



OBIETTIVO EMISSIONI ZERO - PRATICHE SISMICHE E SISMABONUS
31 marzo 2023

**INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO E
ADEGUAMENTO SISMICO**

Paolo Clemente, PhD

Ingegnere civile strutturista

Dirigente di Ricerca, ENEA

Presidente Antiseismic System International Society (ASSISi)



IL SISMA BONUS NEI PRIMI ANNI

2018 sisma bonus + eco bonus		<ul style="list-style-type: none">• 7 richieste per passaggio di una classe• 1 richiesta per passaggio di due classi
2019 interventi con miglioramento EE e struttura su condomini		<ul style="list-style-type: none">• 85 di miglioramento di 1 classe sismica (rimborso dell'80%), circa 21 M€• 14 di miglioramento di 2 classi (rimborso dell'85%), circa 3.5 M€
2019 interventi con miglioramento EE su condomini		<ul style="list-style-type: none">• 489 \approx 64 M€  Problema condomini

Fonte: ENEA DUEE SPS Lab. Supporto Attività Programmatiche per l'efficienza energetica
Responsabile Ing. Domenico Prisinzano

- ✓ Scarsa conoscenza dello strumento
- ✓ Scarsa sensibilità dei cittadini per la sicurezza
- ✓ Tempi lunghi per i lavori e delocalizzazione abitanti per diversi mesi

INTERVENTI SULLA STRUTTURA

Tempi più lunghi e delocalizzazione degli abitanti per diversi mesi,
a meno che ...

Interventi tradizionali

Rinforzo elementi strutturali (pareti, pilastri, travi, solai, fondazioni)

- **Forti interazioni con gli elementi strutturali**
- **Forti interazioni con gli elementi non strutturali e gli impianti**
- **Delocalizzazione abitanti almeno per alcuni mesi**

Interventi innovativi

Isolamento sismico alla base, dissipazione di energia, altri interventi innovativi

- **Interferiscono poco con gli elementi strutturali**
- **Interferiscono poco con gli elementi non strutturali e gli impianti**
- **Delocalizzazione abitanti limitata o evitabile**

STRATEGIE DI INTERVENTO E TECNICHE INNOVATIVE

Tecniche tradizionali

- Rinforzo pareti murarie: **CAM**, FRP, ...
- Rinforzo pilastri, travi e nodi: **CAM**, FRP, Calastrelli, Piatti dissipativi
- Pareti e controventi (c.a., acciaio, ..., anche in aggiunta ai sistemi precedenti)
- Setti o tamponature portanti

Tecniche innovative (esterne)

- Esoscheletri in acciaio
- Torri dissipative
- **Isolamento sismico**

EDIFICI IN C.A.

Carenze tipiche delle strutture in c.a. sottodimensionate per resistere alle azioni orizzontali

- Armatura longitudinale
- Armature trasversali in travi e pilastri
- Staffe non proseguono nel pilastro in corrispondenza del nodo

Rispetto delle gerarchie di resistenza:

- Gerarchia di resistenza trave debole-pilastro forte
- Gerarchia di resistenza flessione -taglio

CUCITURE ATTIVE MANUFATTI (CAM)

**Tirantature in tensione con nastri di acciaio inox ($s \leq 1$ mm)
cerchiano porzioni limitate di struttura**



Intervento sui pilastri:
staffatura

Intervento sulle travi:
a tutta altezza di trave o
a altezza parziale



Consolidamento del nodo:
nastri su più ricorsi (1-3) e in
sovrapposizione (max 6 – 8 nastri)
per contrastare l'apertura delle
fessure

Courtesy EdilCAM



CUCITURE ATTIVE MANUFATTI (CAM)

Incremento armatura longitudinale

- Garantire la continuità tra gli angolari
- Barre metalliche saldate agli angolari ed inghisate in fondazione o attraversanti il solaio e connesse all'elemento superiore



Courtesy EdilCAM

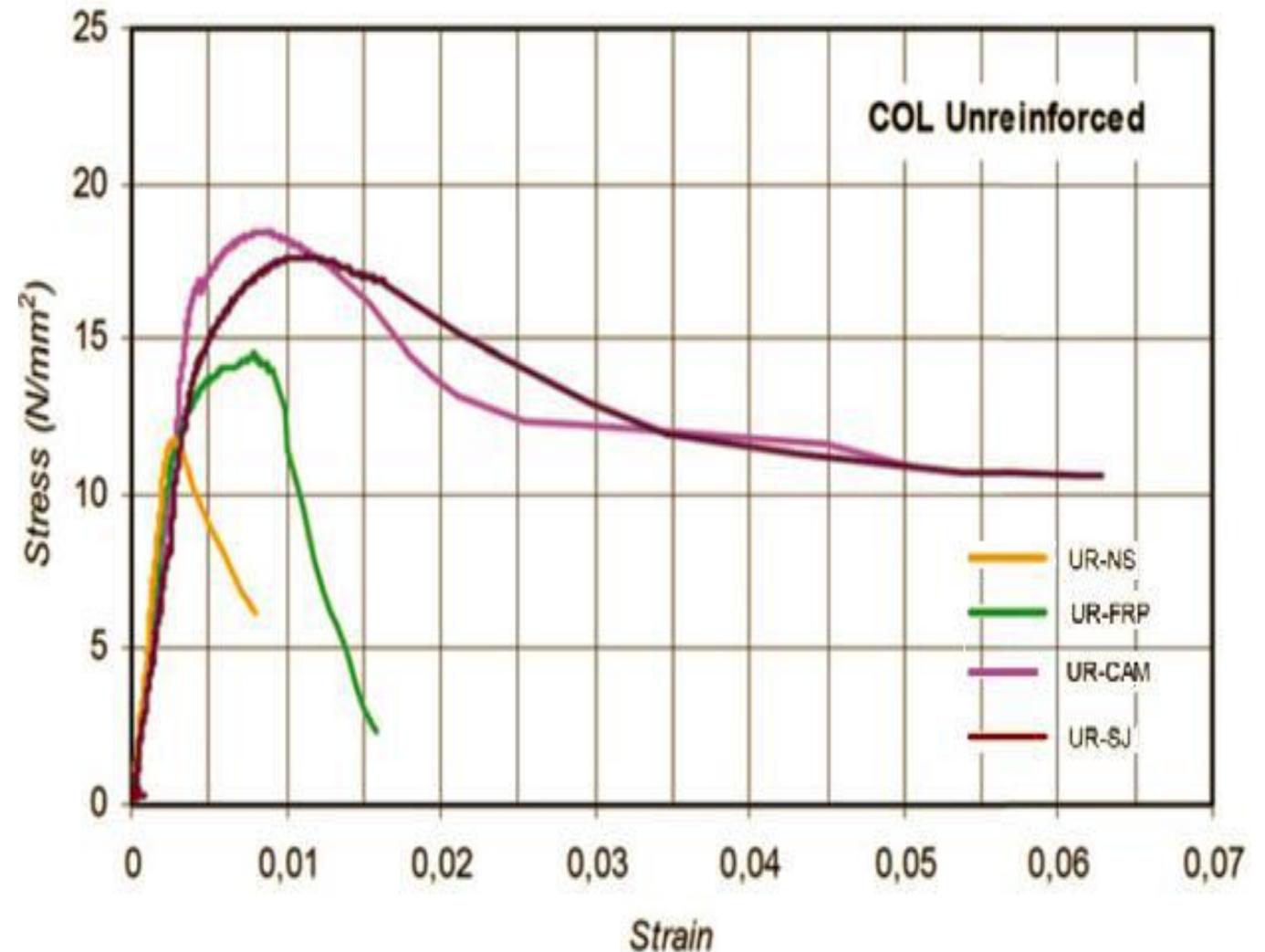
Confinamento

Incremento in capacità rotazionale della sezione

CAM: RINFORZO ATTIVO

Pretensionamento: introduce uno stato tensione trasversale che si traduce in :

- Aumento del carico portato in regime elastico
- Aumento di duttilità
- Il pilastro ha un comportamento ancora lineare in corrispondenza del carico a rottura del pilastro non rinforzato
- Sistema di rinforzo di tipo attivo, in grado di funzionare per i carichi gravanti in fase d'esercizio
- Incremento in prestazione dell'elemento durante la fase elastica, no effetti diretti sulla rottura



Courtesy EdilCAM e UNIBAS

EDIFICI IN MURATURA

Tipologie di collasso

a) Disgregazione della muratura

- tessitura muraria disordinata
- legante assente o di scarsa qualità
- assenza o inefficacia del diatono tra i paramenti di murature a sacco (distacco paramenti)
- bassa resistenza del nucleo

b) Ribaltamento fuori dal piano delle pareti murarie

- Carenza collegamenti tra parete e parete
- Carenza collegamenti tra parete e solaio

c) Comportamento scatolare con rottura a taglio dei maschi murari

Obiettivo

- Comportamento scatolare duttile (c), possibile solo se sono scongiurate le rotture fragili (a) e (b)

Il sistema CAM consente di prevenire (a) e (b) e migliorare (c)

INTERVENTI SU EDIFICI IN MURATURA (CAM)

Diatono meccanico di collegamento costituito da tutti i nastri CAM che attraversano lo spessore murario

Ammorsature tra pareti



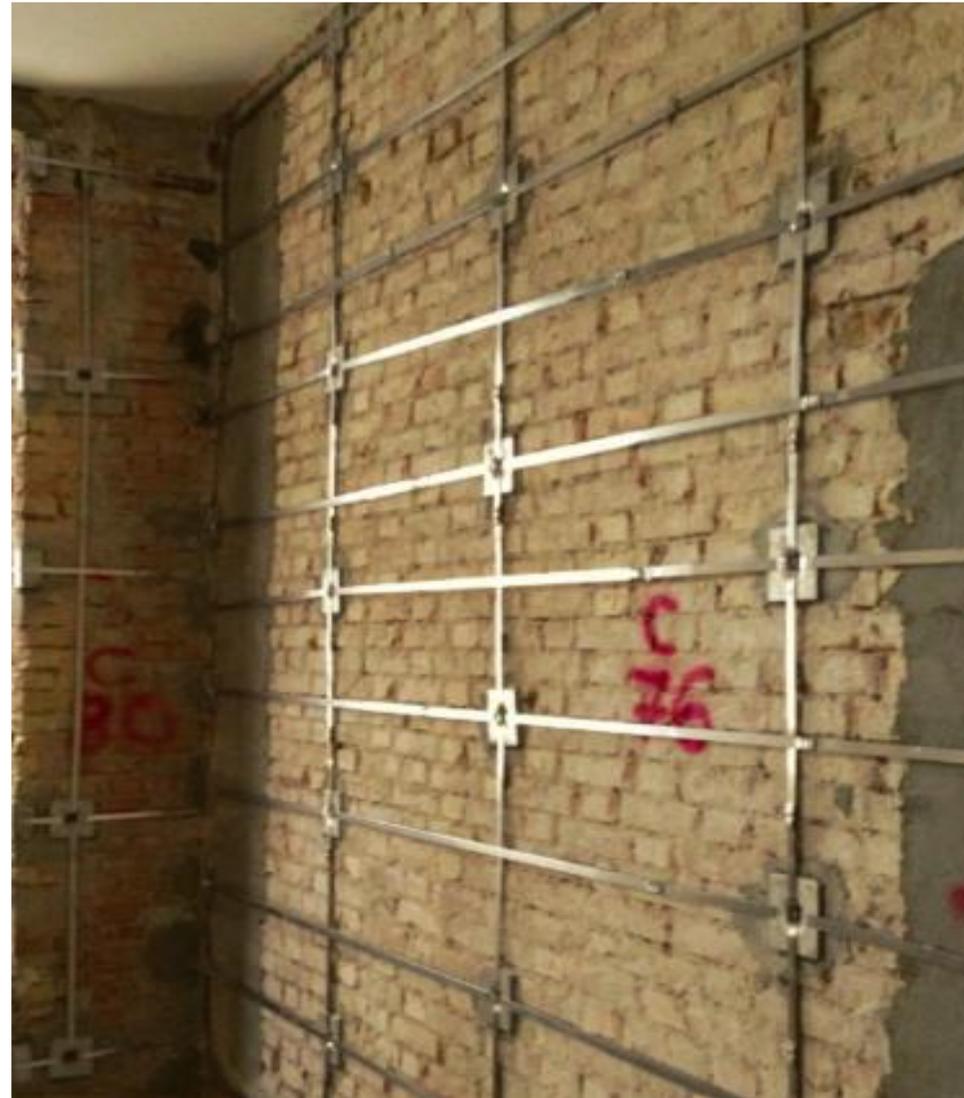
Courtesy EdilCAM

Cordolo: porzione armata con nastri CAM in prossimità della fascia di solaio



INTERVENTI SU EDIFICI IN MURATURA (CAM)

Interventi di confinamento



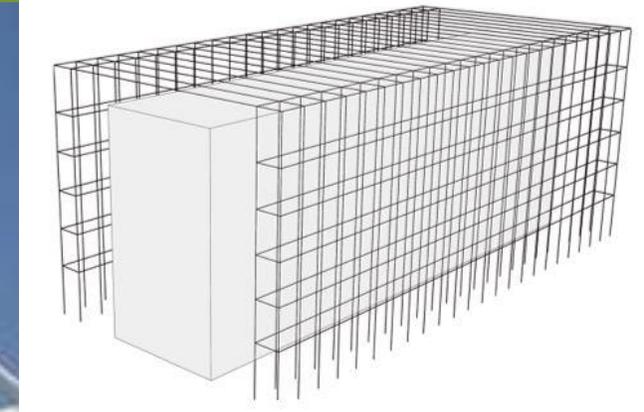
Armadura a flessione sul pannello

Armadura a taglio sul pannello



Courtesy EdilCAM

ESOSCHELETRO STRUTTURALE



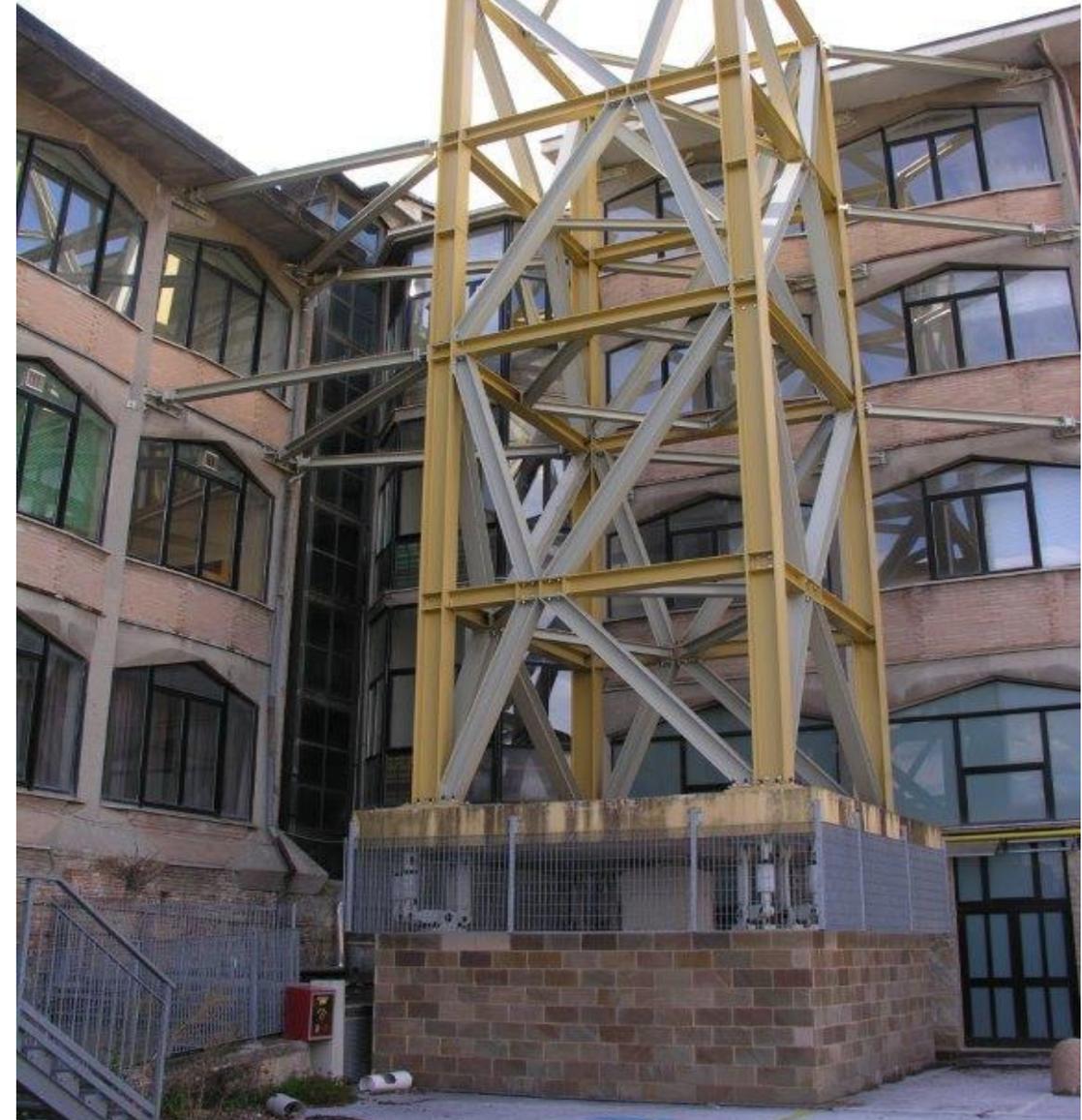
Courtesy ZED PROGETTI

CONTROVENTI DISSIPATIVI

Scuola Gentile Fermi, Fabriano
Dissipatori visco-elastici



TORRI DISSIPATIVE

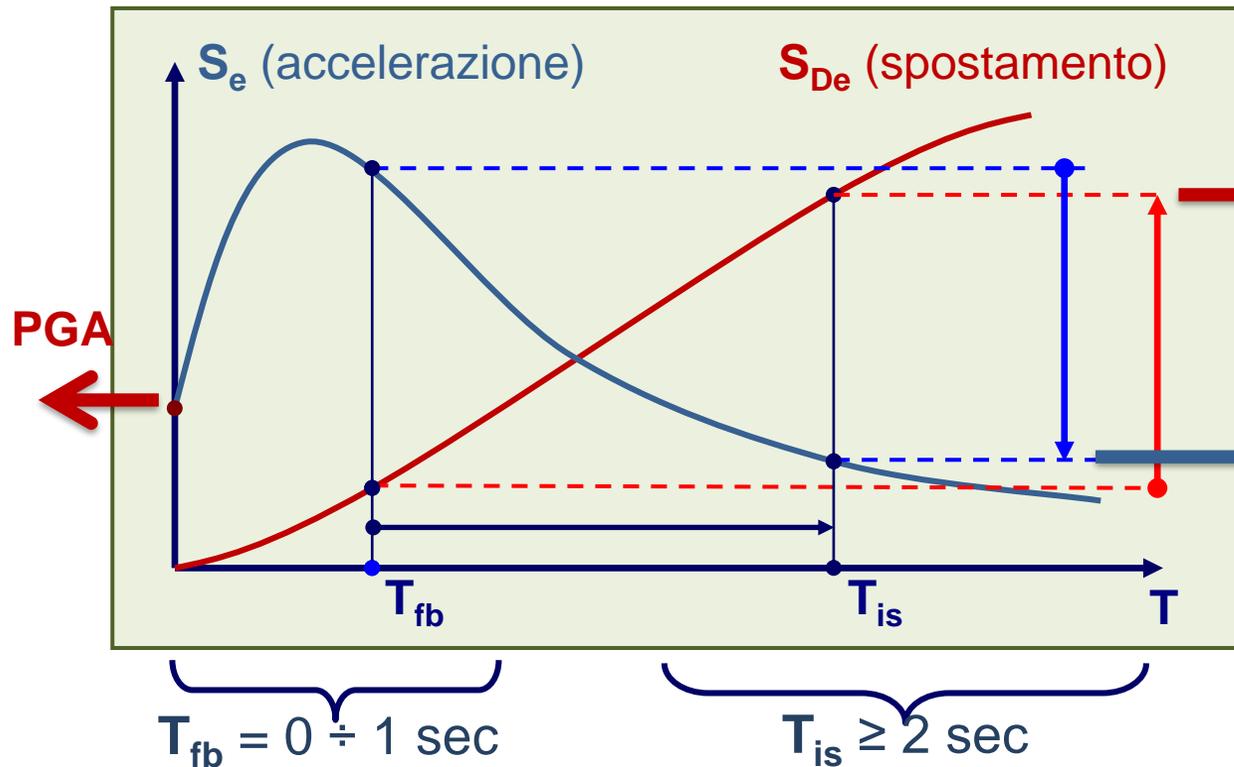


ISOLAMENTO SISMICO ALLA BASE



INTRODUCTION TO SEISMIC ISOLATION

Spettro di risposta elastico = massima accelerazione S_e nella struttura in funzione del suo periodo fondamentale di vibrazione T



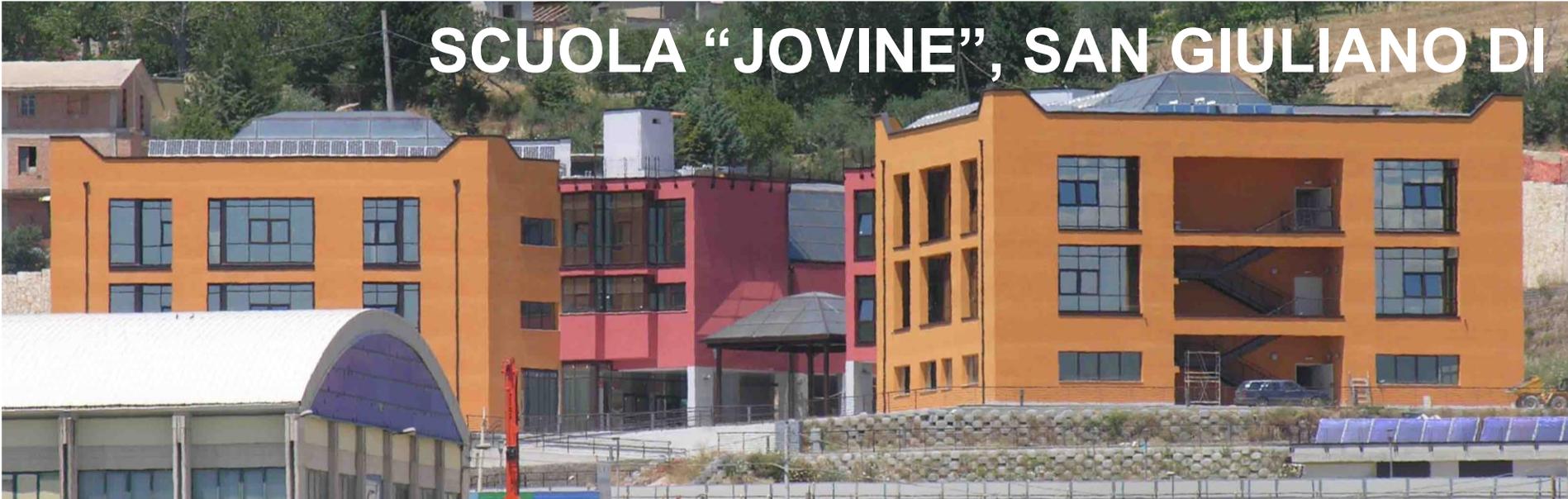
Aumento spostamento
 $S_{De} > 0.20 \text{ m}$
concentrato alla base

Riduzione azioni sismiche
 $S_{e,is}/S_{e,bf} < 0.20$

Disaccoppiamento
tra moto della
struttura e del
terreno

È possibile progettare in campo elastico
Zero Earthquake-Damage Buildings

SCUOLA "JOVINE", SAN GIULIANO DI R



Isolamento sismico:
P. Clemente (coord.), M. Dolce, A. Parducci, G. Buffarini



61 HDRB + 12 SD
Regalati da ACEDIS

CENTRO PROTEZIONE CIVILE REG. DI FOLIGNO

PALAZZINA
SERVIZI

VIGILI DEL
FUOCO

CENTRO OPERATIVO
MANUTENZIONE MODULI

CENTRO OPERATIVO
EMERGENZA BENI CULTURALI

CENTRO
OPERATIVO
EMERGENZA
FORMAZIONE

CORPO
FORESTALE

CENTRO OPERATIVO, FOLIGNO



Structural design A. Parducci

PROGETTO C.A.S.E. (L'AQUILA)

Piattaforme isolate con edifici prefabbricati in c.a., legno o acciaio (2009)
Isolatori a pendolo scorrevole (CSS) – Progetto: DPC



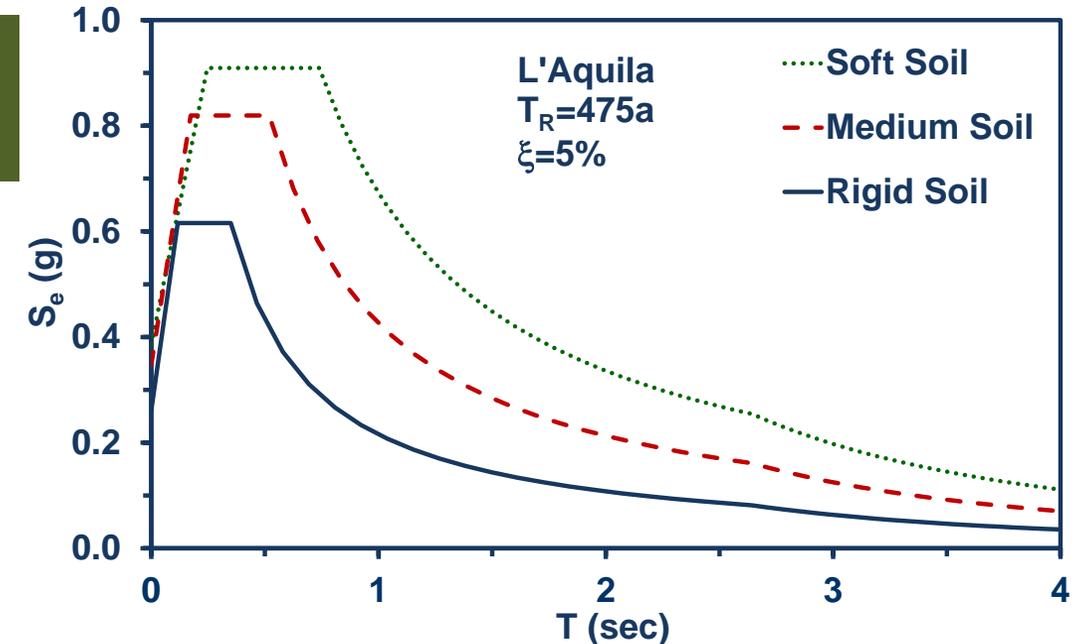
CONDITIO SINE QUA NON

Sovrastruttura rigida: $T_{bf} \ll T_{is}$

non deve amplificare le azioni trasmesse attraverso il sistema di isolamento

Terreno non molto soffice

non deve amplificare componenti con $T \approx T_{is}$



Giunti laterali realizzabili (per consentire gli spostamenti dovuti al sistema di isolamento)
Rispettare compatibilità con strutture adiacenti

In alternativa si possono utilizzare sistemi di dissipazione dell'energia

REQUISITI DISPOSITIVI

ISOLATORI

Funzione di appoggio

che si esplica nel sopportare i carichi verticali in condizioni di esercizio e in condizioni sismiche

Bassa rigidezza orizzontale

che permetta agli apparecchi di subire spostamenti relativi tra le due facce, superiore ed inferiore, di una determinata entità, in caso di eventi sismici

Adeguate rigidezza nei confronti delle forze orizzontali di piccola entità (vento, traffico o sismi di bassa energia)

Buona capacità dissipativa, di ricentraggio e di vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici)

DISPOSITIVI AUSILIARI

Funzioni di:

dissipazione di energia

ricentraggio del sistema

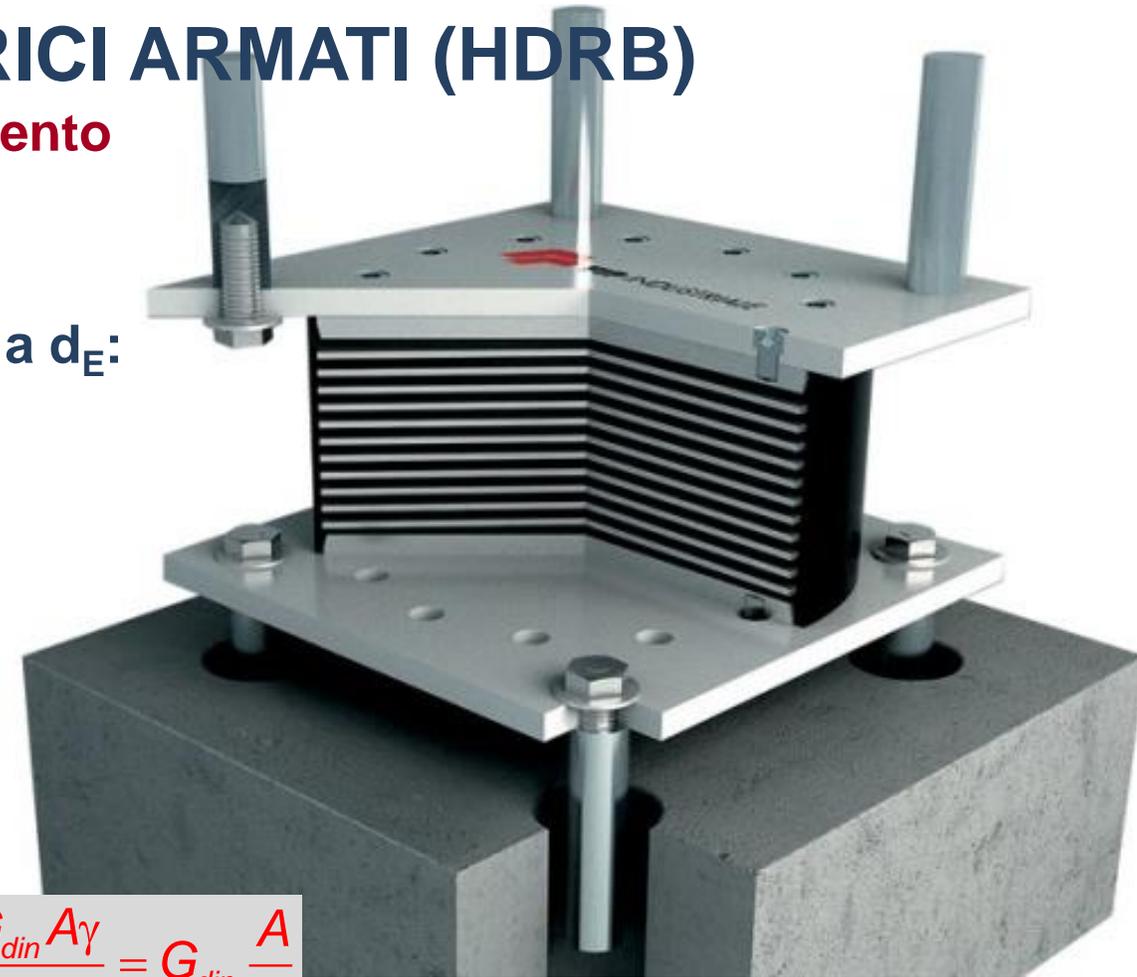
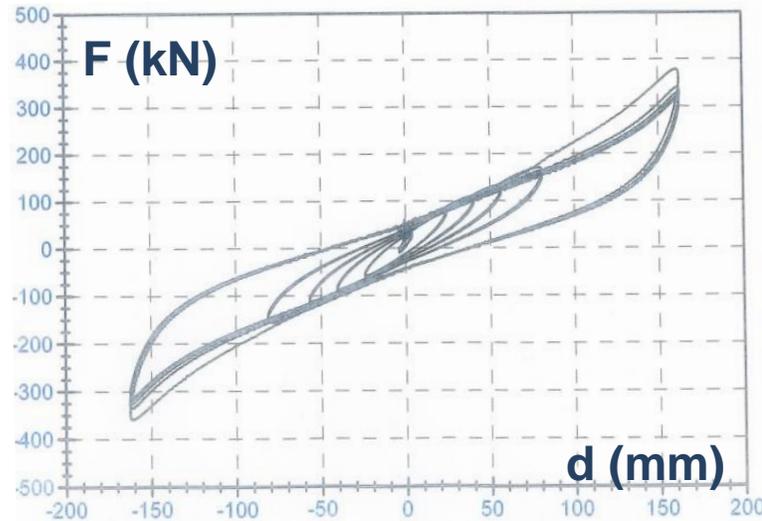
vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio

ISOLATORI ELASTOMERICI ARMATI (HDRB)

Curve caratteristiche forza – spostamento

- Rigidezza = F_{\max} / d_{\max} varia col ciclo
- Energia dissipata \propto area ciclo, varia col ciclo

Convenzionalmente si definiscono, con riferimento a d_E :



Rigidezza equivalente K_e ($d = d_E$)

$$K_e = \frac{F}{d_E} = \frac{G_{din} A \gamma}{d_E} = G_{din} \frac{A}{t_e}$$

Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ

(W_d =energia dissipata in un ciclo completo di carico)

$$\xi_e = \frac{W_d}{2\pi \cdot F \cdot d_E}$$

Carico verticale massimo V in presenza di azioni sismiche ► per $d=d_E$

ISOLATORI GOMMA-PIOMBO

Uno o più nuclei in piombo



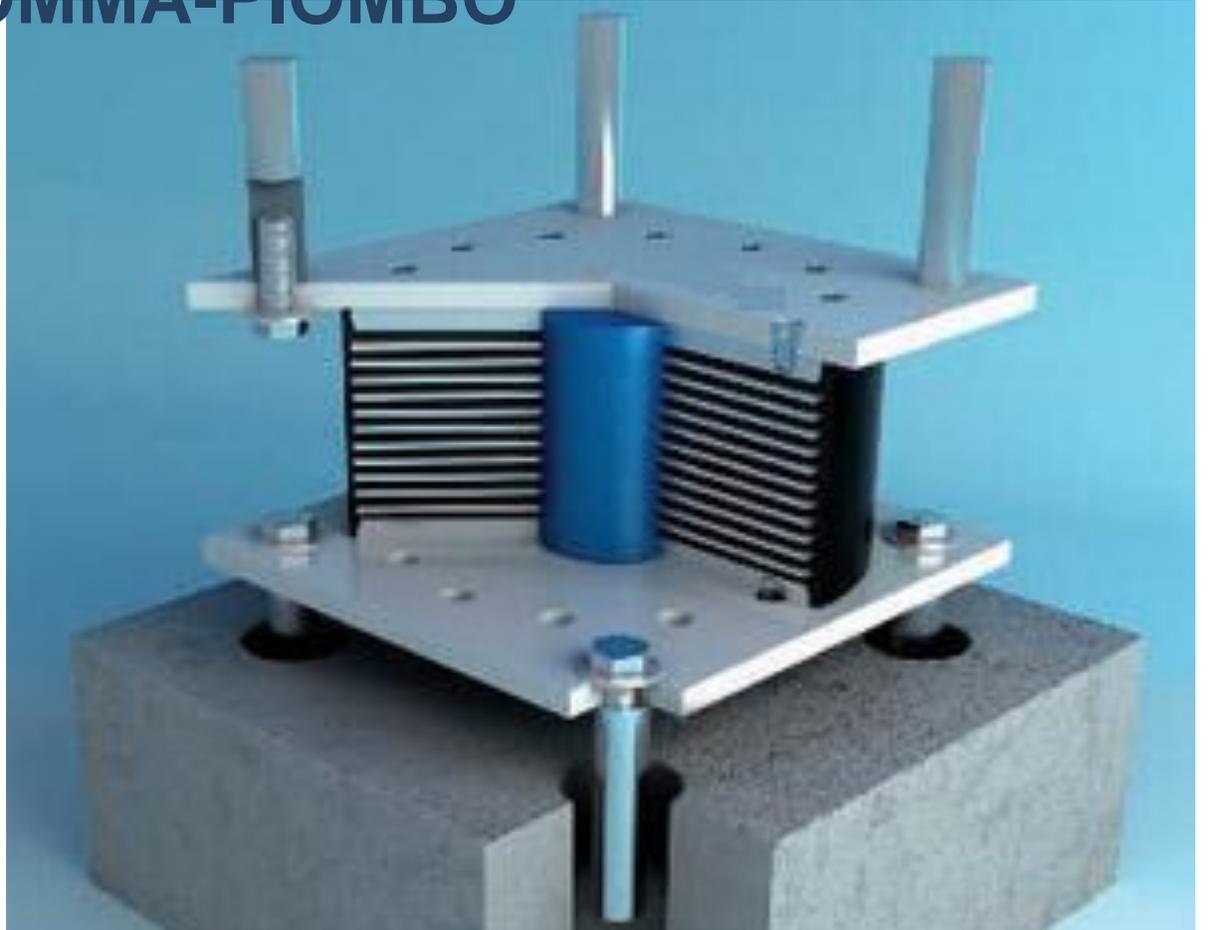
Smorzamento viscoso equiv. fino a **25-30%**

Vantaggio:

- L'isolatore può essere in gomma naturale, più resistente

Svantaggi:

- Processo di produzione più difficoltoso
- Minore capacità di ricentraggio



ISOLATORI A SCORRIMENTO CON SUPERFICI PIANE (SD)

Appoggi acciaio-PTFE con bassi valori delle resistenze per attrito

- Coeff. di attrito dinamico $\xi = 6 \div 12\%$ ► si riduce a $1 \div 2\%$ mediante lubrificazione

✓ ξ è funzione di:

- Pressione di contatto (lineare)
- Velocità di scorrimento
- Temperatura
- Usura

- valutazione molto incerta
- viene trascurato
- $\xi=0$ (spost. orizz. liberi)

- Carico portato indipendente dallo spostamento

- Non hanno capacità ricentrante, sono necessari:

- ✓ dispositivi ausiliari
- ✓ isolatori elastomerici

ISOL. A SCORRIMENTO CON SUP. CURVE (CSS)

Incorpora senza ausilio di altri elementi:

- Funzione ricentrante: data dalla superficie curva
- Funzione dissipativa: superficie non lubrificata, attrito non ridotto



REQUISITI GENERALI

Sovrastruttura

parte della struttura isolata, ossia posta al di sopra dell'interfaccia d'isolamento

Interfaccia d'isolamento

superficie di separazione sulla quale è attivo il sistema d'isolamento

Sottostruttura

parte della struttura sotto il sistema d'isolamento (incluse fondazioni);

- ha in genere deformabilità orizzontale trascurabile
- è soggetta agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno

Sovrastruttura e Sottostruttura

- si devono mantenere in campo elastico
- struttura può essere progettata con particolari costruttivi della zona a bassissima sismicità (deroga sui dettagli costruttivi per strutture in c.a.)

Sistema d'isolamento deve garantire un'affidabilità superiore

DISPOSIZIONE DEGLI ISOLATORI

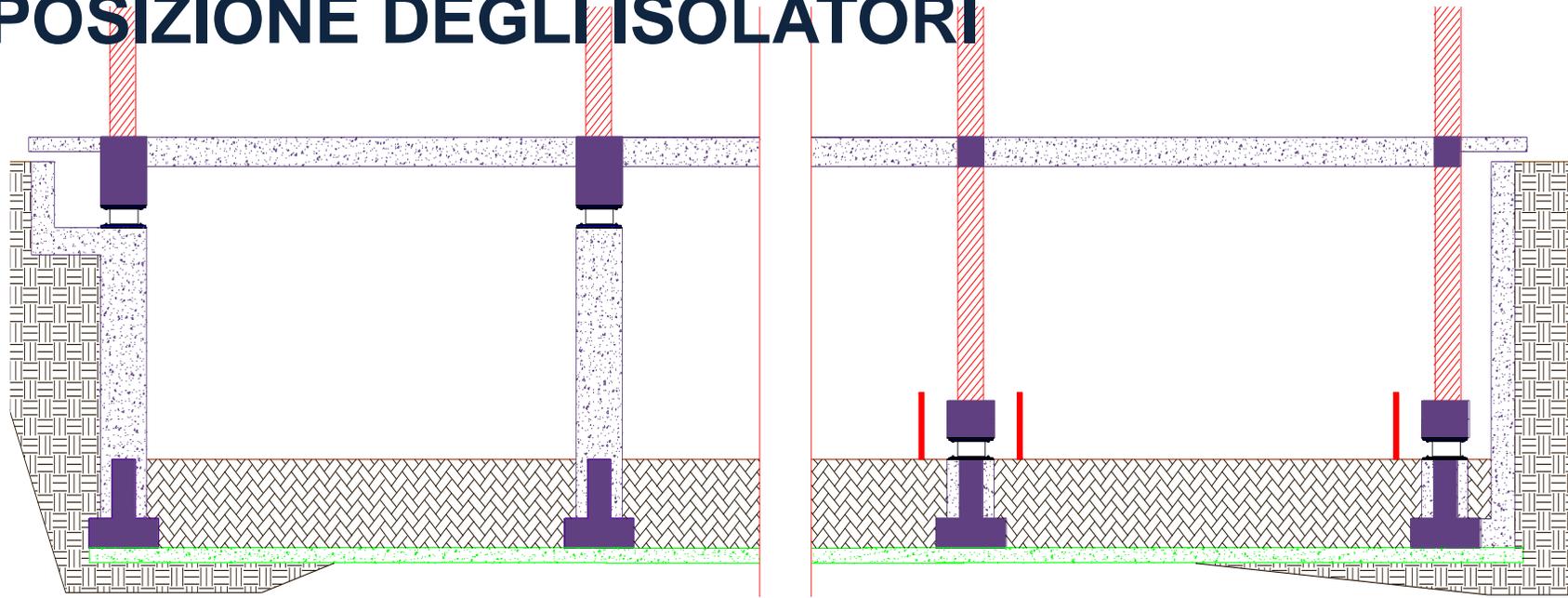
Elevazione

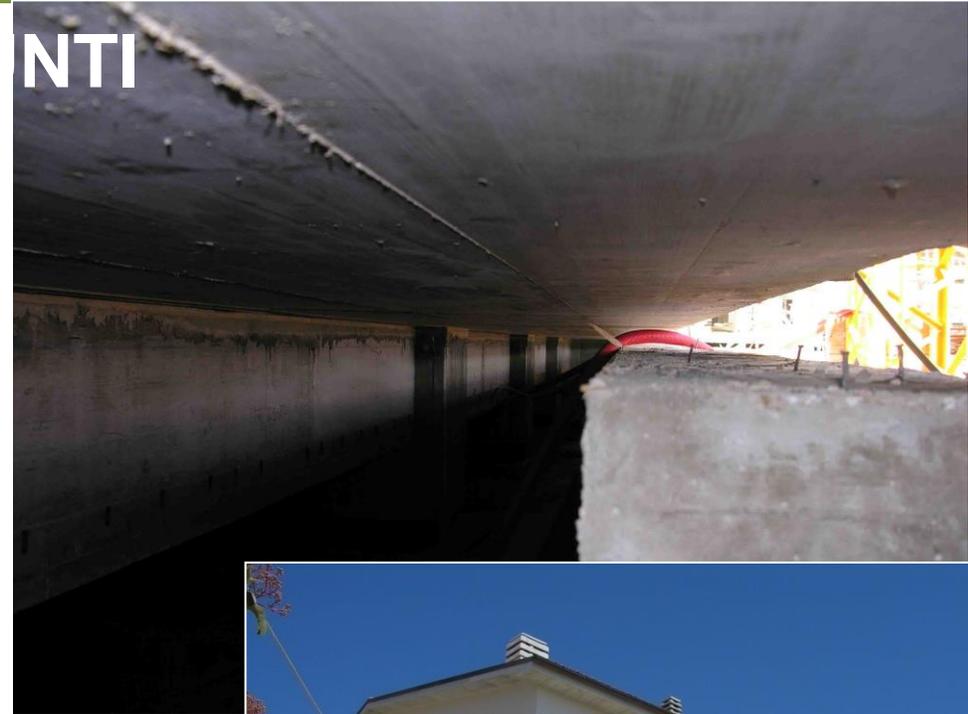
- **Piano:** il più basso possibile
- **Altezza nel piano:** in sommità

Pianta:

- **Edifici in c.a.:** un isolatore al di sotto di ciascun pilastro
- **Edifici in muratura:**
 - ✓ Isolatori alle **intersezioni tra muri portanti** e se necessario altri tra di essi
 - ✓ Struttura che **trasferisca le azioni delle pareti alla fondazione:**
 - **Impalcato rigido** struttura rigido sopra i dispositivi
 - **Struttura rigida al di sotto**, incluse le fondazioni

Requisiti: ispezionabilità, sostituibilità, gaps





IMPIANTI



COLLAUDO IN CORSO D'OPERA

Controllo di:

- **Posa in opera dei dispositivi**, nel rispetto di:
 - ✓ posizione orizzontale
 - ✓ tolleranze
 - ✓ modalità di posa prescritte dal progetto
- **Giunti**
 - ✓ **completa separazione** tra sovrastruttura e sottostruttura e tra sovrastruttura e altre strutture adiacenti, con rispetto delle distanze di separazione (gap) previste in progetto,
 - ✓ **corretta installazione** delle protezioni dei giunti strutturali
- **Elementi di interfaccia flessibili per le tubazioni** (gas e acqua)

Eventuale esecuzione di:

- **Prove di 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



COSTRUZIONI ESISTENTI: LA VERA SFIDA

Grave errore dell'ingegneria sismica negli anni '70 e '80: aver preteso di applicare alle strutture esistenti gli stessi concetti e le stesse tecniche sviluppati per le nuove costruzioni

Edifici vecchi progettati:

- con standard di sicurezza inferiori
- senza tener conto del sisma



Adeguamento sismico:

- difficile o impossibile per ragioni tecnologiche e economiche

Tra le soluzioni:

- Demolizione e ricostruzione

Attenzione particolare:

- Edifici di interesse storico e artistico

ISOLAMENTO SISMICO EDIFICI ESISTENTI

Trasferimento del carico dalla situazione esistente a quella finale

- **All'interno della struttura esistente**



- taglio degli elementi strutturali verticali
- tra elementi verticali e fondazioni

- **Creando una nuova fondazione**



- tra la fondazione esistente e una nuova sottofondazione
- tra due nuove fondazioni, sup. connessa alla sovrastruttura, inf. al terreno

Edifici in c.a.

- inserimento degli isolatori lungo i pilastri con taglio degli stessi
- inserimento degli isolatori al di sotto della fondazione con realizzazione di un'ulteriore nuova fondazione

Edifici in muratura

- interventi con taglio delle pareti murarie
- interventi in fondazione

EDIFICIO IN VIA LATINI, FABRIANO



Progetto: G. Mancinelli

EDIFICIO VIA LATINI, FABRIANO



Progetto G. Mancinelli



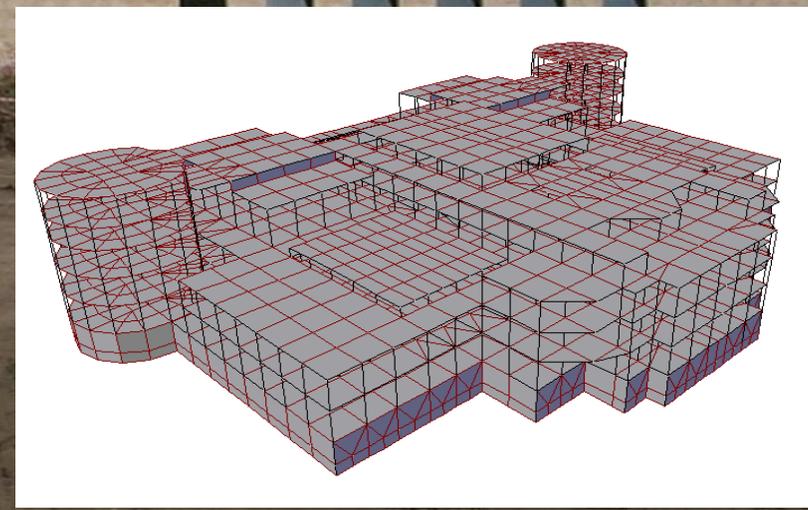
CENTRO POLIFUNZ. (R. TRAIANO SOCCAVALO, NA)

Struttura ultimata negli anni '70 (quando l'area non era classificata sismica)

Fondazioni su pali



Struttura fortemente asimmetrica
Adeguate sismicamente con 600 HDRB



CENTRO POLIFUNZ. (R. TRAIANO SOCCAVALO, NA)



Taglio dei pilastri : inserimento dei dispositivi lungo i pilastri del primo livello e inserimento di un piano rigido



Courtesy by ALGA



CONDOMINIO LEONARDO, L'AQUILA



Courtesy FIP Industriale



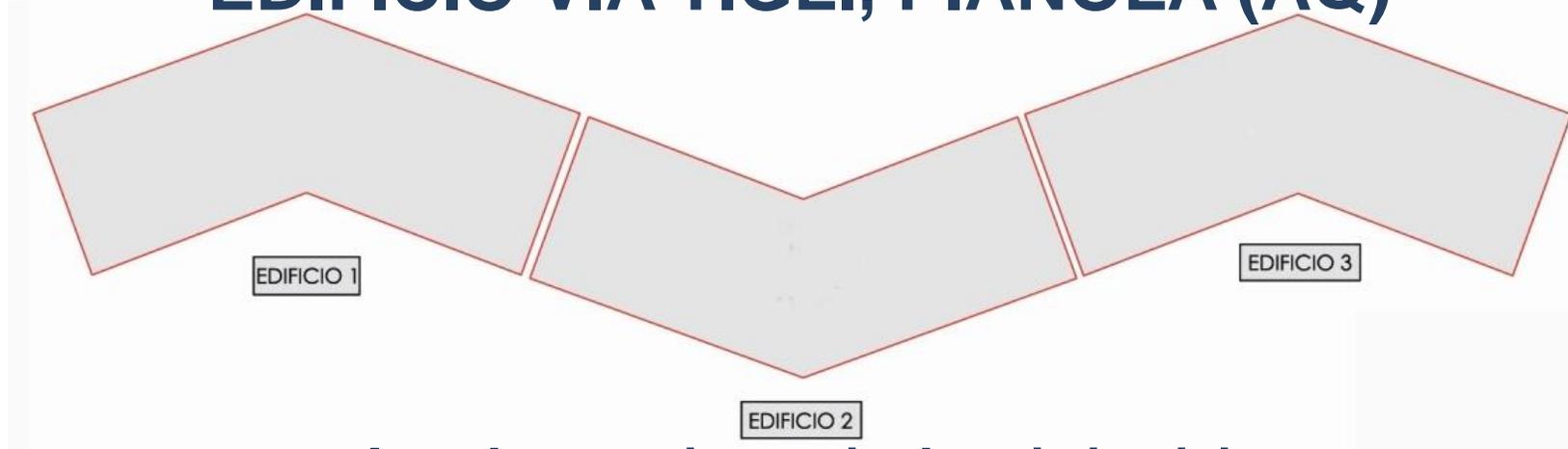
VILLA SERENA, JESI



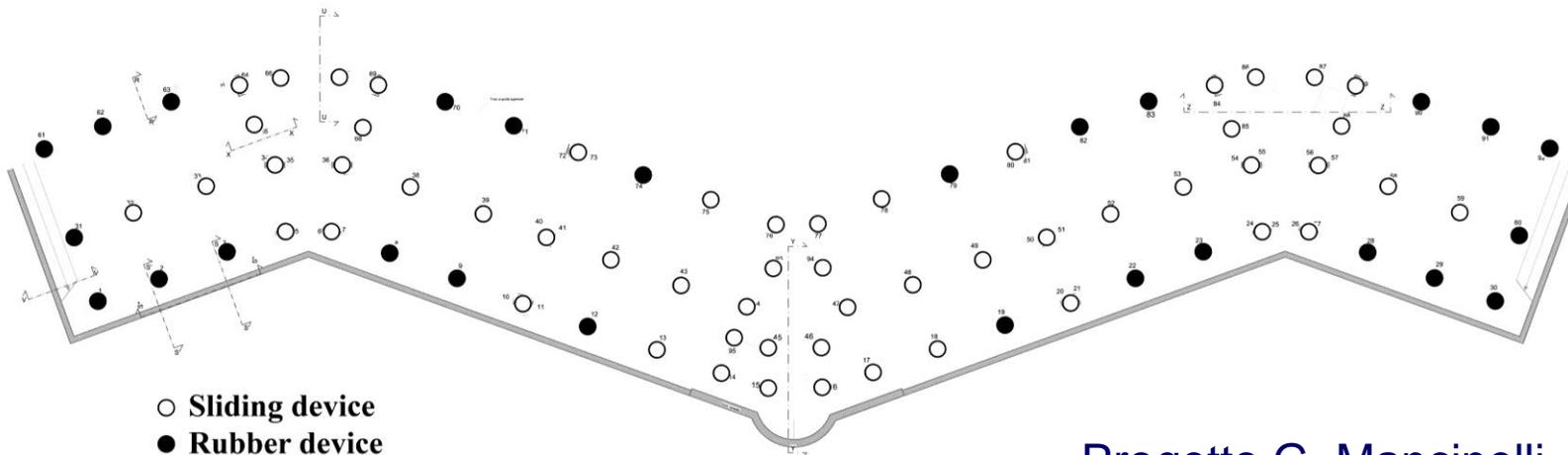
Courtesy G&P Intech



EDIFICIO VIA TIGLI, PIANOLA (AQ)



Impalcato unico su isolatori sismici
26 HDRB ($K_e=744$ kN/mm) + 55 SD
 $T = 2.96$ s, $d_{E=} = 300$ mm, $V = 1000$ kN



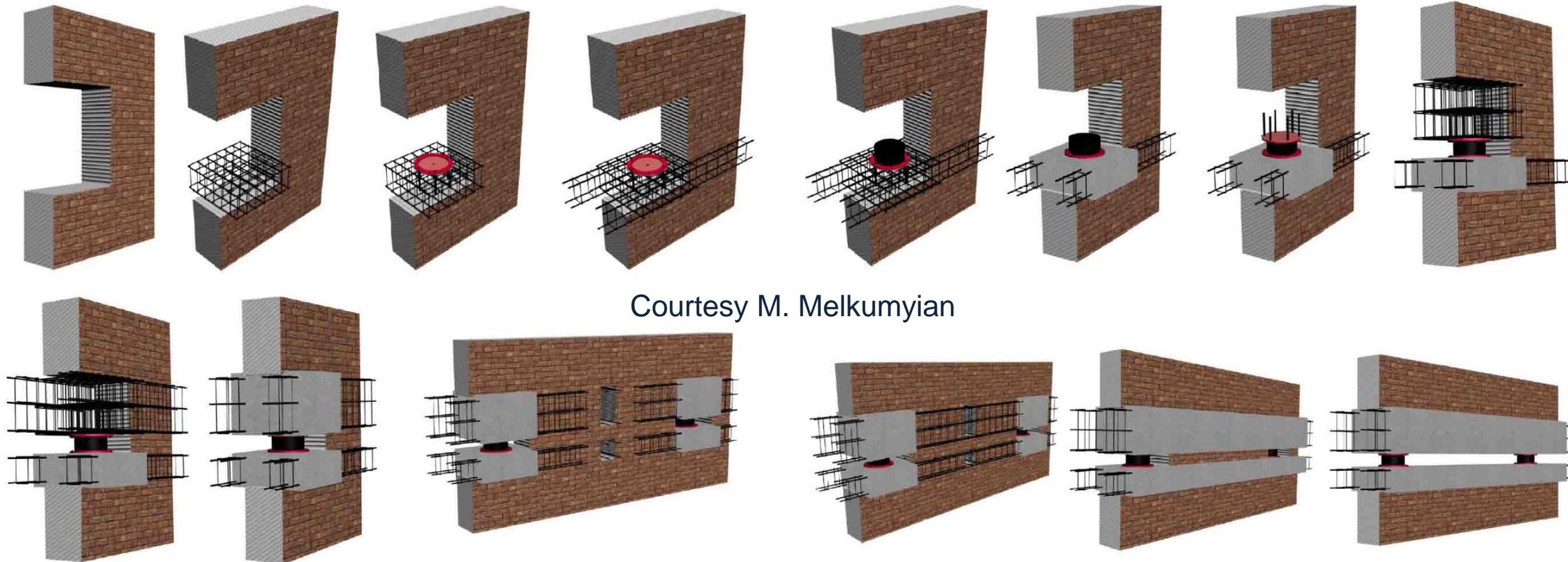
Progetto G. Mancinelli

EDIFICIO VIA TIGLI, PIANOLA (AQ)

L'edificio non ha subito danni a seguito degli eventi sismici del 2016



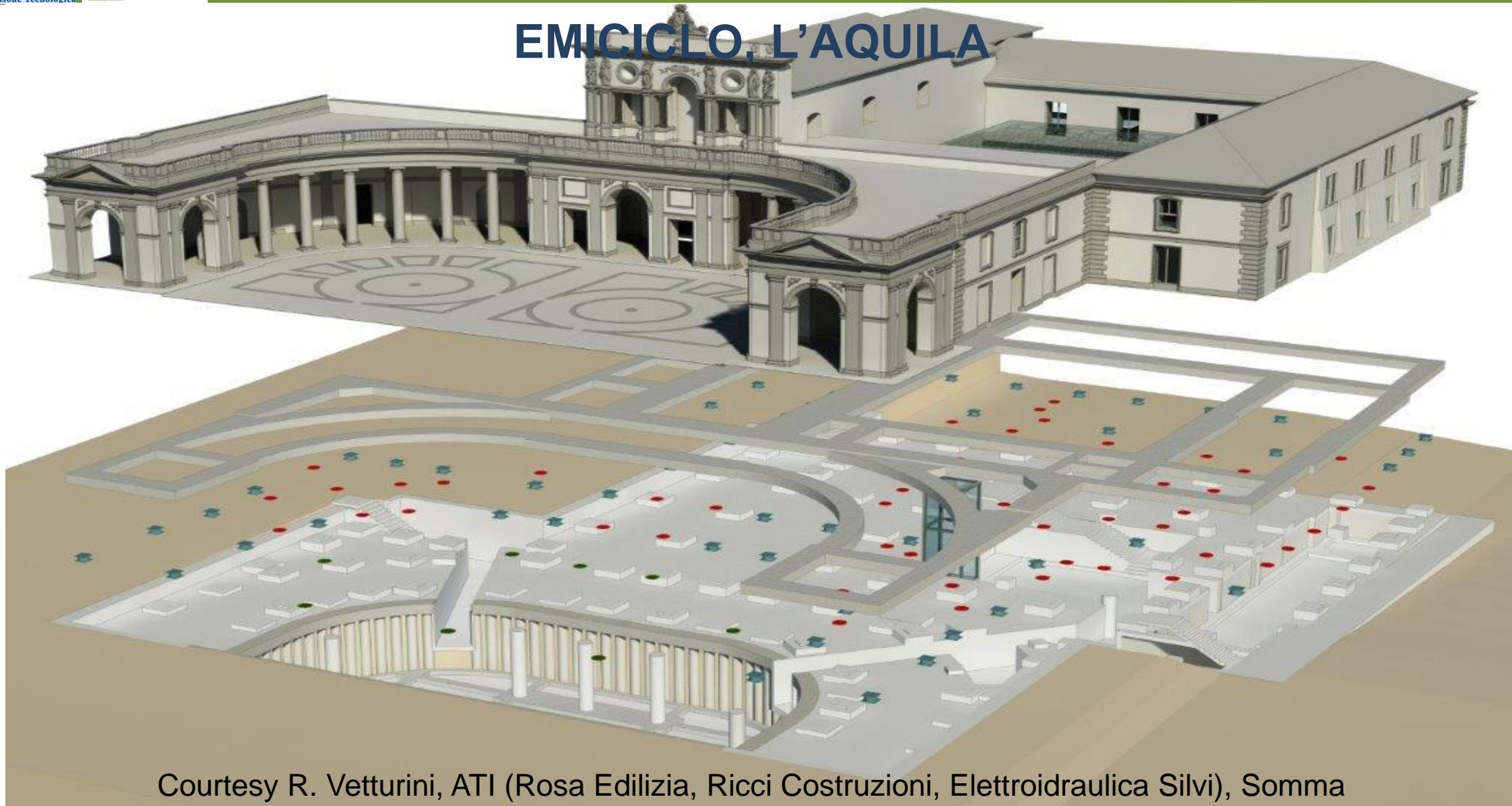
SCHOOL BUILDING AT VANADZOR (ARMENIA)



Courtesy M. Melkumyian



EMICICLO, L'AQUILA



Courtesy R. Vetturini, ATI (Rosa Edilizia, Ricci Costruzioni, Elettroidraulica Silvi), Somma

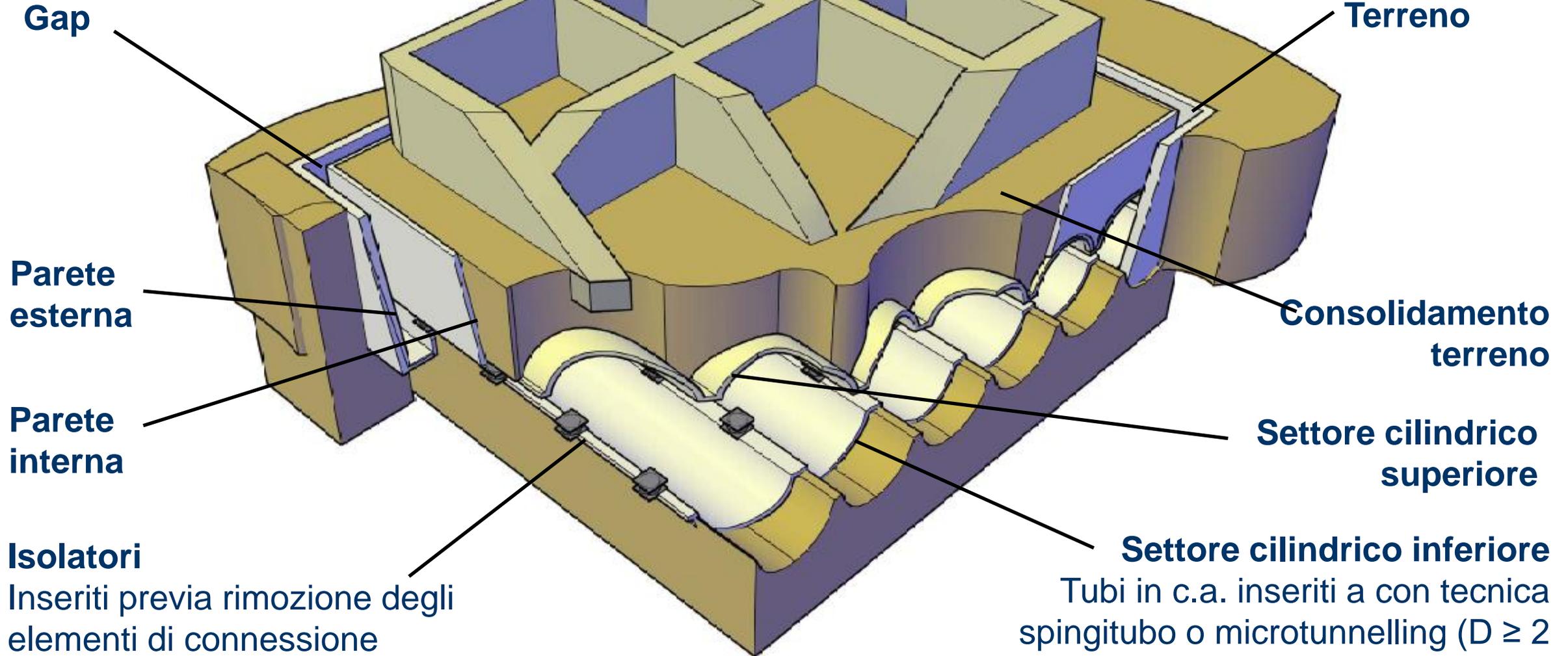
EMICICLO, L'AQUILA



Courtesy R. Vetturini, ATI (Rosa Edilizia, Ricci Costruzioni, Elettroidraulica Silvi), Somma

STRUTTURA ISOL. SISMICO EDIFICI ESISTENTI

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

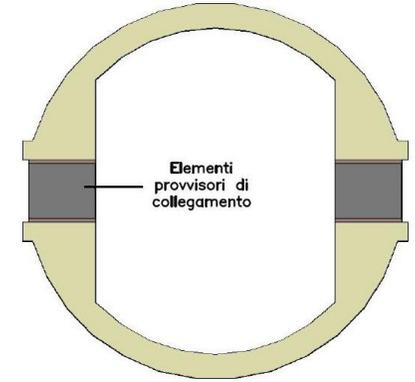
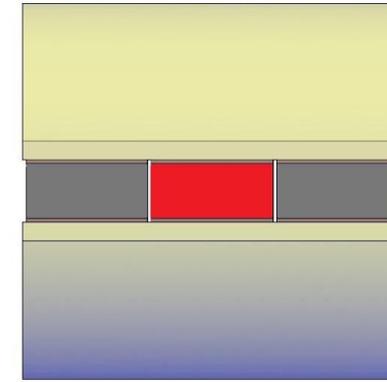
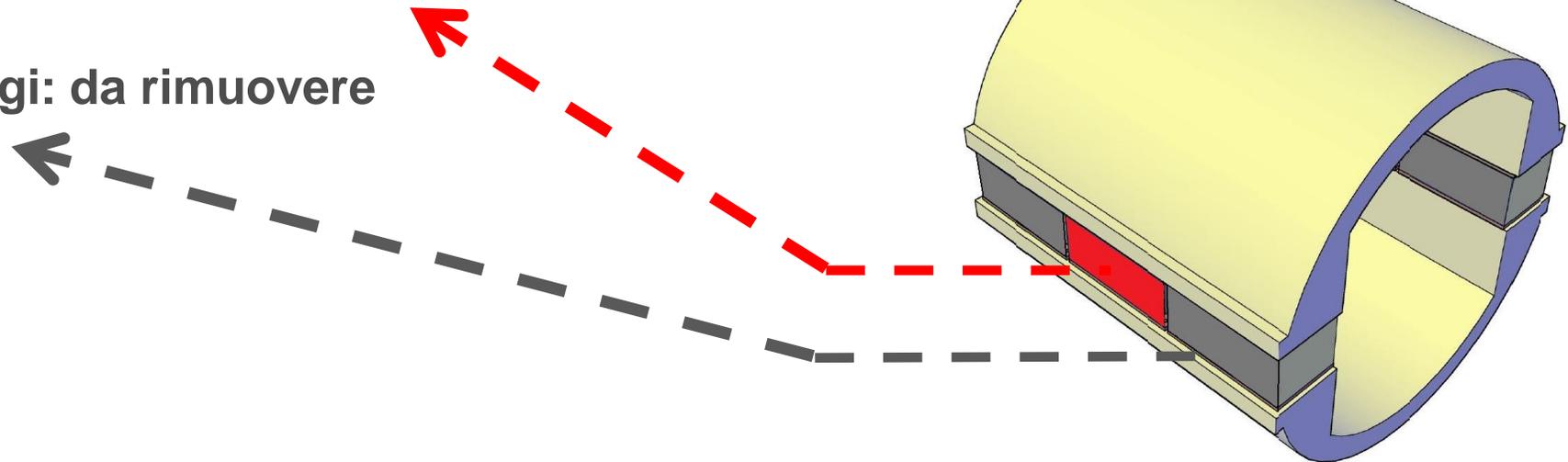


SISEB: TUBI

- Forma particolare
- Composti da:
 - ✓ settori circolari inferiori
 - ✓ settori circolari superiori
 - ✓ elementi removibili che li connettono

➤ **Elementi rossi: sostituiti dagli isolatori**

➤ **Elementi grigi: da rimuovere**



Elementi
provvisori di
collegamento

FINE

Grazie
per la Vostra cortese
Attenzione