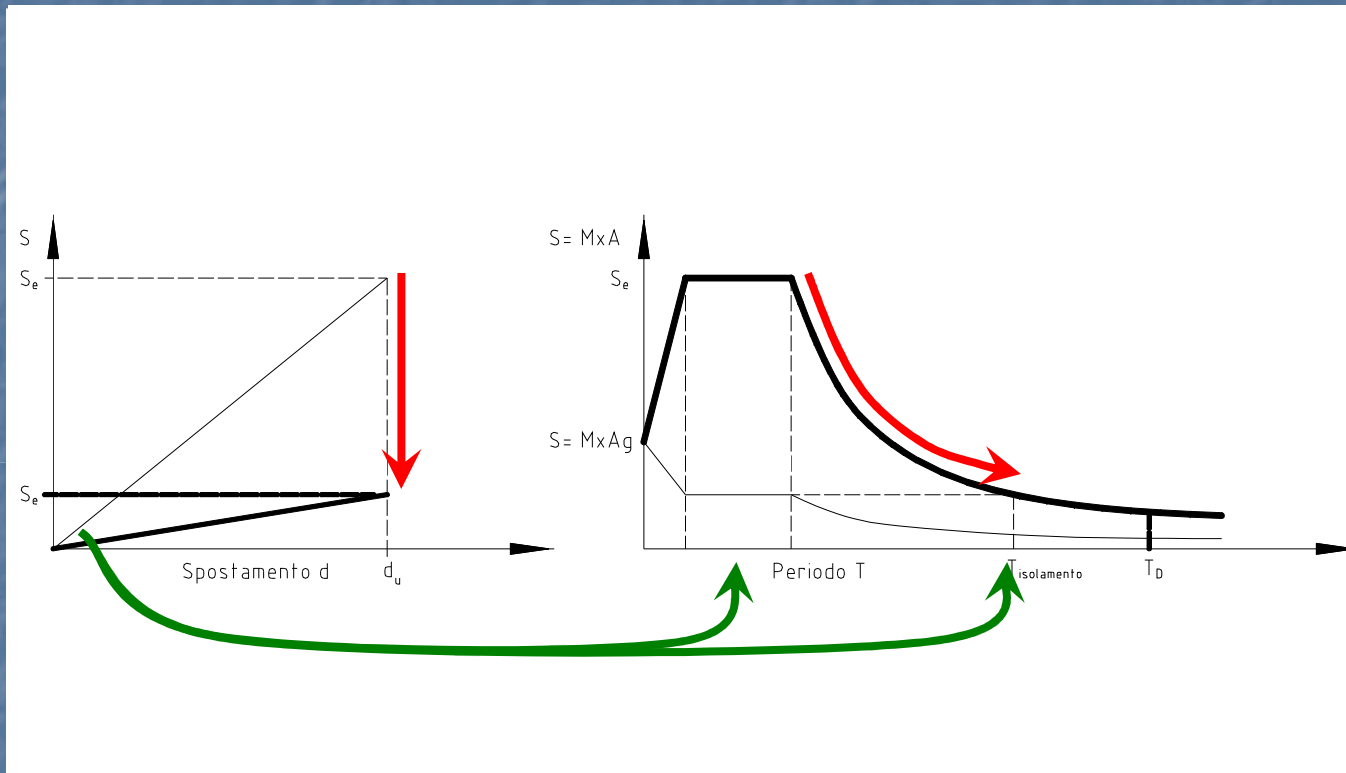
Minore è la capacità in termini di duttilità, maggiore è la resistenza richiesta.

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



# Tecniche di protezione strutturale e confronti

L'isolamento sismico riduce le sollecitazioni con l'aumento del periodo di vibrare dell'edificio (si abbassa la risposta riducendo la rigidezza, anziché dissipando l'energia).



## Progettazione in termini di isolamento sismico

Modificando il periodo della struttura si riesce ad ottenere la stessa riduzione di sollecitazioni ma **mantenendo la struttura in campo elastico**.

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# Tecniche di protezione strutturale e confronti

L'isolamento sismico e la dissipazione passiva sono due tecniche di protezione che prevedono interventi molto diversi sugli edifici esistenti.

Nell'isolamento sismico, gli isolatori sono collocati alla base dell'edificio o della parte di edificio da proteggere perché devono **limitare l'energia in ingresso** per la struttura (sono montati “**in serie**” alla struttura). Si concentrano gli spostamenti sugli isolatori, molto deformabili a taglio, in modo che la struttura si deformi poco e quindi subisce sollecitazioni più basse.

Nella dissipazione passiva, i dissipatori sono collocati all'interno dell'edificio o della parte di edificio da proteggere perché devono **sottrarre alla struttura parte dell'energia in ingresso e dissiparla** (funzionamento “**in parallelo**”). La struttura e i dissipatori lavorano sugli stessi spostamenti.

# Tecniche di protezione strutturale e confronti

A fronte della maggiore consapevolezza delle prestazioni degli edifici, sono sempre più utilizzate tecniche di protezione sismica cosiddette “innovative”, tra le quali l’isolamento antisismico.

L’isolamento antisismico consiste nel collocare la struttura su dispositivi dotati di capacità portante (isolatori) estremamente flessibili.

Gli isolatori hanno lo scopo di “disconnettere” la struttura dal terreno, in modo tale da limitare l’energia trasmessa durante un terremoto.

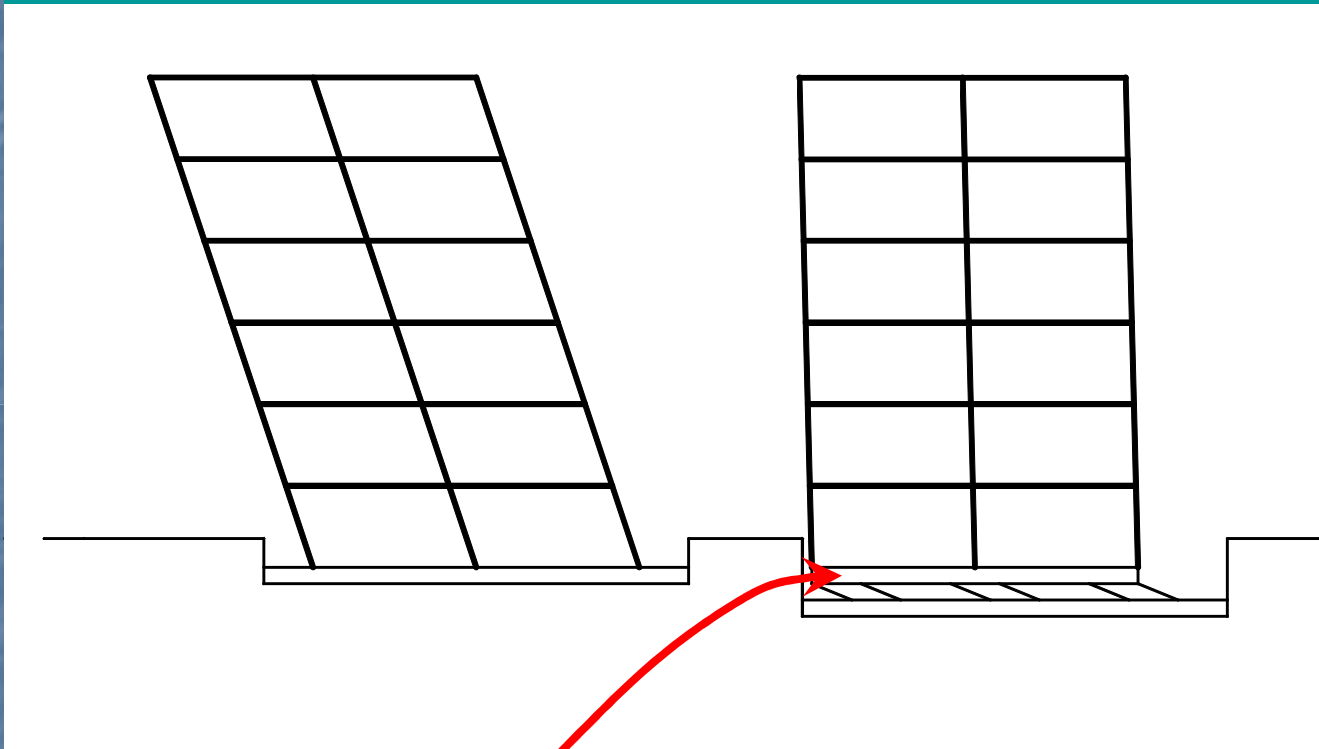
La limitata quantità di energia trasmessa alla struttura può essere ulteriormente ridotta utilizzando dispositivi ausiliari capaci di dissiparne una parte (dissipatori).

Operando in questa maniera si riescono a ridurre sensibilmente le sollecitazioni negli elementi strutturali (a tal punto da poter evitare qualunque tipo di danneggiamento sotto il terremoto di progetto) e negli oggetti portati.



# Tecniche di protezione strutturale e confronti

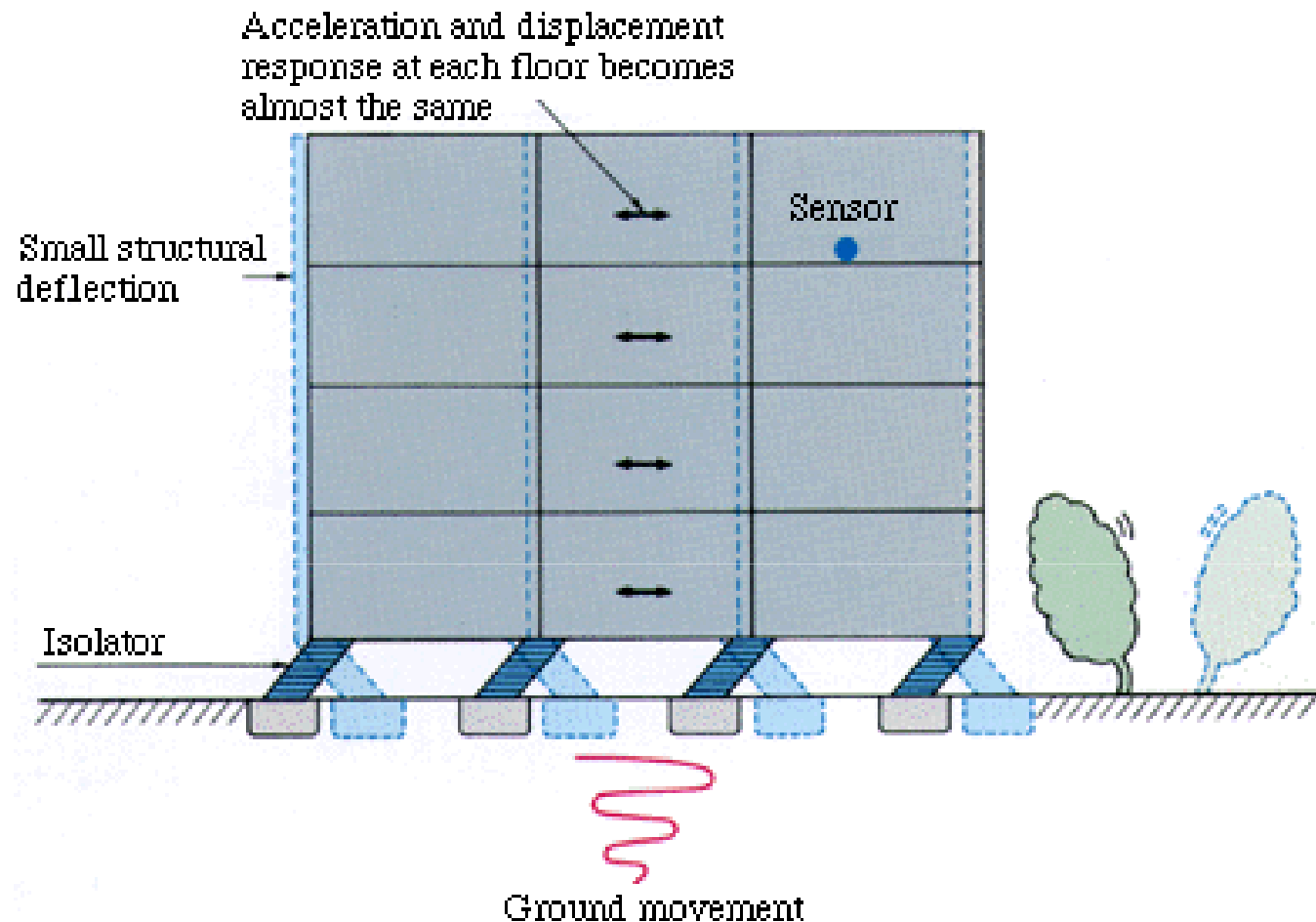
## OSCILLAZIONI DI UN EDIFICIO A BASE FISSA ED ISOLATO



Nelle oscillazioni della struttura si deformano soprattutto gli isolatori mentre la struttura rimane quasi al suo posto e subisce piccole deformazioni.

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# EFFETTO CON L'INTRODUZIONE DELL'ISOLAMENTO



Il terreno si muove e l'edificio rimane quasi fermo.

Il grosso degli spostamenti si ha negli isolatori.

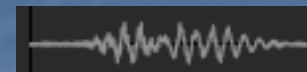
Isolatori sismici - Ing. Doganiero

[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

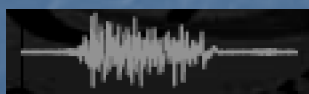
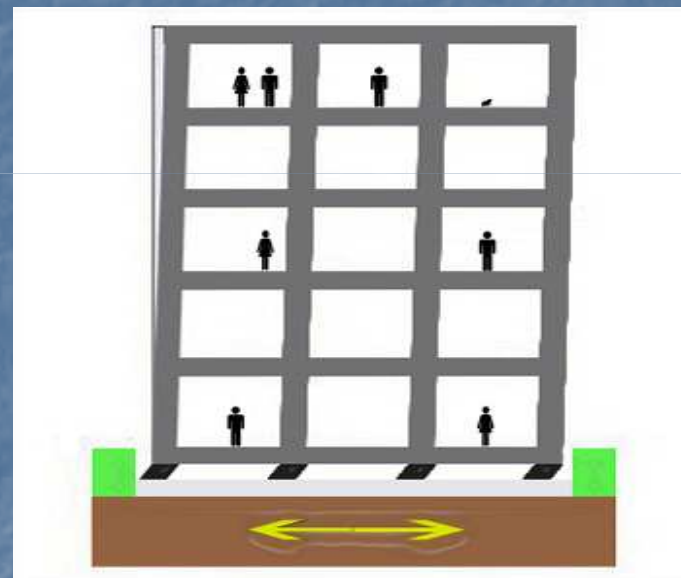
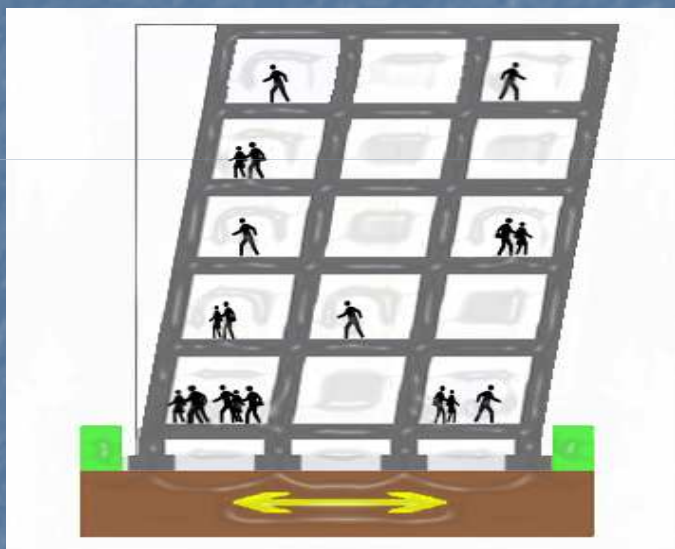
# Tecniche di protezione strutturale e confronti



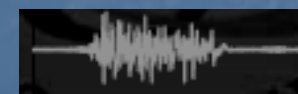
**Accelerazioni sulla struttura**



**Spostamenti interpiano**



**Accelerazione alla base**

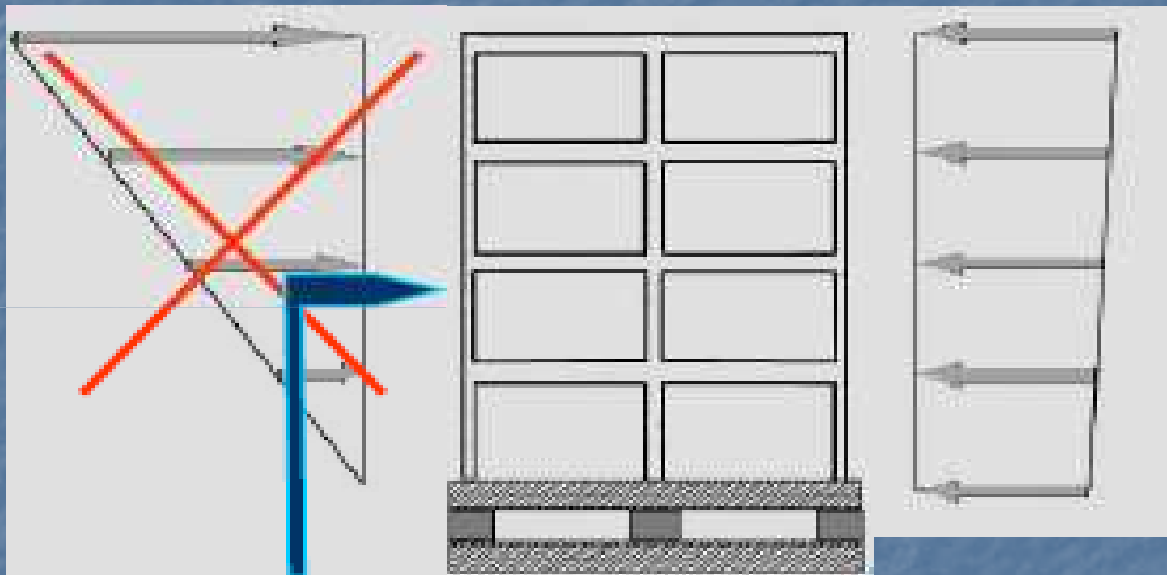


Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



# Tecniche di protezione strutturale e confronti

## DISTRIBUZIONE DELLE AZIONI SISMICHE



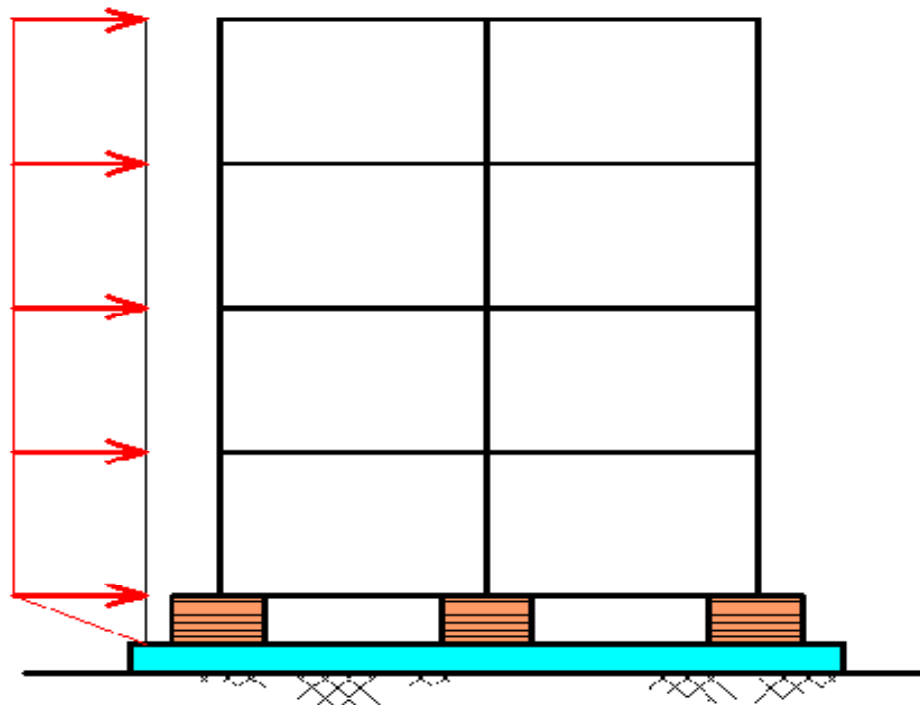
# MODELLAZIONE e ANALISI

## ANALISI STATICA LINEARE

Le forze orizzontali  $f_j$  da applicare a ciascun piano della sovrastruttura debbono essere calcolate, in ciascuna direzione orizzontale, mediante la seguente espressione:

$$f_j = m_j \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

$m_j$  massa del piano j-esimo.



# Tecniche di protezione strutturale e confronti

## RICAPITOLANDO

Un'opportuna scelta delle caratteristiche meccaniche degli isolatori consente di **“disaccoppiare”** la sovrastruttura dalla sottostruttura nelle oscillazioni che coinvolgono prevalentemente spostamenti orizzontali.

Il “disaccoppiamento” consiste nella diversificazione del comportamento dinamico delle due suddette porzioni della costruzione: durante un moto oscillatorio, mentre la sottostruttura subisce deformazioni di modesta entità, tanto più quanto maggiore è la sua rigidezza, la sovrastruttura compie oscillazioni tanto più ampie quanto minore è la rigidezza e resistenza degli isolatori.

Dette oscillazioni sono dovute per la maggior parte alla deformazione degli isolatori collocati al di sotto della sovrastruttura e solo in minor parte alle deformazioni della sovrastruttura stessa.

Durante un terremoto, generalmente, **tanto più sono ampie queste oscillazioni tanto più sono modeste le conseguenti accelerazioni, quindi le forze d'inerzia, che subisce la sovrastruttura.**



# DEFINIZIONI E SIMBOLI

## **Isolatori:**

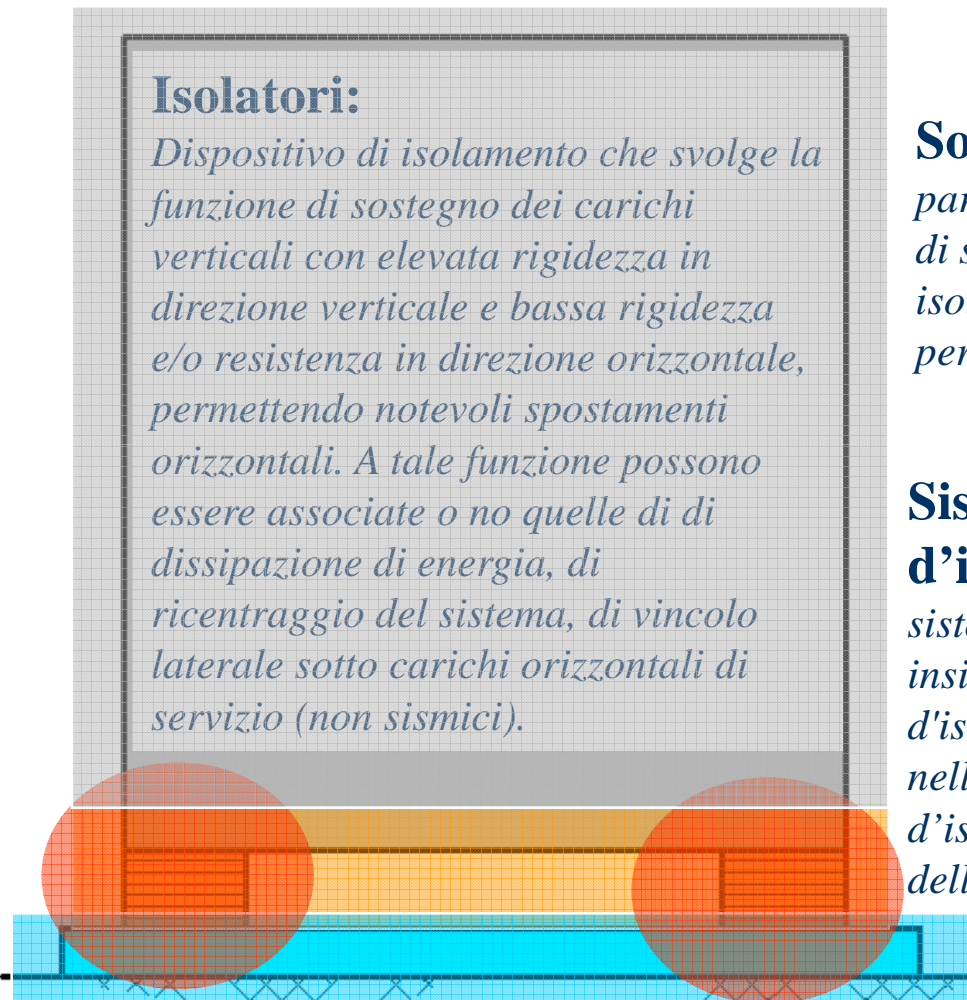
*Dispositivo di isolamento che svolge la funzione di sostegno dei carichi verticali con elevata rigidezza in direzione verticale e bassa rigidezza e/o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali. A tale funzione possono essere associate o no quelle di dissipazione di energia, di ricentraggio del sistema, di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).*

## **Sovrastruttura:**

*parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia di isolamento, e che risulta, perciò, isolata.*

## **Sistema d'isolamento:**

*sistema formato da un insieme di dispositivi d'isolamento, disposti nell'interfaccia d'isolamento, al di sotto della sovrastruttura [...].*



The diagram illustrates a structural isolation system. It shows a cross-section of a building. At the base, there is a blue horizontal layer representing the isolation system, with two orange circular callouts highlighting specific components. Above this layer is a yellow horizontal layer representing the superstructure. Below the blue layer is a light blue horizontal layer representing the substructure. The entire system is supported by a foundation, which is shown as a series of 'X' marks at the bottom. The diagram is overlaid on a grid background.

**Sottostruttura:** *parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia di isolamento. Essa include le fondazioni e la sua deformabilità orizzontale è in genere trascurabile*

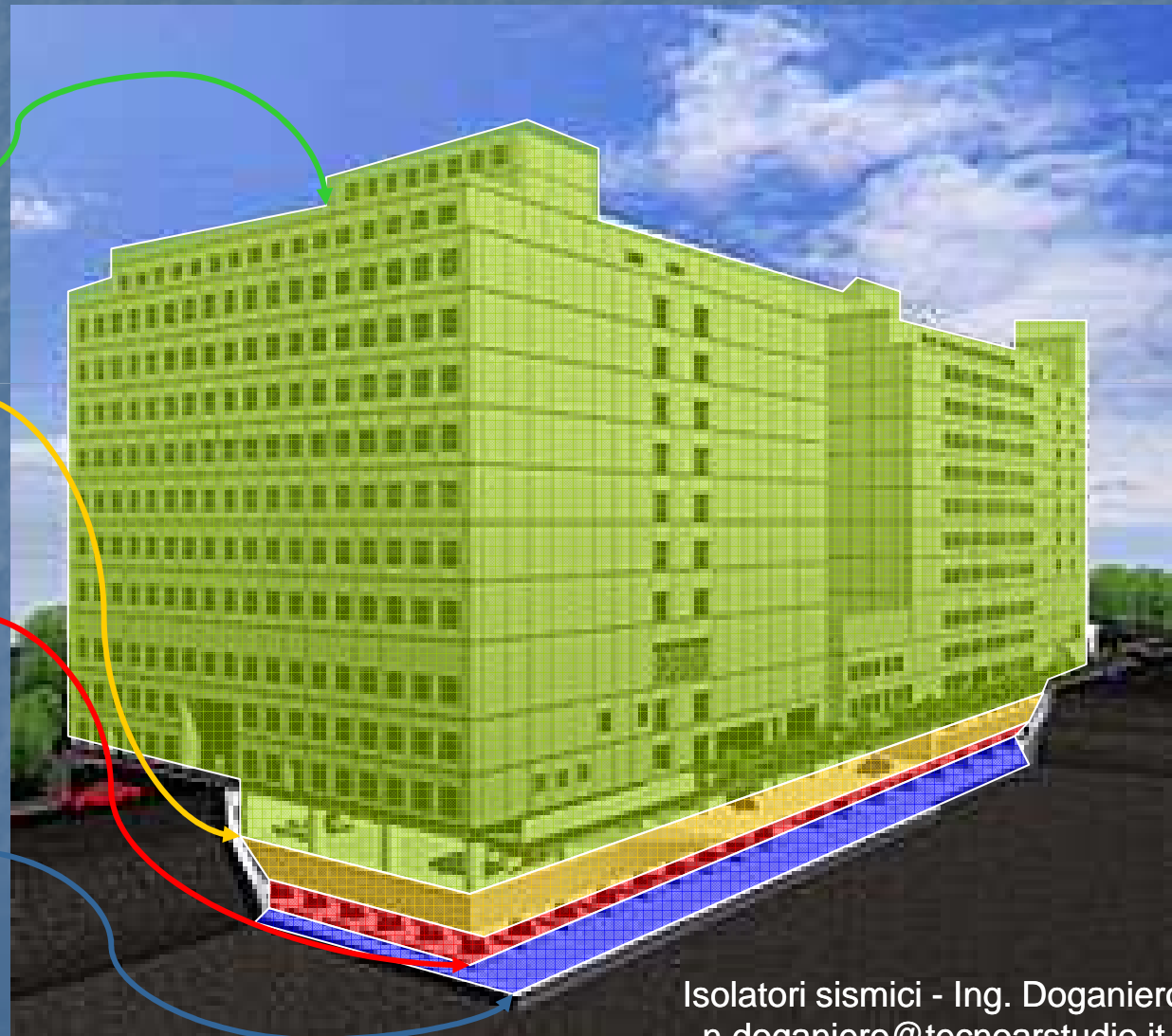
# SCHEMA DI SISTEMA DI ISOLAMENTO

Sovrastruttura

Fondazioni  
sovrastuttura

Isolatori e  
dispositivi ausiliari

Sottofondazioni



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

## CARATTERISTICHE DEI DISPOSITIVI PREVISTI

I diversi dispositivi d'isolamento previsti nella normativa si distinguono in **isolatori** e **dispositivi ausiliari**

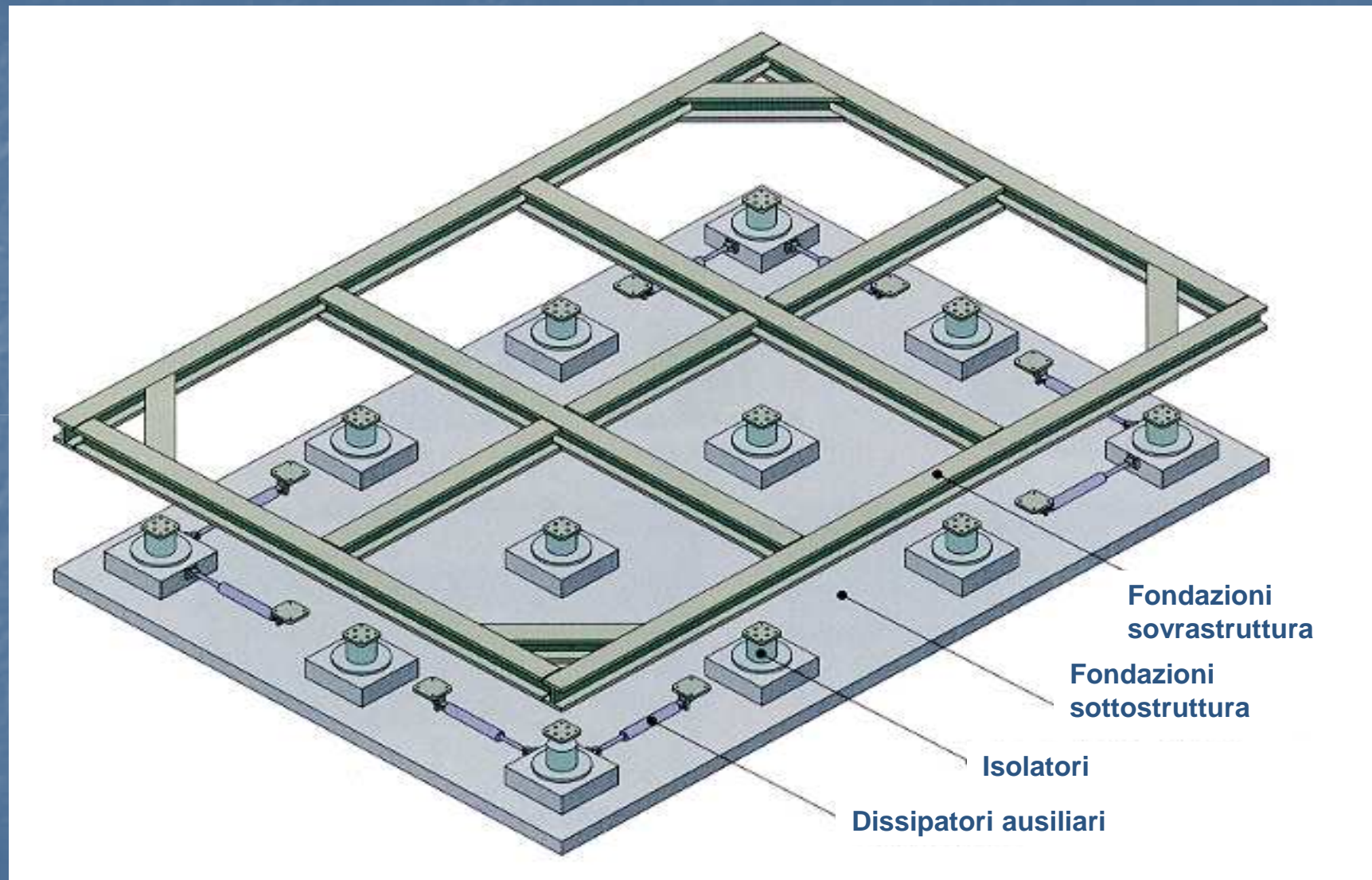
Gli **isolatori** sono dispositivi che svolgono fondamentalmente la funzione di sostegno dei carichi verticali, con elevata rigidità in direzione verticale e bassa rigidità o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali (spostamenti relativi fra struttura e terreno).

A tale funzione possono essere associate o no quelle di dissipazione di energia, di ricentraggio del sistema, di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

I **dispositivi ausiliari** svolgono fondamentalmente la funzione di dissipazione aggiuntiva di energia e/o di ricentraggio del sistema e/o di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici), rispetto alle azioni orizzontali.



## SCHEMA DI SISTEMA DI ISOLAMENTO



# DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO



I sistemi di isolamento alla base sono utilizzati per proteggere le strutture e ciò che contengono dal danneggiamento che si verifica durante un terremoto.

Il comportamento di edifici isolati alla base nei terremoti recenti, Northridge (U.S.A., 1994) e Kobe (Japan, 1995) in particolare, ha confermato che questi sistemi sono efficaci nel ridurre la domanda sismica nella struttura.

Per ottenere un comportamento efficace ed efficiente questi sistemi devono essere realizzati con dispositivi caratterizzati da:

- elevata flessibilità orizzontale
- elevata capacità di dissipare energia
- capacità ricentrante

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



# DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

La Normativa fa esplicito riferimento ai dispositivi le cui caratteristiche meccaniche sono state oggetto di diversi studi e prove e per i quali si ritiene di conoscere in modo affidabile il comportamento.

Nonostante questo, l'idea dell'isolamento è talmente affascinante che vengono proposti continuamente nuovi sistemi di isolamento alla base, alcuni dei quali si rivelano a volte inutilmente complicati o inefficaci.

La maggior parte dei sistemi di isolamento prevede l'impiego di elastomero (gomma naturale o neoprene) o di slitte (la superficie di scivolamento è spesso realizzata in Teflon-acciaio).

La soluzione più efficace sembra però essere una combinazione dei due dispositivi (in elastomero ed a scorrimento): infatti solo così si riesce a disaccoppiare il contributo di rigidità da quello di dissipazione.

Quindi oggi si tende a sistemi di isolamento che hanno isolatori e dissipatori in parallelo, perché è scomodo e difficile progettare un sistema di isolamento con solo isolatori in quanto essi hanno una precisa dissipazione, fissata una certa rigidità (rigidità e dissipazione sono ricavabili l'una dall'altra). Siccome voglio avere l'indipendenza tra rigidità e dissipazione si mettono insieme isolatori e dissipatori per progettare il sistema di isolamento.

L'isolatore è sostanzialmente una molla che ha spostamento orizzontale e fornisce forze proporzionalmente agli spostamenti.

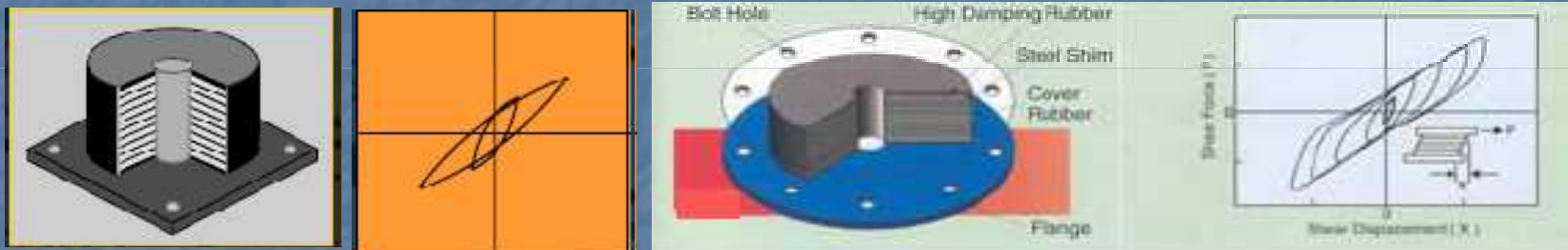
Nel dissipatore invece raggiunto un certo livello di forza, quest'ultima diventa costante qualunque sia lo spostamento. Quindi il dissipatore non è in grado di richiamare in posizione la struttura e bisogna stare attenti a non metterne troppi altrimenti saranno i dissipatori a tenere ferma la struttura, mentre gli isolatori cercano di richiamarla in posizione.



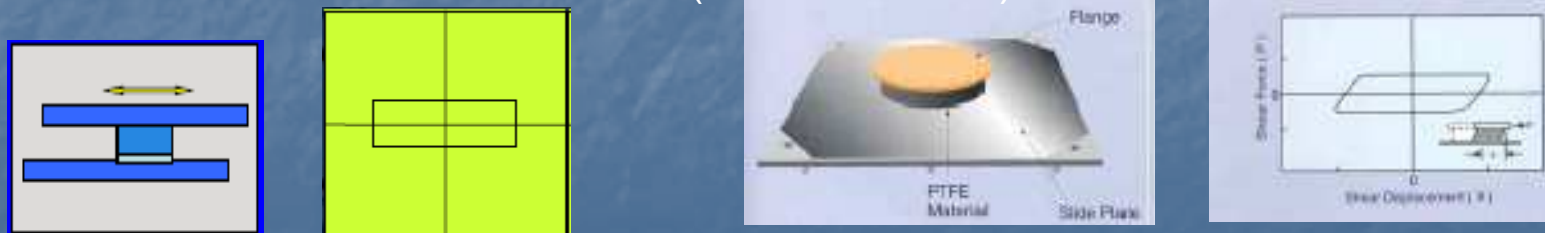
# DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

Gli isolatori devono essere sufficientemente rigidi verticalmente per sostenere i pesi ed estremamente deformabili a taglio per **ridurre le deformazioni della struttura** durante il terremoto **"scollegandola dal terreno"** (l'edificio resta fermo mentre il terreno al di sotto si muove). Non è necessario che essi abbiano una elevata capacità di dissipare energia (ma è meglio).

Isolatori in materiale elastomerico ed acciaio

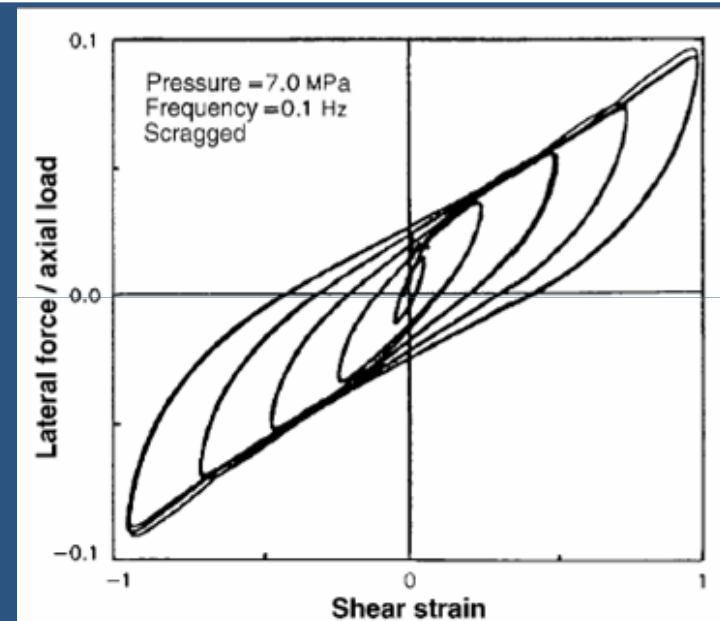
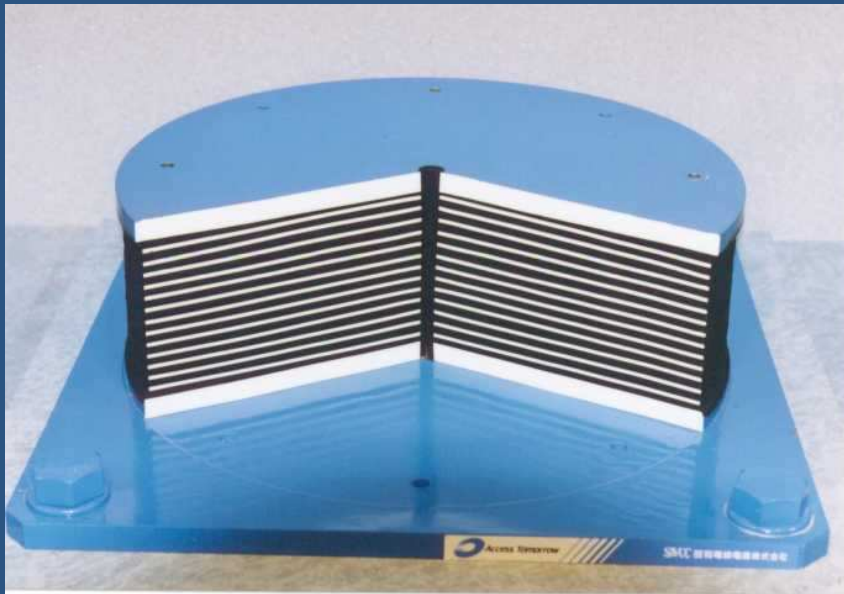


Isolatori a scorrimento (acciaio- teflon)



# DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

## ISOLATORI ELASTOMERICI



Ciclo forza-spostamento per isolatori in elastomero ad elevato smorzamento

# DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

## ISOLATORI A SCORRIMENTO



## *APPARECCHIO DI APPOGGIO A BASSO ATTRITO (SLITTA)*



# DEFINIZIONI DI PERIODO E RIGIDEZZA EQUIVALENTE

## **Periodo equivalente:**

Periodo naturale d'oscillazione orizzontale della costruzione assimilata ad un oscillatore a un grado di libertà, con la massa della sovrastruttura e la rigidezza uguale alla rigidezza equivalente del sistema d'isolamento, per uno spostamento di ampiezza uguale allo spostamento di progetto.

## **Rigidezza equivalente:**

Rigidezza secante di un dispositivo d'isolamento o di un sistema d'isolamento, valutata su un ciclo forza-spostamento con spostamento massimo assegnato, tipicamente pari a quello di progetto.

# CARATTERISTICHE DEGLI ISOLATORI ELASTOMERICI

Nella fase di progettazione dobbiamo decidere la rigidezza da assegnare agli isolatori per avere un buon grado di isolamento ( $T_{is}/T_{BF} \geq 3$ )

Parametri di progetto:

## Rigidezza equivalente

È una rigidezza secante pari al rapporto tra la forza **F** corrispondente allo spostamento massimo **d<sub>2</sub>** del ciclo e lo spostamento ( **$K_e = F/d_2$** ) pari al prodotto del modulo dinamico equivalente a taglio **G<sub>din</sub>** per **A/te**

G<sub>din</sub> (fornito dal costruttore) dipende dalla frequenza di prova, ma si prescinde da questo in quanto essa varia da 0.33 a 0.4 Hz ( $T_{is}=2.5/3$  sec) e quindi assumiamo G<sub>din</sub> costante.

## Smorzamento viscoso equivalente

È il rapporto tra l'energia dissipata in un ciclo completo di carico **W<sub>d</sub>** e **2πFd<sub>2</sub>**, ossia

$$\xi_e = W_d / (4\pi W_s) = W_d / (2\pi Fd_2).$$

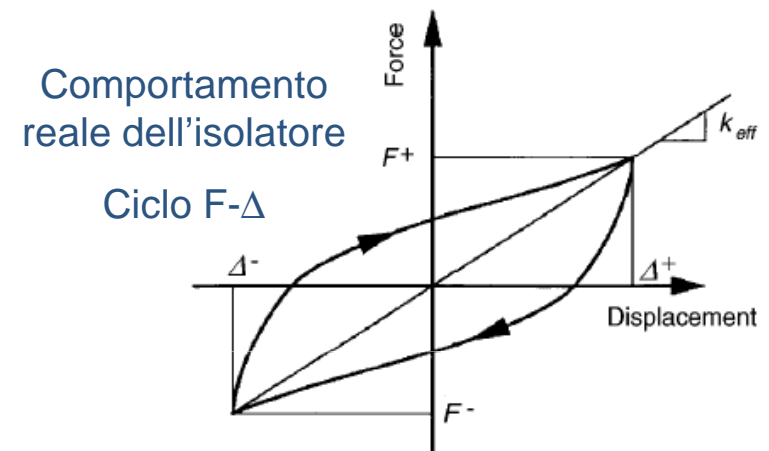
L'energia di deformazione elastica W<sub>s</sub> è pari a  $Fd_2 / 2$ .

Per ricavare  $\xi_e$  si impone che l'area del ciclo isteretico dell'isolatore, (nell'ipotesi che non varia con la frequenza della forzante e dipende solo dal percorso deformativo), sia pari all'energia Ev dissipata dalla viscosità equivalente; ossia:

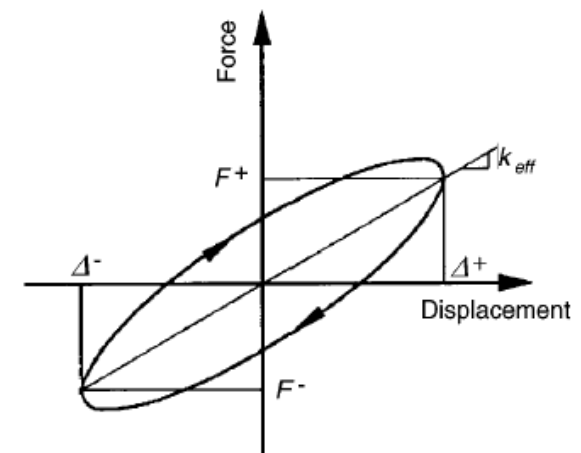
$$Ev = \pi d c \omega d = c \pi \omega d^2 = \xi 2 m \omega \pi \omega d^2 = \xi 2 m \omega \pi \omega d^2 = \xi 2 \pi k d^2 = \xi \pi 4 W_s$$

con  $c = \xi c_{crit} = \xi 2 m \omega$ ;  $\omega^2 = k/m$  e  $F = kd$

Per un isolatore a scorrimento  $\xi_e = 4Fd / [4\pi Fd/2] = 2/\pi$

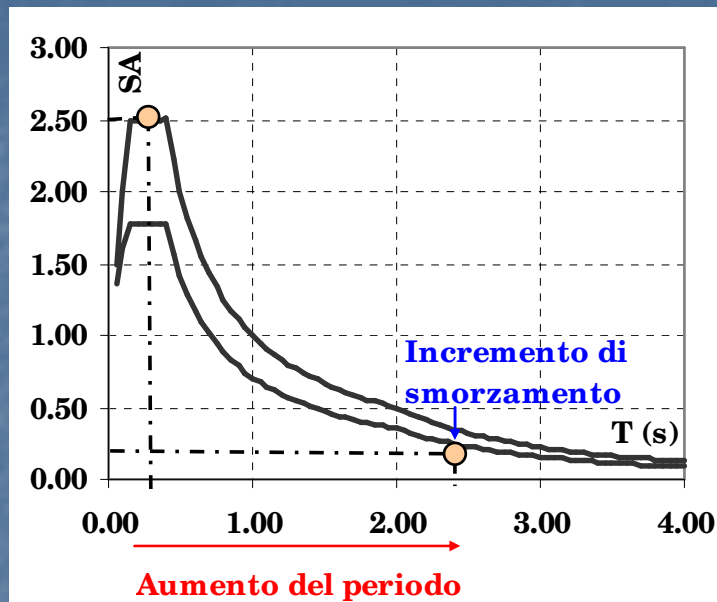


Hysteretic behavior

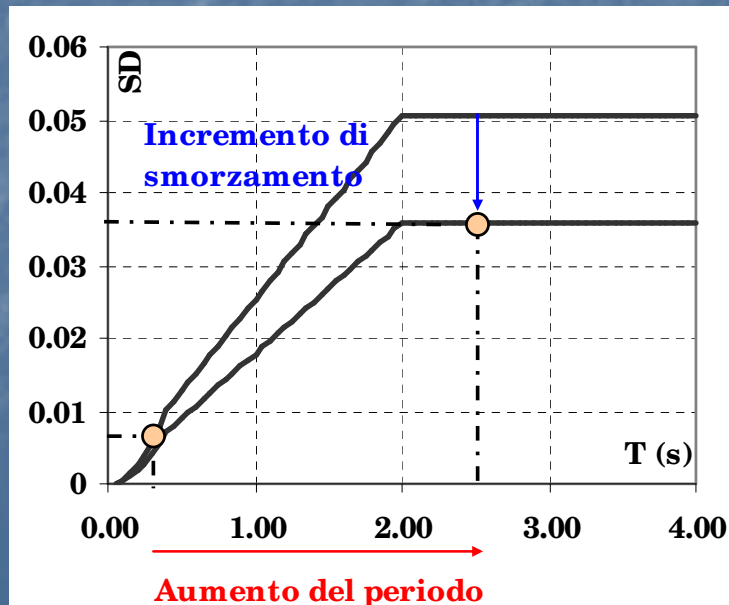


Viscoelastic behavior

# EFFETTI DELL'AUMENTO DI PERIODO E DELLO SMORZAMENTO



Effetto dell'aumento di periodo e dell'aumento di smorzamento sullo spettro di risposta elastico in pseudo-accelerazioni.



Effetto dell'aumento di periodo e dell'aumento di smorzamento sullo spettro di risposta elastico in spostamenti.



# INDICAZIONI PROGETTUALI



Gli isolatori devono essere collocati al di sotto della porzione di struttura da proteggere (**sovrastuttura**).

Gli elementi verticali degli **edifici esistenti** devono essere quindi tagliati per creare la separazione dalla parte sottostante (**sottostruttura**) e consentire l'inserimento degli isolatori.

Al di sotto e al di sopra degli isolatori va realizzato un sistema di travi che garantisca il **funzionamento** piano di appoggio degli isolatori e del p sovrastuttura.

Attorno alla struttura deve essere lasciata la **consentire il movimento dell'edificio** (dell'ordine della decina dei cm).

Gli **impianti** devono essere in grado di **spostamenti elevati** dell'edificio.



# INDICAZIONI PROGETTUALI

Gli isolatori devono essere collocati al di sotto della porzione di struttura da proteggere (**sovrastuttura**).

Gli elementi verticali degli **edifici esistenti** devono essere quindi tagliati per creare la separazione dalla parte sottostante (**sottostruttura**) e consentire l'inserimento degli isolatori.

Al di sotto e al di sopra degli isolatori va realizzato un sistema di travi che garantisca il **funzionamento a diaframma** del piano di appoggio degli isolatori e del piano di appoggio della sovrastuttura.

Deve essere garantita la rigidità strutturale nel piano orizzontale dei piani immediatamente al di sotto e al di sopra del sistema di isolamento, al fine di garantire una distribuzione regolare degli sforzi tra i diversi isolatori ed a distribuire correttamente le forze degli eventuali dispositivi ausiliari (che sono in genere in numero limitato) tra gli elementi strutturali che debbono assorbirli.



# INDICAZIONI PROGETTUALI



Attorno alla struttura deve essere lasciato uno spazio che consenta il movimento dell'edificio durante il terremoto (dell'ordine della decina dei cm). In particolare è importante controllare che **elementi non strutturali e/o impianti** non riducano o annullino le possibilità di movimento della struttura previste nella progettazione strutturale. In tal senso è richiesta la massima sensibilizzazione e la piena consapevolezza delle modalità di funzionamento di una struttura con isolamento sismico, da parte di tutti i progettisti, inclusi quelli architettonici e impiantistici.

Al riguardo occorre prestare molta attenzione ai dettagli delle condutture, in corrispondenza dell'attraversamento dei giunti, adottando delle **giunzioni flessibili** e comunque che possano subire gli spostamenti relativi di progetto senza determinare danni e perdite.

È inoltre importante controllare i coprigiunti e gli elementi di attraversamento orizzontale (**dispositivi di giunto**) e verticale (**scale, ascensori**), affinché siano concepiti e realizzati in modo da non creare impedimento al libero movimento della sovrastruttura.

Gli **impianti** devono essere in grado di sopportare gli **spostamenti elevati** dell'edificio.



# INDICAZIONI PROGETTUALI



Occorre prevedere la possibilità di **sostituzione**, e dunque predisporre la struttura in modo che sia possibile trasferire temporaneamente alla sottostruttura, attraverso martinetti opportunamente disposti, il carico gravante sul singolo isolatore e prevedere un adeguato **spazio per le operazioni** necessarie alla **rimozione e sostituzione**.

Per ridurre o annullare gli **spostamenti residui** a seguito di un terremoto è inoltre necessario verificare la presenza o prevedere appositi elementi strutturali di contrasto contro cui fare forza per ricollocare la struttura nella sua posizione originaria.

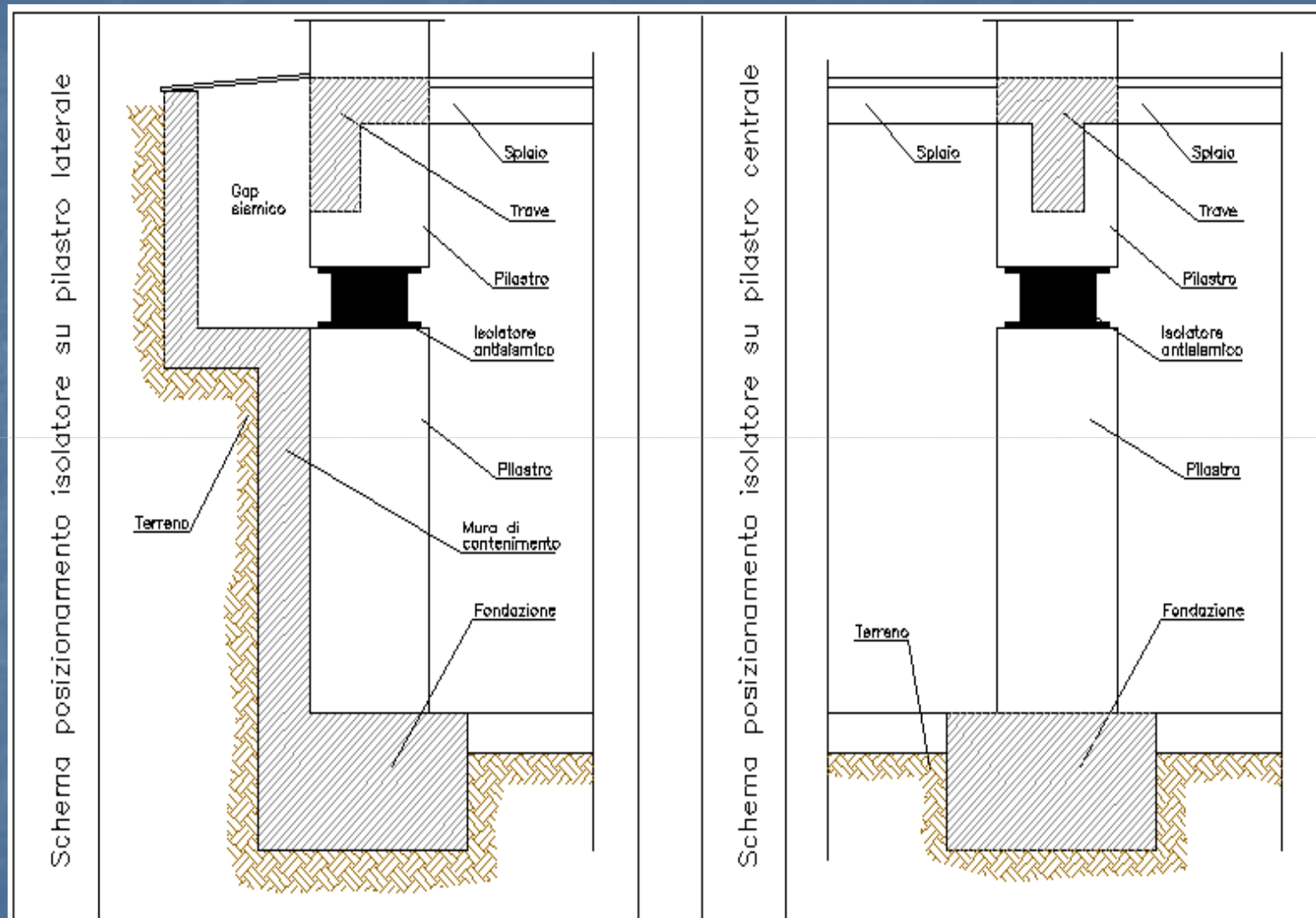
# INDICAZIONI PROGETTUALI



DIAFRAMMA RIGIDO SOPRA E SOTTO IL PIANO  
DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO



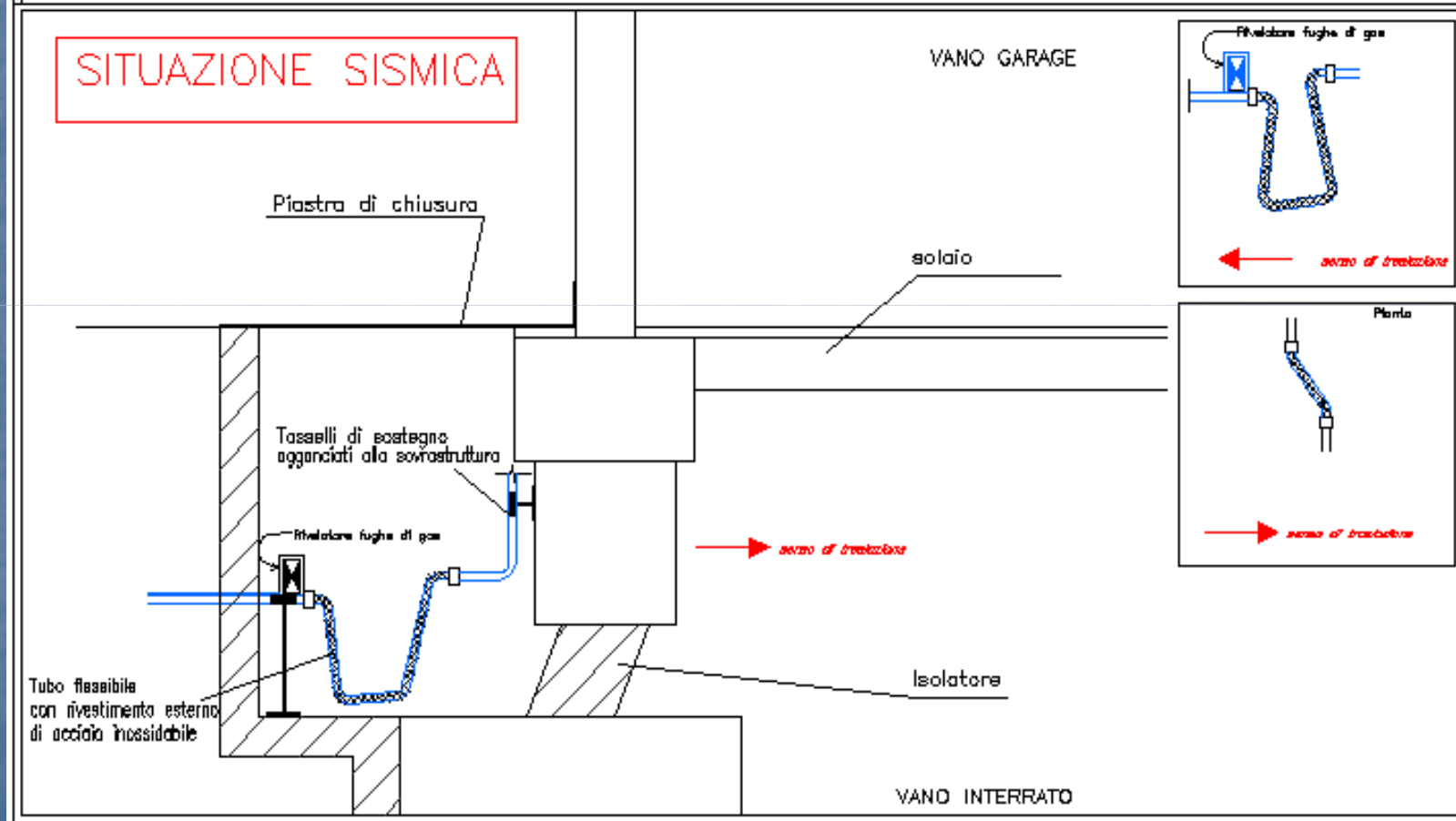
# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI



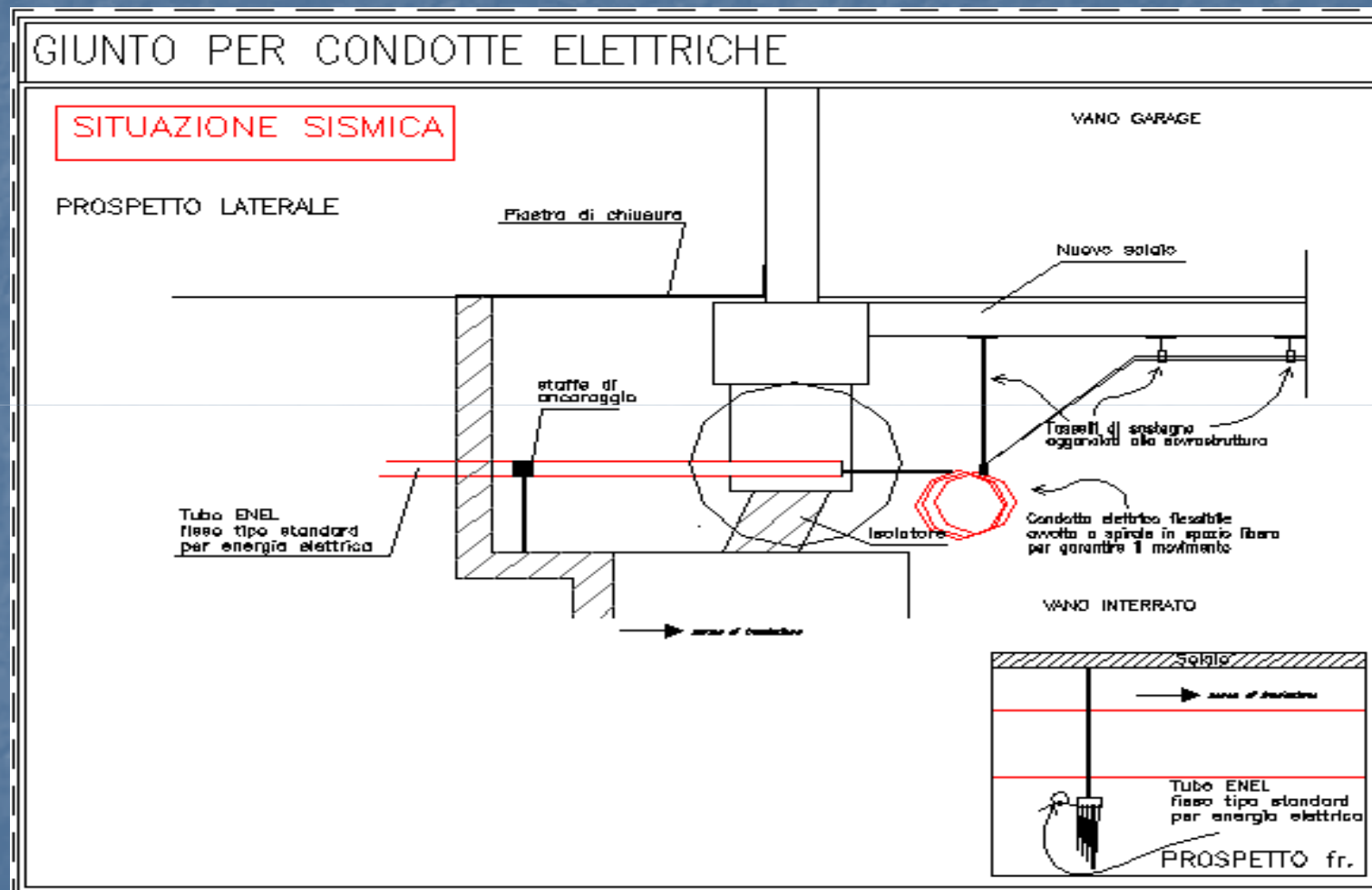


# IMPIANTI TECNOLOGICI

## GIUNTO CONDOTTE PER GAS – ACQUA SITUAZIONE SISMICA



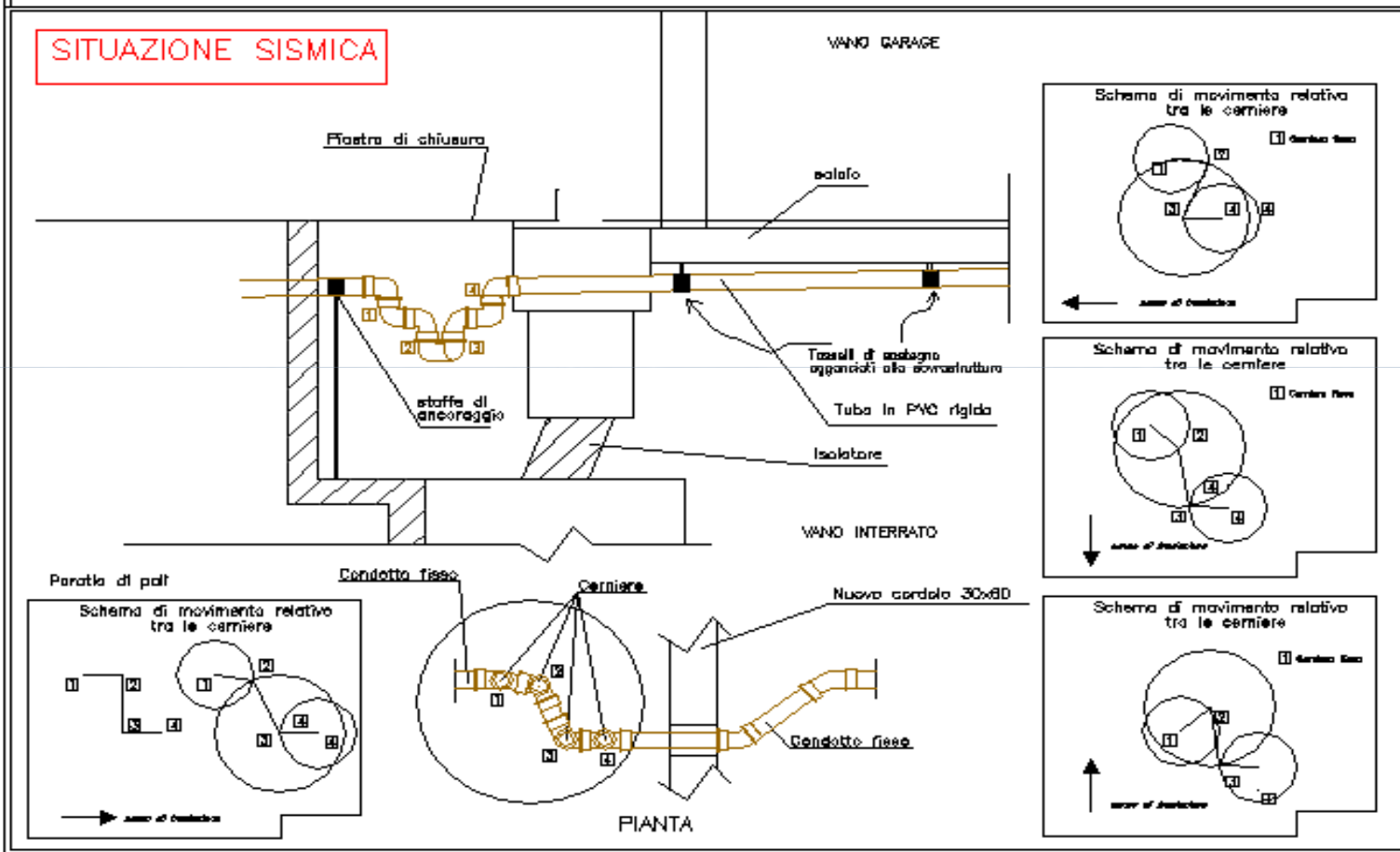
# IMPIANTI TECNOLOGICI



# IMPIANTI TECNOLOGICI

## GIUNTO CONDOTTE PER ACQUE BIANCHE E NERE

### SITUAZIONE SISMICA





# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI



# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI





# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI



# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI





# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI



***PREDISPOSIZIONE ANCORAGGI***



***FORI DI ANCORAGGIO***



# INSERIMENTO DEGLI ISOLATORI



***POSIZIONAMENTO DELL'ISOLATORE***

# IMPIANTI TECNOLOGICI

- Tutte le **condutture degli impianti** che attraversano i giunti intorno alla struttura isolata **dovranno non subire danni e rimanere funzionanti per i valori di spostamento corrispondenti allo SLD.**
- Quelle del gas e di altri impianti pericolosi che attraversano i giunti di separazione dovranno essere progettati per consentire gli spostamenti relativi della sovrastruttura isolata corrispondenti allo SLU, con lo stesso livello di sicurezza adottato per il progetto del sistema di isolamento.

Bisogna curare i particolari per consentire gli spostamenti in due direzioni ortogonali.



## PROBLEMATICHE ANNESSE ALL'ISOLAMENTO SISMICO



L'isolamento non è efficace quando la struttura ha un **elevato periodo di oscillazione**.

Perché l'isolamento sia efficace, il “**grado di isolamento**” dell'edificio

$I = T_{\text{isolata}} / T_{\text{base fissa}}$  deve risultare almeno pari a **3**.

Inoltre questa tecnica non è efficace per **particolari condizioni geologiche** (terreni soffici) per le quali i maggiori contenuti di energia rilasciata dal terremoto sono su periodi elevati (lo spettro si alza e la riduzione non è così significativa).

Per l'utilizzo su edifici esistenti le difficoltà maggiori sono relative alla **realizzazione della sottostruttura**, alla **riduzione dell'eccentricità** tra baricentro delle masse e baricentro delle rigidezze e alla **separazione da edifici adiacenti**.

Per garantire una protezione migliore conviene dotare il sistema di una certa **capacità dissipativa**, che insieme all'aumento del periodo, riducono ulteriormente la risposta.



# MODELLAZIONE

La **sovrastuttura** e la **sottostruttura** verranno modellate sempre come sistemi a comportamento elastico lineare.

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.

[...] L'**energia dissipata dal sistema d'isolamento** dovrà essere espressa in termini di coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del sistema d'isolamento  $\xi_{esi}$ , valutato con riferimento all'energia dissipata dal sistema di isolamento in cicli con frequenza nel range delle frequenze naturali dei modi considerati. Per i *modi superiori della struttura*, al di fuori di tale range, il rapporto di smorzamento del modello completo dovrà essere quello della sovrastruttura nella condizione di base fissa.

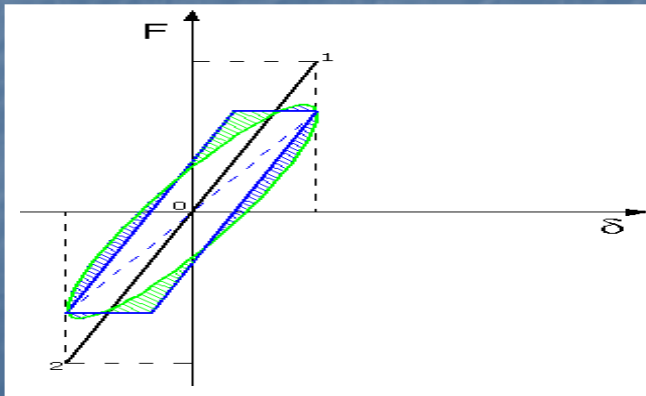
# MODELLAZIONE

La modellazione del comportamento meccanico degli isolatori può avvenire in maniera semplificata se si opera una

## “LINEARIZZAZIONE EQUIVALENTE”

del comportamento dei dispositivi, che consiste nel ridurre un comportamento meccanico complesso (governato da numerosi parametri meccanici) nel comportamento meccanico più semplice, governato dai soli due parametri:

1. Rigidezza equivalente  $K_{eq}$
2. Smorzamento viscoso equivalente  $\zeta_{eq}$ .



Linearizzazione equivalente con rigidezza e smorzamento “geometrici”

$$K_{eq} = \frac{F_{max}}{d_{max}}$$
$$\zeta_{eq} = \frac{C}{C_{CRIT}} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{E_D}{E_{P,MAX}}$$

# METODI DI ANALISI

---

Se si opera una LINEARIZZAZIONE EQUIVALENTE è possibile usare nella progettazione di una struttura isolata sia

- l'**analisi statica equivalente** che
- l'**analisi dinamica lineare**.

Per sistemi a scorrimento senza forza di richiamo o per sistemi elasto-plastici non è più possibile applicare il concetto di smorzamento viscoso equivalente. In questi casi è necessario fare un'analisi al passo (dinamica non lineare)



# ANALISI STATICA LINEARE

Si fa l'ipotesi che la struttura sia un solido rigido che trasla al di sopra del sistema d'isolamento, con un periodo equivalente di traslazione pari a:

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

M    Massa totale della sovrastruttura

K<sub>esi</sub>    Rigidezza equivalente orizzontale del SI

Condizioni di applicabilità dell'analisi statica lineare:

**CONFIGURAZIONE STRUTTURALE:** il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale regolare in pianta.

**ELEVAZIONE:** la sovrastruttura ha altezza non maggiore di 20 metri e non più di 5 piani.

**PIANTA:** la maggiore dimensione in pianta della sovrastruttura è inferiore a 50 m;

**SISTEMA D'ISOLAMENTO:** può essere modellato come lineare, in accordo con il precedente punto [...]

# ANALISI STATICA LINEARE

[...]

**GRADO DI ISOLAMENTO ( $T_{is}/T_{bf}$ ):** il periodo equivalente  $T_{is}$  della costruzione isolata ha un valore compreso fra  $3 \cdot T_{bf}$  e 3.0 s, in cui  $T_{bf}$  è il periodo della costruzione assunta a base fissa, stimato con un'espressione approssimata.

**RIGIDEZZA VERTICALE ISOLATORI:** La rigidezza verticale del sistema di isolamento  $K_v$  è almeno 800 volte più grande della rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento  $K_{esi}$ .

**RIGIDEZZA VERTICALE DELLA STRUTTURA ISOLATA:** il periodo in direzione verticale  $T_v$  è inferiore a 0,1

**ASSENZA DI TRAZIONE:** nessuno isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali.

**ECCENTRICITÀ:** in ciascuna delle direzioni principali orizzontali l'eccentricità totale (esclusa quella accidentale) tra il centro di rigidezza del sistema di isolamento e la proiezione verticale del centro di massa non è superiore al 3% della dimensione della sovrastruttura trasversale alla direzione orizzontale considerata.

# ANALISI STATICA LINEARE

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

$$d_{dc} = \frac{M \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})}{K_{esi,min}}$$

dove:

$S_e(T_{is}, \xi_{esi})$  accelerazione spettrale definita per la categoria di suolo di fondazione appropriata in corrispondenza del periodo equivalente e dello smorzamento

$K_{esi,min}$  rigidezza equivalente minima in relazione alla variabilità delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento

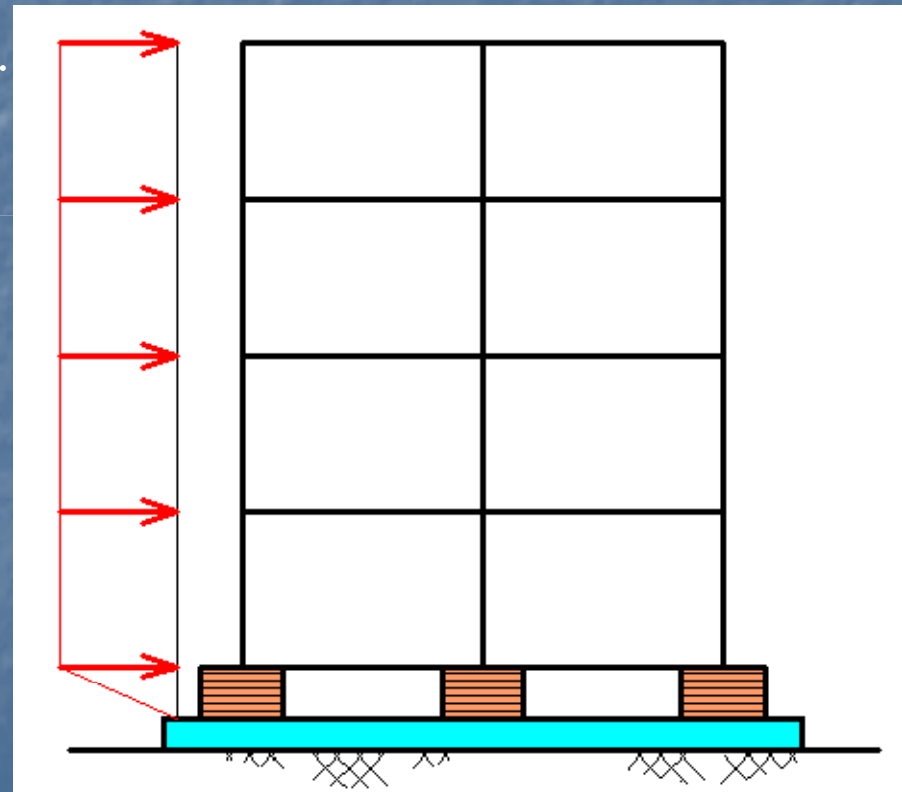


# ANALISI STATICA LINEARE

Le forze orizzontali da applicare a ciascun piano della sovrastruttura debbono essere calcolate, in ciascuna direzione orizzontale, mediante la seguente espressione:

$$f_j = m_j \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

$m_j$  massa del piano j-esimo.



# ANALISI DINAMICA LINEARE

È ammessa quando è possibile modellare elasticamente il comportamento del sistema d'isolamento.

Si assume allora per sovrastruttura, sistema d'isolamento e sottostruttura un **comportamento elastico lineare**.

Sono possibili **2 tipi di analisi modale**:

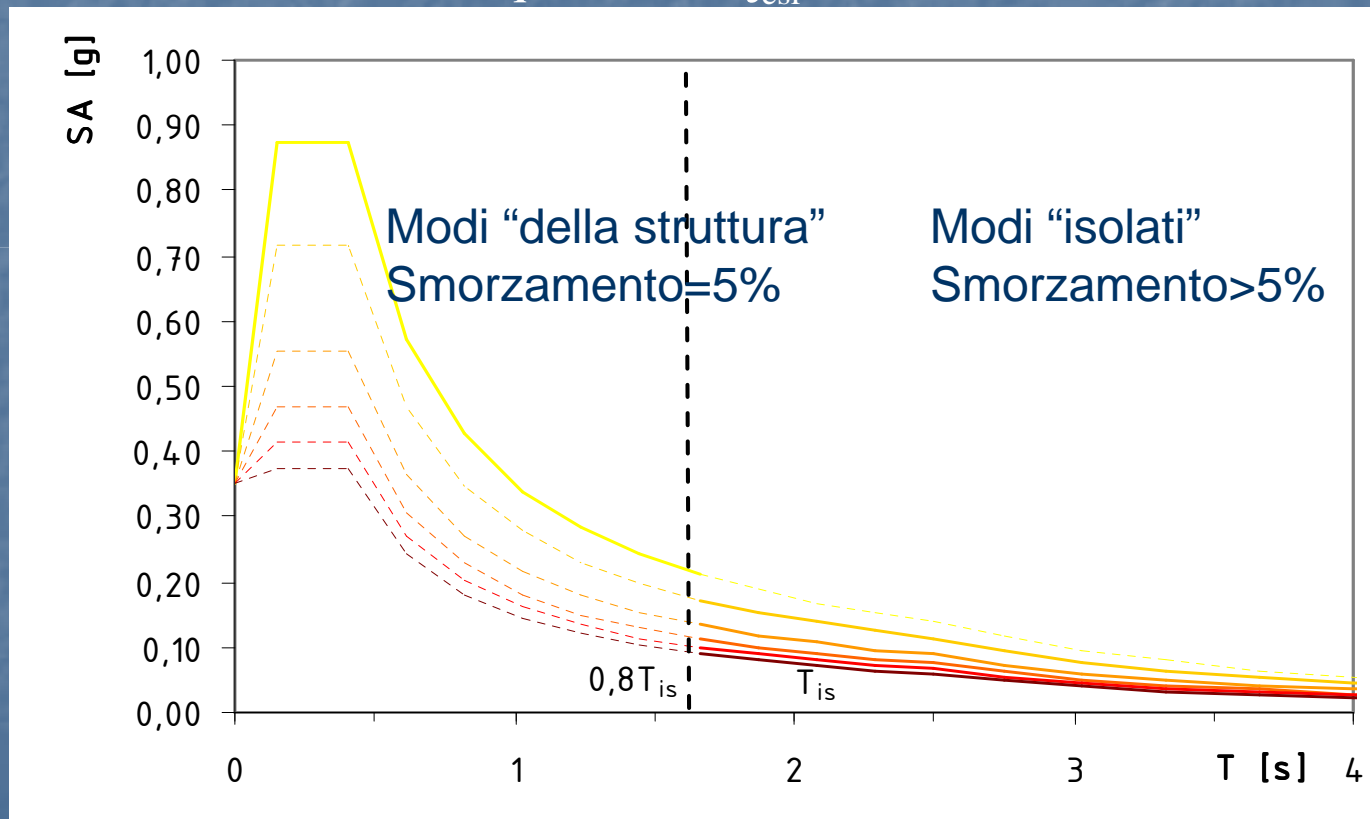
1. analisi modale con spettro di risposta;
2. analisi modale con integrazione al passo delle equazioni del moto.

In ogni caso si deve considerare un numero di modi tale da portare in conto anche un'**aliquota significativa della massa** della sottostruttura.

L'**azione verticale** va considerata se il rapporto tra rigidezza verticale ed orizzontale del SI è inferiore a 800. In questo caso devono essere presi in conto anche i modi che eccitano la massa in direzione verticale.

# ANALISI DINAMICA LINEARE

Per l'applicazione del metodo dello spettro di risposta, lo spettro elastico va ridotto per tutto il campo di periodi  $T > 0,8 T_{is}$ , assumendo per il coefficiente riduttivo  $\eta$  il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_{esi}$  del sistema di isolamento.





# COLLAUDO

---

Il collaudo statico deve essere effettuato **in corso d'opera**; al riguardo si segnala che di fondamentale importanza è il controllo della posa in opera dei dispositivi, nel rispetto delle tolleranze e delle modalità di posa prescritte dal progetto.

Il collaudatore, nell'ambito dei suoi poteri discrezionali, potrà estendere i propri accertamenti, ove ne ravvisi la necessità. In tale senso il collaudatore potrà disporre l'esecuzione di **speciali prove per la caratterizzazione dinamica** del sistema di isolamento atte a verificare, nei riguardi di azioni di tipo sismico, che le caratteristiche della costruzione corrispondano a quelle attese.

## ESEMPI DI APPLICAZIONE

Edifici esistenti:  
Oakland City hall



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

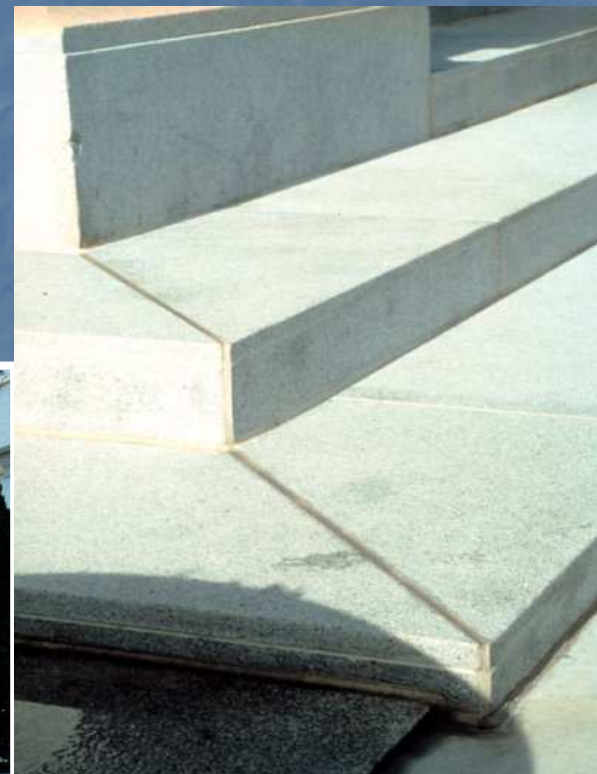
## ESEMPI DI APPLICAZIONE



San Francisco City Hall



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



Particolare di un giunto



# ESEMPI DI APPLICAZIONE

*Edifici giapponesi dotati di isolamento sismico e colpiti da terremoti*



Edificio governativo di 9 piani in c.a. e acciaio con basamento di 1 piano (64 LDRB + 56 LRB + 32 EPD)



Edificio per uffici (3 piani, 4 LRB)



Ospedale di 3 piani con attico

*Edifici isolati a Kushiro City colpiti dal terremoto di "Off Tokachi" del 2003  
(M=8.0, 2 dispersi e 847 feriti)*

## ESEMPI DI APPLICAZIONE

*Edifici giapponesi dotati di isolamento sismico e colpiti da terremoti*



*Edificio di 18 piani a Sendai City (primo edificio più alto di 60 m) che ha subito il Terremoto di "Miyagi-Oki" del 2003 ( $M=7.0$ , 16 feriti)*



*Edificio in cemento armato costruito a Ojiya City nel 1996 (spostamento massimo = 15 cm; spostamento residuo = 3 cm) che ha subito il Terremoto di "Mid Niigata" del 2004 ( $M=6.8$ , oltre 40 morti, oltre 2000 feriti)*

## ESEMPI DI APPLICAZIONE

Ministero delle Poste e Telecomunicazioni di Sanda City, che ha superato indenne il sisma di Kobe nel 1995 (30 Km dall'epicentro)

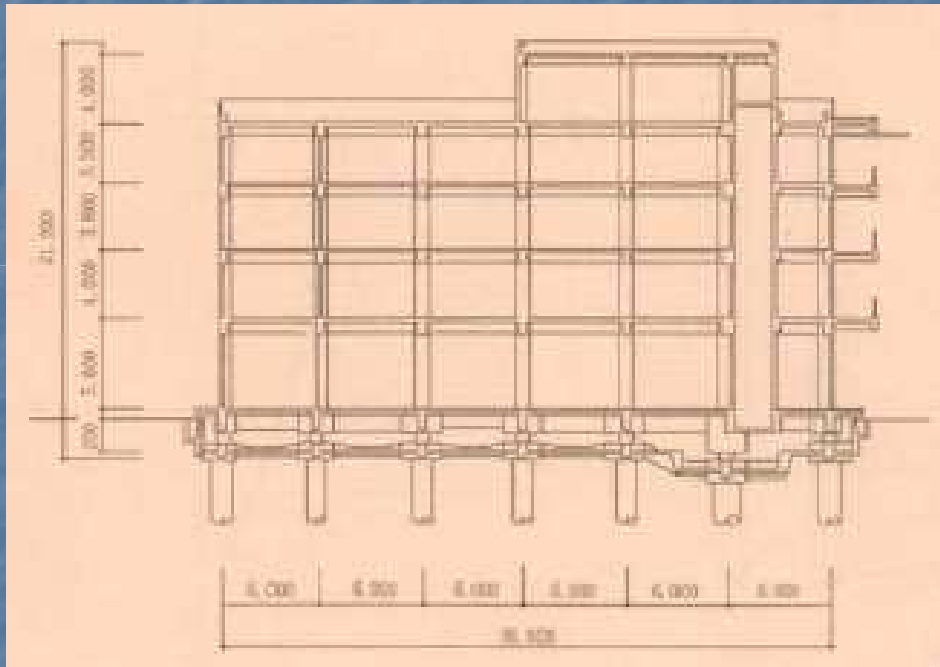


Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE

Isolamento sismico con isolatori in gomma armata  
(Fujisawa, Giappone)



Sono facilitate l'ispezionabilità, la manutenzione, la protezione da agenti esterni e le eventuali operazioni di sostituzione degli isolatori.

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Edificio residenziale a Rapolla (PZ)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)



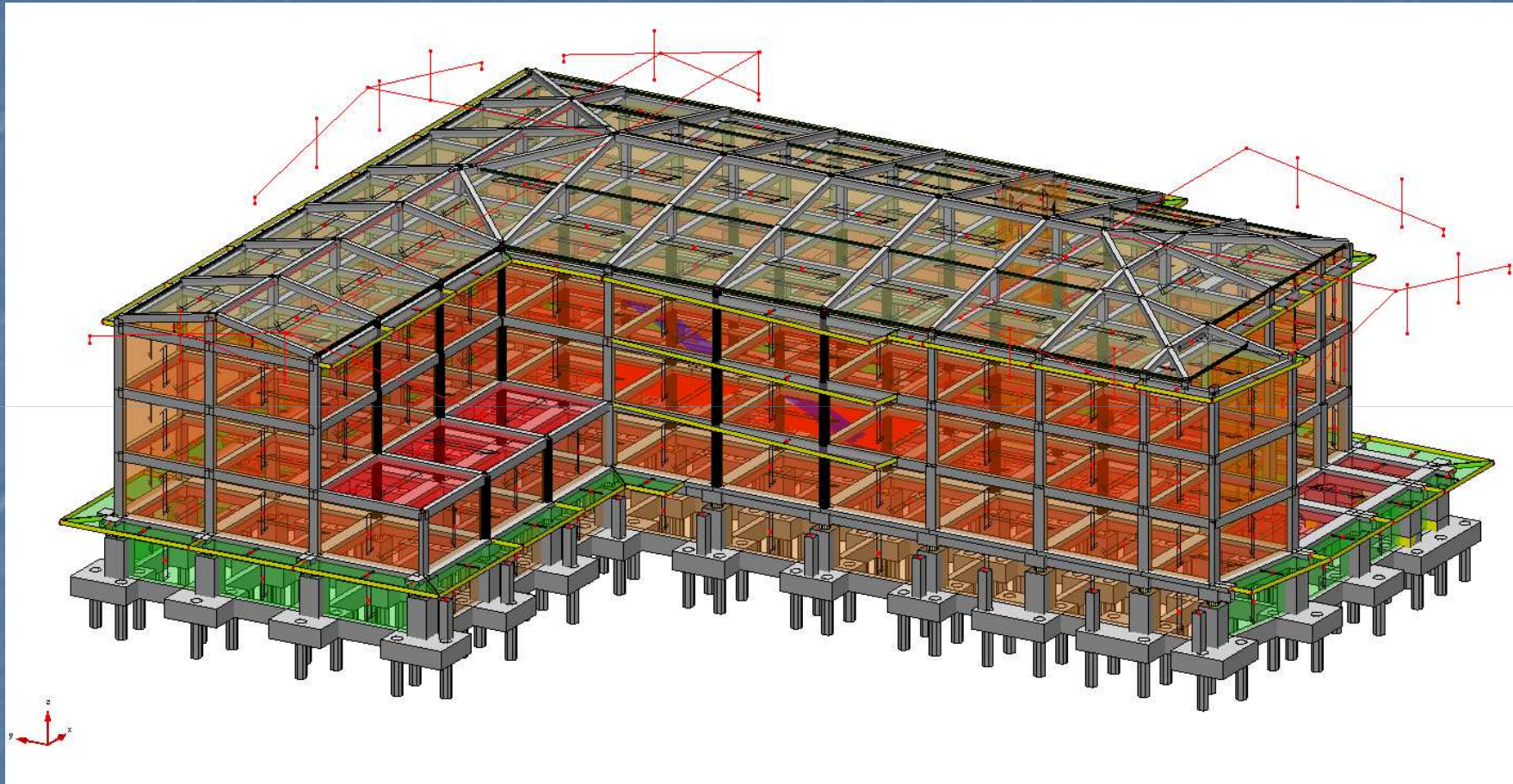
## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Edificio residenziale a Rapolla (PZ)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)



# “Applicazione dell’isolamento sismico al Polo scolastico di Isernia”



## VISTA DEL MODELLO STRUTTURALE

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoartstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoartstudio.it)

# PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

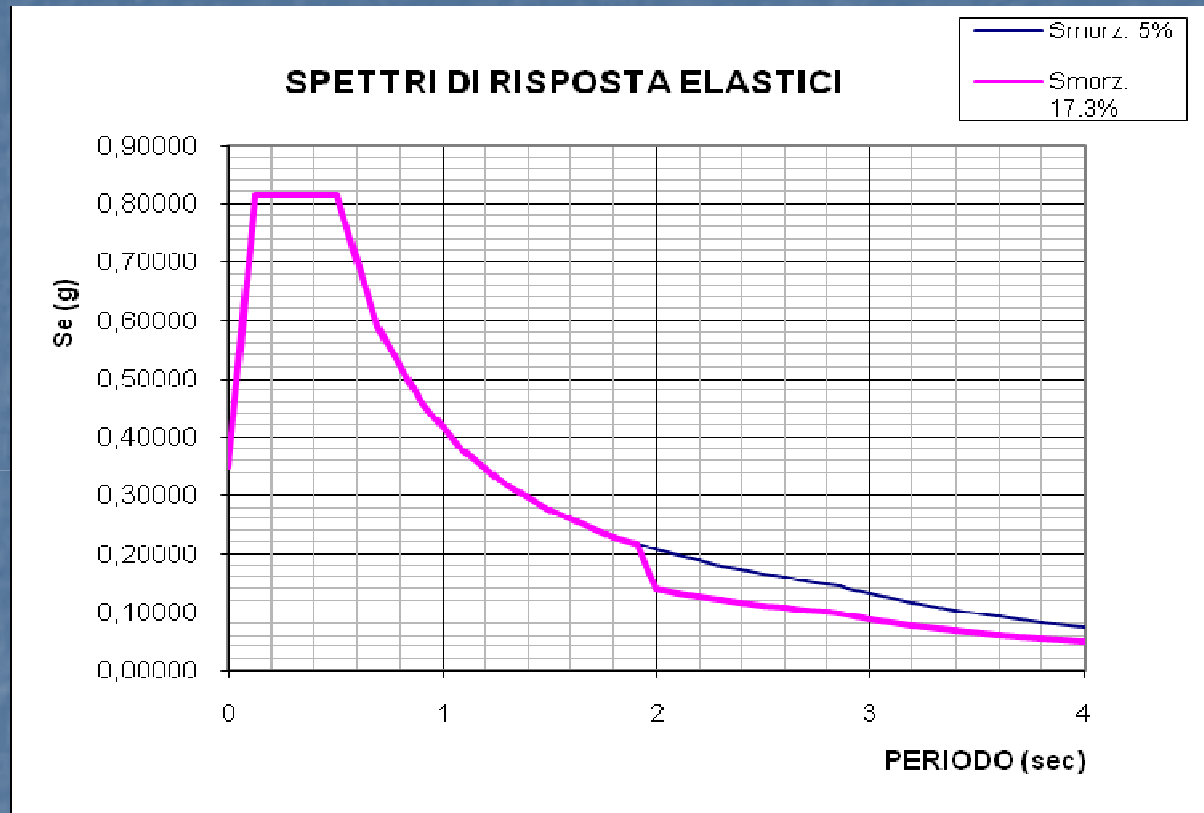
## (AZIONE SISMICA DI PROGETTO DM 14.01.2008)

Alla costruzione è associata una vita nominale  $V_N=50$  anni ed una Classe d'uso III, per cui risulta un periodo di riferimento  $V_R=75$  anni

$T_R$ [anni]	SL	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]	$T_D$ [s]	$S=S_S*S_T$	$C_C$	$T_C$ [s]	$a_g * S^*\eta * F_o$ [g]
45	<b>SLO</b>	<b>0,087</b>	<b>2,377</b>	<b>0,290</b>	<b>1.948</b>	<b>1.200</b>	<b>1.409</b>	<b>0.409</b>	<b>0.248</b>
75	<b>SLD</b>	<b>0,111</b>	<b>2,377</b>	<b>0,310</b>	<b>2.044</b>	<b>1.200</b>	<b>1.390</b>	<b>0.431</b>	<b>0.317</b>
712	<b>SLV</b>	<b>0,308</b>	<b>2,365</b>	<b>0,373</b>	<b>2.832</b>	<b>1.109</b>	<b>1.340</b>	<b>0.499</b>	<b>0.808</b>
1462	<b>SLC</b>	<b>0,402</b>	<b>2,407</b>	<b>0,400</b>	<b>3.208</b>	<b>1.013</b>	<b>1.321</b>	<b>0.528</b>	<b>0.980</b>

I valori ottenuti, sulla base delle indagini condotte, hanno consentito l'identificazione di un terreno di sottofondo tipo **B**. Abbiamo quindi i parametri per la definizione della forma dello spettro di risposta elastico per i 4 stati limite.

# PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO (AZIONE SISMICA DI PROGETTO DM 14.01.2008)

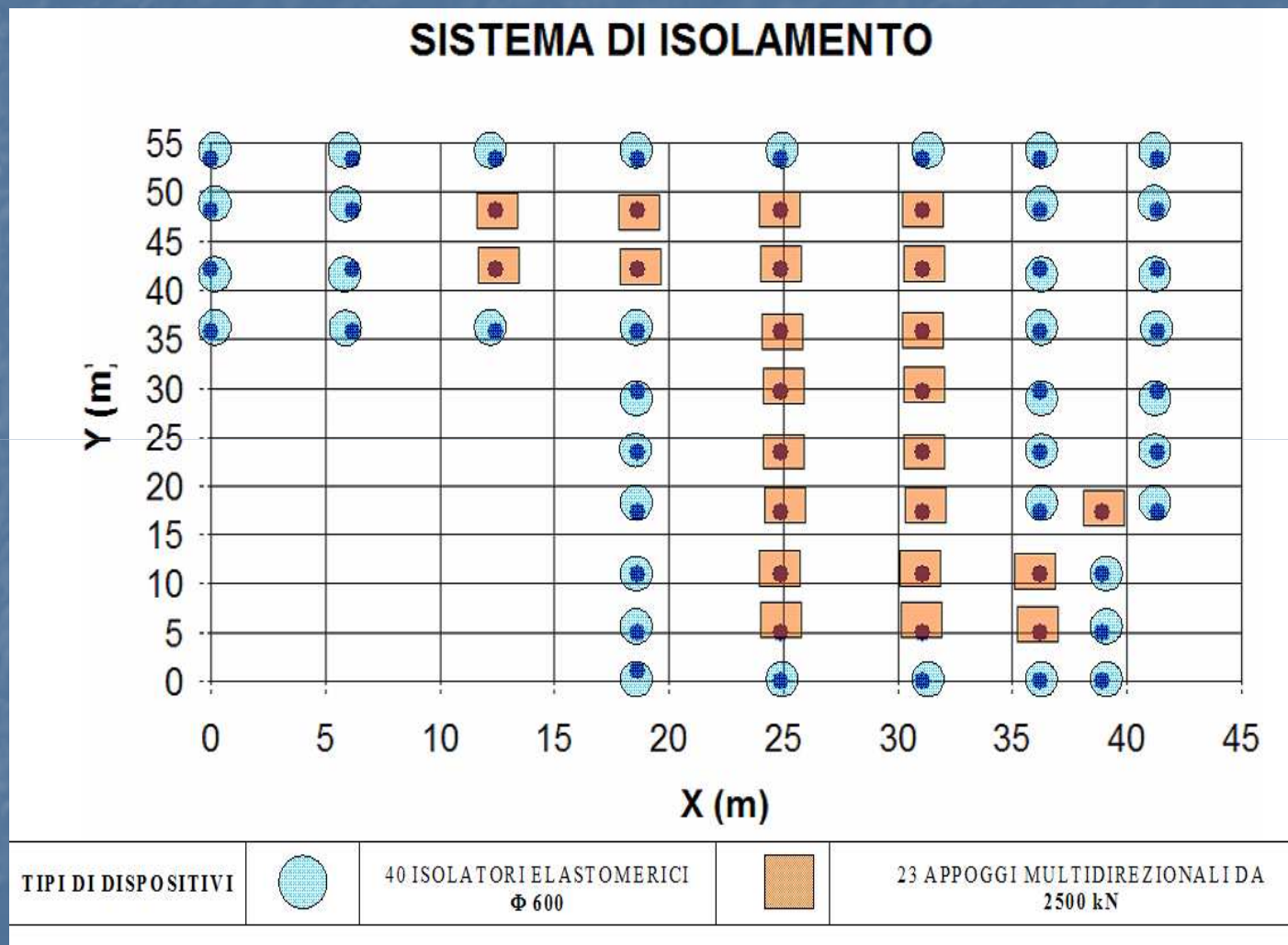


Spettri elastici di risposta  $Se(T)$  per lo **SLV** su terreno di sottofondo tipo **B**, con rapporti di smorzamento del **5%** e del **17.3%**.



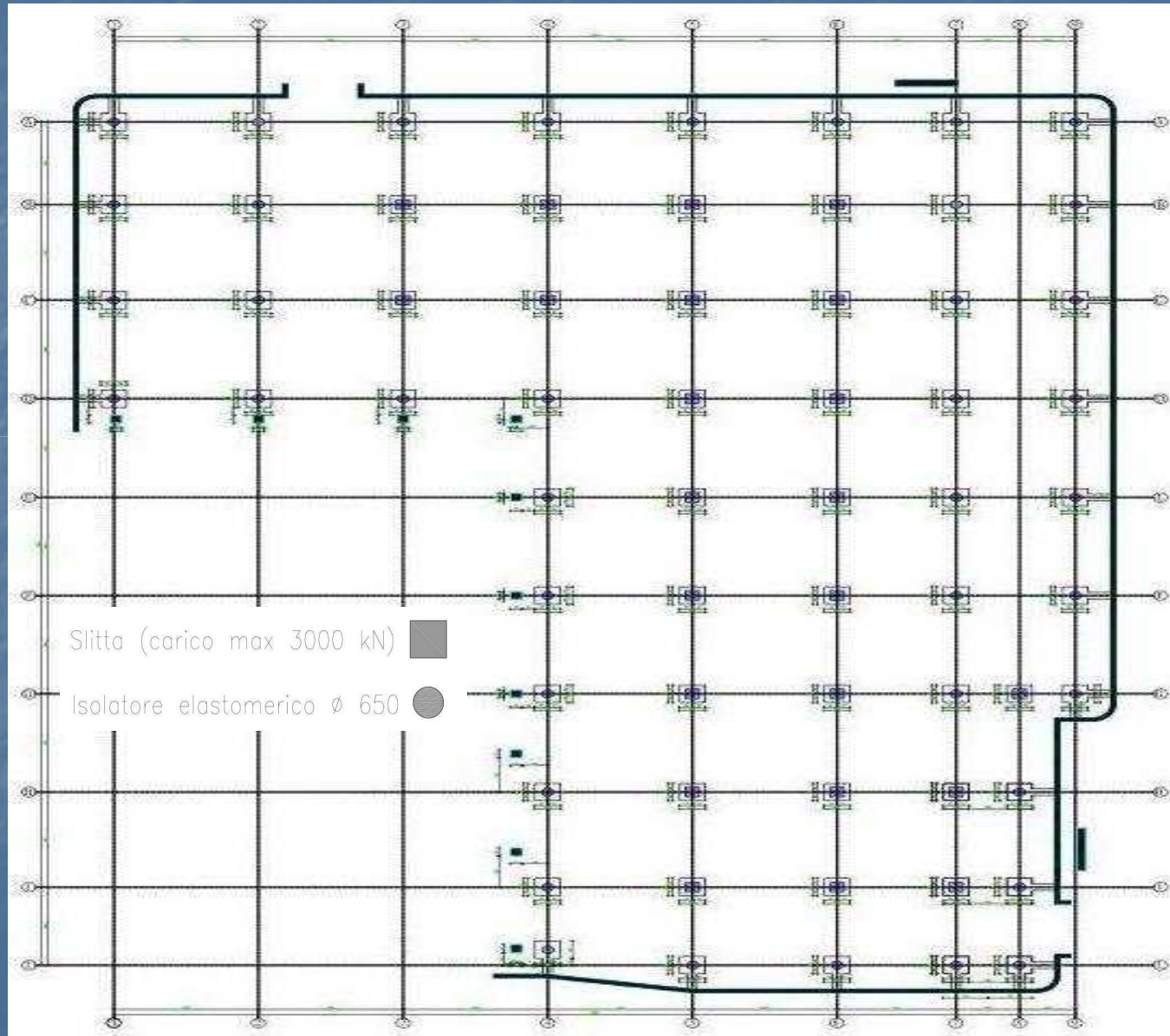
# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## DISPOSIZIONE DEI DISPOSITIVI ANTISISMICI



# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## PIANTA DEI DISPOSITIVI ANTISISMICI



# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## SEZIONE STRUTTURALE

Sezione B-B



SOVRASTRUTTURA

DISPOSITIVI  
ANTISISMICI

SOTTOSTRUTTURA



# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## NUMERAZIONE POSIZIONE DEI DISPOSITIVI ANTISISMICI

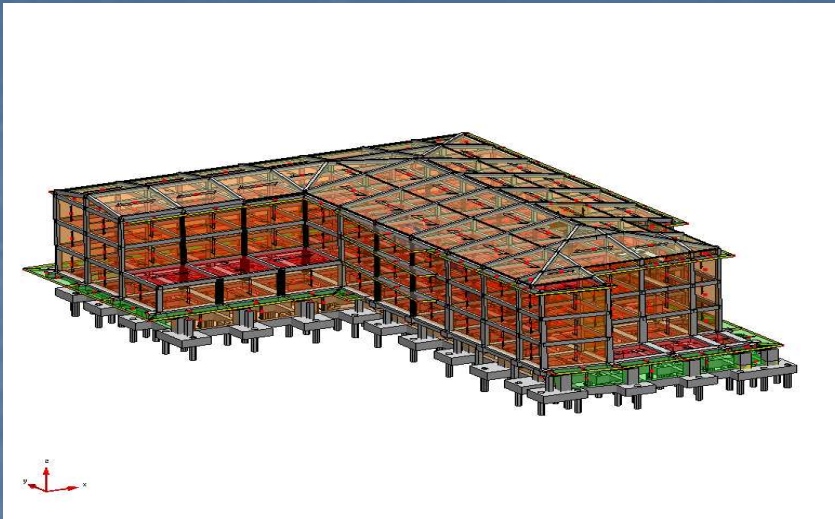


# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

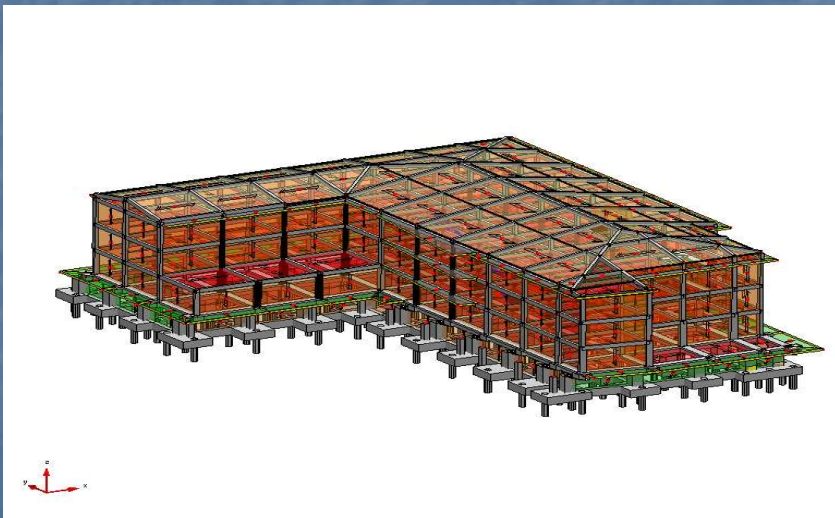
$d_{dc}=244$  mm Spostamento del centro di rigidezza

NUM. TOT. DISPOSITIVI	DESCRIZIONE	NUM. POSIZ.	d <sub>max</sub> (mm)	γ <sub>s</sub> =d <sub>max</sub> /te % (te =252mm)	CARICHI (kN)		V <sub>max</sub> /V <sub>crit</sub> ≤0.5
					CON SISMA	STATICI	
40	Isolatori elastomerici  ϕ 600	2	351	139	1175	1495	0.42
		3	363	144	1109	1465	0.42
		4	368	146	1023	1235	0.41
		7	336	133	1450	2203	0.47
		8	346	137	1249	1643	0.43
		53	373	148	303	352	0.13
23	Appoggi multidirezionali	24	343	-	1407	2122	-
		26	298	-	1522	2347	-
SINTESI DELLE VERIFICHE PER I DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO							

## MODI NATURALI DI VIBRARE PRINCIPALI DELL'EDIFICIO CON ISOLAMENTO SISMICO



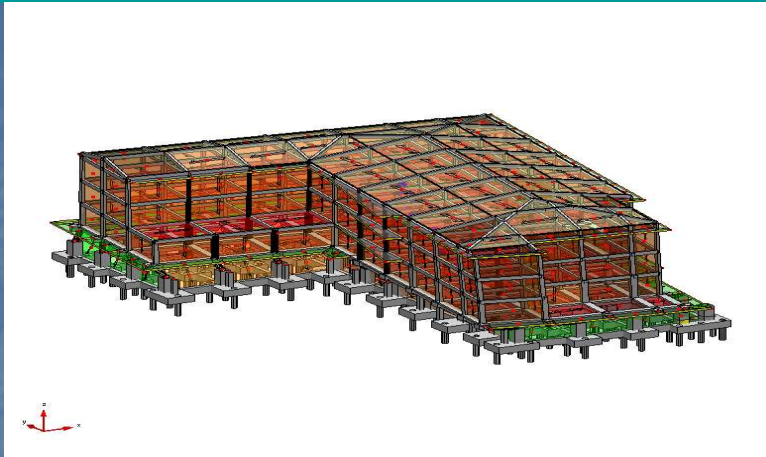
1° modo naturale di vibrare  
 $T=2.79$  sec



2° modo naturale di vibrare  
 $T=2.78$  sec



## MODI NATURALI DI VIBRARE PRINCIPALI DELL'EDIFICIO CON ISOLAMENTO SISMICO



3° modo naturale di vibrare  
 $T=2.41$  sec

Modo n°	$T_{BI}$ [s]	$M_x$ [%]	$M_y$ [%]	$\Sigma M_x$ [%]	$\Sigma M_y$ [%]
1	2.79	97.27	1.21	99.27	1.21
2	2.78	1.25	98.62	98.52	99.83
3	2.41	1.35	0.05	99.87	99.88
4	0.46	0.08	0.01	99.95	99.89
5	0.45	0.01	0.07	99.96	99.96
6	0.43	0.01	0.01	99.97	99.97

Questi modi di vibrare evidenziano un completo disaccoppiamento tra il comportamento dinamico della struttura in entrambe le direzioni ed anche tra oscillazioni rotazionali e traslazionali.

# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## VISTA DI INSIEME



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoartstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoartstudio.it)



# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## PARTICOLARI INSERIMENTO DISPOSITIVI



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoartstudio.it



# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## ISOLATORI ELASTOMERICI



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoartstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoartstudio.it)



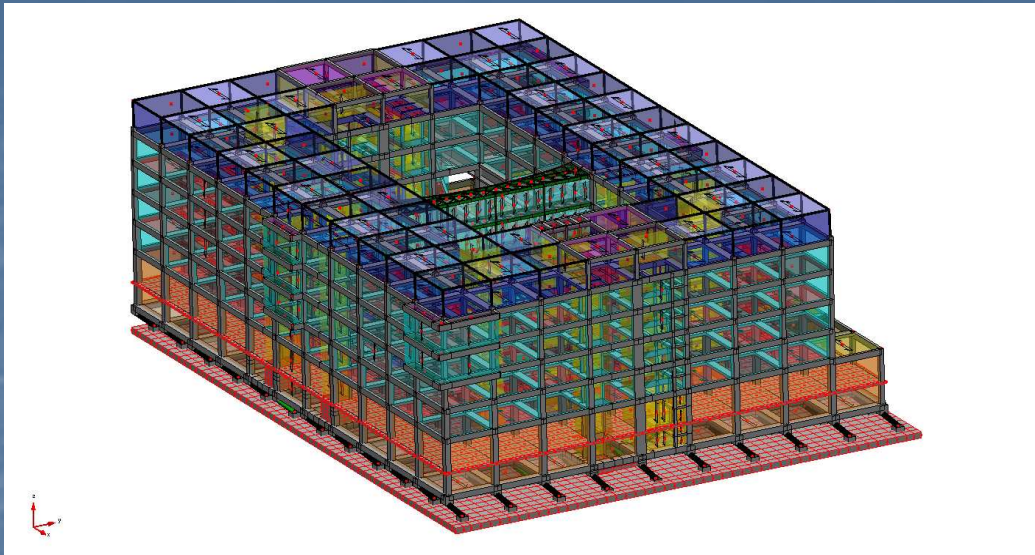
# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

## APPOGGI MULTIDIREZIONALI

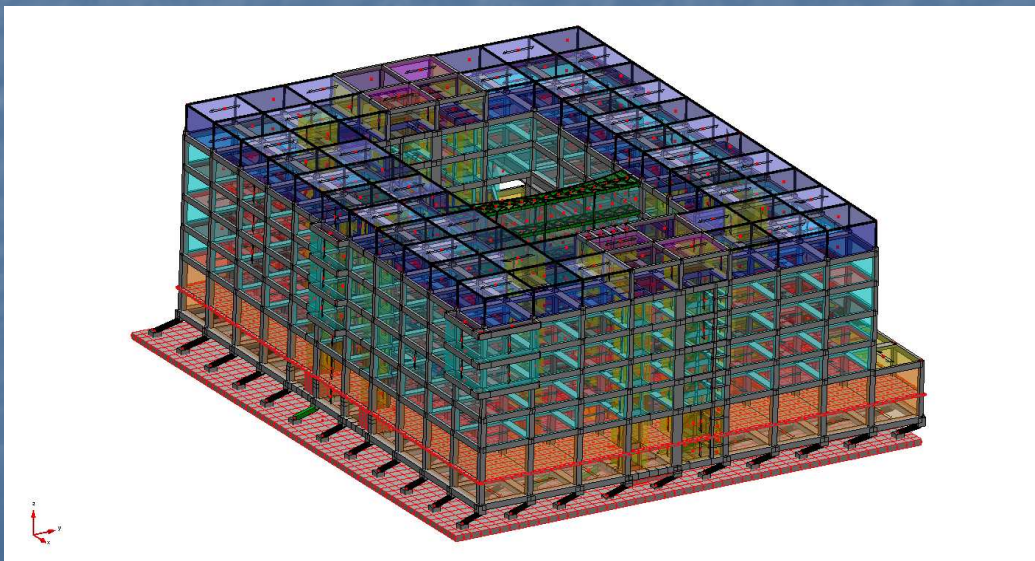




## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Ospedale a Palermo



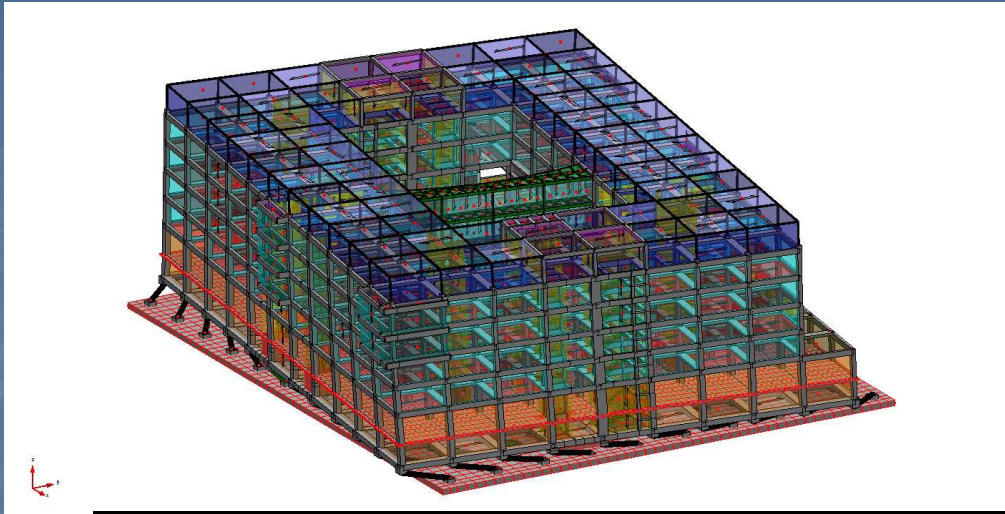
1° modo naturale di vibrare  
 $T=2.905$  sec



2° modo naturale di vibrare  
 $T=2.891$  sec



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Ospedale a Palermo

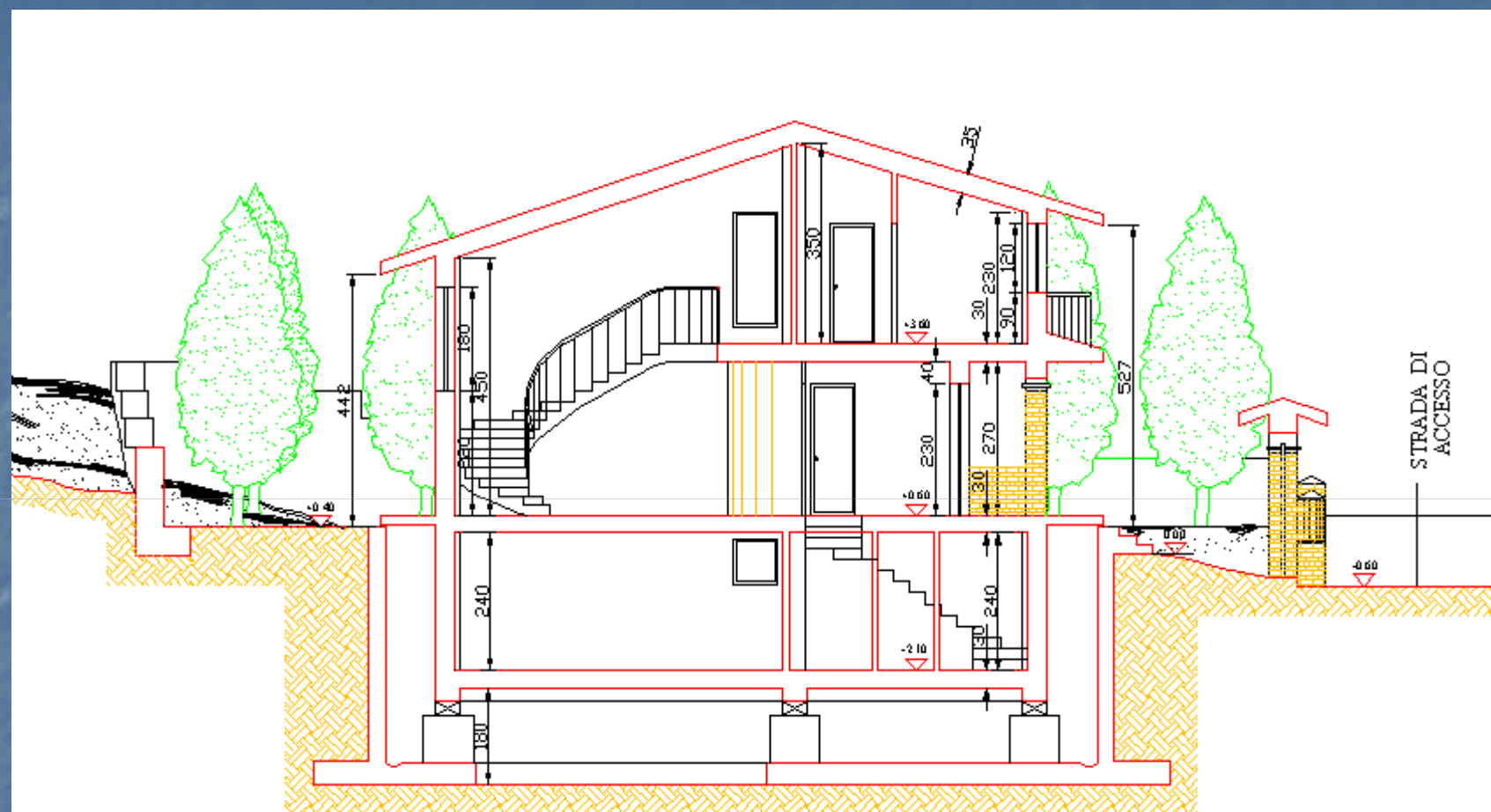


3° modo naturale di vibrare  
 $T=2.760$  sec

Modo n°	$T_{BI}$ [s]	$M_x$ [%]	$M_y$ [%]	$\Sigma M_x$ [%]	$\Sigma M_y$ [%]
1	2.905	<b>98.62</b>	0.77	98.62	0.77
2	2.891	0.82	<b>97.11</b>	99.45	97.88
3	2.760	0.02	1.61	<b>99.47</b>	<b>99.49</b>
4	0.753	0.41	0.01	99.88	99.50
5	0.728	0.01	0.41	99.90	99.92
6	0.659	0.01	0.03	<b>99.91</b>	<b>99.96</b>

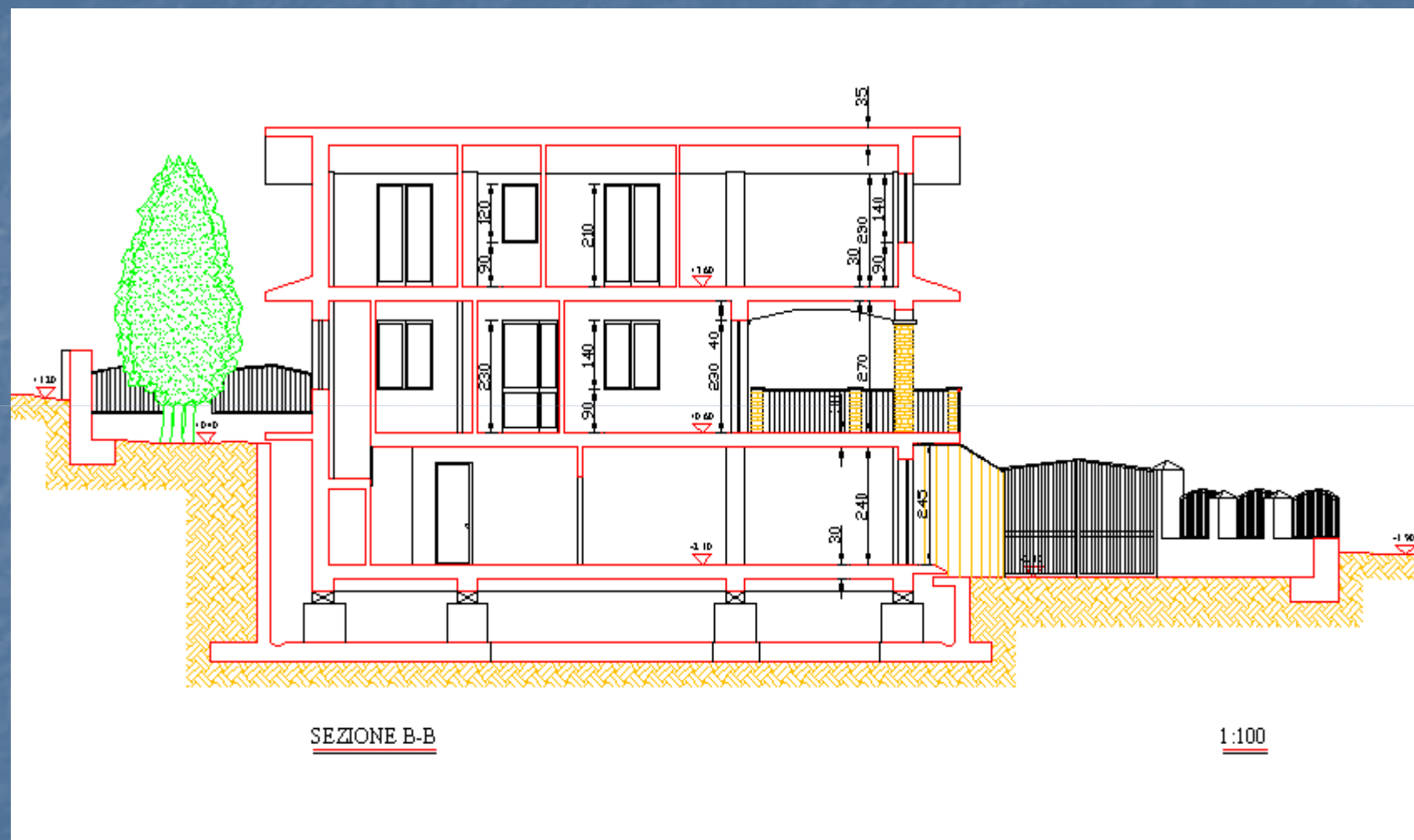
Questi modi di vibrare evidenziano un completo disaccoppiamento tra il comportamento dinamico della struttura in entrambe le direzioni ed anche tra oscillazioni rotazionali e traslazionali.

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Edificio residenziale a Frosolone (IS)



SEZIONE A-A

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Edificio residenziale a Frosolone (IS)





## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Edificio residenziale a Frosolone (IS)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Edificio residenziale a Frosolone (IS)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



# CONSIDERAZIONI SUI COSTI PER LA COSTRUZIONE DI EDIFICI NUOVI CON ISOLAMENTO SISMICO

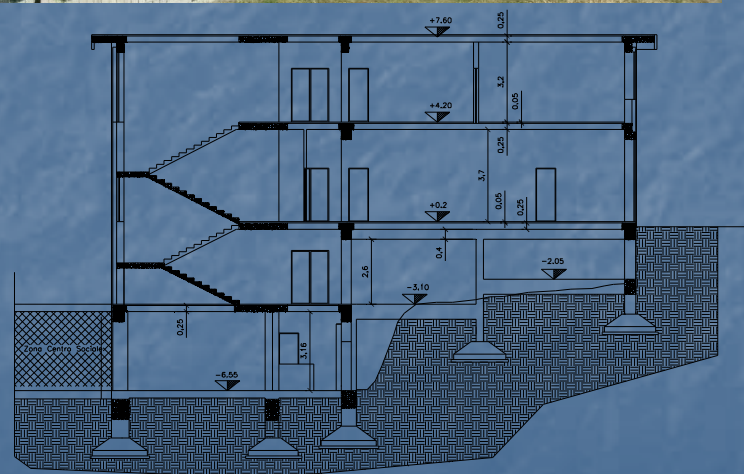
Una corretta valutazione e confronto dei costi di costruzione, rispetto a quelli di una struttura tradizionale, andrebbe fatto a parità di livello di sicurezza; ad ogni modo prescindendo da questo, bisogna considerare:

- il costo di acquisto degli isolatori;
- il costo di opere accessorie: cunicoli di ispezione - "doppia fondazione"- vari accorgimenti costruttivi;
- il risparmio sulle quantità di armatura nella struttura;
- il risparmio sulla mano d'opera per la realizzazione della struttura.

**DALL'ANALISI FATTA SU DIVERSE STRUTTURE, I COSTI DI COSTRUZIONE SONO DELLO STESSO ORDINE DI GRANDEZZA CON VARIAZIONI DI QUALCHE % ( $\pm$ ).**



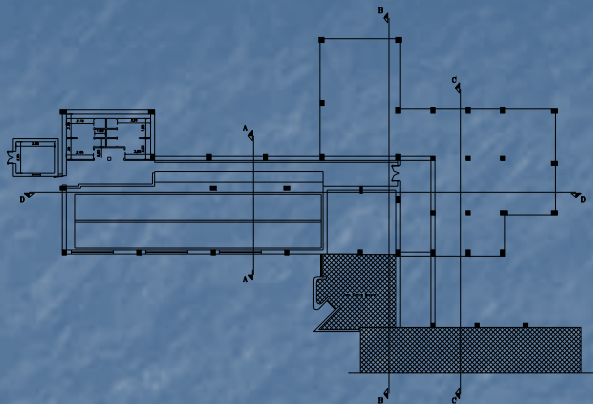
## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)



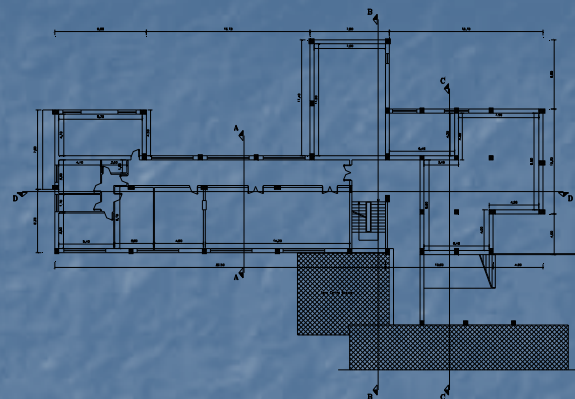
Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

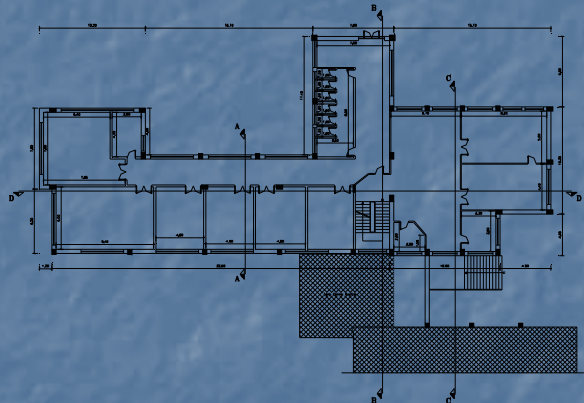
Pianta 1° livello



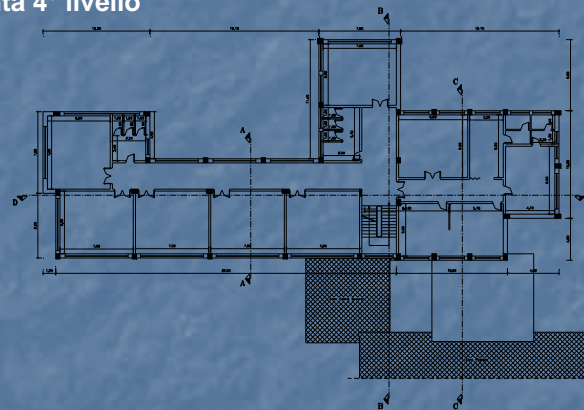
Pianta 2° livello



Pianta 3° livello



Pianta 4° livello





# INDIVIDUAZIONE DELL'AREA





# LOCALIZZAZIONE DELL'EDIFICIO



LATO N-O



LATO S-O



LATO N-E



LATO  
S-E

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



INGRESSO PRINCIPALE

# SINTESI E FASI DEL LAVORO SVOLTO

- INDAGINE CONOSCITIVA PRELIMINARE: RICERCA DELLA DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE, INDIVIDUAZIONE DELL'ORGANISMO STRUTTURALE, RILIEVO GEOMETRICO E MATERICO, RILIEVO DEL QUADRO FESSURATIVO.
- ANALISI DEI CARICHI.
- MODELLAZIONE, CONTROLLO DEL MODELLO ED ANALISI DELLA STRUTTURA NELLO STATO DI FATTO PER DEFINIRNE IL LIVELLO DI AZIONE SISMICA SOSTENIBILE.
- INDIVIDUAZIONE DELLE SITUAZIONI CRITICHE.
- DEFINIZIONE DI UN PIANO DI INDAGINE PER APPROFONDIRE LA CONOSCENZA DELLA STRUTTURA E DEL TERENO DI FONDAZIONE.
- PROVE DISTRUTTIVE E NON IN SITU E SAGGI FINALIZZATI ALLA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI MATERIALI ED ALL'INDIVIDUAZIONE DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI (DIAMETRI E DISPOSIZIONE DELLE ARMATURE, COPRIFERRO ETC.).
- ELABORAZIONE DEI RISULTATI E VALUTAZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO DEI MATERIALI.
- IPOTESI DI INTERVENTO CON LE RELATIVE ANALISI STRUTTURALI.
- CONFRONTO TRA I RISULTATI DELLE DIVERSE ANALISI.
- ANALISI CRITICA DEI RISULTATI E DEI COSTI COMPLESSIVI.
- OTTIMIZZAZIONE DELL'INTERVENTO DI ADEGUAMENTO CON LA SCELTA DELL'ISOLAMENTO SISMICO.



# SCHEMA DELL'APPROCCIO METODOLOGICO





# GENERALITA' SULL'EDIFICIO

L'edificio oggetto dello studio di adeguamento sismico, è stato costruito tra la fine degli anni '60 e l'inizio degli anni '70 con una struttura portante a telaio in c.a. tamponata con mattoni.

Le fondazioni sono di tipo diretto ed intestate su 2 livelli in ragione della collocazione della costruzione su un pendio.

In definitiva la struttura si sviluppa su 4 livelli ed il 1° livello ha una estensione in pianta minore dei livelli sovrastanti.

## POSIZIONE DELL'EDIFICIO

Latitudine  $41^{\circ}33'34,6''$

Longitudine  $14^{\circ}24'27''$



Ai sensi dell'ultima ridefinizione delle azioni sismiche di progetto avvenuta con il DM 14.01.2008, l'edificio sorge in una zona ad elevata pericolosità sismica. Tale ridefinizione comporta, al fine di garantire un livello di sicurezza adeguato alle Norme attualmente vigenti, la necessità di considerare forze orizzontali significativamente più elevate di quelle che l'edificio è attualmente in grado di sopportare.

# RICERCA DELLA DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE

- L'ufficio Tecnico Comunale ha messo a disposizione:
  1. le planimetrie di progetto;
  2. uno studio sulla vulnerabilità sismica dell'edificio con i relativi rapporti di prove fatte su solaio, pilastri, travi ed indagini sismiche in foro (Down-Hole);
  3. libretto delle misure relative alle strutture in c.a. ma senza nessun disegno contabile.

# PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO

## (AZIONE SISMICA DI PROGETTO DM 14.01.2008)

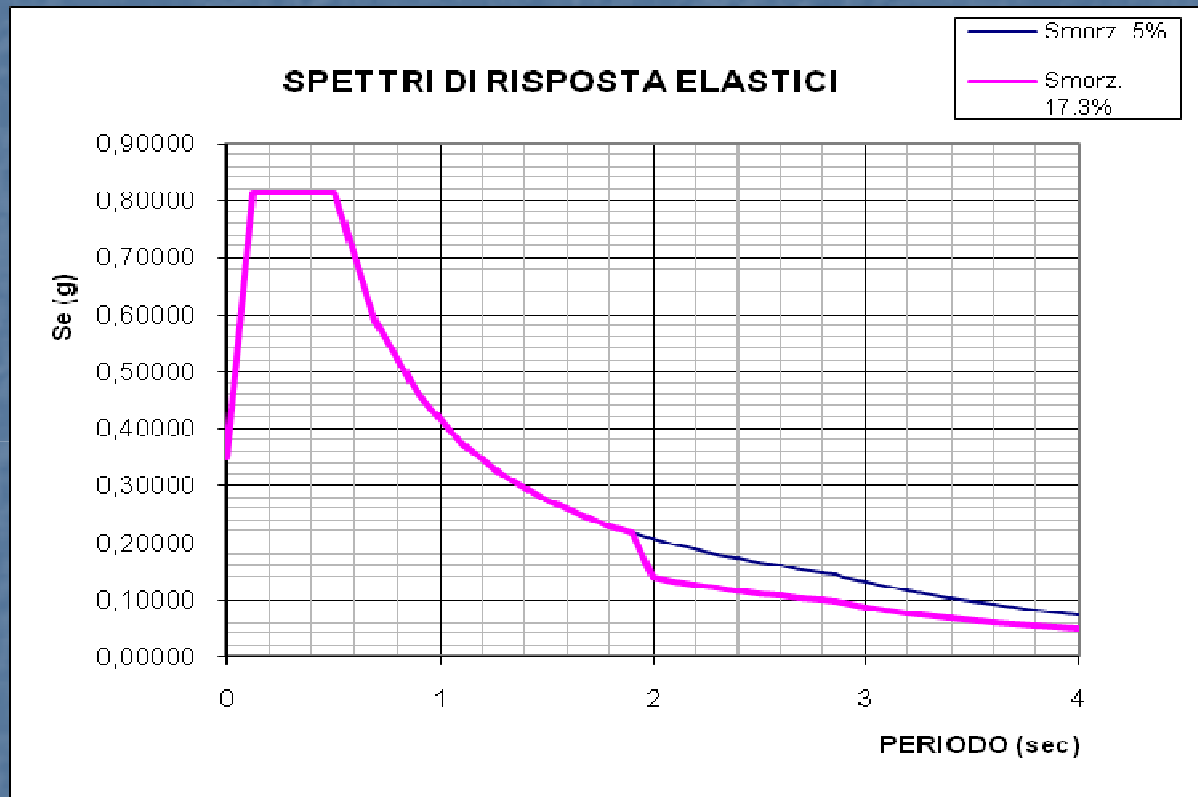
Alla costruzione è associata una  $V_N=50$  anni ed una Classe d'uso III, per cui risulta  $V_R=75$  anni

$T_R$ [anni]	SL	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]	$T_D$ [s]	$S_s$	$C_c$
45	<b>SLO</b>	<b>0.083</b>	<b>2.363</b>	<b>0.293</b>	<b>1.931</b>	<b>1.200</b>	<b>1.406</b>
75	<b>SLD</b>	<b>0.107</b>	<b>2.357</b>	<b>0.314</b>	<b>2.026</b>	<b>1.200</b>	<b>1.387</b>
712	<b>SLV</b>	<b>0.312</b>	<b>2.341</b>	<b>0.379</b>	<b>2.854</b>	<b>1.108</b>	<b>1.336</b>
1462	<b>SLC</b>	<b>0.417</b>	<b>2.357</b>	<b>0.405</b>	<b>3.276</b>	<b>1.007</b>	<b>1.318</b>

Il terreno di fondazione, sulla base delle indagini condotte, risulta caratterizzato per i primi 30 metri, da un valore medio della velocità di propagazione delle onde di taglio maggiore di 465m/s; pertanto siamo in presenza di un terreno di tipo B. Abbiamo quindi i parametri per la definizione della forma dello spettro di risposta elastico per i 4 stati limite.



# PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO (AZIONE SISMICA DI PROGETTO DM 14.01.2008)

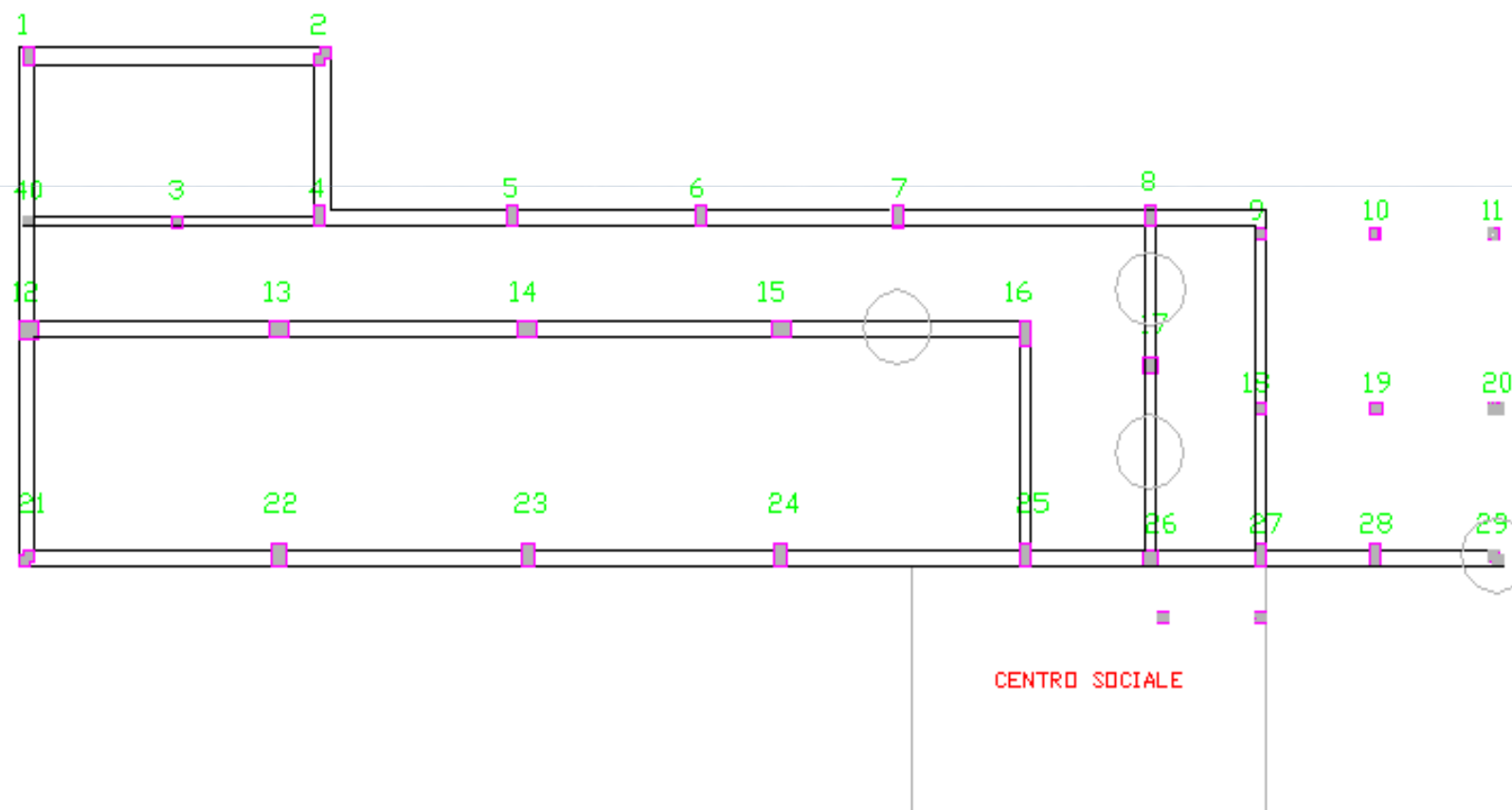


Spettri elastici di risposta  $Se(T)$  per lo **SLV** su terreno di sottofondo tipo **B**, con rapporti di smorzamento del **5%** e del **17.3%**.

# RILIEVO GEOMETRICO DELLA STRUTTURA

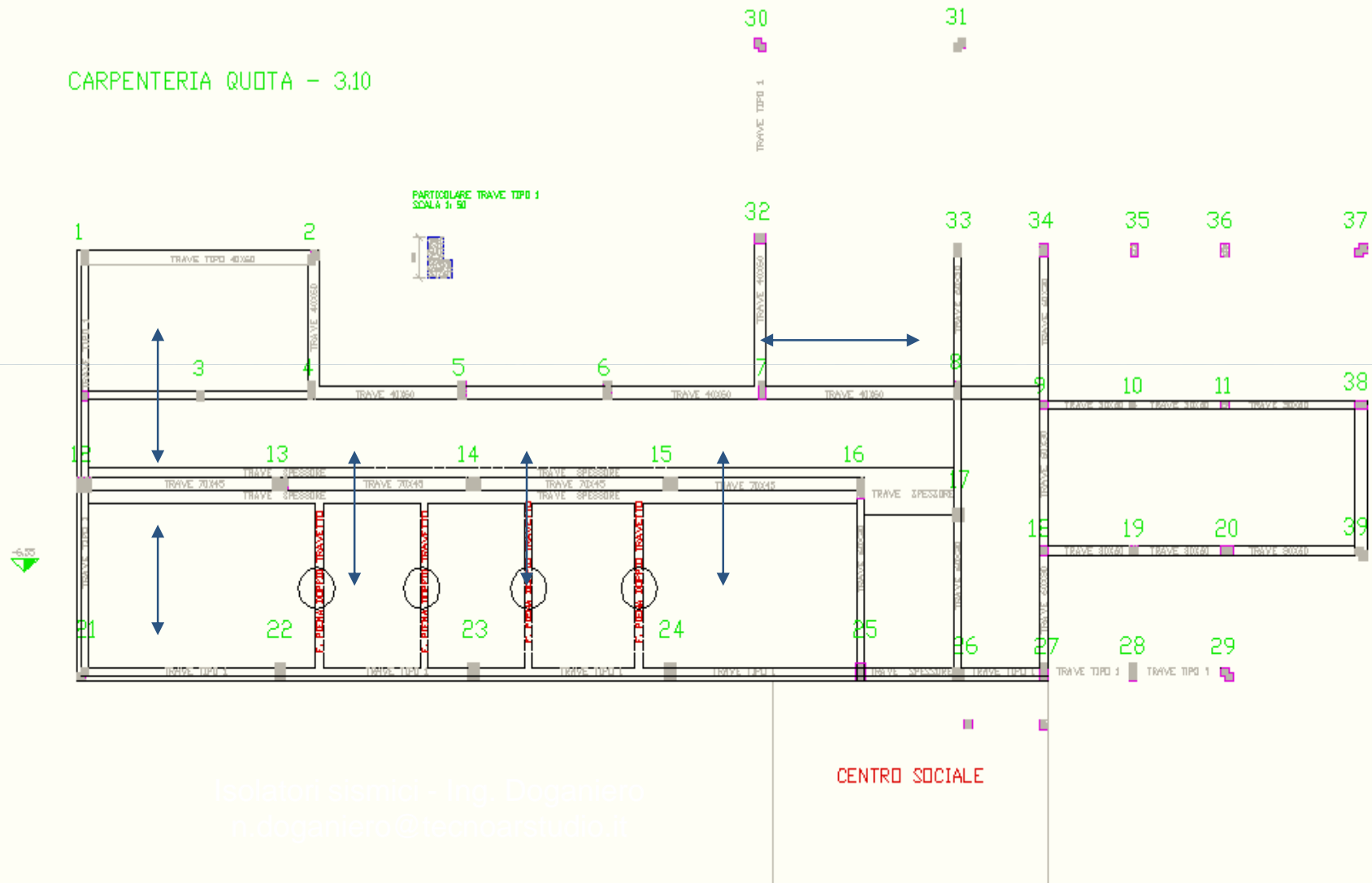
CON L'UFFICIO TECNICO DEL COMUNE E' STATO ESEGUITO IL RILIEVO GEOMETRICO DETTAGLIATO, INDISPENSABILE PER AVERE LE INFORMAZIONI NECESSARIE AL FINE DI VALUTARE IL REALE COMPORTAMENTO STRUTTURALE DELL'ESISTENTE.

CARPENTERIA QUOTA - 7.05



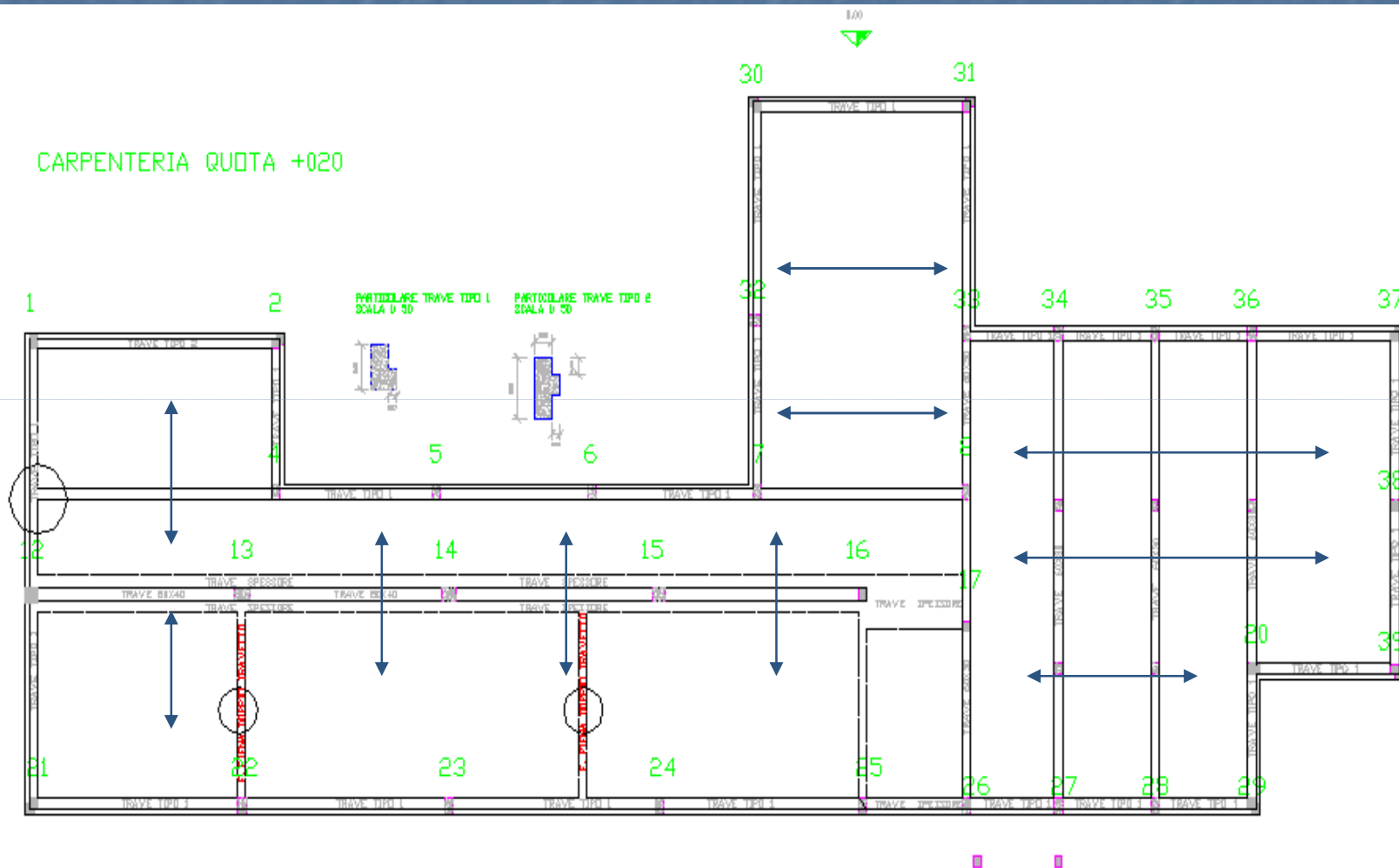
# CARPENTERIA A QUOTA -3.10

CARPENTERIA QUOTA - 3.10



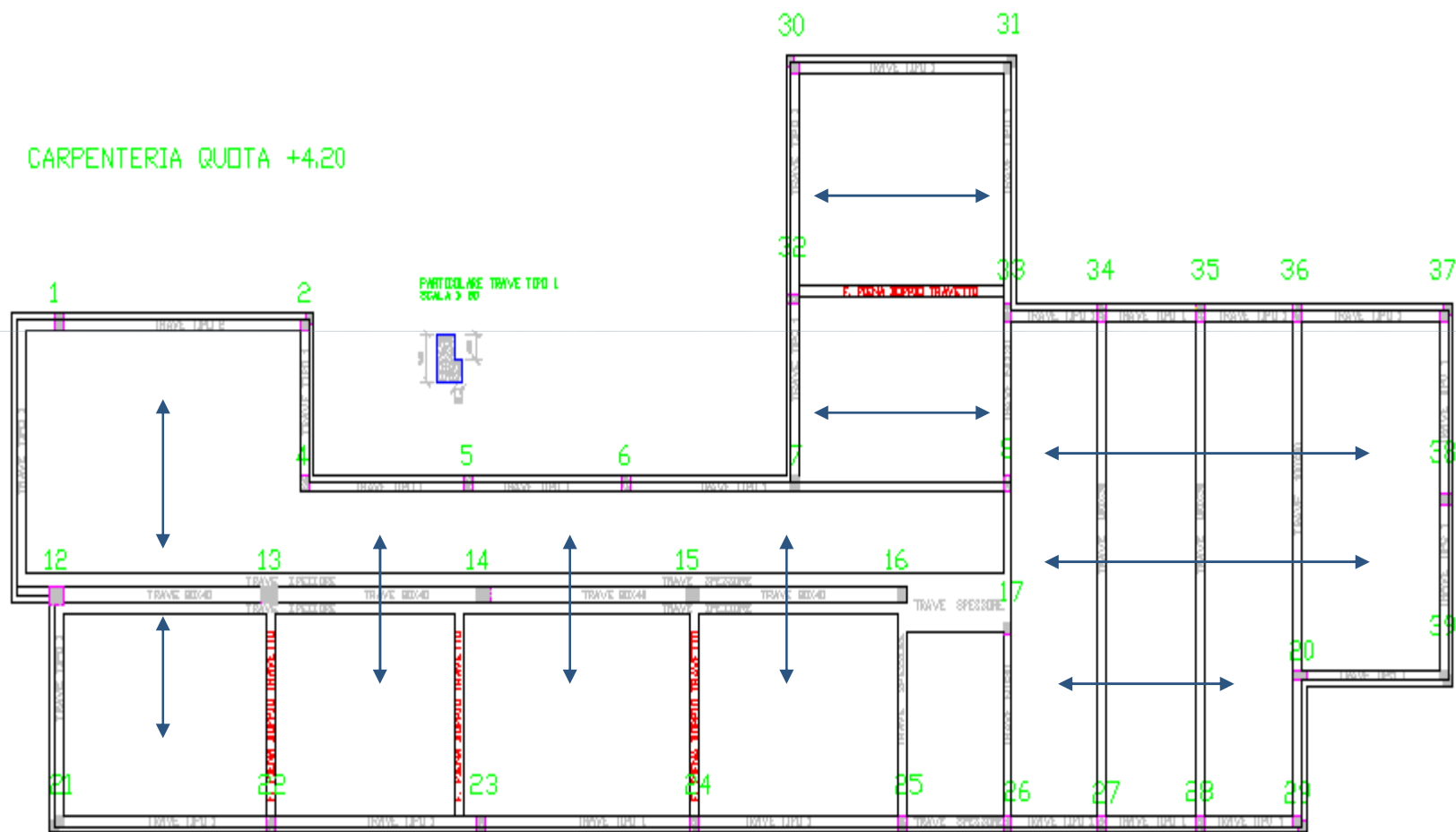


# CARPENTERIA A QUOTA +0.20

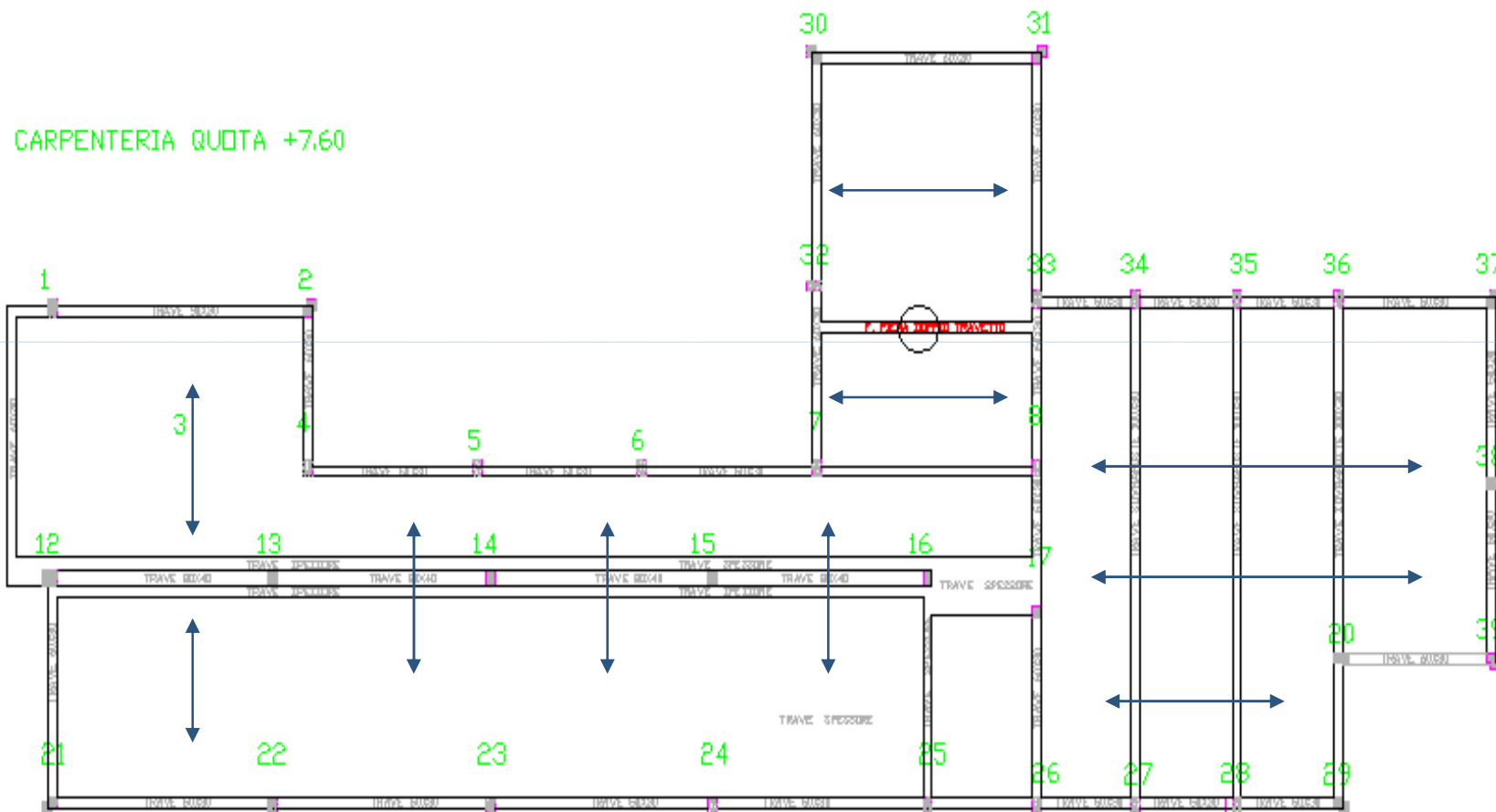


# CARPENTERIA A QUOTA +4.20

CARPENTERIA QUOTA +4.20



# CARPENTERIA A QUOTA +7.60





# RILIEVO MATERICO

## SCOPO

- VALUTARE LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELLA STRUTTURA, IL SUO STATO DI CONSERVAZIONE E LA BONTÀ DI ESECUZIONE.
- INDIVIDUARE STATI FESSURATIVI E DI DEGRADO.

## INDAGINE VISIVA PRELIMINARE

- PER AVERE UNA IMMEDIATA CONOSCENZA DELLO STATO DI DEGRADO COMPLESSIVO DELL'EDIFICIO.
- PER INDIVIDUARE PARTI SUI CUI CONCENTRARE LE INDAGINI.

## INFORMAZIONI DA ACQUISIRE CON LE INDAGINI DISTRUTTIVE E NON

- STATO DI CONSERVAZIONE DEI MATERIALI
- PROPRIETÀ MECCANICHE DEI MATERIALI
- QUANTITATIVI DELLE ARMATURE E SPESSORE COPRIFERRO
- TIPOLOGIA DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONI

## INDAGINI EFFETTUATE

- PACOMETRICHE (per rilevare la posizione e il diametro delle armature, nonché lo spessore del copriferro).
- SCLEROMETRICHE (per valutare la resistenza a compressione del cls, attraverso la misura del rimbalzo di una massa battente sulla sua superficie, resa uniforme con piastra abrasiva).
- ULTRASONICHE (per valutare la resistenza a compressione del cls, attraverso la misura della velocità di propagazione di onde di pressione all'interno del materiale).
- SON-REB (per mettere in relazione i dati ottenuti con le prove sclerometriche ed ultrasoniche e ridurre gli errori commessi dalle due prove in relazione al contenuto di umidità ed all'età del cls).

# INDAGINI E PROVE SUL CALCESTRUZZO

## CORRELAZIONE CAROTE - SONREB

- Si è deciso di fare ulteriori prove SONREB sul calcestruzzo per averne un numero più adeguato al fine di interpretarne meglio le caratteristiche e la variabilità delle stesse sugli elementi strutturali dei vari livelli.
- Per valutare correttamente il comportamento meccanico del calcestruzzo e quindi per stimarne in modo più plausibile le sue caratteristiche di resistenza, è stata fatta una correlazione tra i risultati ottenuti da prove di rottura in laboratorio su carote prelevate in alcuni elementi strutturali ed i risultati ottenuti con le indagini SONREB sugli stessi elementi.

Resistenza a rottura (CAROTE) [N/mm <sup>2</sup> ]			Resistenza amplificata di un coefficiente 1,32 (da sperimentazione)	Determinazioni SONREB [N/mm <sup>2</sup> ]		Rapporto di correlazione
PIL 32 III LIV	C1	17,5	23,1	S6	23,20	1,004
Trave 07-32 II LIV	C2	14,7	19,4	S8	22,90	1,180
Trave 27-34 III LIV	C3	18,6	24,6	S9	27,35	1,111

# RISULTATI DELLE PROVE SONREB SU CLS

PIANO	SIGLA SONREB	ELEMENTO INDAGATO	RESISTENZA [N/mm <sup>2</sup> ]	RESISTENZA MEDIA [N/mm <sup>2</sup> ]	RESISTENZA CONSIDERATA [N/mm <sup>2</sup> ]
I LIVELLO (1° S. Interrato)	S17	PIL 24	38.79	33.76	30
	S18	PIL 13	30.70		
	S19	PIL 40	31.80		
II LIVELLO (2° S. Interrato)	S7	PIL 32	33.95	27.87	25
	S8	TRAVE 32-07	22.95		
	S11	PIL 15	31.58		
	S12	PIL 11	26.23		
	S13	PIL 10	24.62		
III LIVELLO (Piano Terra)	S1	PIL 15	22.55	23.93	20
	S2	PIL 08	23.75		
	S3	PIL 34	23.27		
	S4	TRAVE 34-27	27.34		
	S6	PIL 32	23.20		
	S9	TRAVE 34-27	27.35		
	S10	PIL 13	20.08		
IV LIVELLO (1° Piano)	S14	PIL 08	27.38	26.18	25
	S15	PIL 13	21.94		
	S16	PIL 15	29.23		



# INDAGINI E PROVE SULL'ACCIAIO

NON AVENDO A DISPOSIZIONE NESSUNA INFORMAZIONE SULLE CARATTERISTICHE MECCANICHE DELL'ACCIAIO, SONO STATE PRELEVATE DUE BARRE DI ARMATURA (ACCIAIO LISCIO) NELLE ZONE IN CUI LA SOVRAPPOSIZIONE ERA SOVRABBONDANTE E SU CUI SONO STATE ESEGUITE DELLE PROVE DI TRAZIONE E DI PIEGAMENTO; DI SEGUITO SONO RIPORTATI I RELATIVI RISULTATI :

Diametro [mm]	Area effettiva [mm <sup>2</sup> ]	Tensione di snervamento $f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Tensione di rottura $f_t$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Allungamento a rottura [%]
7	35.45	395.8	538.8	28
14	157.35	410.9	561.2	29

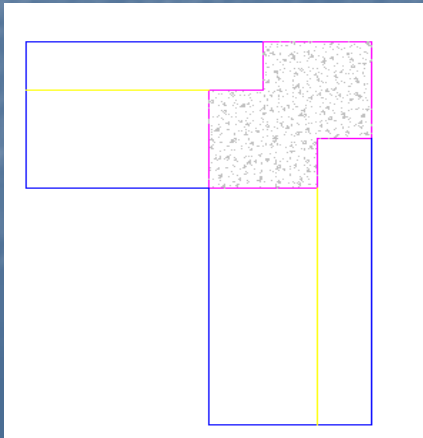
LE INFORMAZIONI RIGUARDANTI I QUANTITATIVI DI ARMATURA CONTENUTE NEL LIBRETTO DELLE MISURE SENZA L'AUSILIO DEI DISEGNI CONTABILI, CI HA DI FATTO INDIRIZZATO AD INDAGARE, SU UN ADEGUATO NUMERO DI ELEMENTI STRUTTURALI, PER VERIFICARNE LE QUANTITA', LA DISPOSIZIONE, LO SPESSORE DEL COPRIFERRO ED I PARTICOLARI COSTRUTTIVI LA DOVE FOSSE POSSIBILE.

# ARMATURA PRESENTE

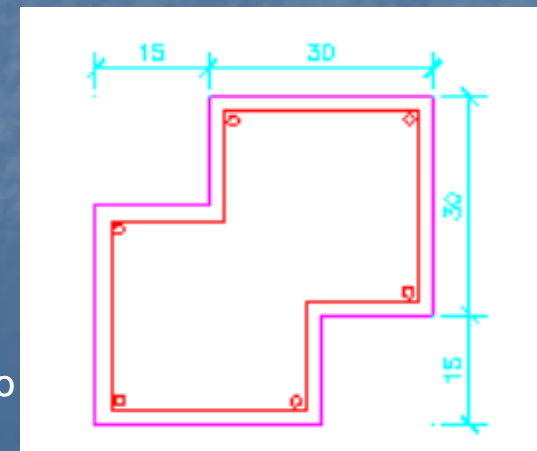
PIANO	SIGLA PROVA	ELEMENTO INDAGATO	Sezione [cmxcm] Copriferro [mm]	STAFFE	ARMATURA LONGITUDINALE
I LIVELLO (1°S.Inter.)	P10	PIL 12	55x45 (15)	Φ7/20	4 Φ 18 d'angolo + 4 Φ 16 di parete
	P12	PIL 21	45X45–ang15x15 (20)	Φ7/20	6 Φ 16 d'angolo
	P20	PIL 24	60x40 (20)	Φ7/20	4 Φ 16 d'angolo + 4 Φ 14 di parete
	P21	PIL 13	55x45 (20)	Φ6/14	4 Φ 18 d'angolo + 6 Φ 14 (4 sui lati 55)
	P27	TRAVE14-15	45x75 (25)	Φ7/20	6 Φ 18 inferiori
	P16/17	PIL 03/40	60x30/45x45 (20)	Φ7/20	4 Φ 14 d'angolo
	P28	Muro di conten.	30x180 (30)		Φ 12/20 orizzontali + Φ 12/30 verticali
II LIVELLO (2°S.Inter.)	P1/2/3/4/5/6/7	PIL 02/21/29/ 30/31/37/39	45X45–ang15x15 (10)	Φ7/20	6 Φ 16 d'angolo
	P10	PIL 12	40x45 (15)	Φ7/20	4 Φ 18 d'angolo + 4 Φ 16 di parete
	P13	PIL 15	40x45 (20)	Φ7/20	4 Φ 14 d'angolo + 4 Φ 14 di parete
	P15	PIL 13	55x40 (20)	Φ7/20	4 Φ 16 d'angolo + 4 Φ 16 di parete
	P18/19	PIL 09/10	30x30 (20)	Φ7/20	4 Φ 14 d'angolo
	P22/23	TRAVI 14/15-23/24	40x80/30x65 (25)	Φ7/20	2Φ16+4 Φ 18 inferiori IN MEZZERIA
	P24/25	TRAVI 14-15/23-24	40x80/30x65 (25)	Φ7/15	2Φ16 inferiori ALL'APPOGGIO
	P26	TRAVE 1-12	30x65 (25)	Φ7/20	2Φ12+2 Φ 16 inferiori IN MEZZERIA
III LIVELLO (P. Terra)	P1/2/3/4/5/6/7	PIL 02/21/29/ 30/31/37/39	45X45–ang15x15 (10)	Φ7/20	6 Φ 16 d'angolo
	P8/9	PIL 08/33	45x30 (15)	Φ7/20	4 Φ 16 d'angolo + 2 Φ 12 sui lati da 45
	P11	PIL 12	40x45 (15)	Φ7/20	4 Φ 16 d'angolo + 4 Φ 14 di parete

# SINTESI DEI RISULTATI DEI RILIEVI

- LE PROVE SULLE PARTI INDAGATE HANNO EVIDENZIATO UNA DISCRETA VARIABILITA' DELLA QUALITA' DEL CALCESTRUZZO NELLA REALIZZAZIONE DELL'OPERA CON UNA RESISTENZA CHE VA DA 200 A 300 KG/CM<sup>2</sup>.
- SI E' AVUTO UN BUON RISCONTRO TRA LE ARMATURE CONTENUTE NEL LIBRETTO DELLE MISURE E QUELLE EFFETTIVAMENTE PRESENTI NEGLI ELEMENTI STRUTTURALI CONTROLLATI.
- SONO STATE INDAGATE LE STRUTTURE DI FONDAZIONE CHE SONO DI TIPO DIRETTO SU PLINTI NON COLLEGATI FRA LORO E DISPOSTI SU PIANI SFALSATI.
- I SOLAI SONO DI TIPO TRADIZIONALE IN LATERO CEMENTO E RISULTANO AVERE UNO SPESSORE DI 20 CM E DI 25 CM IN FUNZIONE DELLE LUCI IN GIOCO.
- LA STRUTTURA E' IRREGOLARE E MANCANO LE TRAVI DI COLLEGAMENTO TRASVERSALE SU CUI SI HA UNA MAGGIORE DEFORMABILITA'.
- NEGLI ANGOLI DELL'EDIFICIO SI SONO RILEVATE DELLE SEZIONI DEI PILASTRI CON GEOMETRIE INUSUALI NELLA PRATICA CORRENTE, MA SOPRATTUTTO CON UNA ERRATA DISPOSIZIONE DELL'ARMATURA LONGITUDINALE E TRASVERSALE.



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



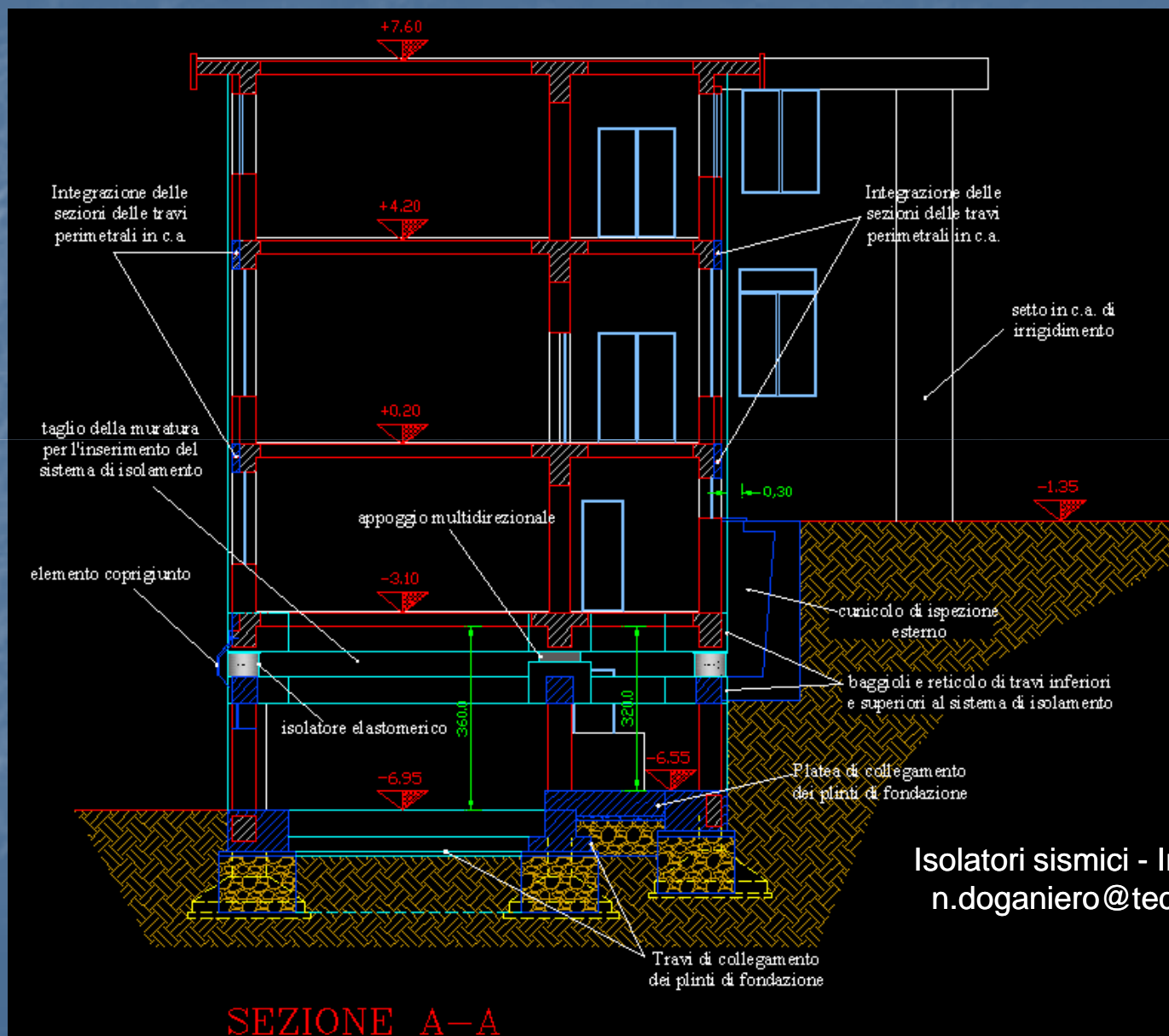


# INTERVENTO PROPOSTO

L'intervento di adeguamento con isolamento sismico dell'edificio esistente, prevede le seguenti OPERE PRINCIPALI:

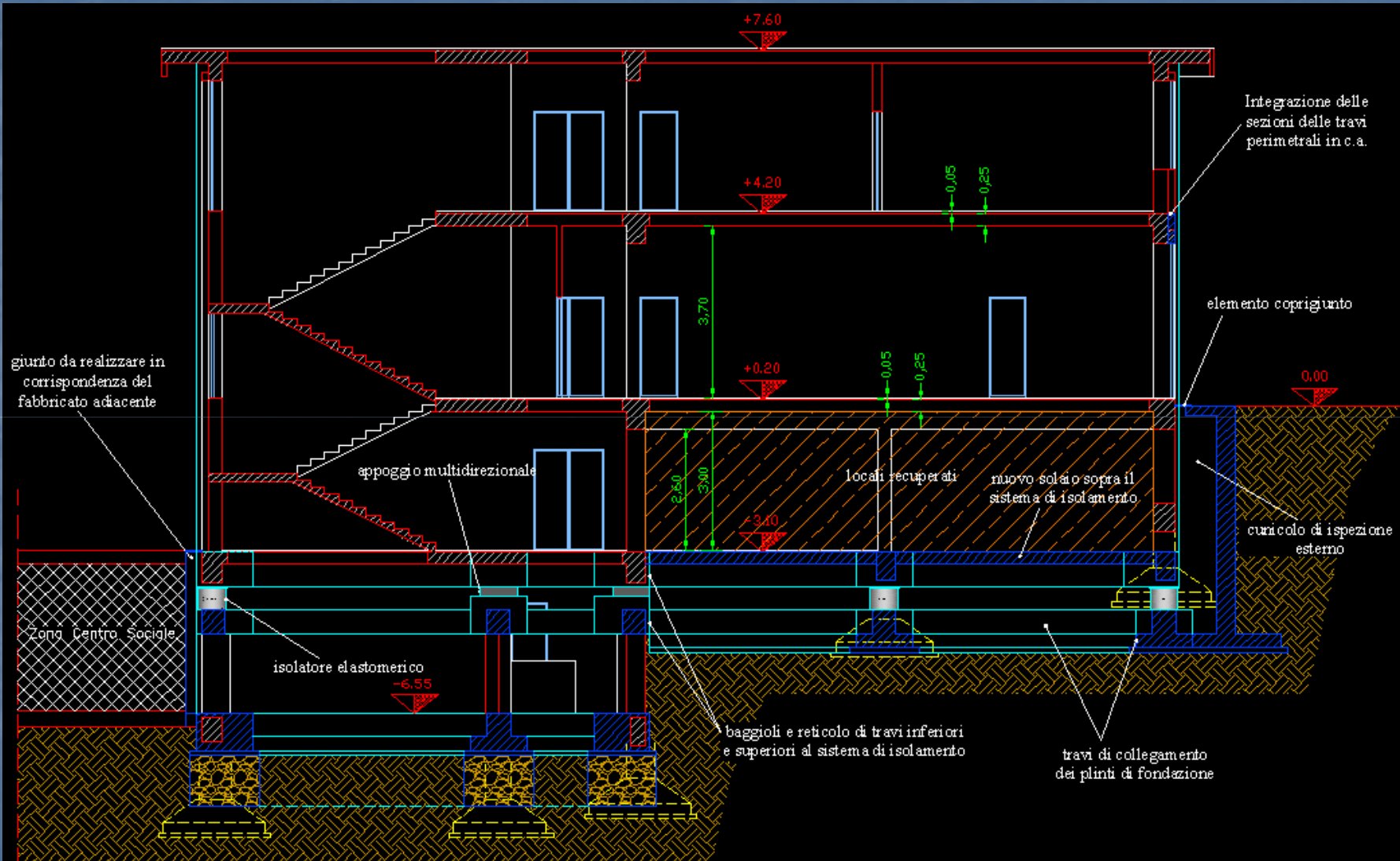
- LA REALIZZAZIONE DEI CUNICOLI DI ISPEZIONE ESTERNI ED INTERNI;
- LA CREAZIONE DEI GIUNTI PER CONSENTIRE GLI SPOSTAMENTI RELATIVI FRA SOVRA E SOTTOSTRUTTURA, CHE SI HANNO IN CASO DI SISMA;
- INTEGRAZIONE DELLE FONDAZIONI ESISTENTI CON PIASTRE E TRAVE ROVESCE IN C.A. PER COLLEGARE FRA LORO I PLINTI ESISTENTI, COLLOCATI A QUOTE DIVERSE E CONTENERNE I CEDIMENTI DIFFERENZIALI;
- LA REALIZZAZIONE DI UNA SOTTOFONDAZIONE NELLA ZONA IN CUI L'EDIFICIO SI SVILUPPA SU 3 LIVELLI; CIO' CONSENTE ANCHE IL RECUPERO FUNZIONALE DI 2 AMBIENTI;
- LA REALIZZAZIONE DI UN GRIGLIATO DI TRAVI, DIMENSIONATO PER RESISTERE ALLE SOLLECITAZIONI CONSEGUENTI ALLE INTERPOSIZIONI DEI MARTINETTI FINALIZZATI ALLA MESSA IN OPERA ED ALL'EVENTUALE SOSTITUZIONE DEI DISPOSITIVI, SOPRA E SOTTO IL PIANO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO;
- LA PROSECUZIONE DEI PILASTRI, CHE SI ARRESTANO AL 2° LIVELLO, FINO ALL'ULTIMO LIVELLO PER LIMITARE LA DEFORMABILITA' DEI SOLAI;
- LA REALIZZAZIONE DI SETTI PER L'IRRIGIDIMENTO, IN ENTRAMBE LE DIREZIONI, SIA NELLA SOTTOSTRUTTURA CHE NELLA SOVRASTRUTTURA; CIO' RISOLVE LE SITUAZIONI CRITICHE NEI PILASTRI D'ANGOLO E MIGLIORA IL COMPORTAMENTO STRUTTURALE LOCALE E DI INSIEME;
- POSA IN OPERA DEGLI ISOLATORI E LORO MESSA IN COAZIONE CON LA STRUTTURA.

# INTERVENTO PROPOSTO



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# INTERVENTO PROPOSTO

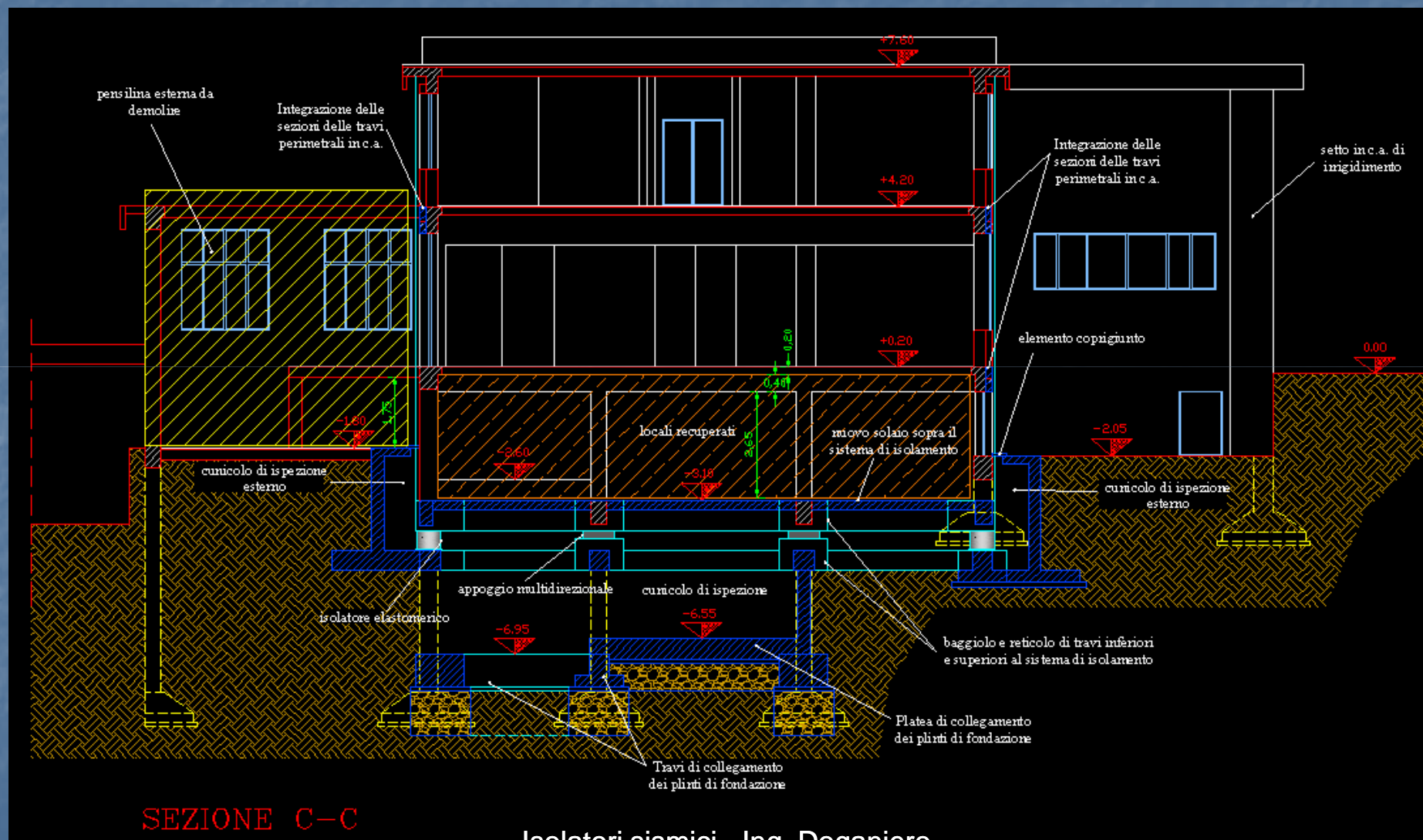


SEZIONE B-B

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

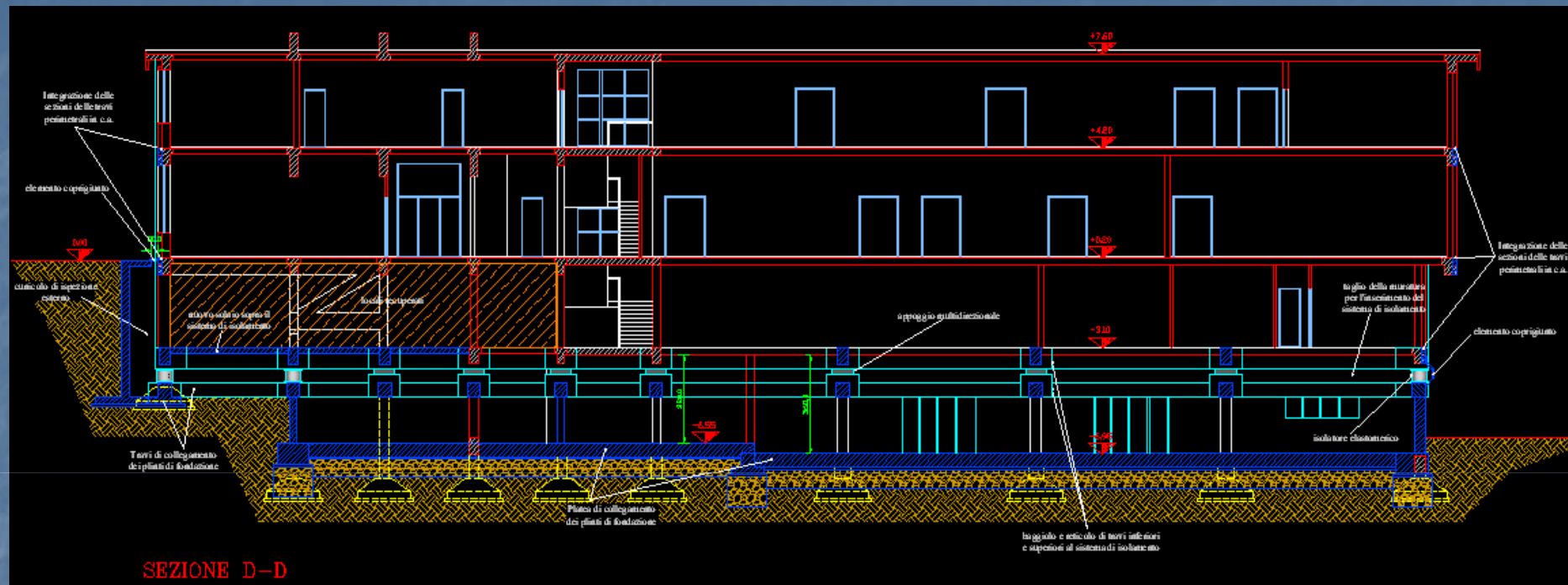


# INTERVENTO PROPOSTO



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

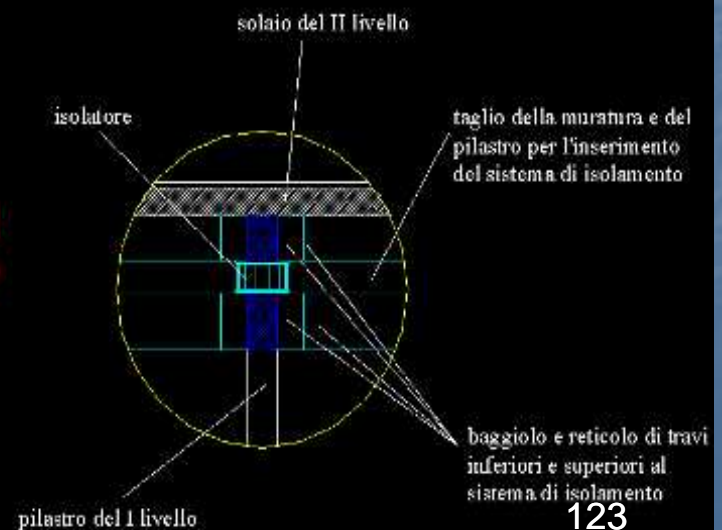
# INTERVENTO PROPOSTO



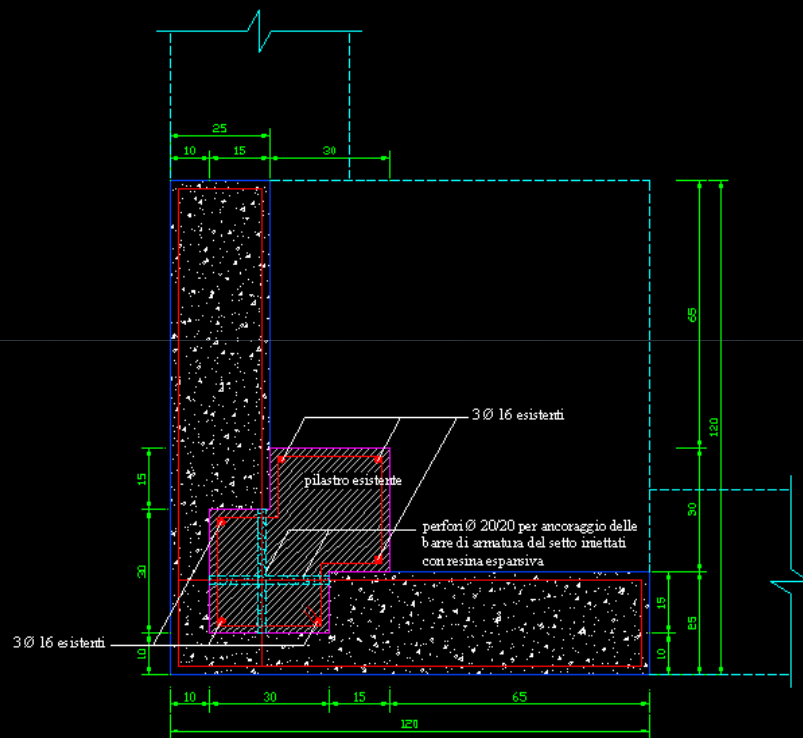
NEL PARTICOLARE SI EVIDENZIA LA MESSA IN OPERA DELL'ISOLATORE TRA I DUE BAGGIOLI, PREVIO IL TAGLIO E L'ESTRAZIONE DI UN CONCIO DEL PILASTRO.

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

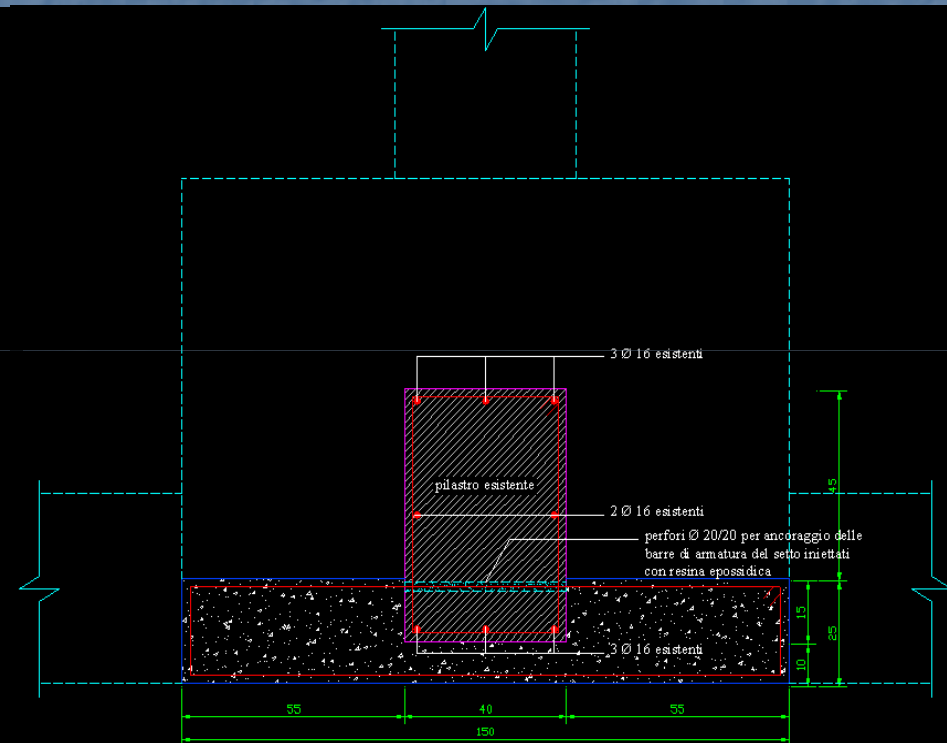
## PARTICOLARE INSERIMENTO ISOLATORE



# PARTICOLARI COSTRUTTIVI






PARTICOLARE D'ATTACCO SETTI  
CON PILASTRI D'ANGOLO

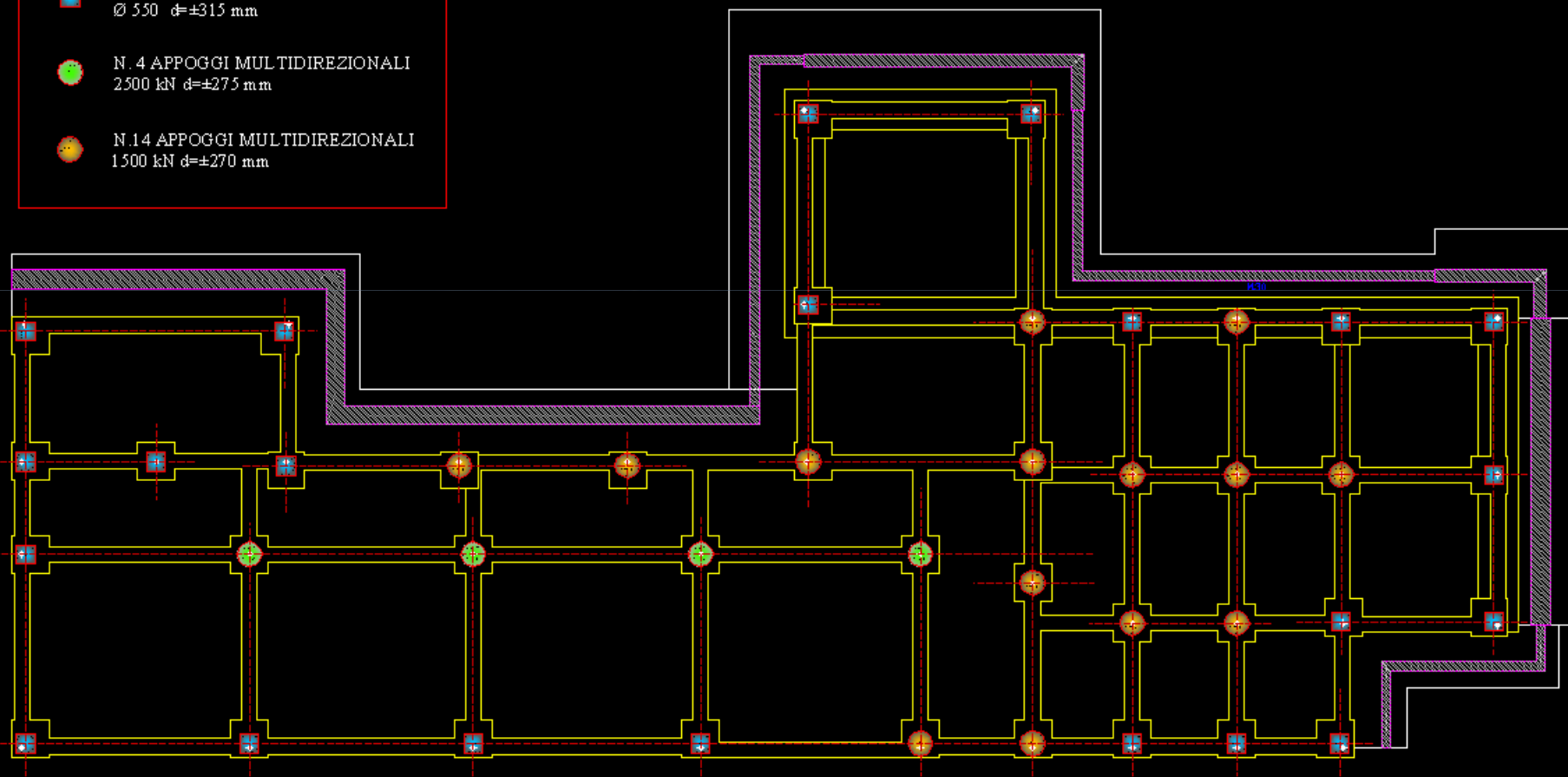


PARTICOLARE D'ATTACCO SETTO  
CON PILASTRI LATERALI



# SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

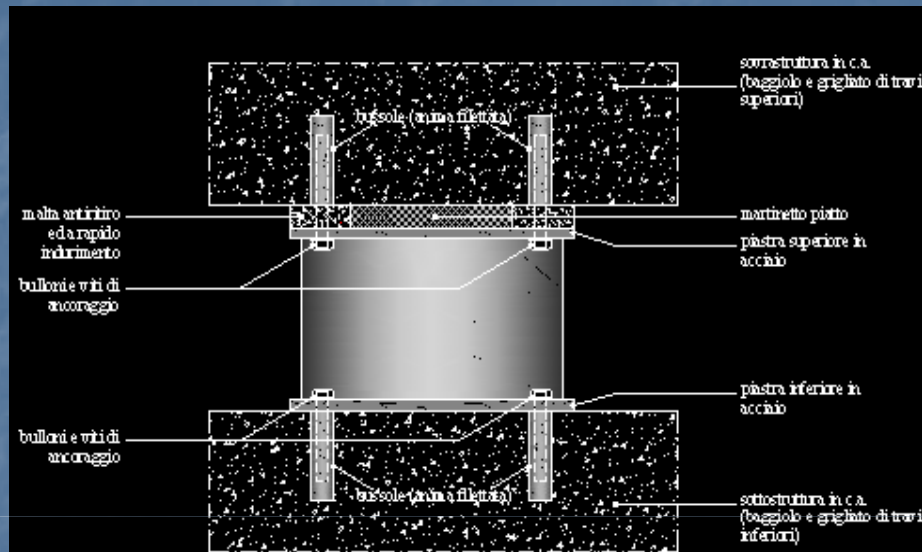
-  N. 22 ISOLATORI ELASTOMERICI  
Ø 550 d=±315 mm
-  N. 4 APPOGGI MULTIDIREZIONALI  
2500 kN d=±275 mm
-  N. 14 APPOGGI MULTIDIREZIONALI  
1500 kN d=±270 mm



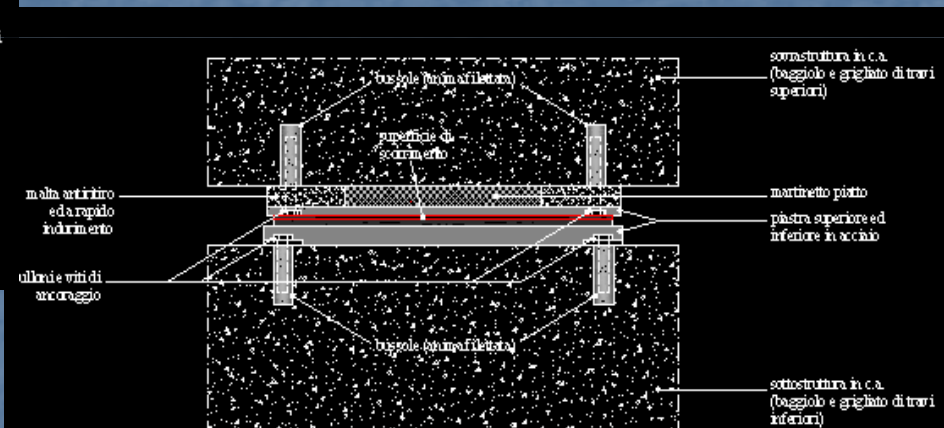
Impalcato di posa dei dispositivi di isolamento (-435)

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# DISPOSITIVI ANTISISMICI



**PARTICOLARE ISOLATORE  
ELASTOMETRICO**



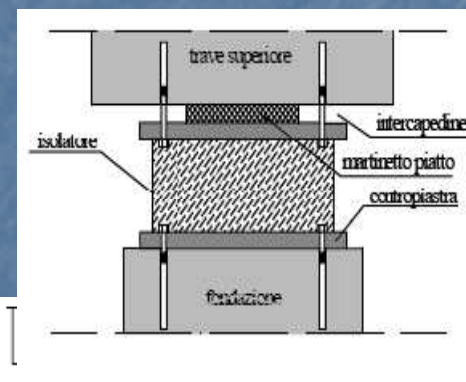
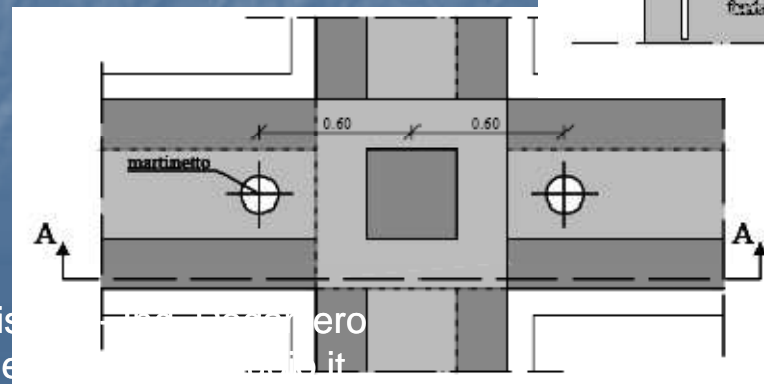
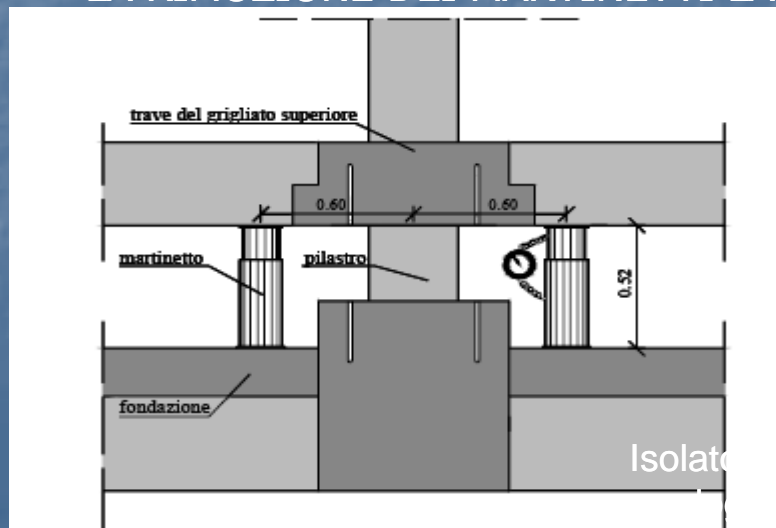
**PARTICOLARE APPOGGIO  
MULTIDIREZIONALE**

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# POSA IN OPERA DEGLI ISOLATORI

LE OPERAZIONI PER LA POSA IN OPERA DI OGNI SINGOLO ISOLATORE SONO:

- LA PREVENTIVA REALIZZAZIONE DI DUE RINGROSSI, ALL'INTERSEZIONE DEL RETICOLO DI TRAVI, INFERIORE E SUPERIORE AL SISTEMA DI ISOLAMENTO;
- L'INSERIMENTO DI MARTINETTI SU CUI TRASFERIRE PROVVISORIAMENTE IL CARICO GRAVANTE SUL PILASTRO DA TAGLIARE;
- IL TAGLIO DEL PILASTRO SU DUE SEZIONI CON FILO DIAMANTATO E RIMOZIONE DELL'ELEMENTO TAGLIATO;
- L'INGHISAGGIO DELLA CONTROPIASTRA INFERIORE; POSA DELLA PIASTRA SUPERIORE CON MARTINETTO PIATTO ALL'INTERNO TRA STRUTTURA E PIASTRA;
- LA POSA IN OPERA DEL DISPOSITIVO ANTISISMICO ED IL RELATIVO BLOCCAGGIO;
- IL TRASFERIMENTO DEL CARICO MEDIANTE GONFIAGGIO CON MALTA DEL MARTINETTO PIATTO;
- L'INGHISAGGIO FINALE DELLA CUFFIA SUPERIORE;
- LA RIMOZIONE DEI MARTINETTI LATERALI.

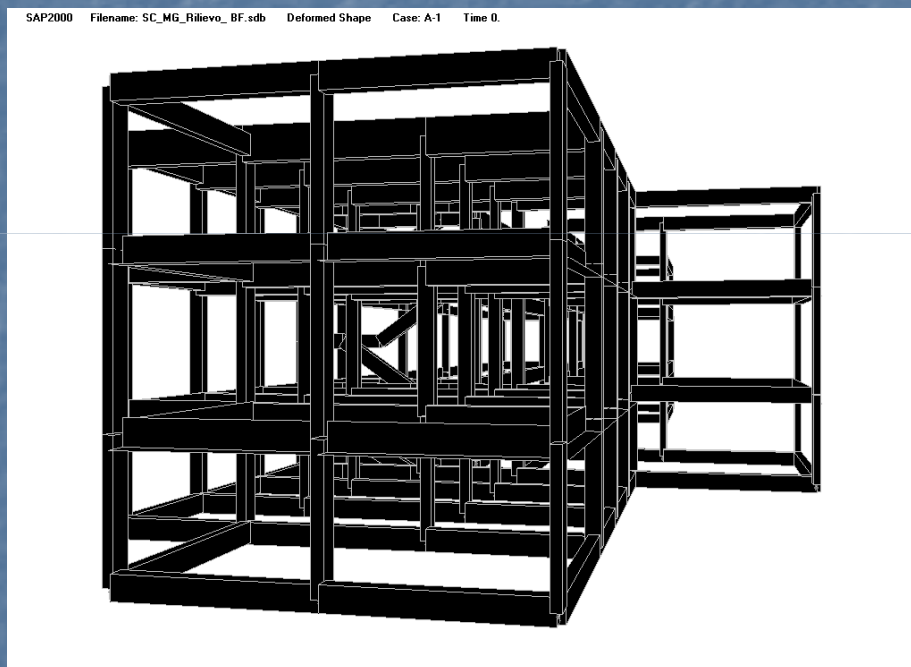




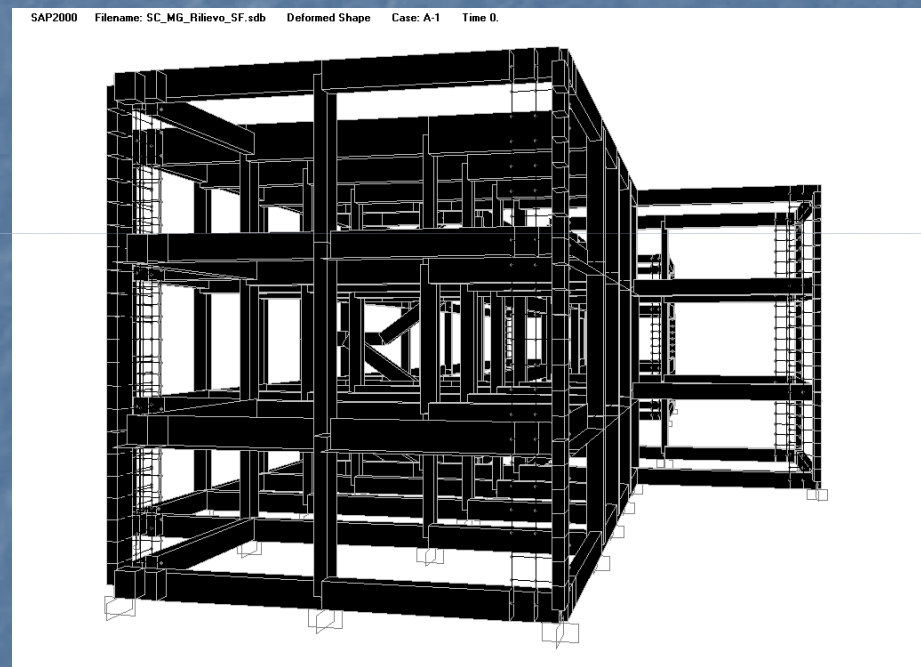
## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

Simulazione di risposta strutturale ad un terremoto:

- la struttura a base fissa si deforma significativamente
- la struttura isolata si muove come un blocco rigido



Risposta della struttura a base “fissa”



Risposta della struttura isolata

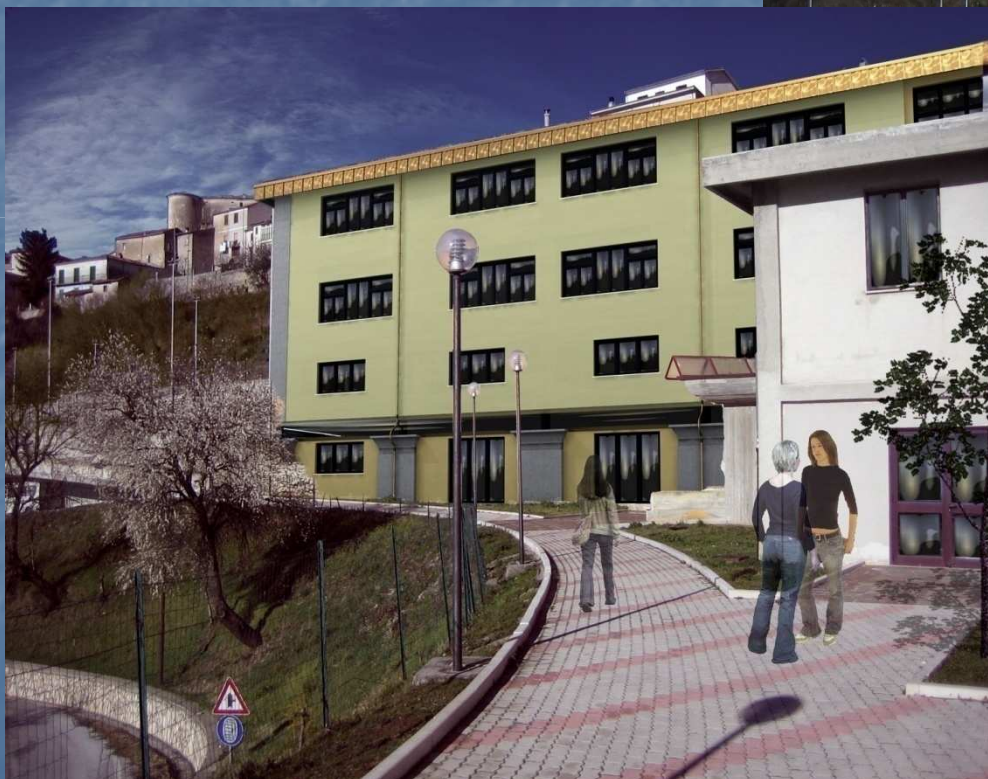
## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)



Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it

# CONFRONTO DEI COSTI COMPLESSIVI

## COSTO PER UNA NUOVA COSTRUZIONE DI 8600 M<sup>3</sup> (DI VOLUMETRIA PARI A QUELLA ESISTENTE)

- IL COSTO COMPRENSIVO DEI LAVORI PER LA COSTRUZIONE, PER LA DEMOLIZIONE DELL'ESISTENTE, PER IL TRASPORTO A RIFIUTO IN DISCARICHE AUTORIZZATE E DEGLI ONERI ACCESSORI (I.V.A., SPESE TECNICHE, SPESE GENERALI, ETC.) PUO' ASSUMERSI PARI A 380 €/m<sup>3</sup> (RIFERIMENTO A SCUOLE SIMILI CON DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE APPALTATE RECENTEMENTE NELLA REGIONE MOLISE) E QUINDI:
- $380 \text{ €/m}^3 \times 8600 \text{ m}^3 = \text{€ } 3.268.000$

## COSTO DELL'INTERVENTO PROPOSTO CON ISOLAMENTO SISMICO

- IL COSTO COMPRENSIVO DEI LAVORI E DEGLI ONERI ACCESSORI (I.V.A., SPESE TECNICHE, SPESE GENERALI, ETC.) DEL PROGETTO ESECUTIVO E':
- ~~€11.681.443,23~~ **€3.277** CON UNA INCIDENZA DI CIRCA 188 €/m<sup>3</sup>

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### INIZIO DEI LAVORI: DEMOLIZIONE DELLA TAMPONATURA E DELLE PAVIMENTAZIONI



Vista dall'esterno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### INIZIO DEI LAVORI: DEMOLIZIONE DELLA TAMPONATURA E DELLE PAVIMENTAZIONI ESISTENTI



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### SCAVI E RINFORZO DELLE FONDAZIONI





## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLA SOTTOSTRUTTURA CON SETTI, BAGGIOLI E TRAVI DI COLLEGAMENTO



Viste di dettaglio

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

RINFORZO DELLA SOTTOSTRUTTURA:  
DETTAGLIO DELLA REALIZZAZIONE DI TRAVI E  
BAGGIOLI AL DI SOTTO DELL'INSERIMENTO DEL  
SISTEMA DI ISOLAMENTO



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLA SOTTOSTRUTTURA



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLA SOTTOSTRUTTURA



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLA SOTTOSTRUTTURA



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLE STRUTTURE ESISTENTI



Viste dall'esterno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLE STRUTTURE ESISTENTI



Vista dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLE STRUTTURE ESISTENTI



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### DETTAGLIO REALIZZAZIONE DEI BAGGIOLI E DELLE TRAVI DI COLLEGAMENTO



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### DETTAGLI DELLA REALIZZAZIONE



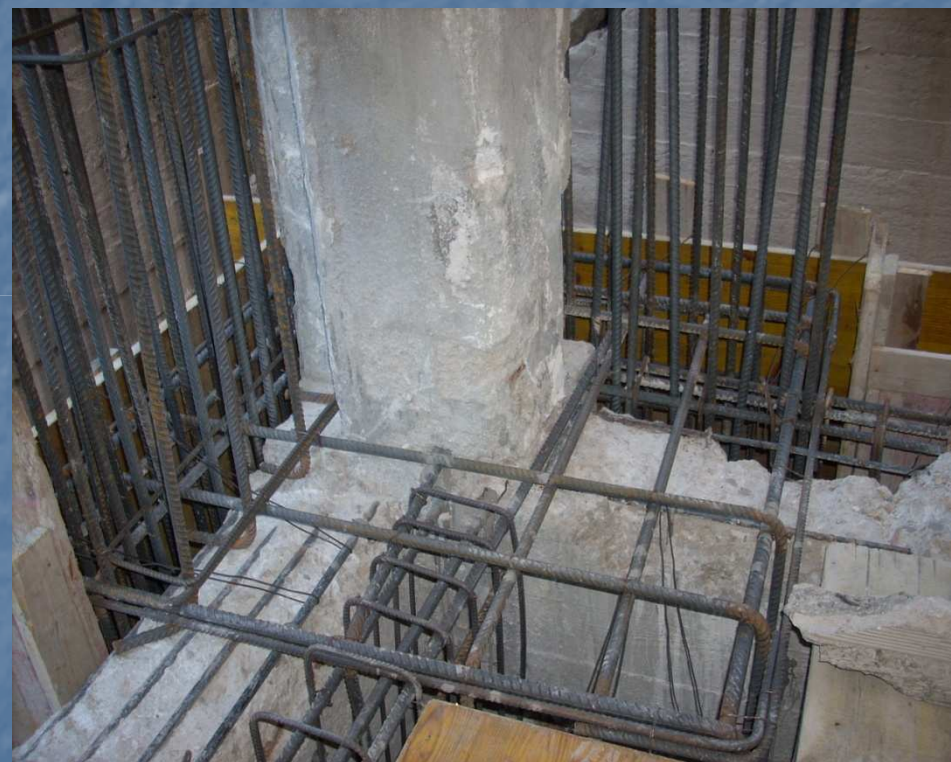
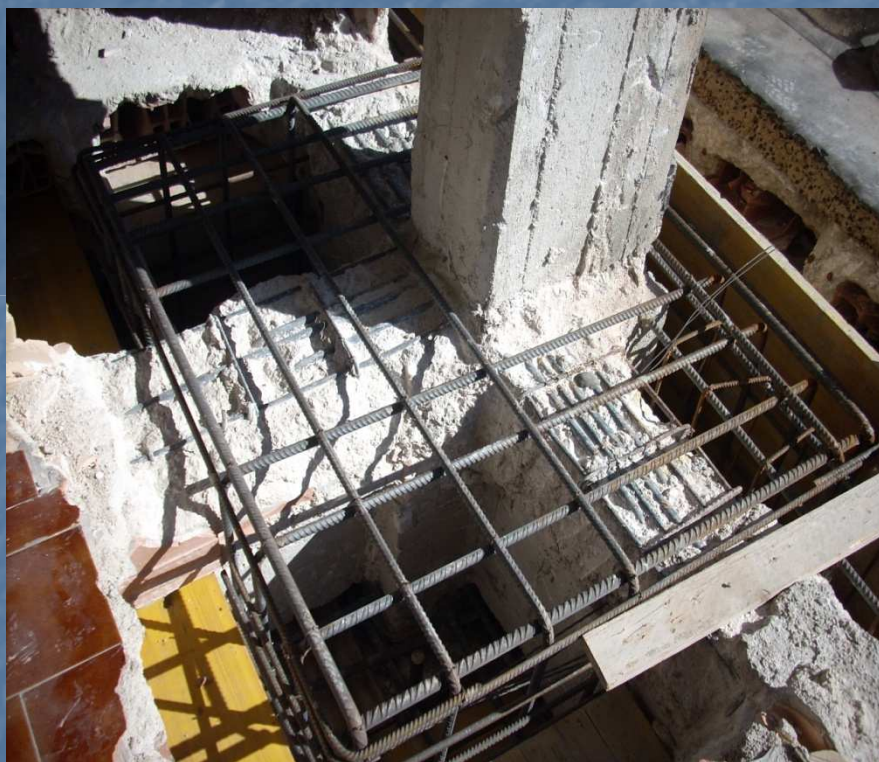
Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLA STRUTTURA AL DI SOPRA DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO



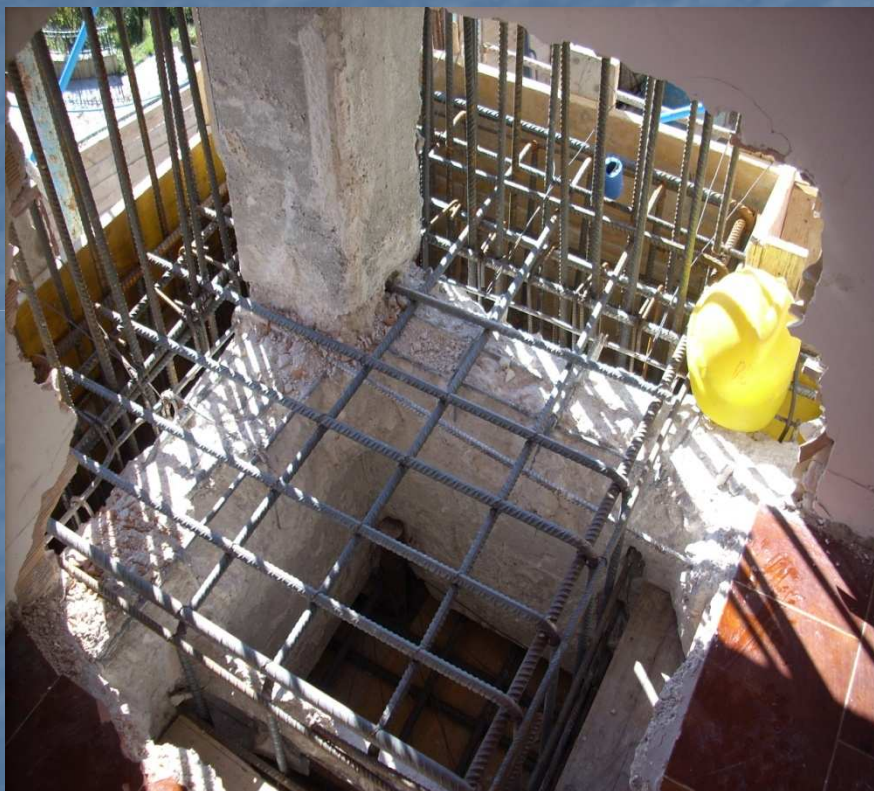
Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

### RINFORZO DELLA STRUTTURA AL DI SOPRA DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO E REALIZZAZIONE DEL NUOVO SOLAIO



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

REALIZZAZIONE DEL NUOVO SOLAIO, TRAVI E  
BAGGIOLI CON RINFORZO DI ALCUNI ELEMENTI  
STRUTTURALI ESISTENTI



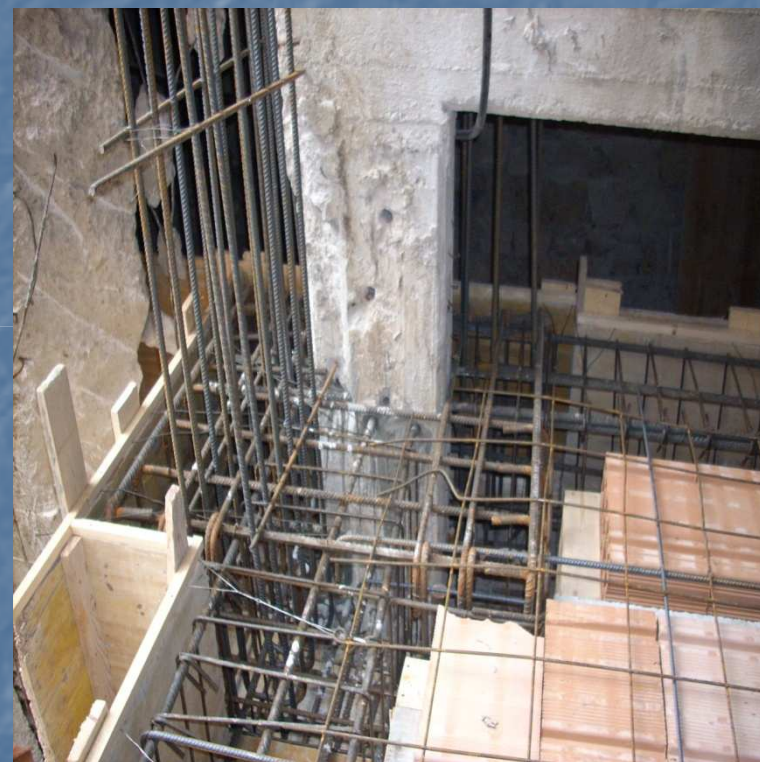
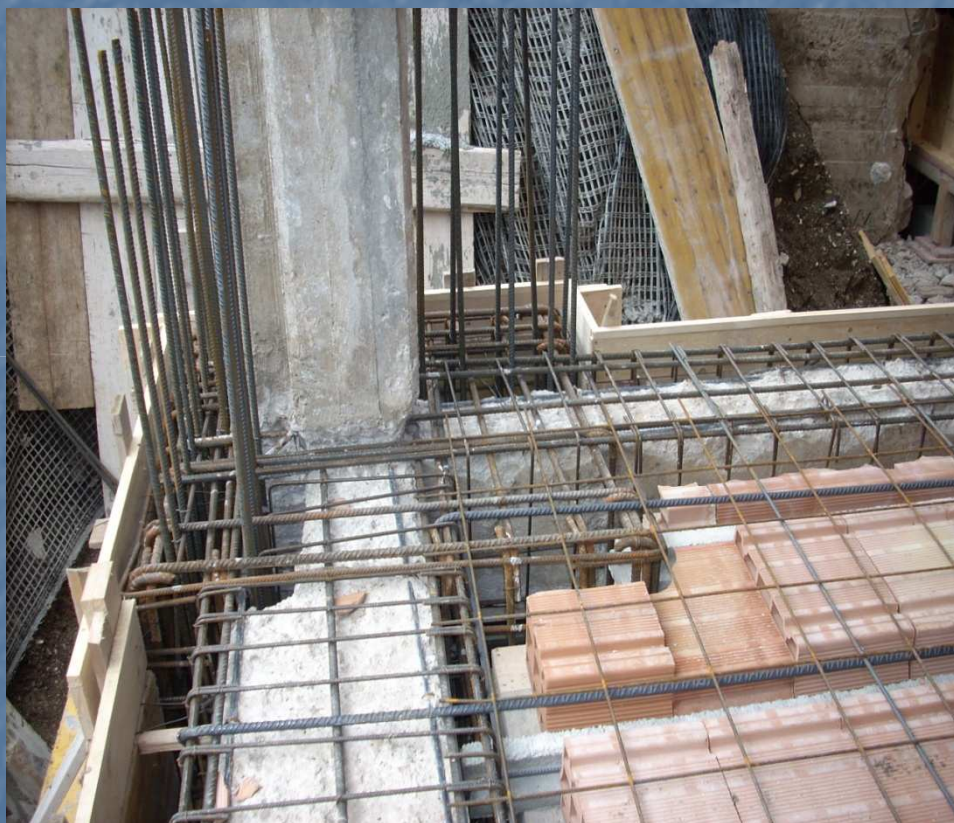
Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
n.doganiero@tecnoarstudio.it



## ESEMPI DI APPLICAZIONE - Scuola a Macchiagodena (IS)

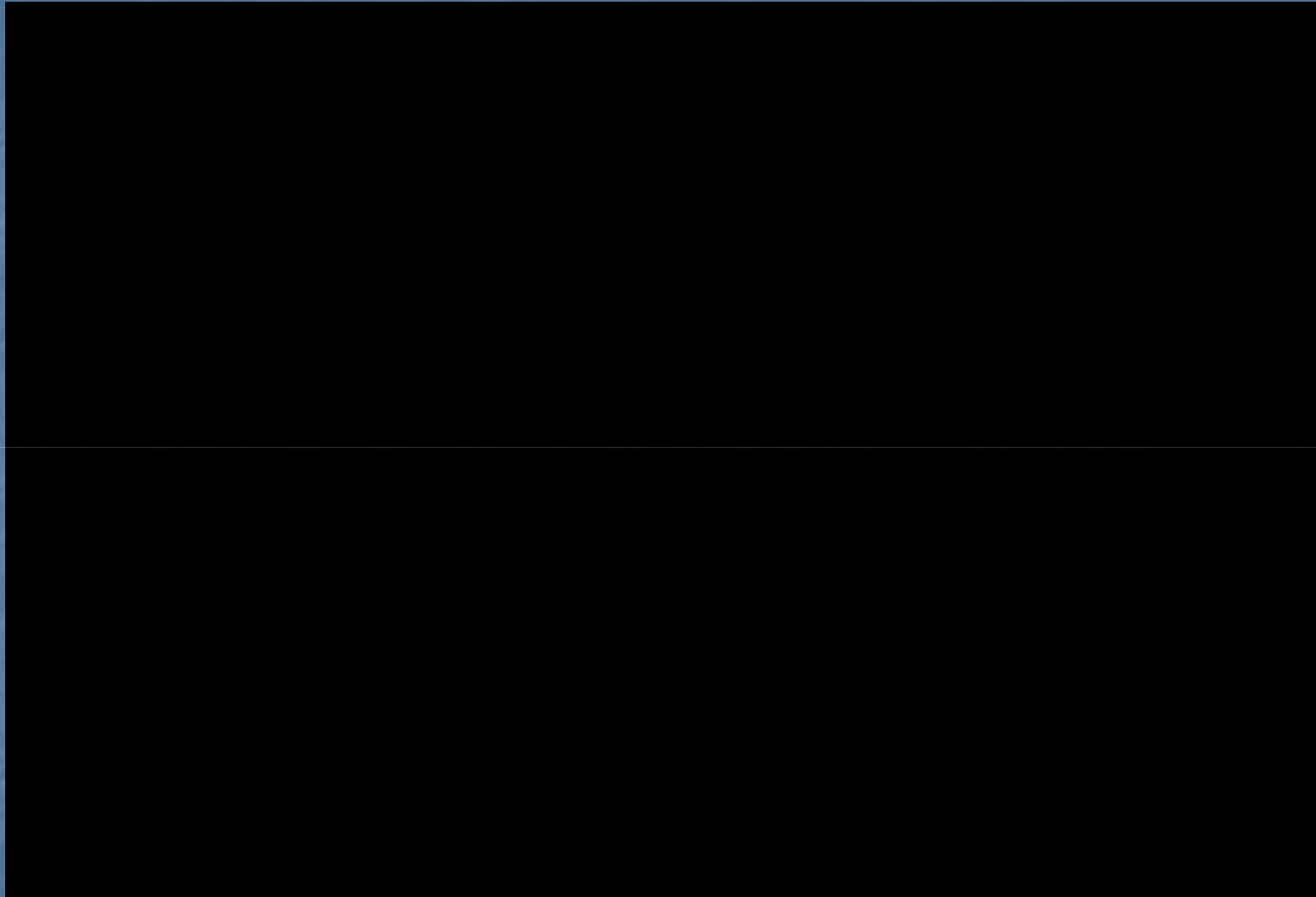
### RINFORZO DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI D'ANGOLO



Viste dall'interno

Isolatori sismici - Ing. Doganiero  
[n.doganiero@tecnoarstudio.it](mailto:n.doganiero@tecnoarstudio.it)

# PROVE DI RILASCIO A RAPOLLA (PZ)





# SINTESI CONCLUSIVA

Con l'utilizzo dei sistemi di isolamento sismico, salvo situazioni "particolari", si hanno i seguenti vantaggi principali:

- un notevole grado di protezione della vita umana, in quanto si riducono drasticamente le accelerazioni trasmesse dal sisma alla struttura, evitandone sia il collasso che il danneggiamento (oltre a proteggere anche il contenuto);
- riduzione della percezione del terremoto grazie all'effetto "filtro" degli isolatori (in quanto le vibrazioni sismiche trasmesse all'interno tendono ad annullarsi);
- una protezione pressoché totale dal danneggiamento anche degli elementi non strutturali, per la notevole riduzione degli spostamenti interpiano;
- una maggiore libertà progettuale ed espressione estetica nella individuazione formale e funzionale del manufatto edilizio, per la facilità di posizionare il centro delle rigidità del sistema di isolamento in prossimità della proiezione, sullo stesso piano, del centro delle masse dell'edificio in modo che ci sia solo traslazione e per la facilità di avere un'adeguata rigidità torsionale per limitare gli effetti dei momenti torcenti parassiti dovuti all'eccentricità accidentale;
- costi di costruzione confrontabili se non addirittura inferiori;
- nessuna o minima spesa per la riparazione dei danni e per la gestione dell'emergenza in caso di evento sismico.

**L'AUSPICIO È QUELLO DI UNA DIVULGAZIONE, DI UN AGGIORNAMENTO CAPILLARE E DI UNA MAGGIORE SENSIBILIZZAZIONE ALL'USO, PER UN'AMPIA DIFFUSIONE DI QUESTA EFFICACE TECNICA COSTRUTTIVA CHE CONSENTE DI AVERE UNA PROTEZIONE SISMICA PRESSOCHÉ TOTALE DELLA COSTRUZIONE E DEL SUO CONTENUTO.**

**SI RITIENE CHE SIA DOVERE PROFESSIONALE E SOPRATTUTTO MORALE, DA PARTE DI TUTTI GLI OPERATORI DEL SETTORE, INFORMARE ED INCENTIVARE CHIUNQUE AD UTILIZZARE TALE SISTEMA INNOVATIVO PERCHÉ TUTTI HANNO IL DIRITTO DI **ESSERE REALMENTE PROTETTI DAL TERREMOTO.****

**FINE**