ISOLATORI E SMORZATORI SISMICI:

TECNOLOGIA, APPLICAZIONI, CALCOLO

Dott. Ing. Agostino Marioni

Università di Brescia 29 Novembre 2005

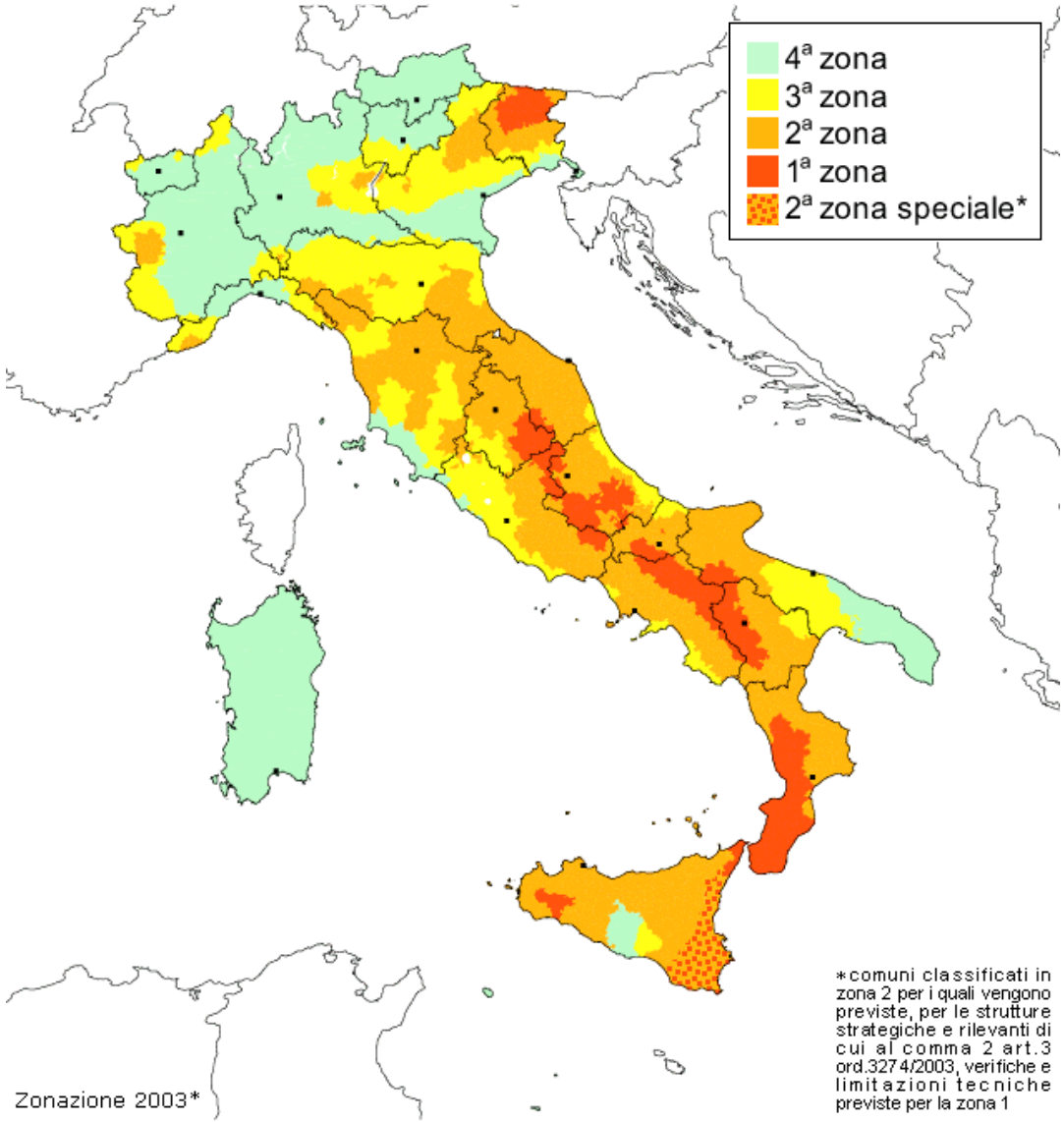
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Riferimenti Normativi

- Norme tecniche per le costruzioni, pubblicata in G. U. in Ottobre 2005
- Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio
- EN 1998 (Eurocode 8)
- CNR 10018 Appoggi Strutturali
- EN 1337 Appoggi Strutturali
- prEN 15129 Normativa Europea sui Dispositivi Antisismici (in preparazione dal CEN TC 340)

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Zone sismiche in base all'Ordinanza 3274



Alga TECHNOLOGICALTHINKING

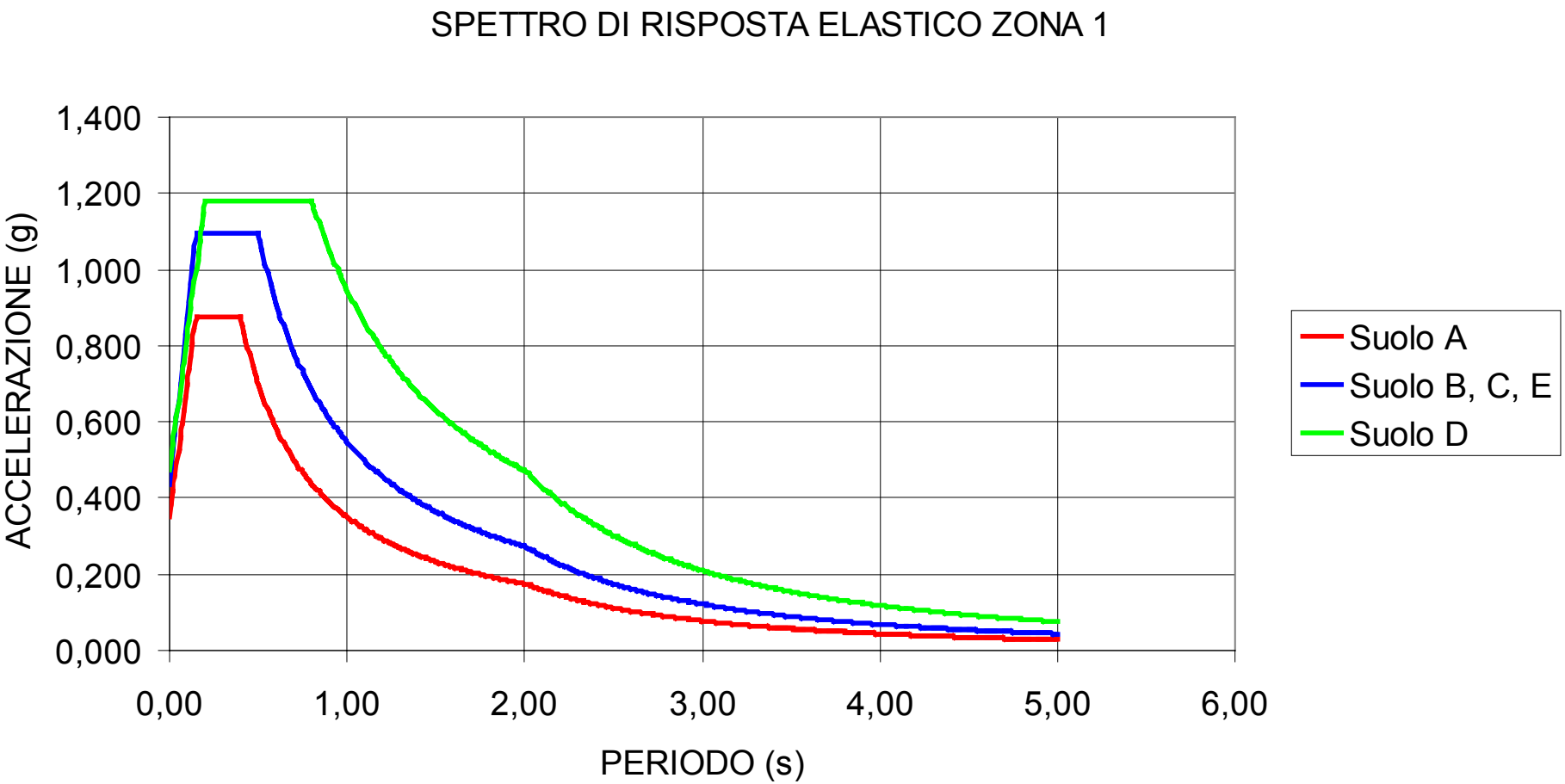
AZIONE SISMICA

L'azione sismica viene descritta attraverso lo spettro di risposta elastico che viene definito in base ai seguenti parametri:

- Categorie di suolo (A, B, C, D, E)
- Zone sismiche (1=0,35g; 2=0,25g; 3=0,15g; 4=0,05g)
- Smorzamento viscoso equivalente
- SLU o SLD. Allo SLD le ordinate dello spettro elastico vengono divise per 2,5

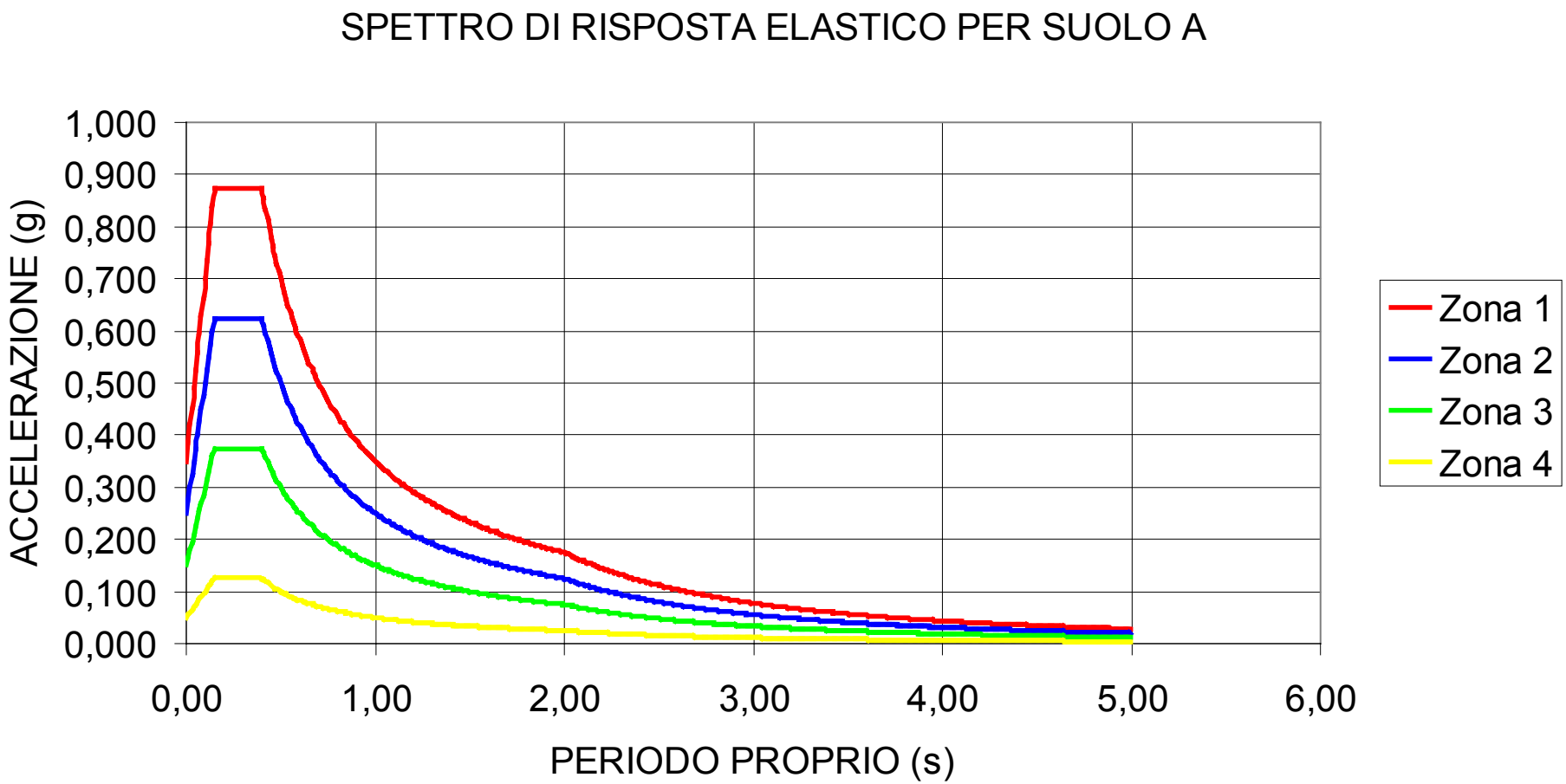
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

AZIONE SISMICA - CATEGORIE DI SUOLO



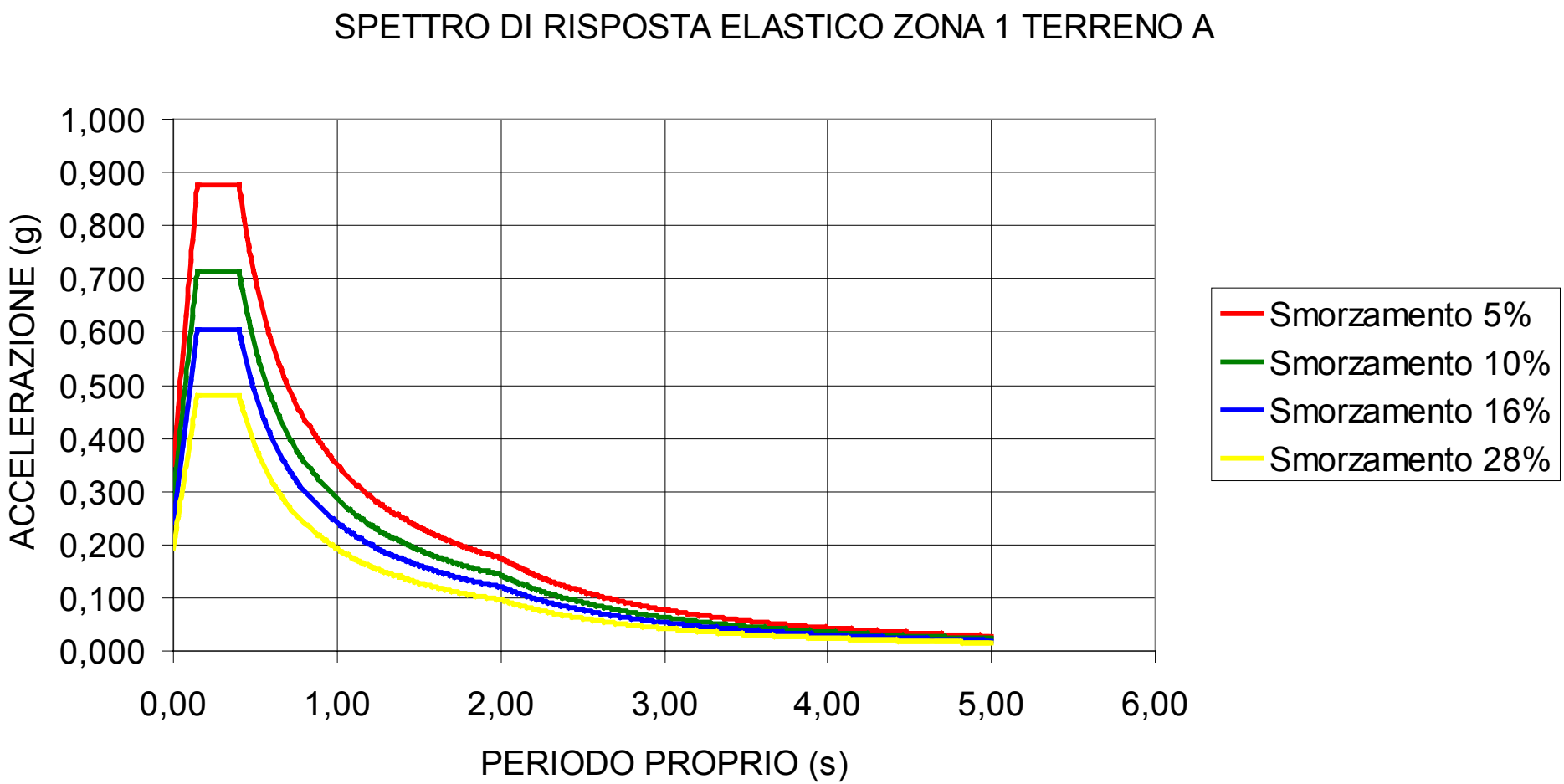
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

AZIONE SISMICA - ZONA



Alga TECHNOLOGICALTHINKING

AZIONE SISMICA - SMORZAMENTO



Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Tipologie di Dispositivi Antisismici in base alle loro prestazioni

- Collegamenti rigidi
  - Ritegni (Perni e Guide)
  - Connettori Idraulici
- Dispositivi non dipendenti dalla velocità
  - Dispositivi Lineari
  - Dispositivi Non Lineari
- Dispositivi dipendenti dalla velocità
- Isolatori
  - Dispositivi scorrevoli
  - Appoggi in gomma (Alto o basso smorzamento)

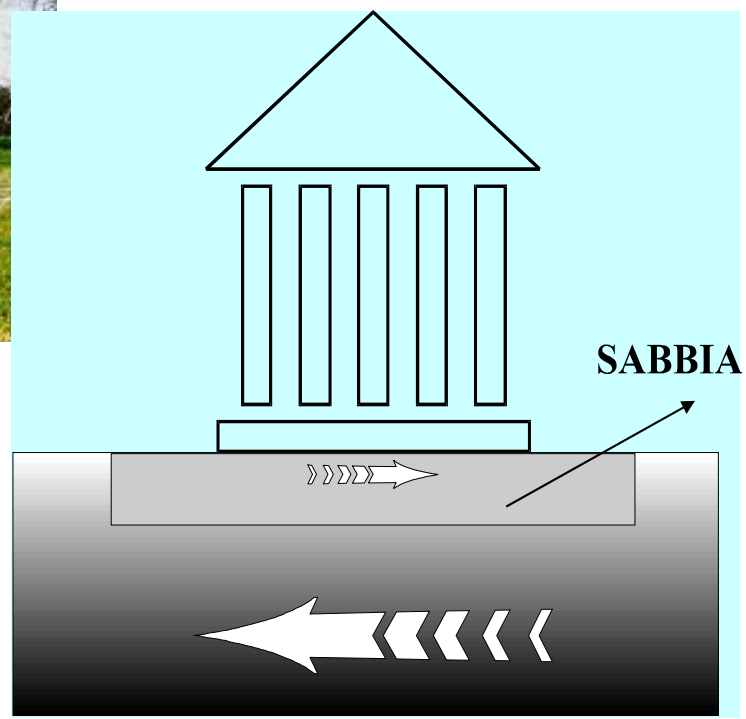
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Funzioni di un sistema di isolamento sismico

- Sopportare il peso delle strutture
- Consentire lo spostamento orizzontale
- Generare una forza di ricentraggio
- Dissipare energia

L'Isolatore antisismico è un dispositivo che concentra le quattro funzioni in un'unità

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



L'isolamento sismico non è un concetto nuovo: Plinio il Vecchio è il primo a citare provvedimenti antisismici per il tempio di Diana a Efeso

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Tipologie di dispositivi antisismici comunemente impiegati in Europa

- Appoggi in gomma ad elevata dissipazione di energia (HDRB)
- Appoggi in gomma - piombo (LRB)
- Dispositivi non lineari isteretici (eventualmente combinati con un appoggio scorrevoli)
- Ammortizzatori viscosi
- Connettori idraulici (eventualmente combinati con dispositivi isteretici)

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Metodi di progettazione antisismica

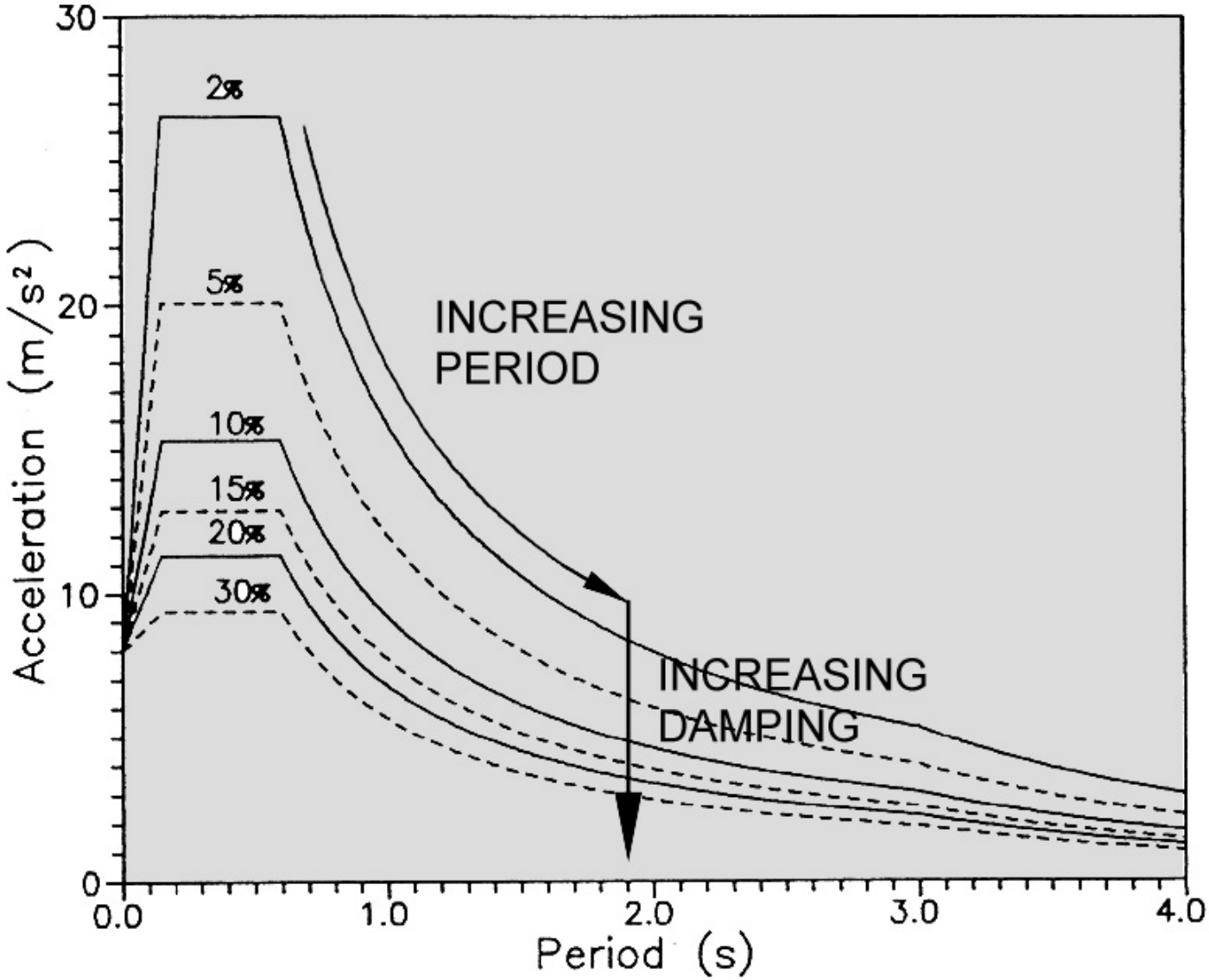
- Progettatione convenzionale
  - ⇒Danni strutturali sono ammessi
  - ⇒Il collasso allo SLU è impedito
  - ⇒La stabilità è conseguita aumentando la resistenza strutturale
- Progettazione tecnologicamente avanzata
  - ⇒La stabilità è ottenuta riducendo la risposta sismica
  - ⇒Eventuali danni sono concentrati nei dispositivi
  - ⇒La struttura ed il suo contenuto sono protetti dai danni

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

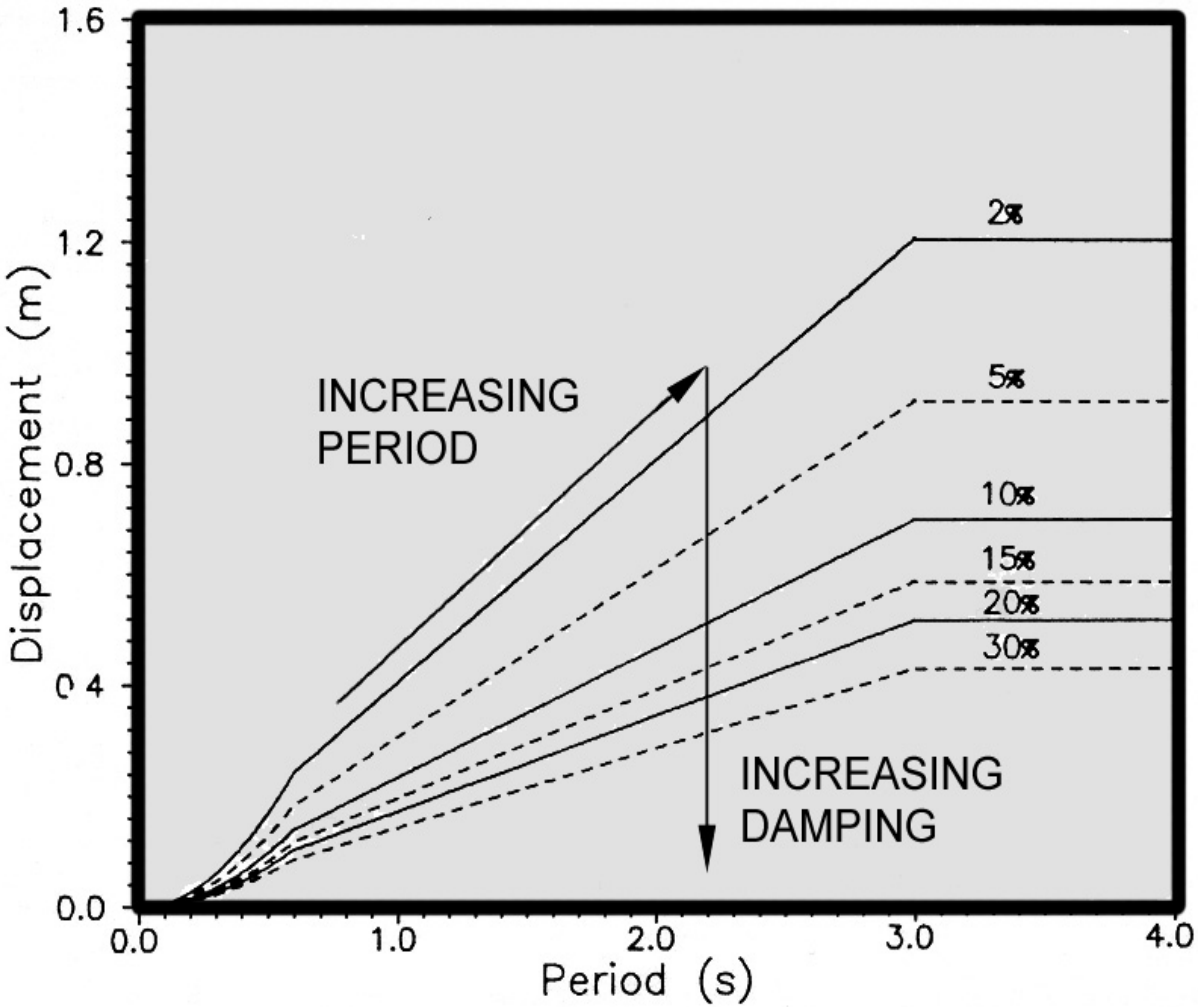
L’assenza di danno è fondamentale per le seguenti strutture

- Strutture ad alto rischio (centrali nucleari, impianti chimici ecc.)
- Infrastrutture (ponti e viadotti)
- Edifici pubblici (ospedali, centri di emergenza, ecc)
- Strutture adibite alla difesa
- Strutture che contengono componenti di elevato valore
- Monumenti artistici e storici

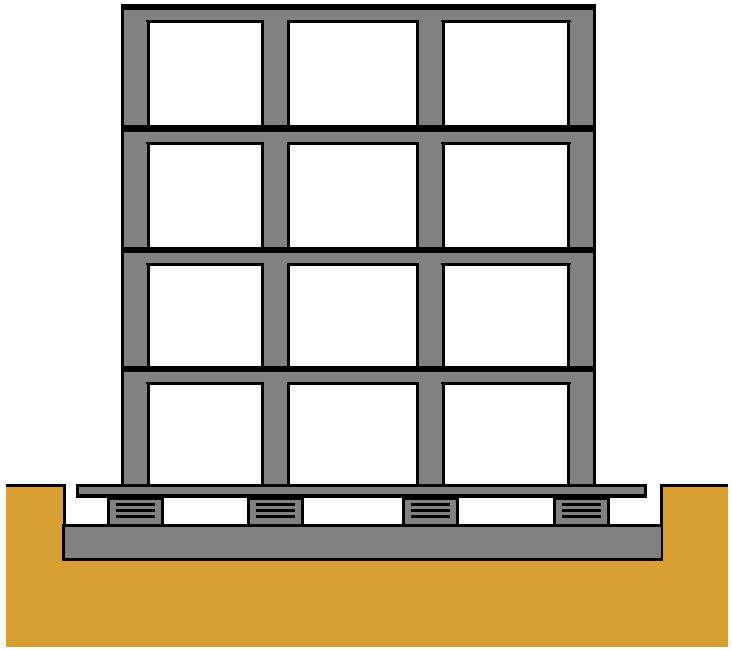
Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Spettro di risposta in funzione dello smorzamento



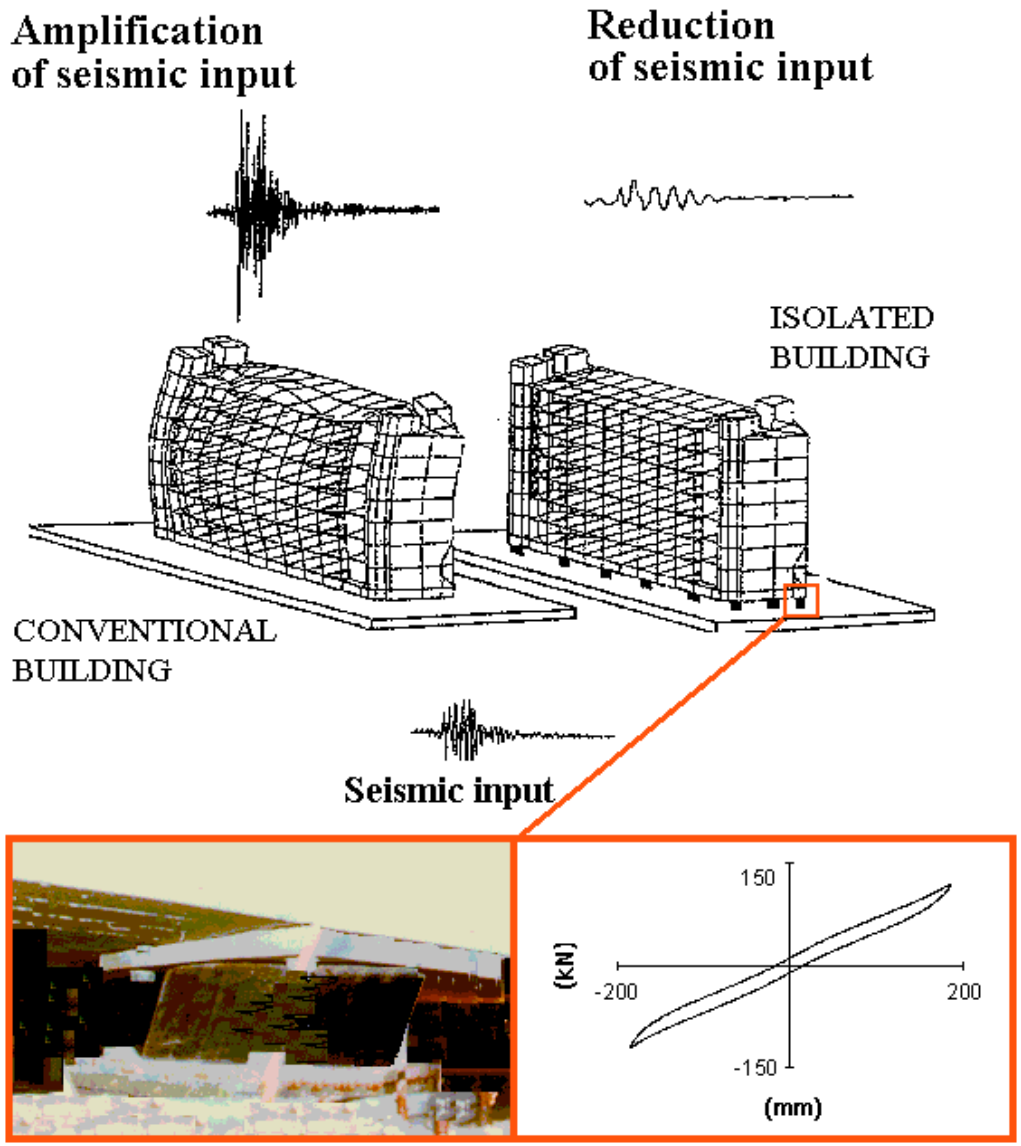
Spettro dello spostamento in funzione dello spostamento



(a)

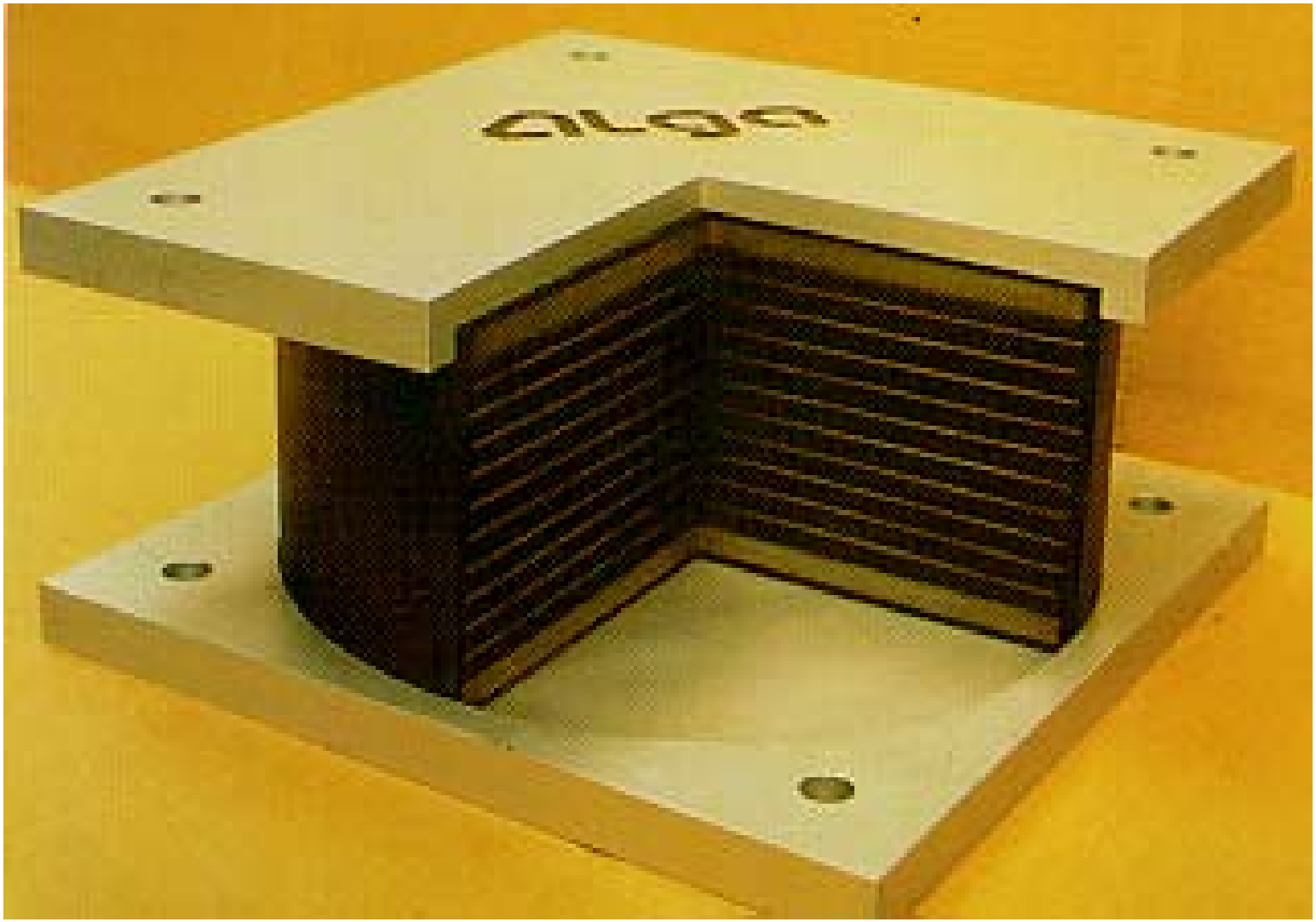
L'isolamento sismico alla base è l'unico sistema che permette di proteggere sia la struttura che le parti non strutturali ed il contenuto

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Funzione degli isolatori sismici in gomma

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

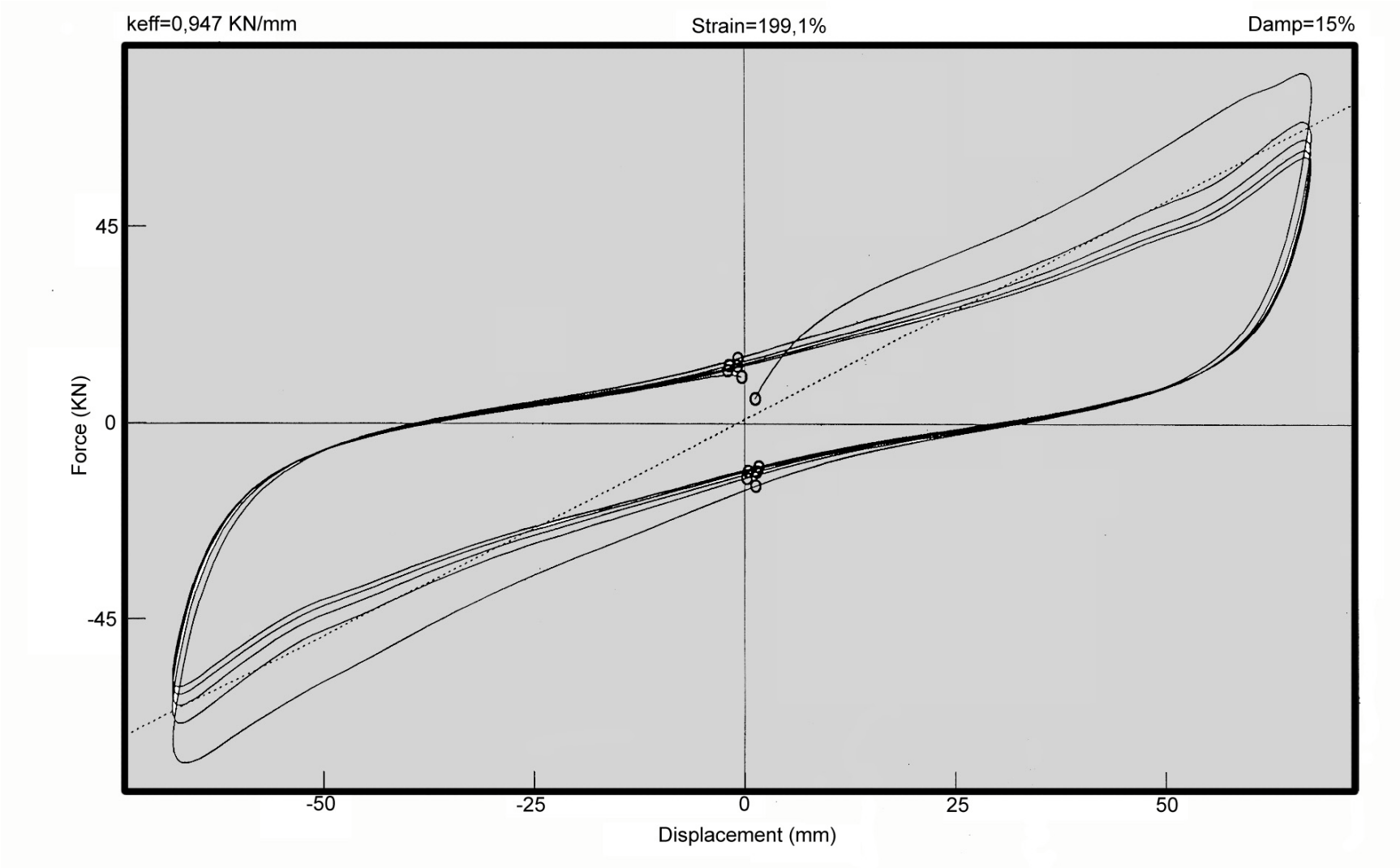


Isolatore in gomma ad elevato smorzamento (HDRB)

alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Isolatore in gomma - piombo

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING



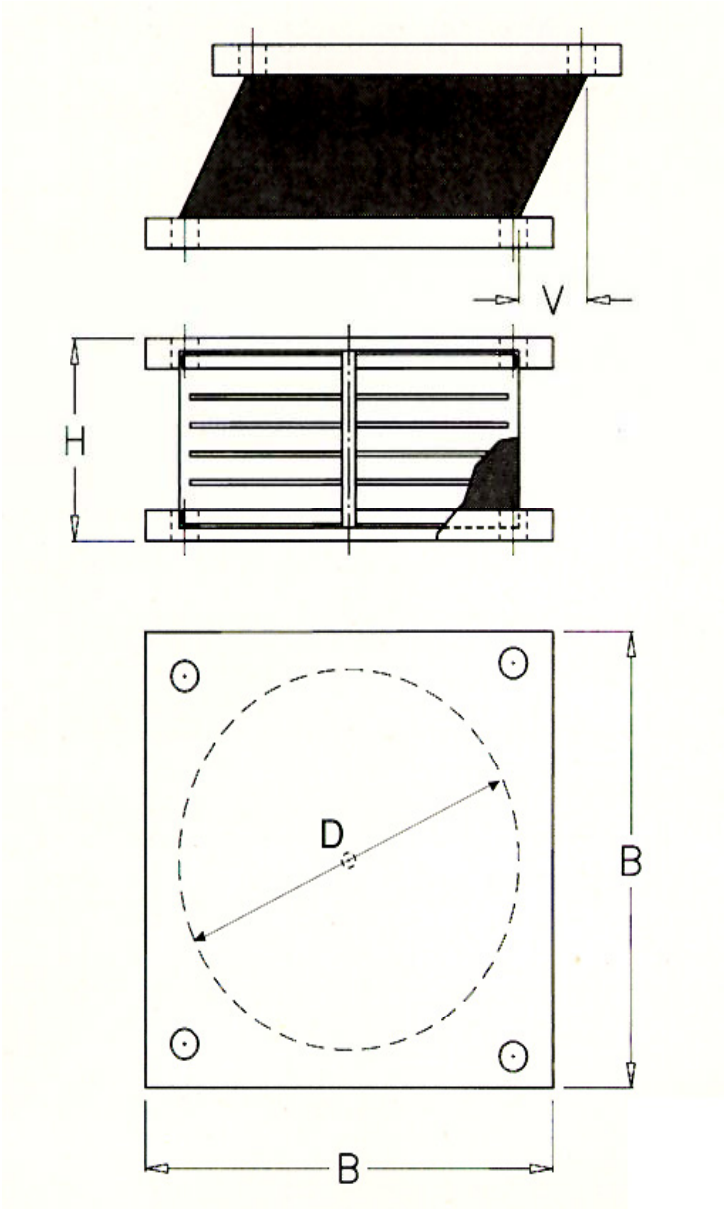
Tipico diagramma carico-deformazione di un HDRB

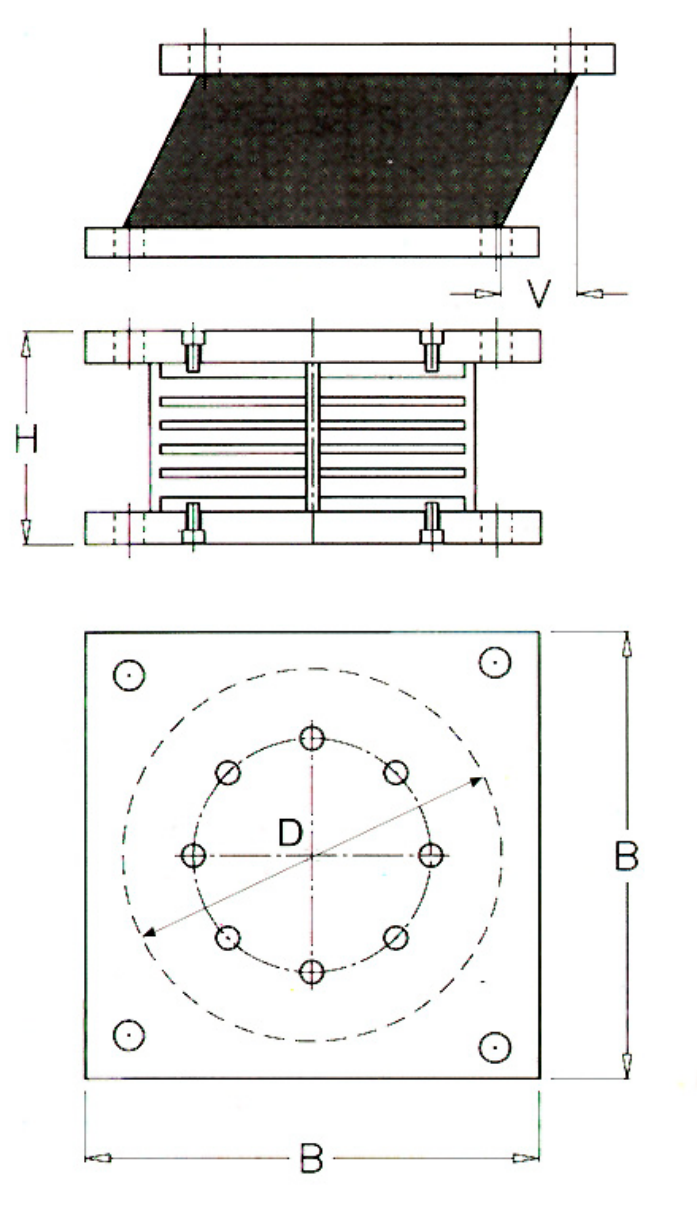
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Gli isolatori in gomma ad elevato smorzamento sono caratterizzati dalle seguenti proprietà peculiari:

- La mescola di gomma presenta capacità di smorzamento
- La mescola di gomma presenta elevatissime caratteristiche meccaniche che la rendono idonea a deformazioni di progetto fino a $\tan\gamma = 2{,}0$
- Il trasferimento delle forze orizzontali alle strutture non è basato sull'attrito ma:
  - ⇒Attraverso incavi o perni
  - ⇒Attraverso bulloni

Alga TECHNOLOGICALTHINKING





Esempi di collegamenti con incavo o bulloni

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Modellazione degli isolatori

- Essi vengono modellati attraverso due parametri fondamentali:

- La rigidezza

$$K = \frac{GA_r}{h_g}$$

- Lo smorzamento viscoso equivalente

$$\xi = \frac{E_d}{2\pi F d} = \frac{E_d}{4\pi W}$$

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Smorzamento viscoso equivalente

δ

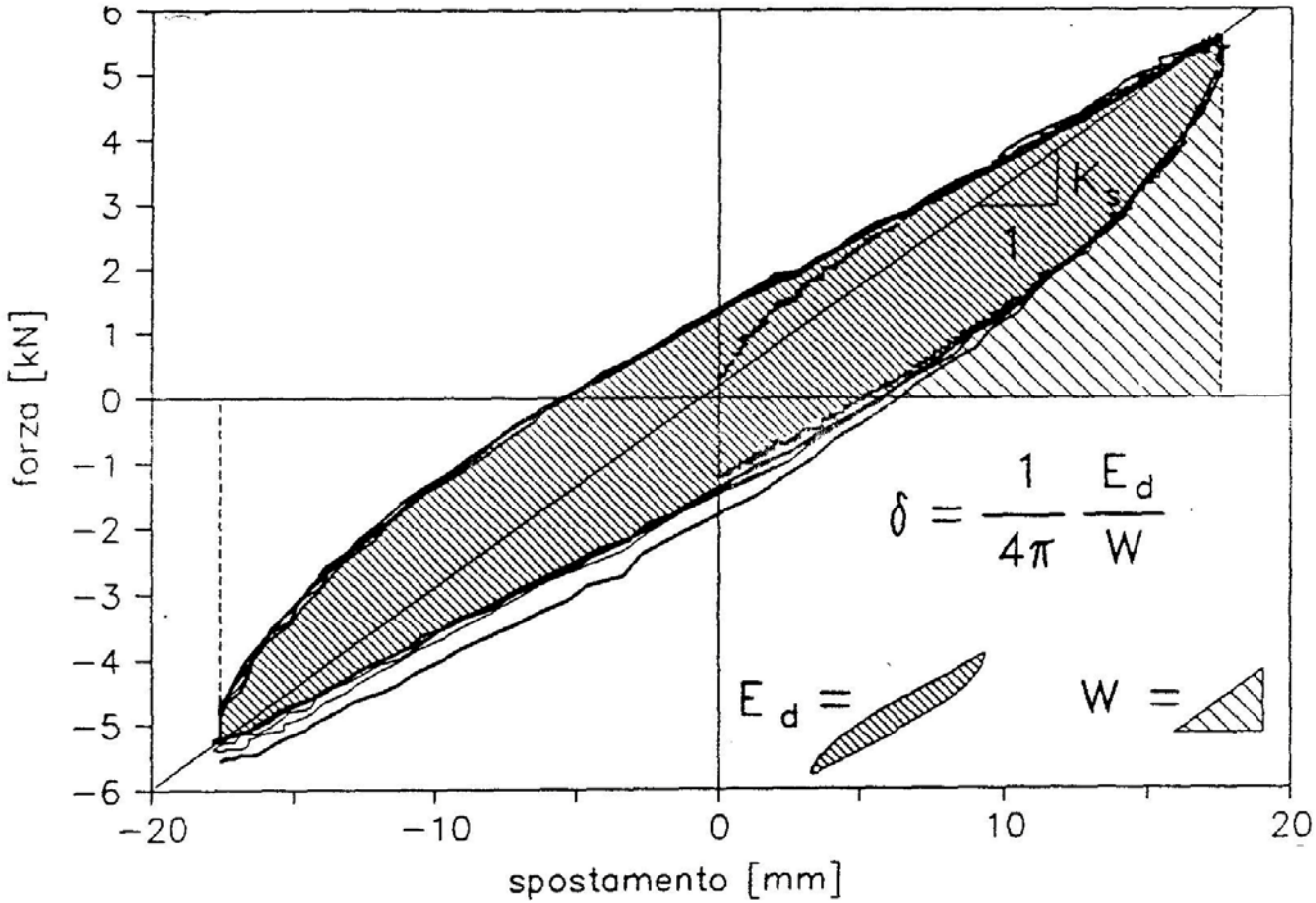
Smorzamento viscoso equivalente

E_d

Energia dissipata per ciclo

W

Lavoro esterno



Rigidezza degli HDRB

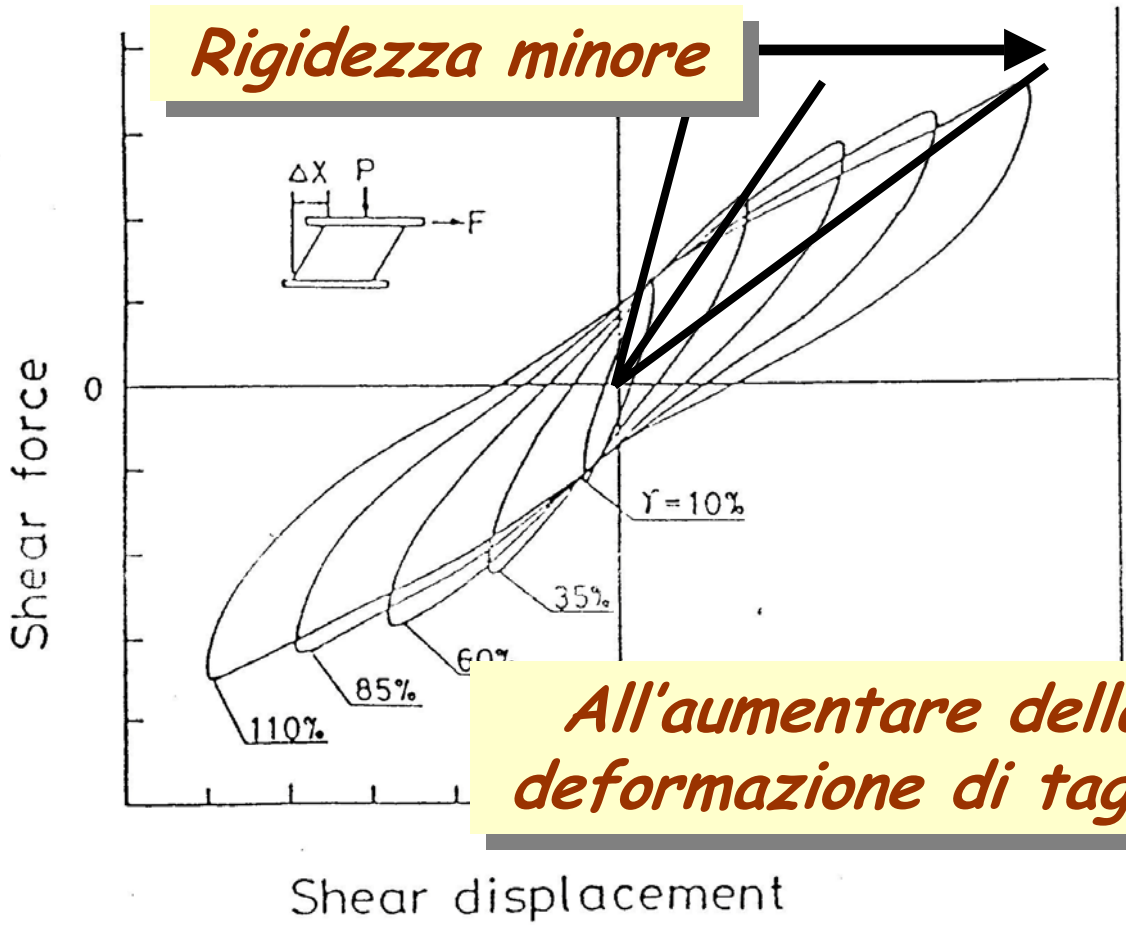
La rigidezza è:

BASSA

durante il terremoto

ALTA

per le azioni ambientali

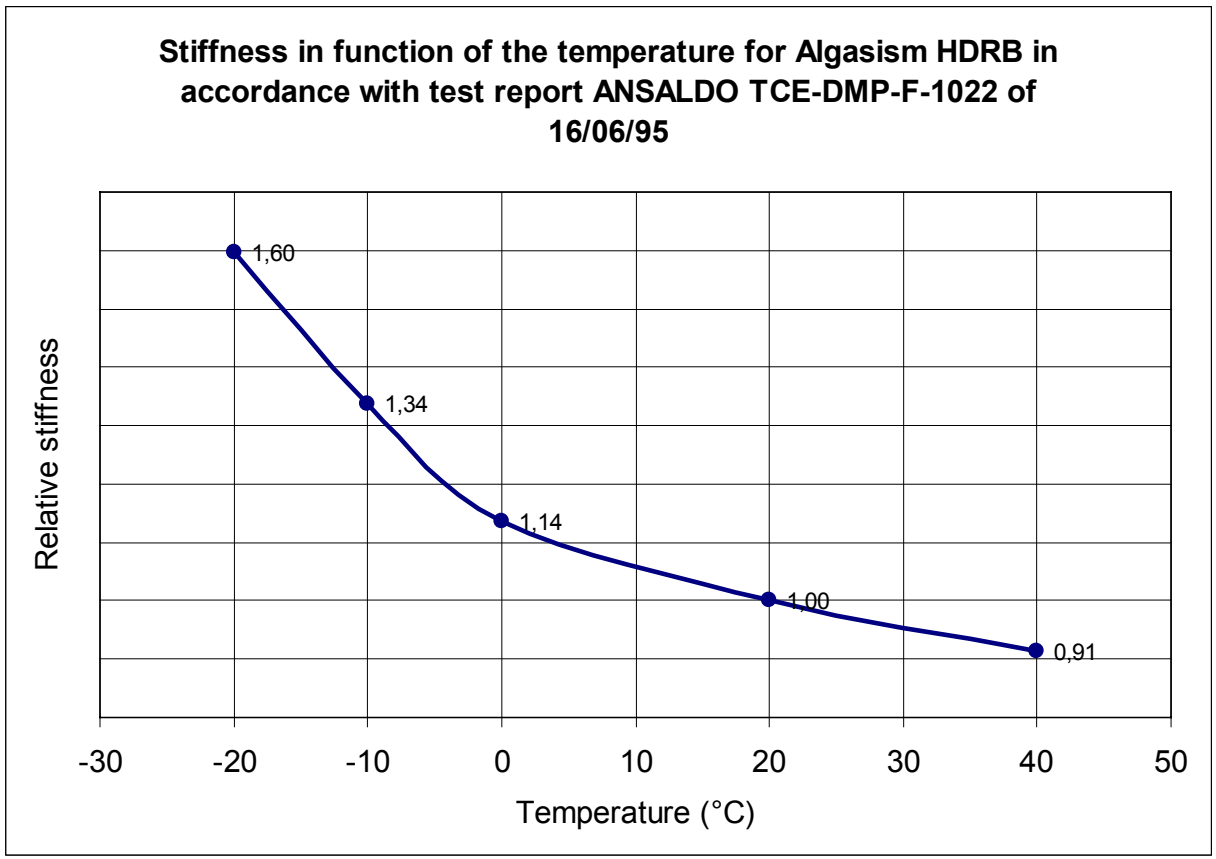


Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Modellazione degli isolatori

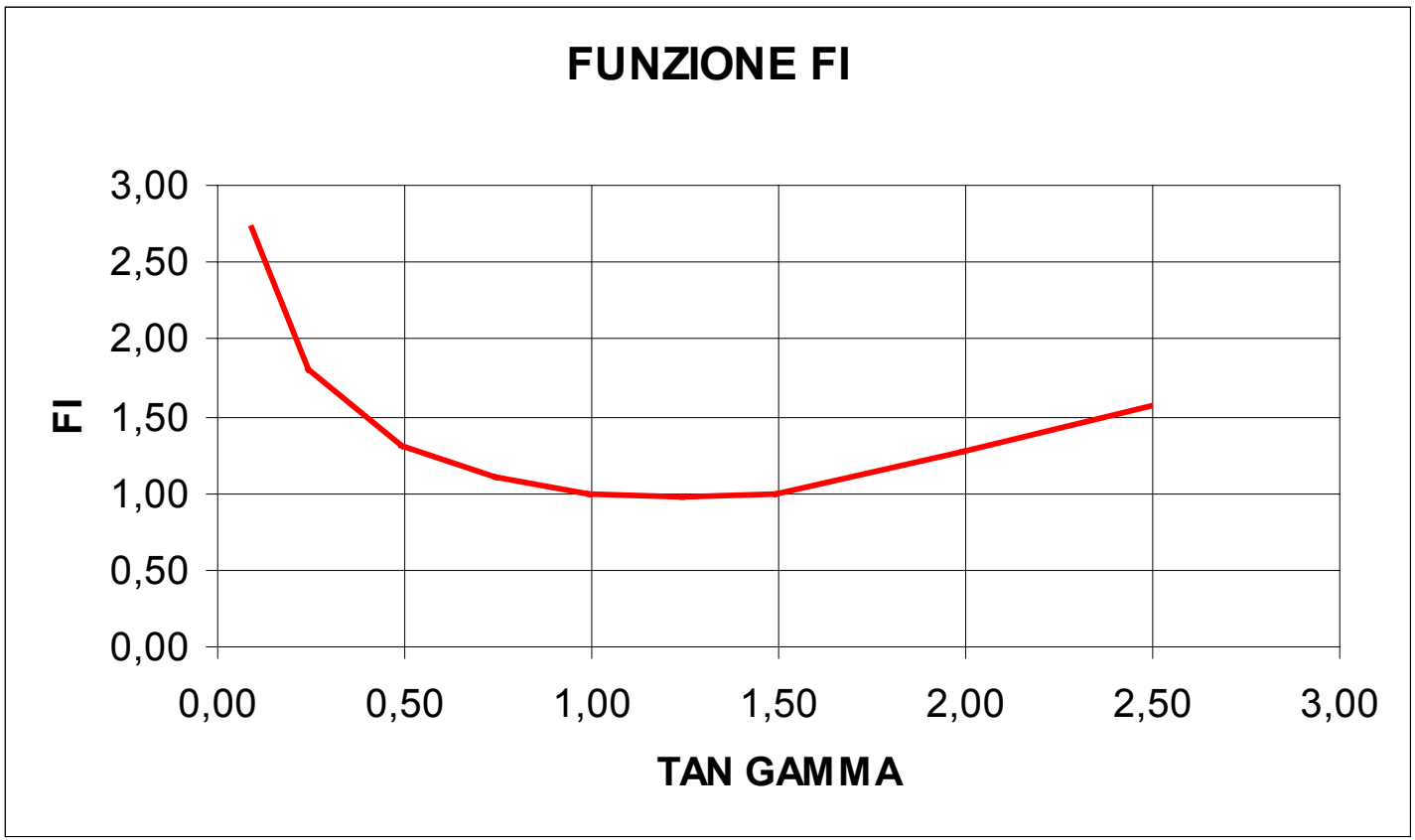
- La rigidezza è influenzata dai seguenti fattori:
  - ⇒Temperatura
  - ⇒Deformazione a taglio
  - ⇒Invecchiamento
  - ⇒Frequenza (effetto trascurabile)
  - ⇒Carico verticale (effetto trascurabile)

Variazione della rigidezza per effetto della temperatura



Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Variazione della rigidezza in funzione della deformazione tangenziale



Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Variazione della rigidezza in funzione dell'invecchiamento

- Va determinata in funzione della mescola utilizzata. Generalmente l'invecchiamento provoca un incremento della rigidezza di circa il 15% in 60 anni

Variazione complessiva della rigidezza

- Si combinano le varie cause di variazione in modo da ottenere i valori massimo e minimo della rigidezza K_{max} e K_{min}.
- Se tali valori non differiscono più del 20% dal valore medio e per i soli edifici di III o ponti di II categoria si può utilizzare solo quest'ultimo per l'effettuazione delle analisi
- In caso contrario occorre eseguire 2 analisi con K_{max} e K_{min}

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Lo smorzamento viscoso equivalente permette di ridurre lo spettro di risposta di un fattore:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi}} \geq 0{,}55$$

Ad esempio:

- Per $\xi = 10\%$ $\eta = 0{,}82$
- Per $\xi = 16\%$ $\eta = 0{,}69$

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

PROCEDURA SEMPLIFICATA DI CALCOLO DI ISOLATORI IN GOMMA AD ALTO SMORZAMENTO (ANALISI STATICA LINEARE)

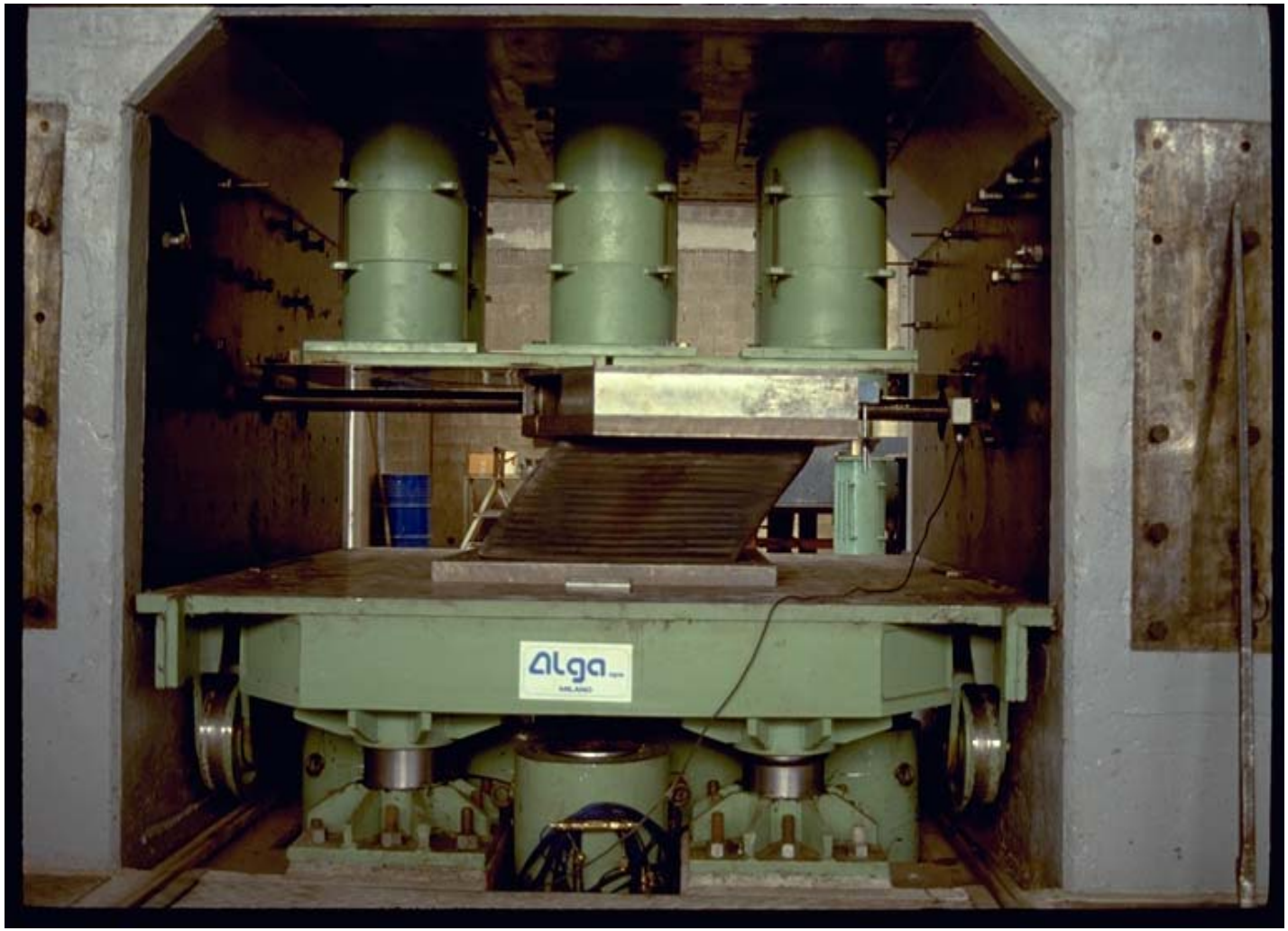
Se la struttura risponde a certi requisiti di semplicità e simmetria (dati dalle norme) può essere considerata come un sistema ad un grado di libertà il cui periodo proprio è dato dall'espressione:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}}$$

Dove: ***M*** **è la massa della struttura**

K **è la rigidezza totale degli isolatori**

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Prova biassiale su di un isolatore di grandi dimensioni

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

PROVE DINAMICHE SU DI UN HDRB

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Procedure di validazione degli isolatori in gomma-acciaio

1. Prove di accettazione sui materiali

- **Resistenza a rottura**
- **Allungamento a rottura**
- **Resistenza alla lacerazione**
- **Compression set**
- **Invecchiamento accelerato per 21 giorni a 70°C**
- **Resistenza all'ozono**
- **Modulo di elasticità tangenziale statico al 100% di deformazione tangenziale**

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Procedure di validazione degli isolatori

2. Prove di qualificazione sui dispositivi. E' ammessa la prova su isolatori in scala fra 0,5 e 2 ma con fattori di forma S_1 entro una variazione del ± 10% e S_2 $\geq$. Almeno 4 dispositivi

- **Rigidezza a compressione statica**
- **Determinazione statica del modulo G**
- **Determinazione dinamica del modulo G**
- **Determinazione dinamica delle curve G-γ e ξ-γ**
- **Determinazione del creep**
- **Effetto invecchiamento sulle rigidezze dopo 21 giorni a 70°C (variazione ammessa +15%)**
- **Valutazione della stabilità con 1,5Vmax e 0,5Vmin al 180%**
- **10 cicli con pressione 6 Mpa e spostamento pari a 1,2d2**
- **Prova di aderenza a 250% con carico di 6MPA**

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Procedure di validazione degli isolatori

3. Prove di accettazione sui dispositivi
Si effettuano sul 20% dei dispositivi e almeno su 4
Si intendono superate se i risultati non differiscono più del ±10% da quelli di qualificazione

- **Misura geometria esterna. Valgono le tolleranze della CNR 10018. Sull'altezza la tolleranza è -0 +6mm**
- **Rigidezza a compressione statica**
- **Determinazione statica del modulo G**
- **Prova di aderenza a con carico di 6MPA alla deformazione tangenziale di progetto**

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio TELECOM Italia

Ancona

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio TELECOM Italia

Ancona

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio TELECOM Italia

Ancona

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio TELECOM Italia

Ancona

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Centro medico marina militare, Ancona
Anno di costruzione: 1992
Numero isolatori: 44
Periodo proprio edificio a base fissa: 0,35s
Periodo proprio edificio a base isolata: 1,5s

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Centro medico marina militare, Augusta
Anno di costruzione: 1994
Numero isolatori: 72
Periodo proprio edificio a base fissa: 0,5s
Periodo proprio edificio a base isolata: 2,0s
Spostamento di progetto: 185 mm

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Edifici residenziali Marina Militare, Augusta
Anno di costruzione: 1994
Numero isolatori: 72
Periodo proprio edificio a base fissa: 0,5s
Periodo proprio edificio a base isolata: 2,0s

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio IERP a Città di Castello

TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio IERP a Città di Castello

TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio IERP a Città di Castello

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio IERP a Città di Castello

Dettaglio di un isolatore

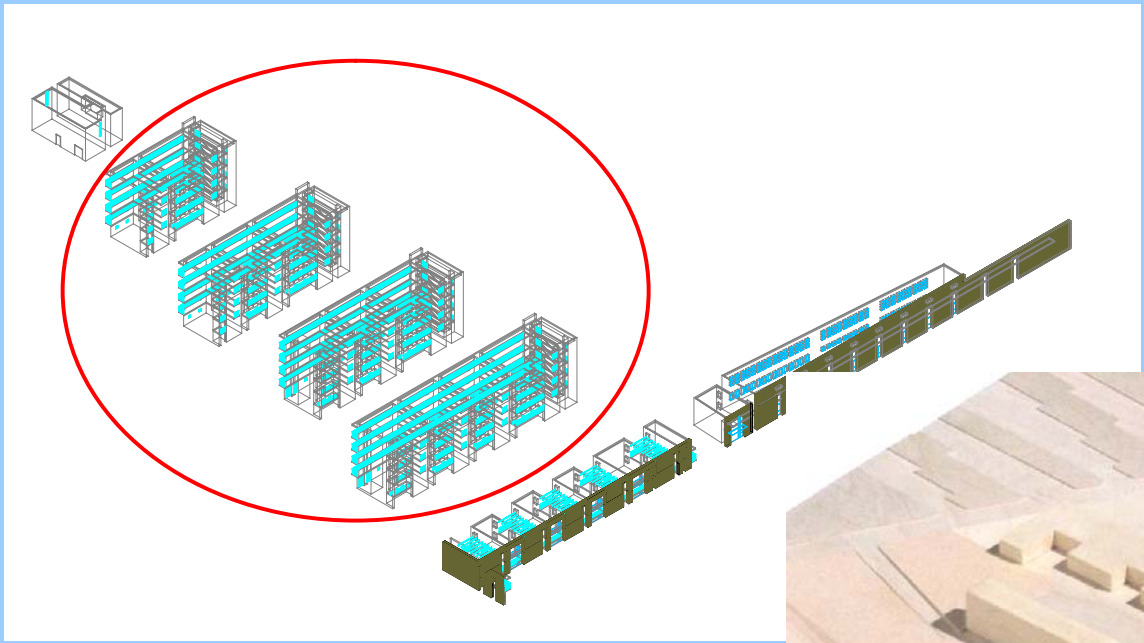
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Edificio IERP a Città di Castello

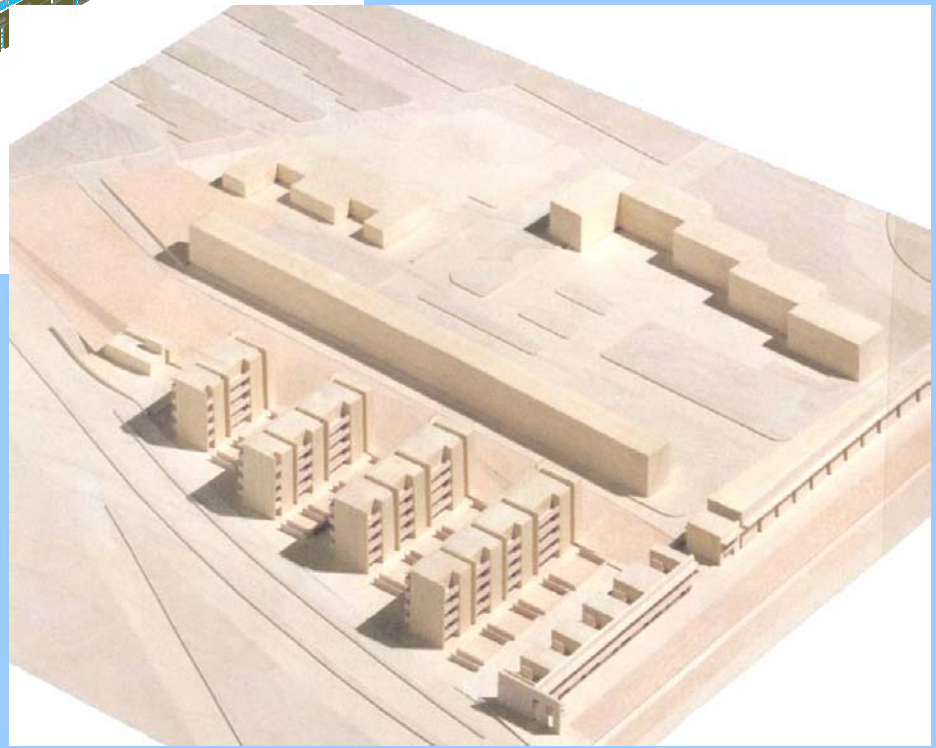
Dettagli:

- protezione al fuoco
- passaggio cavi
- copri-fenditura

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

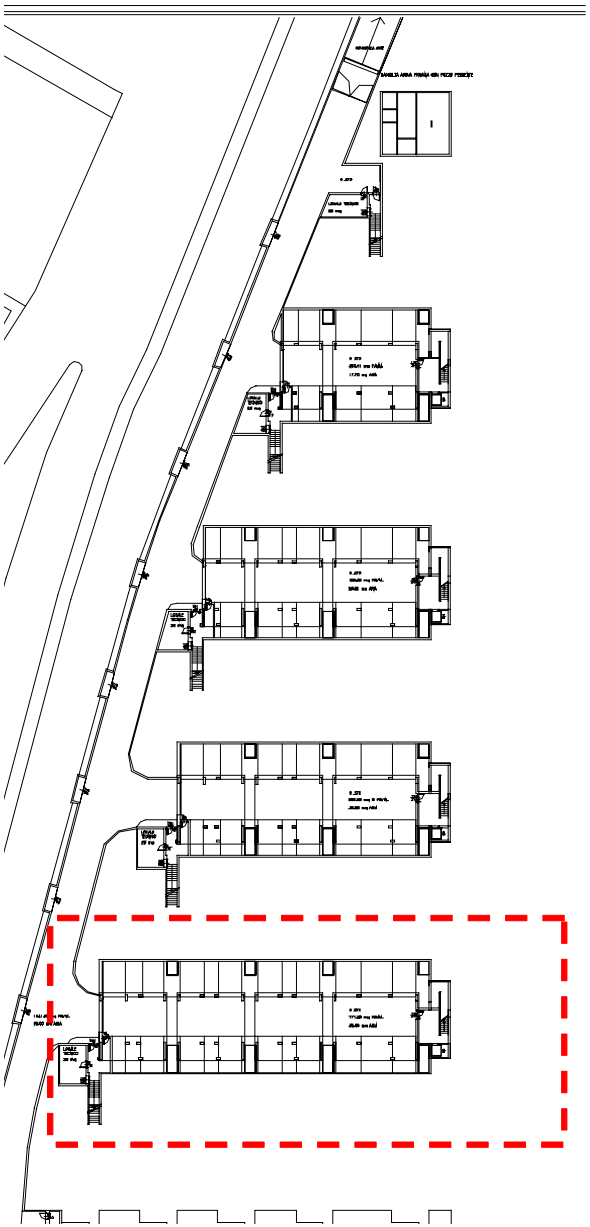


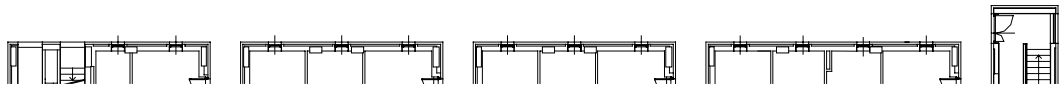
FIRST BASE ISOLATED BUILDING DESIGNED ACCORDING TO THE NEW ITALIAN REGULATION

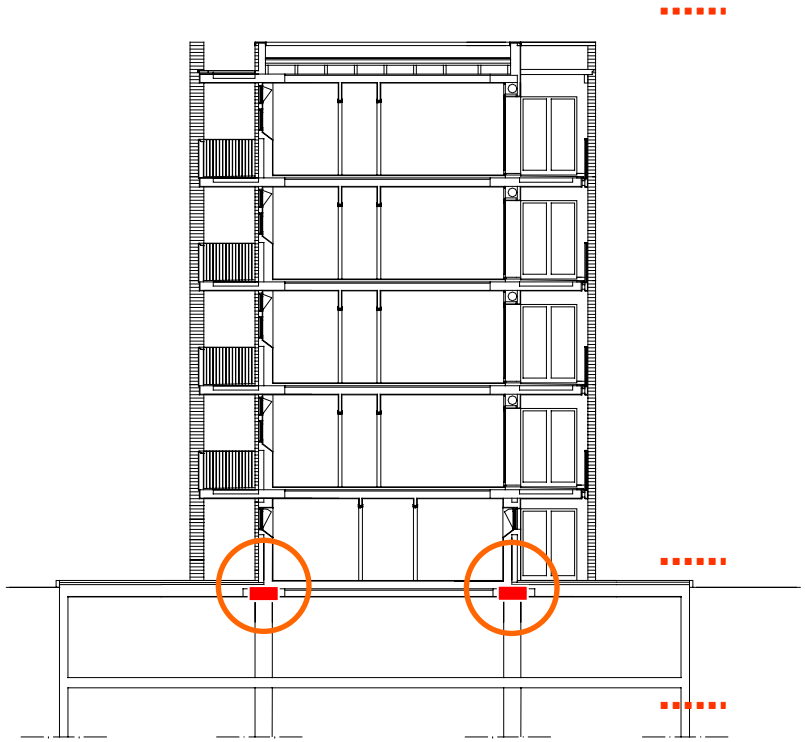


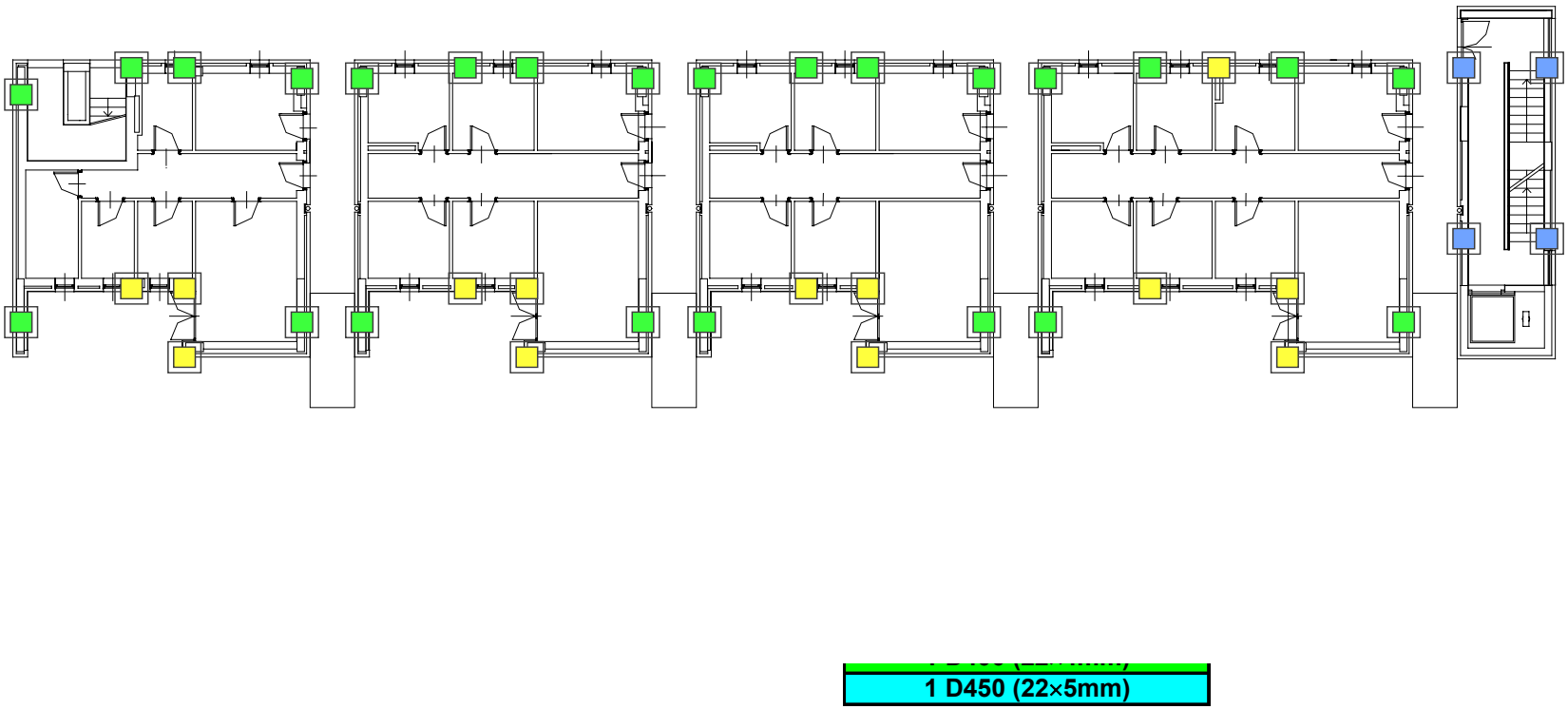
Alberto Dusi

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



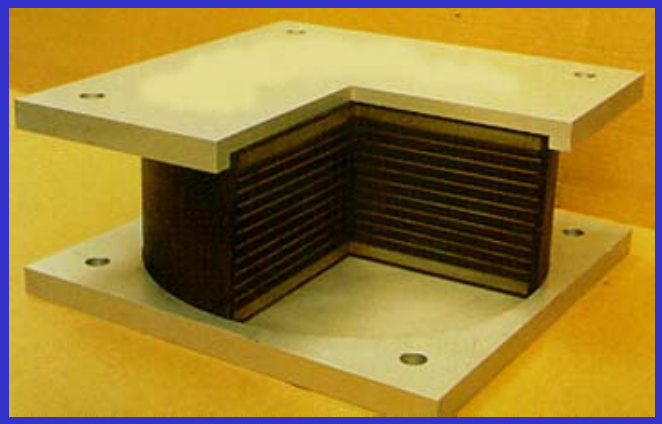


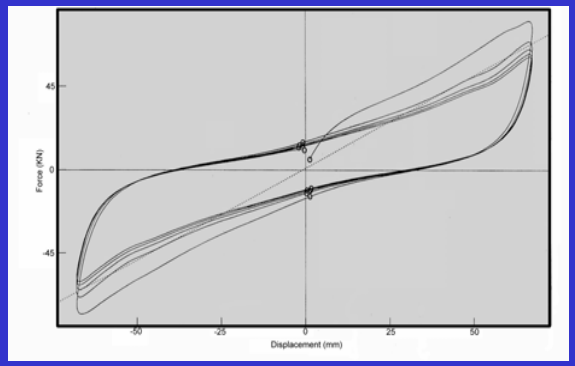




Alberto Dusi

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING



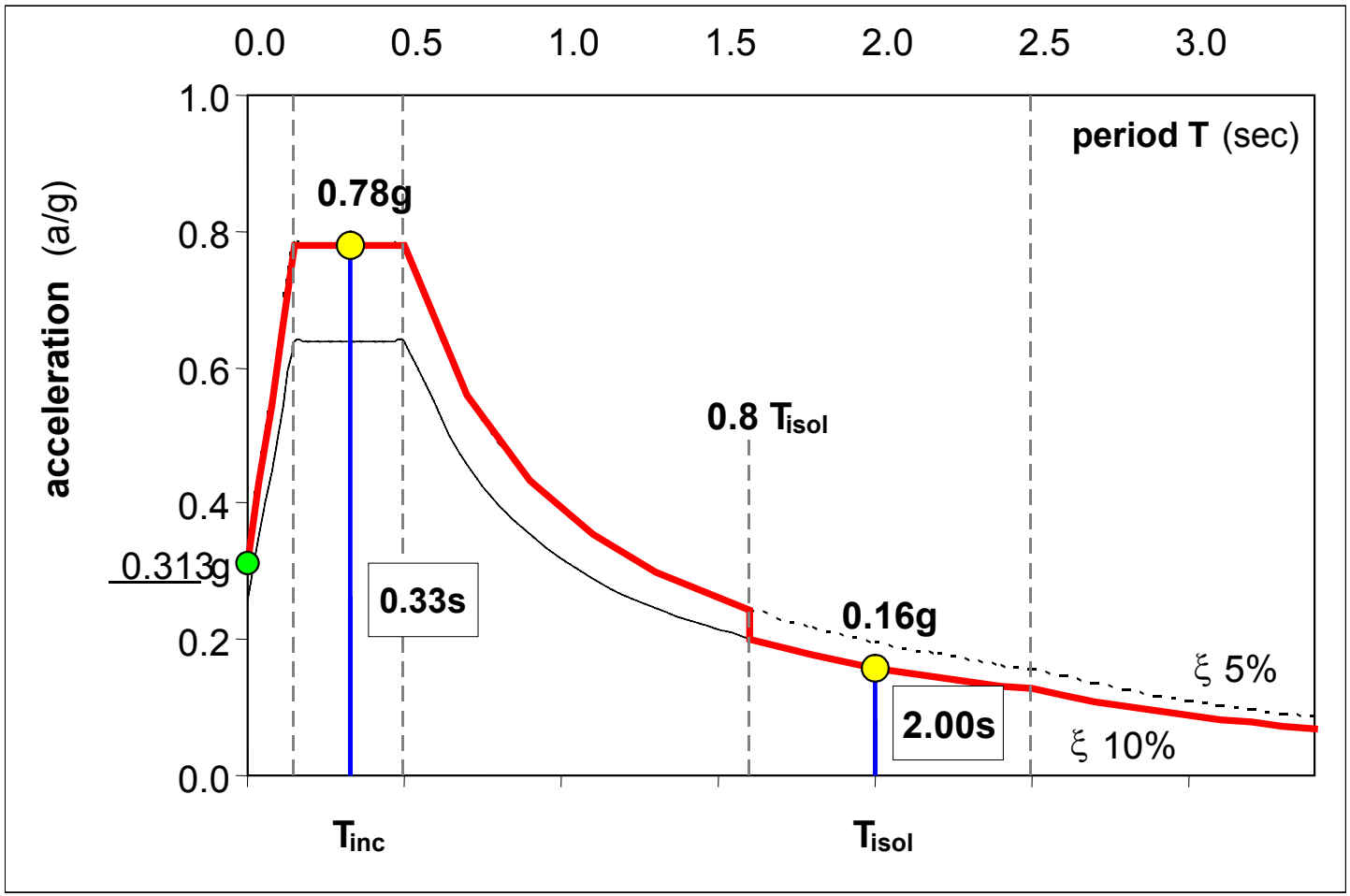


124 HDRBs

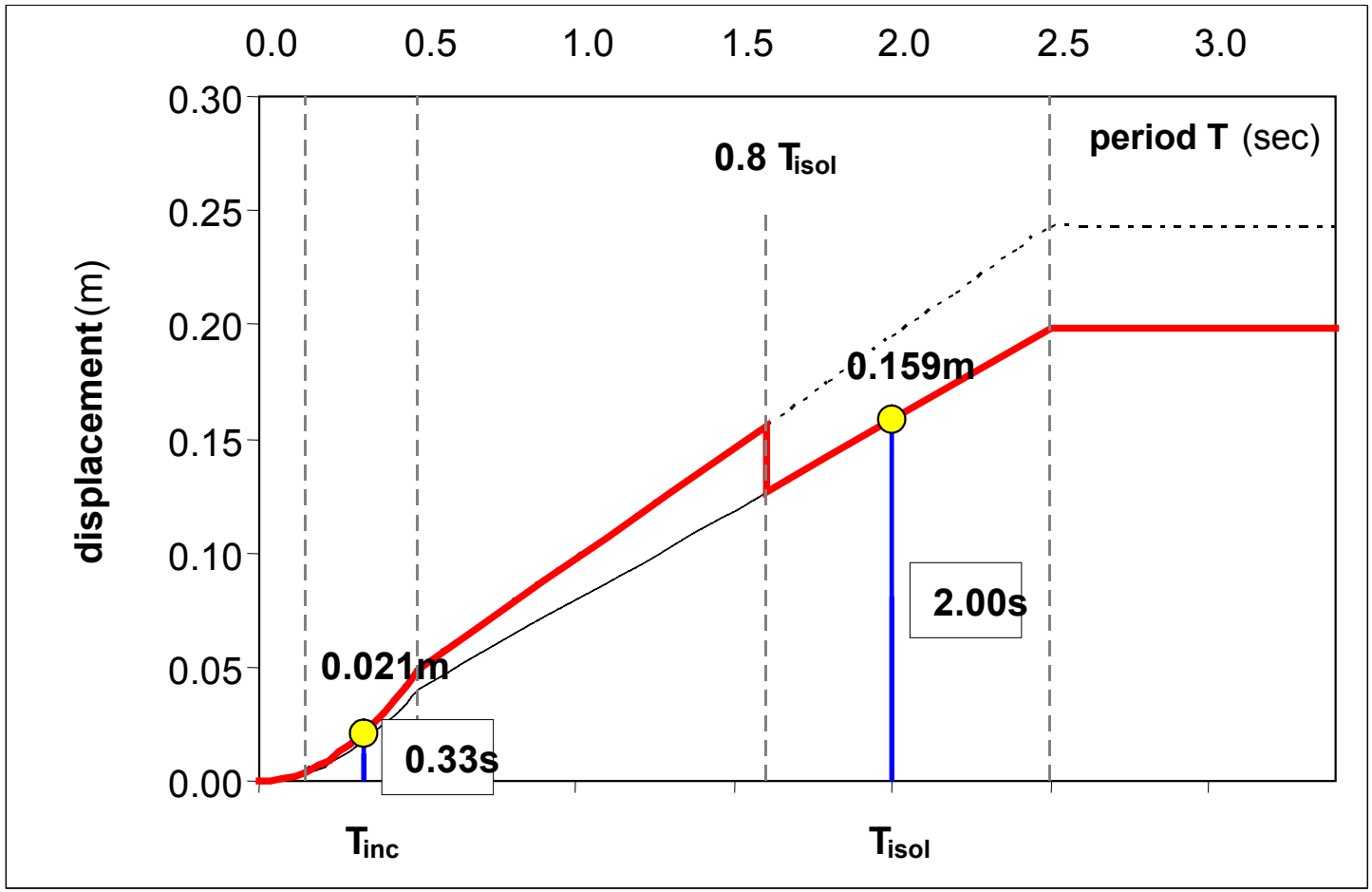
- 40 Φ 350
- 68 Φ 400
- 16 Φ 450

HDRB TYPE	C1	C2	C3
Diameter (mm)	350	400	450
Total rubber thickness (mm)	80.0	88.0	110.0
Total bearing height (mm)	168	180	202
Primary shape factor	21.5	24.6	22.5
Secondary shape factor	4.3	4.5	4.0
Design vertical load (kN)	1170	1880	2150
Design horizontal displacement (mm)	160	160	160

Hardness (Shore A3)	Strength (MPa)	Elongation at break (%)	G Modulus (MPa)	Eq. Viscous damping (%)
60 ± 3	20	600	0.8	10


0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
acceleration (a/g)
period T (sec)
0.78g
0.8 Tisol
0.313g
0.33s
0.16g
2.00s
ξ 5%
ξ 10%
Tinc
Tisol

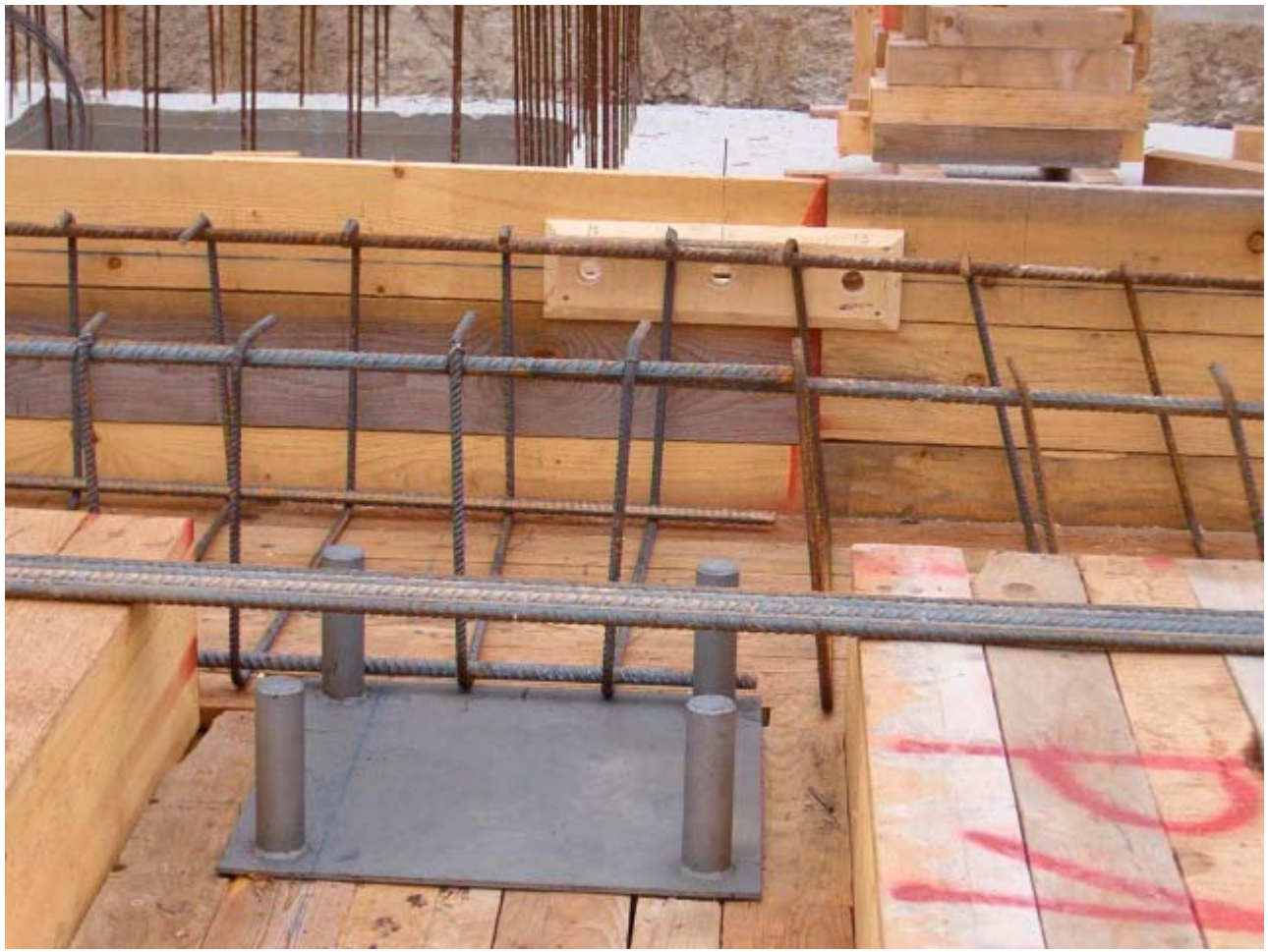
74.5% 53.6% 99.8%


0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
displacement (m)
period T (sec)
0.8 Tisol
0.159m
2.00s
0.021m
0.33s
Tinc
Tisol

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING



Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

ISOLAMENTO SISMICO DI OPERE D'ARTE

Satiro danzante di Mazara del Vallo

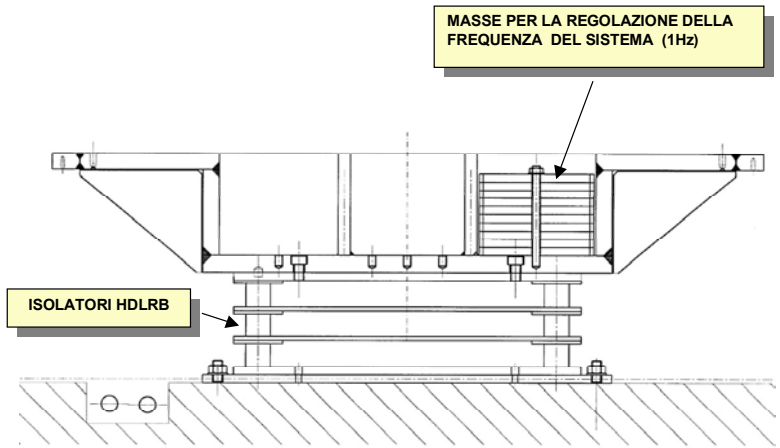


Fig. 1: VISTA IN SEZIONE DEL BASAMENTO ANTISISMICO

Fig. 2: ISOLATORI HDLRB ASSEMBLATI (N.4X3)

ISOLAMENTO SISMICO DI OPERE D'ARTE

Satiro danzante di Mazara del Vallo

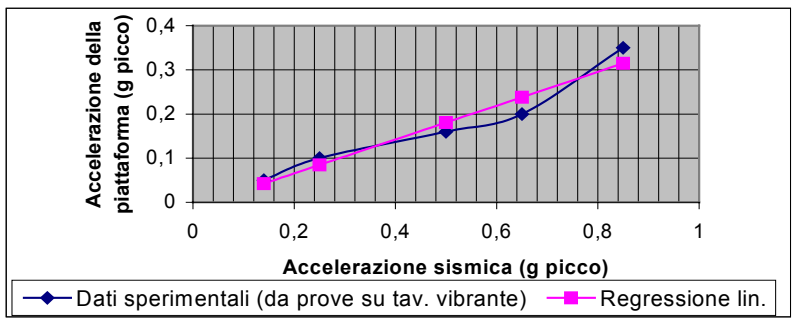


Fig. 4: Attenuazione del moto sismico trasmesso alla base del bronzo per effetto della piattaforma antisismica

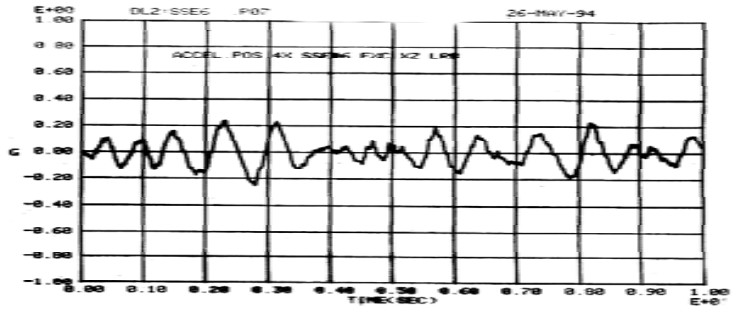


Fig. 3 a: Risposta alla sommità del basamento

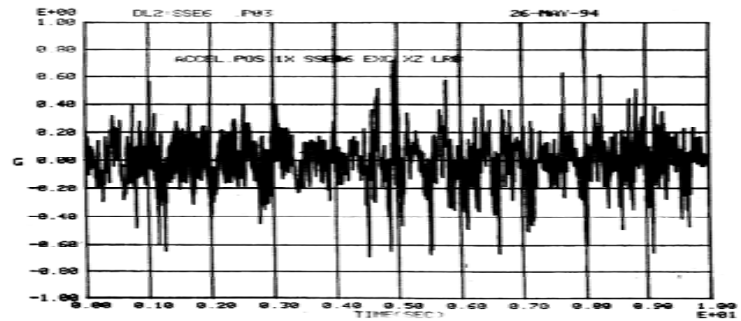


Fig. 3 b: Accelerazione impressa dal sisma alla base del sistema d'isolamento

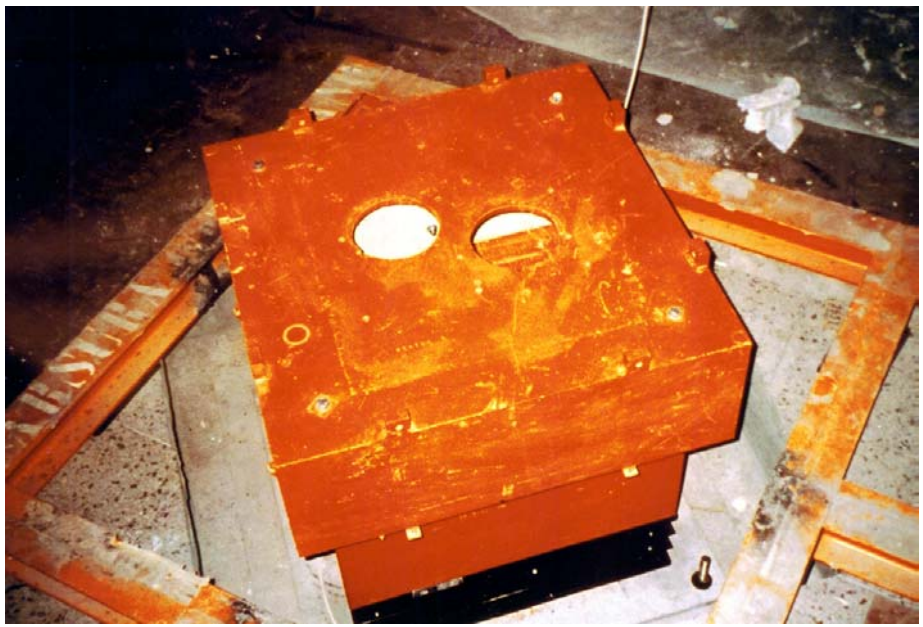
Fig. 3: Confronto fra accelerazione impressa dal sisma alla base del sistema di isolamento e risposta alla sommità del basamento.

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

ISOLAMENTO SISMICO DI OPERE D'ARTE

Bronzi di Riace

Reggio Calabria



TECHNOLOGICALTHINKING

ISOLAMENTO SISMICO DI OPERE D'ARTE

Bronzi di Riace Reggio Calabria

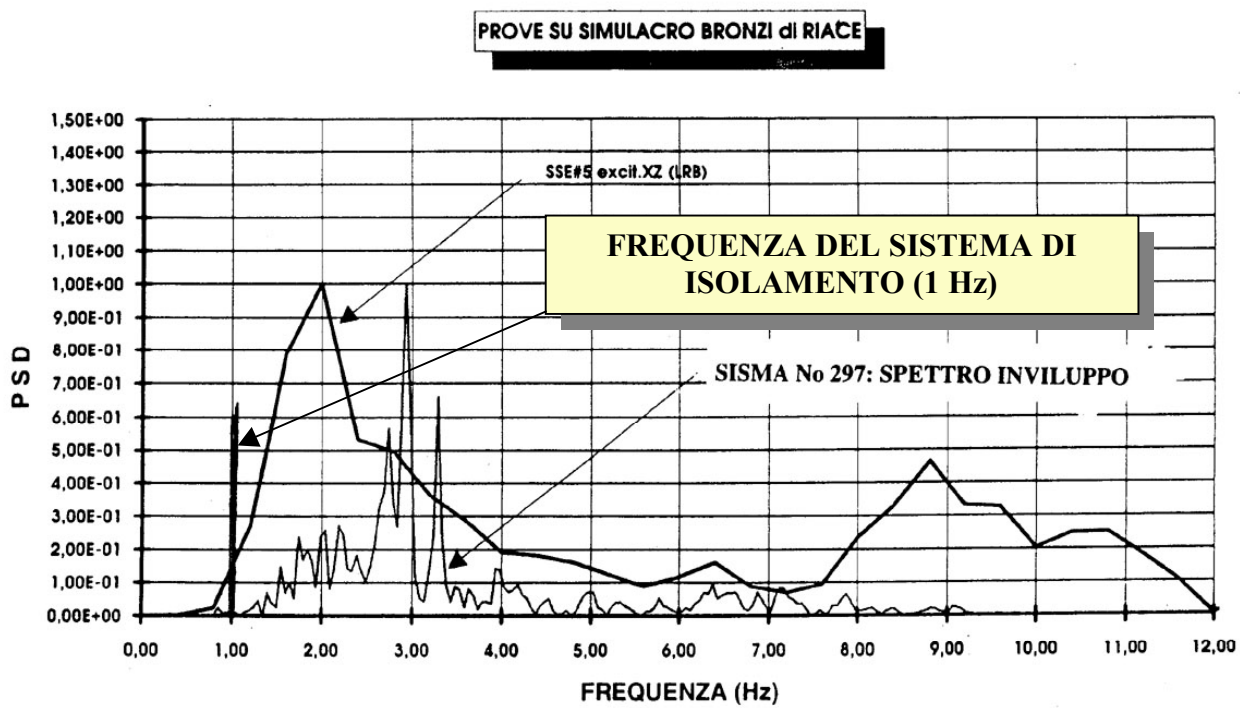
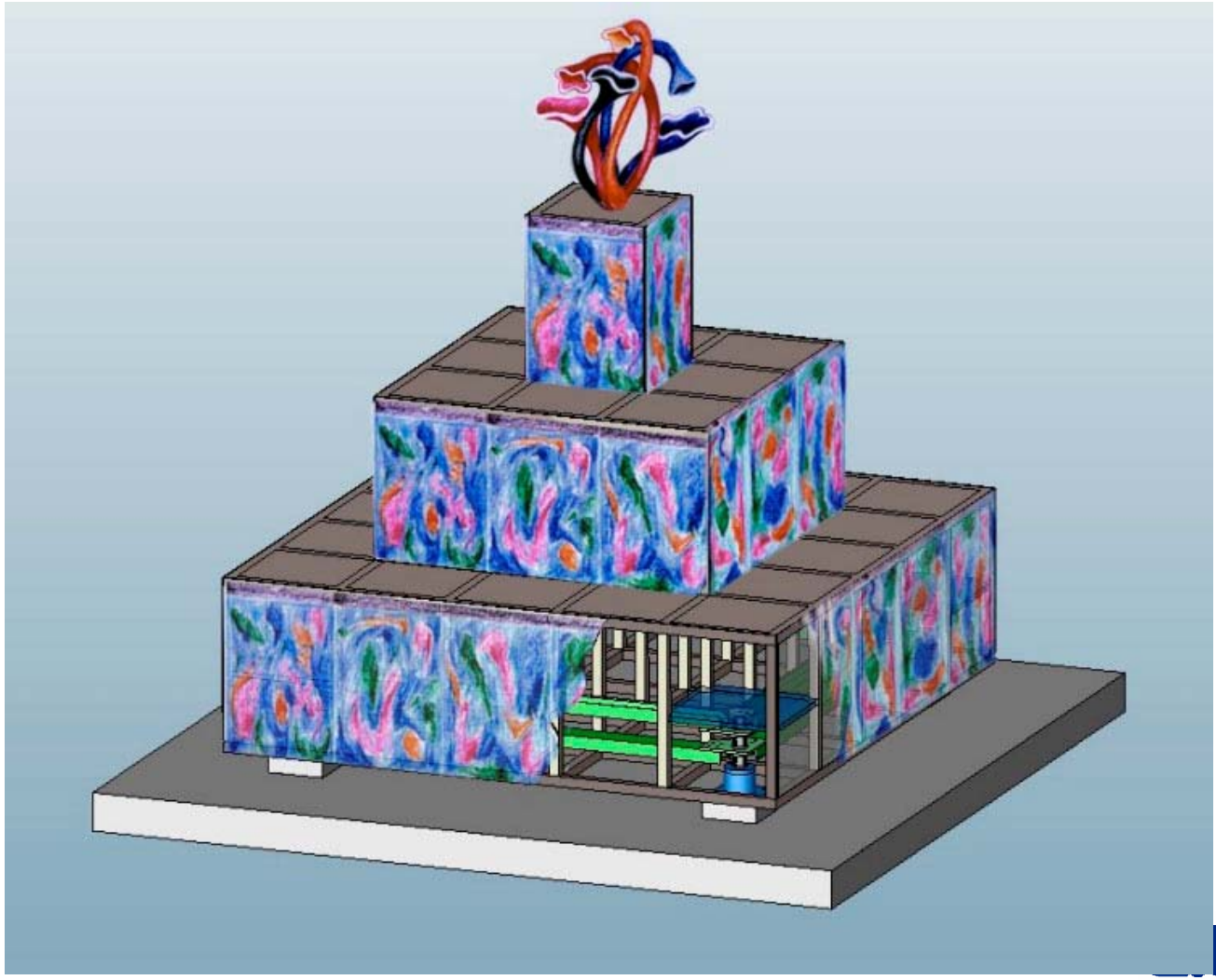


Fig.5: Esempi di densità spettrali (PSD) di terremoto registrato (n. 297) e generato artificialmente (SSE) inviluppando lo spettro di risposta di riferimento.

TECHNOLOGICALTHINKING

ISOLAMENTO SISMICO DI OPERE D'ARTE

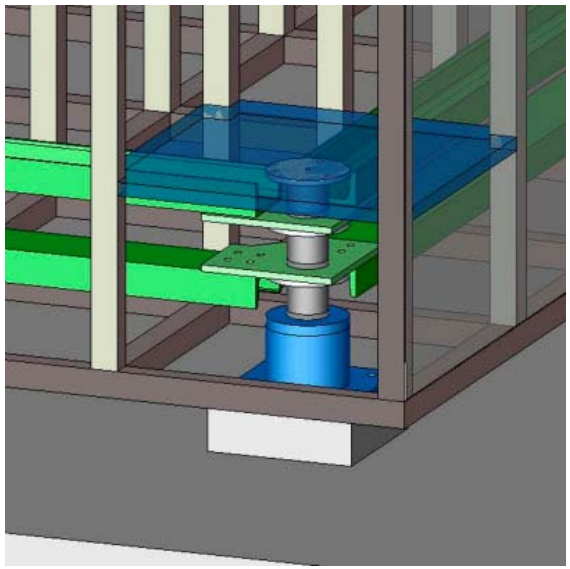
Fonte della Rinascita San Giuliano di Puglia

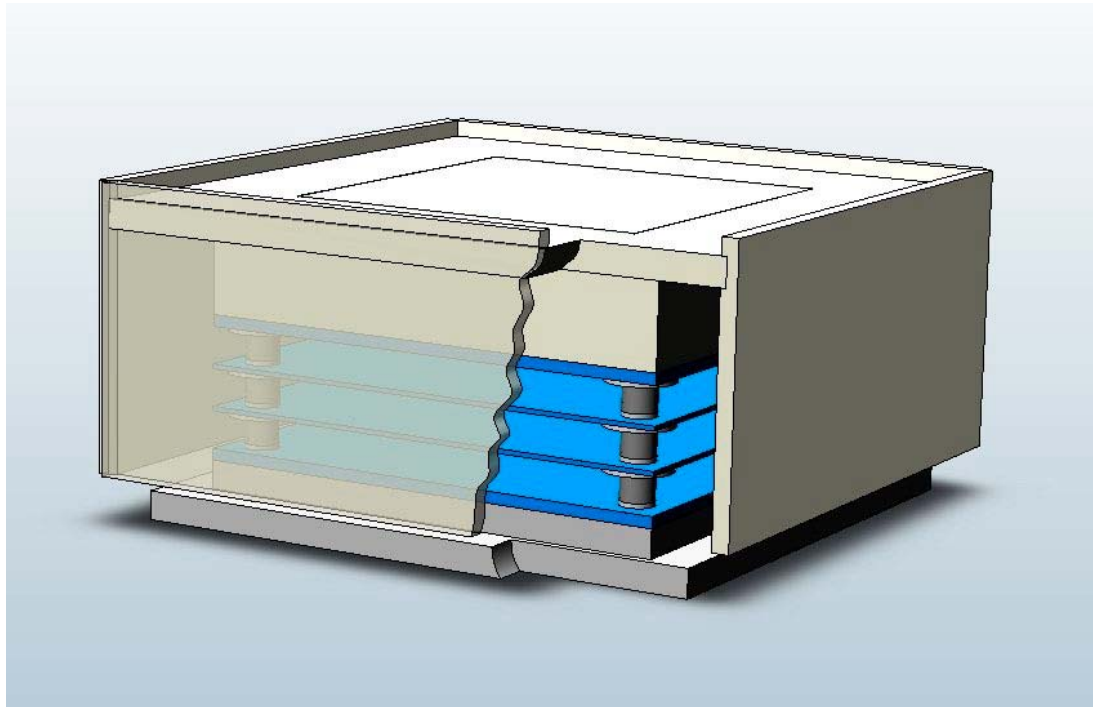


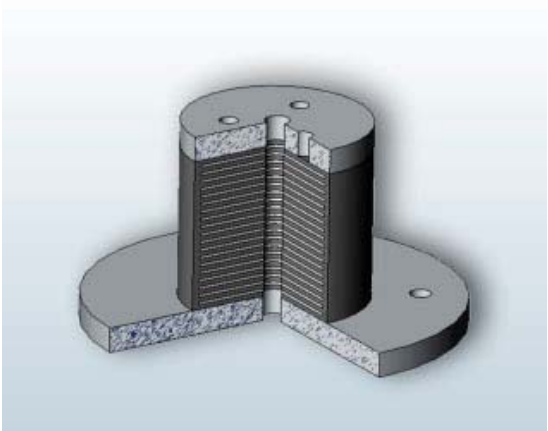
lga TECHNOLOGICALTHINKING

ISOLAMENTO SISMICO DI OPERE D'ARTE

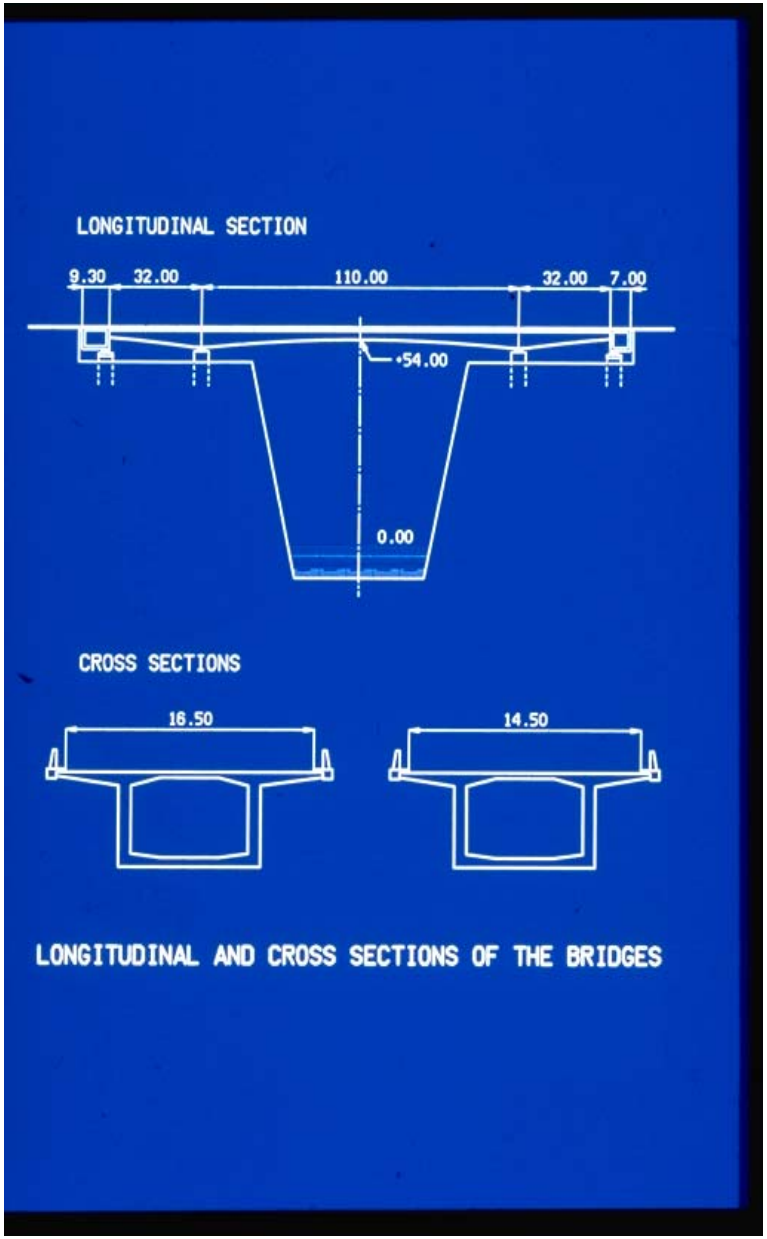
Fonte della Rinascita San Giuliano di Puglia

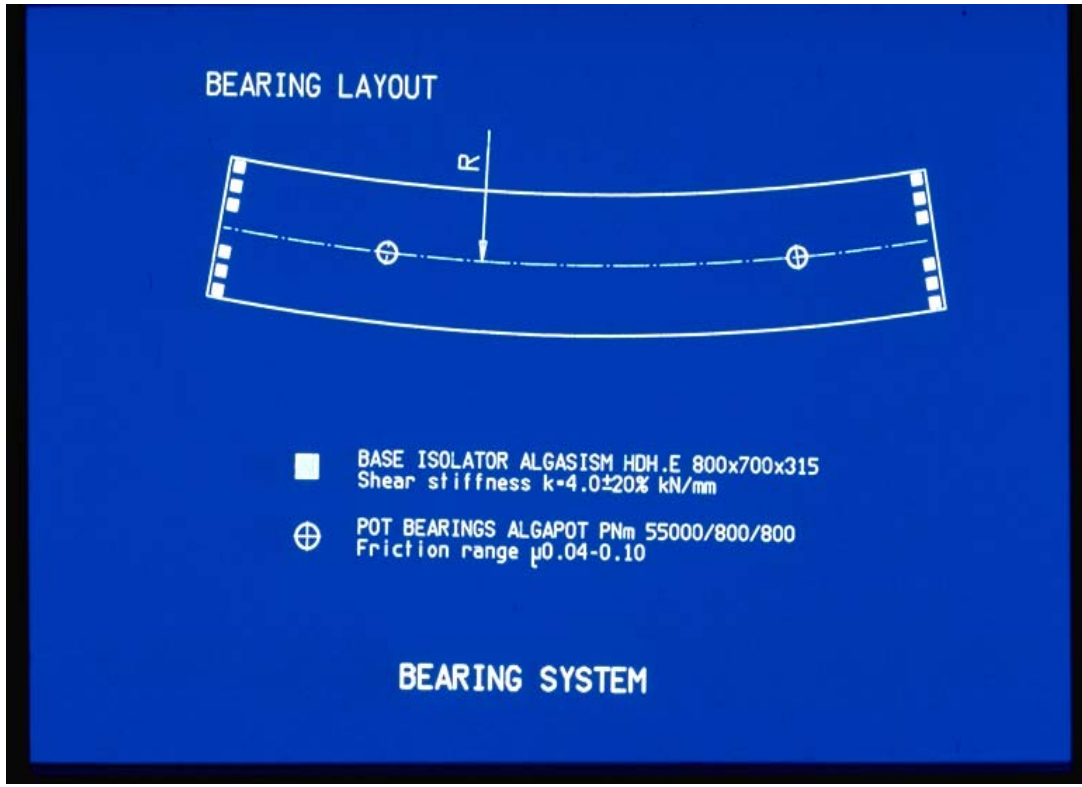






Alga TECHNOLOGICALTHINKING



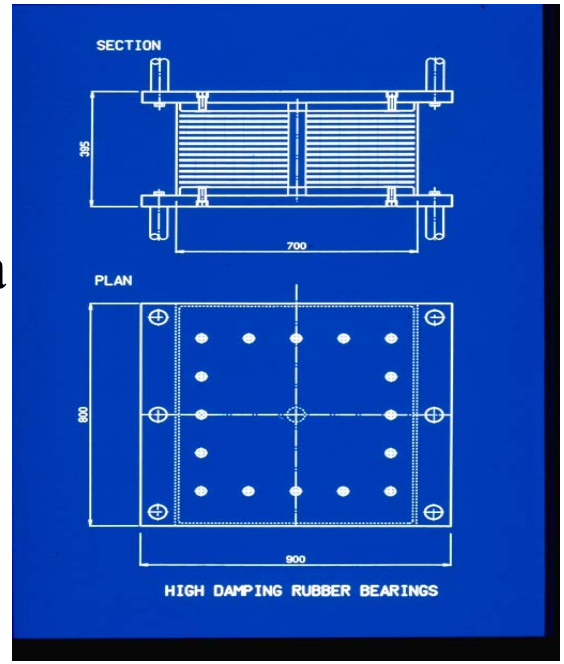


Ponte sul canale di Corinto

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Proprietà della gomma:

- **Durezza Shore A 75 ± 3**
- **Modulo di elasticità tangenziale 1,4 Mpa**
- **Resistenza a rottura 18 Mpa**
- **Allungamento a rottura 500%**



Proprietà degli isolatori

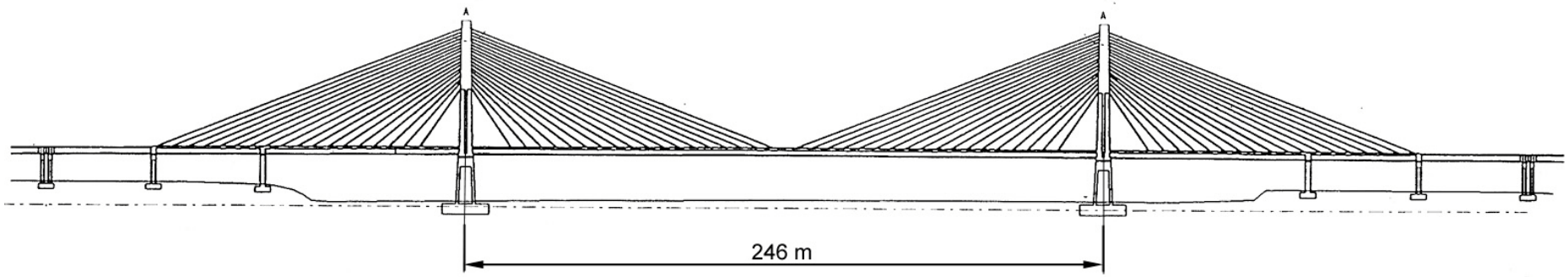
- **Dimensioni 700x800x315 mm**
- **Altezza netta della gomma 210 mm**
- **Carico verticale max 9000 kN**
- **Spostamento di progetto ±400 mm**
- **Deformazione tangenziale max tanγ =1,9**
- **Smorzamento viscoso equivalente 16%**

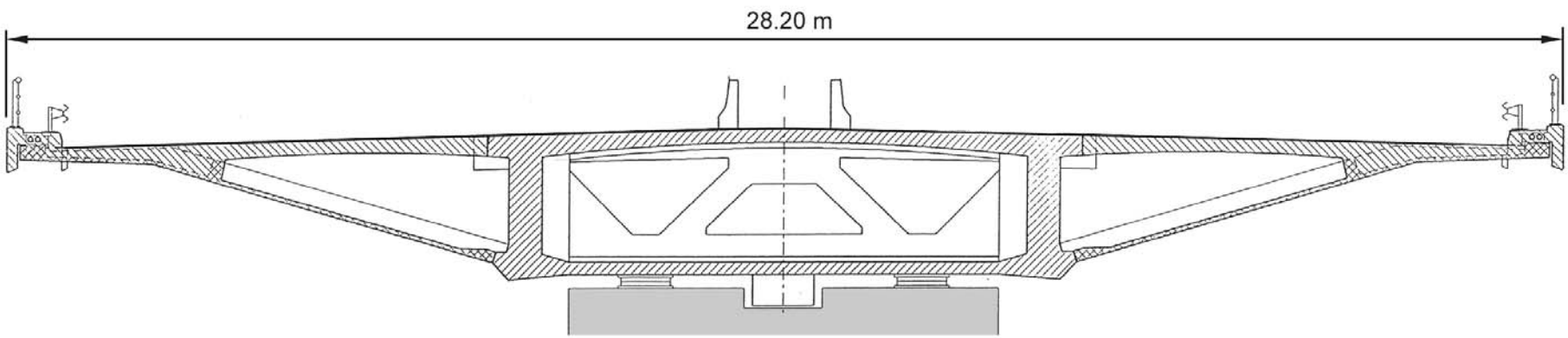
Ponte sul canale di Corinto

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

•Ponte sul canale di Corinto

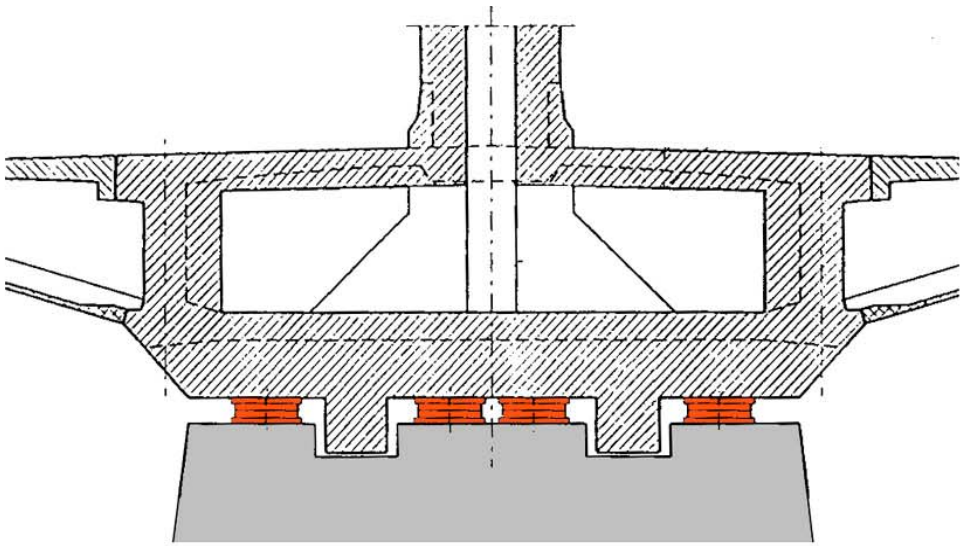
TECHNOLOGICALTHINKING

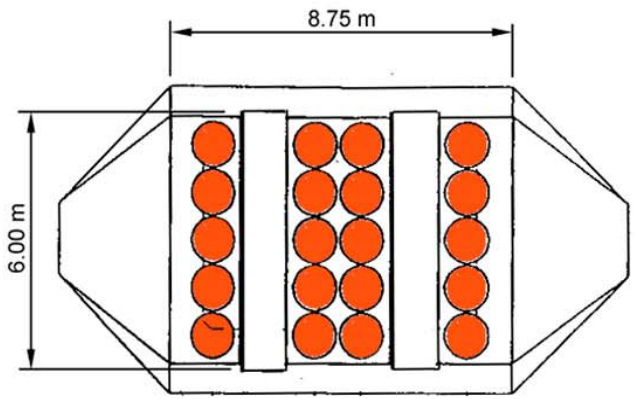




Ponte sul Tago a Santarem: Profilo longitudinale e sezione trasversale

Alga TECHNOLOGICALTHINKING





Ponte sul Tago a Santarem: disposizione degli isolatori sulle pile principali

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

La campata principale del ponte sul Tago a Santarem

ilga
TECHNOLOGICALTHINKING

Ponte sul Tago a Santarem: rampe di accesso

TECHNOLOGICALTHINKING

Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

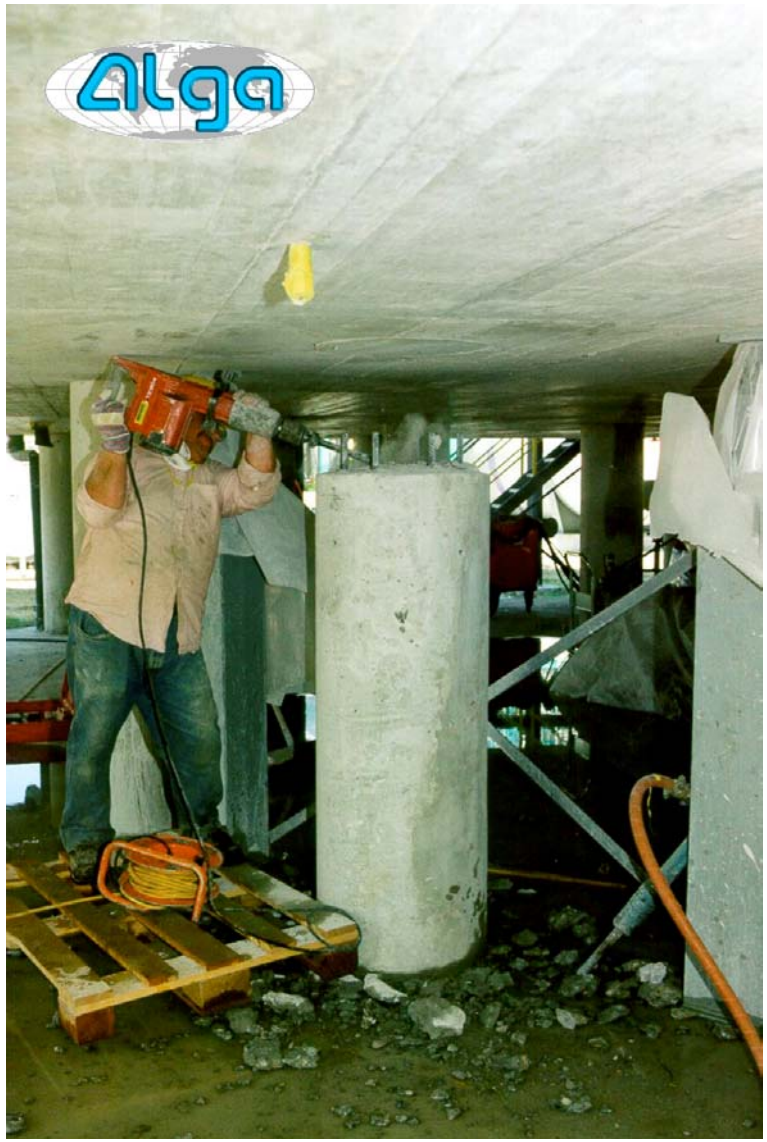
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera



Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

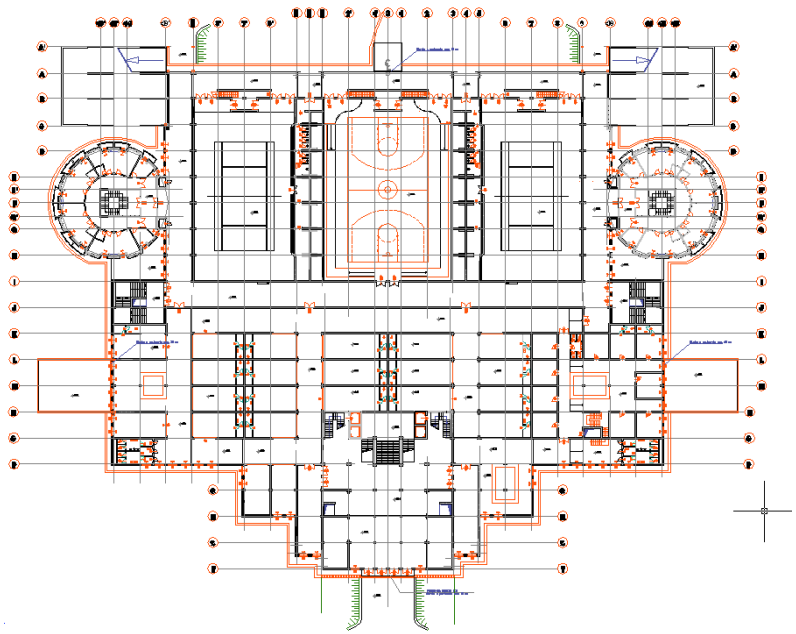
Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

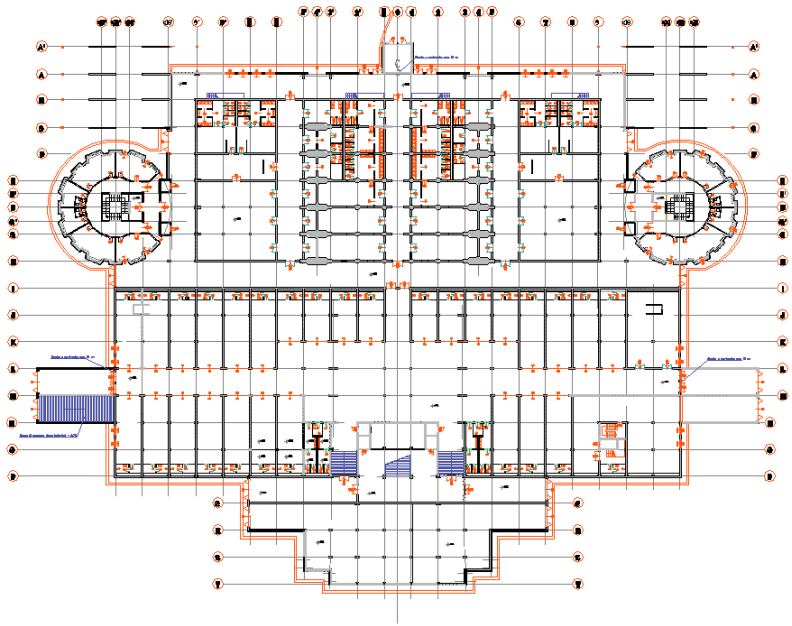
Esempio di adeguamento sismico (retrofitting): serbatoio per gas naturale a Visp, Svizzera

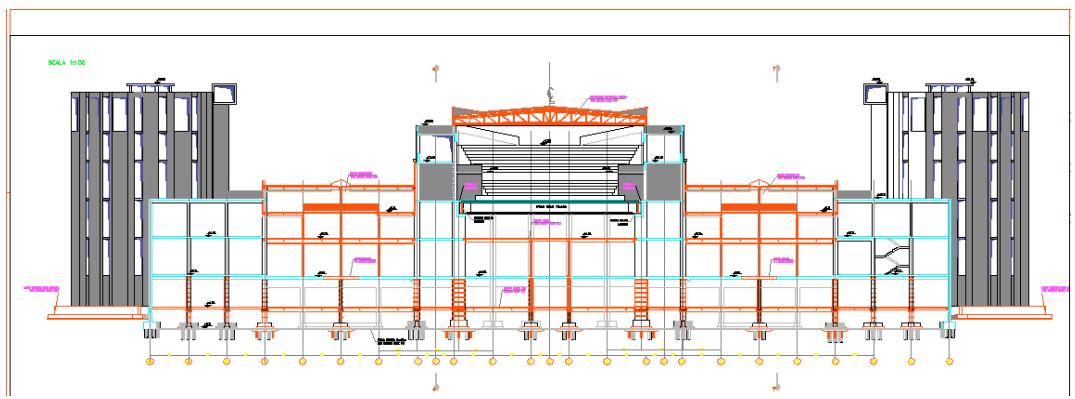
Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

"Complesso Polifunzionale" di Soccavo, Napoli

- una grande e complessa struttura in c. a.
- 125 x 170 metri di dimensioni in pianta
- 20 metri di altezza
- 33000 m^2 di superficie utile di piano
- costruzione iniziata nel 1976, interrotta nel 1979







Alberto Dusi

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

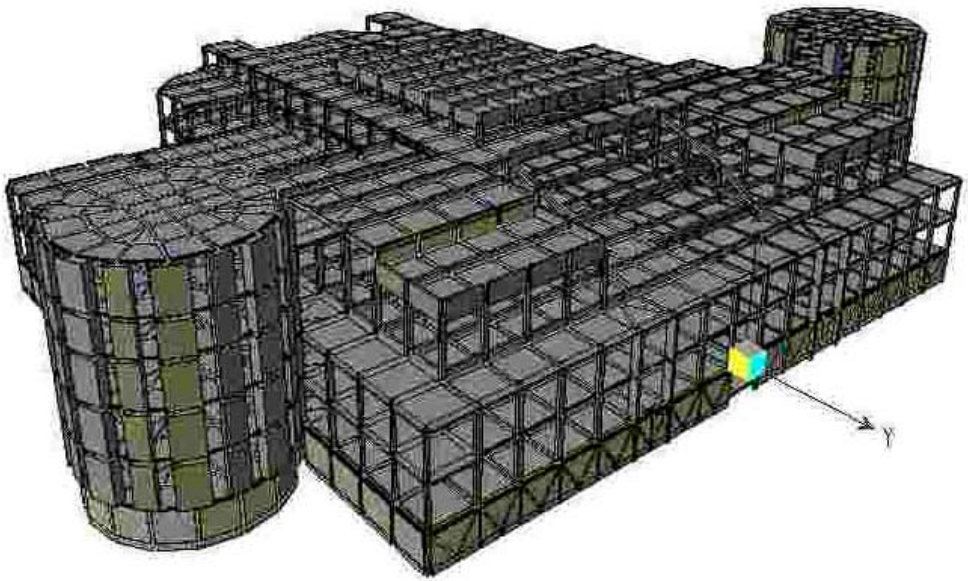
L'adeguamento sismico è stato effettuato mediante l'inserimento di 626 isolatori in gomma ad alta dissipazione di energia nei pilastri a livello del piano sotterraneo.

Si tratta del più grande intervento del genere, per numero di isolatori, effettuato al mondo

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

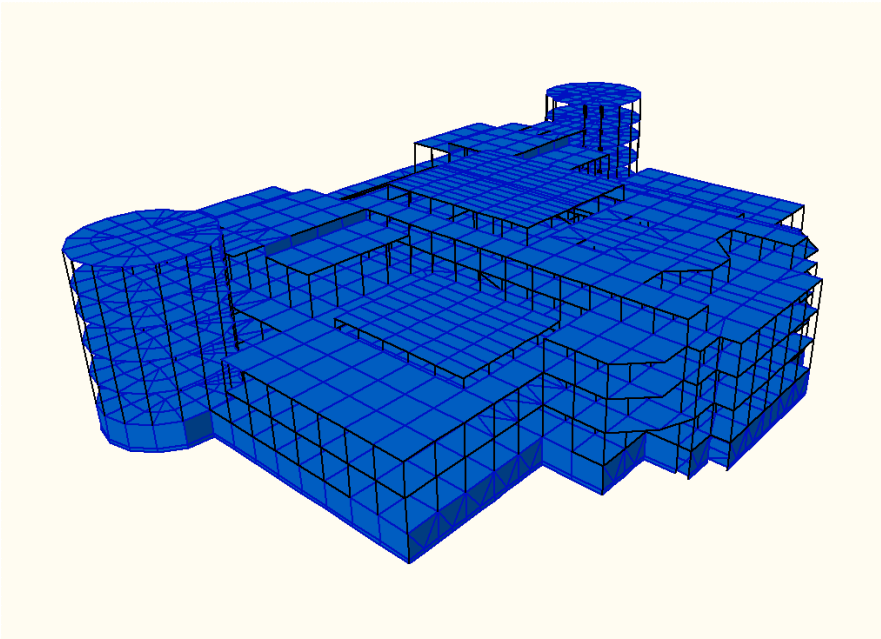
ANALISI DINAMICA

La verifica del comportamento della struttura sotto sisma è stata effettuata mediante un modello tridimensionale non lineare

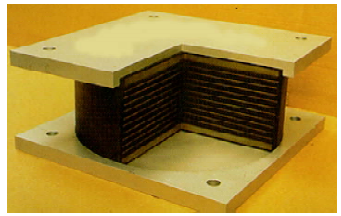


- Modello 3D Elementi Finiti
- 23600 Gradi di Libertà
- Elementi non lineari
- Modellazione degli HDRB in base ai dati sperimentali
- Spettro di risposta in base alle Linee Guida con accelerazione al suolo pari a 0,2 g
- Suolo tipo B

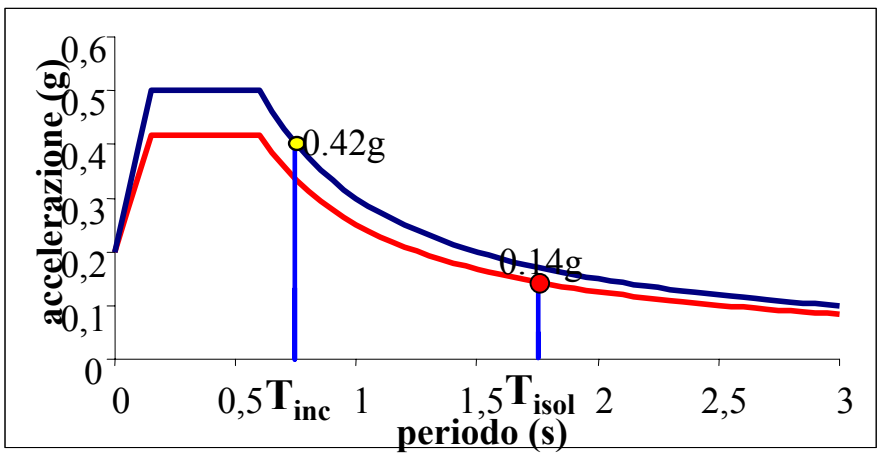
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

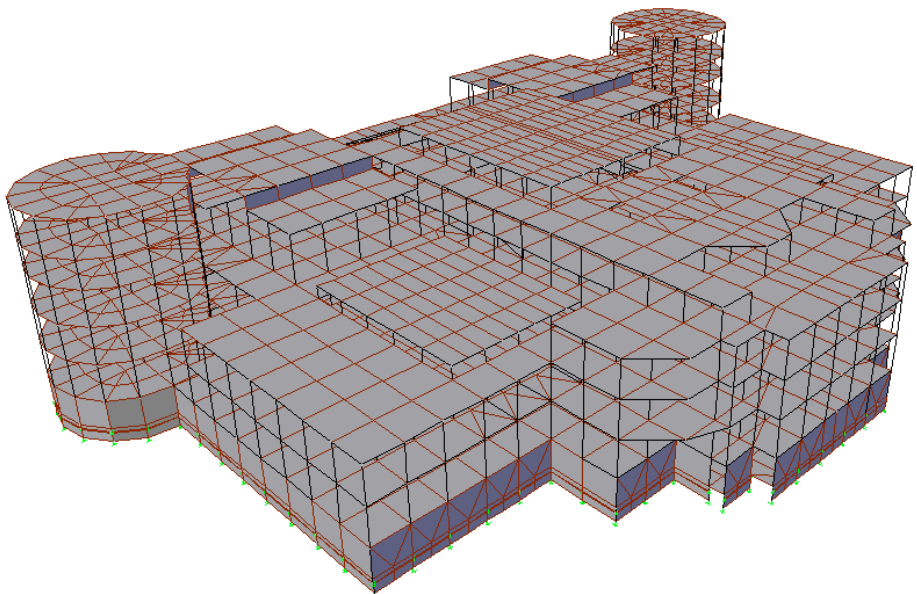


624 HDRB



- Rapporto di isolamento = 2,4



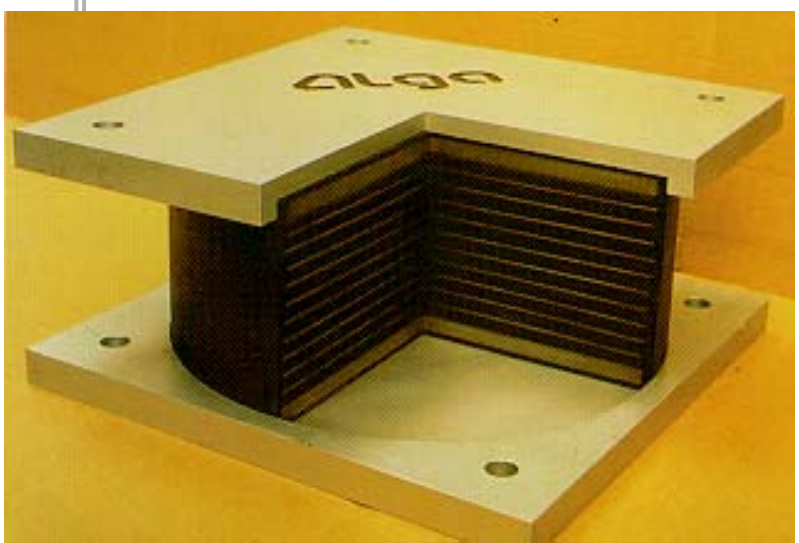


alga TECHNOLOGICALTHINKING

TIPOLOGIA ISOLATORI

ISOLATORI QUADRATI	Q1	Q2	Q3	Q4
Dimensioni in pianta (mm)	250 × 250	300 × 300	350 × 350	400 × 400
Spessore totale di gomma (mm)	72.0	72.0	72.0	72.0
Altezza totale isolatore (mm)	140.0	134.0	128.0	128.0
Fattore di forma primario	12.76	12.29	12.08	12.34
Rigidezza orizzontale (kN/mm)	0.667	0.967	1.323	1.734
Carico verticale di progetto (kN)	390	830	1320	2000
Spostamento orizzontale di progetto (mm)	90	90	90	90

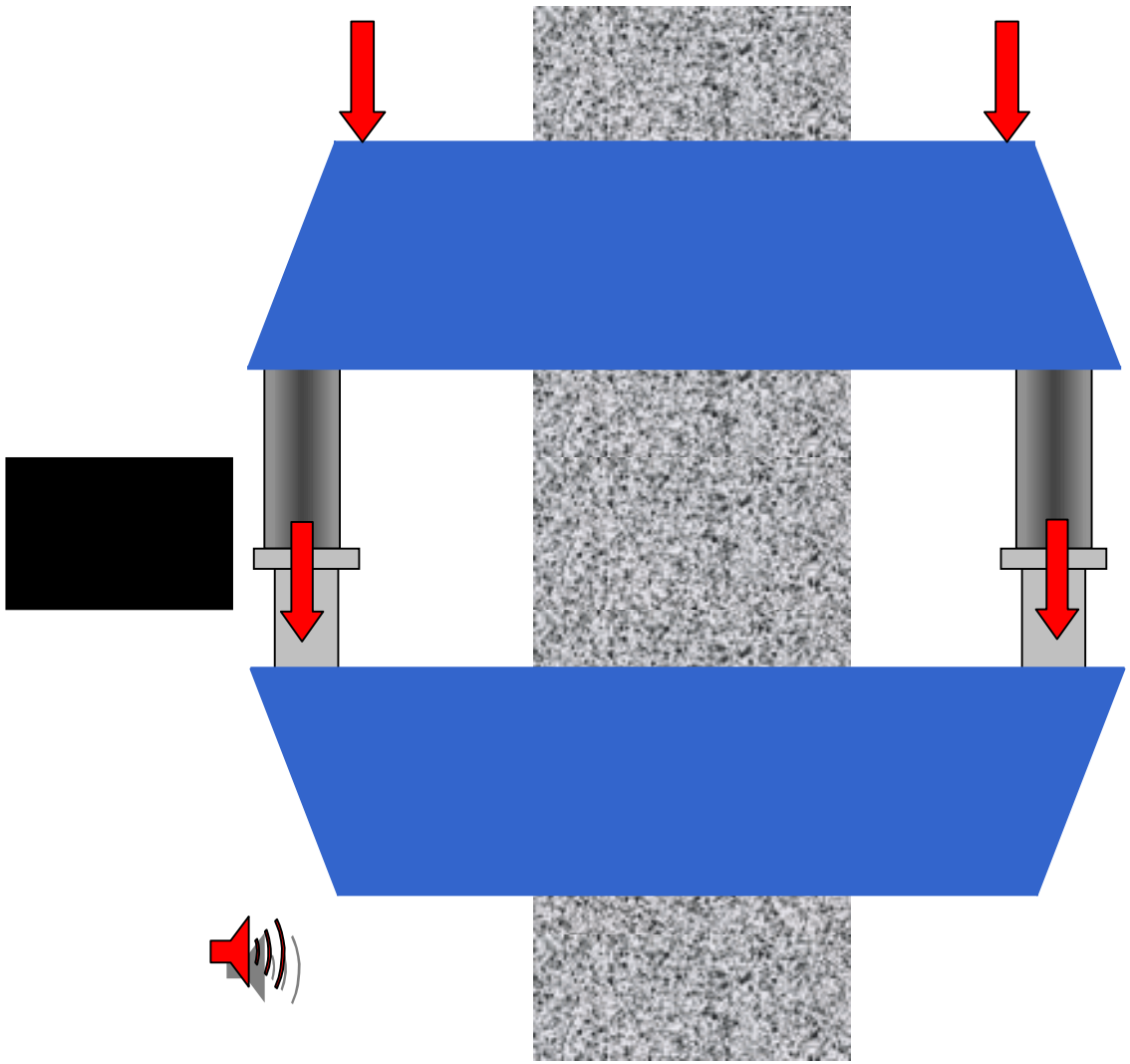
624 HDRB



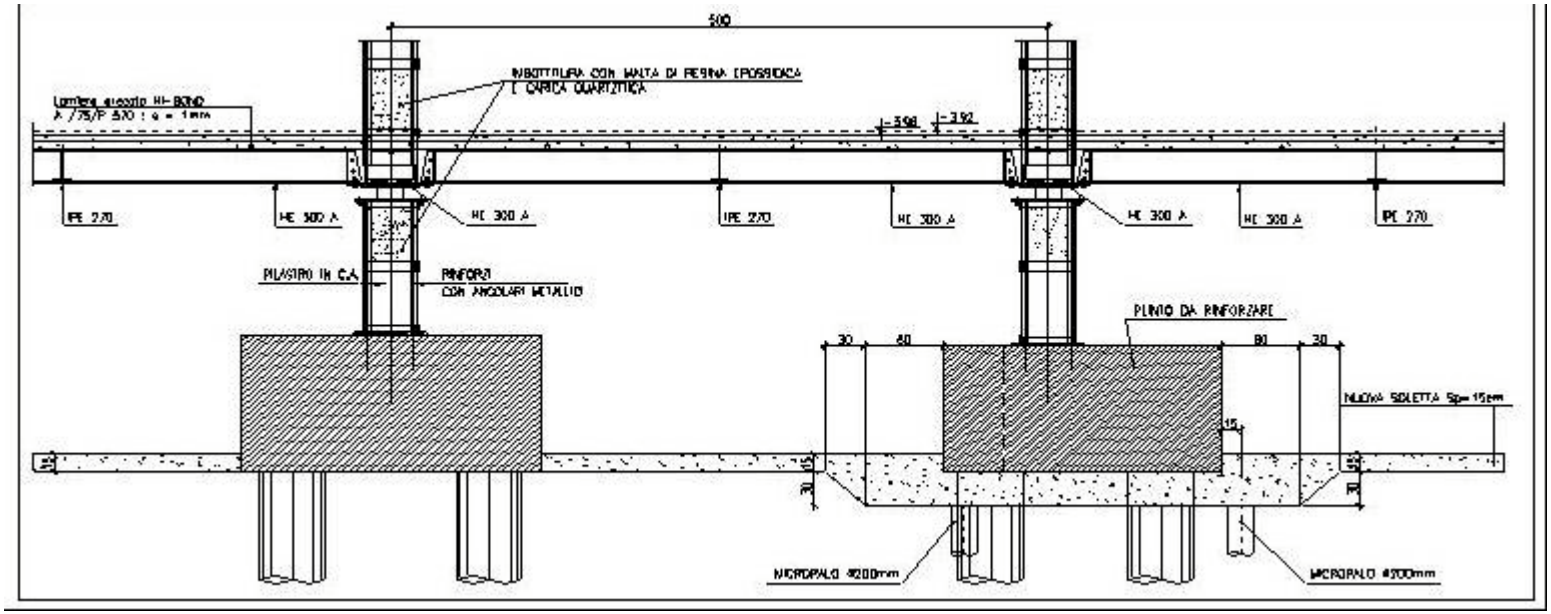
ISOLATORI CIRCOLARI	C1	C2	C3	C4
Diametro (mm)	300	350	400	450
Spessore totale di gomma (mm)	72.0	72.0	72.0	72.0
Altezza totale isolatore (mm)	150.0	144.0	138.0	138.0
Fattore di forma primario	15.36	14.38	12.34	13.91
Rigidezza orizzontale (kN/mm)	0.759	1.039	1.362	1.728
Carico verticale di progetto (kN)	595	1080	1400	2200
Spostamento orizzontale di progetto (mm)	90	90	90	90

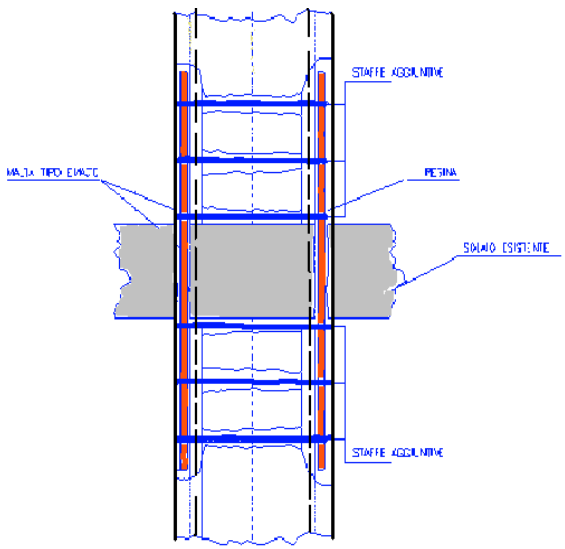
alga TECHNOLOGICALTHINKING

INSTALLAZIONE DEGLI HDRB



- Rinforzo pilastri con armature aggiuntive
- Applicazione delle morse
- Applicazione martinetti
- Messa in carico
- Bloccaggio martinetti
- Posizionamento sega
- Rimozione calcestruzzo
- Inserimento HDRB
- Rilascio del carico
- Rimozione morse





RINFORZO ARMATURE

- molto limitato
- micropali in alcuni plinti
- armature aggiuntive sui pilastri (5%)

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Centro Polifunzionale di Soccavo, Napoli

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Centro Polifunzionale di Soccavo, Napoli

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Centro Polifunzionale di Soccavo, Napoli

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Centro Polifunzionale di Soccavo, Napoli

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Dispositivi non lineari isteretici per ponti

Per ponti continui:

- Possono essere disposti in un punto per permettere gli spostamenti lenti della struttura; in tal caso devono essere dimensionati per forze rilevanti;

- Oppure possono essere distribuiti in più punti; in tal caso possono essere combinati con accoppiatori idraulici per permettere gli spostamenti lenti della struttura.

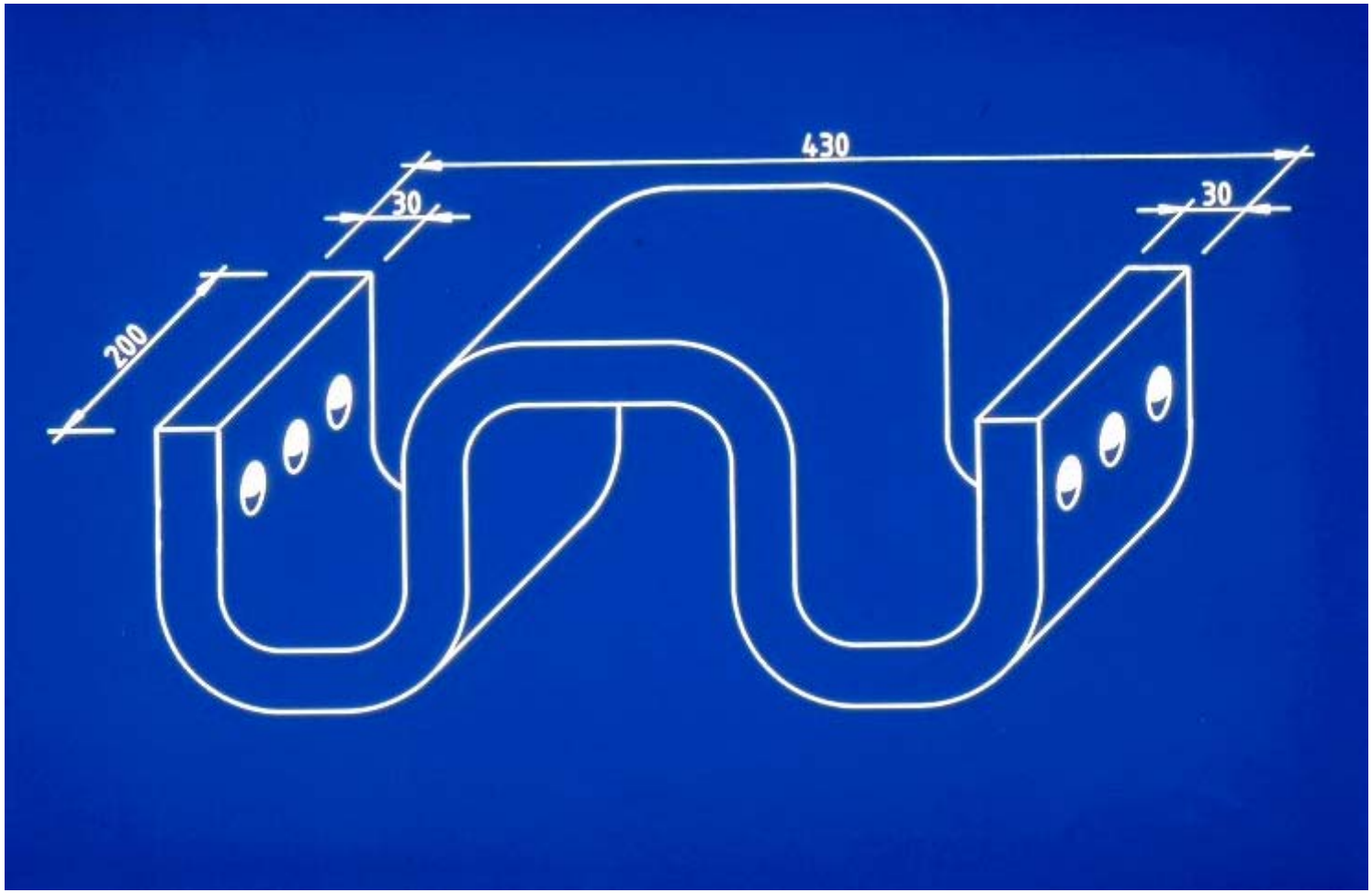
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

I primi dispositivi isteretici utilizzati per i ponti dell'Autostrada Udine-Tarvisio nel 1980

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

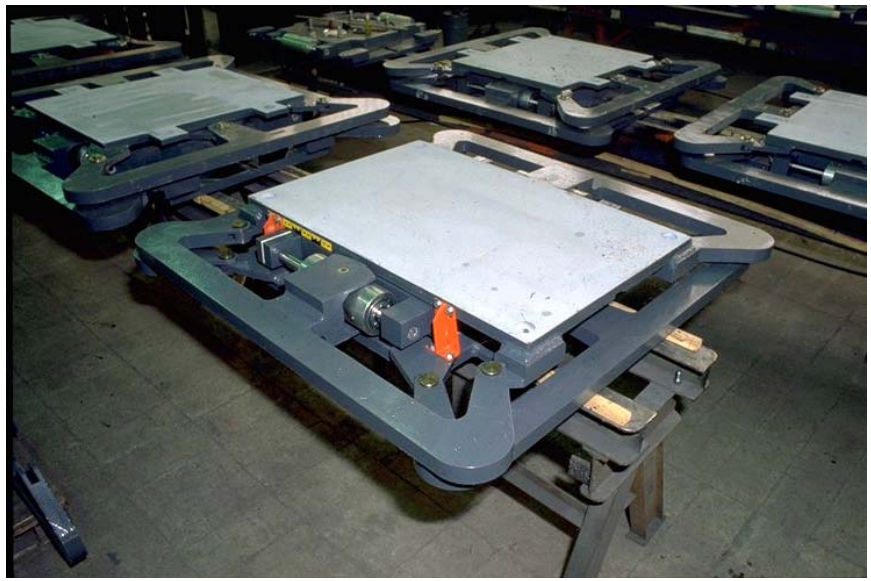
Dispositivi isteretici utilizzati per il Viadotto Fella 1 dell'Autostrada Udine-Tarvisio nel 1980

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



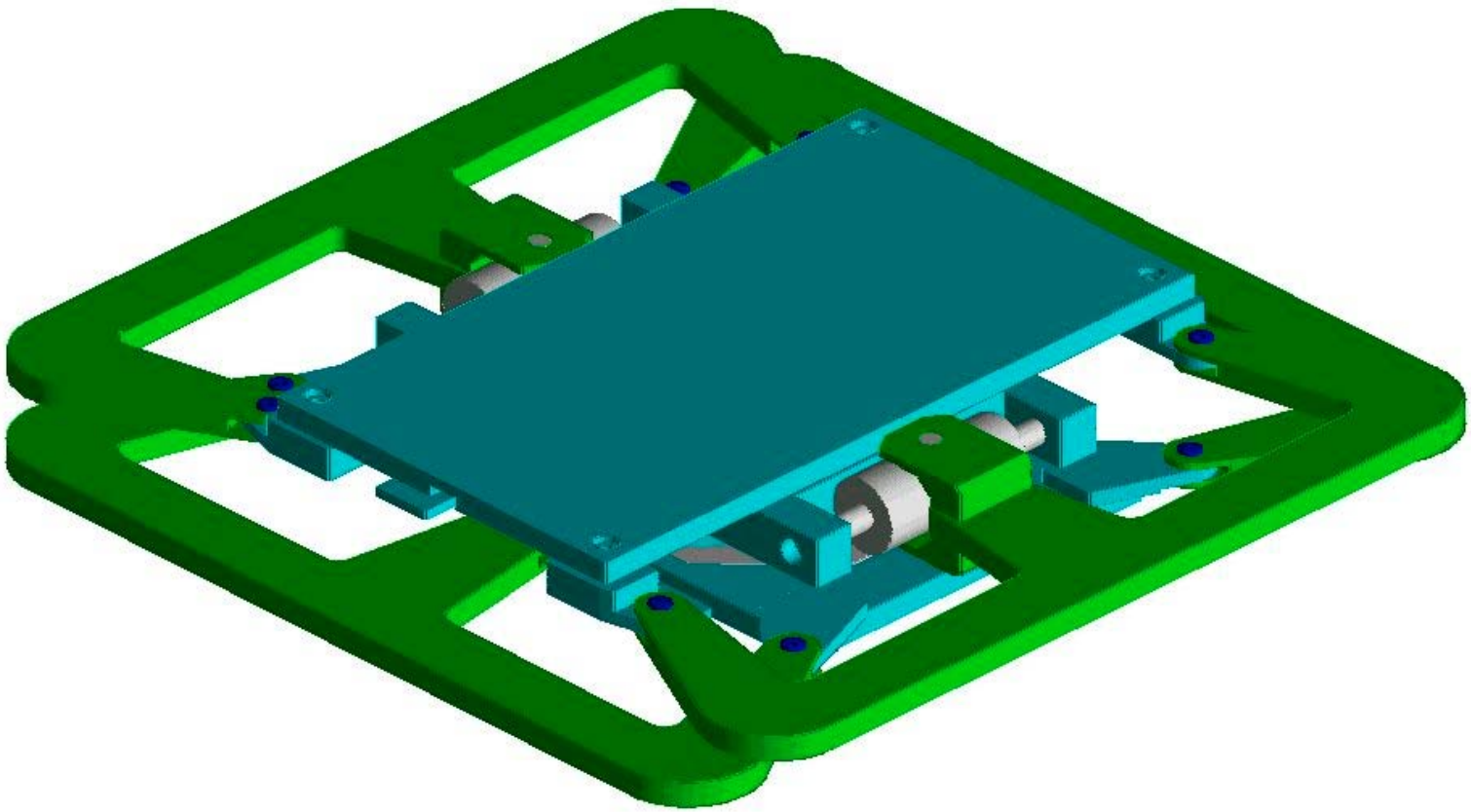
Molle elementari dei dispositivi isteretici utilizzati per il Viadotto Fella 1 nel 1980

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING



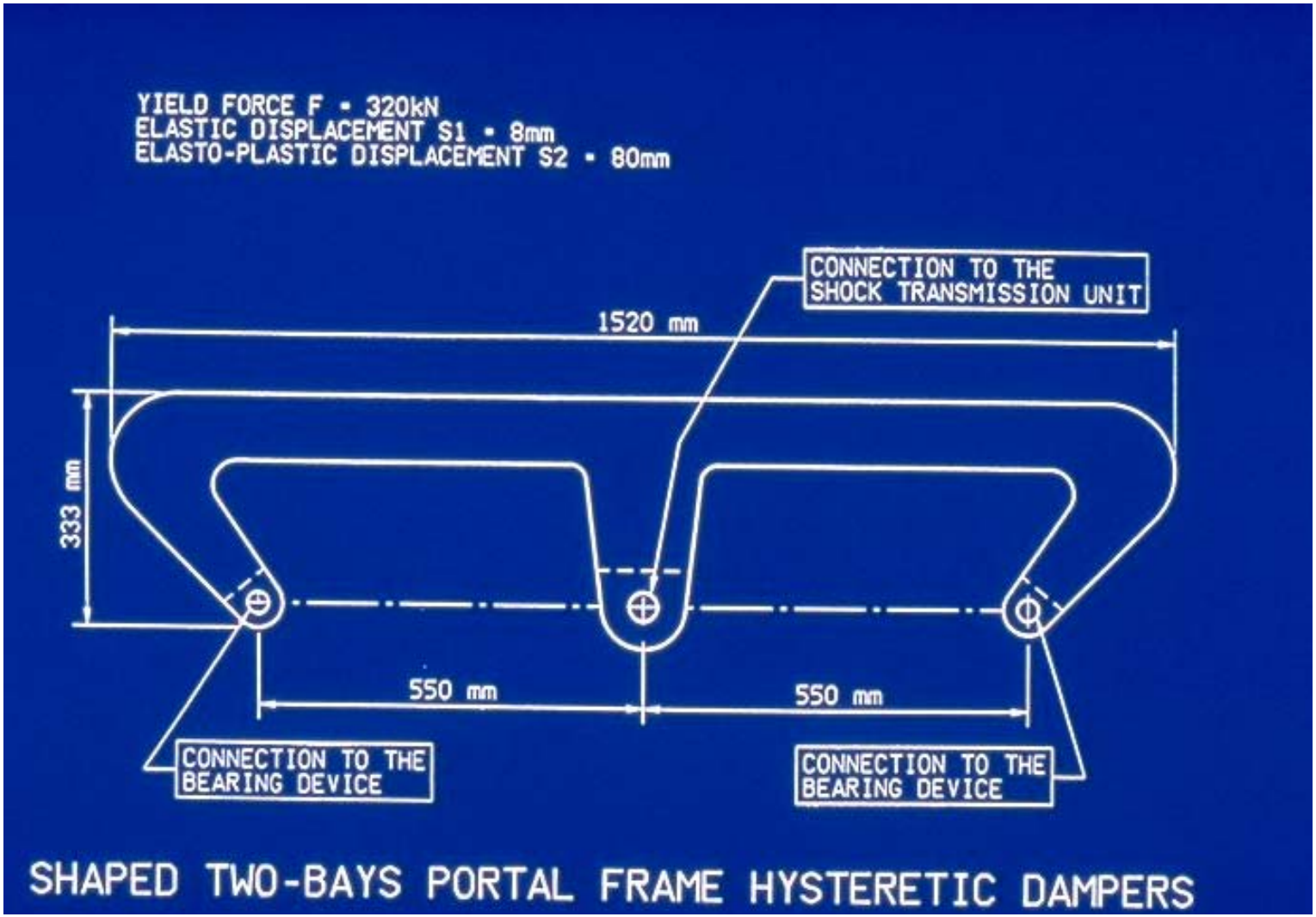
Dispositivi isteretici combinati con appoggi e connettori idraulici utilizzati per il Viadotto Mortaiolo nel 1990

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING



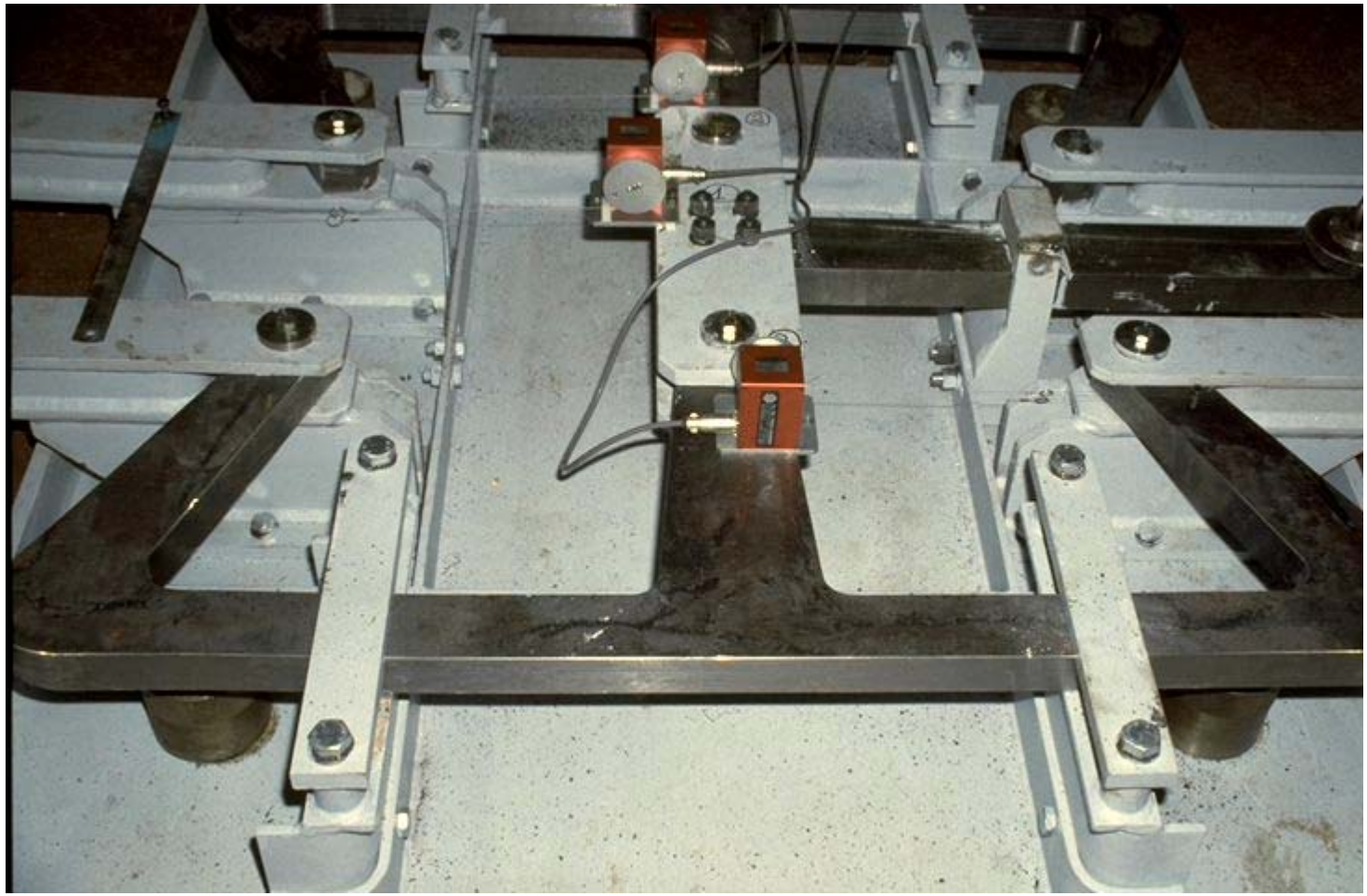
- **Schema di dispositivi isteretici combinati con appoggio a disco elastomerico e connettori idraulici**

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



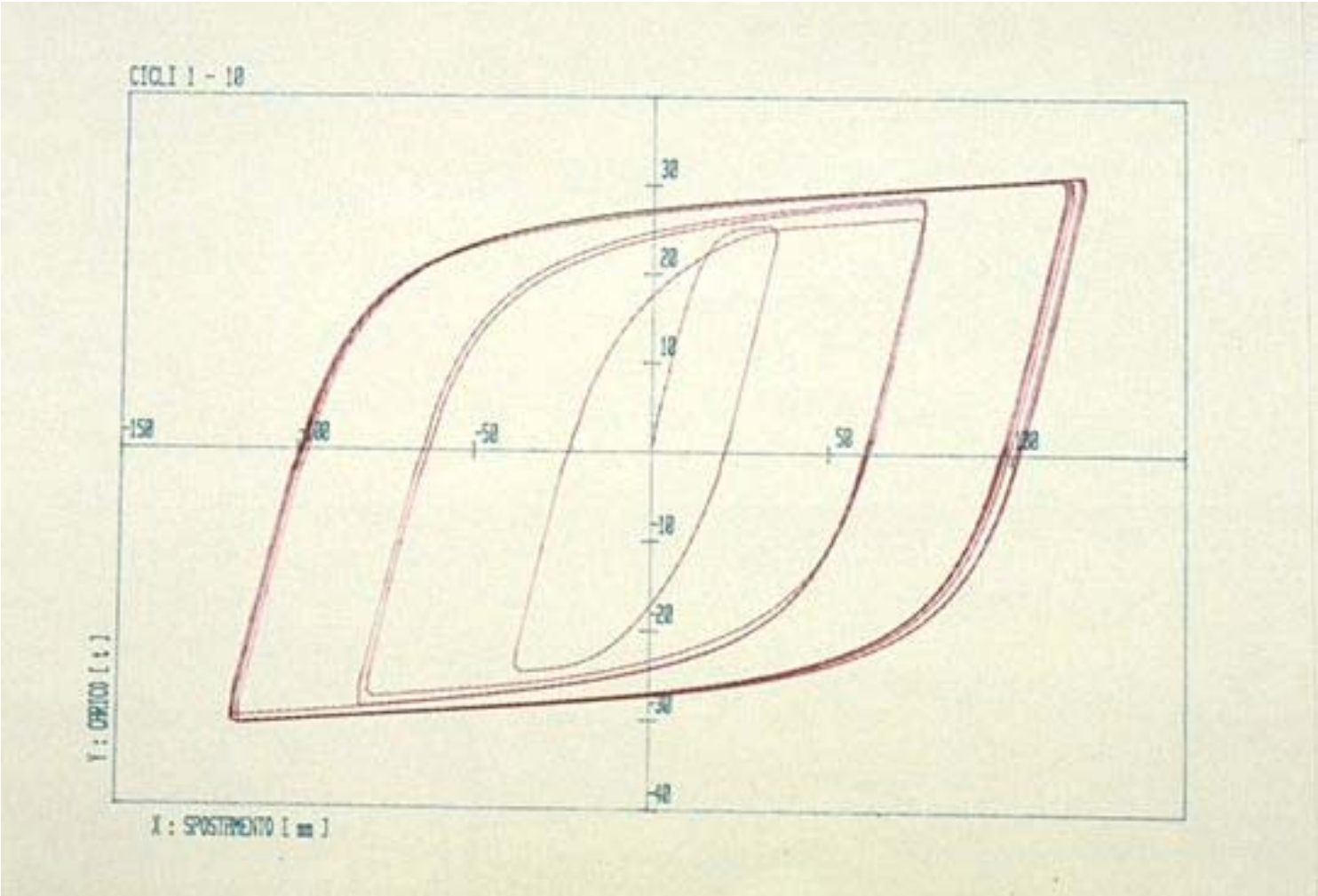
Dettaglio di un dispositivo isteretico a E

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Prova su di un dispositivo isteretico a E

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Cicli d'isteresi di un dispositivo isteretico a E - Cicli 1 - 10

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Ritegni isteretici con dispositivi ad E disposti fra impalcato e spalla

zilga
TECHNOLOGICALTHINKING

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI DISPOSITIVI ISTERETICI A FORMA DI E

1. ALTA RIPETITIVITA' DEI CICLI (>50)
2. DECADIMENTO DELLE PROPRIETA' DOPO 50 CICLI TRASCURABILE
3. ELEVATISSIMA DISSIPAZIONE DI ENERGIA (>70%)

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

I dispositivi antisismici possono essere chiamati a svolgere la loro funzione solo per pochi secondi nell'arco della vita di una struttura

I dispositivi isteretici basati sullo snervamento dell'acciaio sono:

- Affidabili
- Esenti da manutenzione
- Insensibili all'invecchiamento ed alle variazioni termiche

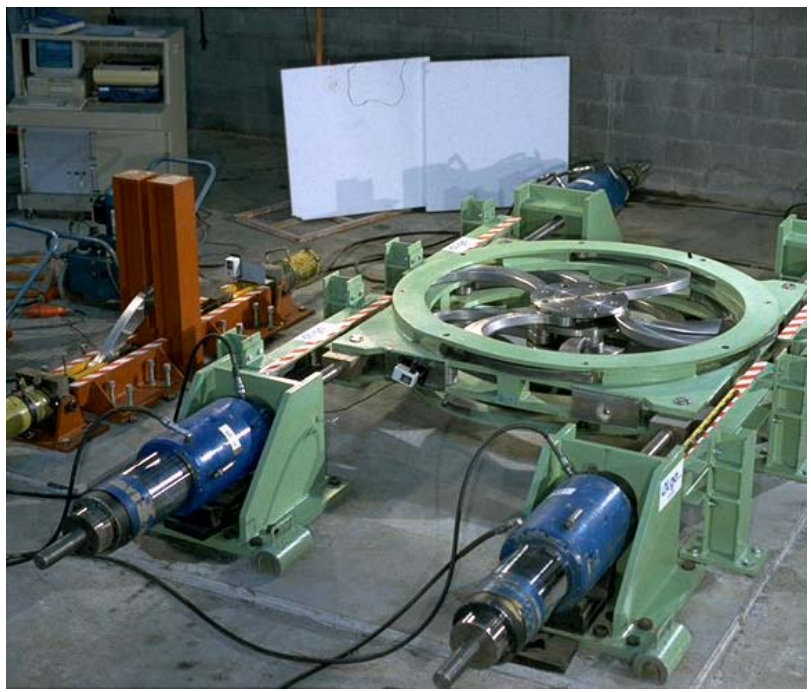
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Ultimi sviluppi dei dispositivi isteretici, anno 1992

- Gli elementi a forma di C consentono:
- elevata dissipazione di energia
- elevata resistenza a fatica oligociclica
- possibilità di realizzare dispositivi multidirezionali

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Dispositivi isteretici sviluppati per il Viadotto di Bolu in Turchia nel 1992 (EDU)



- Prove pseudo-dinamiche presso il laboratorio ALGA
- Le specifiche di progetto prevedevano 20 cicli allo spostamento di progetto (±320 mm) più un ciclo al 150% dello spostamento di progetto (±480 mm)

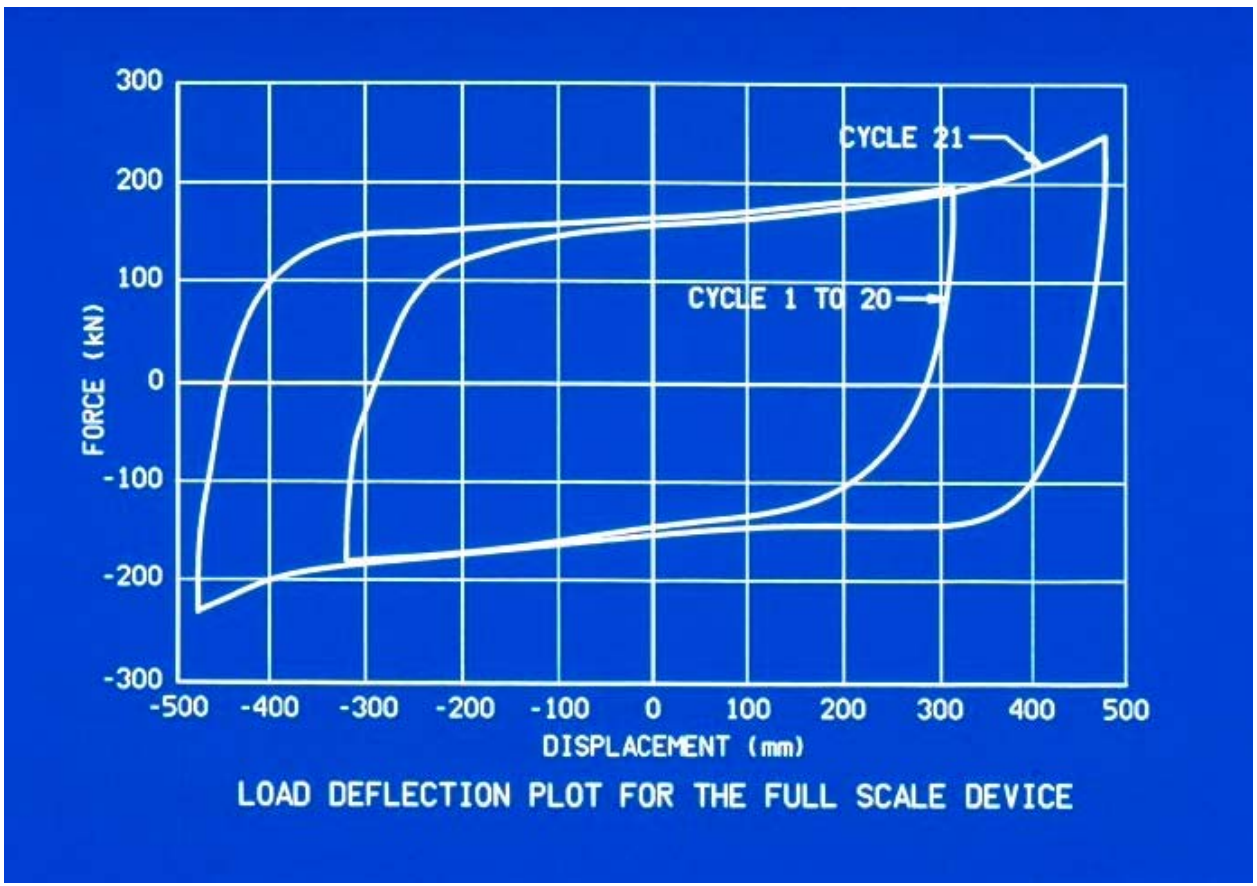
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Prove sui dispositivi isteretici sviluppati per il Viadotto di Bolu in Turchia

- Il dispositivo alla massima deformazione

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Cicli d'isteresi dei dispositivi isteretici sviluppati per il Viadotto di Bolu in Turchia

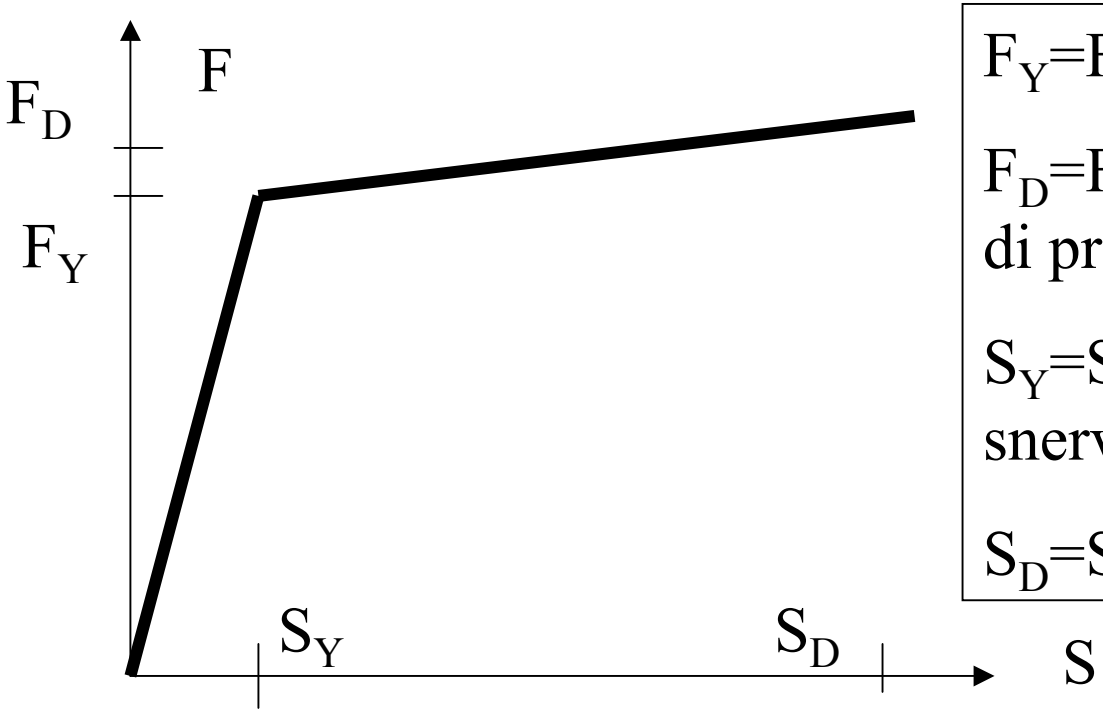


Energia dissipata nel ciclo 21: 1600 MJ

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

PROGETTAZIONE DI UNA STRUTTURA CON DISPOSITIVI ISTERETICI

Sono caratterizzati dal diagramma carico-deformazione che generalmente viene approssimato da una curva bi-lineare che deve essere fornita dal produttore



F_Y=Forza di snervamento

F_D=Forza allo spostamento di progetto

S_Y=Spostamento allo snervamento (elastico)

S_D=Spostamento di progetto

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

PROGETTAZIONE DI UNA STRUTTURA CON DISPOSITIVI ISTERETICI (2)

- E' richiesta l'analisi dinamica non lineare della struttura. Si può procedere per tentativi ed errori come segue:

1. Si scelgono i dispositivi isteretici in modo che la somma delle forze di snervamento sia:

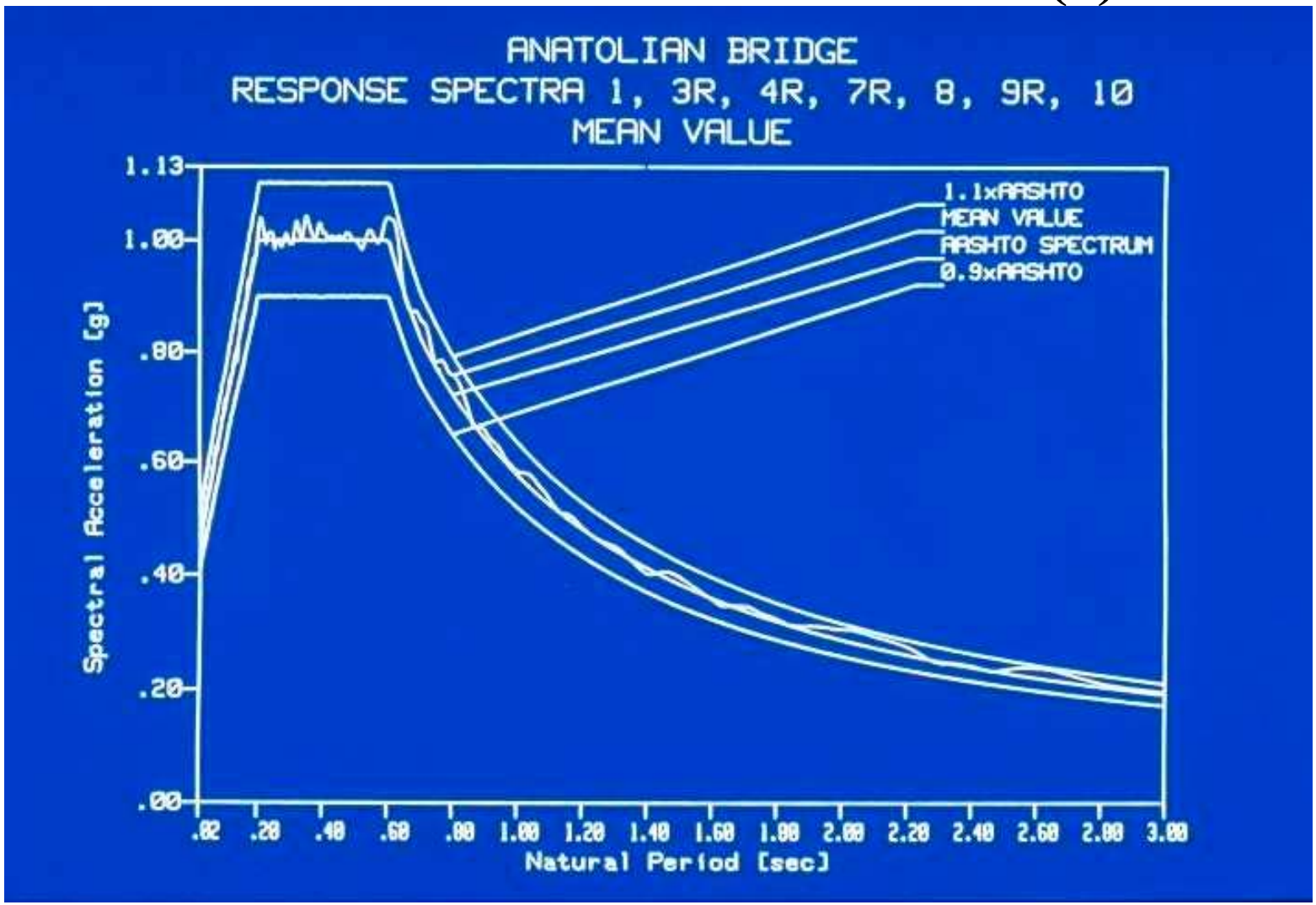
   $\Rightarrow \Sigma F_Y = 0{,}1W$ per zone sismiche di prima categoria (W=peso totale della struttura)

   $\Rightarrow \Sigma F_Y = 0{,}07W$ per zone sismiche di seconda categoria

2. Si effettua l'analisi non lineare e si calcola lo spostamento di progetto S_D
3. Se S_D è accettabile, la scelta è corretta
4. Se S_D è troppo piccolo o troppo grande occorre diminuire od aumentare ΣF_Y

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

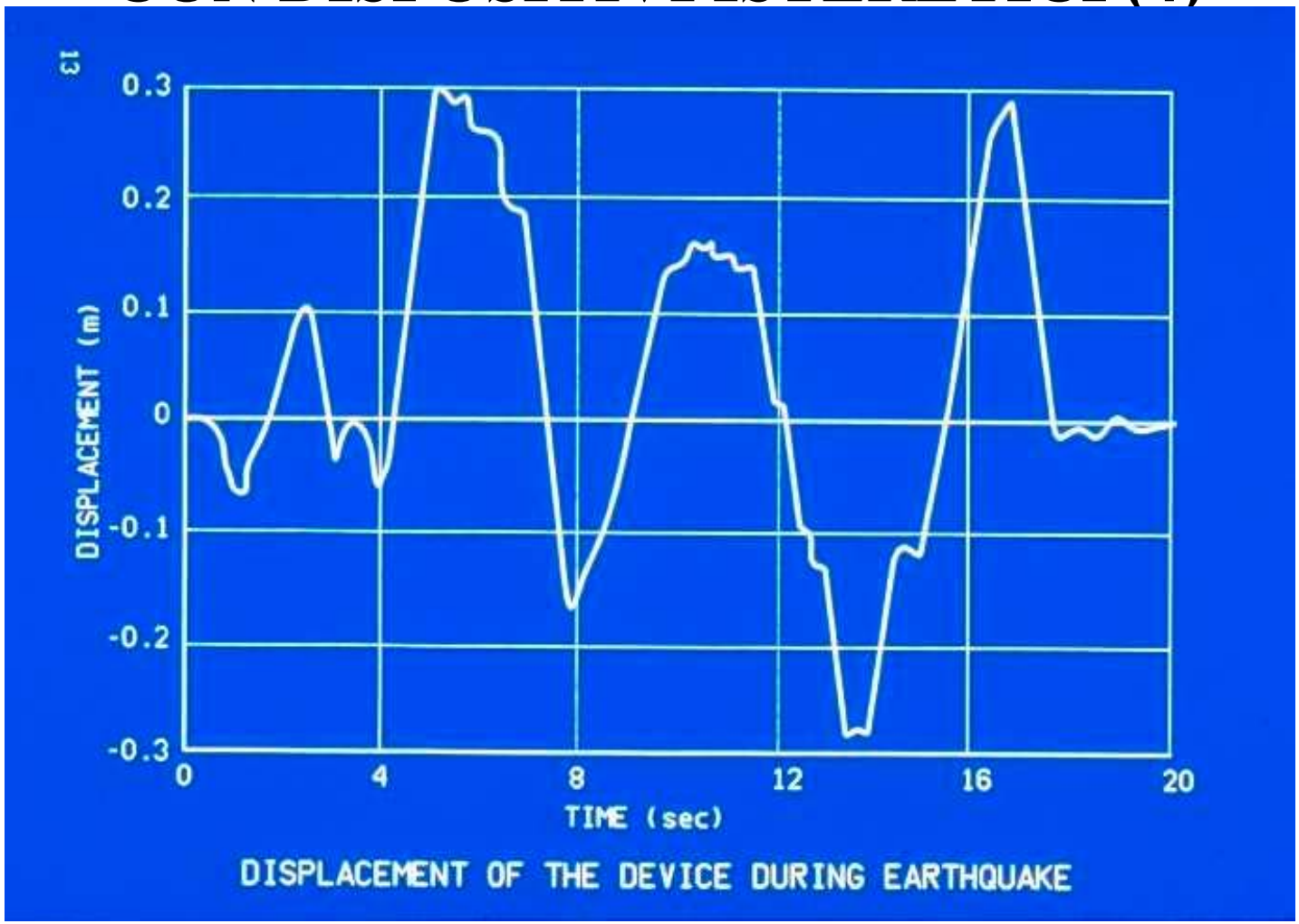
PROGETTAZIONE DI UNA STRUTTURA CON DISPOSITIVI ISTERETICI (3)



Verifica degli accelerogrammi artificiali

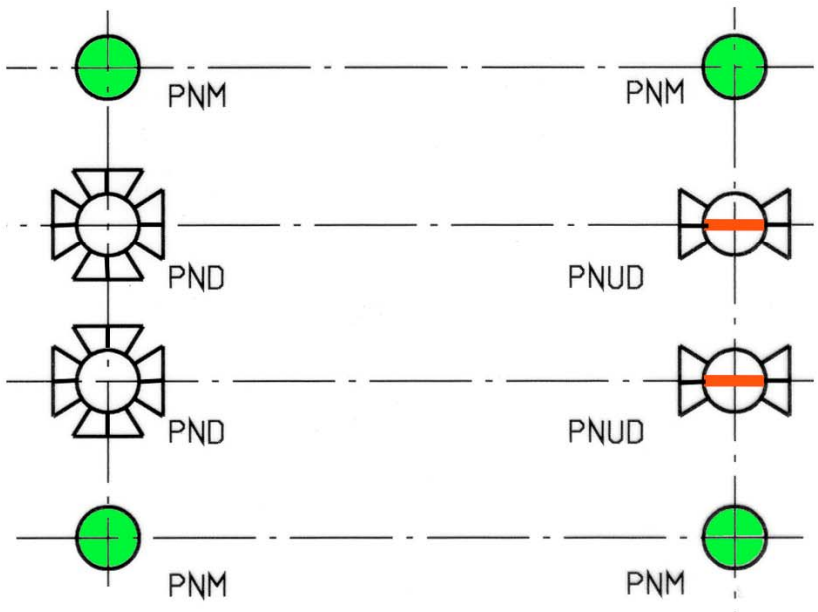
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

PROGETTAZIONE DI UNA STRUTTURA CON DISPOSITIVI ISTERETICI (4)



Verifica degli spostamenti

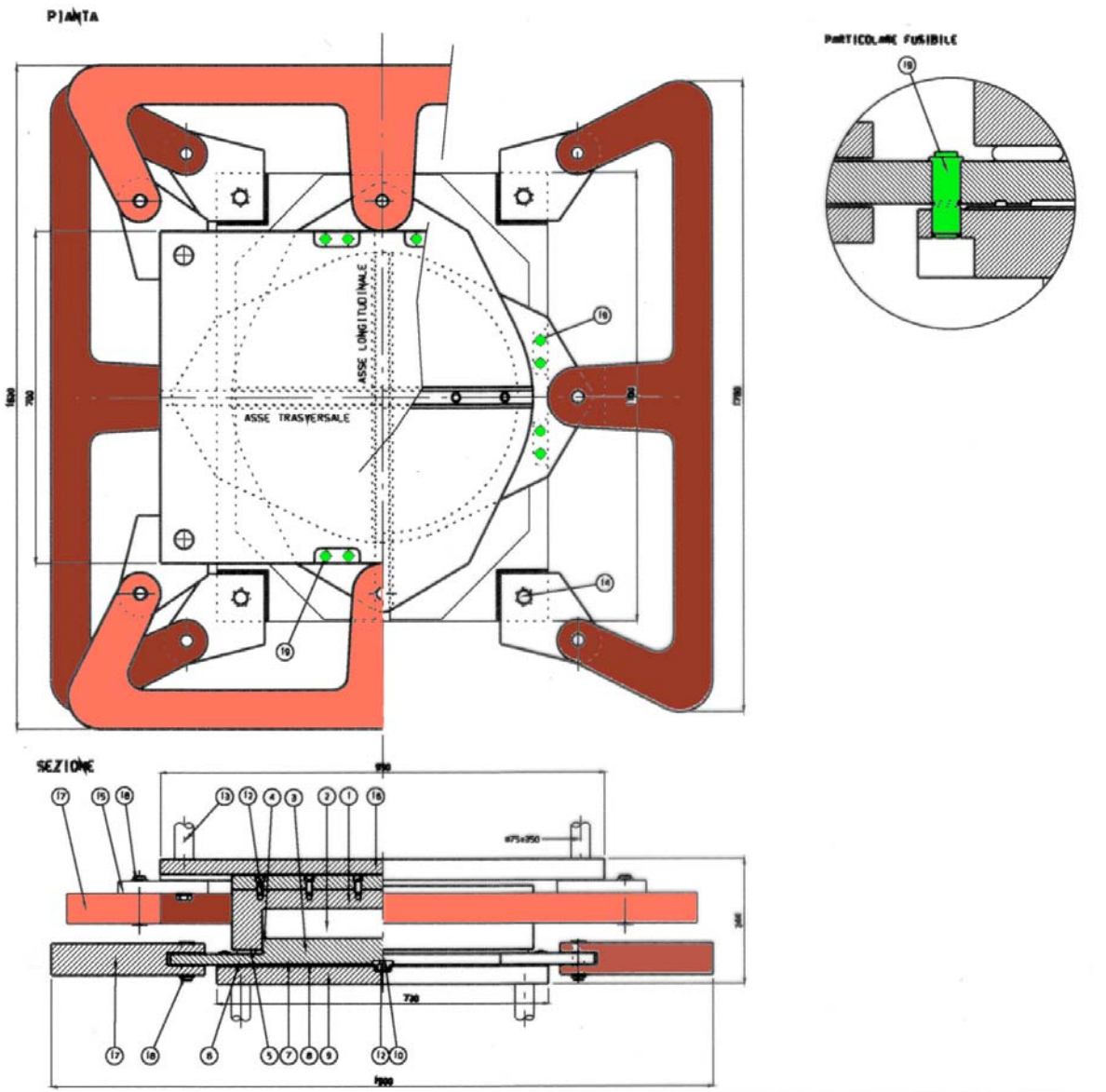
Alga TECHNOLOGICALTHINKING



SCHEMA DI UNA CAMPATA TIPO		
SIMB.	DESCRIZIONE	SIGLA
	Appoggio antisismico fisso: ALGASISM serie PND 2800/100/100-2600-1850	PND
	Appoggio antismico mobile longitudinale: ALGASISM serie PNUD 2800/0/100-0-1850(±25)	PNUD
	Apparecchio d'appoggio multidirezionale: Neotopf serie PNM 4000/50/20	PNM

Applicazione di dispositivi isteretici Algasism PND e PNUD ad un ponte ferroviario. I dispositivi sono dotati di fusibili per assicurare la necessaria rigidezza in esercizio

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Dispositivi istertici Algasism PND con fusibili per applicazioni su ponti ferroviari

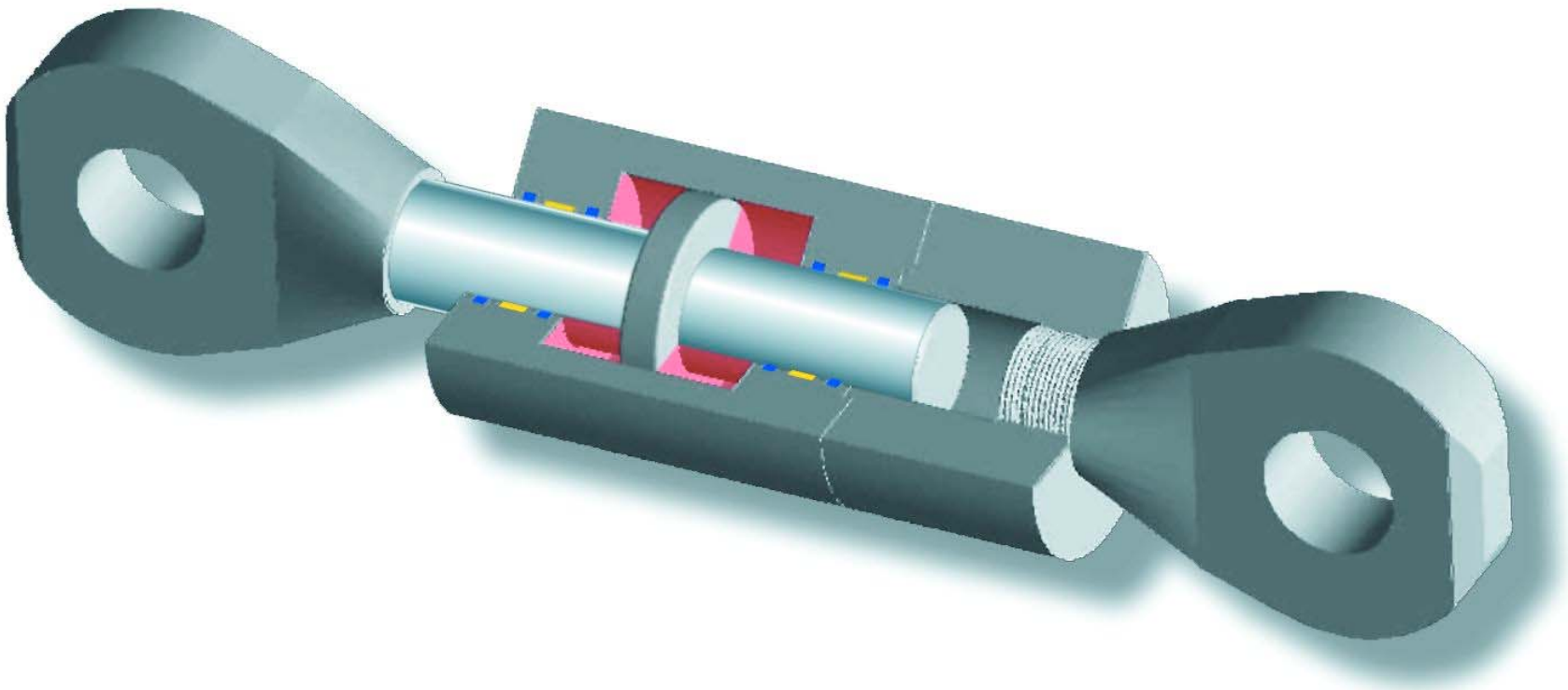
Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Dispositivi idraulici

- Consistono di un cilindro di acciaio riempito di fluido siliconico e diviso in due camere da un pistone
- Il pistone contiene delle valvole che consentono al fluido di passare da una camera all'altra a seconda dei movimenti del pistone
- Il dispositivo è collegato alla struttura da due snodi sferici

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Dispositivi idraulici



- Aspetto tipico

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Dispositivi idraulici

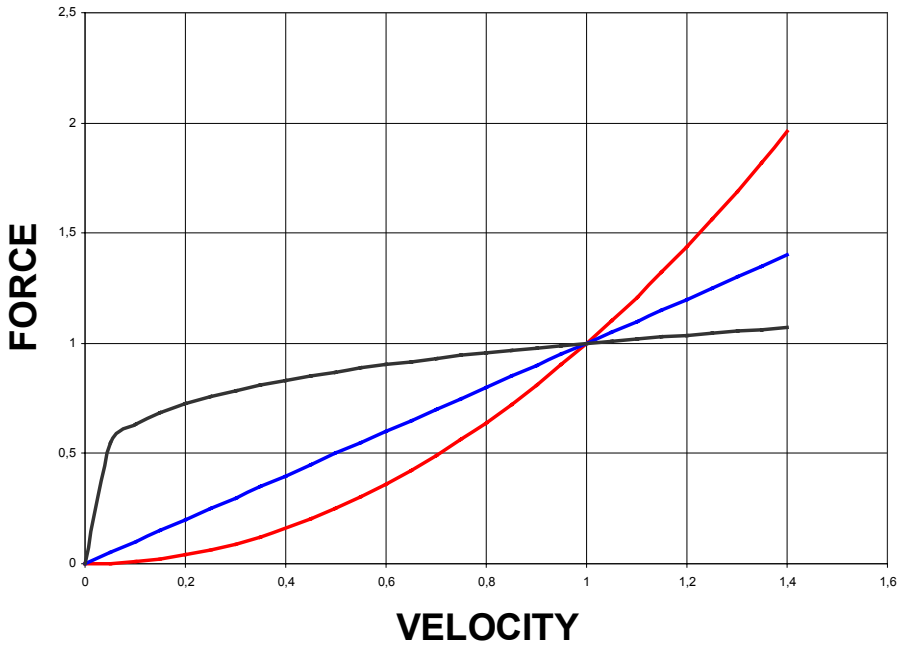
- La forza F generata da questi dispositivi può essere descritta dall'equazione

$$F = C \cdot V^{\alpha}$$

- Dove C è una costante
- V è la velocità applicata al pistone
- α è un esponente che può variare da 0,1 a 2 a seconda del circuito idraulico

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

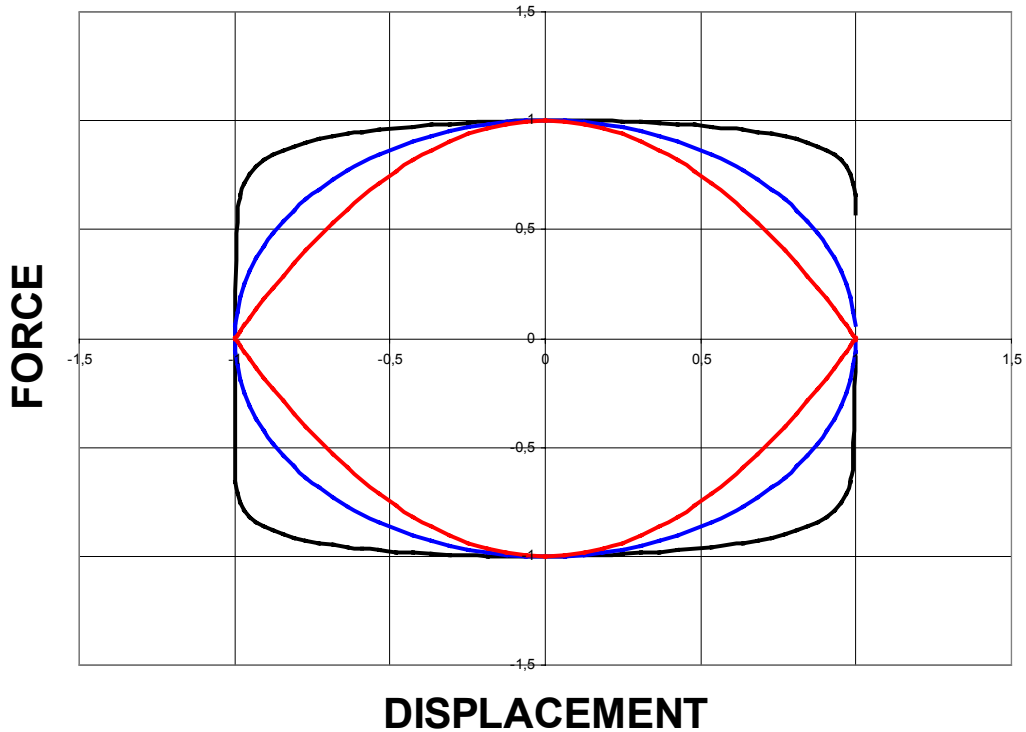
Dispositivi idraulici



- Diagrammi forza-velocità al variare dell'esponente α:
- α=2 (in rosso) è normalmente impiegato per gli accoppiatori
- α=0,1 (in nero) è normalmente impiegato per gli smorzatori viscosi

Dispositivi idraulici

•Diagrammi forza-spostamento per dispositivi con differenti valori di α con velocita impressa sinusoidale:



- α=2 (in rosso) per accoppiatori idraulici
- α=0,1 (in nero) per smorzatori viscosi. In questo caso l'energia dissipata per ciclo è massimizzata

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

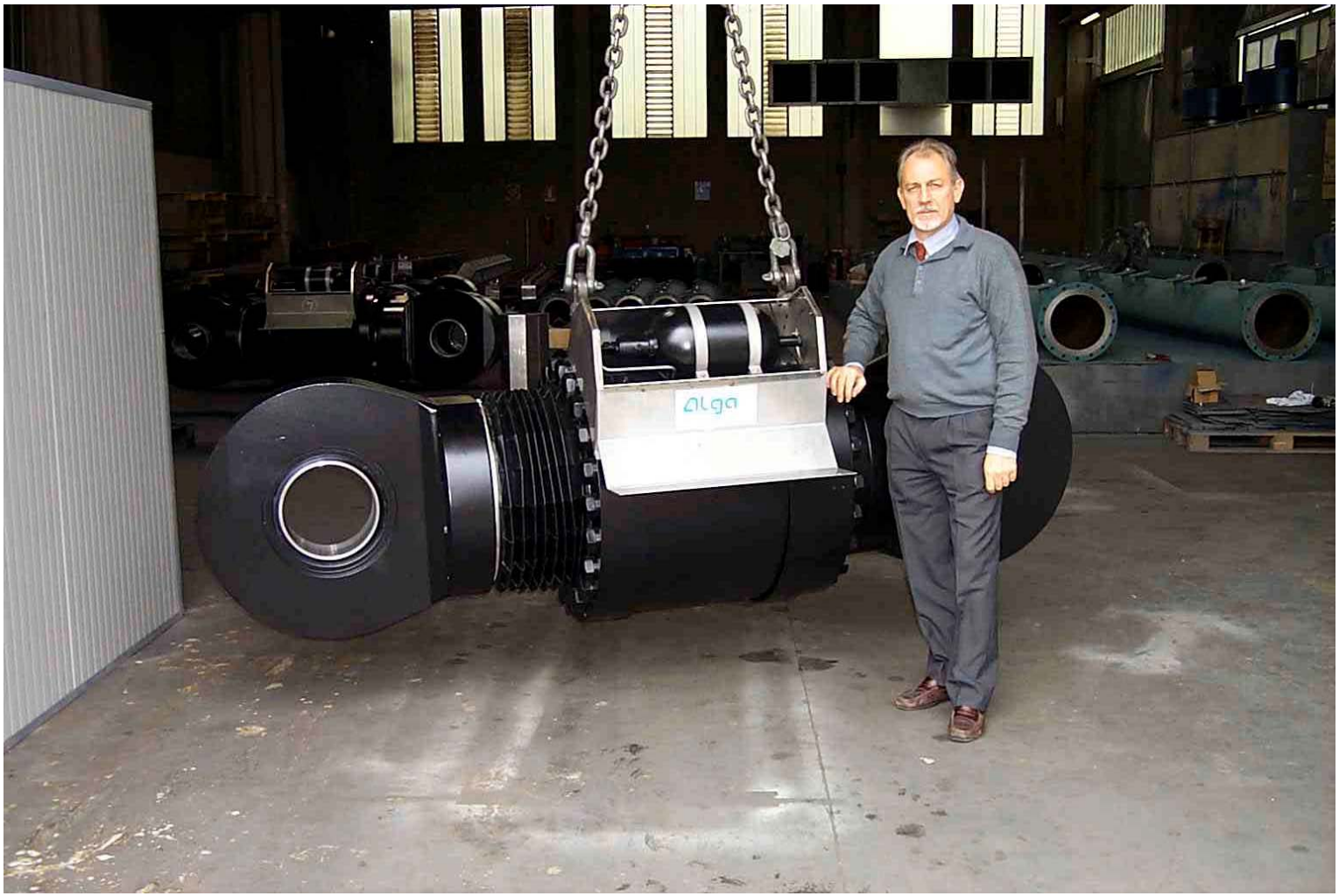
Accoppiatori Idraulici

- La scelta di un esponente $\alpha=2$:

$\Rightarrow$Minimizza la reazione del dispositivo per effetti lenti (ritiro, fluage ed effetti termici)

$\Rightarrow$Massimizza la reazione del dispositivo per effetti dinamici (frenatura e terremoto)

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

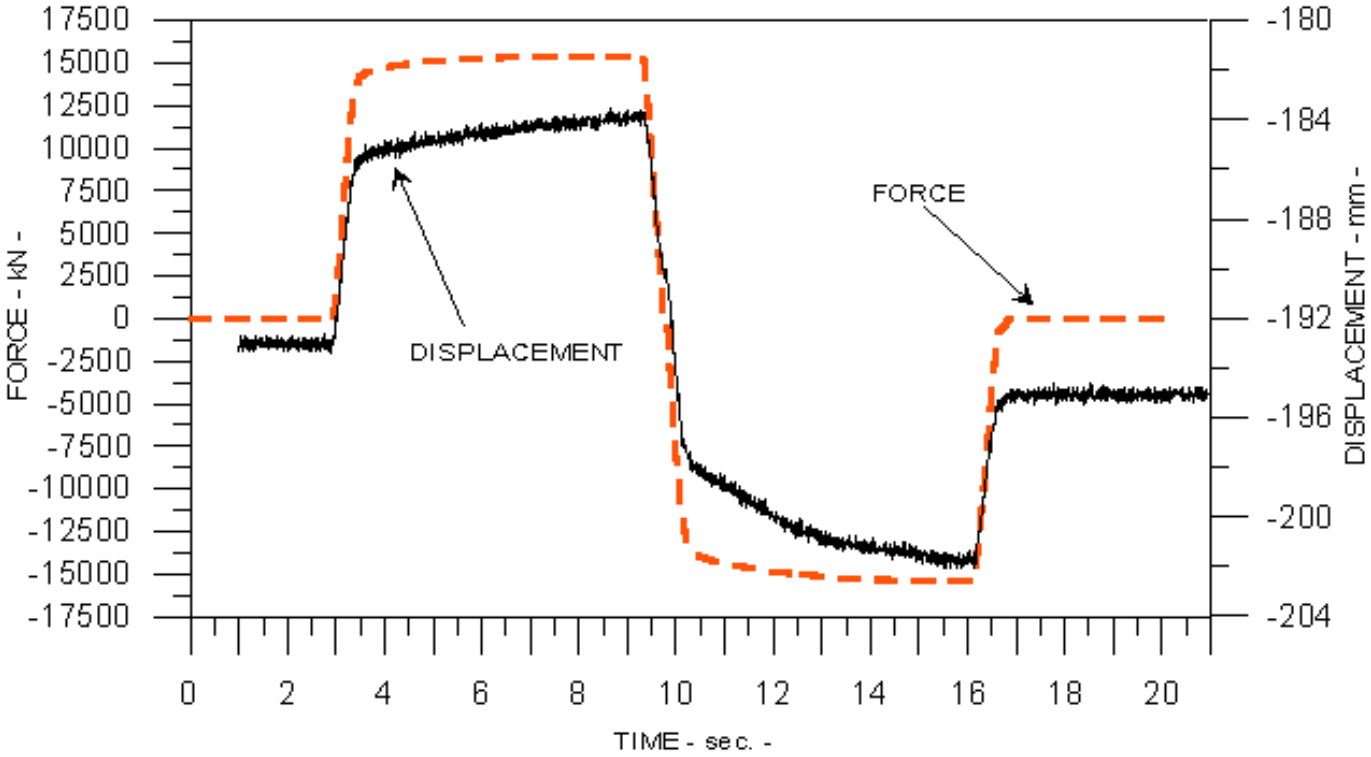


LUD da 16000 kN per il
Carquinez Bridge, California

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Prove dinamiche sui LUD da 16000 kN per il Carquinez Bridge

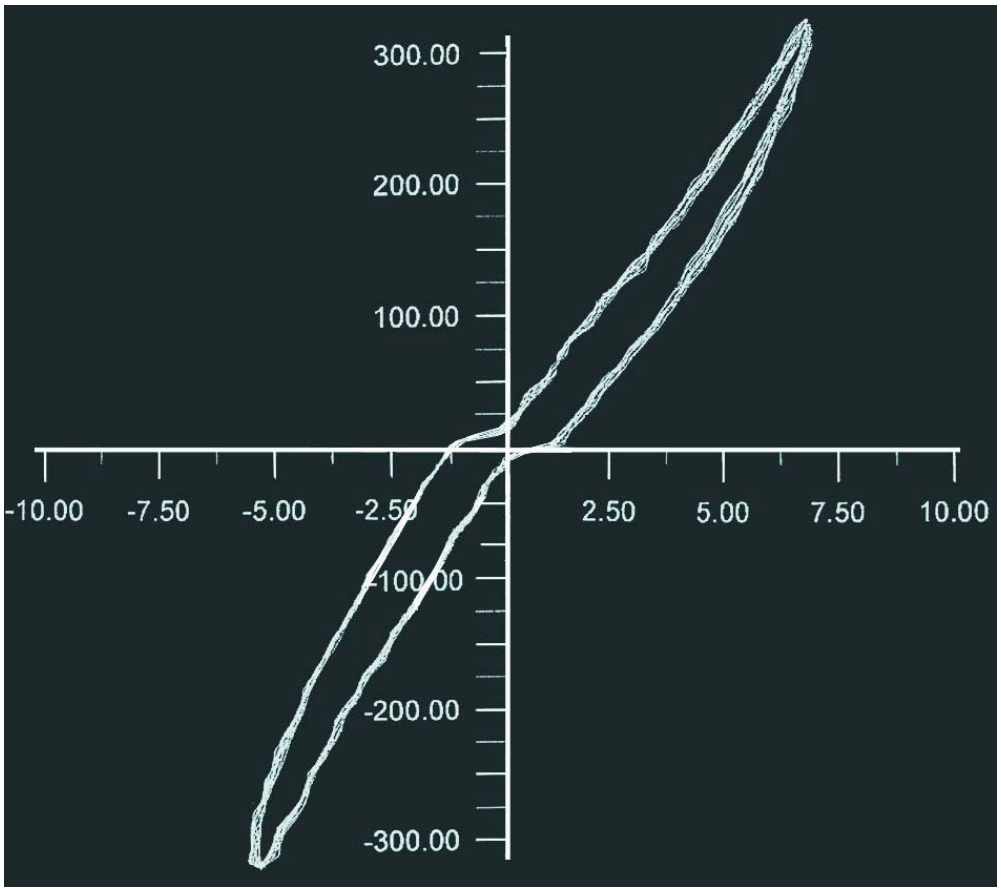
Alga
TECHNOLOGICALTHINKING



Prove dinamiche sui LUD da 16000 kN per il Carquinez Bridge

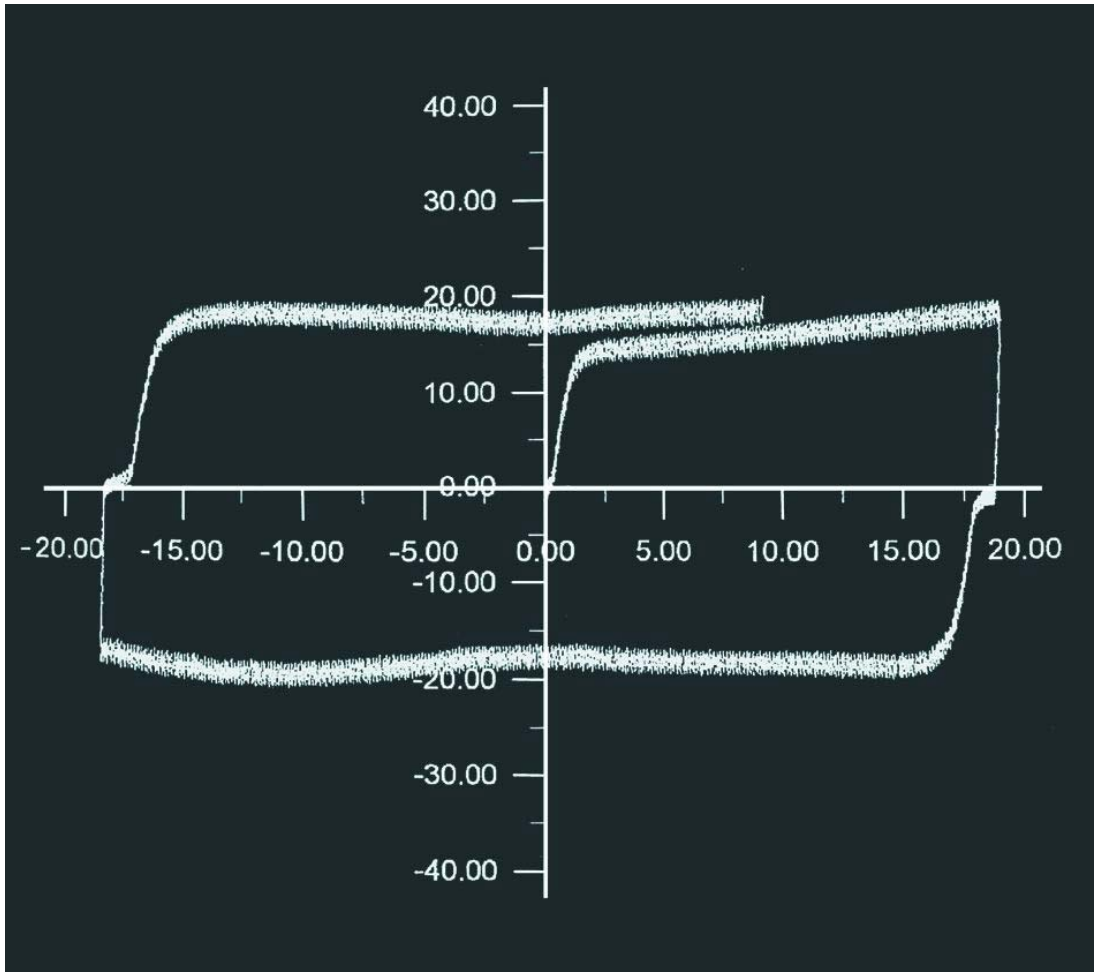
Diagrammi forza e spostamento in funzione del tempo

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



- Diagramma forza spostamento tipico di un LUD soggetto ad uno spostamento impresso sinusoidale con frequenza di 0,5 Hz

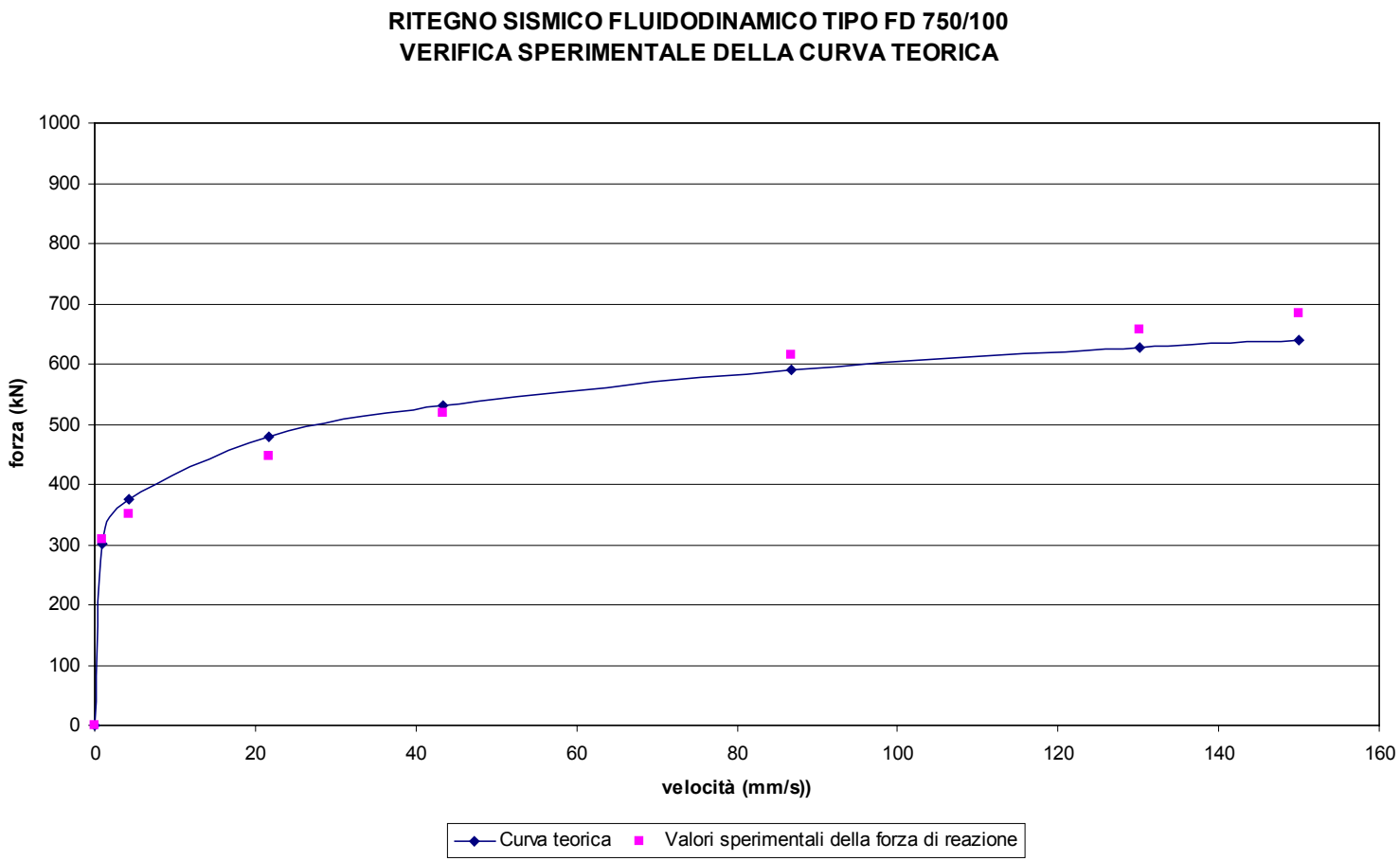
Alga TECHNOLOGICALTHINKING



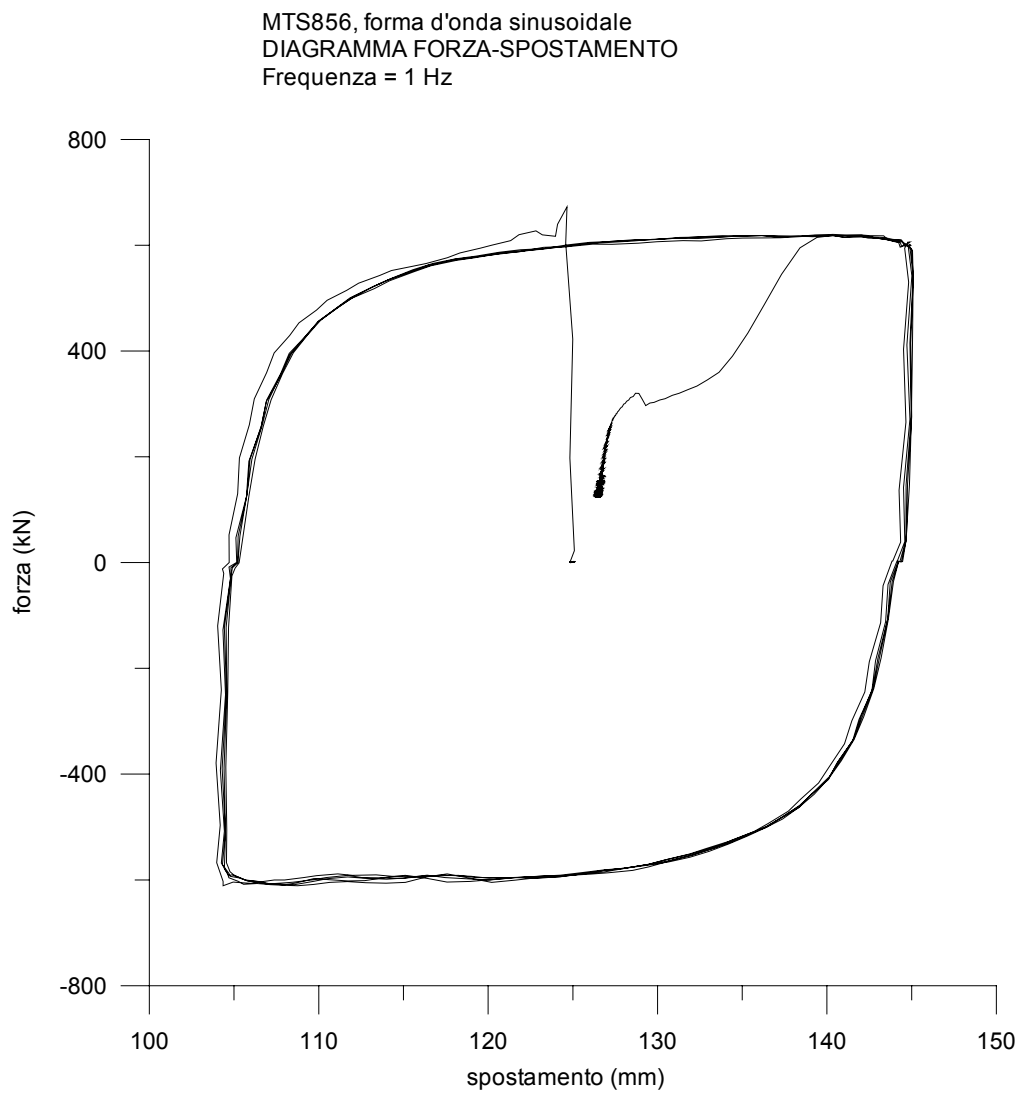
- Diagramma forza spostamento tipico di un LUD soggetto ad uno spostamento impresso con velocità di 0,01 mm/s

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Verifica sperimentale della legge costitutiva forza-velocità relativa ad uno smorzatore viscoso con esponente $\alpha = 0,15$



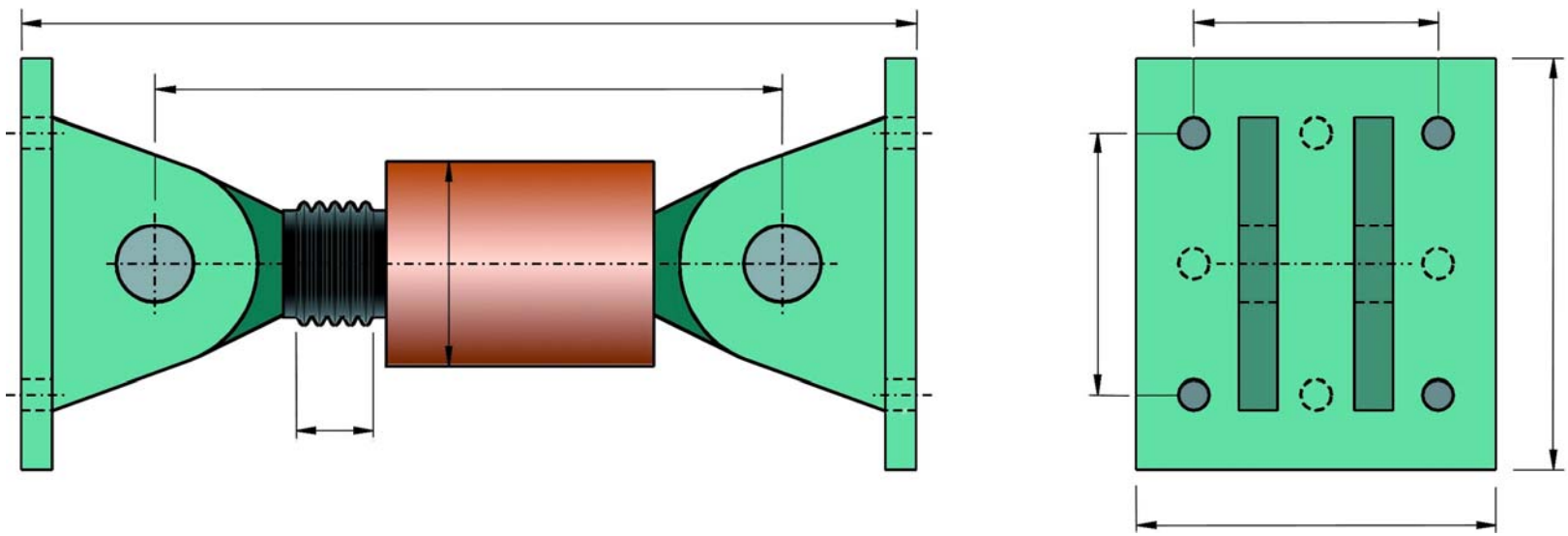
TECHNOLOGICALTHINKING



Risultato sperimentale relativo ad uno smorzatore viscoso con esponente α = 0,15 soggetto a cicli sinusoidali di ampiezza 50 mm a frequenza 1 Hz

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

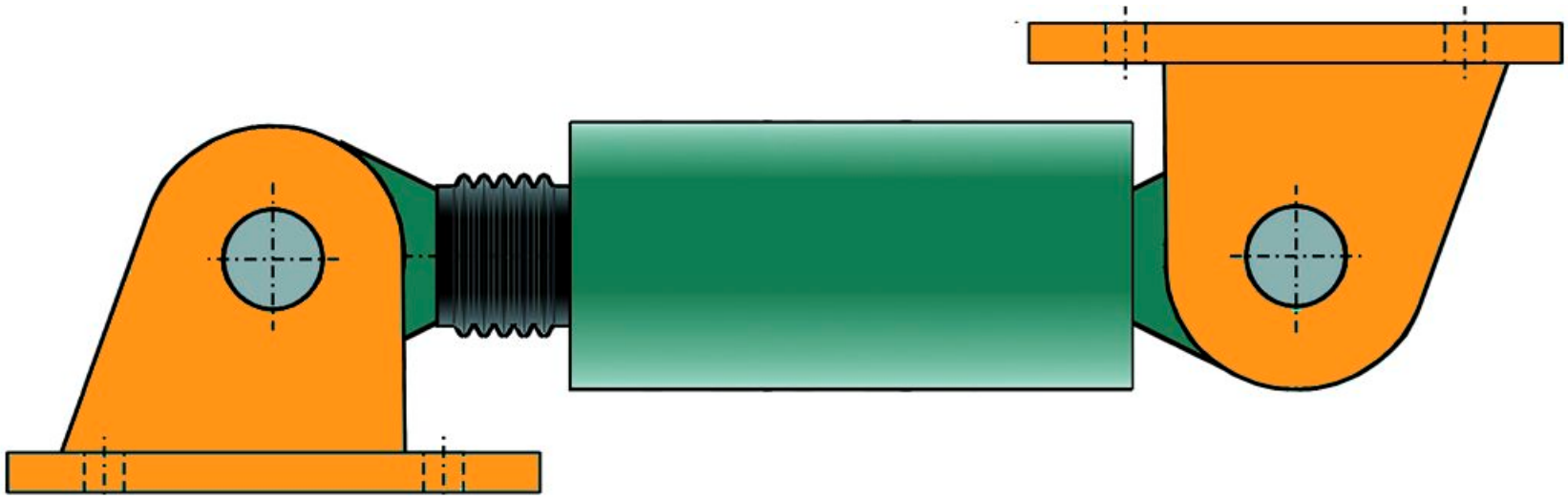
Accoppiatori Idraulici - Smorzatori Viscosi



- Disposizione tipica fra spalla ed impalcato

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Accoppiatori Idraulici - Smorzatori Viscosi



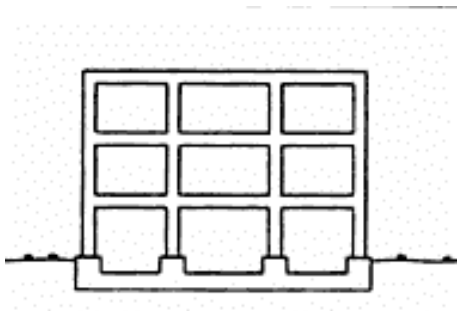
- Disposizione tipica fra testa pila ed impalcato

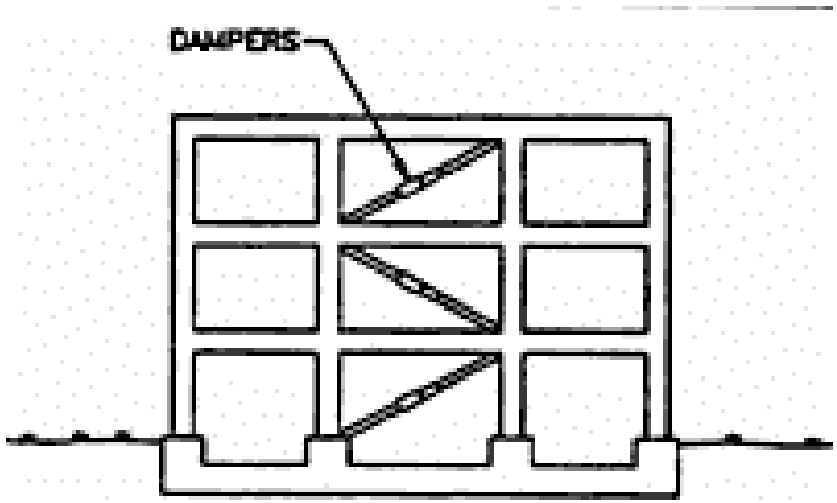
Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Applicazione di smorzatori viscosi abbinati ad appoggi a disco elastomerico per il ponte sospeso XXV Aprile a Lisbona

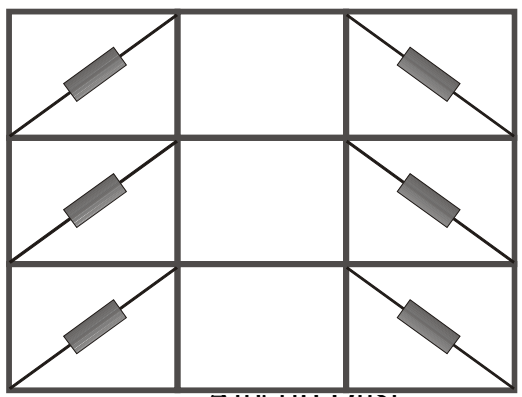
Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

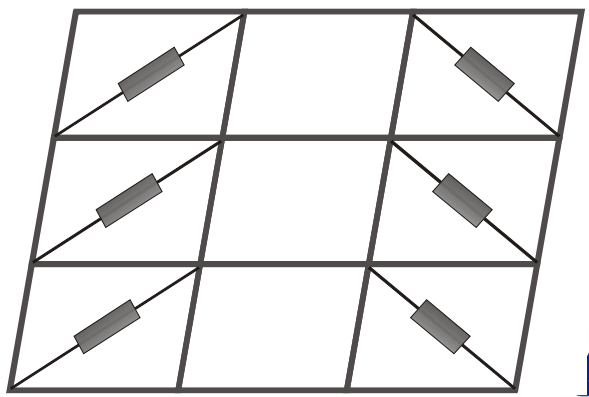
CONTROVENTI DIAGONALI CON AMMORTIZZATORI VISCOSI



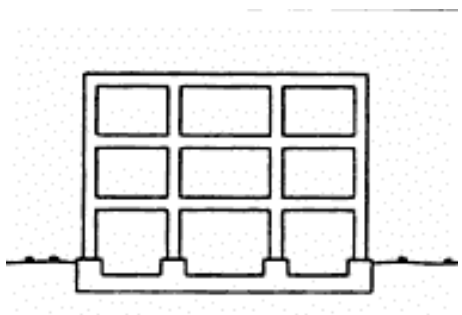


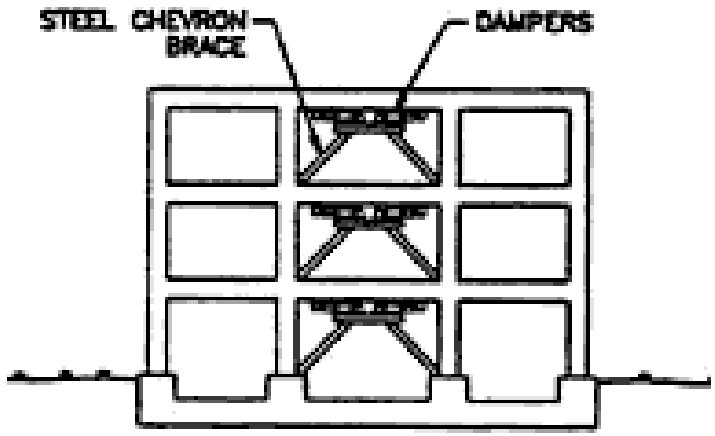
DIAGONAL BRACING WITH DAMPERS



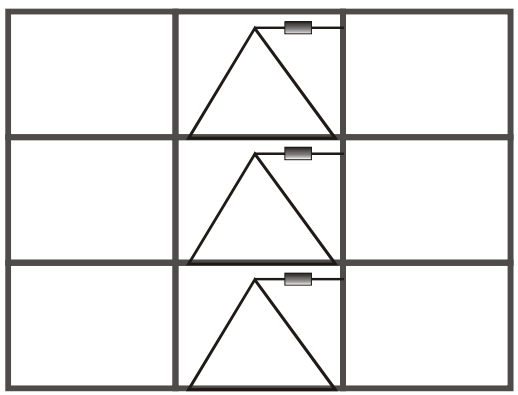


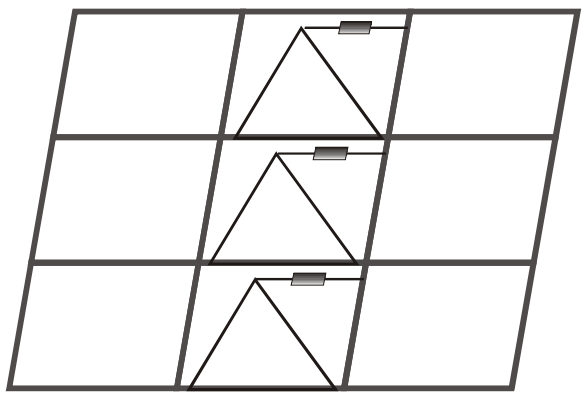
CONTROVENTI CON AMMORTIZZATORI VISCOSI



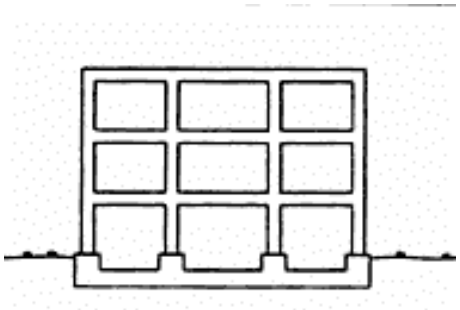


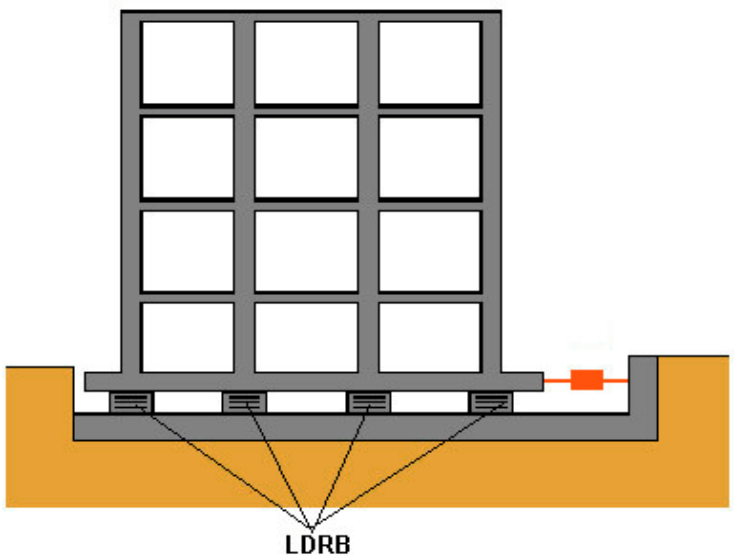
DAMPERS IN CHEVRON BRACES

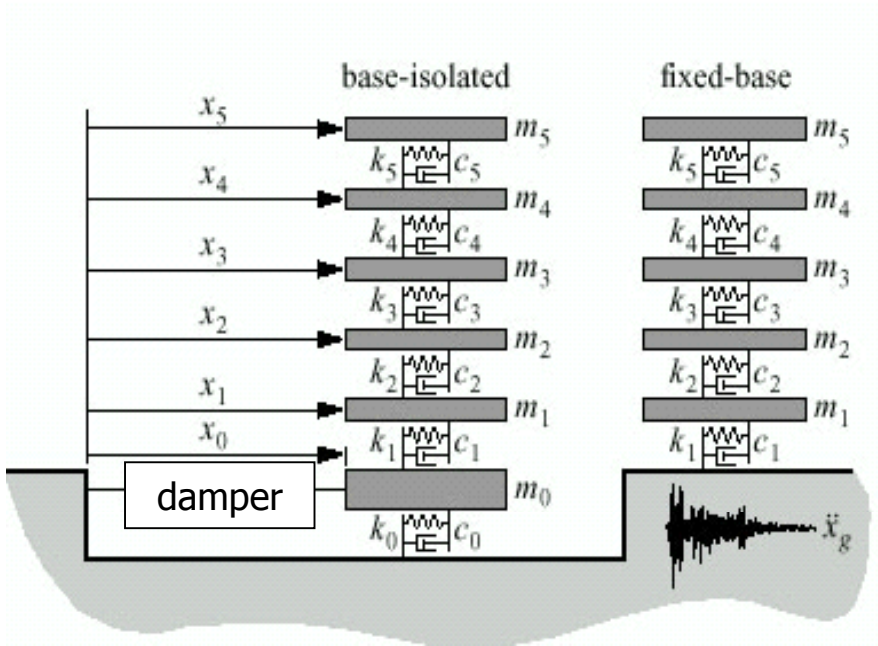




COMBINAZIONE DI ISOLARORI ALLA BASE ED AMMORTIZZATORI VISCOSI







PROGETTAZIONE DI UNA STRUTTURA CON SMORZATORI VISCOSI

- E' richiesta l'analisi dinamica non lineare della struttura. Si può procedere per tentativi ed errori come segue:

1. Si scelgono i dissipatori viscosi in modo che la somma delle costanti C sia:

   $\Rightarrow \Sigma C = 0{,}1W$ per zone sismiche di prima categoria (W=peso totale della struttura)

   $\Rightarrow \Sigma C = 0{,}07W$ per zone sismiche di seconda categoria

2. Si effettua l'analisi non lineare e si calcola lo spostamento di progetto S_D
3. Se S_D è accettabile, la scelta è corretta
4. Se S_D è troppo piccolo o troppo grande occorre diminuire od aumentare ΣC

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Retrofitting del Carquinez Bridge, California

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Retrofitting del Carquinez Bridge,
installazione dei LUD

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Accoppiatori Idraulici per Paksey Bridge, Bangladesh

- Carico di progetto 12000 kN
- Corsa 800 mm

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

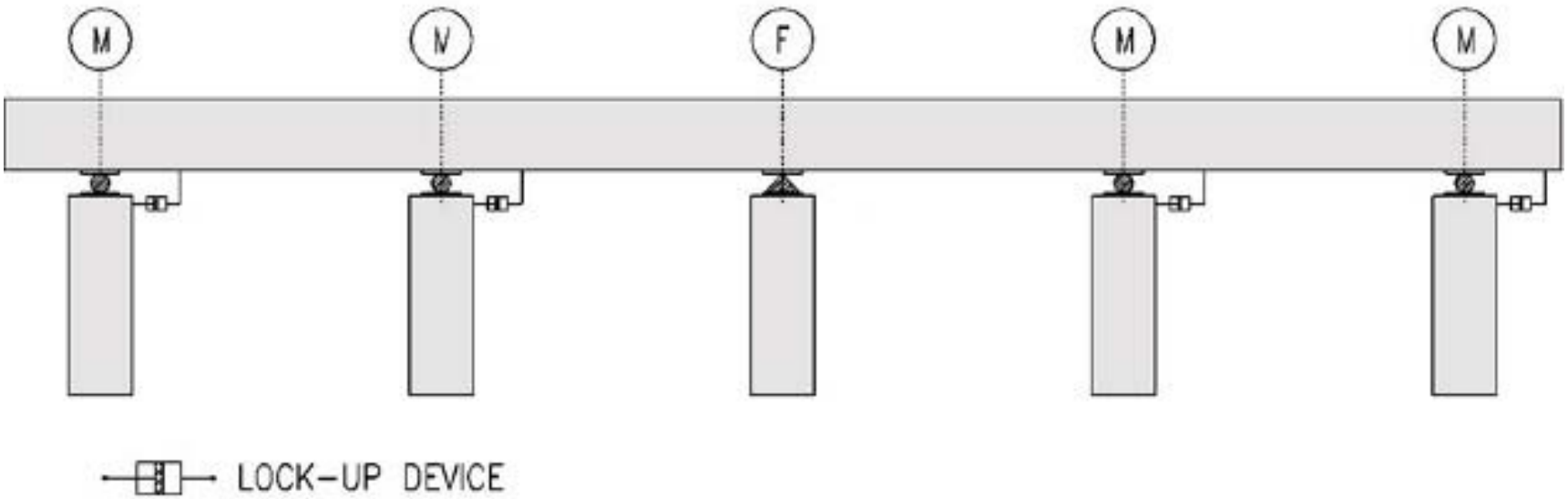
Accoppiatori Idraulici per Paksey Bridge, Bangladesh: installazione

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Accoppiatori Idraulici per la linea ferroviaria ad alta velocità di Taiwan

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Possibile disposizione di appoggi e ritegni per ponti continui



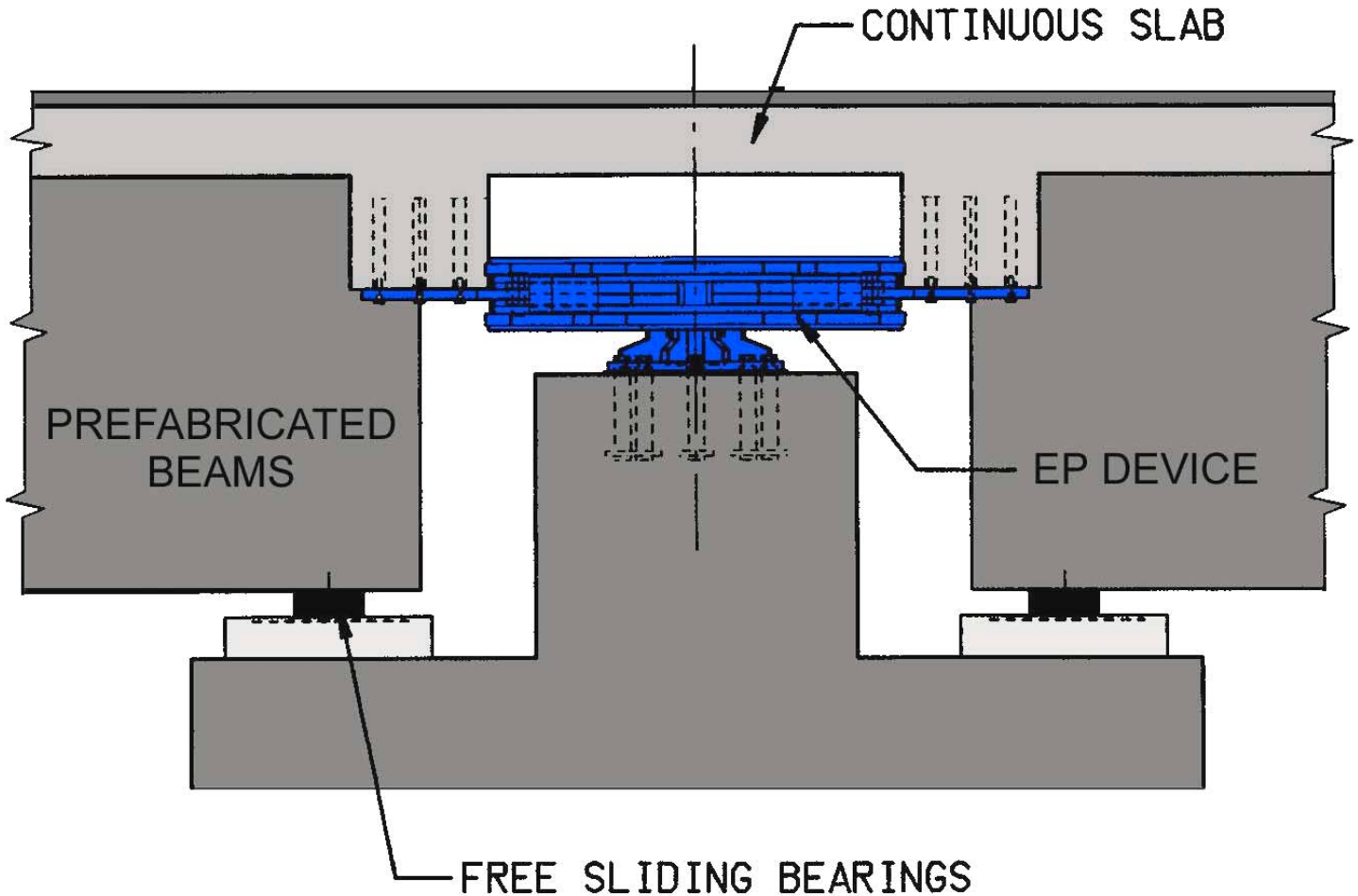
- La forza orizzontale dovuta al terremoto ed alla frenatura viene ripartita fra le varie pile da connettori idraulici (Lock-up Devices)

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Gli effetti del terremoto su di un ponte in Turchia

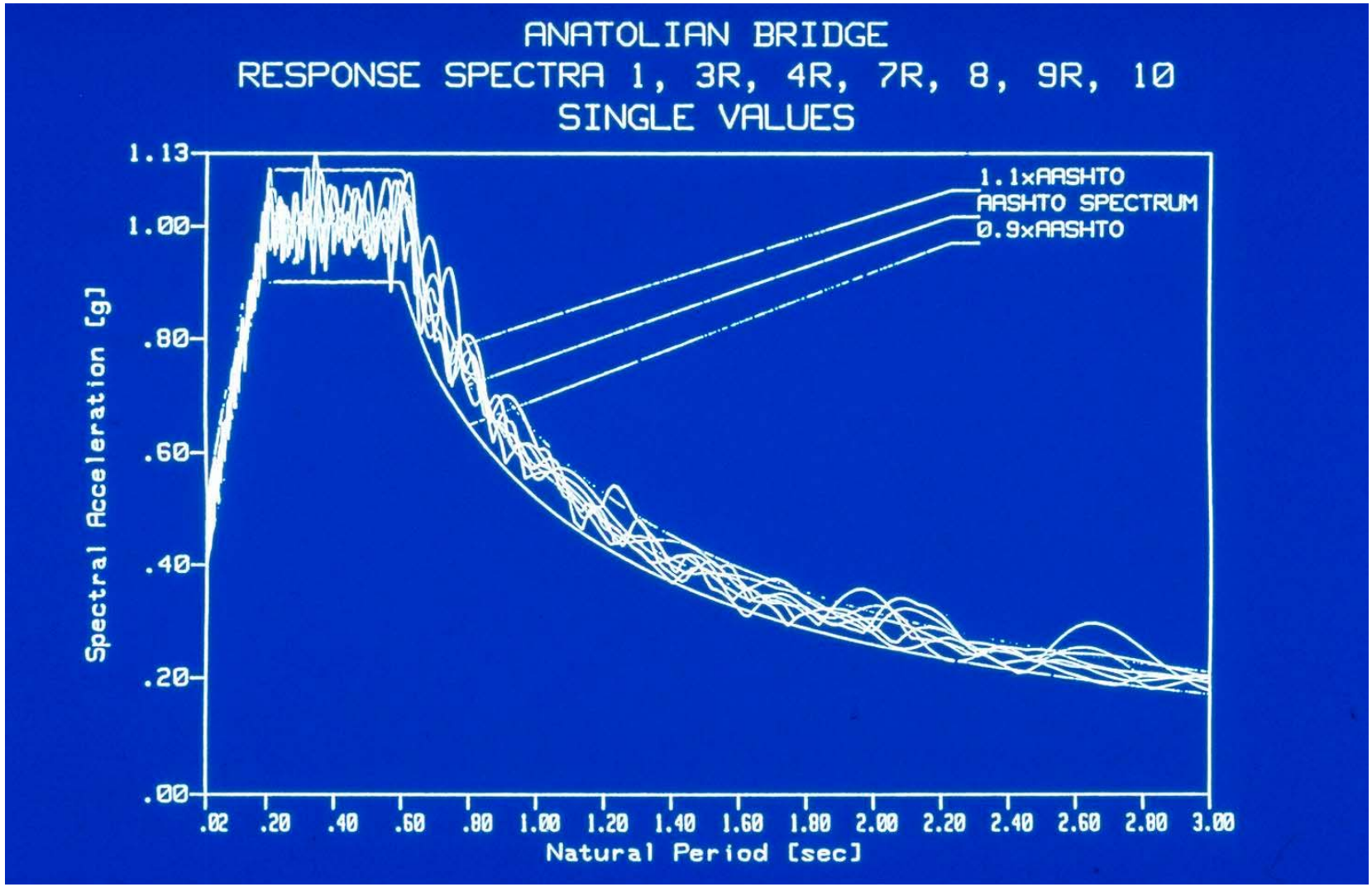
Viadotto N.1 -Autostrada Ankara Istanbul a Bolu

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



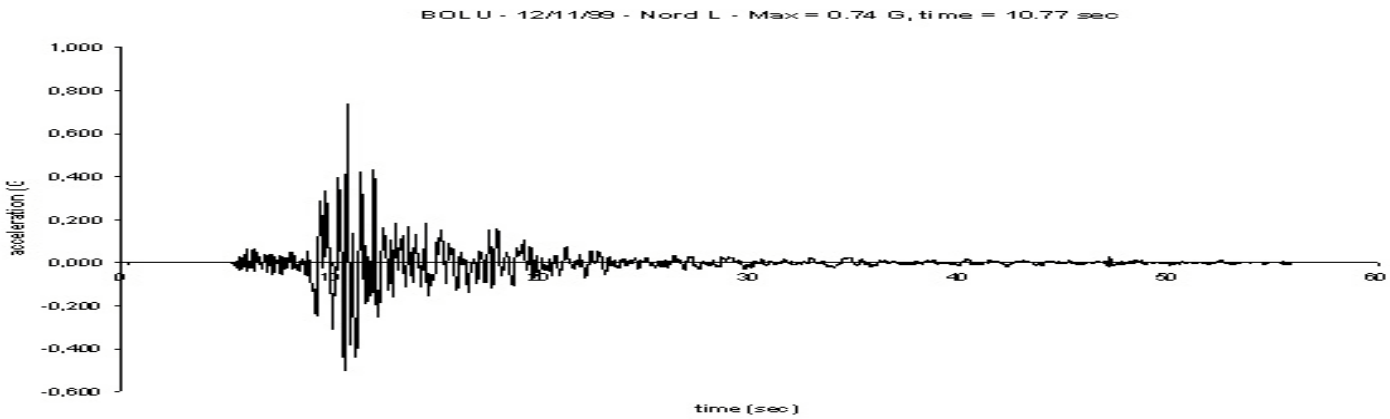
Disposizione dei dispositivi isteretici sulla testa pila

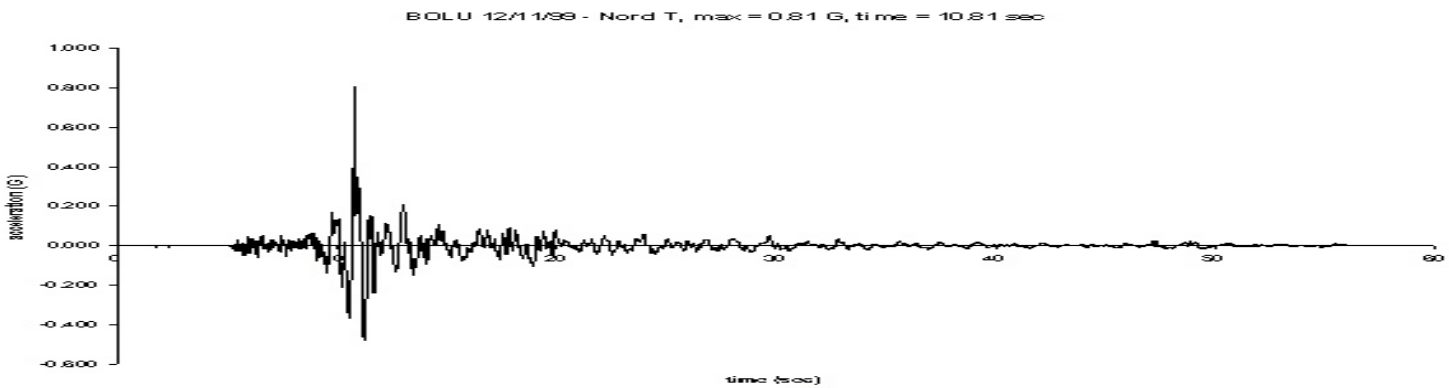
Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Spettro di progetto per il Viadotto 1 a Bolu

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING





Gli accelerogrammi effettivi registrati a Bolu il 12/11/99 oltre 0,8 g

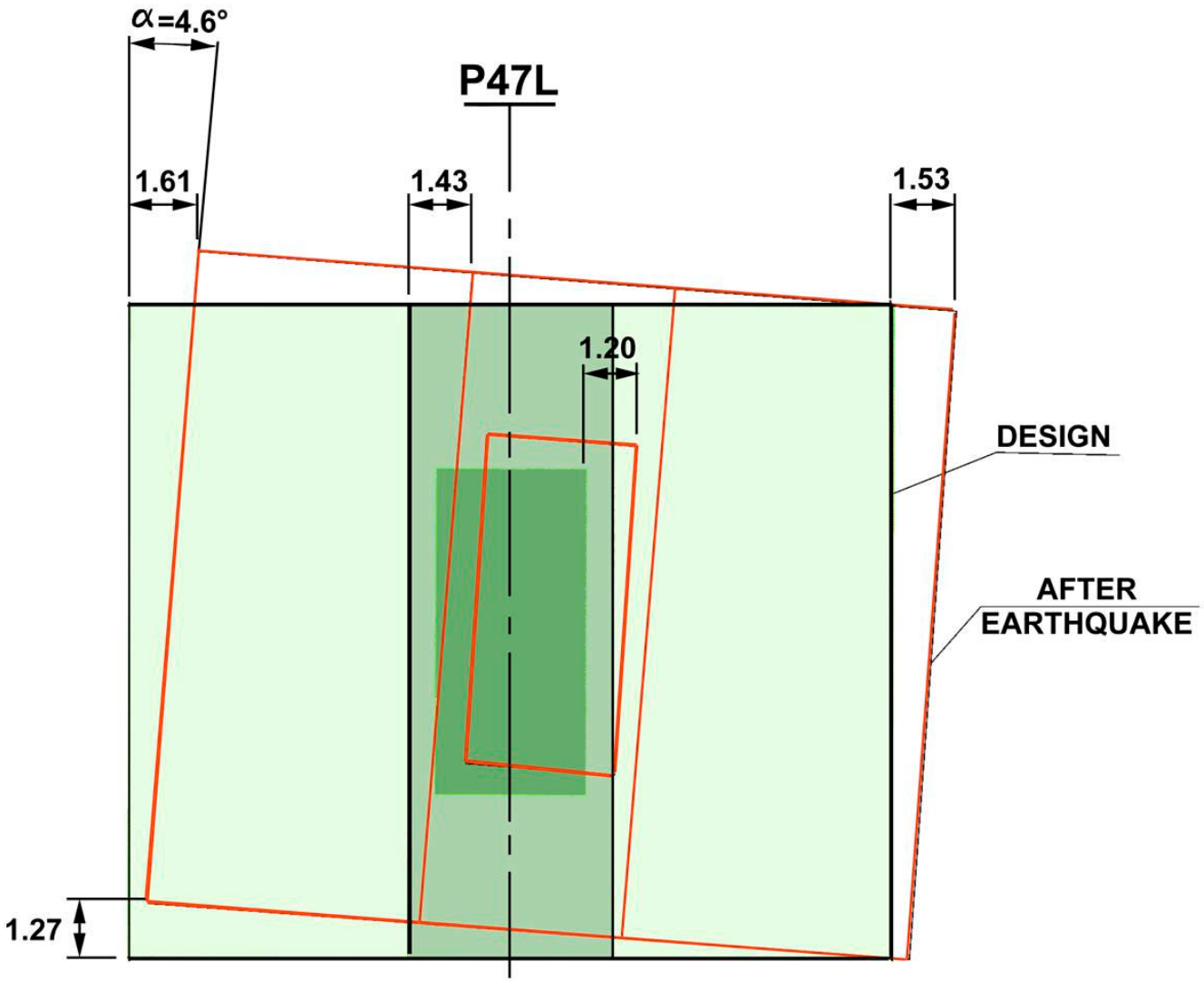
Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Spostamenti relative pile - impalcato Confronto fra valori teorici ed effettivi							
Struttura	N. di camp.	Teorico		Terremoto 17/08/99		Terremoto 12/11/99	
		0,4g	0,6g	Max	Res	Max	Res
Viadotto #1	116	320	595	90	1	1000	1000
Viadotto #2	150	270	501				
Ponte #2	10	178	331			360	100

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Rotazione di una pila dovuta a movimenti di faglia nel Viadotto 1

Alga TECHNOLOGICALTHINKING



Rotazione della pila dovuta a movimenti di faglia

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Effetto della rotazione della pila

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Effetto dello spostamento su di un testa pila: spostamento residuo 1 m

Alga
TECHNOLOGICALTHINKING

Evidenza dello spostamento dovuto al terremoto

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Cosa possiamo imparare dal terremoto di Bolu

- L'azione sismica e gli eventuali effetti di faglia devono essere attentamente considerati
- I dispositivi isteretici hanno rappresentato un'ottima soluzione per il viadotto di Bolu e ne hanno impedito il crollo anche in presenza di azioni sismiche molto maggiori del previsto
- E' importante il rispetto della gerarchia delle resistenze: i fissaggi dei dispositivi devono essere gli ultimi a cedere

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Quanto costa l'isolamento sismico degli edifici?

- Si prende come unità di riferimento il metro quadrato di superficie utile
- Per edifici di nuova costruzione l'isolamento sismico costa da 15 a 30 €/m^2
- Per interventi su edifici esistenti l'intervento complessivo costa da 100 a 200 €/m^2

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Quanto costa l'isolamento sismico dei ponti?

Valori %	Ponte non isolato	Ponte isolato
Impalcato	50	50
Appoggi	1	3
Pile e fondaz.	49	35
TOTALE	100	88

Alga TECHNOLOGICALTHINKING

Conclusioni

- E' disponibile una grande varietà di dispositivi antisismici che hanno dimostrato la loro affidabilità ed efficienza e possono soddisfare qualsiasi esigenza progettuale
- Inoltre gli isolatori sono idonei a proteggere dal terremoto anche il contenuto della struttura e le parti non strutturali
- Un controllo di qualità rigoroso è essenziale: i dispositivi possono essere chiamati a svolgere la loro funzione solo per pochi secondi nella vita della struttura, ma se falliscono vanificano l'intero investimento
- Gli isolatori inoltre devono comportarsi come appoggi strutturali tutti i giorni della vita di una struttura e pertanto devono soddisfarne tutti i requisiti

alga TECHNOLOGICALTHINKING