



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

Con il patrocinio di



Realizzazioni Sismoresistenti con il Sistema a Nodo Umido Strutturale PREM, con o senza isolatori sismici, nel nuovo e nelle ristrutturazioni

Gli isolatori sismici sia nel nuovo che, in retrofit, nelle ristrutturazioni

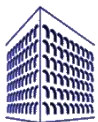
Ing. Valeria Picari



14 Giugno 2019

Indice degli argomenti:

- Riferimenti normativi, isolamento e dispositivi di isolamento
- Esempi di isolamento sul nuovo
 - Villetta loc. Montebenichi (Arezzo)
 - Trasformatori di Maida (Calabria)
 - Ponte sul fiume Ufita loc. Apice (Benevento)
- Esempi di isolamento sull'esistente
 - Palazzo Fagnoni Firenze
 - Viadotto loc. Antrodoco (Rieti)



RIFERIMENTI NORMATIVI

D.M. 17 gennaio 2018

Norme tecniche per le costruzioni

Pubbligate sulla G.U.n.42 del 20 febbraio 2018

In vigore dal 22 marzo 2018

Aggiornamento delle precedenti NTC2008 e “**non una profonda rivisitazione normativa**”.

Capitolo 7: Progettazione per azioni sismiche. Le differenze non sono di carattere concettuale, quanto piuttosto organizzativo e spiegano meglio alcuni concetti (progettazione in capacità e gerarchia delle resistenze) con l'utilizzo di tavole sinottiche di riepilogo dei vari coefficienti.

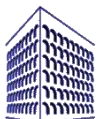
Scompare qualunque riferimento alla zonazione sismica. Per la sismicità di un sito si deve far riferimento alla sua accelerazione di progetto.

Capitolo 7.10: Costruzioni con isolamento e/o dissipazione. E' rimasto sostanzialmente invariato.

Capitolo 11.9 – Dispositivi antisismici e di controllo di vibrazioni – All'interno vengono definiti le varie tipologie tra cui gli isolatori.

EN 15129 Dispositivi antisismici – Riguarda la progettazione dei dispositivi antisismici inseriti nelle strutture con lo scopo di modificarne la risposta all'azione sismica. Specifica i requisiti funzionali e le regole di progettazione in condizioni sismiche, le caratteristiche dei materiali, i requisiti di fabbricazione e di esecuzione delle prove, i criteri di installazione e di manutenzione. Fornisce anche i criteri per la marcatura CE.

EN 1337 – Appoggi strutturali



NTC18 pt.7.10 – Costruzioni con isolamento e/o dissipazione

Il presente capitolo fornisce criteri e **regole per il progetto di costruzioni nuove e per l'adeguamento di quelle esistenti**, nelle quali un **sistema di isolamento** sismico sia posto al di sotto della costruzione o una sua porzione rilevante, con lo scopo di migliorare la risposta nei confronti delle azioni sismiche orizzontali.

La riduzione della risposta sismica orizzontale si ottiene mediante una delle seguenti strategie di isolamento, o mediante la loro combinazione:

- 1) **Incrementando T**, periodo fondamentale della costruzione, al fine di portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta
- 2) **limitando la massima forza orizzontale trasmessa**

Qualunque strategia si scelga le prestazioni vengono migliorate con la **dissipazione** nel sistema di isolamento di una consistente aliquota dell'energia meccanica trasmessa dal terreno alla costruzione.

Pt. 7.10.6 – Verifiche – I dispositivi del sistema di isolamento non devono subire danni che possano comprometterne il funzionamento nelle condizioni di servizio. Tale requisito è soddisfatto se sono soddisfatte le **verifiche allo SLV dei dispositivi**. Per le costruzioni particolarmente esposte all'azione dei venti e per i ponti in genere sarà condotta la verifica allo SLU.

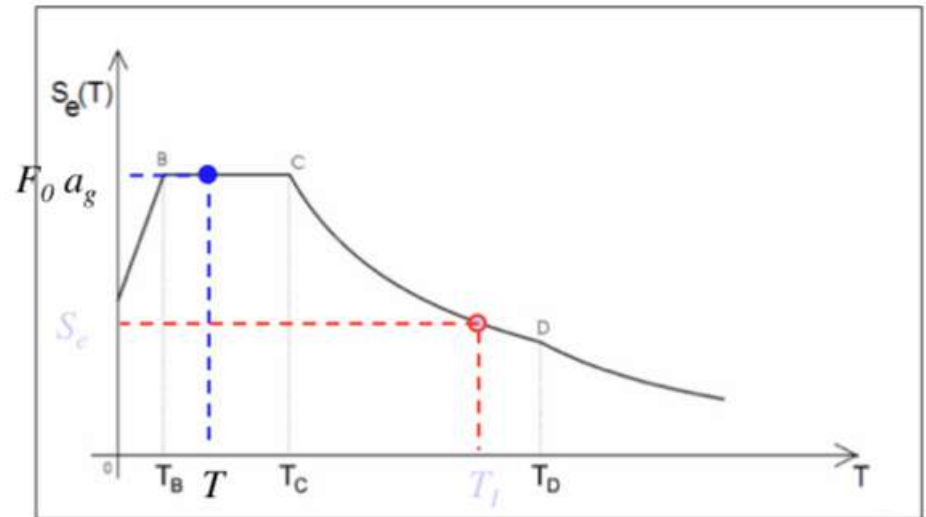


Meccanismo isolamento

- Le strutture tradizionali, a base fissa, hanno un periodo principale basso che generalmente ricade nell'intervallo in cui l'accelerazione spettrale è notevolmente amplificata.
- Se alla base (tra fondazione e struttura) si interpone un **elemento molto deformabile orizzontalmente (isolatore)** il periodo aumenta notevolmente e si abbattano l'accelerazione spettrale e gli spostamenti.
- L'efficacia del sistema di isolamento sarà tanto maggiore quanto più alto è il rapporto tra T_{is} , periodo della struttura isolata, e T_{bf} , periodo della struttura a base fissa.

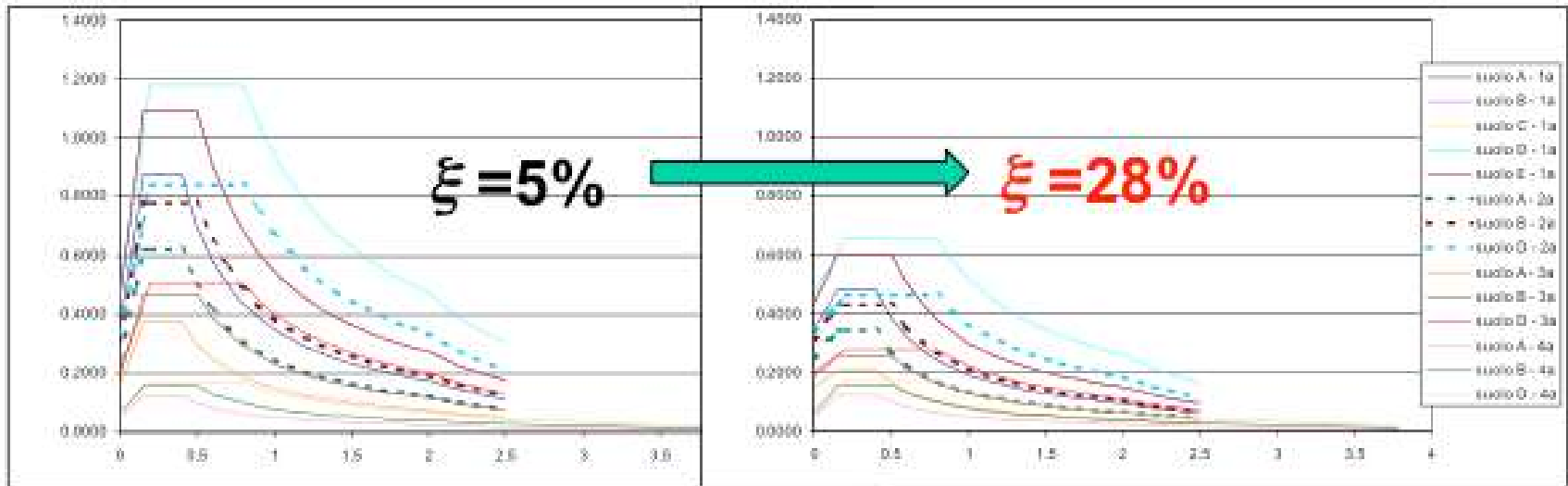
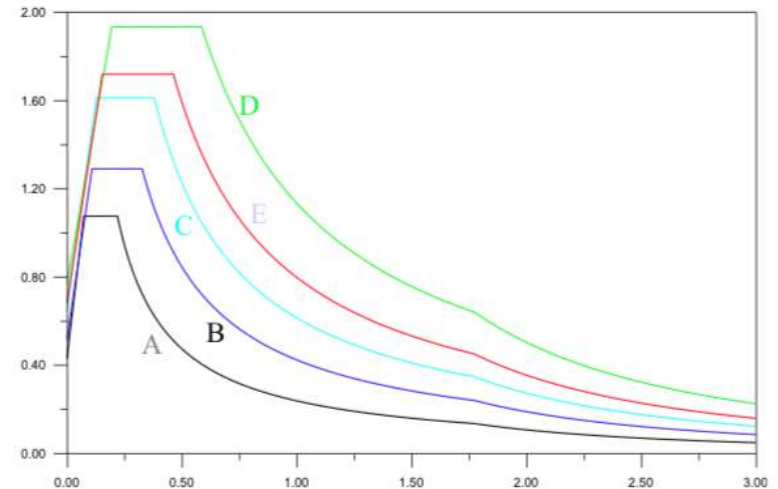
Si ottiene un buon “disaccoppiamento”
quando $T_{is} \geq 3T_{bf}$

Generalmente si prende come
riferimento $T_{is} \geq 2$ sec.



Spettro di progetto al variare dello smorzamento e del tipo di terreno

- Una struttura non isolata ha un coefficiente di smorzamento viscoso pari a 5%
- Per suoli soffici (cat. D-E) gli spettri presentano amplificazioni ampie, che interessano periodi alti. La riduzione di accelerazione, dunque il **beneficio dell'isolamento** è di conseguenza **molto minore**



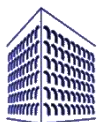
NTC18 pt.11.9.1 - Dispositivi di isolamento

Dispositivi di isolamento o Isolatori: svolgono 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. 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). Essendo fondamentalmente degli apparecchi d'appoggio, essi debbono rispettare le relative norme per garantire la loro piena funzionalità rispetto alle azioni di servizio (1337).

In generale, si individuano le seguenti tipologie:

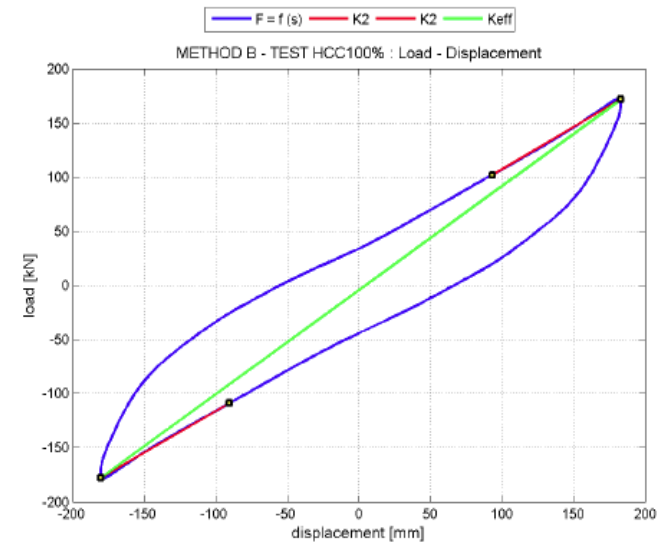
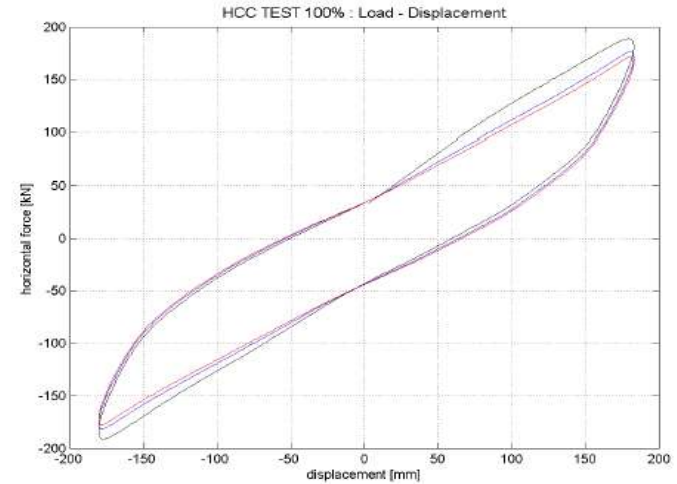
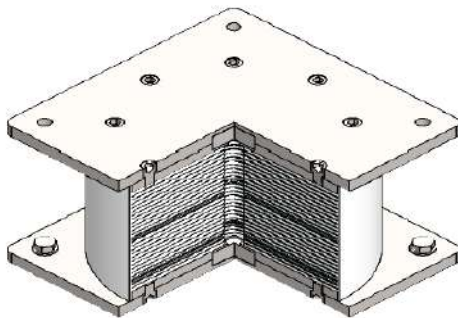
- **Isolatori elastomerici:** costituiti da strati alternati di materiale elastomerici (gomma naturale o materiali artificiali idonei) e di acciaio, quest'ultimo con funzione di confinamento dell'elastomero, fortemente deformabili per carichi paralleli alla giacitura degli strati (carichi orizzontali).
- **Isolatori a scorrimento:** costituiti da appoggi a scorrimento, con superficie piana o curva, caratterizzati da bassi valori delle resistenze per attrito

La norma fa riferimento alla UNI EN 15129 per la progettazione, qualificazione e accettazione

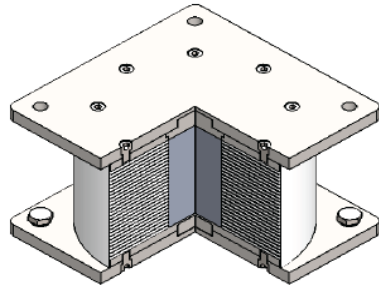


ISOLATORI ELASTOMERICI

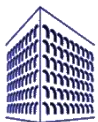
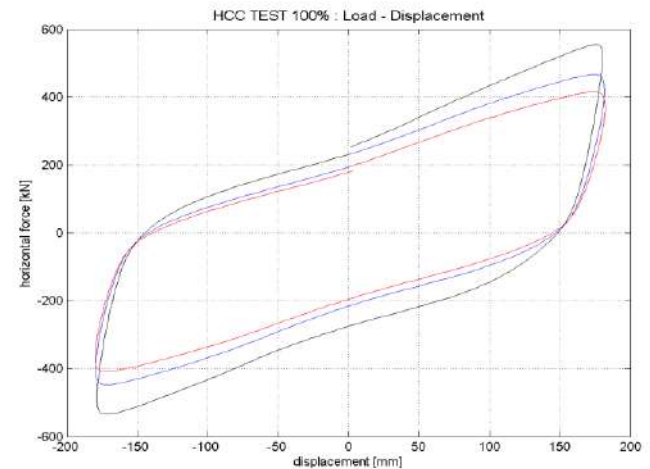
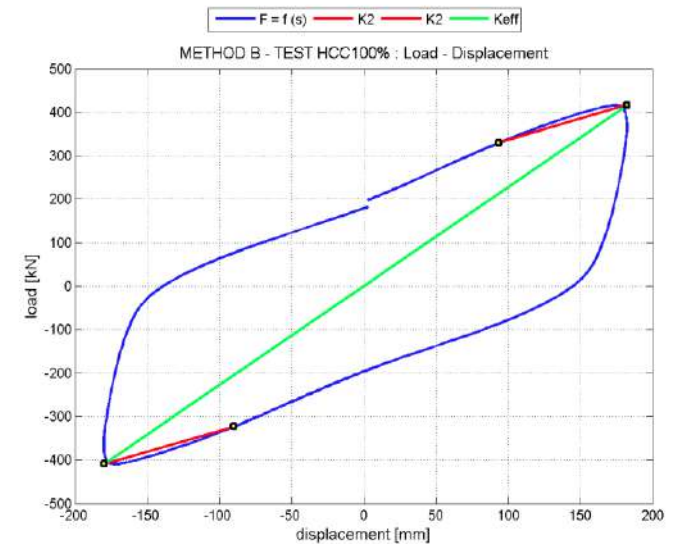
- **Comportamento lineare**
- Elevata flessibilità orizzontale
- **Modesta dissipazione energetica (10%-15%) per elastomeri ad alta dissipazione**
- **Capacità di ricentrimento**
- Inserimento di lamine di acciaio per aumentare la rigidità verticale
- Nessuna resistenza a trazione
- Richiedono ispezioni periodiche per verificarne la funzionalità
- Prevedere la possibilità di sostituzione e ricentraggio per insorgere di movimenti residui



ISOLATORI ELASTOMERICI CON NUCLEO IN PIOMBO

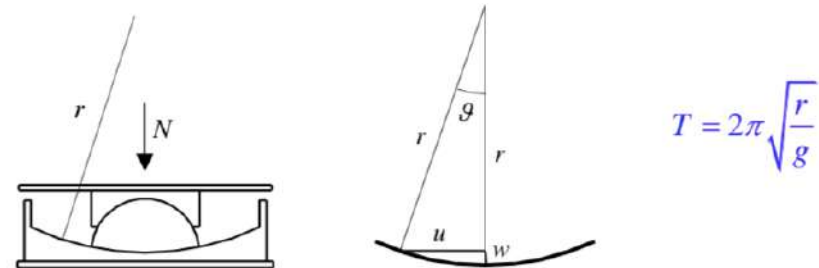
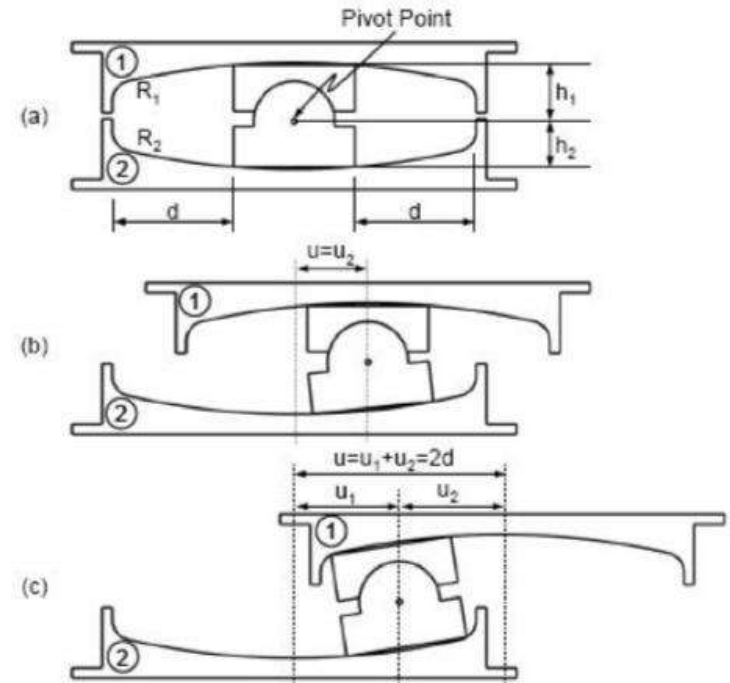


- **Comportamento di tipo elasto-plastico**
- Rigidezza iniziale elevata governata dalla capacità resistente del nucleo in piombo
- Forza di snervamento governata dalla capacità resistente del nucleo in piombo
- Rigidezza plastica bassa equivalente ad un isolatore in gomma
- **Elevata dissipazione energetica (20-30%)**
- **Bassa capacità di ricentramento**
- Nessuna resistenza a trazione
- Il nucleo in piombo ha lo scopo di limitare gli spostamenti elastici e conferire un'adeguata capacità dissipativa per diminuire ulteriormente l'energia in ingresso



ISOLATORI A PENDOLO SCORREVOLE

- Sono costituiti da una coppia di superfici curve che scorrono l'una sull'altra (curvatura semplice o doppia)
- **Sfruttano la legge fisica del moto del pendolo per allungare il periodo naturale della struttura isolata.**
- **Il periodo è indipendente dalla massa della struttura** (grande vantaggio per strutture leggere)
- Non richiedono ispezioni periodiche per verificarne la funzionalità
- **La difficoltà di controllare in modo perfetto l'attrito potrebbe variare la risposta attesa**

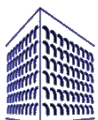


NTC18 pt. 7.10.4 - Indicazioni progettuali

- I dispositivi devono essere **ispezionabili e sostituibili**. Eventualmente deve essere possibile il ricentraggio e se richiesto un'adeguata protezione al fuoco o agli agenti chimici o biologici
- Per minimizzare gli effetti torsionali **il centro delle masse e delle rigidezze devono essere per quanto possibile coincidenti**
- Sia il piano di posa dei dispositivi che quello della sovrastruttura devono essere **sufficientemente rigidi** per evitare gli effetti di spostamenti rigidi differenziati
- **Il corretto funzionamento di una struttura con isolamento sismico si realizza solo se la massa isolata (sovrastruttura) si può muovere liberamente in tutte le direzioni orizzontali per spostamenti pari a quelli di progetto**. E' importante controllare che elementi non strutturali e/o impianti impediscano questi movimenti (consapevolezza che si riflette sui dettagli architettonici o impiantistici). Nei ponti ad esempio vanno previsti giunti che rispettino il movimento degli isolatori

Quando l'isolamento non va fatto

- **Strutture molto alte o dotate di massa modesta hanno periodo elevato** e di conseguenza non traggono grossi vantaggi dall'isolamento in termini di riduzione dell'accelerazione spettrale.
- **A fronte di una riduzione modesta dell'accelerazione spettrale gli spostamenti** (su masse piccole) **potrebbero essere troppo elevati** ($k_h = GA/T_q$; $T_v = 2\rho\sqrt{M/K_v}$). Con periodi superiori a 3 secondi si potrebbero avere spostamenti tali da rendere inagibile il fabbricato; i collegamenti verticali, scale e ascensori, condotte idriche, telefoniche, in generale gli impianti, diventerebbero ingestibili

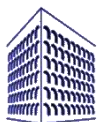


NTC18 pt. 7.10.5 - Modellazione e analisi strutturale

- **La sovrastruttura e la sottostruttura** sono modellate come sistemi a comportamento **elastico lineare**. Va garantita la rigidità strutturale nel piano orizzontale dei piani immediatamente al di sopra e al di sotto del sistema di isolamento per garantire una distribuzione regolare degli sforzi tra i diversi isolatori.
- **Il sistema di isolamento** può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, come avente comportamento **visco-elastico lineare** (serie di requisiti pt. 7.10.5.2) **oppure** con legame costitutivo **non lineare**. Il modello lineare del sistema d'isolamento è caratterizzato dalla rigidità totale equivalente del sistema di isolamento k_{esi} , pari alla somma delle rigidità equivalenti dei singoli dispositivi, e dal coefficiente di smorzamento viscoso equivalente del sistema d'isolamento ξ_{esi} (valutato con riferimento all'energia dissipata dal sistema di isolamento in cicli con frequenza nell'intervallo delle frequenze naturali dei modi considerati).
- La deformabilità verticale dell'isolatore dovrà essere messa in conto quando il rapporto tra la rigidità verticale del sistema di isolamento e quella orizzontale equivalente è inferiore a 800

L'analisi delle costruzioni dotate di isolamento alla base è sempre di tipo lineare e può essere statica o dinamica.

Se l'analisi lineare è statica il calcolo può essere svolto su due modelli separati: uno per la sovrastruttura più il sistema di isolamento ed uno per la sottostruttura. Su quest'ultimo agiscono le forze ricavate dal primo modello e le forze d'inerzia prodotte direttamente dal moto del terreno.



NTC18 pt.7.10.5.3.1- Analisi lineare statica

Requisiti :

- Il periodo equivalente della struttura isolata T_{is} ha un valore compreso tra $3T_{bf}$ e 3 sec. dove T_{bf} è il periodo della sovrastruttura assunta a base fissa
- **Rapporto minimo pari a 800 tra rigidità verticale del sistema di isolamento K_v e rigidità equivalente orizzontale del sistema di isolamento K_{esi}**
- Il periodo in direzione verticale T_v è inferiore a 0,1 s, calcolato come
$$T_v = 2\rho\sqrt{M / K_v}$$
- nessun isolatore risulta essere in trazione per l'effetto combinato dell'azione sismica e dei carichi verticali
- Il sistema resistente all'azione sismica possiede una configurazione strutturale regolare in pianta

Requisiti aggiuntivi per gli EDIFICI:

- Sovrastruttura con $H < 20$ m e non più di 5 piani
- Sottostruttura infinitamente rigida (periodo proprio $< 0,05$ s.)
- Dimensione maggiore in pianta della sovrastruttura < 50 m
- Eccentricità totale tra centro rigidità sistema isolamento e centro delle masse edificio $< 3\%$ della dimensione sovrastruttura trasversale alla direzione considerata, per entrambe le direzioni principali orizzontali

Requisiti aggiuntivi per PONTI:

- Schema statico a travi semplicemente appoggiate, o travi continue con geometria regolare (impalcato rettilineo, luci uguali, rapporto max. tra le rigidità delle pile inferiore a 2, luce impalcato < 150 m)
- Massa della metà superiore delle pile $< 1/5$ massa dell'impalcato
- Pile con $H < 20$ m
- Distanza trasversale tra centro rigidità sistema isolamento e centro delle masse impalcato $< 5\%$ della dimensione trasversale sovrastruttura



PROGETTAZIONE ISOLAMENTO (oscillatore elementare) E ISOLATORI

PROCEDURA PER LA SCELTA DEI DISPOSITIVI (A CURA DEL PROGETTISTA DELL'OPERA)

Data **M=massa della sovrastruttura** (includere tamponature, impianti, arredo previsto), si impone il **periodo del sistema isolato** e si ricava la **rigidezza del sistema isolato "K_{esi}"** dall'equazione dell'oscillatore elementare

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

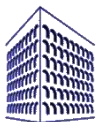
dallo **spettro elastico** corrispondente al tipo di terreno scelto si ha l'accelerazione S_e e si ricava la forza

$$F = M \cdot S_e(T_{is}, \chi_{esi})$$

data la forza si ricava lo spostamento del sistema isolato $d_{Ed} = F/k_{esi} = S_a P/K_{esi}$

DATI DI PROGETTO PER IL PROGETTISTA DEGLI ISOLATORI

- 1) **K_e**: **rigidezza** di ciascun isolatore (la rigidezza del sistema isolato ripartita sul numero degli isolatori se sono uguali; spesso si prevedono in combinazione con gli isolatori le slitte: appoggi a disco elastomerici confinato multidirezionali, in grado di portare il carico verticale e permettere gli scorrimenti degli isolatori)
- 2) **d_{Ed}** **movimento di progetto**
- 3) **carico verticale**



La normativa EN 15129

La norma EN 15129 riguarda tutti i dispositivi antisismici (atti a modificare la risposta all'azione sismica) e ne definisce:

- La progettazione
- Le caratteristiche dei materiali
- L'esecuzione delle prove di controllo di produzione in fabbrica e di omologazione sul prototipo
- I criteri per la marcatura CE

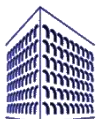
Progettazione Isolatori elastomerici

Sono soggetti alla 15129

- Controllo sugli scorrimenti ($\epsilon_{q,max} < 2,5$ e in funzione del carico di punta critico)
- Controllo sulla deformazione a taglio totale (per spostamento sismico, compressione e rotazione)
- Controllo sul carico verticale max sismico ammissibile
- Controllo sulla rotazione max ammissibile (min 0,002)

Staticamente devono soddisfare tutte le verifiche della 1337-3

- Limitazione sulle deformazioni a taglio di progetto dovuto alle spost orizz non sismico < 1
- Limitazione sulle deformazioni a taglio totali di progetto
- Limitazione sullo spessore minimo dei lamierini
- Limitazione sulla rotazione max ammissibile ($> 0,003$)
- Limitazione sul carico verticale max SLU



Quando fare le ITT

Si deve procedere ad una nuova prova di tipo se:

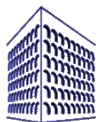
- a) Cambia la **mescola elastomerica**
- b) **Variazione del fattore di forma S maggiore del 10%** del dispositivo già omologato
- c) **Aumento** di qualsiasi dimensione esterna dell'isolatore o delle dimensioni in pianta dei lamierini maggiore del 10%
- d) **Diminuzione di qualsiasi dimensione esterna** dell'isolatore o delle dimensioni in pianta dei lamierini maggiore **del 50%**
- e) Utilizzo di un **diverso tipo di sistema di ancoraggio**
- f) Utilizzo di **diverse condizioni di vulcanizzazione**



Prove di omologazione (ITT)

Si fanno a deformazioni crescenti.

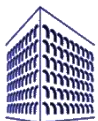
- **CS (Compression Stiffness)** - Compressione per determinare k_v – Carico max SLU (N_{Sd})
- **HCC (Horizontal Cyclic Characteristics)** - Prove cicliche con frequenza costante di 0,5 Hz e deformazioni 5-10-20-50-100% T_q - n.3 cicli Individuano G_{din} , ξ_e e K_e (al 3° ciclo con 100% T_q) - pressione verticale 6 Mpa - I valori della rigidezza secante e dello smorzamento devono ricadere entro il $\pm 20\%$ dei valori di progetto
- **FD (Frequency Dependence)** - Prove a frequenza variabile con 0,05–0,25–0,5–0,75–1–2 Hz e deformazione 100% T_q – pressione verticale 6 Mpa
- **RCD (Repeated Cycling Dependence)** – Prove cicliche ripetute (n. 10 cicli) al 100% T_q – pressione verticale 6 Mpa
- **OSR (Horizontal stiffness under a One Side Ramp loading test)** - Rampa d_{bd} (6Mpa)
- **HCC** – Prova dinamica n. 3 cicli 150% T_q se $100\% < d_{bd} < 150\%$ o 200% se $150\% < d_{bd} < 200\%$ – press vert 6MPa
- **HDC (Horizontal Displacement Capacity)** – Prova di aderenza con d_{max} con carico vert max sismico N_{Ed}



FPC – Factory Production Control testing

- **CS** - La rigidezza secante a compressione K_v deve essere determinata tra $1/3 N_{Sd}$ e N_{Sd} e deve ricadere entro il **$\pm 30\%$ del valore determinato nella prova di tipo**
- **HCC** – I valori della rigidezza secante alla deformazione di taglio e dello smorzamento ξ_e e K_e (terzo ciclo delle prove cicliche a frequenza costante con deformazione pari a $100\%T_q$) devono ricadere entro il **$\pm 20\%$ dei valori di progetto**
- **OSR** – Prova a rampa al d_{bd} . La rigidezza secante di taglio deve ricadere entro il **$\pm 20\%$ del valore determinato nella prova di tipo** (terzo ciclo delle prove cicliche a frequenza costante con deformazione pari a $100\%T_q$) corretto per tener conto della differenza della della rigidezza allo spostamento di progetto d_{bd} e il valore determinato con la prova di tipo ($100\%T_q$)

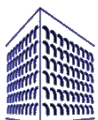
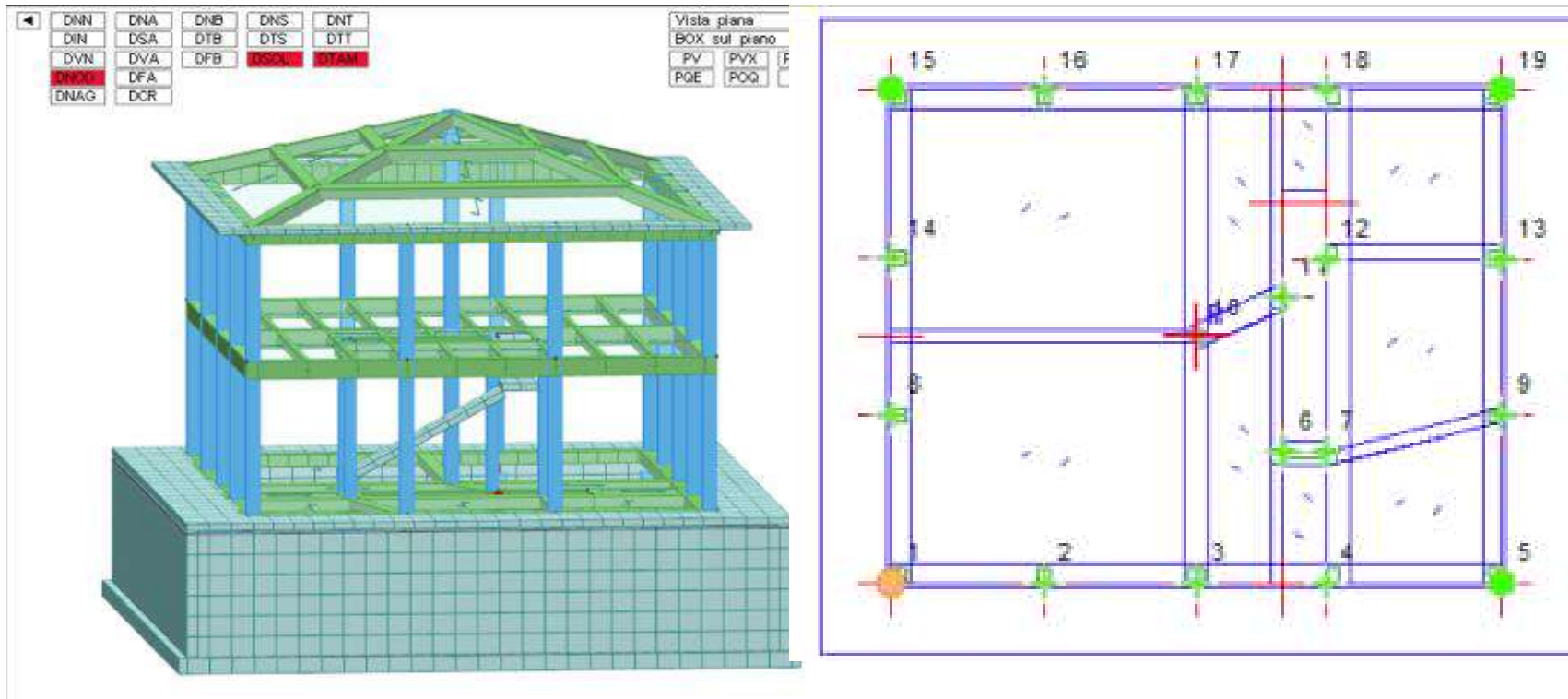
Per ciascun tipo di isolatore le prove FPC devono essere eseguite sul primo isolatore e successivamente almeno **sul 20% degli isolatori prodotti di ciascun tipo scelti a caso**. Se gli isolatori di una struttura sono **4** o meno, vanno **tutti sottoposti a prova**.



Isolamento nuova villetta residenziale ad Arezzo

n. 4 isolatori RIN300.108 (ai 4 vertici)

n. 15 slitte PL1000/±75/±75



Analisi sismica dinamica lineare

- Normativa : D.M. 2018
- Sito di costruzione: Loc. Montebenichi – comune di Bucine (AR)
- $a_g=0,1329g$ (acc. Orizz. suolo)
- $T_c^*=0,29$ sec
- $V_N=50$ anni (Vita nominale)
- $T_R=475$ anni
- Classe d'uso II
- Categoria suolo fondazione: A
- Categoria topografica T2
- $M_0=5867kN$
- $T_{bf}=0,46$ sec.
- $T_{is} = 3,45$ sec, $S_a=0,02g$

Dati e risultati isolatori

- $\xi=10\%$
- $K_{si}=2kN/mm$; $k_e=0,5$ kN/mm ($k_v=400$ kN/mm)
- $N_{ed,max}=338kN$ (isolatore) – 542kN (slitta)
- $N_{sd,max}=540kN$ (isolatore) – 925kN (slitta)
- $d_{Ed}=75$ mm; $H=38$ kN

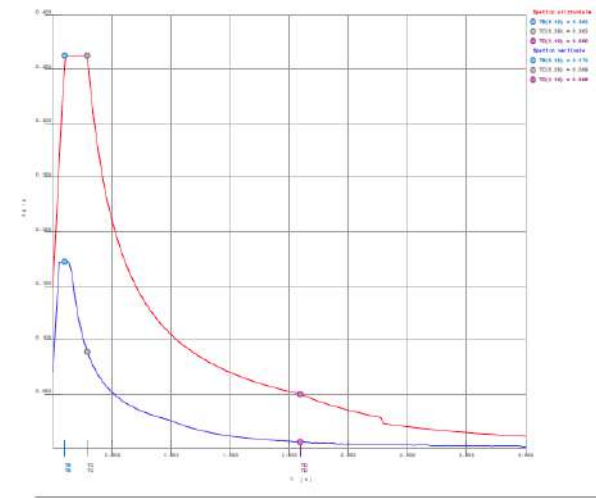
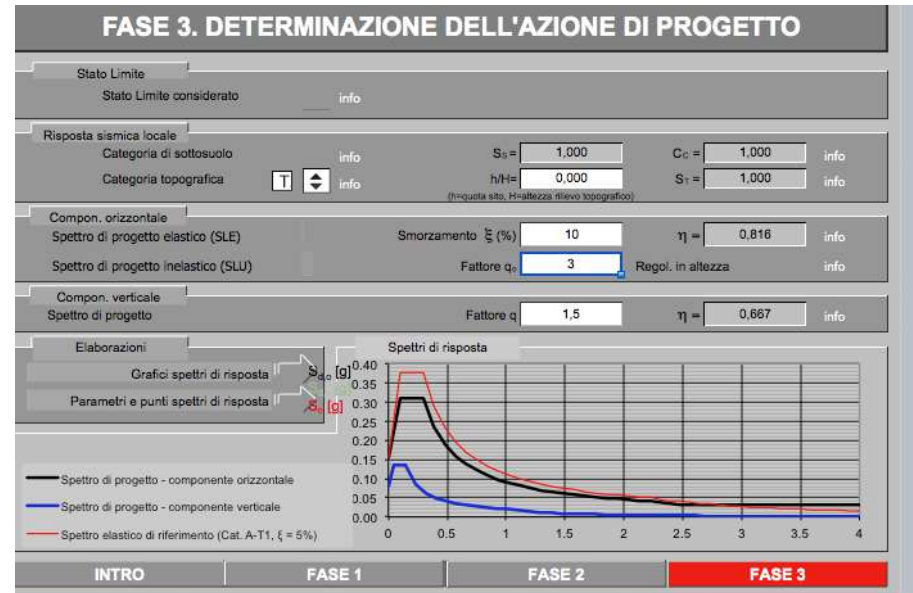
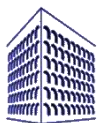
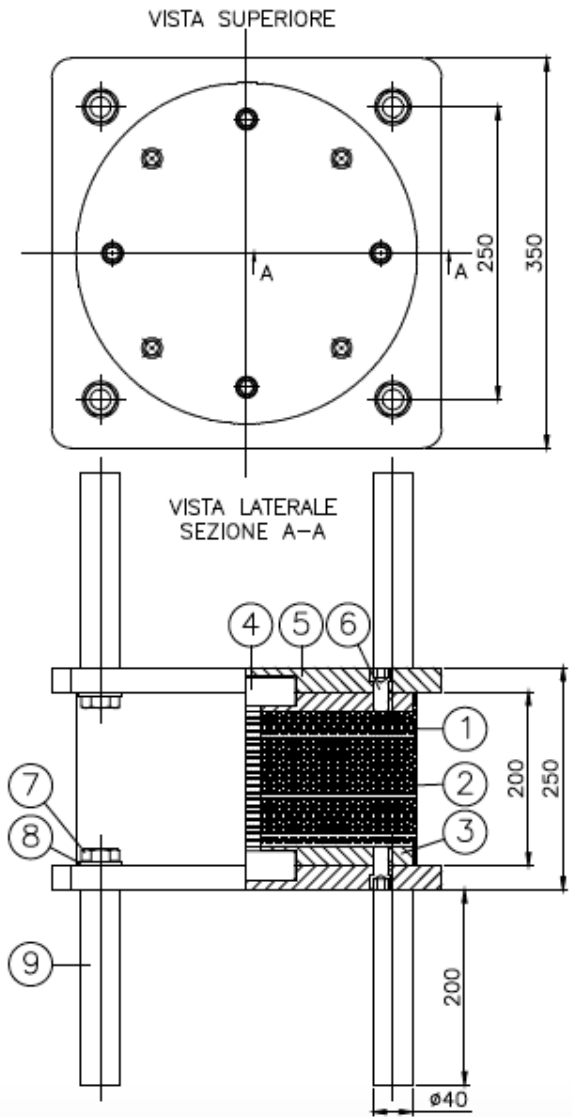


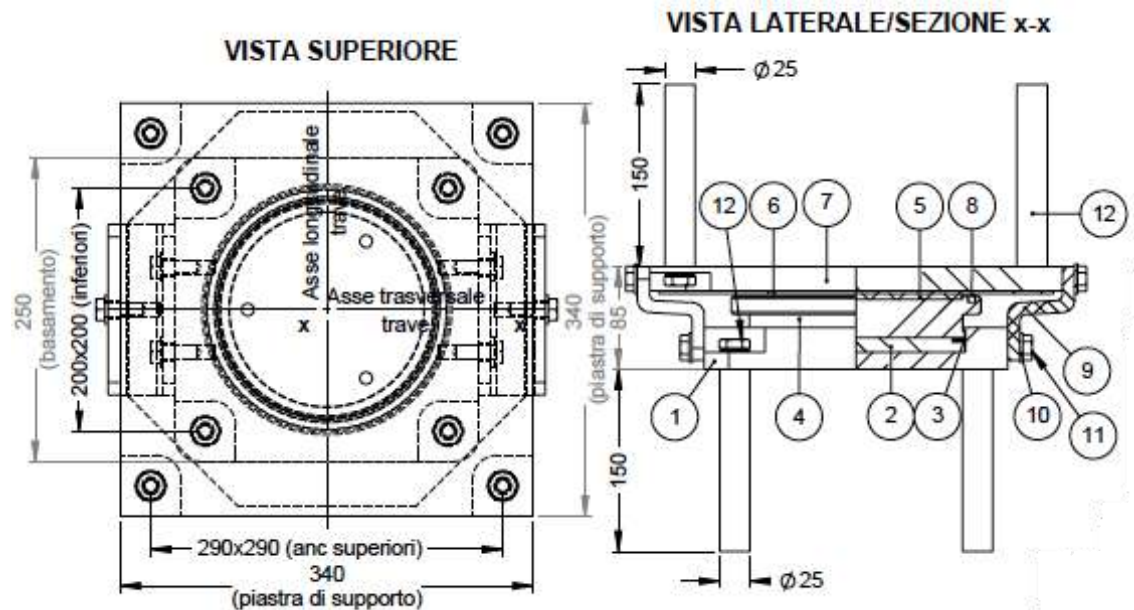
Figura numero 2: Spettro struttura isolata





n. 4 isolatori RIN300.108 (ai 4 vertici)

n. 15 slitte PL1000/ ± 75 / ± 75



FCP TEST

Compressione per determinare k_v – Carico max SLU (N_{Sd}) = 375 kN

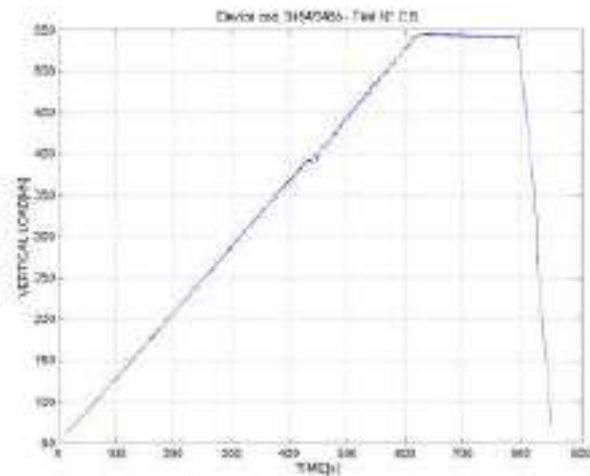


Fig. Load - Time

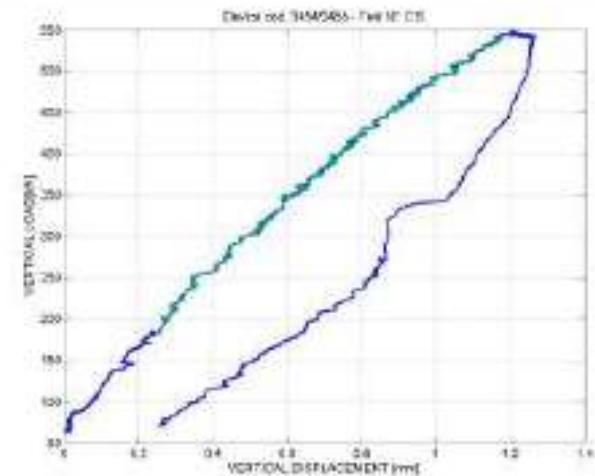
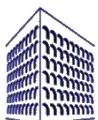


Fig. Load - Displacement

Results Estimated

DISPLACEMENT CORRESPONDING TO THE MAXIMUM LOAD REACHED	1,21	mm
DISPLACEMENT CORRESPONDING TO THE 33% OF THE MAX. LOAD	0,24	mm
MAXIMUM LOAD REACHED	545,29	kN
33% OF THE MAXIMUM LOAD REACHED	181,72	kN
VERTICAL STIFFNESS K_v	375,37	kN/mm



FCP TEST

Prove cicliche con
frequenza cost = 0,5
Hz e def 100%T_q (3
cicli) - press vert 6
MPa

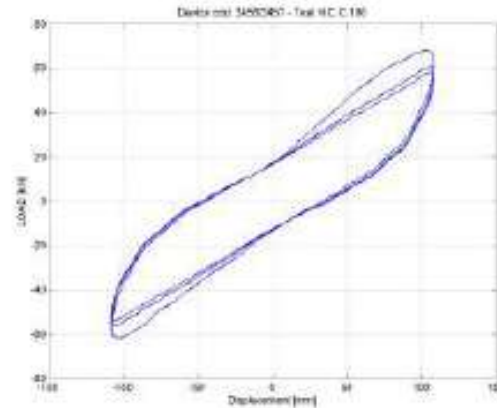


Fig. : Displacement – Load - Total Cycles

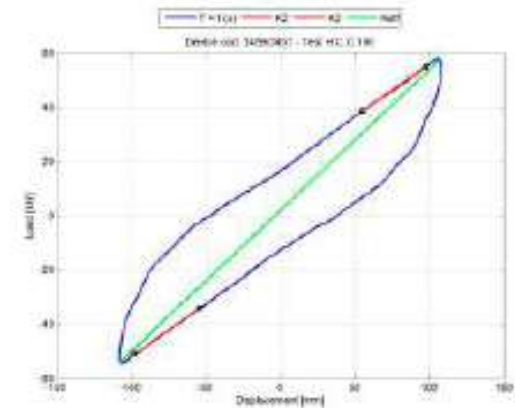


Fig. : Displacement – Load - Cycle n°3

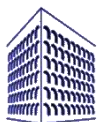
Al terzo ciclo:

$G_{din'} = 0,79$ MPa

$\xi_e = 15,99\%$

$K_e = 0,52$ kN/mm

<i>Results Estimated</i>	<i>Cycle 1</i>	<i>Cycle 2</i>	<i>Cycle 3</i>	
MAXIMUM DISPLACEMENT	108,15	107,96	107,99	Mm
MINIMUM DISPLACEMENT	-107,93	-107,94	-107,8	Mm
MAXIMUM LOAD	67,87	60,45	58,04	kN
MINIMUM LOAD	-61,45	-56,33	-54,09	kN
EFFECTIVE STIFFNESS KEFF _B	0,6	0,54	0,52	kN/mm
DISSIPATED ENERGY	7159,34	6332,09	6075,58	J
DAMPING	16,31	15,99	15,99	%
SECOND BRANCH STIFFNESS K ₂	0,46	0,4	0,38	kN/mm
SHEAR MODULUS G	0,91	0,83	0,79	MPa
LOAD Q _D (POSITIVE BRANCH)	16,93	17,14	16,97	kN
LOAD Q _D (NEGATIVE BRANCH)	-12,3	-12,41	-12,36	kN
LOAD Q _D (MEAN VALUE)	14,61	14,78	14,67	kN



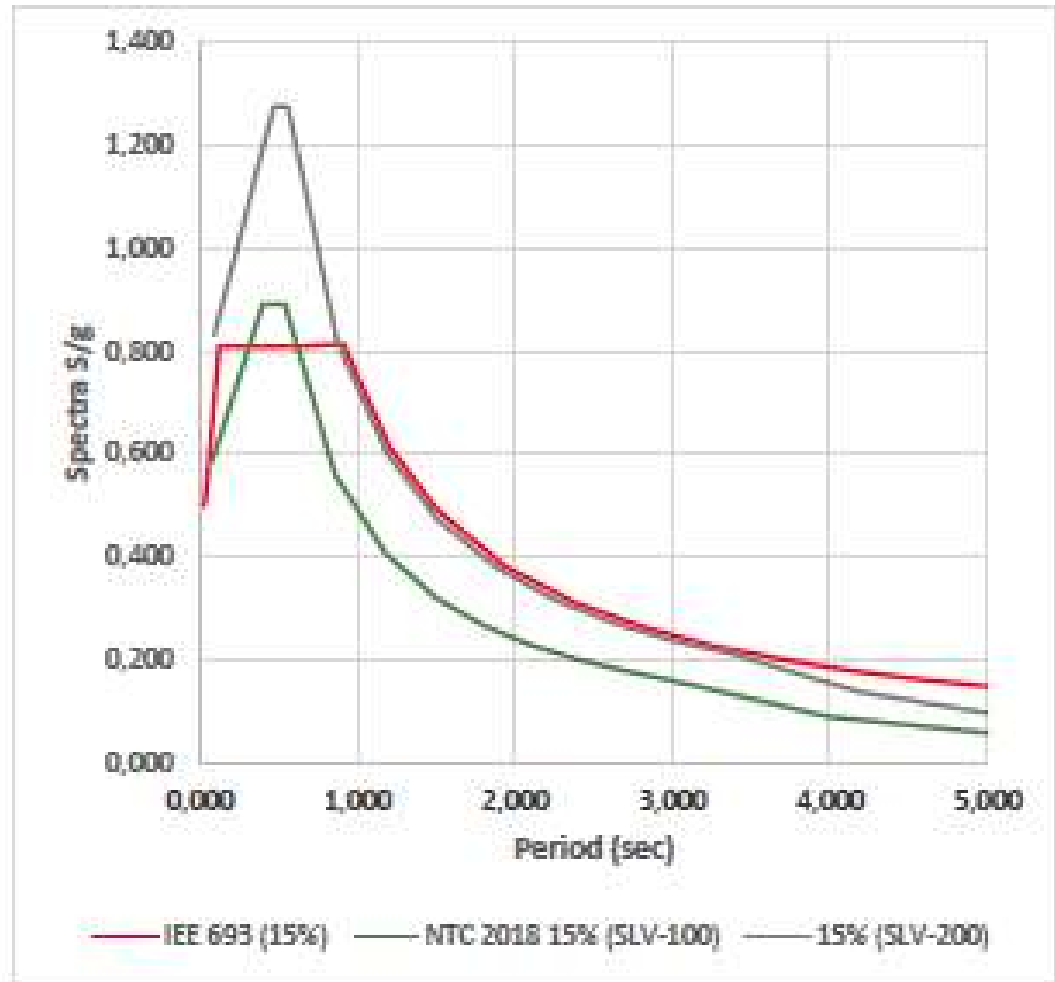




Isolamento trasformatori Loc. Maida

Spettro elastico corrispondente al livello "High" della norma IEEE693-2018 con il 15% di smorzamento e $\eta=0,707$

- $a_g=0,51g$ (NTC2008 $a_g=0,343g$)
- Suolo C
- Cat T1
- Classe IV (opera strategica)
- cu 2
- V_N (SLV) = 50 anni
- $Tr = 949$ anni (Tr 100 a inv 200 come ad es. le dighe)



STEP UP 290 kV

- 4 RIN500/126
- $P=2650$ kN
- $T_{is}=1,5$ sec
- $K_{si}=5$ kN/mm da cui $k_e=1,25$ kN/mm
- $S_a=0,493g$
- $d_{Ed}=\pm 261$ mm
- $F_e=327$ kN

Si utilizzano n. 4 RIN500/126 per macchina



BIBERON 10 kV

- 2 RIS400/222
- 2 PL500/275/275



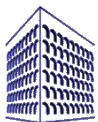
BIBERON 10 kV

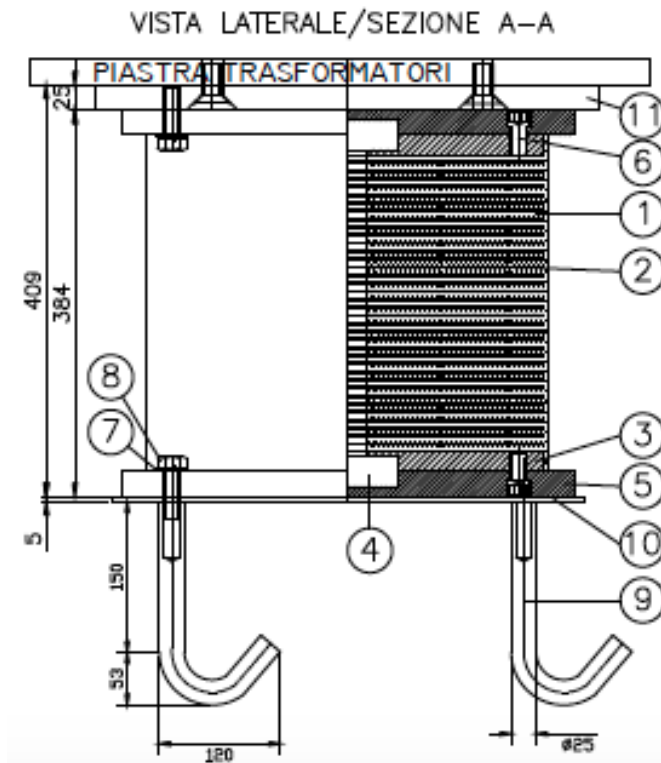
- $P=245$ kN
- $T_{is}=1,5$ sec
- $K_{si}=0,44$ kN/mm da cui $k_e=0,22$ kN/mm
- $S_a=0,493g$
- $d_{Ed}=\pm 275$ mm
- $F_e=60$ kN

Si utilizzano n. 2 RIS400/222 e n. 2 PL500/275/275 per macchina, posizionati su spigoli contrapposti

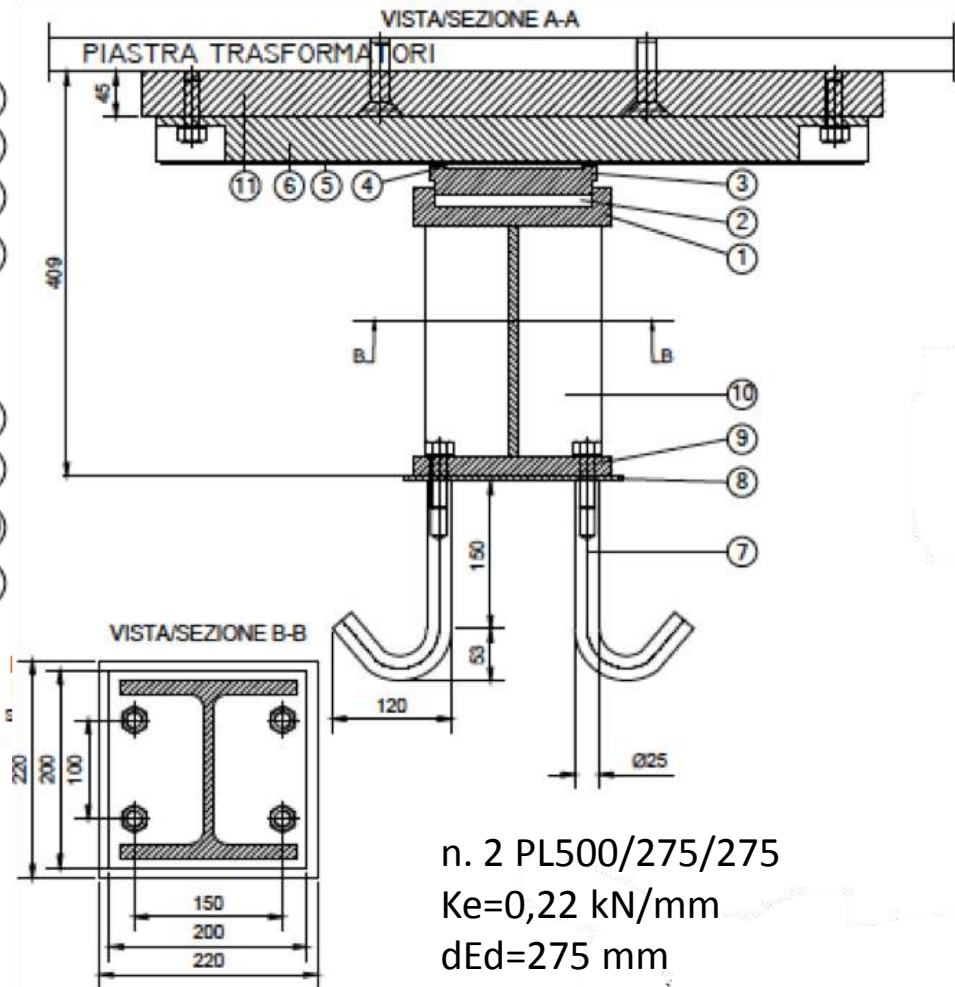
PROBLEMATICHE BIBERON

- **Peso basso** (245 kN)
- **Impossibilità di avere $T_{is} \geq 1,5$ sec**, perchè i movimenti sarebbero troppo alti ($T_{is}=2$ sec, $K_{si}=0,25$ kN/mm da cui $d_{Ed}=\pm 490$ mm) ($k_h=GA/T_q$; $d_{Ed}=F/k_{esi}$)
- **Impossibilità di ridurre ulteriormente la rigidezza** per impedire movimenti troppo alti ($d_{Ed}=\pm 275$ mm e ' stato preso come un valore limite, con una deformazione della gomma che non arriva neanche al 100%)
- **Impossibilità di utilizzare 4 isolatori ($k_e=0,11$ kN/mm**: la bassa rigidezza richiederebbe degli scorrimenti troppo elevati (± 375 mm). Il dispositivo che ne deriva è un RIS550/855 con altezza $H=1133$ mm (quasi 6 volte maggiore in volume), con deformazione al 43% (non ottimizzato) a causa delle verifiche di stabilità, incompatibile con qualunque tipo di fattibilità costruttiva
- **Non avrebbe senso agire sulla massa aumentandola** (zavorra). Servirebbero 12,5 tonn, equivalenti a metà dell'intero peso (piastra $4,5 \times 3 \times 0,12$ metri) per avere comunque 4 RIS 400/300 e $H=488$ mm, con un aumento in volume del 27% di quello della soluzione scelta e col risultato dell'appesantimento della struttura con scorrimenti confrontabili ($d_{Ed}=\pm 265$ mm) e un incremento del 50% della forza agente.





n. 2 RIS400/222
 $K_e=0,22 \text{ kN/mm}$
 $K_v=193 \text{ kN/mm}$
 $d_{Ed}=262 \text{ mm (H=60kN)}$
 $N_{Sd,max}=250 \text{ kN}$
 $N_{Ed,max}=125 \text{ kN}$



n. 2 PL500/275/275
 $K_e=0,22 \text{ kN/mm}$
 $d_{Ed}=275 \text{ mm}$
 $N_{Sd,max}=500 \text{ kN}$



SOLUZIONE ALTERNATIVA BIBERON 10 kV

Soluzione con isolamento

su due piani

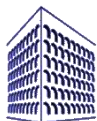
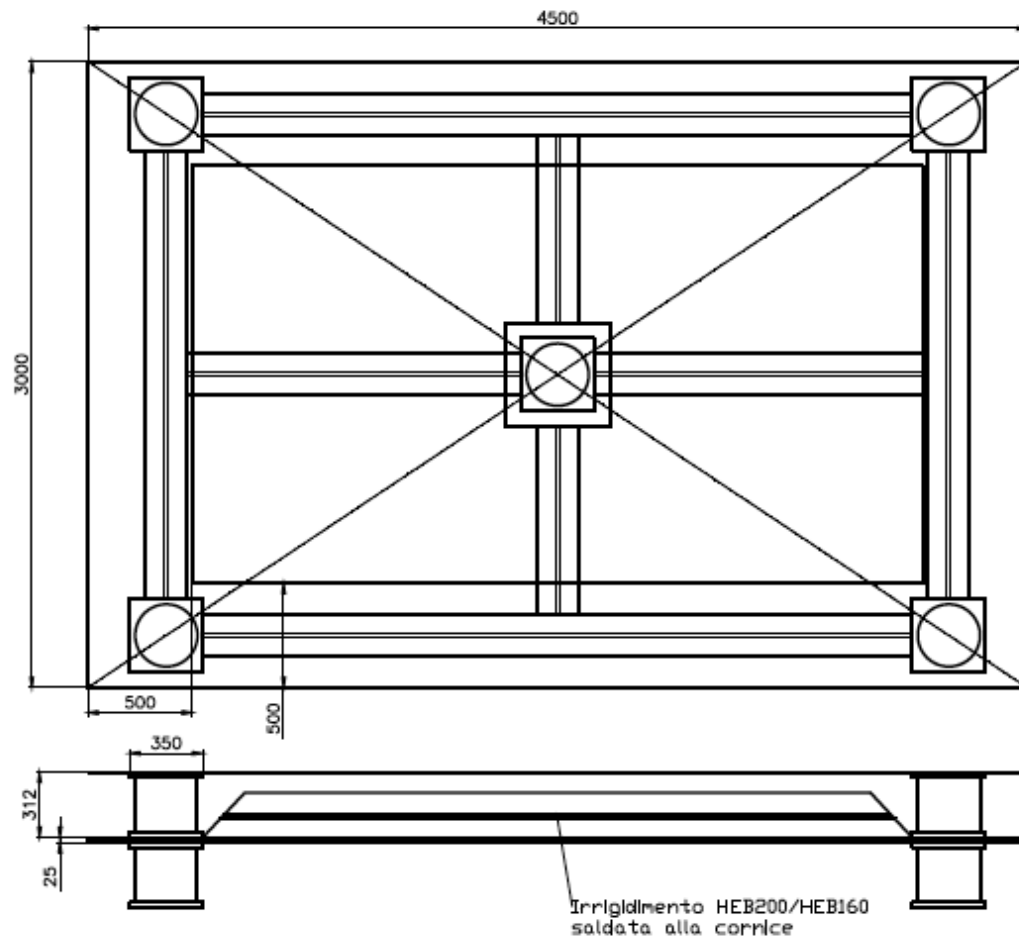
n. 10 RIS300/160

$K_h=0,176 \text{ kN/mm}$

$K_v=138 \text{ kN/mm}$

$d_{Ed}=135 \text{ mm (H=24kN)}$

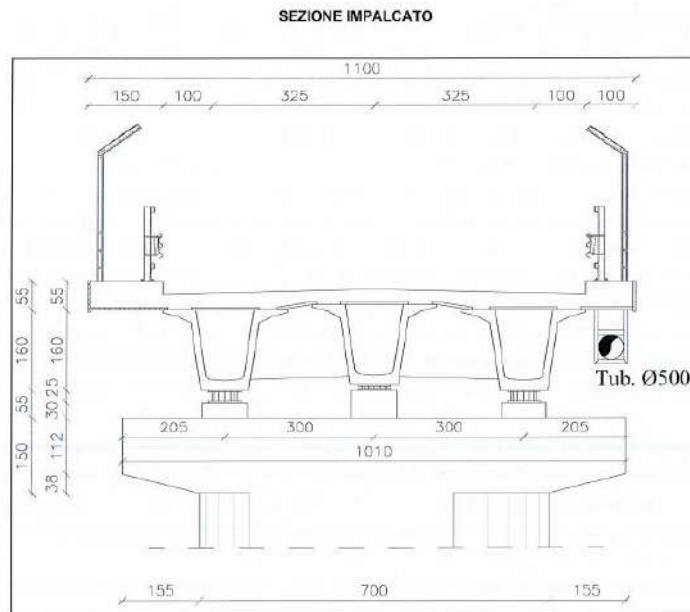
$H_{tot}=312 \text{ mm}$



Isolamento nuovo ponte fiume Ufita, Apice (BN)

Realizzazione del nuovo ponte sui fiume Ufita (prov. Benevento) in sostituzione di quello esistente danneggiato dalla piena del fiume per le intense precipitazioni del dicembre 2013.

- Viadotto in calcestruzzo armato costituito da **n.3 impalcati** (2 spalle e 2 pile) di luce pari a 28,50 m.
- Per ogni impalcato ci sono **3 travi in cap** e interasse 3 m tra loro e poggiano su 3 baggioli 70x70 cm. Le travi sostengono una **soletta continua in calcestruzzo** armata con spessore minimo 26 cm.



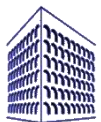
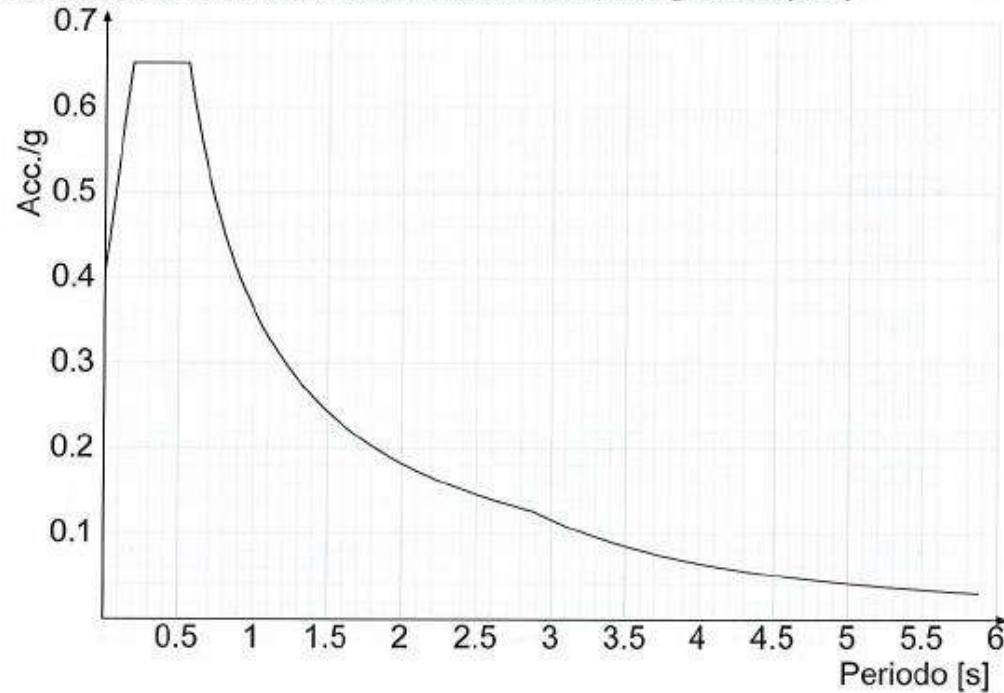
- N.12 RIH400.80
- N.6 PL3000/155



Isolamento nuovo ponte fiume Ufita, Apice (BN)

- Analisi dinamica lineare DM 08
- Dati sismici: Tipo costr 2, Cu III, Vn=50 anni, Vr=75 anni Sito Apice Vecchio, Benevento, cat suolo C, T1, $\xi=15\%$, $F_{0SLV}=2,285$, $A_g/g_{SLV}=0,32$, $T_{rSLV}=711$, $T^*_{CSLV}=0,391$ sec.
- $T_{si}=1,234$, $\xi=15\%$

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali SLV § 3.2.3.2.1 (3.2.4)

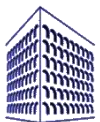
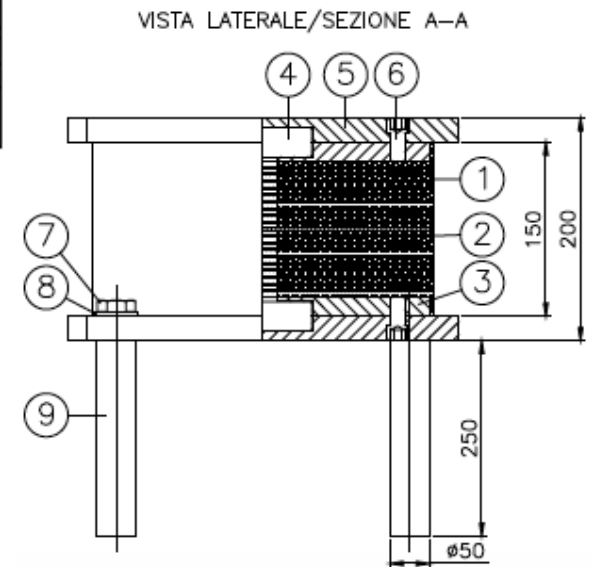
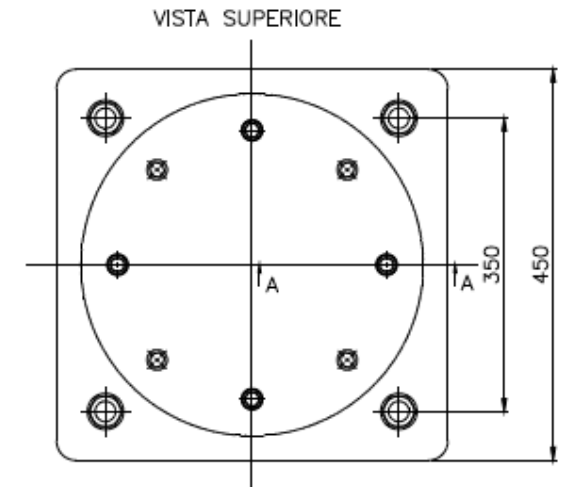


Isolamento nuovo ponte fiume Ufita, Apice (BN)

- Schema statico = (2 SIH500.102 + 1 slitte 300/100/50)x6
- n.12 RIH400.80 con $k_e=2,3$ kN/mm, $K_v=1451$ kN/mm, 16x5 mm $H_{tot}=150$ mm, $ded=\pm 155$ mm, $V=1500$ kN, $S=18,25$
- n.6 PL3000/155
- Richiesta isolatori: 12 strati gomma 8,5, $k_e=2,7$ kN/mm $k_v=1840$ kN/mm, $S_1=14$, $t_e=104$ mm

PRESTAZIONI ISOLATORE

SIGLA	Modulo di taglio	Rigidezza orizzontale	Rigidezza orizzontale	Smorzamento	Spostamento sismico di progetto	Carichi verticali SLU	Carichi verticali sismici	Carico orizz. sis.
	G	k_h	k_v	z	dEd	$N_{sd,max}$	$N_{Ed,max}$	H
	MPa	kN/mm	kN/mm	%	mm	kN	kN	kN
RIH400/80	1.4	2,3±20%	1450±30%	15±20%	155	1500	1350	345

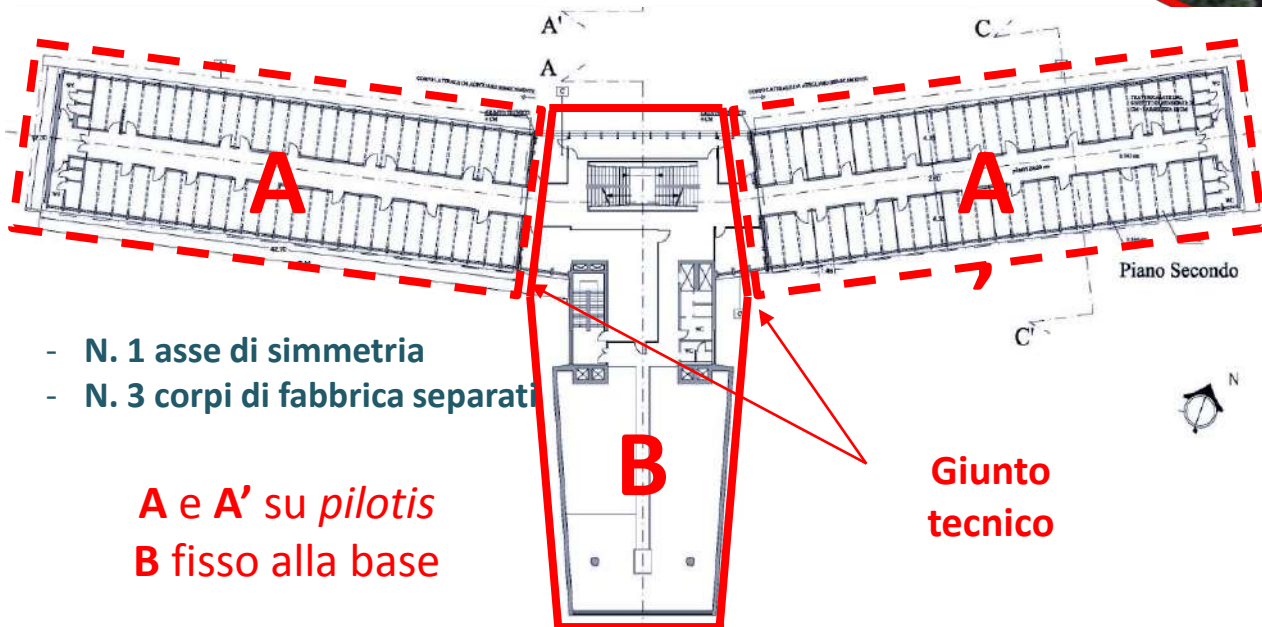


Isolamento Palazzo Fagnoni Centro direzionale Autostrade per l'Italia

Intervento di retrofit con isolamento sismico alla base
(adeguatezza sismica dell'edificio pari al 45%)

Dispositivi di isolamento:

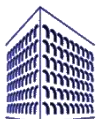
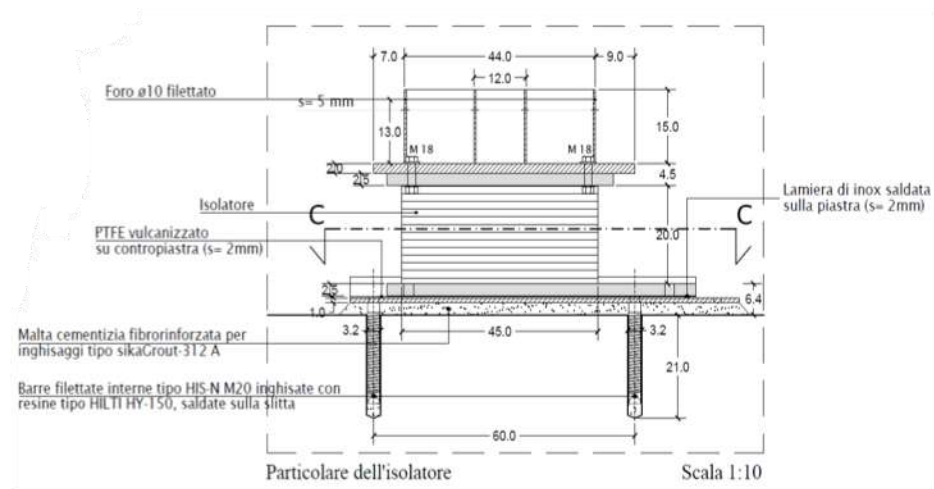
- n. 13+13 scivolatori a tripode
- n. 11+11 isolatori in elastomero



L'EDIFICIO

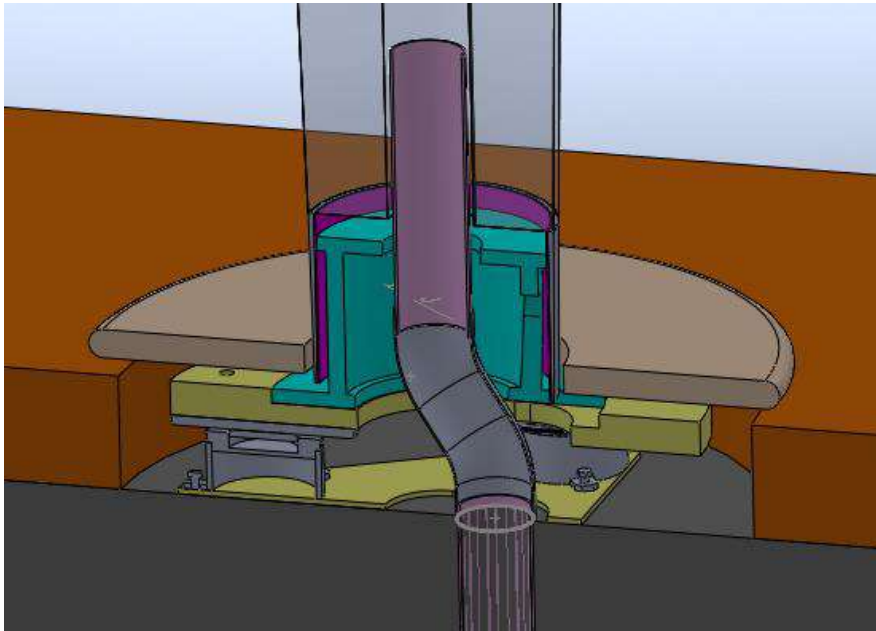


Isolatori elastomerici



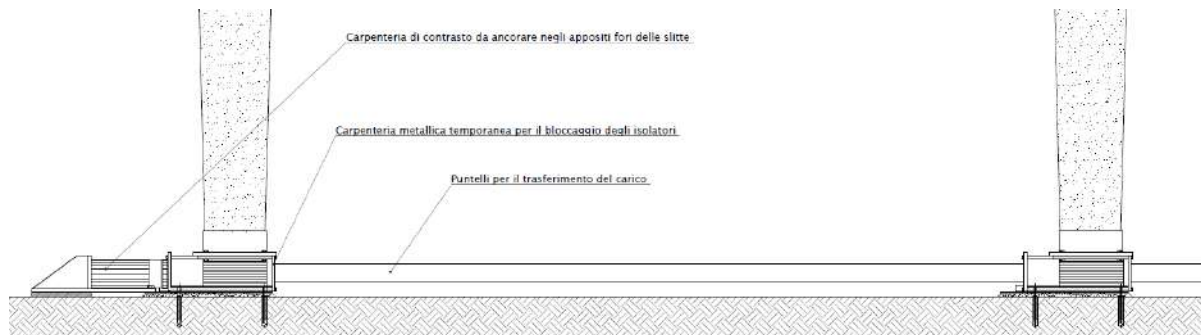
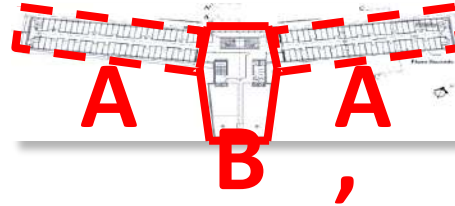
Scivolatori a tripode

- Alcuni pilastri ospitavano i discendenti di scarico delle acque e sotto di essi non sarebbe stato possibile installare dei dispositivi elastomerici (avrebbe comportato la realizzazione di fori al loro interno)
- Adozione di dispositivi a scorrimento “tripodi” (perché poggiano su tre punti) con un foro per il passaggio delle tubature
- Numero maggiore di tripodi rispetto a quello strettamente necessario, per posizionare il centro delle rigidezze il più possibile vicino a quello delle masse, per minimizzare gli effetti torsionali

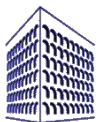


Gli edifici laterali sono troppo vicini al corpo centrale

- Giunto strutturale 40 mm
- Necessità di portarlo a 200 mm per permettere il movimento richiesto dall'isolamento (+-100 mm) evitando il martellamento
- Soluzione: traslazione dell'edificio senza interrompere l'operatività della struttura



Soluzione: allontanamento degli edifici



Isolamento alla base e spostamento dell'edificio

- Inserimento degli Isolatori pre-deformati dello spostamento necessario ad allontanare i due edifici (allo SLC)
- Rimozione delle carpenterie di bloccaggio isolatori
- Rilascio e richiamo elastico degli isolatori alla posizione indeformata spostando l'edificio della quantità desiderata ($d=100$ mm)



Fase di rilascio

- La fase di rilascio è stata bilanciata da un sistema di tirantature che collegava i due edifici tra loro, in grado di assorbire la forza conseguente al richiamo degli isolatori deformati. E ciò ha consentito di liberare tutti gli isolatori dai blocchi, assorbendone la reazione, e dopo di controllarne l'azione di richiamo arrivando allo spostamento finale delle due ali



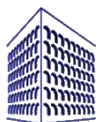
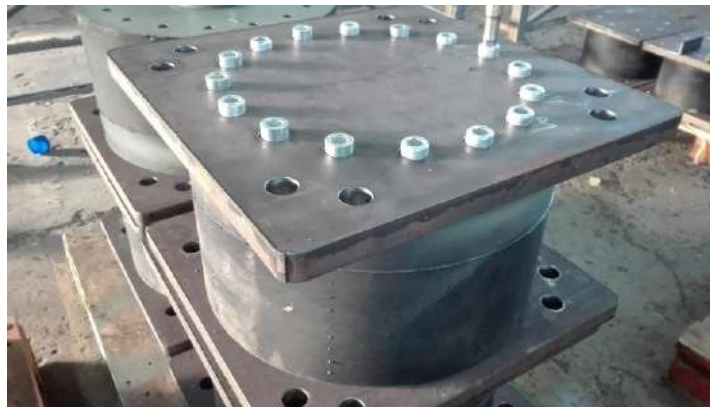
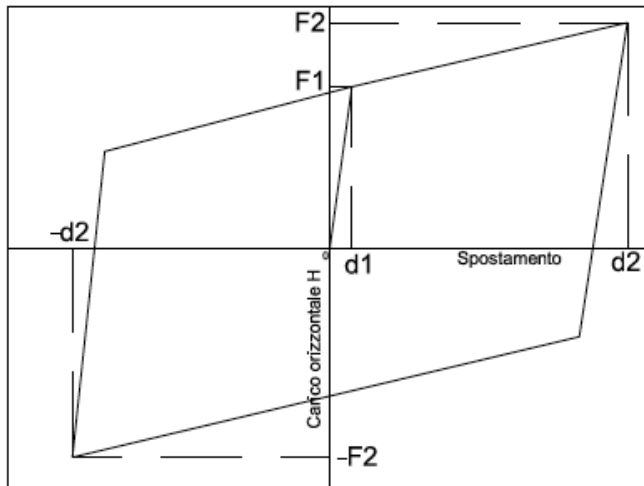
Adeguamento sismico viadotto esistente in Antrodoco (Rieti)

Dispositivi:

- **n. 128 RIN350/100**, $k_e=0,77$ kN/mm, $k_v=597$ kN/mm $\xi=10\%$, $d_{Ed}=200$ mm, $N_{Sd,max}=2100$ kN, $N_{Ed,max}=510$ kN, $H=154$ kN come da richiesta di progetto
- **n. 11 LIH500/182 (155)**, $k_e=1,92$ kN/mm, $\xi=28\%$, $F_2=691$ kN, $F_1=348$ kN, $d_1=15$ mm, $d_2=d_{Ed}=360$ mm, $k_v=1414$ kN/mm, $H_{max}=695$ kN, $G=1,4$ Mpa $N_{Sd,max}=2100$ kN, $N_{Ed,max}=610$ kN, $H=695$ kN

F1 [kN]	d1 [mm]	F2[kN]	d2 [mm]
348	15	691	360

n° strati di gomma	9
Sp. strati di gomma	20mm



Prove di omologazione ITT RIN500.182

- Prova dinamica n.10 cicli $150\%T_q$
- Aderenza d_{max} con carico verticale max. sismico N_{Ed}



Grazie per l'attenzione ...

