

**“Cost Efficient Options and Financing mechanisms for nearly
Zero renovation of existing building stock”**

Palazzo della Cultura, Messina

16 febbraio 2017

APPLICAZIONE DI MODERNE TECNOLOGIE ANTISISMICHE NEGLI EDIFICI ESISTENTI

Paolo Clemente, PhD

Ingegnere Strutturista, Dirigente di Ricerca



SOSTENIBILITÀ, SICUREZZA, RESILIENZA



- Industria delle Costruzioni maggiore responsabile del degrado
- Materiali eco-compatibili, riciclo e recupero
- Efficienza energetica

- Capacità di recuperare in tempi brevi
- Sfida del terzo millennio

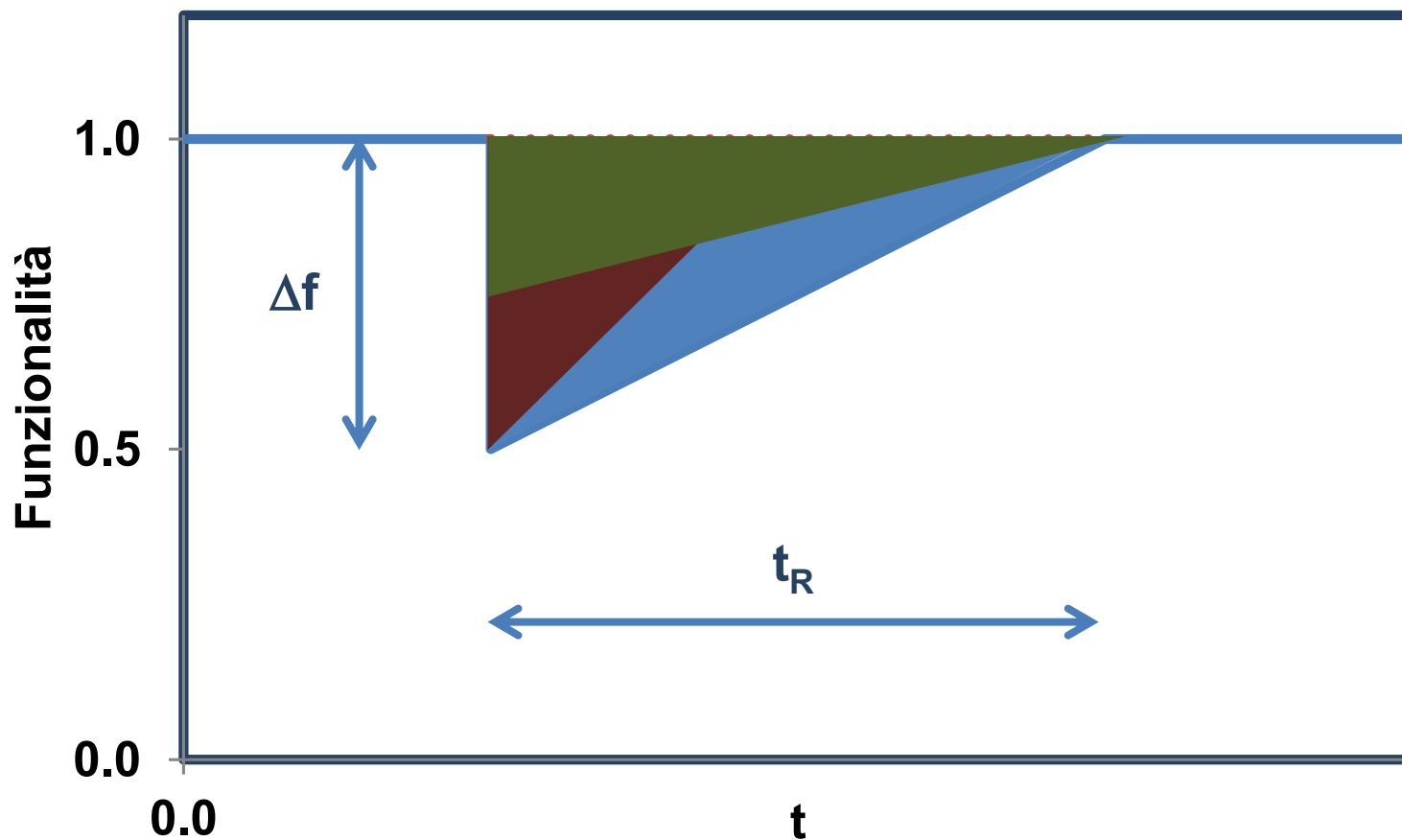


SCUOLA ROMOLO CAPRANICA DI AMATRICE



RESILIENZA: PREVENZIONE E REAZIONE

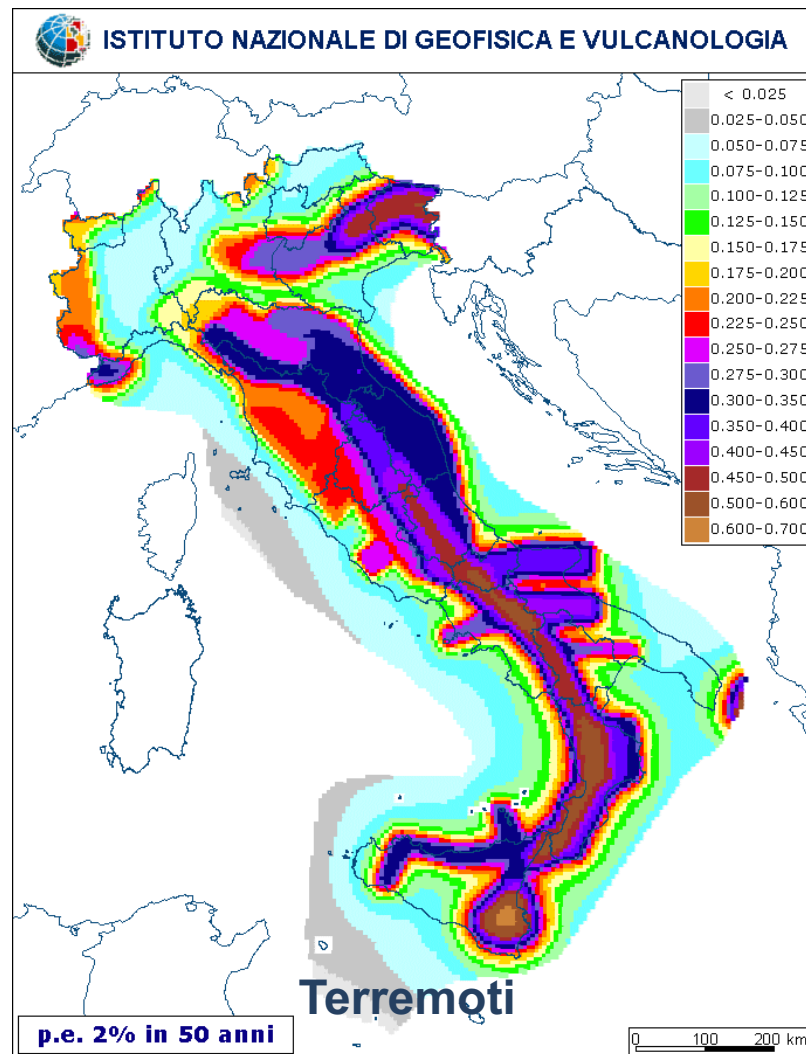
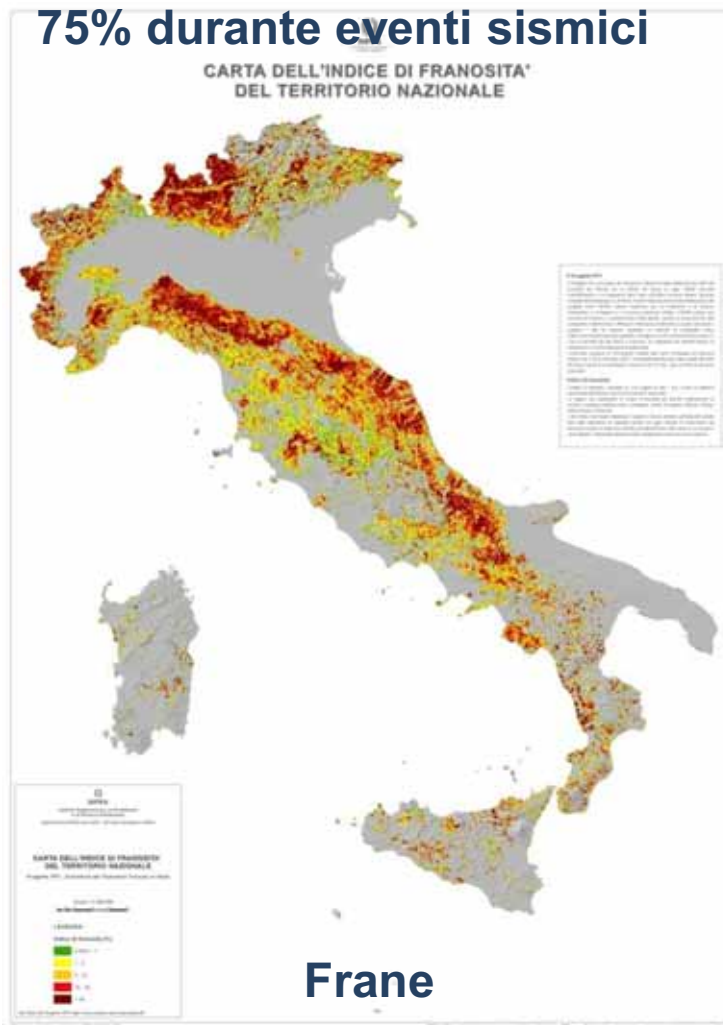
Parola chiave: funzionalità



CALAMITÀ NATURALI IN ITALIA

Nella seconda metà del secondo millennio (stima ENEA, 1999):

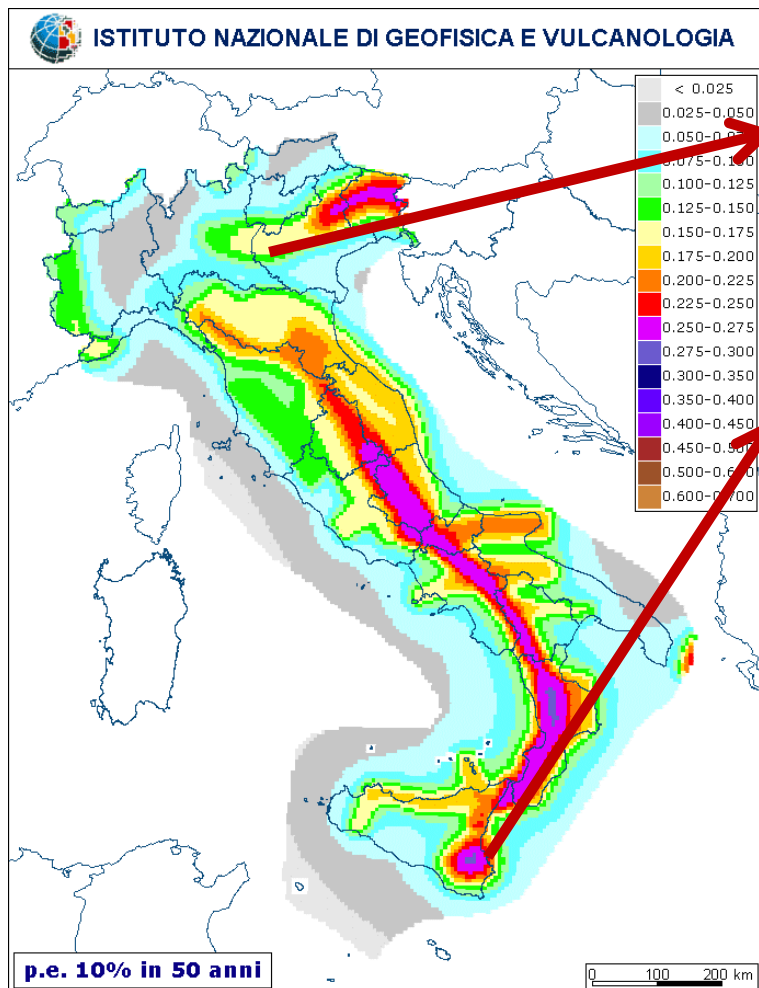
- Vittime dovute a eventi naturali = circa 1200 all'anno
- 75% durante eventi sismici



CALAMITÀ NATURALI: EFFETTI

Nel passato ▶ una catastrofe causava essenzialmente vittime

Oggi ▶ una catastrofe può causare **disastri ambientali e danni all'economia**



2012: Terremoto Pianura Padana Emiliana

- gravi danni all'economia della regione e dell'intero paese

Terremoto Sicilia sudorientale del 1693

- disastro ambientale, oggi sede di molti stabilimenti petrolchimici

Considerate

- l'estensione delle aree interessate
- la varietà del patrimonio edilizio esistente

la riduzione del rischio sismico richiede un notevole impegno finanziario

PREVENZIONE O RICOSTRUZIONE?

Prevenzione:

- Investimento necessario per riduzione rischio sismico su tutto il territorio nazionale = centomila miliardi di lire (Stima GNDT dopo il sisma dell'Irpinia del 1980)
- Somma non disponibile né utilizzabile in tempi brevi, né allora né adesso
- Investimento estremamente conveniente, tenuto conto dei costi di gestione delle varie emergenze e ricostruzioni successive

COSTI TERREMOTI IN ITALIA DAL 1968

Evento	Anno	Periodo attivazione interventi	Importo attualizzato 2014 (milioni di euro)
Valle del Belice(*)	1968	1968-2028	9.179
Friuli V. G. (*)	1976	1976-2006	18.540
Irpinia	1980	1980-2023	52.026
Marche Umbria (*)	1997	1997-2024	13.463
Puglia Molise (*)	2002	2002-2023	1.400
Abruzzo (**)	2009	2009-2029	13.700
Emilia (**)	2012	2012-	13.300
Totale			121.608

(*) Dati a consuntivo sulle risorse effettivamente stanziare dallo Stato

(**) Previsioni di spesa delle autorità locali preposte alla ricostruzione

Fonte: Elaborazione Centro Studi CNI su dati Ufficio Studi Camera dei Deputati, Regione Emilia Romagna, Commissario delegato per la ricostruzione Presidente della Regione Abruzzo

PRIORITÀ E INCENTIVI

E' necessaria

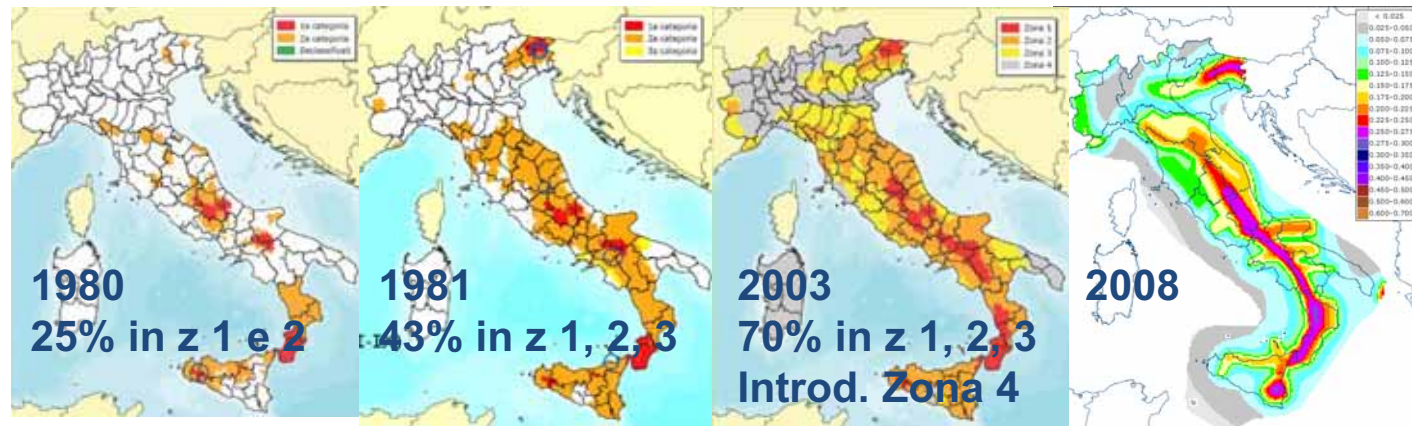
un'oculata programmazione della spesa e degli interventi, stabilendo:

- **Patrimonio pubblico: priorità di intervento su opere strategiche o di particolare rilevanza, quali prefetture, caserme, ospedali, scuole, ecc.**
 - ✓ **OPCM 3274/2003: valutazione**
 - ✓ **Circ. DPC/SISM/0083283 del 04.11.2010**
- **Patrimonio privato:**
 - ✓ **Bonus fiscali**
 - ✓ **Assicurazione obbligatoria a fronte dei rischi naturali**

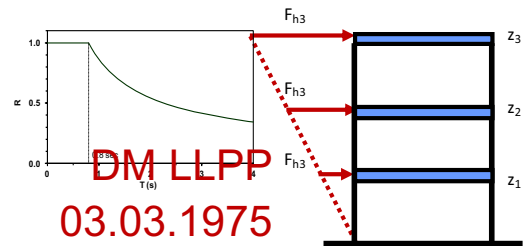
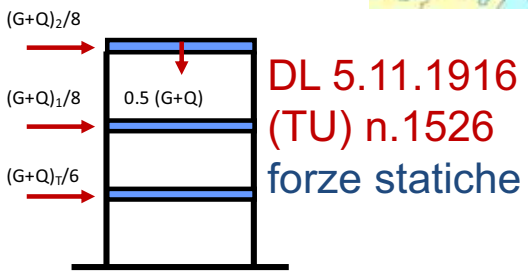
LA SICUREZZA SISMICA IN ITALIA

In Italia il 70% dell'edificato non è adeguato al sisma di progetto al sito

Evoluzione della classificazione sismica



Evoluzione della normativa tecnica



OPCM3274/03-
 NTC2008
 Spettri elastici
 Stati Limite

Qualità delle costruzioni

- Età > 50 anni per gran parte degli edifici
- Periodi di maggiore attività dopo eventi eccezionali (guerre, terremoti): costruzioni edificate in fretta, senza adeguati controlli, con sistemi e materiali scadenti

Edifici storici, tra cui:

- Scuole, Ospedali, Musei
- Strutture strategiche

PREVISIONE DEI TERREMOTI

Interv.	Tempo	Utilità	Commenti
Brevis-simo	pochi sec/min	early warning per impianti RIR, treni AV, ...	Possibile ma non utile in Italia
Breve	poche ore ÷ qualche mese	preparare le risorse per emergenza e l'evacuazione	Al momento non siamo in grado di fare ciò
Medio	qualche anno	individuare aree dove intervenire prioritariamente per ridurre il rischio	Esperimenti di aree di grandi tempi lunghi, non utilizzabili al momento per scopi di protezione
Lungo	decine di anni	ridurre vulnerabilità e esposizione, preparare le popolazioni	Le mappe di pericolosità ci danno questa informazione

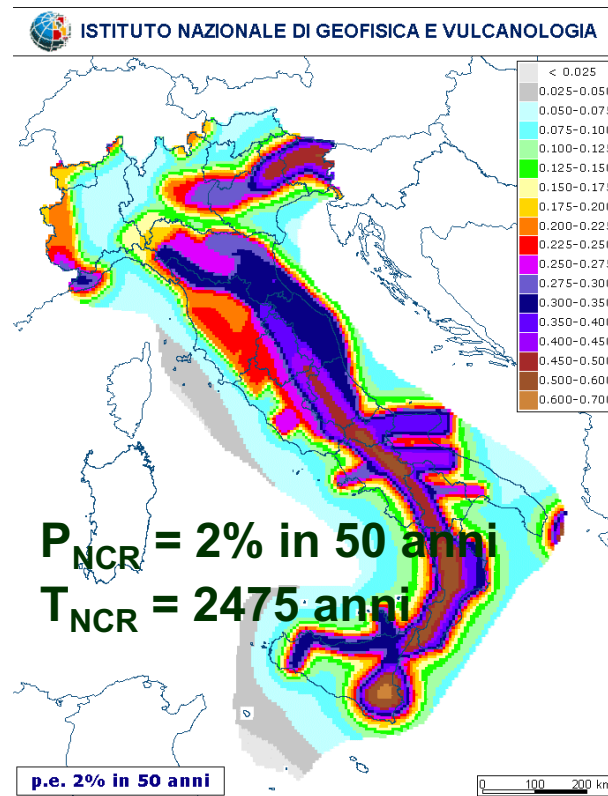
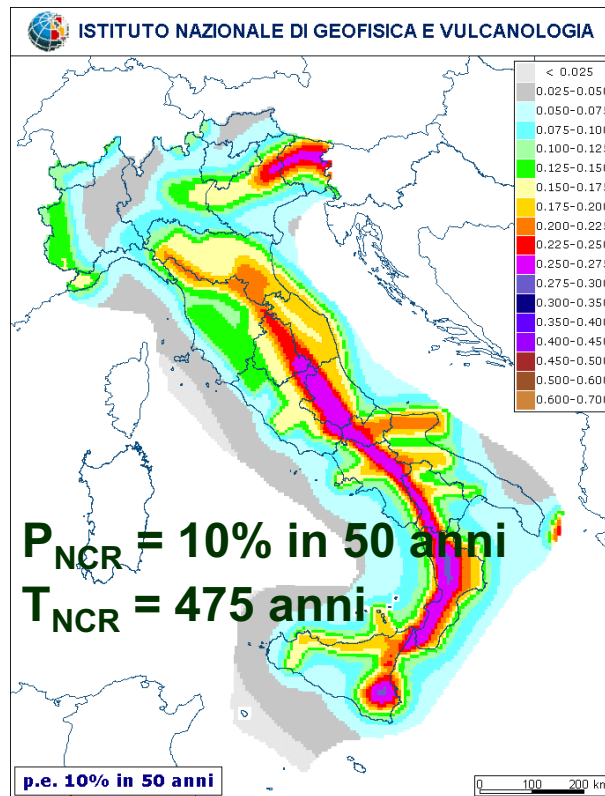
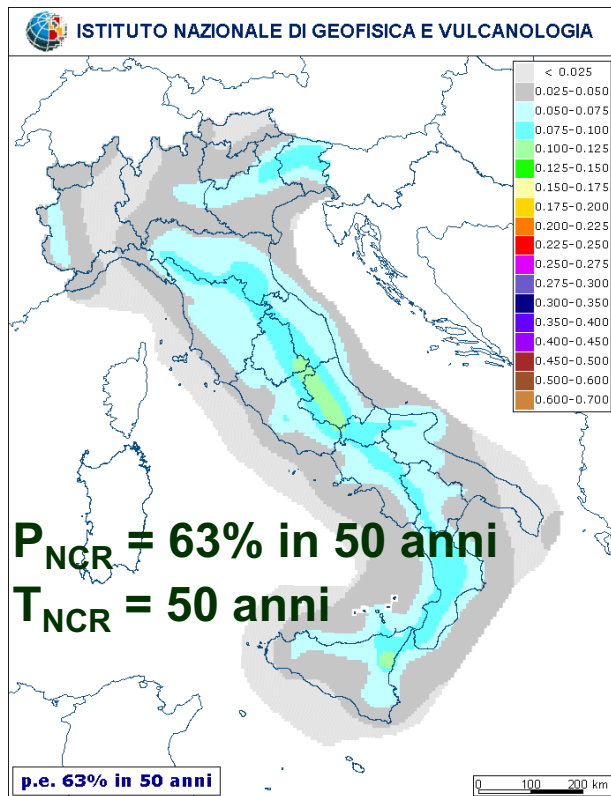


Per salvare vite umane ► costruire edifici con criteri antisismici

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

PGA: per ciascun sito in funzione di P_{NCR} in 50 anni

P_{NCR} : probabilità di superamento correlata al periodo di ritorno T_{NCR}



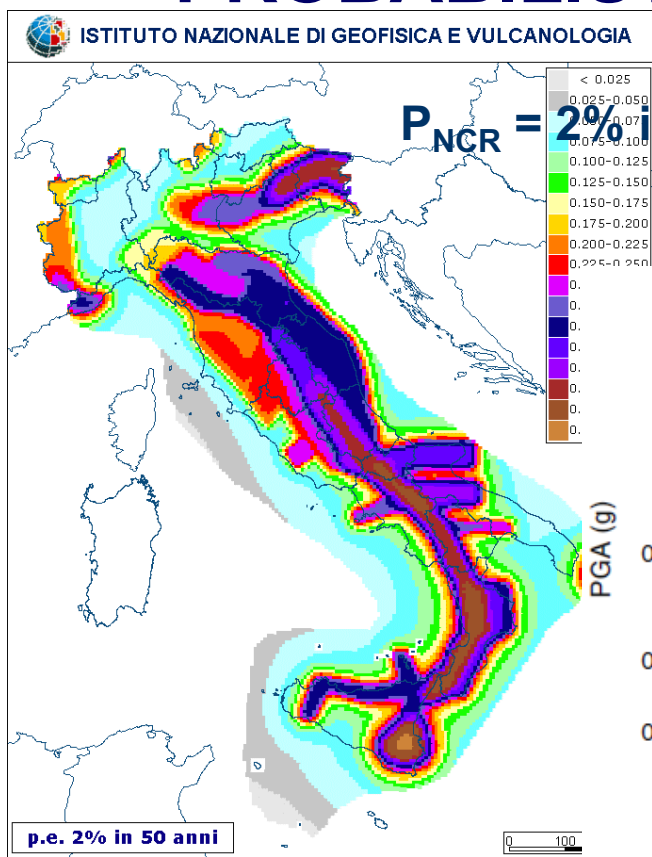
PSHA: insieme di mappe ciascuna per un $P_{NCR} \geq 2\%$ ($T_{NCR} \leq 2475$ anni)

Dovrebbe essere: Tempo di osservazione $T_o \gg T_{NCR}$ (ma: $T_o = 1000 \div 2000$ anni)

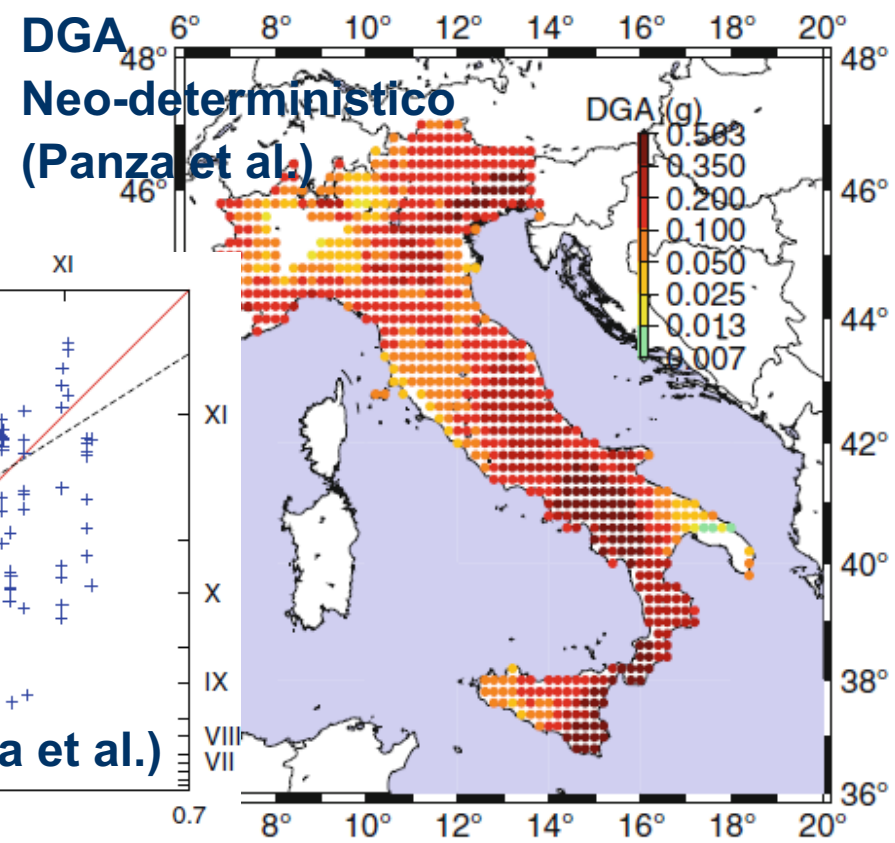
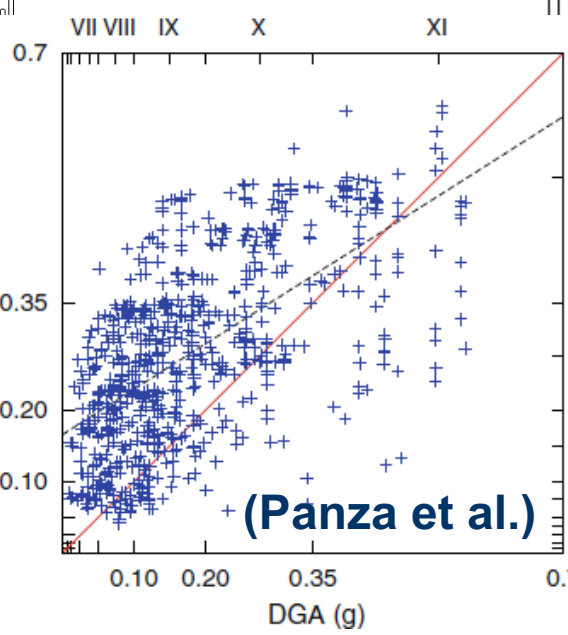
L'estrapolazione a tempi maggiori tiene conto delle incertezze

Valori per $P_{NCR} \geq 2\%$ ($T_{NCR} \leq 2475$ anni) sono sufficientemente cautelativi ??

PROBABILISTIC G.A. – DETERMINISTIC G.A.

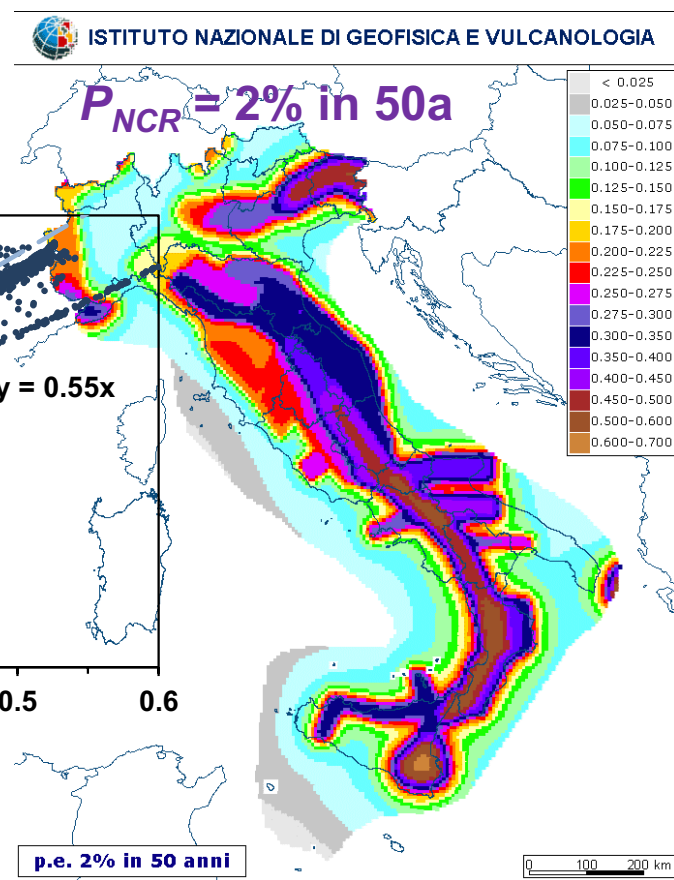
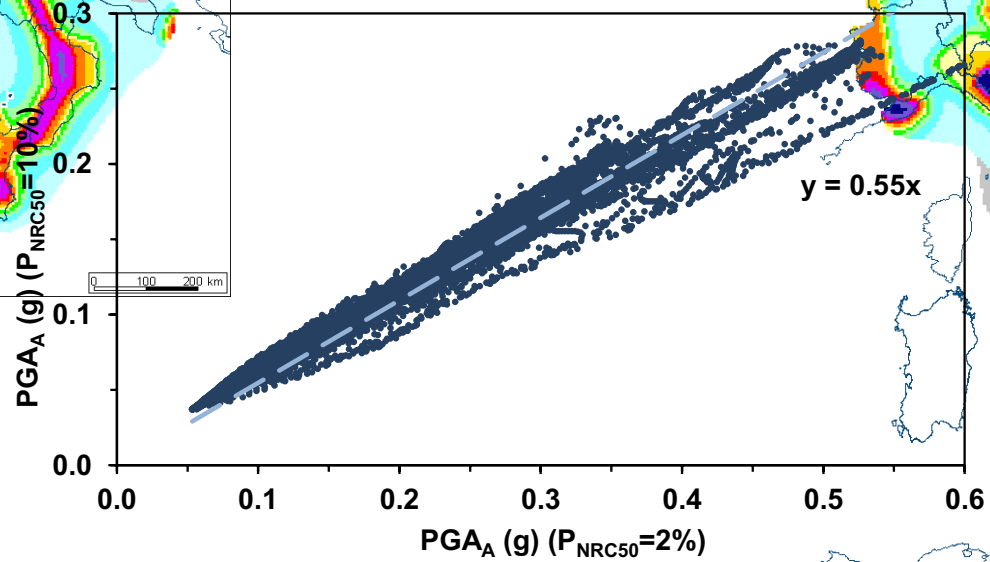
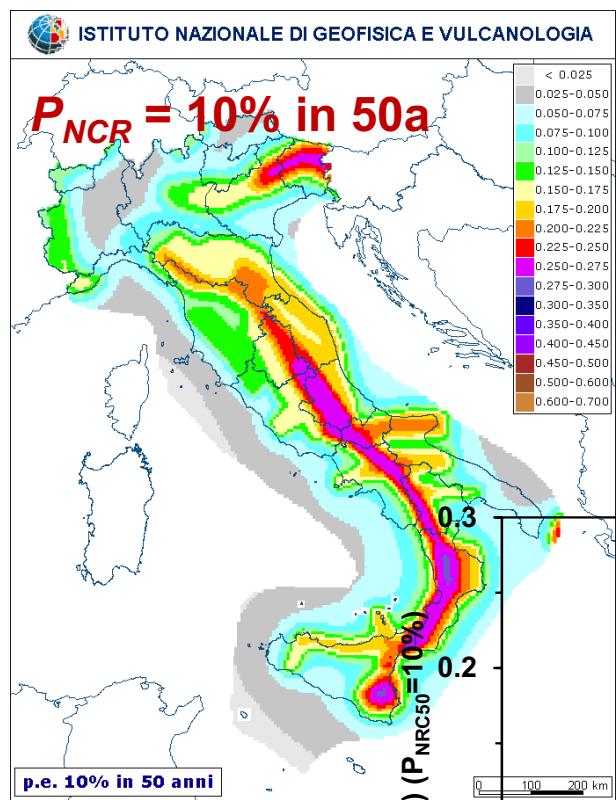


PGA
 Neo-deterministico
 (Panza et al.)



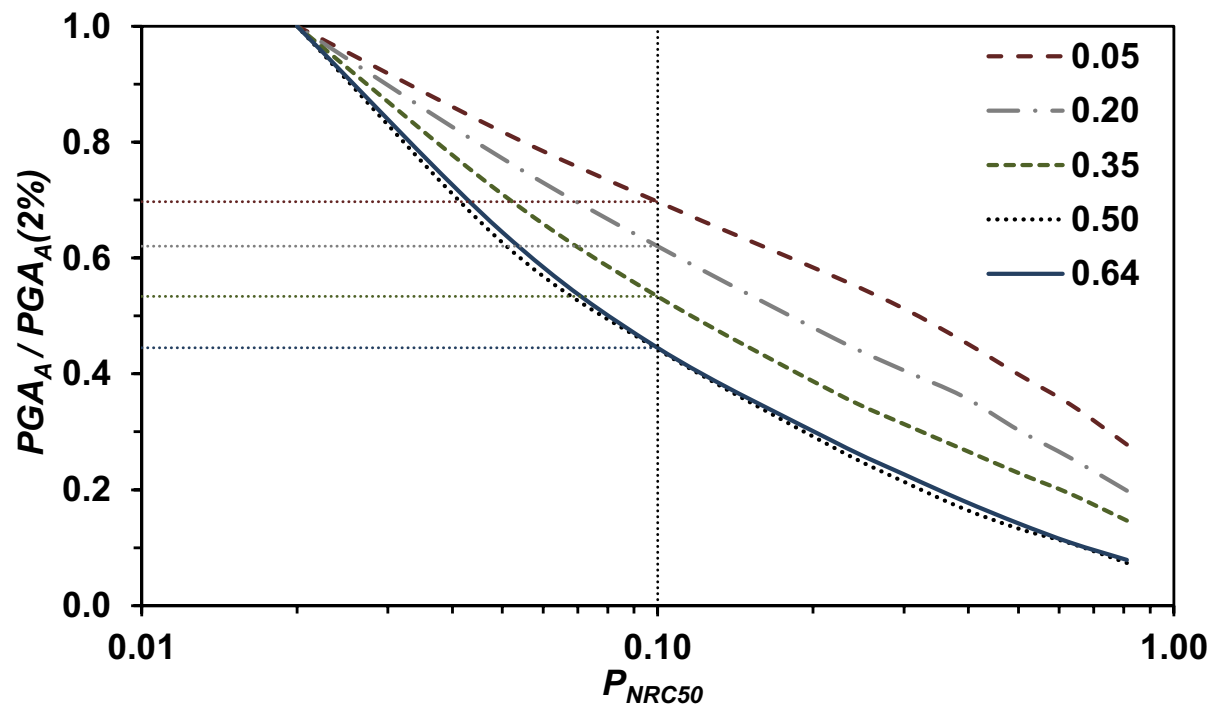
- **PGA > DGA quasi ovunque** ► PGA a vantaggio di sicurezza a volte con scarti notevoli
- **PGA < DGA in alcuni punti** a volte con scarti notevoli
- **Obiettivo** ► proseguire gli studi fino a ottenere stime molto prossime con i due approcci

TERREMOTO DI PROGETTO



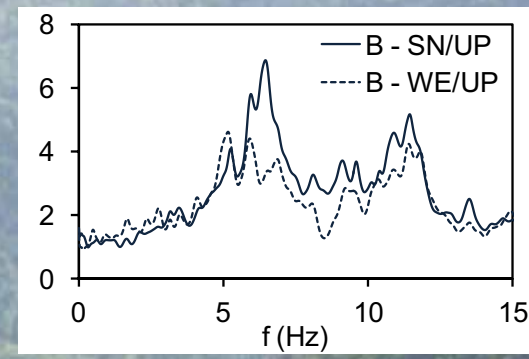
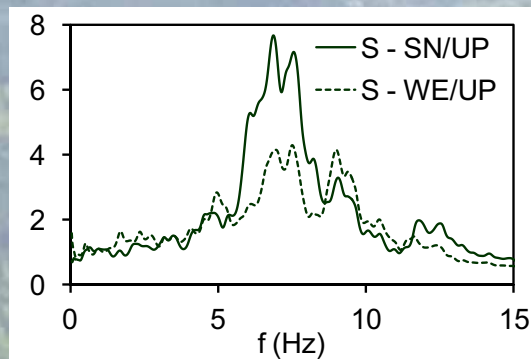
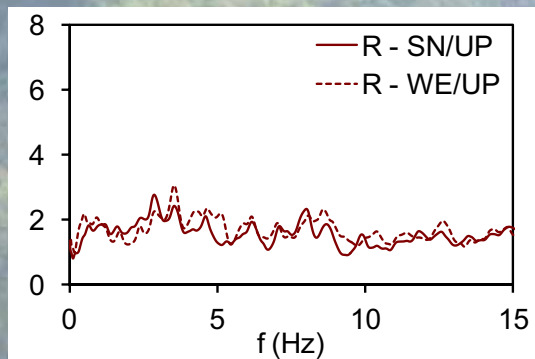
PROGETTARE A SLU CON $P_{NCR} = 10\%$ IN 50A

Edifici in grado di sopportare senza crollare un evento con probabilità del 10% di essere superato in 50 anni: riduzione maggiore per zone a alta sismicità



- **10% in 50a:** salvaguardare la vita fino a un'azione sismica << quella che potrebbe verificarsi
- **SLU:** progettare edifici che nella loro vita possono **sopportare al più un evento** pari a quello di progetto, in occasione del quale potrebbero danneggiarsi tanto da dovere essere demoliti
- **Eventi maggiori:** nessuna garanzia, crolli parziali o totali e perdita di vite

RISPOSTA SISMICA LOCALE



Ai 3 siti si hanno differenti risposte allo stesso evento sismico

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

MICROZONAZIONE SISMICA

MOPS ▶ Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (amplificative e non)

Pianificazione territoriale

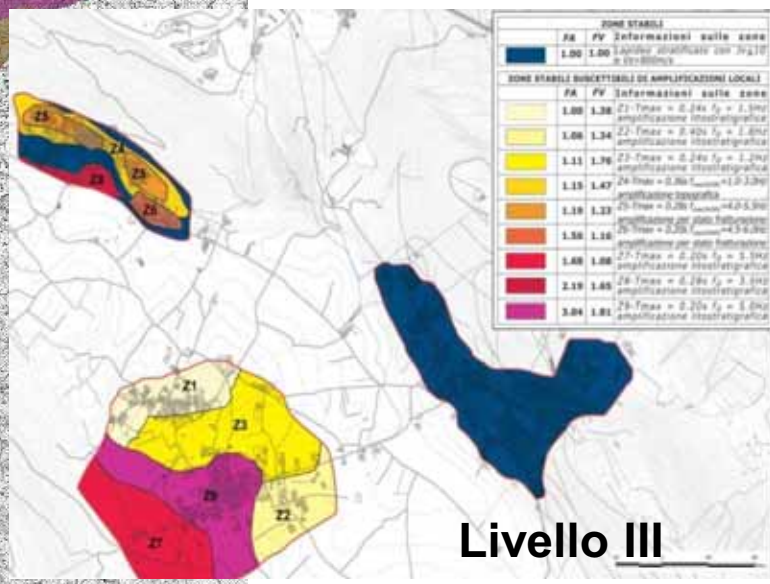
- Scelta siti per nuove strutture
- Definizione priorità di intervento su esistente

Livello I

- Zone instabili
- Zone stabili (pianeggianti, $V_{s30} > 800$ m/s)
- Zone stabili ma suscettibili di amplificazione

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

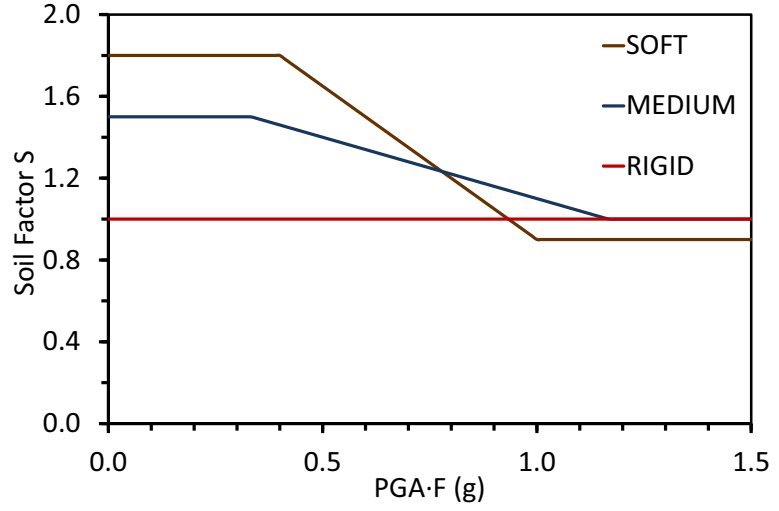
Livello III: coefficienti di amplificazione attraverso misure in sito e modellazione



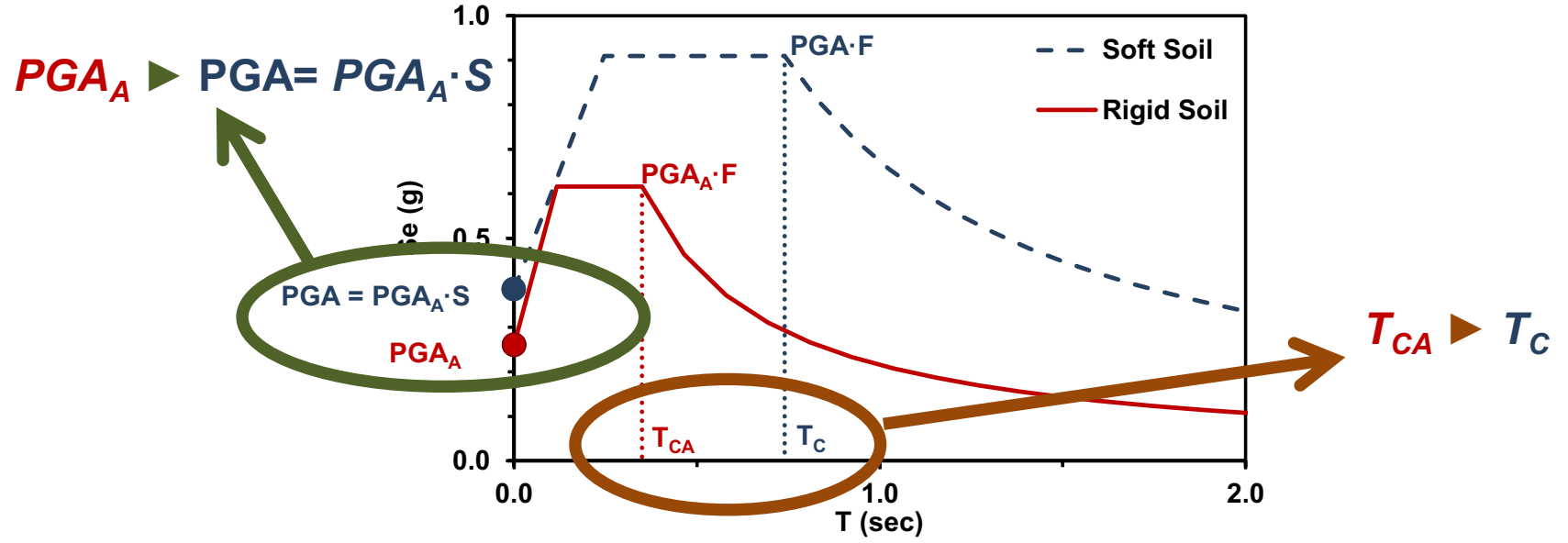
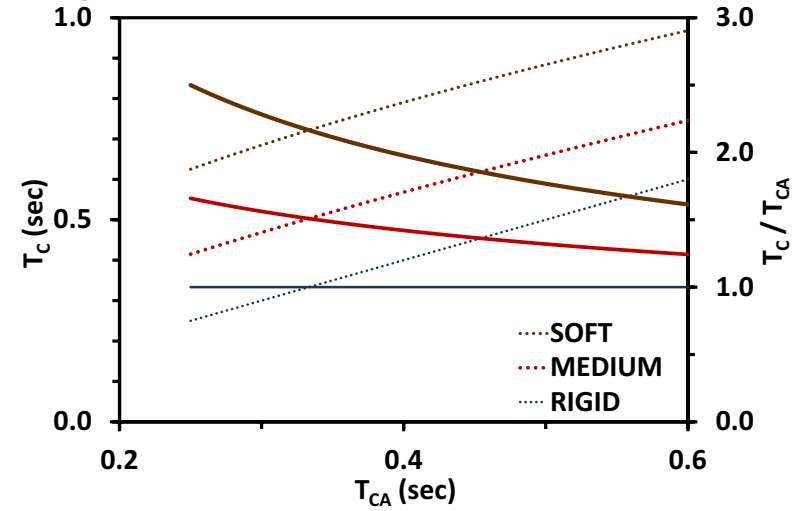
Livello III

EFFETTI LOCALI: S, T_C

Coeff. amplificazione stratigrafica S



T_{CA} fine tratto a acc. costante



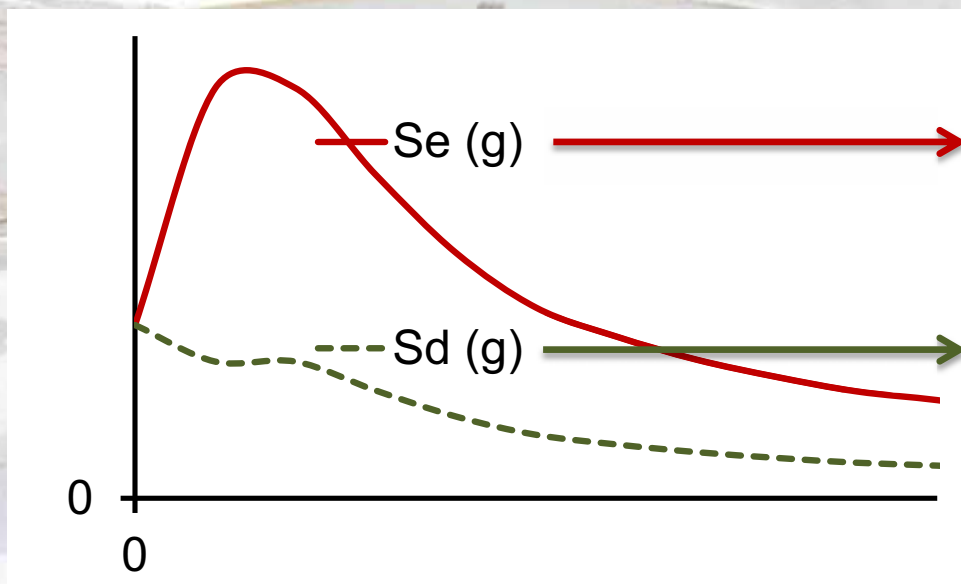
CRITERI DI PROG. ANTISISMICA TRADIZIONALE

Scopo: assicurare che in caso di evento sismico

- sia protetta la vita umana
- siano limitati i danni
- rimangano funzionanti le strutture essenziali (Prot.Civ.)

Sisma di media intensità: sopportarlo senza danni evidenti

Terremoto violento: non crollare, pur danneggiandosi anche irreparabilmente



Spettro elastico =
accelerazioni effettive

Spettro di progetto =
accelerazioni ridotte
attraverso il
Fattore di comportamento q

“**q**” dipende dalla capacità della struttura di dissipare energia durante l’evento:
danneggiamento controllato, che coinvolga molti elementi

CRITERI NON SOSTENIBILI !!

Principio economicamente non sostenibile !!

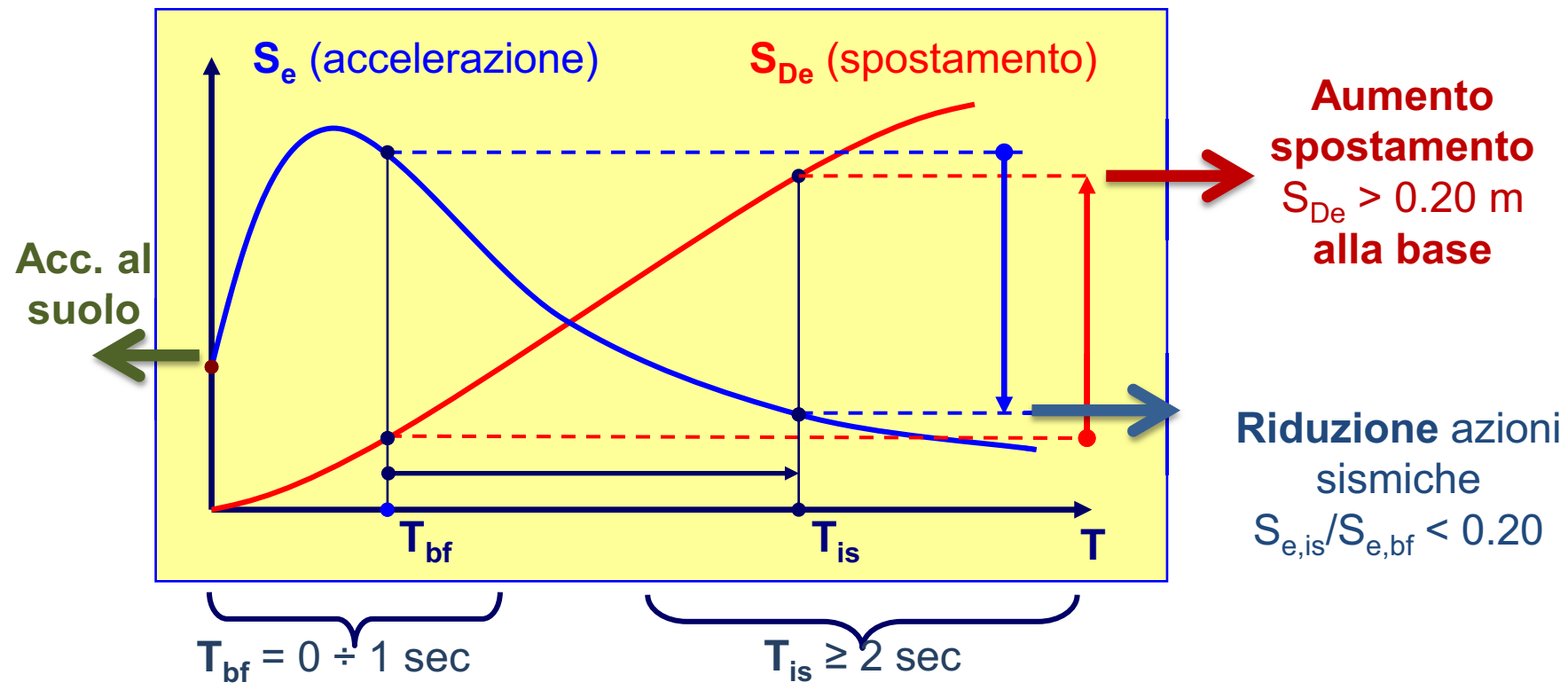
- **Costi di ricostruzione**
- **Strutture strategiche (strutture di protezione civile, ponti, ospedali, caserme, ecc.):** devono restare operative durante e dopo il sisma
- **Strutture a rischio di incidente rilevante (Impianti nucleari, chimici, contenenti materiali pericolosi):** devono rispettare stringenti requisiti di sicurezza

Soluzione = Tecnologie innovative ► si basano sulla drastica riduzione delle forze sismiche agenti sulla struttura, piuttosto che affidarsi alla sua resistenza

- **Isolamento sismico** ► incremento periodo fond. di vibrazione
- **Dissipazione di energia** ► incremento smorzamento

INTRODUZIONE ALL'ISOLAMENTO SISMICO

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

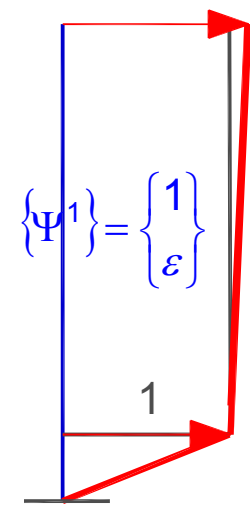
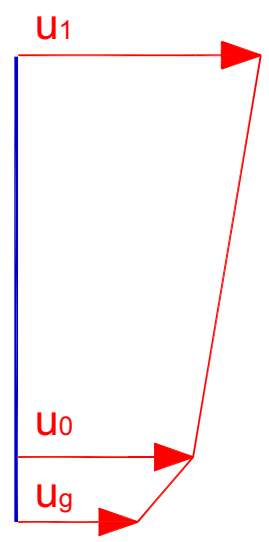
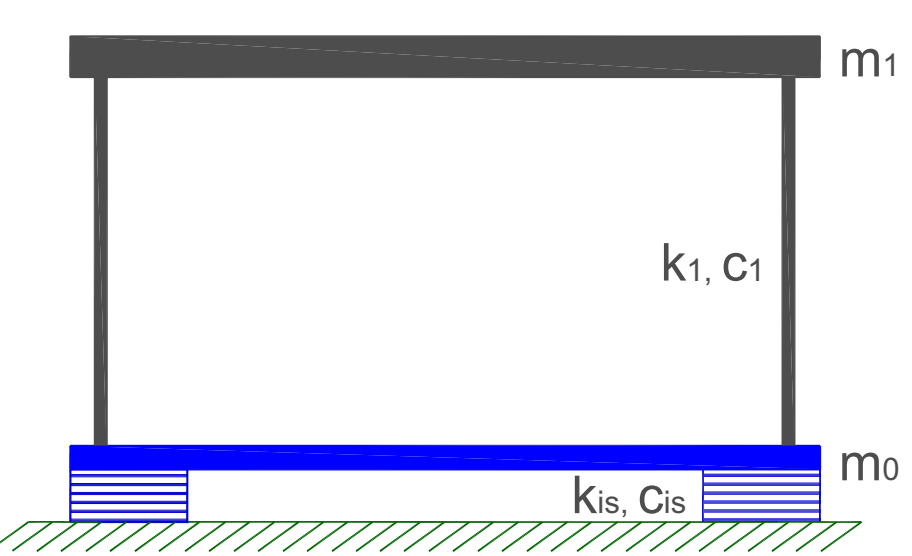


Disaccoppiamento tra moto della struttura e del terreno
È possibile progettare in campo elastico

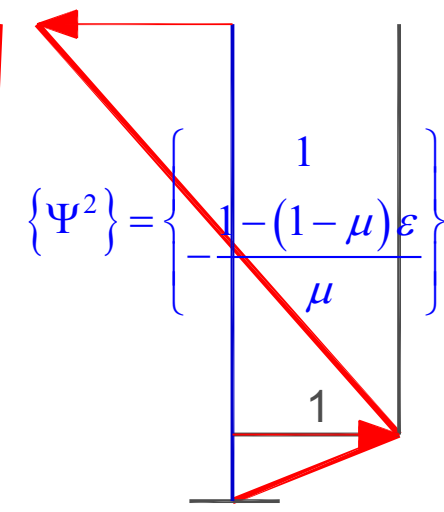
PORTALE SISMICAMENTE ISOLATO

$$m_s \ddot{u}_s + c_s (\dot{u}_s - \dot{u}_b) + k_s (u_s - u_b) = 0$$

$$m_b \ddot{u}_b + c_b (\dot{u}_b - \dot{u}_g) + k_b (u_b - u_g) - c_s (\dot{u}_s - \dot{u}_b) - k_s (u_s - u_b) = 0$$



$$\{\Psi^1\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ \varepsilon \end{Bmatrix}$$



$$\{\Psi^2\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 - (1 - \mu)\varepsilon \\ \mu \end{Bmatrix}$$

$$\ddot{p}_1 + 2\omega_1 \xi_1 \dot{p}_1 + \omega_1^2 p_1 = -\lambda_1 \ddot{u}_g$$

$$\ddot{p}_2 + 2\omega_2 \xi_2 \dot{p}_2 + \omega_2^2 p_2 = -\lambda_2 \ddot{u}_g$$

$$\mu = \frac{m_1}{(m_1 + m_0)}$$

$$\lambda_1 = 1 - \mu\varepsilon$$

$$\lambda_2 = \mu\varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_{is}^2}{\omega_{bf}^2} = \frac{T_{bf}^2}{T_{is}^2}$$

CONDITIO SINE QUA NON

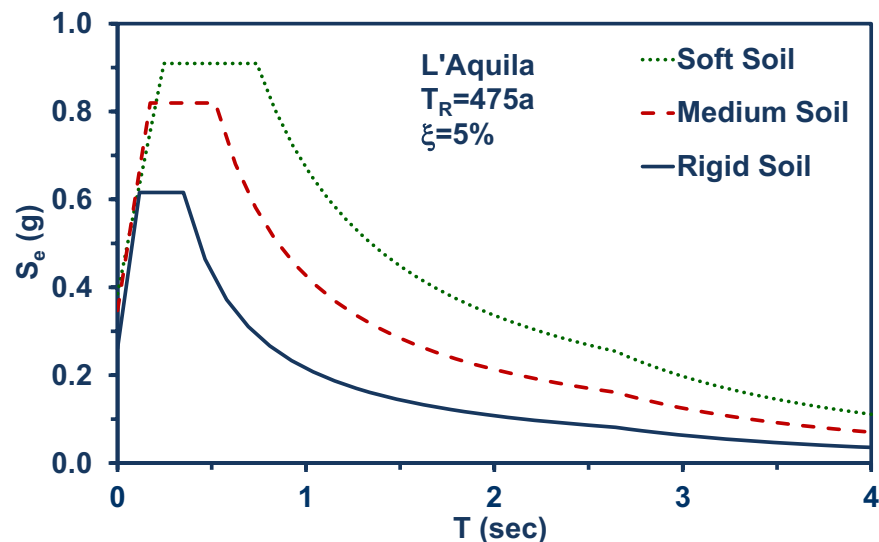
Sovrastruttura rigida: $T_{bf} \ll T_{is}$

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

DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO



**Isolatori elastomerici armati
ad alto smorzamento
(HDRB)**



**Isolatori a scorrimento a sup. piane
(SD)**



**Isolatori a scorrimento a sup. curve
(CSS)**



Isolatori a ricircolo di sfere

CARATTERISTICHE 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)

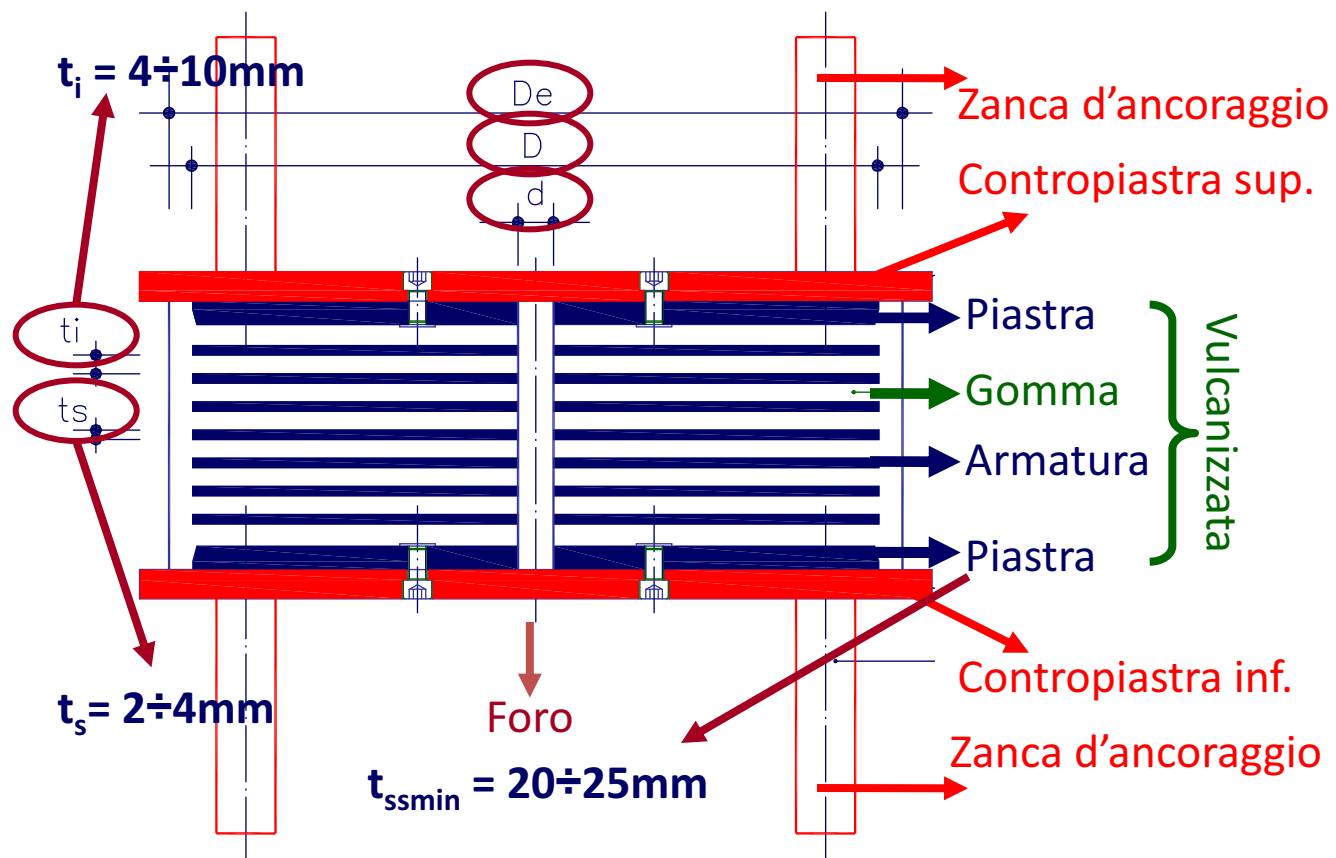
DISPOSITIVI AUSILIARI

Funzioni di: **dissipazione** di energia
 ricentraggio del sistema
 vincolo laterale sotto carichi orizzontali di servizio

ISOLATORI ELASTOMERICI ARMATI (HDRB)



HDRB: COMPONENTI E DIMENSIONI



$$A = \pi D_e^2 / 4$$

$$A' = \pi D^2 / 4$$

$$L = \pi \cdot D \cdot t_i$$

$$t_e = n_g \cdot t_i$$

Fattore di forma primario
(instabilità locale)

$$S_1 = A' / L = D / 4t_i$$

Fattore di forma secondario
(instabilità globale)

$$S_2 = D / t_e$$

Rigidezza equivalente

$$K_e = G_{din} A / t_e$$

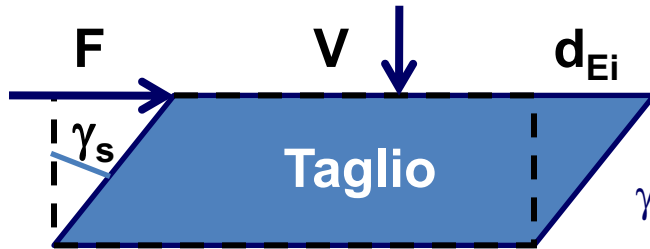
Rigidezza verticale

$$K_v = E_c A' / t_e$$

$$E_c = \left(1 / \left(6G_{din} S_1^2 \right) + 4 / (3E_b) \right)^{-1} \quad K_v / K_e$$

HDRB: COMPORTAMENTO E VERIFICHE

Deformazione angolare



$$\gamma_s = \frac{d_{Ei}}{t_i} \rightarrow \boxed{\gamma_s = \frac{d_E}{t_e} \leq \gamma_{s,max} = \frac{\gamma^*}{1.5} \leq 2}$$

γ^* = max in **prove di qualificazione** di efficacia aderenza elastomero-acciaio

$$\downarrow$$

$$d_E \leq 2 \cdot t_e$$



Area ridotta:

$$A_r = (\varphi - \text{sen}\varphi) \cdot D^2 / 4$$

$$\varphi = 2 \cdot \arccos(d_E / D)$$



$$\gamma_c = \frac{1.5 \cdot V}{S_1 G_{din} A_r}$$

$$\gamma_\alpha = \frac{3\alpha \cdot D^2 / 4}{2t_i t_e}$$

$$\alpha = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}$$



$$\boxed{\gamma_t = \gamma_c + \gamma_s + \gamma_\alpha \leq \gamma_{t,max} = 5}$$

Verifica di stabilità

$$V_{cr} = G A_r S_1 D / t_e$$

$$\boxed{V \leq V_{cr} / 2}$$

Tensione degli inserti in acciaio:

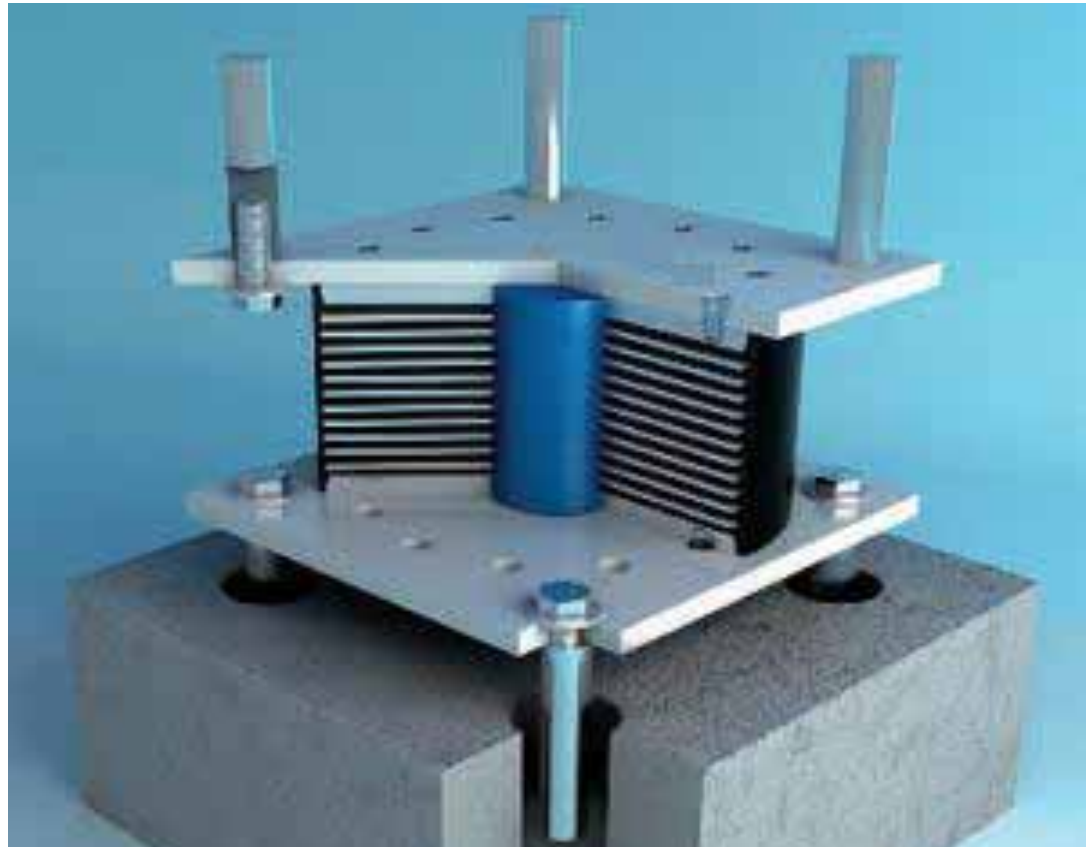
$$\boxed{\sigma_s = 1.3 \cdot V (t_1 + t_2) / (A_r \cdot t_s) \leq f_{yk}}$$

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

- **Coefficiente di attrito dinamico ξ**

- ✓ $\xi = 6 \div 12\%$ ► si riduce a $1 \div 2\%$ mediante lubrificazione

- ✓ ξ è funzione di:

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

la sua valutazione è molto incerta e viene trascurato, si assume $\xi=0$, ossia spostamenti orizzontali liberi

- **Carico portato:** indipendente dallo spostamento

- **Non hanno capacità ricentrante** ► sono necessari:

- ✓ **dispositivi ausiliari**
- ✓ **isolatori elastomerici**

ISOL. A SCORRIMENTO CON SUP. CURVE (CSS)

Incorporano senza ausilio di altri elementi:

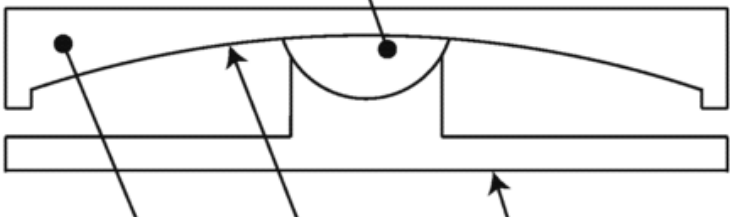
- Funzione ricentrante: data dalla superficie curva
- Funzione dissipativa: superficie non lubrificata, attrito non ridotto

Deriva da **Friction Pendulum System (FPS)**

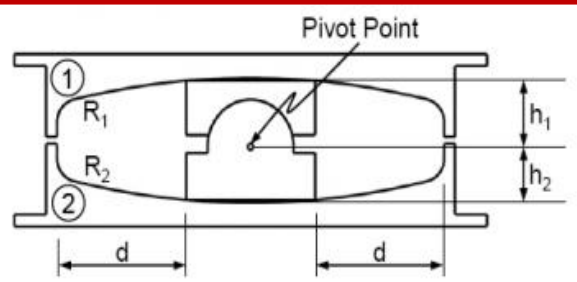
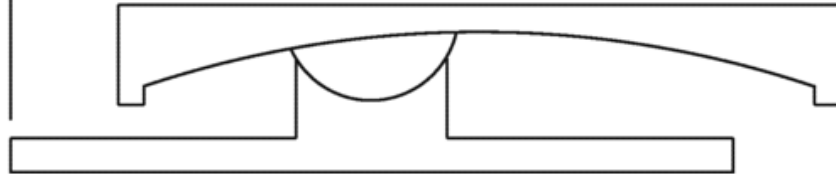
sviluppato in USA, utilizzando elementi a scorrimento rivestiti da speciale tessuto

CSS: SINGOLO, DOPPIO E TRIPLO

Singolo pendolo — Articulated slider

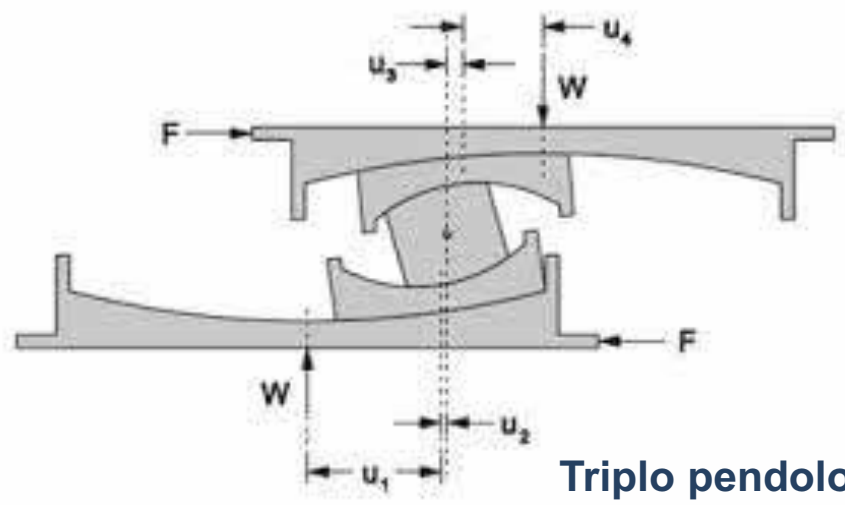
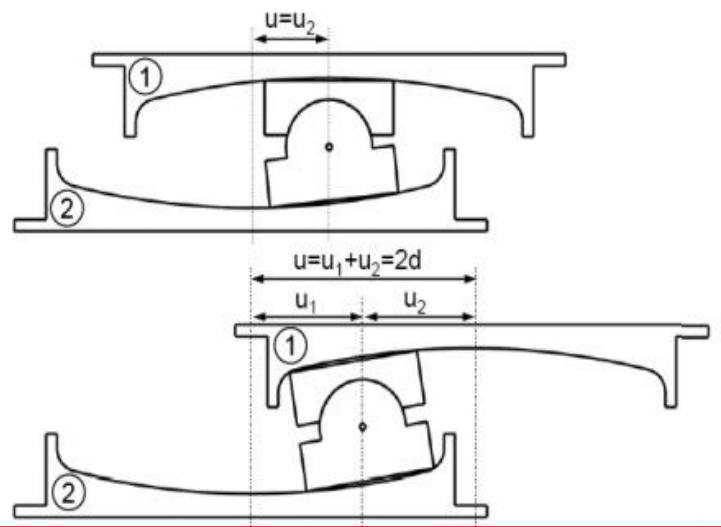


Lateral displacement



Doppio pendolo

Con la stessa azione laterale si può avere uno spostamento maggiore. Le superfici potrebbero avere coefficiente di attrito diverso:



Triplo pendolo

CSS: RIGIDEZZA, PERIODO, SMORZAMENTO

Eq. pendolo in movimento: equilibrio tra F inerzia e F richiamo del peso:

$$m \cdot R \ddot{\vartheta} + mg \cdot \vartheta = 0$$

$$m \cdot \ddot{\vartheta} + \left(\frac{mg}{R} \right) \vartheta = 0$$

Rigidezza:

$$k = \frac{mg}{R}$$

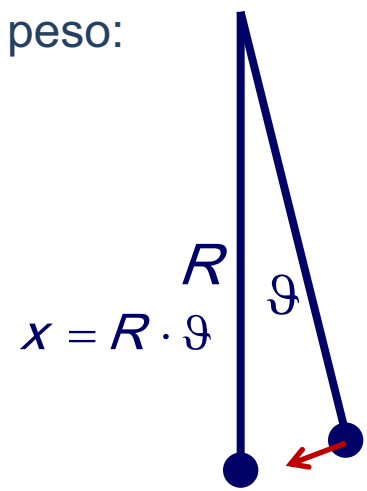
Pulsazione

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{g}{R}}$$

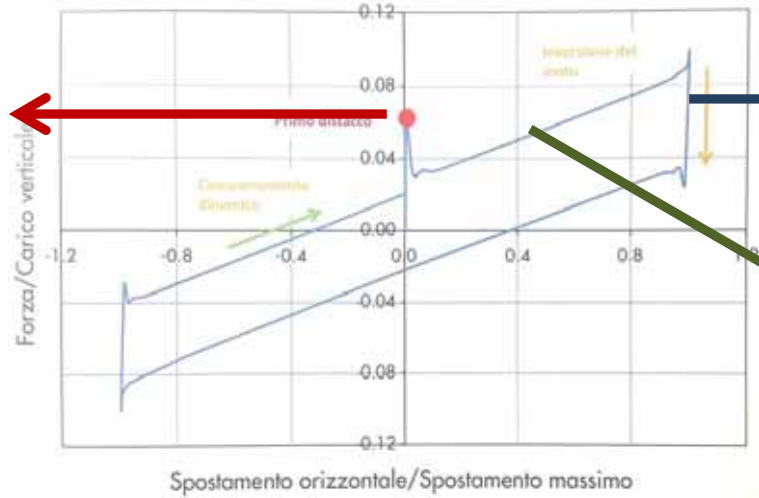
Periodo

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

**Indipendenti
dalla massa**



μ_{st0} = attrito di primo distacco



μ_{st1} = attrito al cambio di verso del moto

$\mu_{dyn} = \mu$ = attrito dinamico

$$(\mu_{din} < \mu_{st1} < \mu_{st0})$$

CSS: MODELLO LINEARE EQUIVALENTE

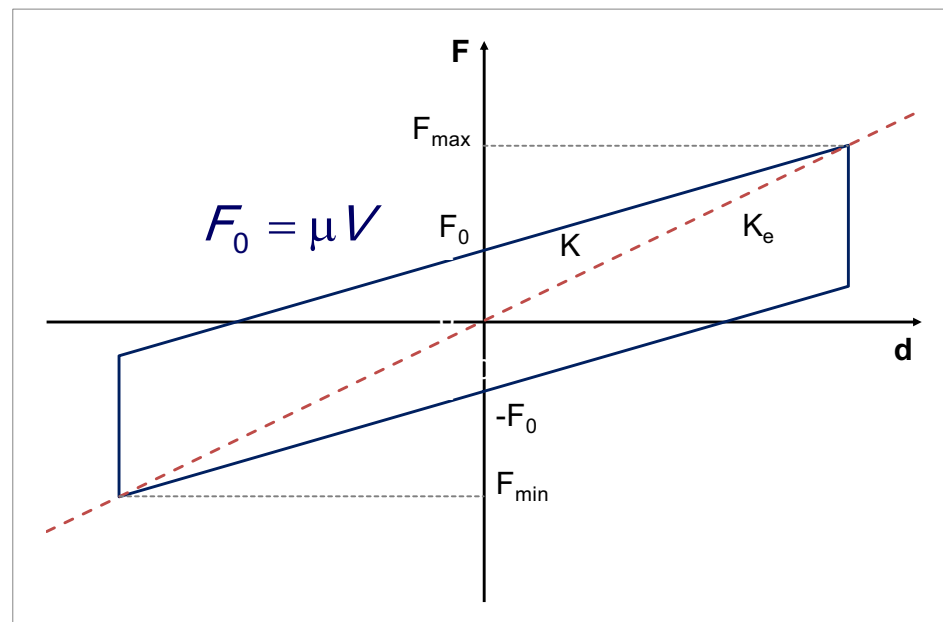
$$K_e = \frac{F_{\max}}{d} = \frac{V}{R} + \frac{\mu V}{d} = V \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{d} \right)$$

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

$$\xi = \frac{2}{\pi} \frac{\mu}{\left(\frac{d}{\mu R} + 1 \right)}$$

Smorzamento legato a

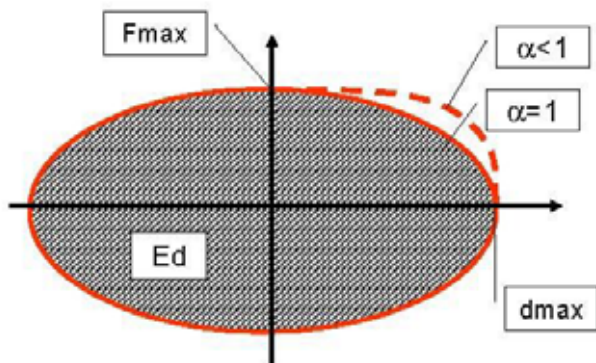
- attrito dinamico
- raggio R (e quindi al periodo T)



- L'attrito non deve essere eccessivo, altrimenti il sistema potrebbe non ricentrarsi ► $\xi \leq 20\%$
- **Attrito statico > attrito dinamico** ► garantisce una rigidezza nei confronti dei carichi statici e sismi di piccola entità

DISPOSITIVI AUSILIARI A COMP. VISCOSO

- **trasmettono soltanto azioni orizzontali**
- **hanno rigidezza trascurabile rispetto alle azioni verticali**







Forza proporzionale a v^α , non contribuiscono alla rigidezza del sistema

La forma del ciclo è ellittica per $\alpha=1$

Il valore massimo della forza viene sempre raggiunto in corrispondenza dello spostamento nullo

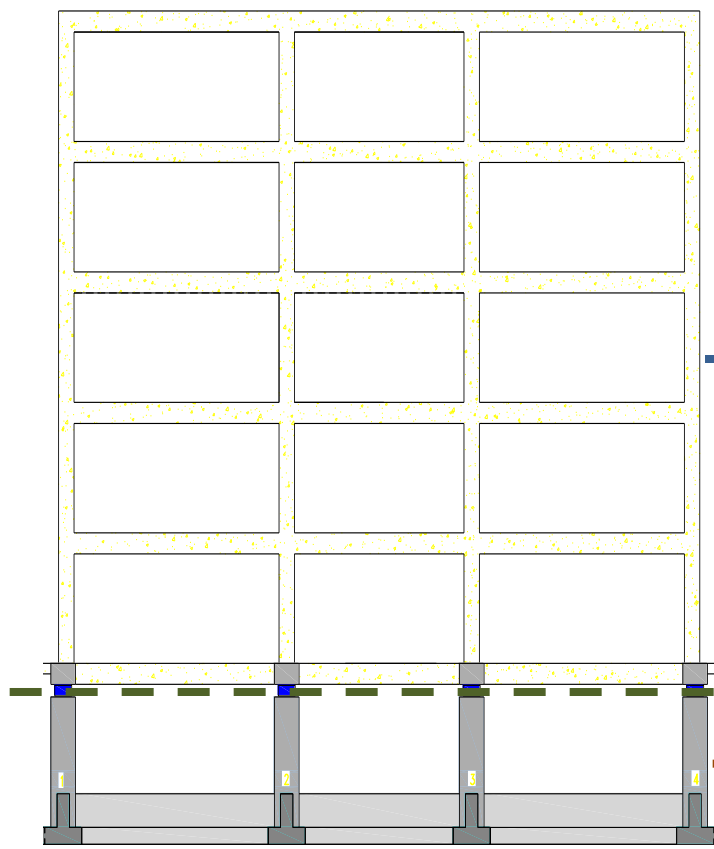
SISTEMI DI ISOLAMENTO SISMICO

HDRB	SD	AUX	CSS
			

HDRB + SD ► Spostamenti differenziali verticali

- HDRB con elevata K_v
- HDRB solo come dispositivi ausiliari, senza carichi verticali

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 le fondazioni);

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

Sovrastruttura e Sottostruttura si devono mantenere sostanzialmente in campo elastico ► la struttura può essere progettata con riferimento ai particolari costruttivi non antisismici (con deroga sui dettagli costruttivi per strutture in c.a.)

Sistema d'isolamento deve garantire un'affidabilità superiore

MODELLAZIONE

Coerentemente con i requisiti generali:

Sovrastruttura e Sottostruttura:

modellate come sistemi a comportamento **elastico lineare**

Sistema di isolamento:

può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche:

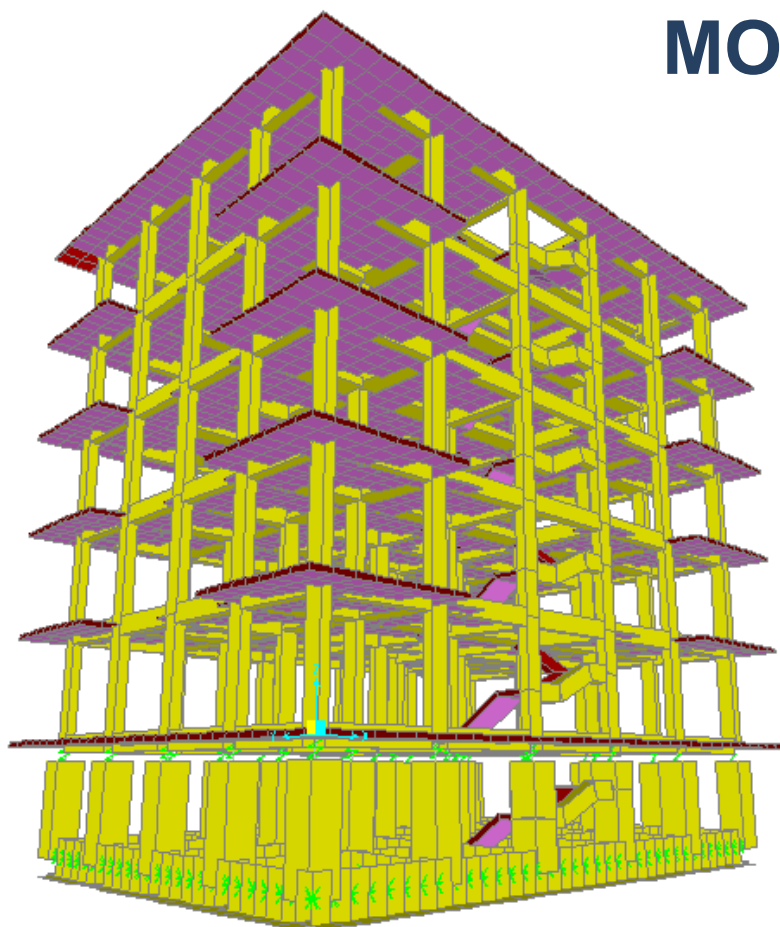
- con comportamento **visco-elastico lineare** o
- con legame costitutivo **non lineare**

Deformabilità verticale degli isolatori

- deve essere messa in conto se $K_v / K_{esi} < 800$

K_v = rigidezza verticale del sistema di isolamento

K_{esi} = rigidezza equivalente orizzontale del sistema di isolamento



PROGETTO PRELIMINARE

Modello: 3 DOF (2 traslazioni + 1 rotazione)

- Corpo rigido di massa M e molle orizzontali

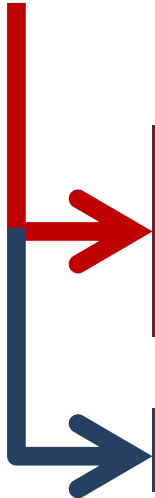
Obiettivo: primi 2 modi trasl nelle 2 dir princ

- HRDB + SD: disposti in modo che $G_{K_{esi}} \approx G_M$
- CSS: sempre $G_{K_{esi}} \approx G_M$



Scelta periodo di isol. T_{is} (da spettro elastico)

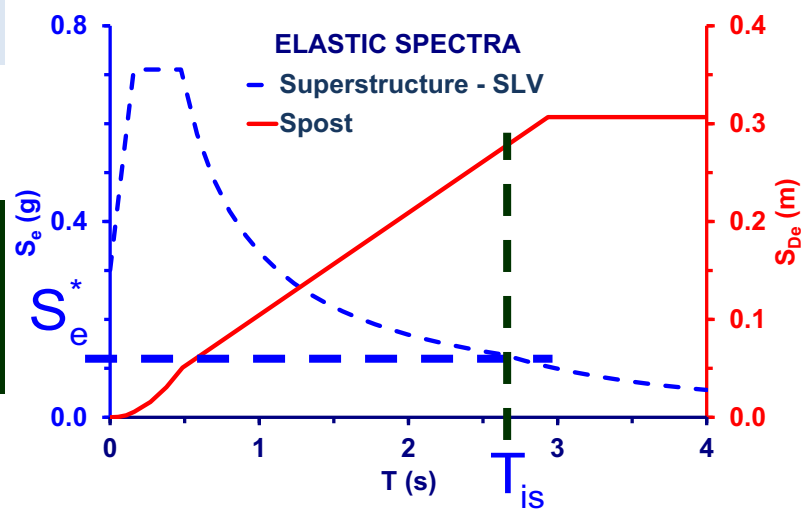
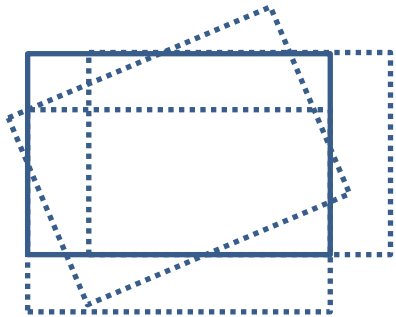
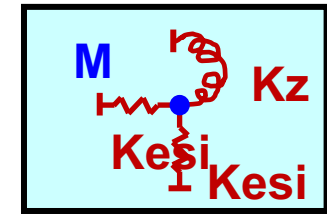
- Disaccoppiamento: $T_{is} \gg T_{bf}$
- Spostamento < limite accettabile



HDRB + SD:

- Calcolo rigidezza globale K_{esi}
- Scelta num. e posizione HDRB

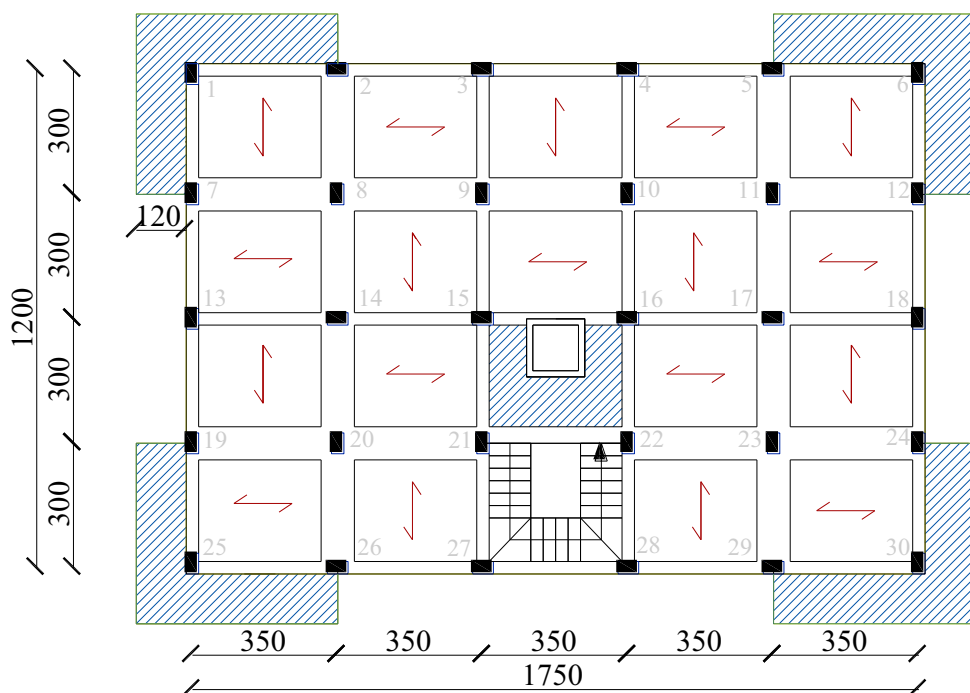
CSS: calcolo raggio curvatura R



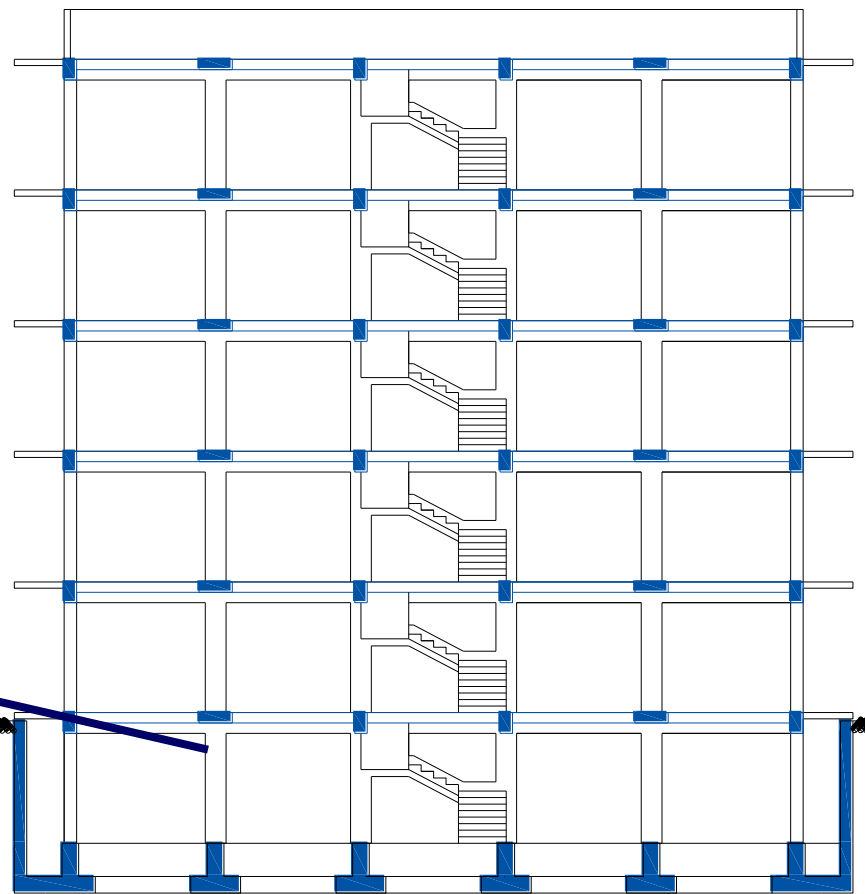
$$T_{is} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_{esi}}} \quad K_e = \frac{K_{esi}}{n}$$

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

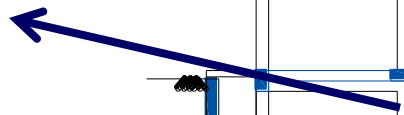
CASO DI STUDIO



5+1 livelli



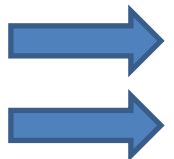
Isolatori in sommità ai pilastri del piano interrato



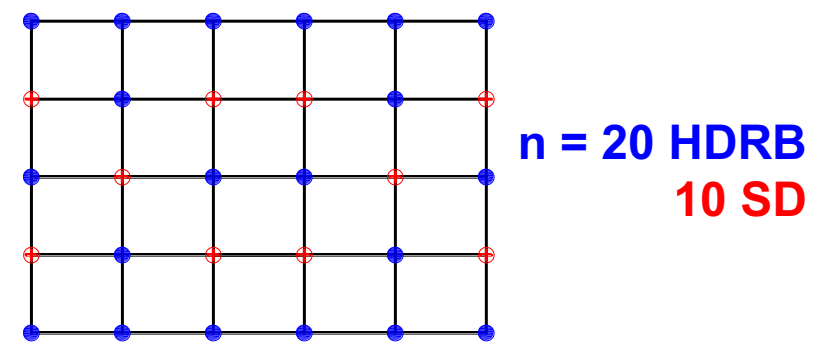
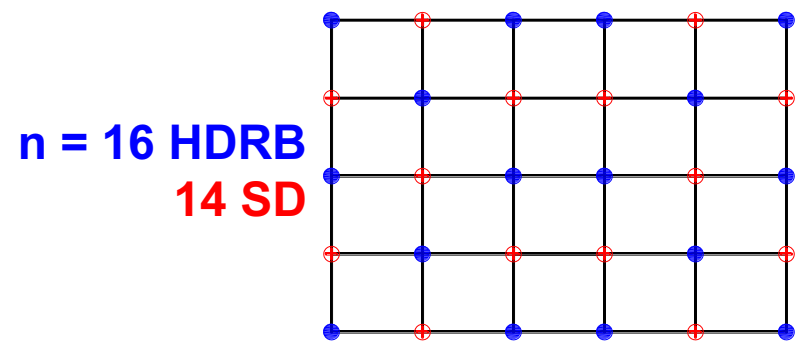
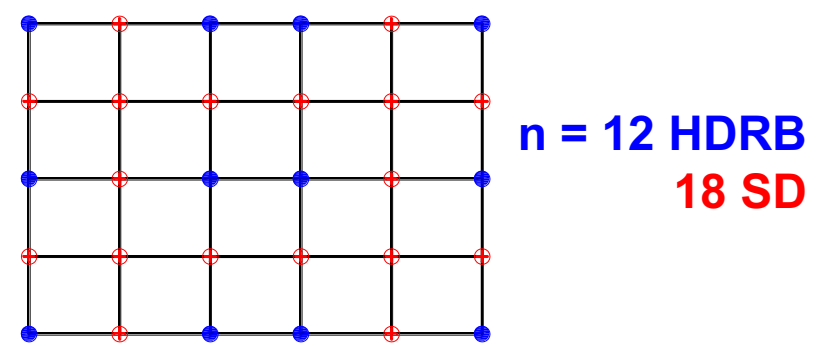
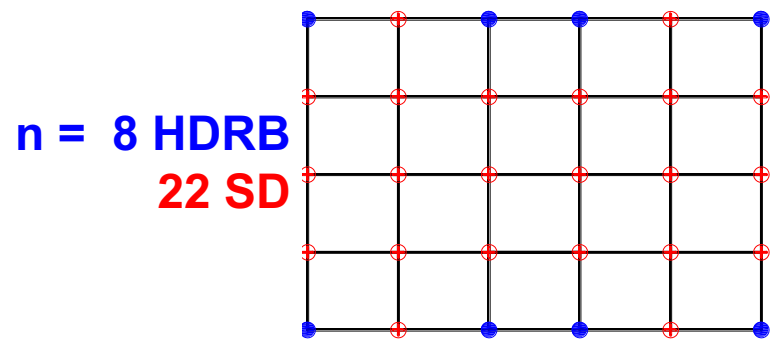
HDRB + SD: POSSIBILI DISPOSIZIONI

- Isolatori (HDRB + SD) in corrispondenza dei pilastri
- Un sol tipo di HDRB
- Minimizzare effetti torsionali

$G_m = G_{Kesi}$
HDBR



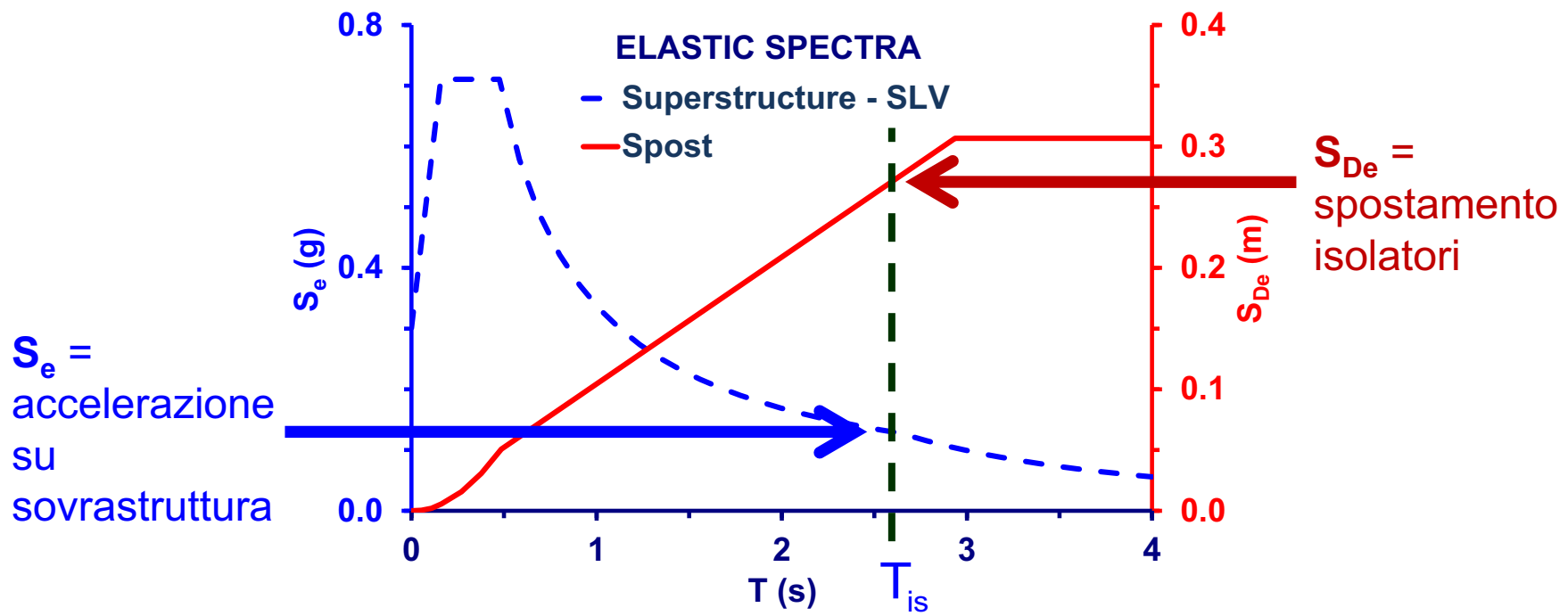
Ottimizzare il comportamento dinamico
 Disposti perimetralmente e in numero $n \geq 4$



Per ciascuna disposizione: $K_e = K_{esi} / n$

SPOSTAMENTI SISMA E_x e E_y

Dagli spettri, in corrispondenza di T_{is} , si ricavano:



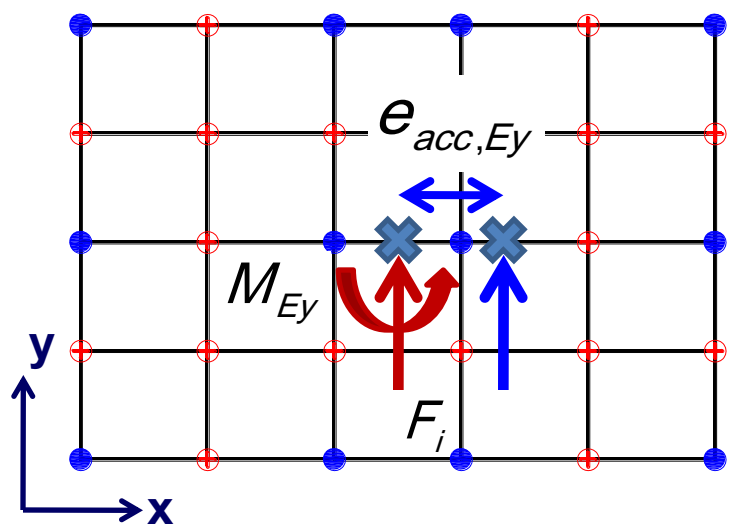
Se $G_m = G_{Kesi}$ possiamo assumere per tutti gli isolatori:

E_x (sisma x)	$d_{0Ex,x} = S_{De}$	$d_{0Ex,y} = 0$
E_y (sisma y)	$d_{0Ey,x} = 0$	$d_{0Ey,y} = S_{De}$

A vantaggio di sicurezza potremmo assumere:

$$d_{0Ex,y} = 0.1 * S_{De} \quad d_{0Ey,x} = 0.1 * S_{De}$$

SPOSTAMENTI ECCENTRICITÀ ACCIDENTALE



Forza d'inerzia

$$F_i = m_{tot} \cdot S_e (T_{is})$$

Eccentricità accidentale

$$e_{Ey,acc} = 0.05 \cdot L_x$$

$$e_{Ex,acc} = 0.05 \cdot L_y$$

Coppia torcente

$$M_{Ey} = F_i \cdot e_{Ey,acc}$$

$$M_{Ex} = F_i \cdot e_{Ex,acc}$$

Rigidezza torsionale

$$K_z = \sum_i K_{ei} (x_{0i}^2 + y_{0i}^2) = K_e \cdot \sum_i (x_{0i}^2 + y_{0i}^2)$$

Componente spostamento lungo x

$$d_{Eyacc,x} = M_{Ey} / K_z \cdot y$$

$$d_{Exacc,x} = M_{Ex} / K_z \cdot y$$

Componente spostamento lungo y

$$d_{Eyacc,y} = M_{Ey} / K_z \cdot x$$

$$d_{Exacc,y} = M_{Ex} / K_z \cdot x$$

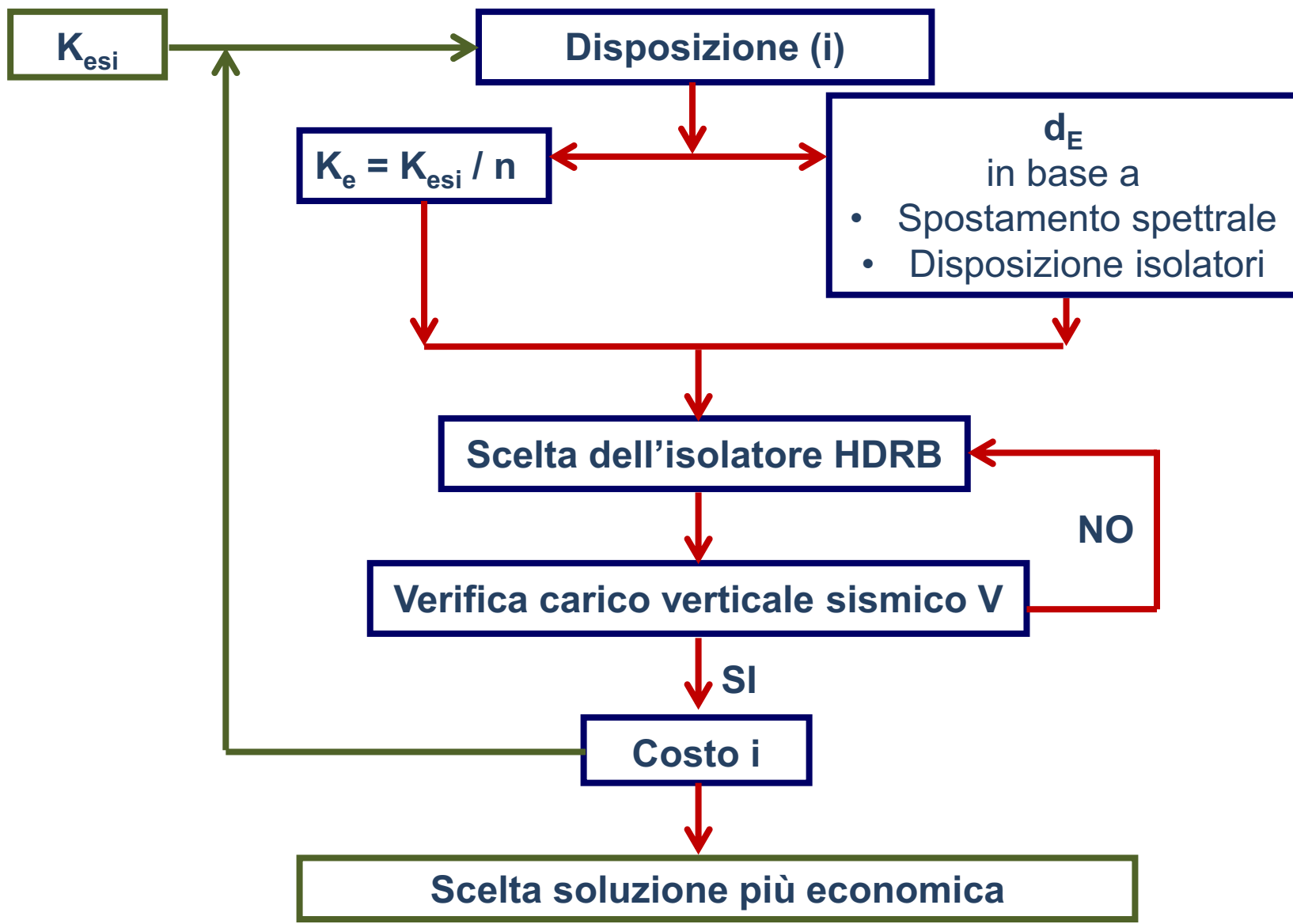
COMBINAZIONI SPOSTAMENTI

	E _x		E _y	
Spettro	$d_{0E_x,x}$	$d_{0E_x,y}$	$d_{0E_y,x}$	$d_{0E_y,y}$
Ecc. Acc.	$d_{E_xacc,x}$	$d_{E_xacc,y}$	$d_{E_yacc,x}$	$d_{E_yacc,y}$
Totali	$d_{E_x,x}$	$d_{E_x,y}$	$d_{E_y,x}$	$d_{E_y,y}$

Comb. 1	$d_{E_x,x}$	+	$0.3*d_{E_y,x}$	= $d_{E1,x}$	$d_{E1} = \sqrt{d_{E1,x}^2 + d_{E1,y}^2}$	
$E_x + 0.3E_y$			$d_{E_x,y}$	+		$0.3*d_{E_y,y}$
Comb. 2	$0.3*d_{E_x,x}$	+	$d_{E_y,x}$	= $d_{E2,x}$	$d_{E2} = \sqrt{d_{E2,x}^2 + d_{E2,y}^2}$	
$0.3E_x + E_y$			$0.3*d_{E_x,y}$	+		$d_{E_y,y}$

Spostamento di calcolo	$d_E = \max(d_{E1}, d_{E2})$
------------------------	------------------------------

SCelta/PROGETTO ISOLATORI ELASTOMERICI



MOVIMENTI INDESIDERATI E RICENTRAGGIO

Evitare o limitare azioni di trazione negli isolatori

- **Carico verticale $V \geq 0$**
 - ✓ a tal fine si può agire sugli interassi della maglia strutturale
- Se dall'analisi $V < 0$:
 - ✓ **isolatori elastomerici**: tensione di trazione $< \min(2G, 1.0 \text{ MPa})$
 - ✓ **isolatori di altro tipo**: prove sperimentali a trazione oppure opportuni dispositivi in grado di assorbire integralmente la trazione

Minimizzare le differenze di comportamento degli isolatori

- tensioni di compressione per quanto possibile uniformi

Ricentraggio dei dispositivi

- **Vanno previsti adeguati sistemi di contrasto** per eliminare spostamenti residui incompatibili con la funzionalità dell'edificio e/o con il corretto comportamento del sistema d'isolamento

ISPEZIONABILITÀ – RIGIDEZZA

L'alloggiamento dei dispositivi d'isolamento ed il loro collegamento alla struttura devono essere concepiti in modo da:

- assicurarne l'accesso
- rendere i dispositivi stessi ispezionabili e sostituibili

Strutture del piano di posa degli isolatori e del piano su cui appoggia la sovrastruttura devono avere un comportamento rigido nel piano suddetto:

- diaframma rigido, sia sopra che sotto il sistema di isolamento
- elementi verticali con spostamento orizzontale in condizioni sismiche $< 1/20$ dello spostamento relativo del SI

PROTEZIONE DAL FUOCO

Ove necessario, gli isolatori dovranno essere protetti da possibili effetti derivanti da attacchi del fuoco, chimici o biologici

**San Francisco Emergency
Management Center (M=8.3)**

In alternativa, occorre prevedere dispositivi che, in caso di distruzione degli isolatori, siano idonei a trasferire il carico verticale alla sottostruttura

GIUNTI



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 il rigoroso 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 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

PROVE DI RILASCIO



NUOVA SCUOLA JOVINE, S.GIULIANO DI PUGLIA



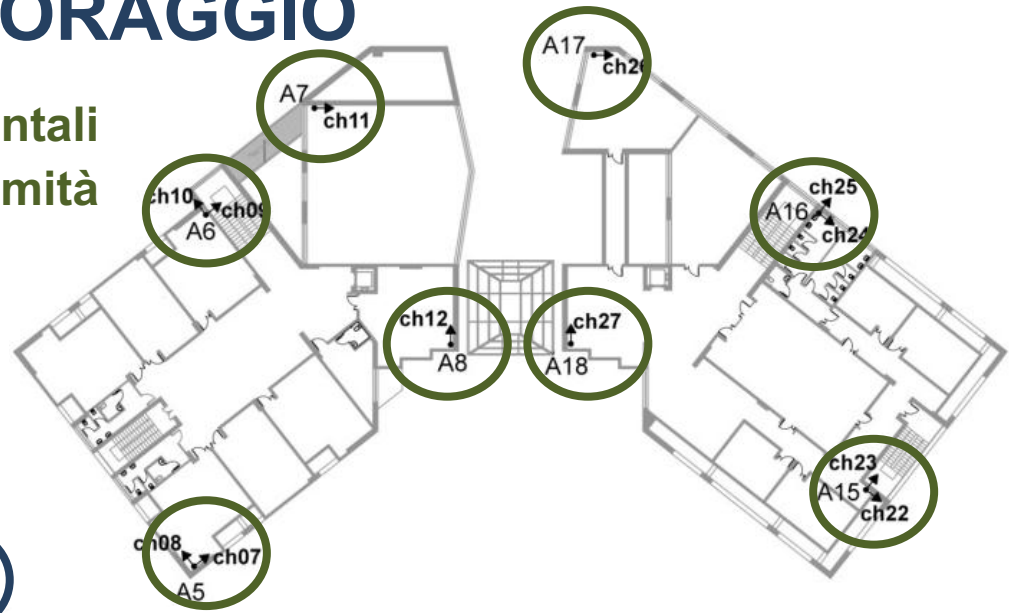
Isolamento sismico:
P. Clemente (coord.), M. Dolce, A. Parducci, G. Buffarini
Devices: gift by ALGA, FIP Industriale, TIS
Certified as safe by A. Martelli in 2008

61 HDRB + 12 SD

MONITORAGGIO

≥ 3 accelerometri orizzontali
in sommità

≥ 3 accelerometri orizzontali
sull'impalcato «0»



Almeno una terna in fondazione

Input in superficie

- almeno una terna accelerometrica in superficie in prossimità dell'edificio

Input al bedrock

- almeno una terna accelerometrica in profondità in prossimità dell'edificio

Comportamento degli isolatori

- sensori di spostamento relativo

EDIFICI ESISTENTI

Concetti strutturali sviluppati per le nuove costruzioni

- **non possono sempre essere applicati agli edifici esistenti**

Edifici vecchi progettati:

- con riferimento a standard di sicurezza meno severi di quelli attuali o
- senza tener conto delle azioni sismiche

Adeguamento sismico difficile o impossibile per ragioni:

- **Tecnologiche**
- **Economiche**

Tra le soluzioni va presa in considerazione:

- **Demolizione e ricostruzione (non edifici storici)**

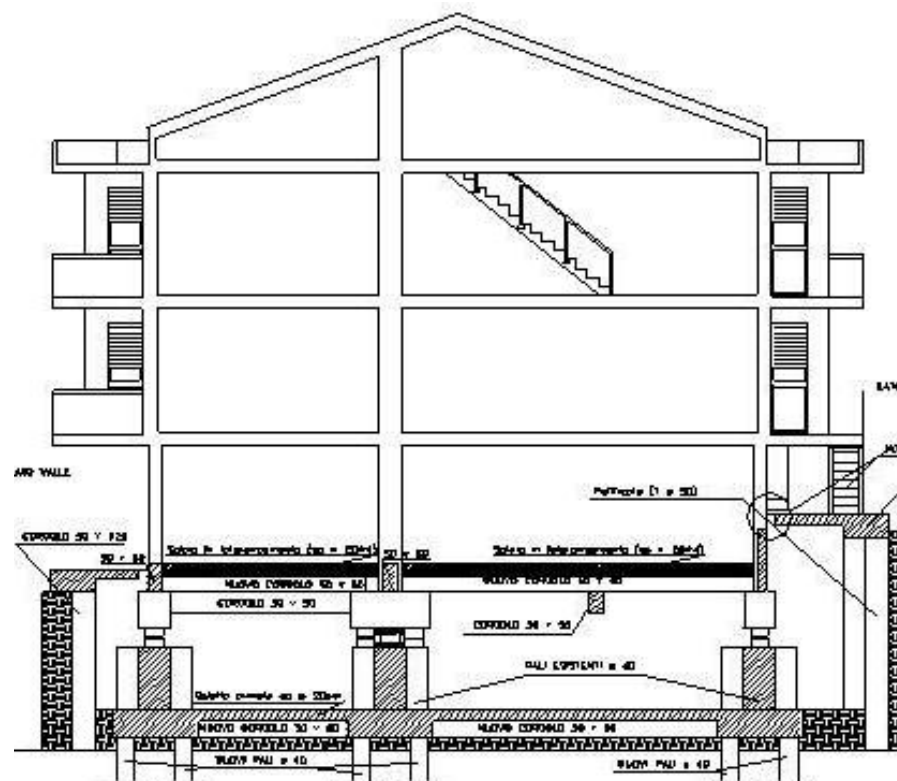
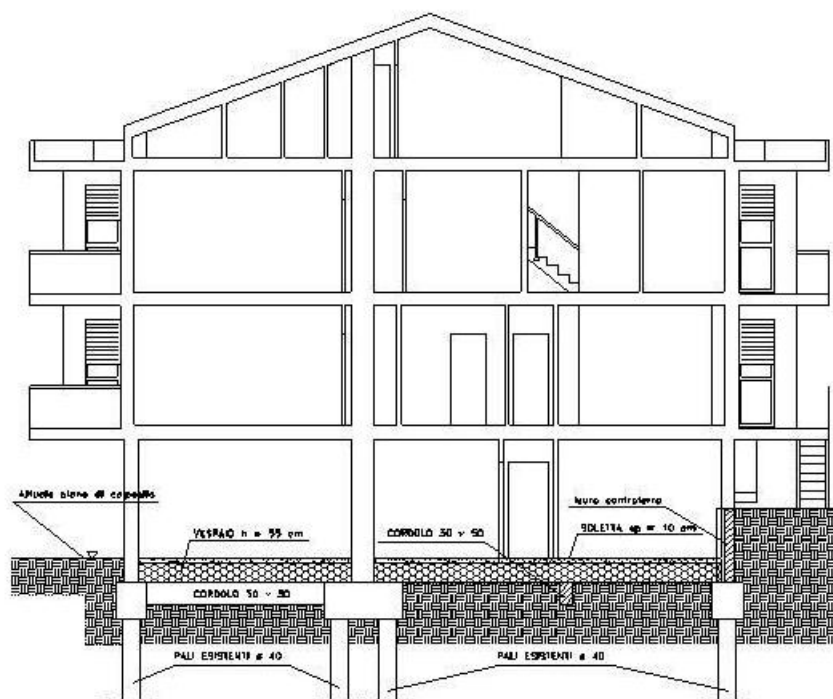
EDIFICIO IN VIA LATINI, FABRIANO



Progetto: G. Mancinelli

EDIFICIO IN VIA LATINI, FABRIANO (AN)

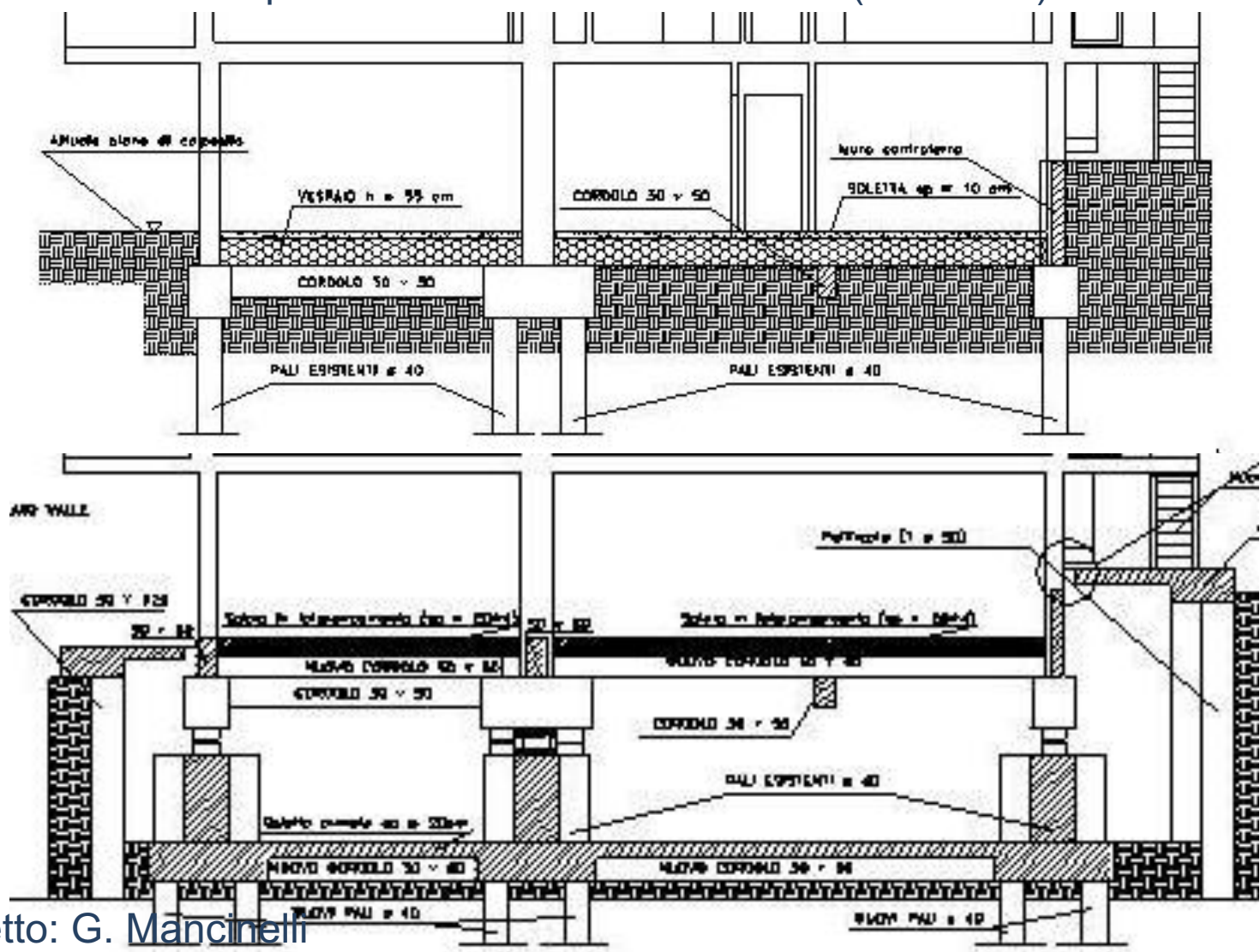
Sottofondazione: Inserimento dei dispositivi tra la fondazione esistente (rinforzata) e la nuova (al di sotto della vecchia)



Progetto: G. Mancinelli

EDIFICIO IN VIA LATINI, FABRIANO (AN)

Sottofondazione: dispositivi tra fondazione esistente (rinforzata) e la nuova



Progetto: G. Mancinelli

EDIFICIO VIA LATINI, FABRIANO



Progetto G. Mancinelli

CENTRO POLIFUNZ. (R. TRAIANO SOCCA VO, NA)

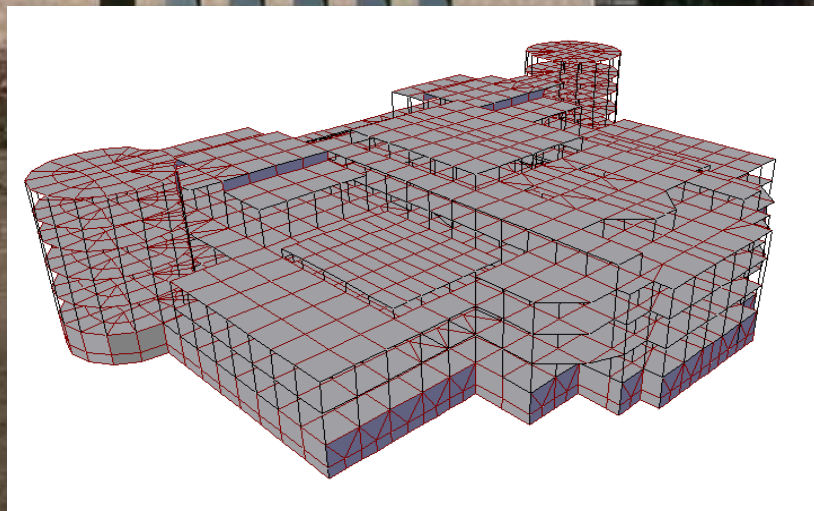
Struttura ultimata negli anni '70 (quando l'area non era classificata sismica)

Fondazioni su pali



Struttura fortemente asimmetrica

Adeguato sismicamente con 600 HDRB



CENTRO POLIFUNZ. (R. TRAIANO SOCCAVO, NA)

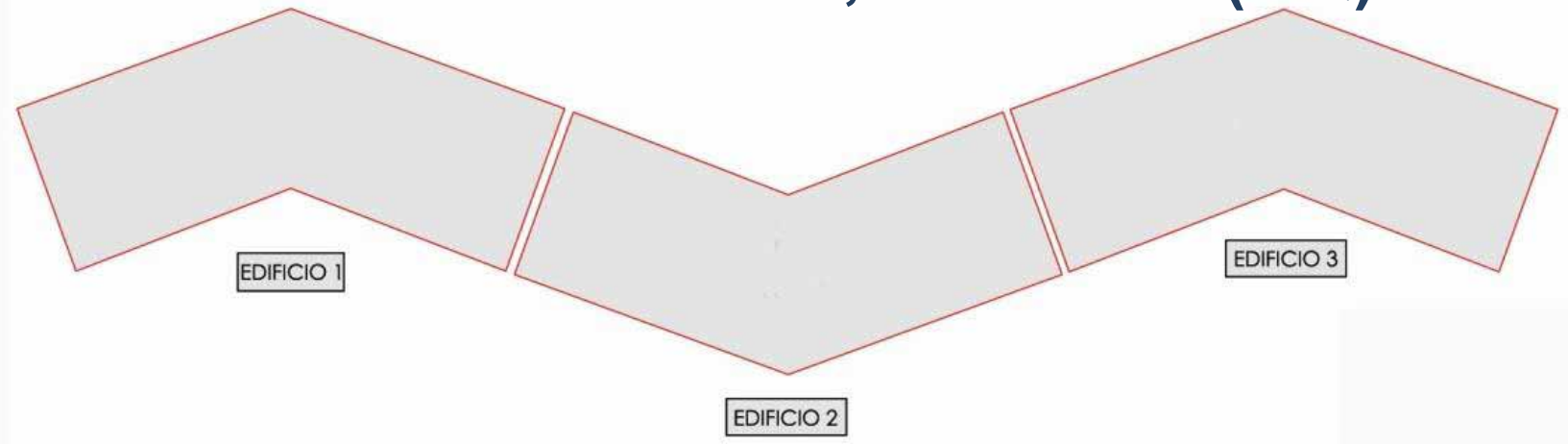


Taglio dei pilastri : inserimento dei dispositivi lungo i pilastri del primo livello e inserimento di un piano rigido

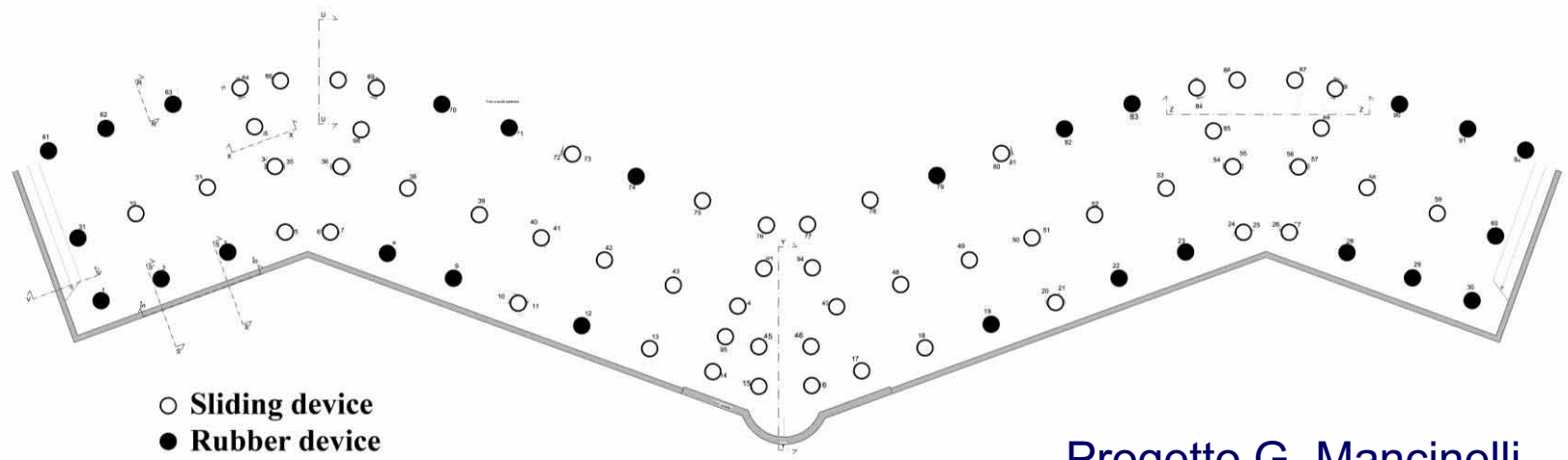


Courtesy by ALGA

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)



EDIFICIO VIA TIGLI, PIANOLA (AQ)



SS1 Seismometers

K2 acquisition system

EDIFICIO VIA TIGLI, PIANOLA (AQ)



EDIFICIO VIA TIGLI, PIANOLA (AQ)



EDIFICIO VIA TIGLI, PIANOLA (AQ)



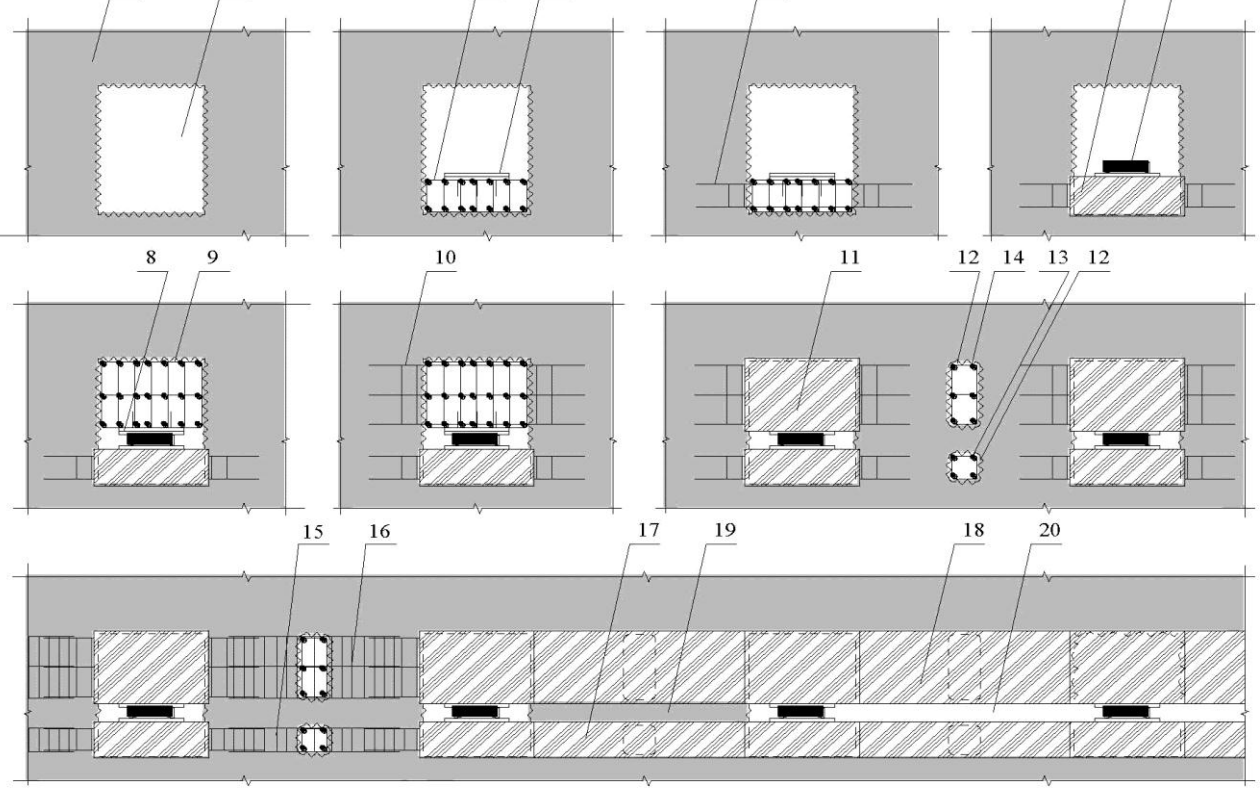
L'edificio non ha subito danni a seguito degli eventi sismici del 2016

EDIFICIO SCOLASTICO A VANADZOR, ARMENIA

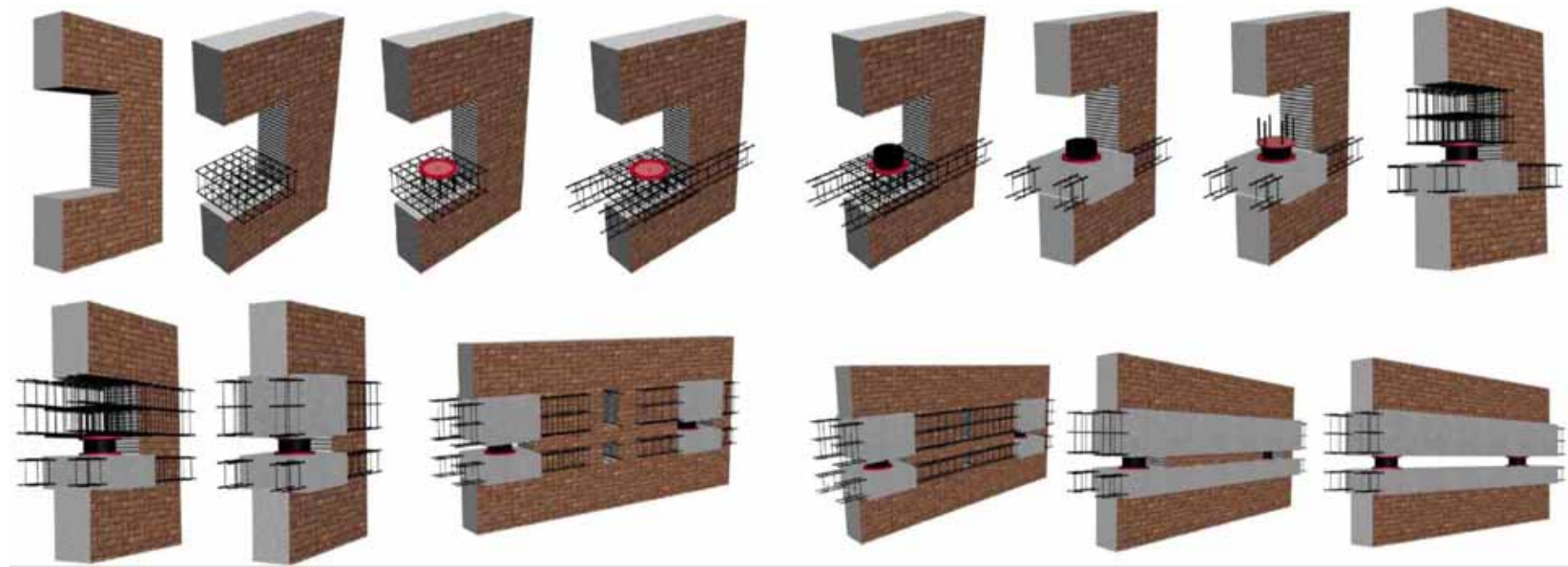


**Edificio in muratura, 4 piani (55 anni)
Adeguamento con “Medium Damping Rubber Bearing” (MDNB), 2002
(Progetto: M. Melkumyian)**

EDIFICIO SCOLASTICO A VANADZOR, ARMENIA

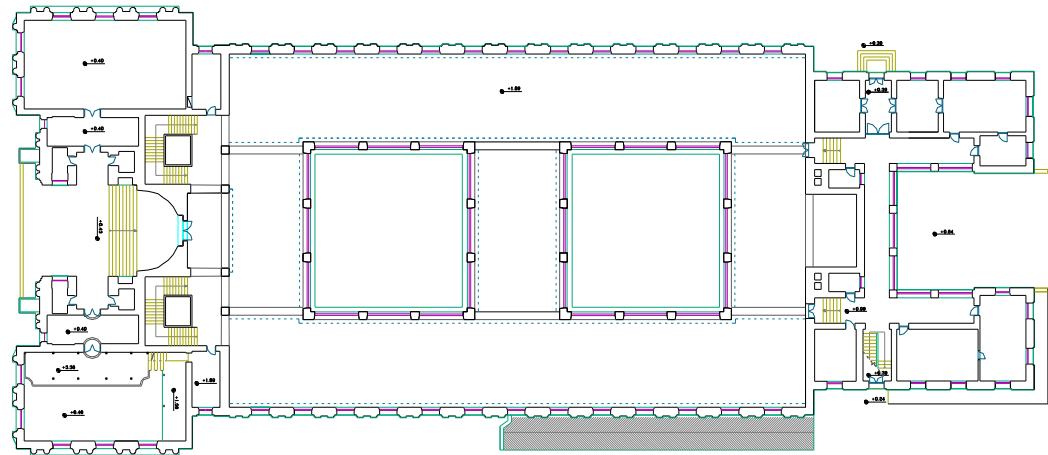
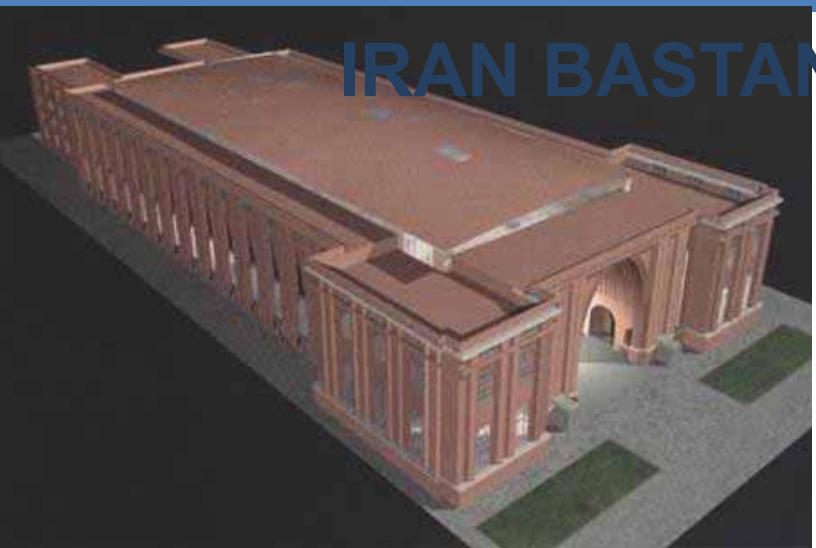


EDIFICIO SCOLASTICO A VANADZOR, ARMENIA



Progetto: M. Melkumyian

IRAN BASTAN MUSEUM (TEHRAN)

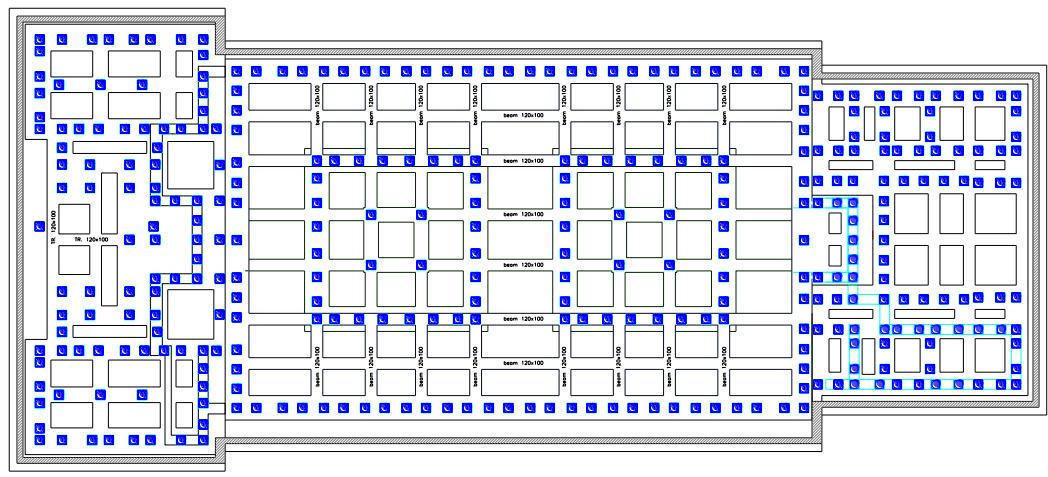


Onset of damage
 $a_{gi} = 0.024g$



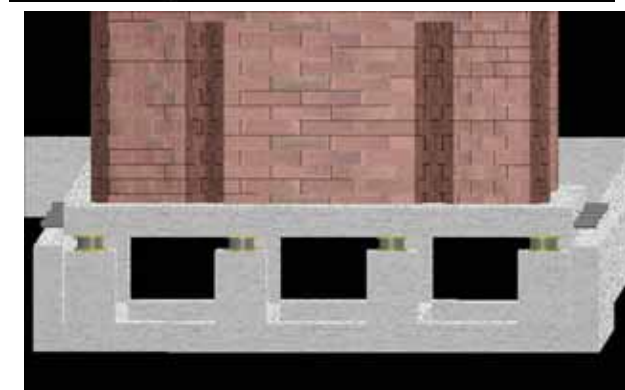
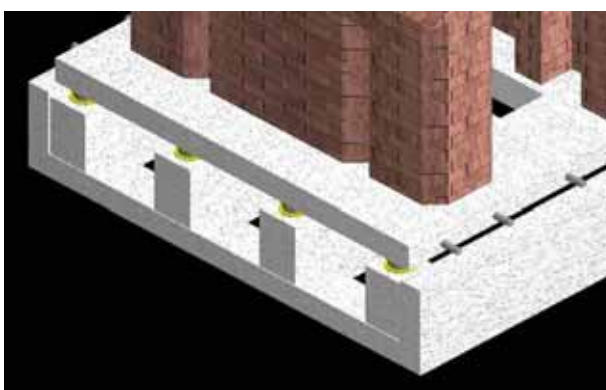
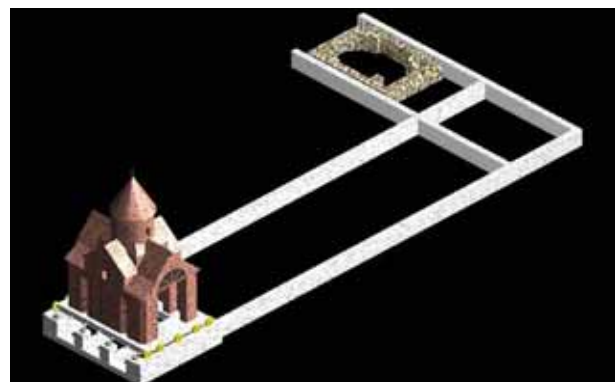
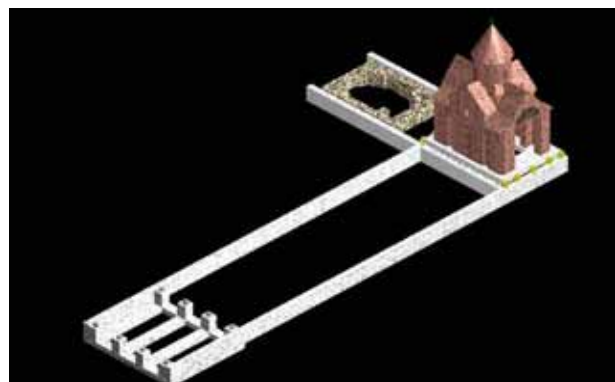
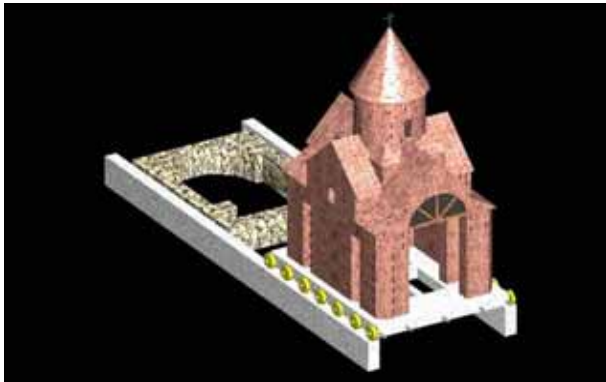
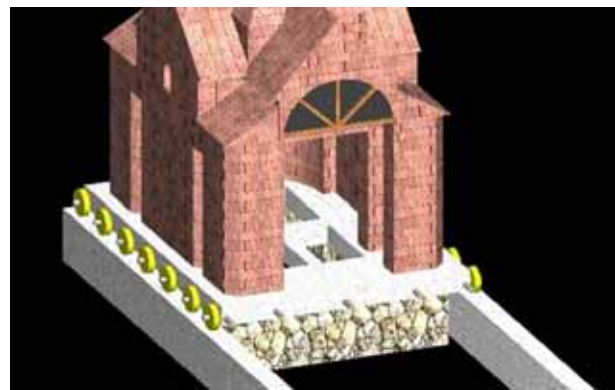
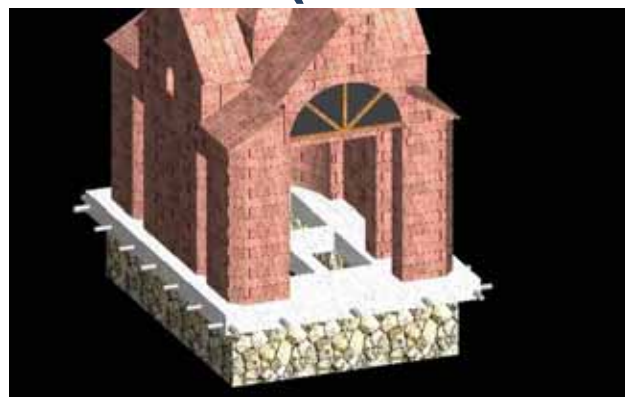
Collapse
 $a_{gi} = 0.24g$

PGA
 $a_g = 0.5g$

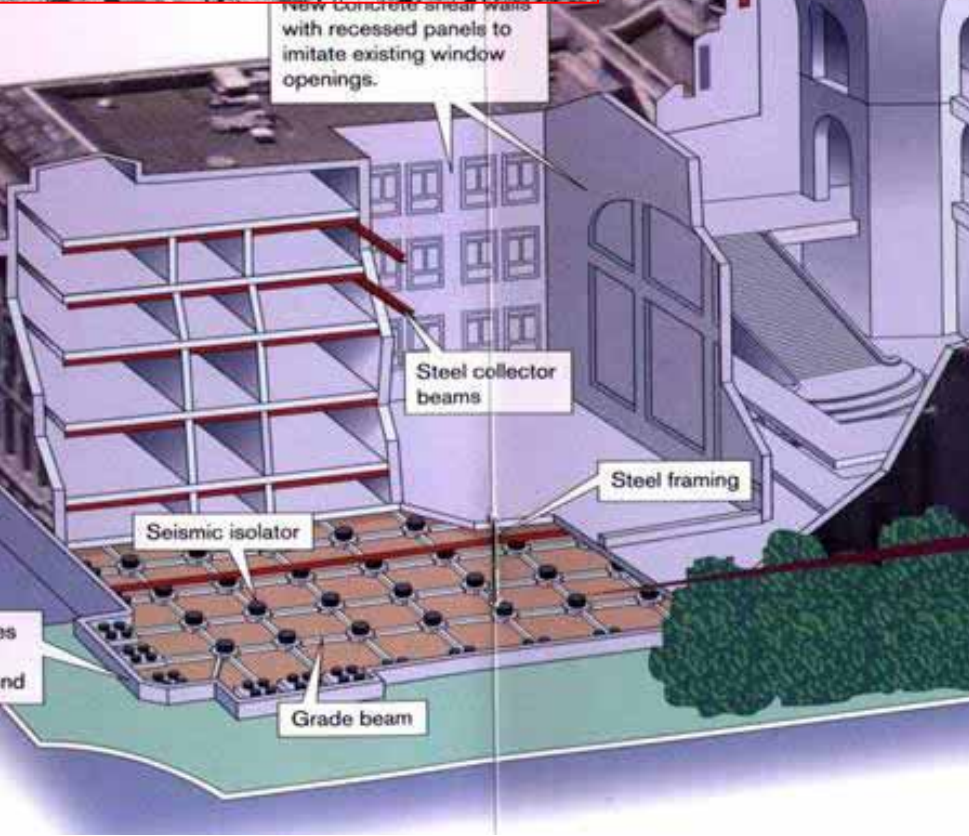


(P. Clemente, A. Santini, M.G. Ashtiany)

ST. CATHOGHIKEH (YEREVAN, ARMENIA)



CITY HALL IN SAN FRANCISCO



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

EDIFICI STORICI, MONUMENTI

Demolizione e ricostruzione ► non accettabile

Edifici affollati da turisti ► è richiesto un grado di sicurezza elevato

Interventi di miglioramento/adequamento:

- spesso inappropriati dal punto di vista architettonico,
- possono causare la perdita di valore storico

Criteri di intervento:

- scelta dell'intervento che rispetti la concezione strutturale originaria e/o i requisiti di non invasività e di reversibilità e verifica del grado di sicurezza raggiungibile
- miglioramento della struttura rafforzando i suoi elementi costruttivi e, quindi, il suo comportamento originario

Problemi

- definire il minimo accettabile
- **definire concetti diversi da quelli per le nuove costruzioni**

TECNICHE TRADIZIONALI E INNOVATIVE

Tecniche tradizionali non adatte per adeguamento sismico edifici storici

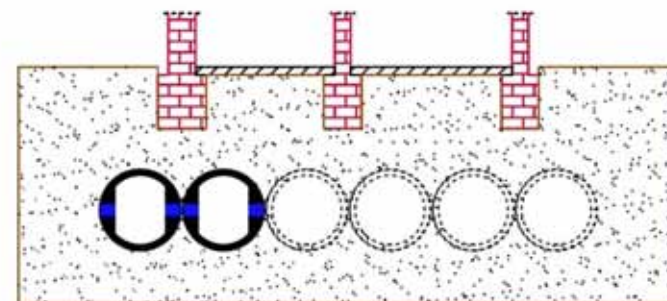
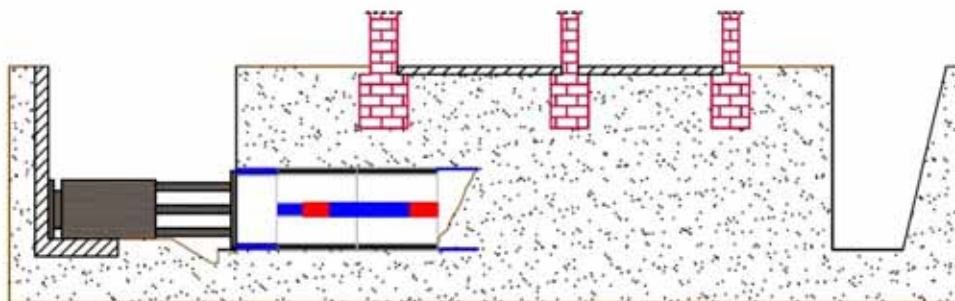
Tecniche tradizionali

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

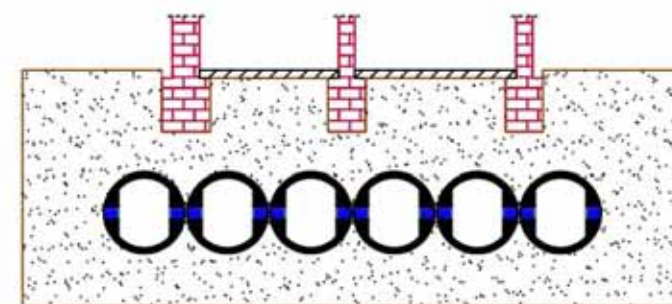
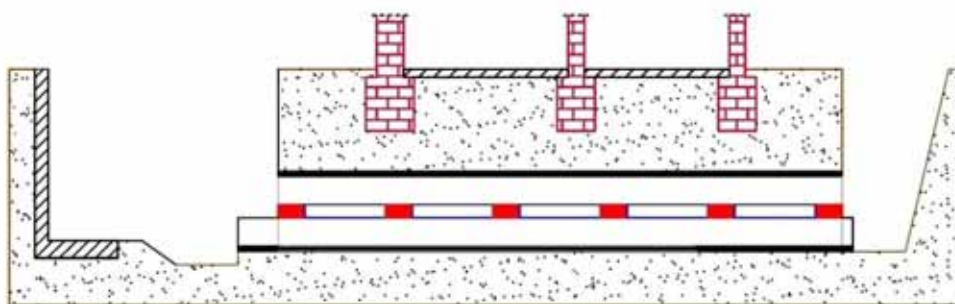
Moderni sistemi antisismici:

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

SISEB: INSERIMENTO DEI TUBI

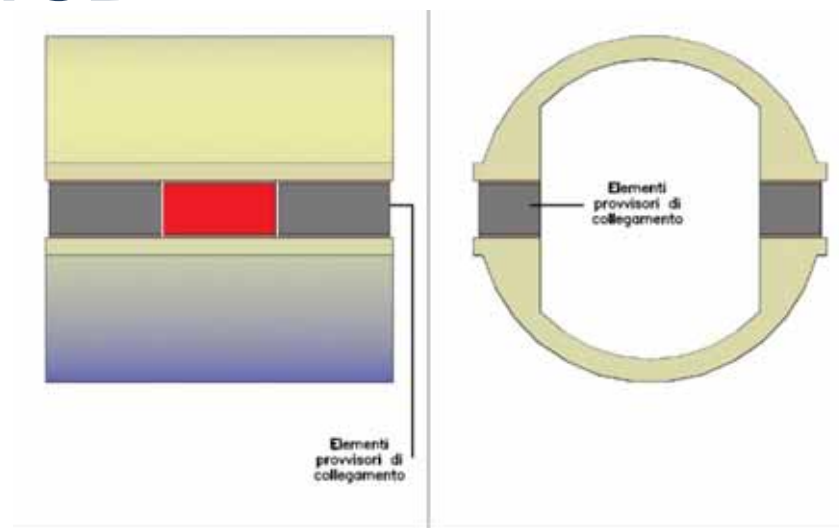


- **Scavo trincea**
- **Inserimento tubi mediante spingitubo o micro-tunnelling (no dig techniques – diametro tubi $\geq 2 m$, per consentire l'ispezione)**



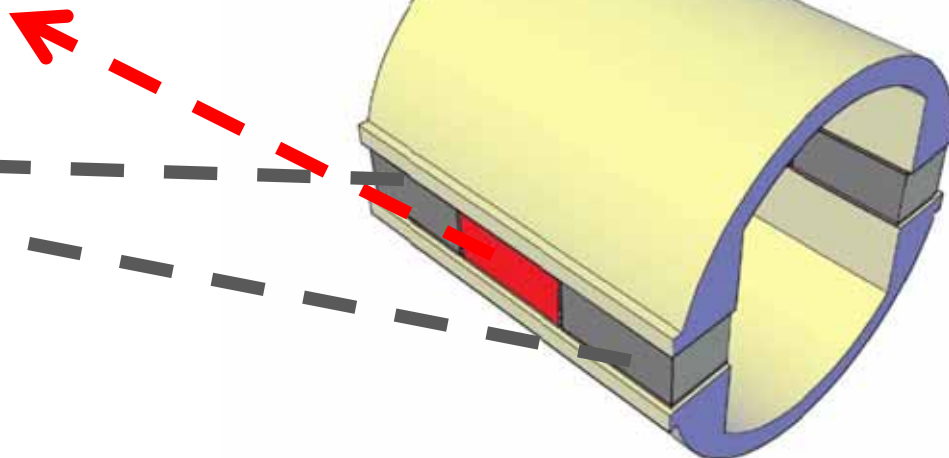
SISEB: TUBI

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

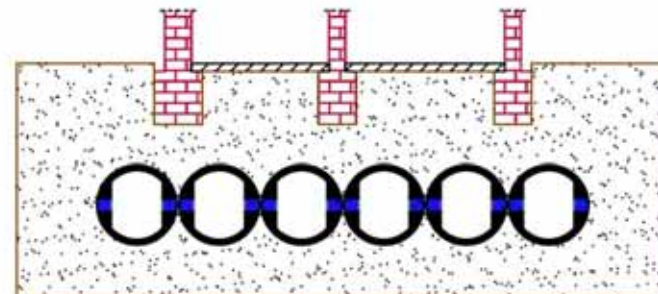
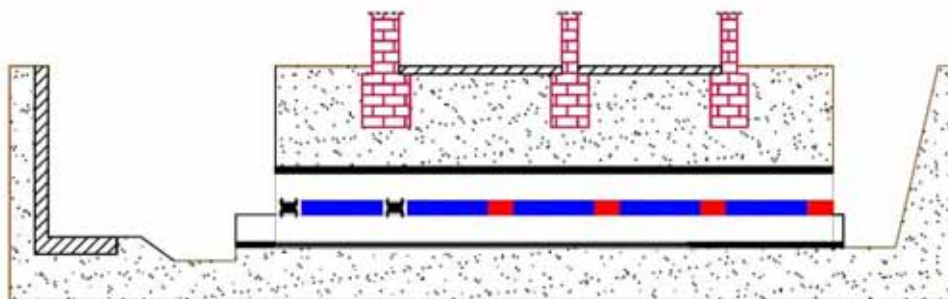


➤ **Elementi rossi: sostituiti dagli isolatori**

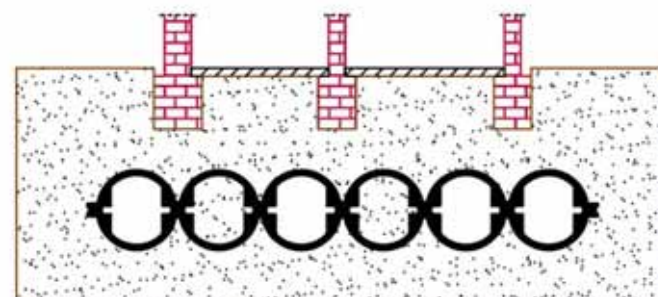
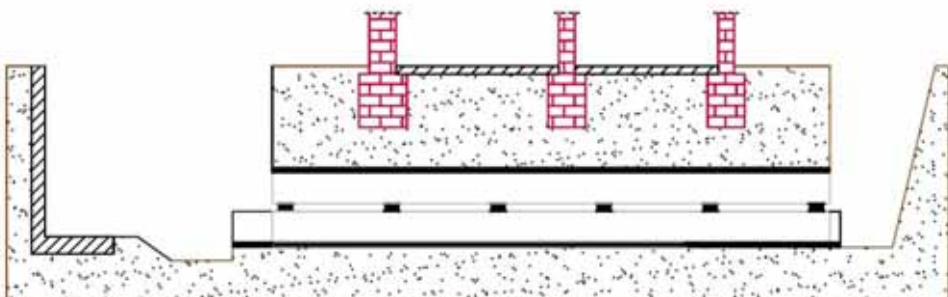
➤ **Elementi grigi: da rimuovere**



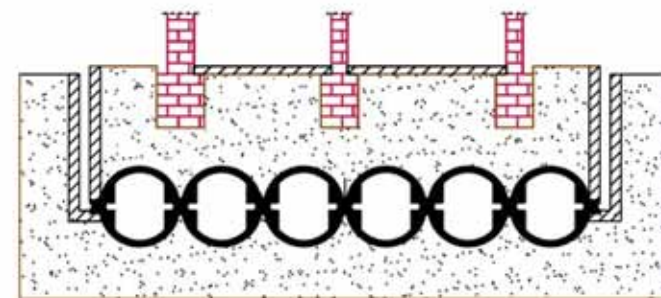
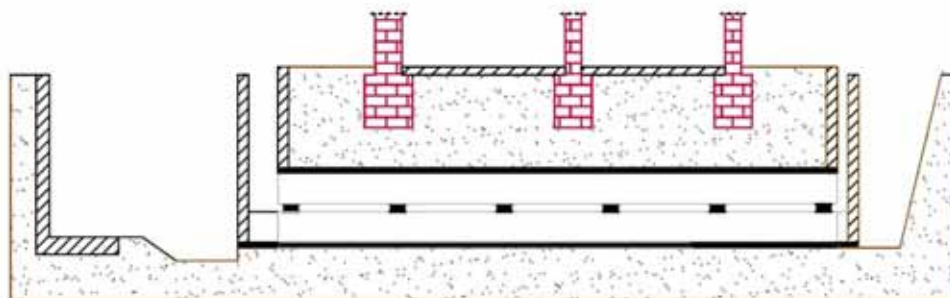
SISEB: ISOLATORI



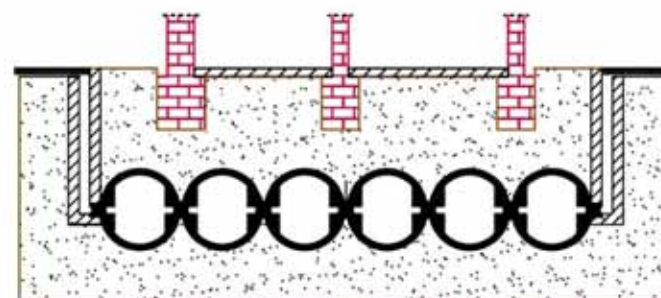
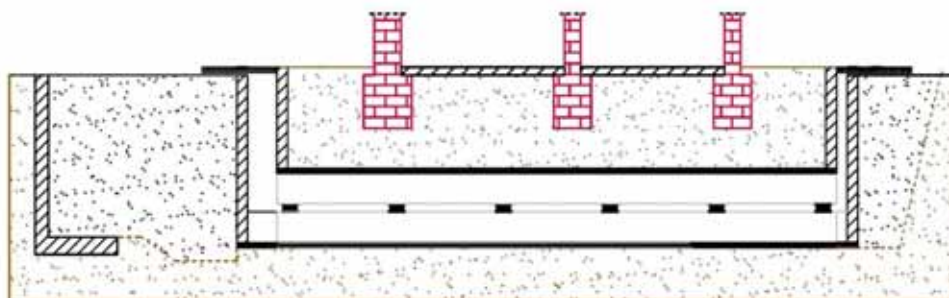
- **Rimozione elementi rossi**
- **Connessione tubi adiacenti con elementi in c.a. o acciaio**
- **Posizionamento dei dispositivi di isolamento**
- **Rimozione elementi grigi**



SISEB: PARETI

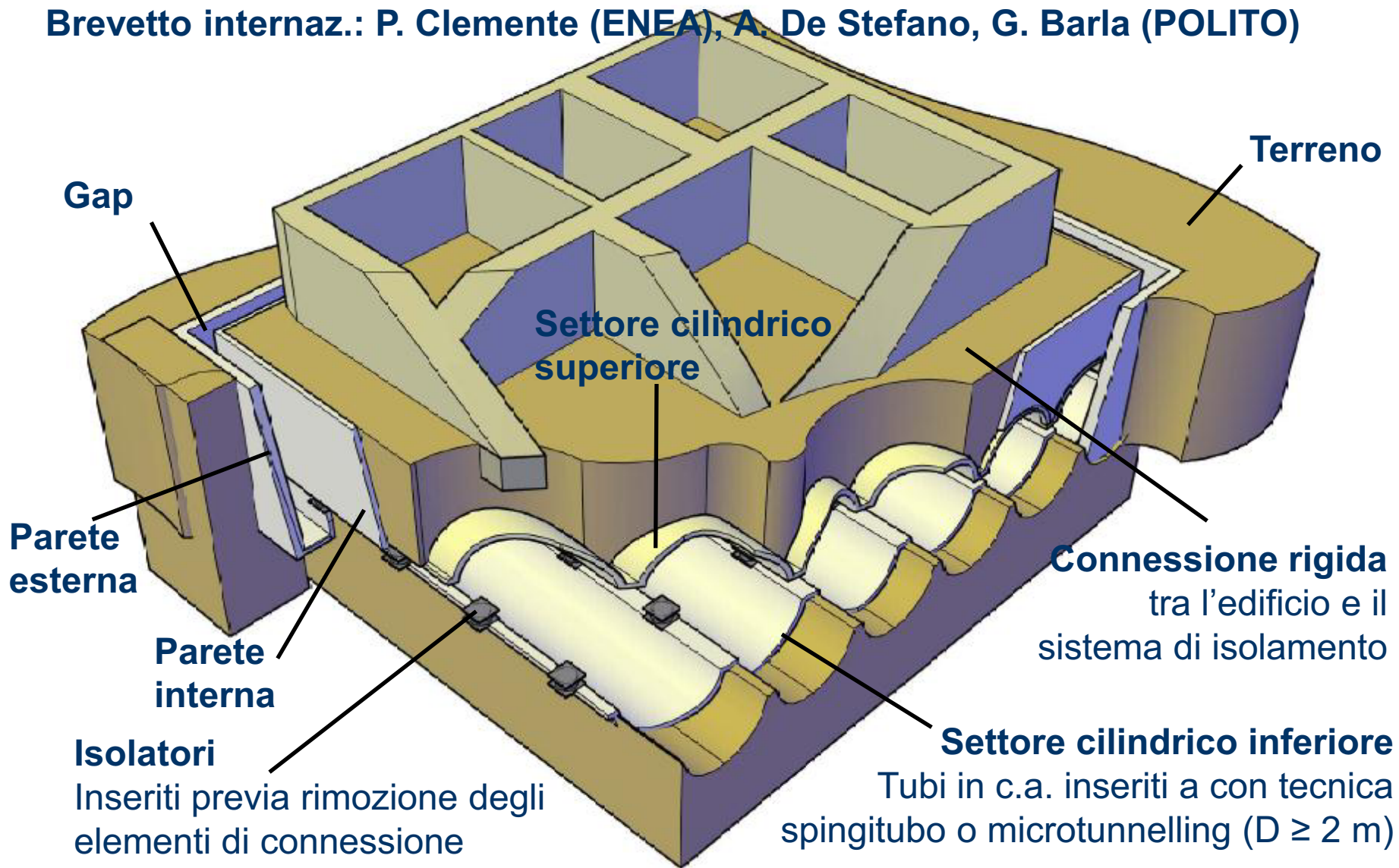


- Pareti verticali
- Irrigidimento terreno o connessioni rigide tra edificio e sistema di isolamento

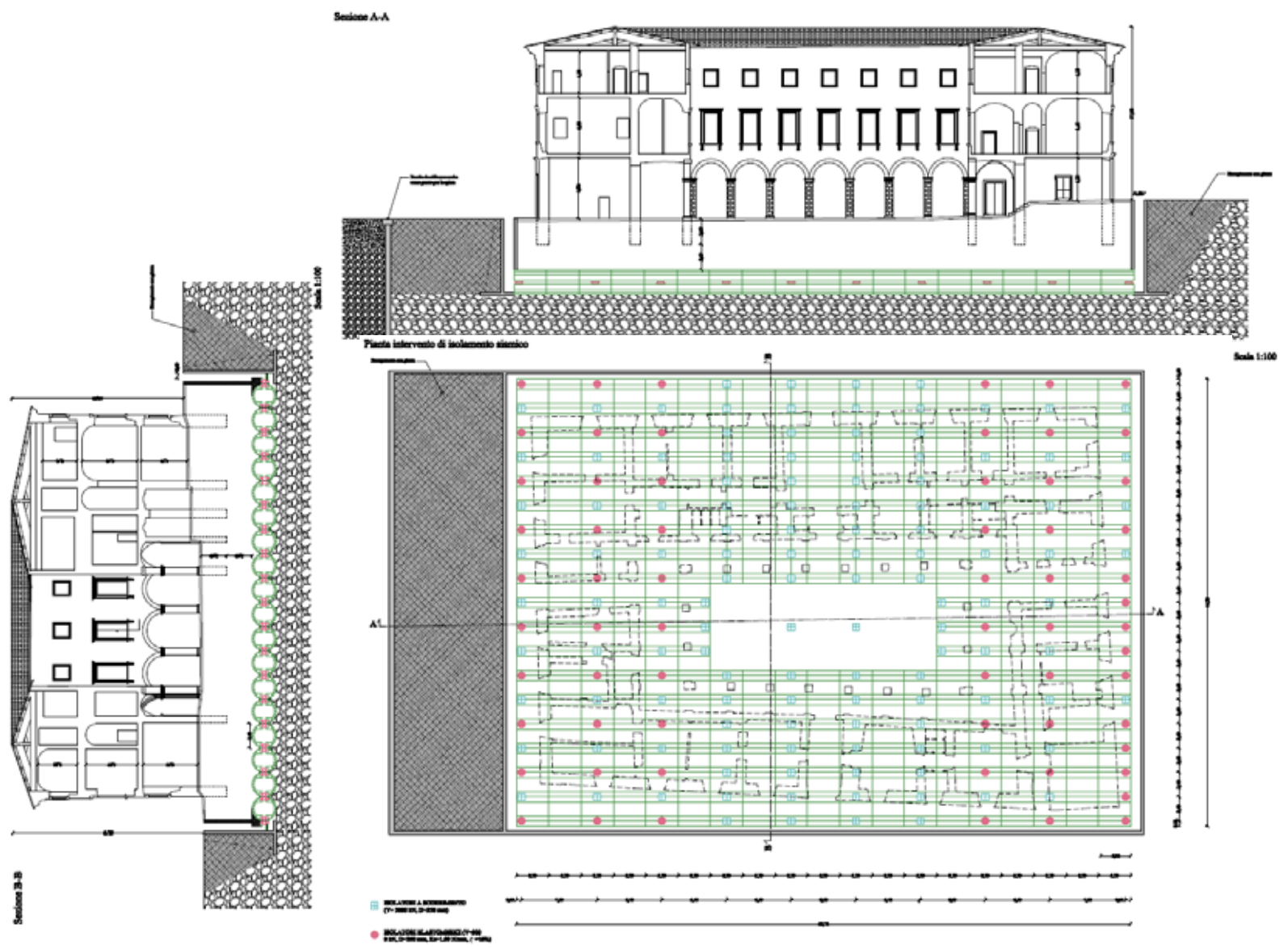


STRUTTURA ISOL. SISMICO EDIFICI ESISTENTI

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



ESEMPIO: PALAZZO MARGHERITA, L'AQUILA



STRUTTURA ISOL. SISMICO EDIFICI ESISTENTI

Nuovo sistema di isolamento sismico per edifici esistenti

- Piattaforma isolante al di sotto delle fondazioni
- Edificio non modificato anche nei piani interrati
- Tunnel utilizzabili per passaggio pedonale o parcheggio

Applicazioni

- Edifici di interesse storico artistico
- Centri storici: aggregati edilizi complessi
- Impianti chimici e nucleari (edifici con tubazioni e altro)

PREVENZIONE = INFORMAZIONE



**EDIFICIO NON
ANTISISMICO**



Edifici con grado di sicurezza non soddisfacente:

- **No scuole**
- **No ospedali**
- **No edifici strategici**

Edifici vecchi (non storici):

- **Demolizione e ricostruzione**