DICEA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI FIRENZE

Tecnologie avanzate di protezione sismica: dissipazione supplementare di energia

19 settembre 2014

Ing. Leonardo Bandini

CSi Italia – Galleria San Marco, 4 – 33170, Pordenone.

Tel. 0434.28465 – Email: leonardo@csi-italia.eu

CISM
distribuito da Dario Flaccovio Editore Codice: DF8835
Protezione sismica delle strutture
Tecnologie innovative - Ricerca - Applicazioni
A cura di Gaetano Russo - Stefano Sorace **AA.VV.**

Le tecnologie innovative di protezione sismica delle strutture, che da tempo costituiscono un argomento di punta della ricerca dell'ingegneria sismica, sono divenute oggetto di crescente interesse anche da parte della comunità tecnica e professionale. L'adozione di tali tecnologie pone, tuttavia, alcune nuove problematiche rispetto al progetto delle strutture antisismiche tradizionali, per risolvere le quali risulta necessaria una conoscenza di base dei principi di funzionamento e delle prestazioni offerte dai diversi tipi di dispositivi in commercio e dai sistemi di protezione che li includono.

Inoltre, come per qualsiasi percorso progettuale, devono essere acquisiti gli opportuni metodi di analisi, di modellazione, di dimensionamento e di verifica.
Il volume raccoglie i testi delle lezioni tenute nel corso avanzato di formazione professionale "Tecnologie innovative di protezione sismica delle strutture", svoltosi a Udine nel 2006, che si è proposto di fornire contributi di risposta a tali esigenze, con riferimento a diverse tipologie di dispositivi e di tecniche di protezione, nonché ad un selezionato repertorio di applicazioni pratiche.

I testi sono stati predisposti dai relatori aggiornandone i contenuti agli sviluppi delle rispettive attività di studio e di ricerca svolte, sugli argomenti trattati, sino alla fine del 2008.

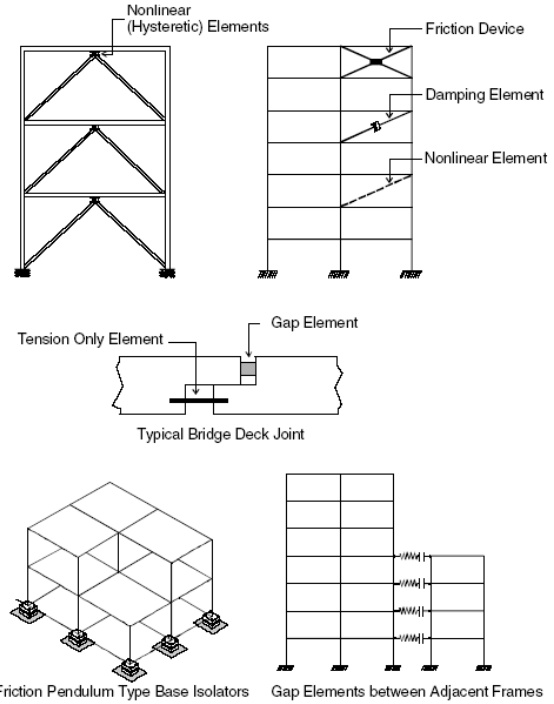
METODI DI ANALISI NUMERICA
DI STRUTTURE PROTETTE MEDIANTE ISOLAMENTO SISMICO E DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

INTRODUZIONE

La risposta di strutture reali sottoposte ad azioni sismiche è spesso governata da significativi comportamenti non lineari. La maggior parte dei comportamenti non lineari sono dovuti a leggi costitutive (tensione-deformazione, forza-spostamento) non lineari.

Le strutture di norma hanno un limitato numero di zone o di membrature che hanno un comportamento non lineare durante una azione statica o dinamica:

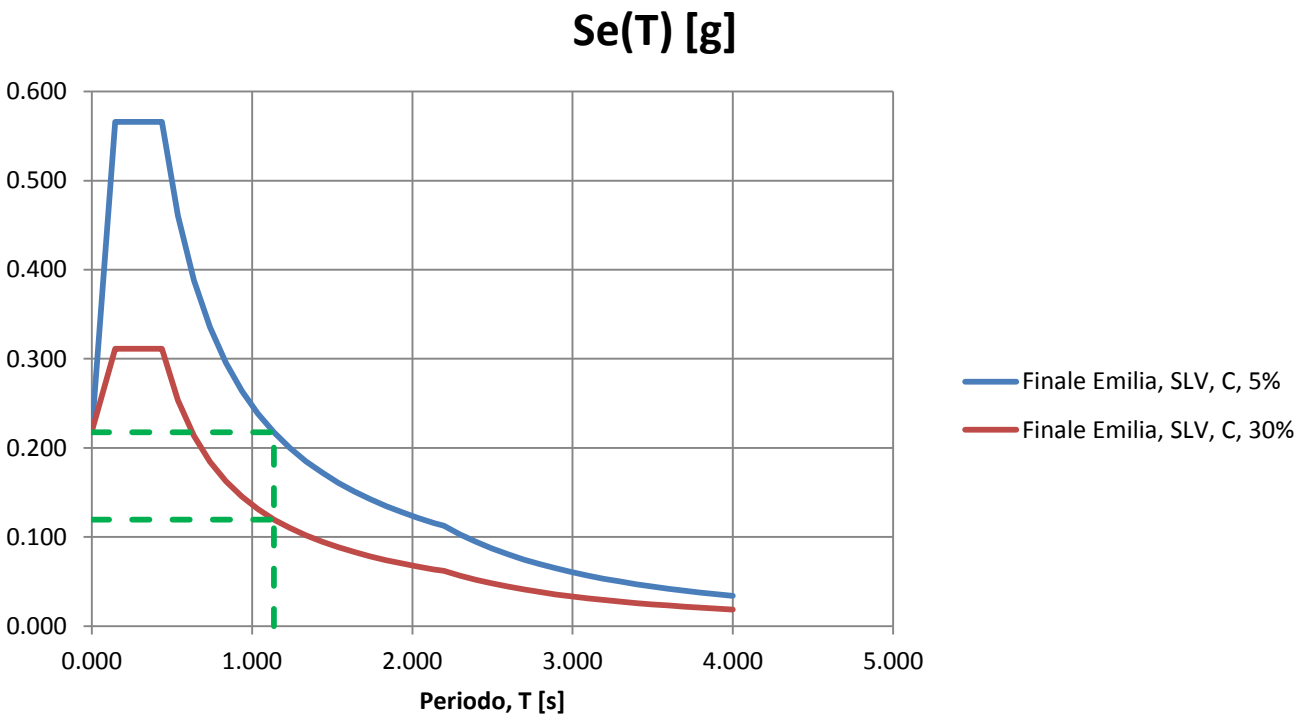
- instabilità di un diagonale di controvento,
- vincoli monolateri,
- contatti tra parti differenti di strutture,
- escursione in campo plastico di una cerniera plastica,
- dispositivi di dissipazione supplementare di energia,
- dispositivi di isolamento sismico.



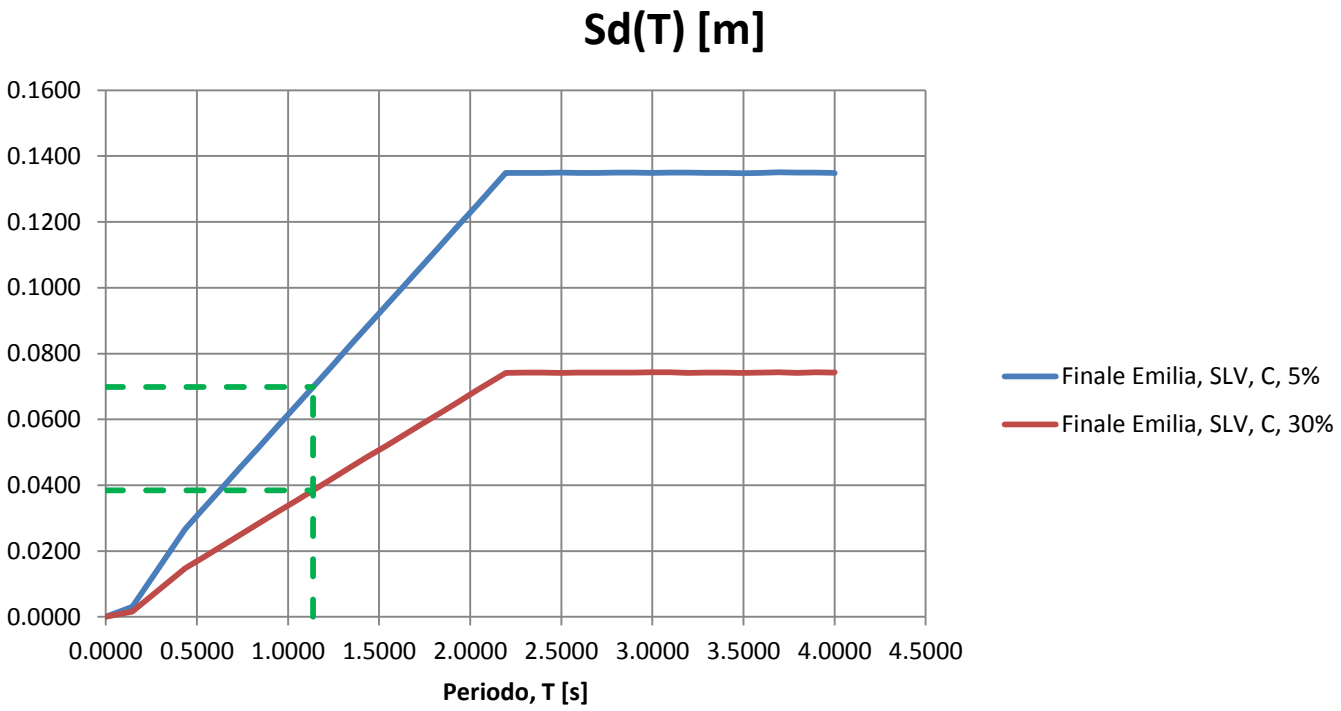
Wilson, E. (1995)
Static & Dynamic Analysis of Structures, a physical approach with emphasis on earthquake engineering. Fourth Edition.

NON LINEARITA' CONCENTRATE -> NLLINK: NON LINEAR LINK

L'introduzione di dispositivi di dissipazione supplementare di energia, produce una significativa riduzione della componente di azione sismica assorbita dalla struttura. In altre parole si riduce sulla struttura la forza applicata e di conseguenza le sue deformazioni. Molti dispositivi aggiungono smorzamento senza aggiungere rigidezza, per essi appare utile confrontare gli spettri calcolati con diversi valori di smorzamento viscoso lineare equivalente.

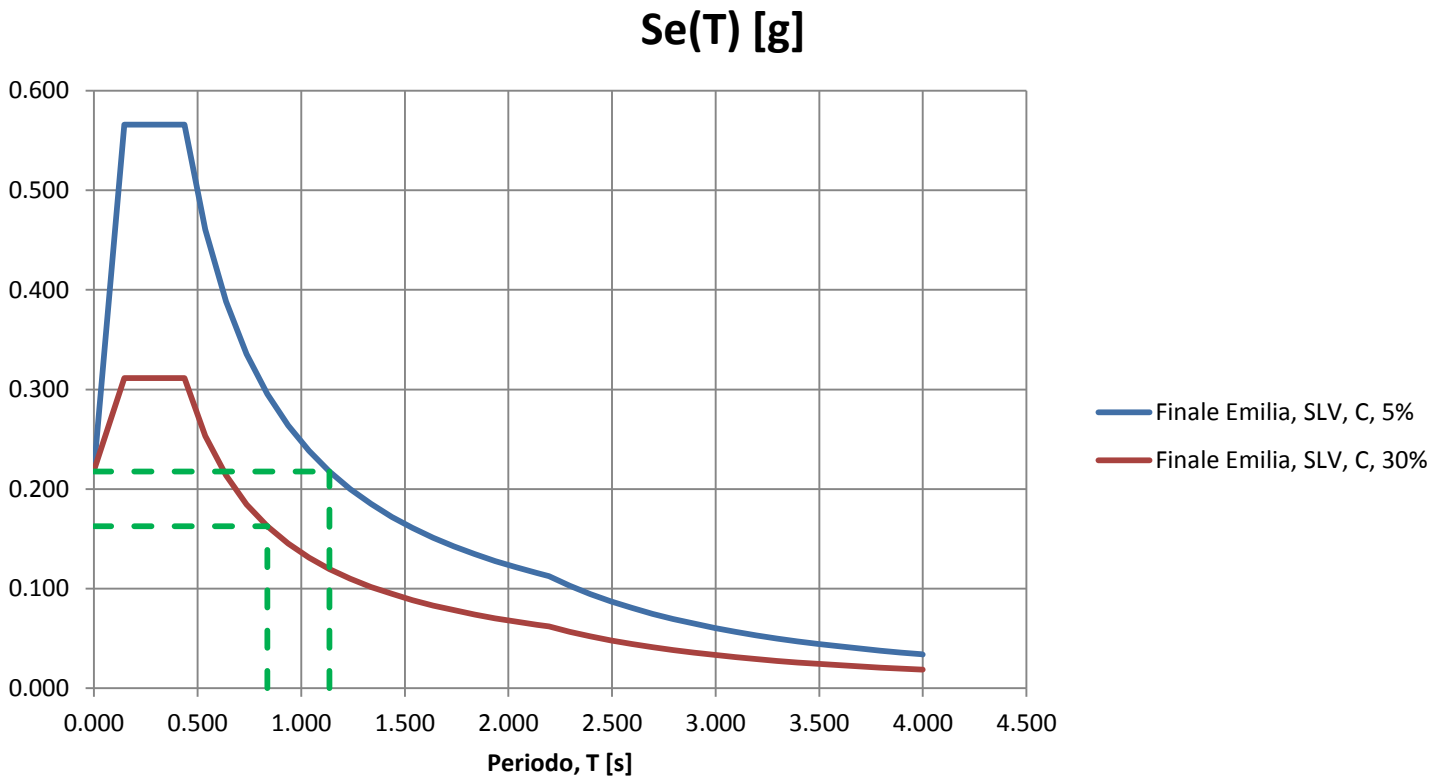


L'introduzione di dispositivi di dissipazione supplementare di energia, produce una significativa riduzione della componente di azione sismica assorbita dalla struttura. In altre parole si riduce sulla struttura la forza applicata e di conseguenza le sue deformazioni. Molti dispositivi aggiungono smorzamento senza aggiungere rigidezza, per essi appare utile confrontare gli spettri calcolati con diversi valori di smorzamento viscoso lineare equivalente.

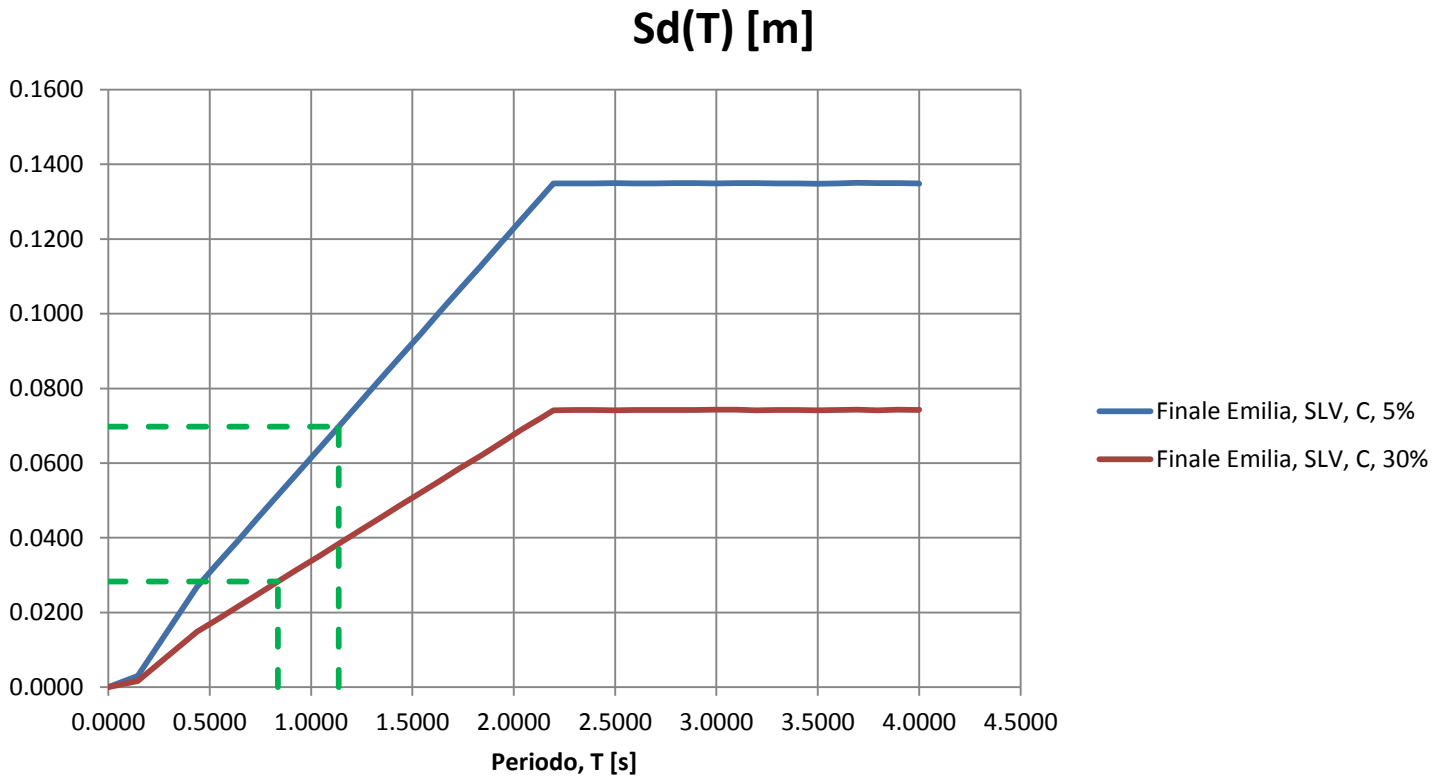


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Altri dispositivi aggiungono sia capacità dissipative che rigidezza. In questo caso la struttura protetta avrà un periodo più basso oltre ad avere come nel caso precedente una maggiore capacità dissipativa.



Altri dispositivi aggiungono sia capacità dissipative che rigidezza. In questo caso la struttura protetta avrà un periodo più basso oltre ad avere come nel caso precedente una maggiore capacità dissipativa.



Se la struttura risulta protetta da dispositivi di isolamento e/o dissipazione, occorre valutare il contributo di **rigidezza** e di **smorzament**o indotto dai dispositivi stessi.

Se si intende adottare procedure di analisi lineari occorre valutare l'effetto della dissipazione indotta dai dispositivi, lo si fa calcolando un unico rapporto di smorzamento critico**,** ξ_{eff} detto rapporto di **smorzamento critico effettivo**. Questo rapporto serve per abbattere lo spettro per tenere in conto della dissipazione aggiuntiva.

Difficoltà della stima del rapporto ξ_{eff}

Mentre è facile calcolare tale rapporto per un ciclo completo di carico e scarico del dispositivo, più complesso è il calcolo sulla struttura completa, protetta da dispositivi di dissipazione supplementare di energia inseriti nella compagine strutturale. Il rapporto è **limitato** dalla normativa se si ricorre ad analisi lineari.

Analisi dinamica non lineare

Ricorrendo ad analisi dinamica non lineare, è necessario passare la giusta legge costitutiva dei dispositivi, ma non occorre stimare ξ_{eff}

Se inoltre si fa l'ipotesi che la struttura rimanga in campo elastico lineare e solo i dispositivi dissipano energia (mediante il loro ciclo isteretico), **l'analisi dinamica non lineare rappresenta la scelta la scelta anche proceduralemnte più semplice.**

L'analisi dinamica non lineare, rappresenta l'approccio più naturale per analizzare strutture protette mediante dissipazione supplementare di energia.

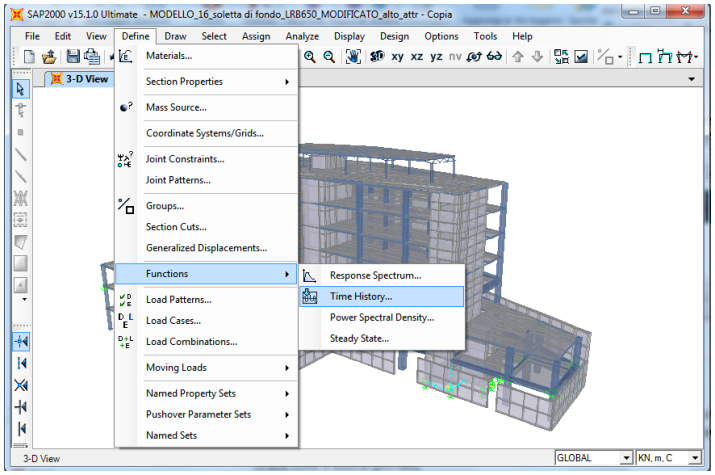
Passi costitutivi dell'analisi dinamica non lineare

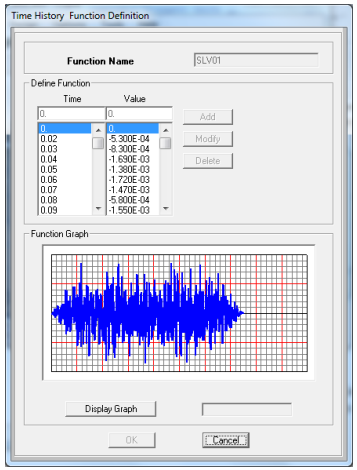
1. Modellazione della struttura: il modello computazione è fatto in modo tradizionale per tutta la struttura, particolare attenzione viene posta solo ai dispositivi di dissipazione, di seguito verranno riportate le modellazioni dei dispositivi di dissipazione più comuni.
2. Generazione di una famiglia di accelerogrammi spettrocompatibili.
3. Definizione di analisi dinamiche non lineari, occorre, definire diverse analisi dinamiche non lineari, secondo dei set di accelerogrammi ed eventualmente tenendo in conto dei carichi gravitativi statici.

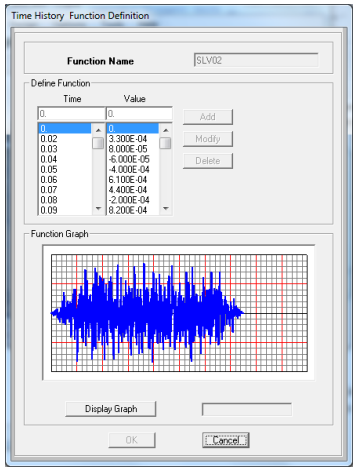
Sequenza di analisi dinamica non lineare

I. Applicazione di carichi statici verticali (nel caso in cui la risposta della struttura, in termine non lineare, dipenda da essi. Un caso tipico è l'attrito tra parti strutturali o nei dispositivi di isolamento e/o dissipazione).
II. Una analisi dinamica non lineare con i set di accelerogrammi. Gli accelerogrammi devono agire simultaneamente nelle due (tre) direzioni.

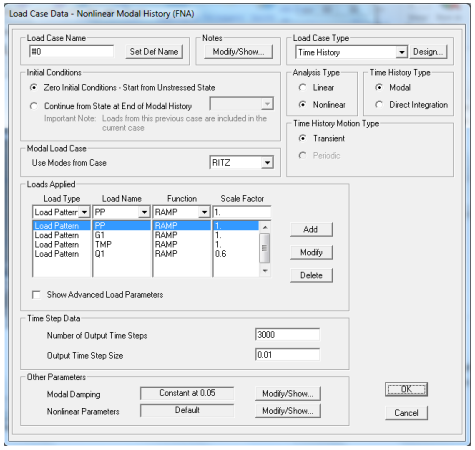
INTRODUZIONE ALL'ANALISI DINAMICA NON LINEARE

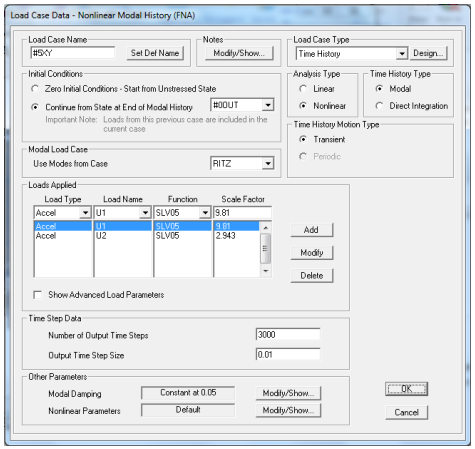






Analisi dinamica non lineare: le analisi dinamiche dei diversi set di accelerogrammi, partono dalla fine della analisi dei carichi statici verticali. Essendo una analisi non lineare, non vale il principio di sovrapposizione degli effetti, quindi si creano analisi per ogni scenario di carico.





Le «uscite» di una analisi dinamica non lineare sono molto più semplici da leggere, la risposta è data per istanti di tempo.

Le caratteristiche di sollecitazione di ogni elemento strutturale saranno ottenute per inviluppo delle caratteristiche date ad ogni istante di tempo.

Le storie forza-spostamento saranno lette nel tempo e ricreate facilmente.

Si avrà sempre traccia del bilancio energetico complessivo, consentendo una valutazione accurata del beneficio indotto dalla dissipazione.

Fast Non Linear Analysis

Il metodo **FNA** (Fast Nonlinear Analysis, Ibrahimbegovic and Wilson, 1989; Wilson, 1993) è un metodo di integrazione al passo.

Effetti inelastici della struttura siano applicati in punti discreti del modello.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{u}(t) + \mathbf{R}(t)_{\mathrm{NL}} = \mathbf{R}(t) \qquad (9)$$

Dove $\mathbf{K}_L$ è la matrice di rigidezza degli elementi lineari (tutti gli elementi escluso gli elementi denominati NLLINK); **C** è la matrice di smorzamento; **M** la matrice delle masse, $\mathbf{r}_N$ il vettore delle forze dei gradi di libertà degli elementi non lineari;

$\mathrm{u}, \dot{\mathrm{u}}, \ddot{\mathrm{u}}$ sono relativamente lo spostamento, la velocità e l'accelerazione relativa con il suolo; **r** è il vettore delle forze applicate.

Calcolo delle forze non lineari:

Od ogni passo di tempo la deformazione non lineare ***d(t)*** di un elemento non lineare è calcolata attraverso l'equazione di trasformazione:

$$d(t) = bu(t) \qquad \textbf{(10)}$$

derivando rispetto al tempo:

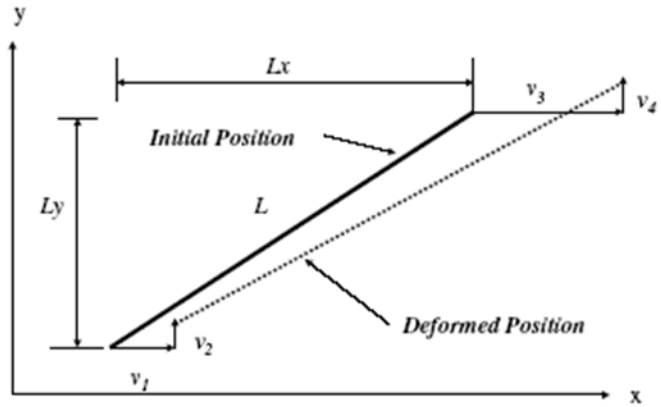
$$\dot{d}(t) = b\dot{u}(t) \qquad \textbf{(11)}$$

Si noti che per piccoli spostamenti, la matrice di trasformazione ***b*** non è dipendente dal tempo.

Se le deformazioni $d(t)$ e le velocità di deformazione $\dot{d}(t)$ sono note ad ogni passo di tempo, le forze non lineari di un elemento non lineare possono essere calcolate *esattamente*.

Esempio con un unico elemento Truss:
b in questo caso è un vettore

$$d = \begin{bmatrix} -\frac{L_x}{L} & -\frac{L_y}{L} & \frac{L_x}{L} & \frac{L_y}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix}$$



Trasformazione in coordinate modali e disaccoppiamento delle equazioni di moto:

Il primo passo della risoluzione della equazione di moto **(9)** è quello di calcolare un gruppo di N vettori ortoganali di Ritz (Load-Dependent Ritz vectors), **Φ**, che soddisfano le seguenti equazioni:

$$\Phi^T M \Phi = I \qquad (12)$$

$$\Phi^T K_L \Phi = \Omega^2 \qquad (13)$$

Dove $\mathbf{K_L}$ è la matrice di rigidezza degli elementi lineari (tutti gli elementi escluso gli elementi denominati NLLINK); **I** è la matrice di identità; **M** la matrice delle masse, **Ω** è la matrice diagonale degli autovalori.

$$u(t) = \Phi Y(t) \qquad \dot{u}(t) = \Phi \dot{Y}(t) \qquad \ddot{u}(t) = \Phi \ddot{Y}(t) \qquad (14)$$

L'equazione di moto **(9)** riscritta come di seguito:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + (\mathbf{K} + \mathbf{K_e})\mathbf{u}(t) = \mathbf{R}(t) - \mathbf{R}(t)_{\mathbf{NL}} + \mathbf{K_e}\mathbf{u}(t) \qquad (15)$$

Moltiplicando ambo i membri per Φ^T si ha:

$$\mathbf{I}\ddot{\mathbf{Y}}(t) + \Lambda\dot{\mathbf{Y}}(t) + \Omega^2\mathbf{Y}(t) = \mathbf{F}(t) \qquad (16)$$

Espressione matriciale di N-equazioni differenziali disaccoppiate.

Vettori di forze modali:

$$\mathbf{F}(t) = \Phi^T \overline{\mathbf{R}}(t) = \Phi^T \mathbf{R}(t) - \Phi^T \mathbf{R}(t)_{NL} + \Phi^T \mathbf{K}_e \mathbf{u}(t) \qquad (17)$$

$$d(t) = bu(t)$$
$$u(t) = \Phi Y(t)$$

Le deformate dell'elemento espresse nelle coordinate modali:

$$\mathbf{d}(t) = \mathbf{B}\,\mathbf{Y}(t) \qquad \mathbf{B} = \mathbf{b}\Phi \qquad (18)$$

E' interessante notare che B, matrice di dimensione LxN (L: dimensione del vettore delle deformate interne dell'elemento non lineare, N: numero di vettori di Ritz), non è funzione del tempo, quindi, è necessario calcolarla una sola volta prima dell'integrazione delle equazioni modali.
Ad ogni passo di tempo, prendendo le deformazioni degli elementi NLLINK, nota la legge costitutiva, possono essere valutate le forze interne **f(t)** dalle quali:

$$\mathbf{F}(t)_{NL} = \mathbf{B}^T \mathbf{f}(t) \qquad (19)$$

$$\mathbf{F}(t)_e = \Phi^T \mathbf{K}_e \mathbf{u}(t) = \Phi^T \mathbf{b}^T \mathbf{k}_e \mathbf{b}\mathbf{u}(t) = \mathbf{B}^T \mathbf{k}_e \mathbf{d}(t) \qquad (20)$$

Dove la (19) rappresenta le forze modali non lineari e la (20) le forze modali associate alle componenti elastiche (effettive) degli NLLINK.

ANALISI MODALE
Eigen vectors vs Ritz vectors

14.11 CORRECTION FOR HIGHER MODE TRUNCATION

In the analysis of many types of structures, the response of higher modes can be significant. In the use of exact eigenvectors for mode superposition or response spectra analyses, approximate methods of analysis have been developed to improve the results. The purpose of those approximate methods is "to account for missing mass" or "to add static response" associated with "higher mode truncation." Those methods are used to reduce the number of exact eigenvectors to be calculated, which reduces computation time and computer storage requirements.

The use of Load Dependent Ritz, LDR, vectors, on the other hand, does not require the use of those approximate methods because the "static response" is included in the initial set of vectors. This is illustrated by the time history analysis of a simple cantilever structure subjected to earthquake motions shown in Figure 14.2. This is a model of a light-weight superstructure built on a massive foundation supported on stiff piles that are modeled using a spring.

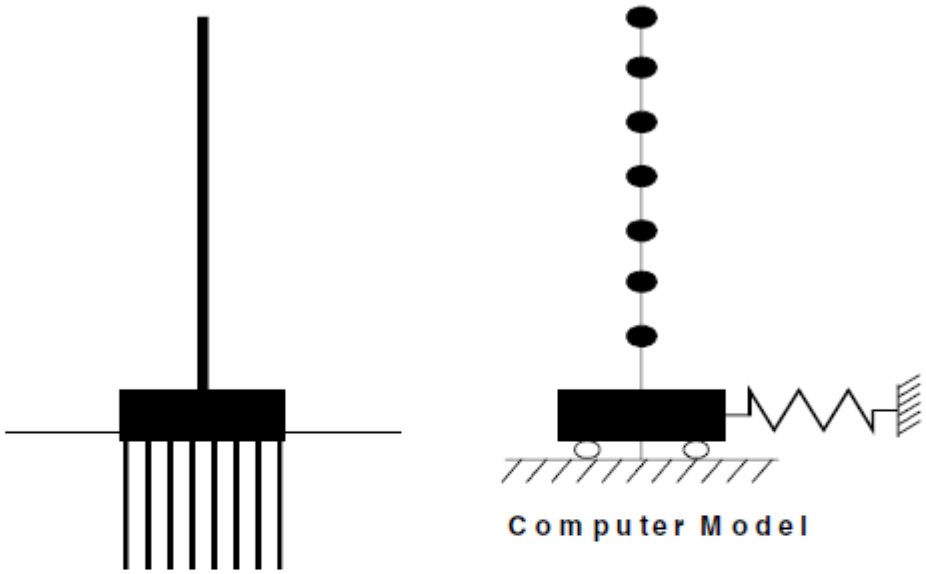


Figure 14.2 Cantilever Structure on Massive Stiff Foundation

Only eight eigen or Ritz vectors can be used because the model has only eight masses. The computed periods, using the exact eigen or Ritz method, are summarized in Table 14.4. It is apparent that the eighth mode is associated with the vibration of the foundation mass and the period is very short: 0.00517 seconds.

Table 14.4 Periods and Mass Participation Factors

MODE NUMBER	PERIOD (Seconds)	MASS PARTICIPATION (Percentage)
1	1.27321	11.706
2	0.43128	01.660
3	0.24205	00.613
4	0.16018	00.310
5	0.11899	00.208
6	0.09506	00.100
7	0.07951	00.046
8	0.00517	85.375

The maximum foundation force using different numbers of eigen and LDR vectors is summarized in Table 14.5. In addition, the total mass participation associated with each analysis is shown. The integration time step is the same as the earthquake motion input; therefore, no errors are introduced other than those resulting from mode truncation. Five percent damping is used in all cases.

Table 14.5 Foundation Forces and Total Mass Participation

NUMBER OF VECTORS	FOUNDATION FORCE (Kips)		MASS PARTICIPATION (Total Percentage)	
	EIGEN	RITZ	EIGEN	RITZ
8	1,635	1,635	100.0	100.0
7	260	1,636	14.6	83.3
5	259	1,671	14.5	16.2
3	258	1,756	14.0	14.5
2	257	3,188	13.4	13.9

Fast Non Linear Analysis

Il metodo FNA è suggerito quando:

- si ha le sole non linearità concentrate negli NLLINK
- siano trascurabili effetti di 2° ordine (grandi spostamenti) o modifiche della rigidezza prodotte da effetti deformativi globali (hardening/softening),
- siano presenti nel modello numerosi elementi non lineari

Caratteristiche del metodo FNA:

- Ad ogni passo di integrazione la matrice delle rigidezze rimane costante.
- Le componenti non lineari sono trattate con un vettore di forze non lineari che dipende a sua volta dai vettori LDR (Load Dependend Ritz vector).
- Le equazioni modali disaccoppiate sono calcolate ad ogni passo di tempo.

WILSON: *"The Dynamic Analysis of a Structure with a Small Number of Nonlinear Elements is Almost as Fast as a Linear Analysis". Static and Dynamic Analysis of Structures, Wilson (4th edition, 2004)*

Direct Integration

Il metodo DI è suggerito quando:

- si vuole utilizzare la nonlinearità del materiale
- sia stata definita la dipendenza dal tempo delle caratteristiche dei materiali
- non sia trascurabile l'effetto di 2° ordine
- non sia applicabile il metodo FNA.

I metodi utilizzabili per l'integrazione diretta sono:

- Newmark
- Wilson Theta
- Collocation
- Hilbert-Hughes-Taylor
- Chung-Hulbert

WILSON: *"*Direct Numerical Integration for Earthquake Loading is Very Slow".
Static and Dynamic Analysis of Structures, Wilson (4th edition, 2004)

Direct Integration

Introduzione:

- Il metodo più generale per determinare la risposta dinamica di una struttura consiste nella integrazione diretta delle equazioni di equilibrio, ovvero, rispettare le equazioni di moto in un numero discreto di intervalli di tempo (Δt, $2\Delta t$,…, $N\Delta t$).
- L'approccio generale può essere classificato in metodi di integrazione ***Espliciti*** o ***Impliciti***.
- I metodi ***Espliciti*** utilizzano delle equazioni differenziali al tempo t-Δt t per predire una soluzione al passo t.

Sono ***condizionatamente stabili*** rispetto alla grandezza del passo di tempo.

- I metodi ***Impliciti*** la soluzione al passo t dipende anche da valori al medesimo passo, per lo più sono ***incondizionatamente stabili.***

Il metodo di Newmark (1959)

Equazione differenziale al passo *t*:

$$M\ddot{u}_t + C\dot{u}_t + Ku_t = F_t \qquad (22)$$

Sviluppo in serie di Taylor:

$$u_t = ST(u,n) = u_{t-\Delta t} + \Delta t \cdot \dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2} \cdot \ddot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^3}{6} \cdot \dddot{u}_{t-\Delta t} + \ldots \qquad (23)$$

$$\dot{u}_t = ST(\dot{u},n) \qquad (24)$$

Newmark tronca lo sviluppo di serie nella forma:

$$u_t = Nw(u,\beta) = u_{t-\Delta t} + \Delta t \cdot \dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2}{2} \cdot \ddot{u}_{t-\Delta t} + \beta \cdot \dddot{u}_{t-\Delta t} \qquad (25)$$

$$\dot{u}_t = Nw(\dot{u},\gamma) \qquad (26)$$

Le equazioni **(25)** e **(26)** sono troncate con la derivata terza dello spostamento.
Se l'accelerazione è assunta lineare all'interno del passo di tempo la derivata terza dello spostamento può essere scritta:

$$\dddot{u} = \frac{\ddot{u}_t - \ddot{u}_{t-\Delta t}}{\Delta t} \qquad (27)$$

$$M\ddot{u}_t + C\dot{u}_t + Ku_t = F_t$$

Il metodo di Newmark (1959)

Sostituendo l'espressione della derivata terza dello spostamento (27) nelle equazioni "troncate di Newmark (25) e (26) si ottiene:

$$\mathbf{u}_t = \mathbf{u}_{t-\Delta t} + \Delta t\dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + (\frac{1}{2} - \beta)\Delta t^2\ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \beta\Delta t^2\ddot{\mathbf{u}}_t \quad \textbf{(28)}$$

$$\dot{\mathbf{u}}_t = \dot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + (1-\gamma)\Delta t\ddot{\mathbf{u}}_{t-\Delta t} + \gamma\Delta t\ddot{\mathbf{u}}_t \quad \textbf{(29)}$$

Newmark risolve le equazioni (28), (29) e (22) iterativamente per ogni passo di tempo e per ogni DOF della struttura. I termini delle accelerazioni, sono calcolati dalla (22) dividendo per la massa associata al DOF.

Stabilità del metodo di Newmark (per uno smorzamento nullo):

$$\gamma \geq 1/2; \beta \leq 1/2$$

$$\Delta t \leq \frac{1}{\omega_{\max}\sqrt{\gamma/2-\beta}} \Rightarrow \frac{\Delta t}{T_{\min}} \leq \frac{1}{2\pi\sqrt{\gamma/2-\beta}} \quad \textbf{(30)}$$

Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Direct Integration

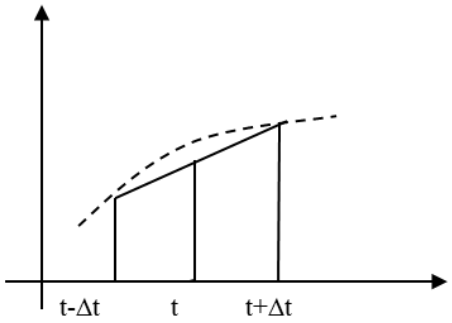
Il metodo di Newmark rientra nei metodi a **passo singolo**, ovvero, si determinano le grandezze al passo i-esimo con quelle al passo i-1.

Altri metodi sono:

- **passo doppio**, ovvero si determinano le grandezze al passo i-esimo usando quelli determinati al passo i-2 e i-1
- **differenza centrata** dove:

$$\dot{u}_i = \frac{1}{2\Delta t}\left(u(t+\Delta t) - u(t-\Delta t)\right) \qquad (31)$$

$$\ddot{u}_i = \frac{1}{2\Delta t}\left(\dot{u}(t+\Delta t) - \dot{u}(t-\Delta t)\right) \qquad (32)$$



Il metodo delle accelerazioni medie:

Identico alla regola del trapezio.

$$u_\tau = u_{t-\Delta t} + \tau \dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\tau^2}{2}\ddot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\tau^3}{6}\dddot{u}_{t-\Delta t} + \ldots\ldots$$

$$\approx u_{t-\Delta t} + \tau \dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\tau^2}{2}\left(\frac{\ddot{u}_{t-\Delta t} + \ddot{u}_t}{2}\right) \qquad (33)$$

$$\dot{u}_\tau = \dot{u}_{t-\Delta t} + \tau\left(\frac{\ddot{u}_{t-\Delta t} + \ddot{u}_t}{2}\right) \qquad (34)$$

Se $\tau = \Delta t$ il metodo delle medie delle accelerazioni coincide con quello di Newmark se $\gamma=1/2$ e $\beta=1/4$

Direct Integration

Il metodo Wilson-θ (1973)

Il metodo di Newmark può essere reso incondizionatamente stabile introducendo un fattore θ.

$$\Delta t' = \theta \Delta t \qquad (35)$$

$$\ddot{u}_t = \ddot{u}_{t-\Delta t} + \frac{1}{\theta}(\ddot{u}_{t'} - \ddot{u}_{t-\Delta t})$$

$$\dot{u}_t = \dot{u}_{t-\Delta t} + (1-\gamma)\Delta t \ddot{u}_{t-\Delta t} + \gamma \Delta t \ddot{u}_t \qquad (36)$$

$$u_t = u_{t-\Delta t} + \Delta t \dot{u}_{t-\Delta t} + \frac{\Delta t^2 (1-2\beta)}{2} \ddot{u}_{t-\Delta t} + \beta \Delta t^2 \ddot{u}_t$$

γ	β	δ	$\Delta t/T_{min}$	condizione	
1/2	0	0	0.3183	eccellente per piccoli Δt instabile per grandi Dt	**Differenze Centrali**
1/2	1/6	0	0.5513	molto buono per piccoli Δt instabile per grandi Δt	**Accelerazione lineare**
1/2	1/4	0	inf.	buono per piccoli Δt no dissipazione di energia	**Accelerazione media**
1/2	1/4	Δt/π	inf.	dissipazione dienergia per grandi Δt	**Accelerazione media modificata**
Nota: C = δK					

Direct Integration

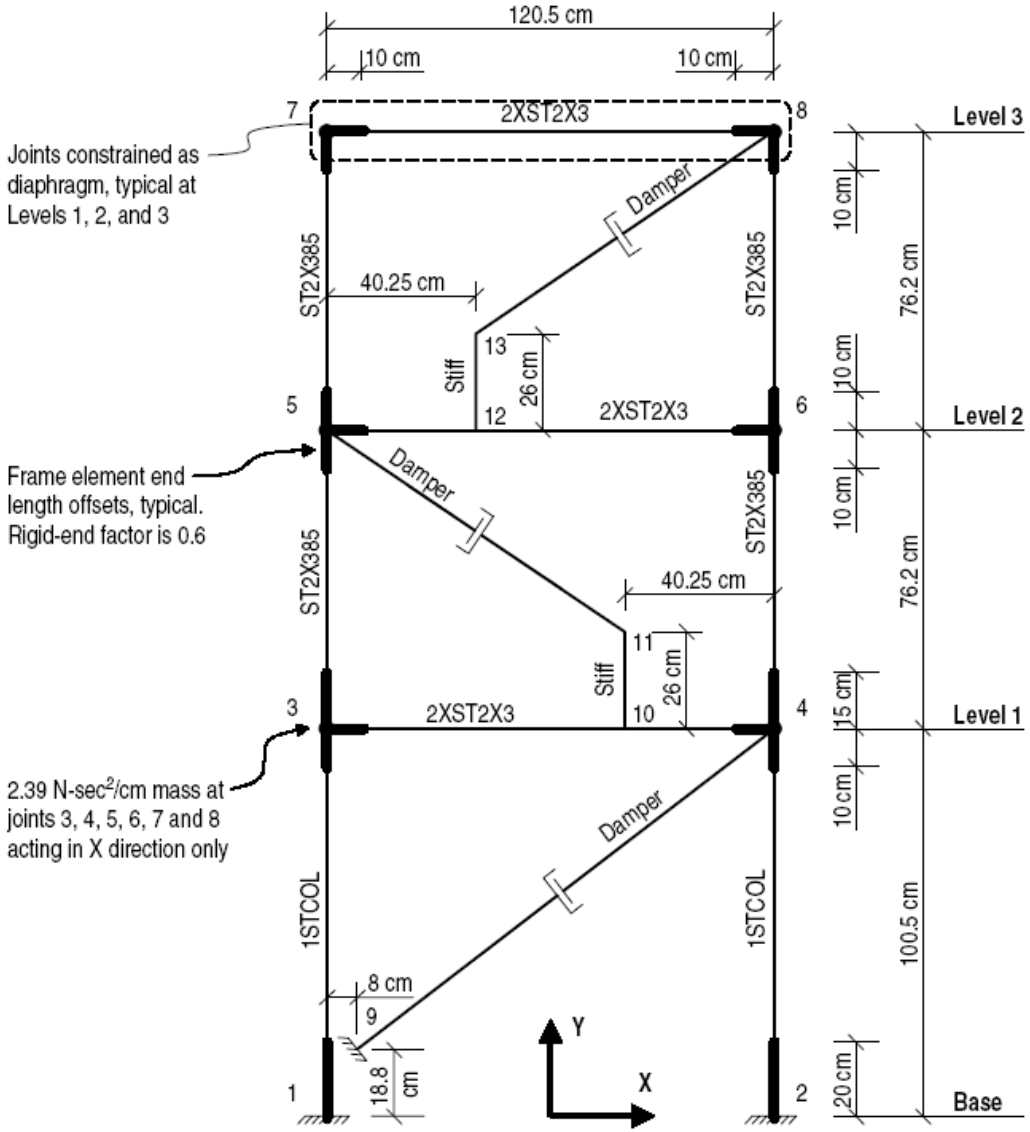
Il metodo Hilber-Hughes-Taylor (HHT) noto anche come metodo α

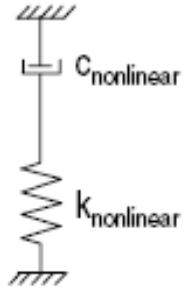
$$M\ddot{u}_t + (1+\alpha)C\dot{u}_t + (1+\alpha)Ku_t = (1+\alpha)F_t - \alpha F_{t-\Delta t} + \alpha C\dot{u}_{t-\Delta t} + \alpha K u_{t-\Delta t}$$

Con $\alpha = 0$ coincide con il metodo di Newmark

Con $\alpha < 0$ (il minimo è -0.3) incoraggia la soluzione, ovvero è più facile ottenere convergenza, ma introduce smorzamento numerico, che può essere contrastato riducendo significativamente il passo d'integrazione.

Confronto tra FNA e DI



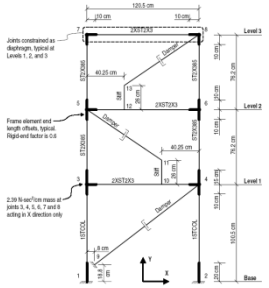


Damper Properties for Nonlinear Analyses

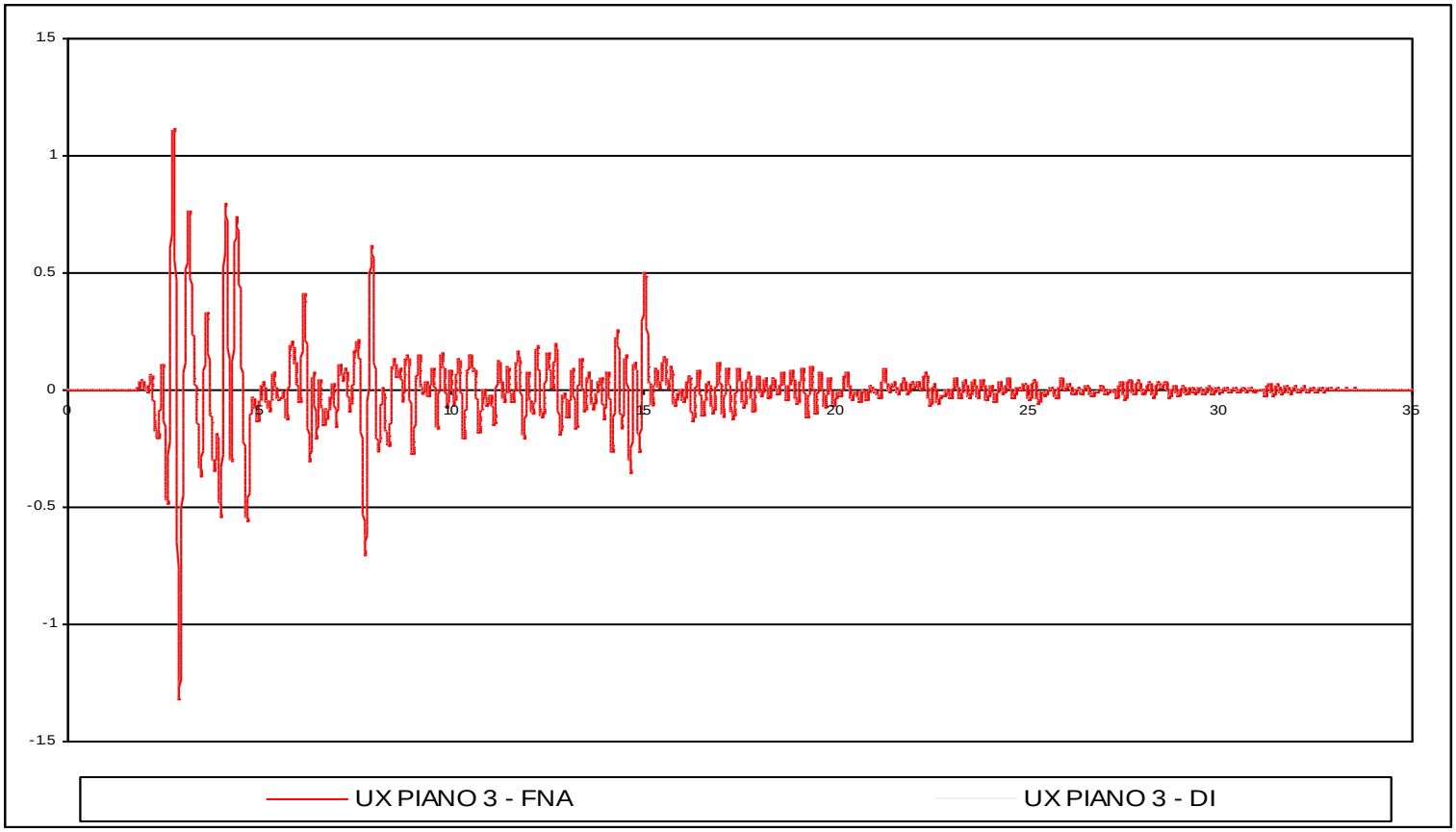
Damper Properties for Linear Analyses

Confronto tra FNA e DI

Durata analisi:
DI: 16 min
FNA: 26 s



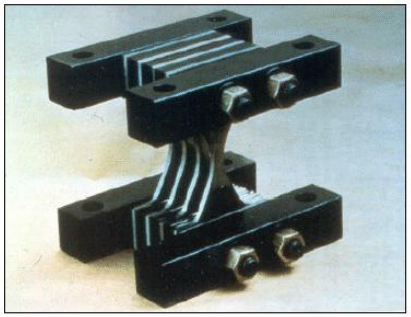
MAX SPOSTAMENTO PIANO 3:
-FNA 1.112 cm
-DI 1.111 cm



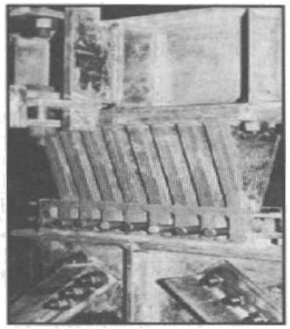
MODELLAZIONE FEM DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

Dispositivi di dissipazione supplementare di energia

Dispositivo ADAS:

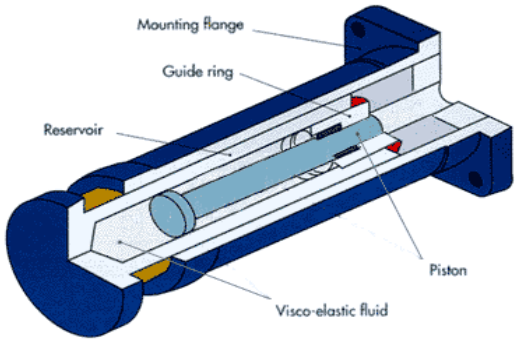


(a) X-shaped Plate Damper

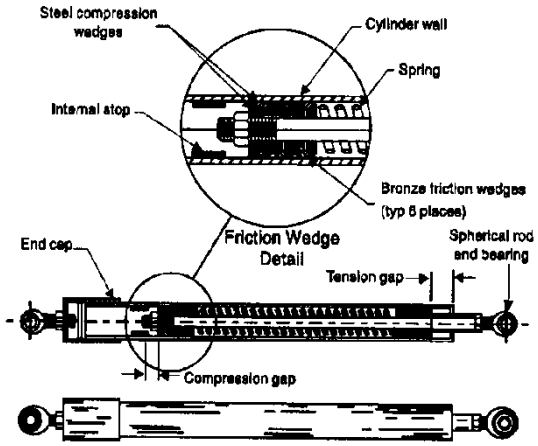


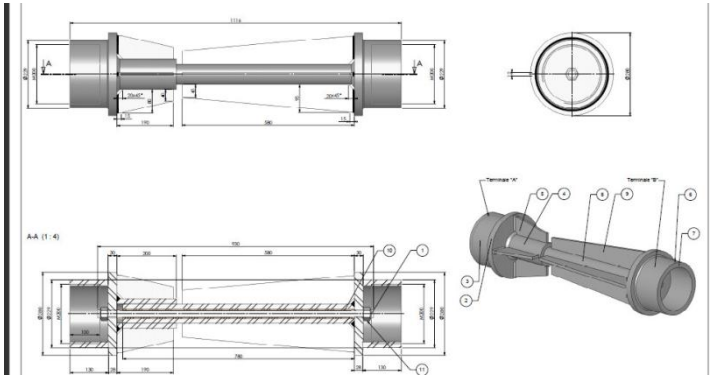
(b) Triangular Plate Damper

Dispositivo SFV:



Dispositivo ad attrito:





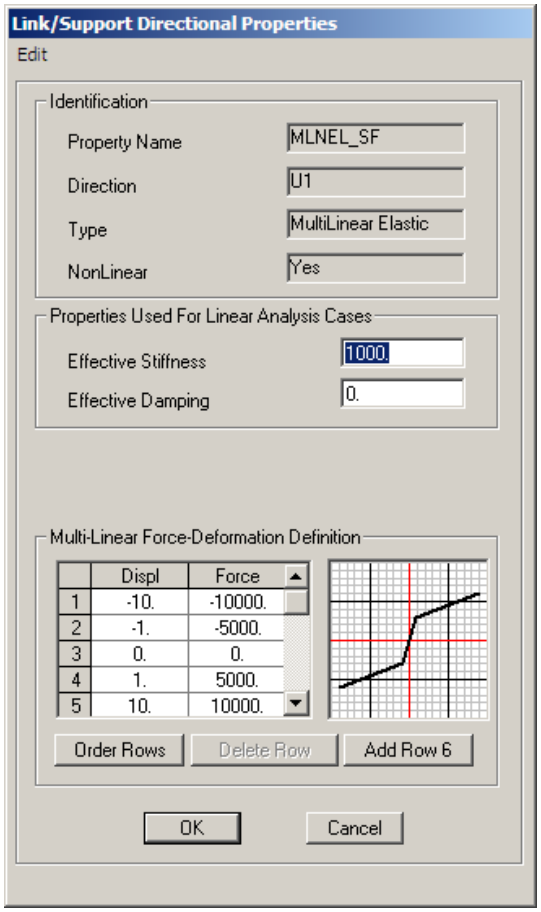
NLLINK - PROPRIETA' GENERALI:

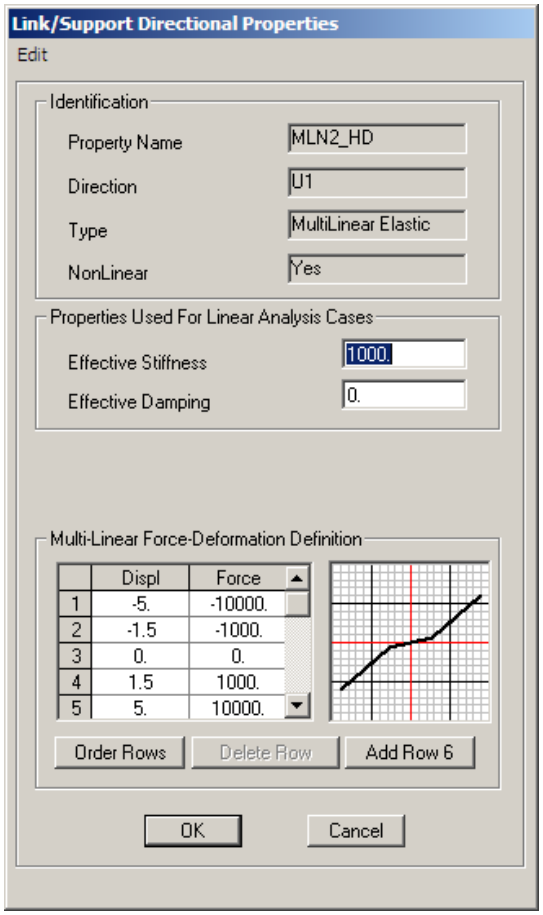
L'elemento **Nllink** viene usato per modellare delle non linearità locali all'interno della struttura come ad esempio **Multi linear elastic** (elementi ad elastici n-lineari), **Gap** (elementi solo compressi costituiti da un molla con in serie una apertura), **Hook** (elementi solo tesi costituiti da un molla con in serie un gancio), **Damper** (elementi a viscosità non lineare), **Plastic** (elementi a comportamento elasto-plastico con leggi diverse), **Rubber Isolator** (isolatori isteretici), **Friction Isolator** (isolatori ad attrito).

- E' simile ad un elemento trave nello spazio.
- Può essere ad 1 nodo (per esempio molle a terra) o a 2 nodi (anche coincidenti nello stato indeformato).
- E' assunto come composto da 6 "molle" indipendenti (una per DOF).
- Ogni "molla" ha due gruppi di proprietà:
    - *lineari*: effective stiffness e effective damping
    - *non lineari*: legge forza deformazione (carico, scarico).
- Altre proprietà sono: peso, massa, inerzie rotazionali.
- Uno o più DOF degli NLLINK possono essere definiti *rigidi*.

MULTILINEAR ELASTIC:

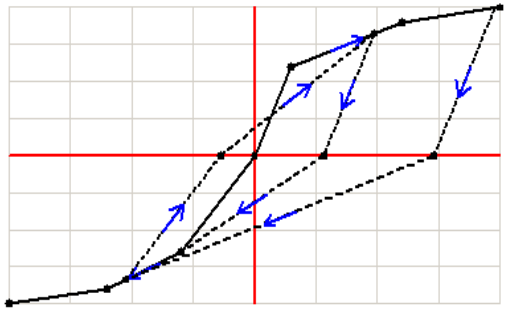
Il comportamento è **non lineare** “ma” **elastico**. Questo vuol dire che il l’elemento multilineare è un elemento elastico la cui curva è n-lineare e la stessa curva viene seguita in fase di carico e in fase di scarico senza avere isteresi.



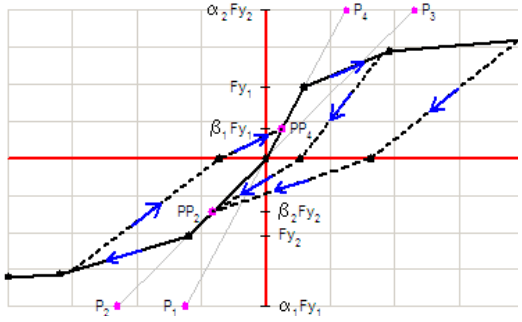


MULTILINEAR PLASTIC:

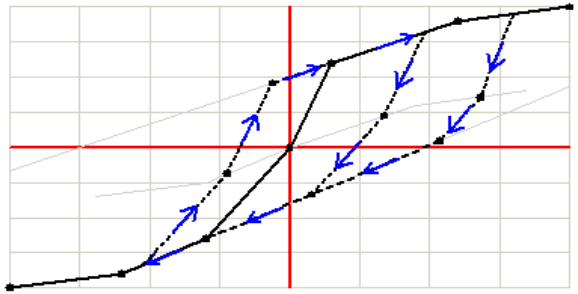
La relazione Forza-Deformazione è data da una curva **n-lineare elastica**. La curva n-lineare rappresenta rigidezze costanti a tratti. La curva in fase di **scarico** deriva da quelle di carico secondo tre diversi modelli isteretici: **Takeda**, **Pivot** o ad **incrudimento cinematico**.



isteresi secondo il modello Takeda



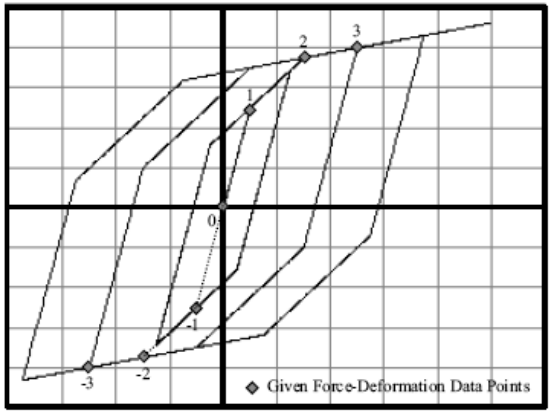
isteresi secondo il modello Pivot



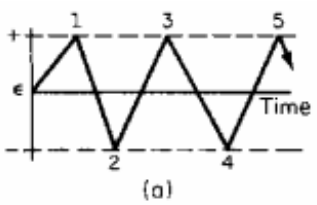
isteresi secondo un modello ad incrudimento cinematico

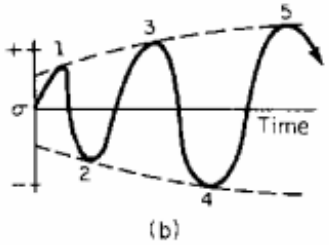
MULTILINEAR PLASTIC - KINEMATIC:

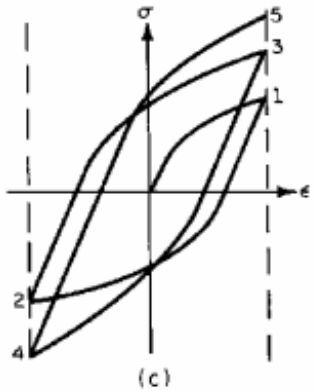
- Un punto deve coincidere con l'origine (0,0).
- Almeno un punto deve essere a deformazione positiva/negativa
- Curve monotone positive/negative



1. Si inizia elasticamente (0)-(1)
2. La fase di carico continua nel secondo ramo (1)-(2) senza arrivare a (2)
3. Si scarica secondo una fase elastica derivata da (0)-(2)
4. Si segue la curva (–1)-(-3)







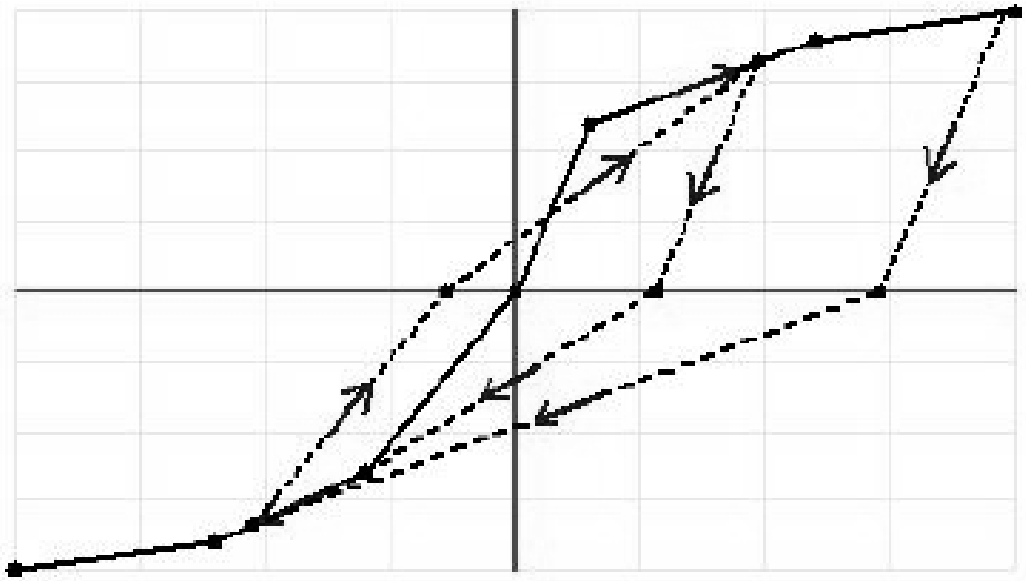
a) Ciclo di carico (deformata-tempo)

b) Risposta in stress

c) Cicli isteretici

MULTILINEAR PLASTIC - TAKEDA:

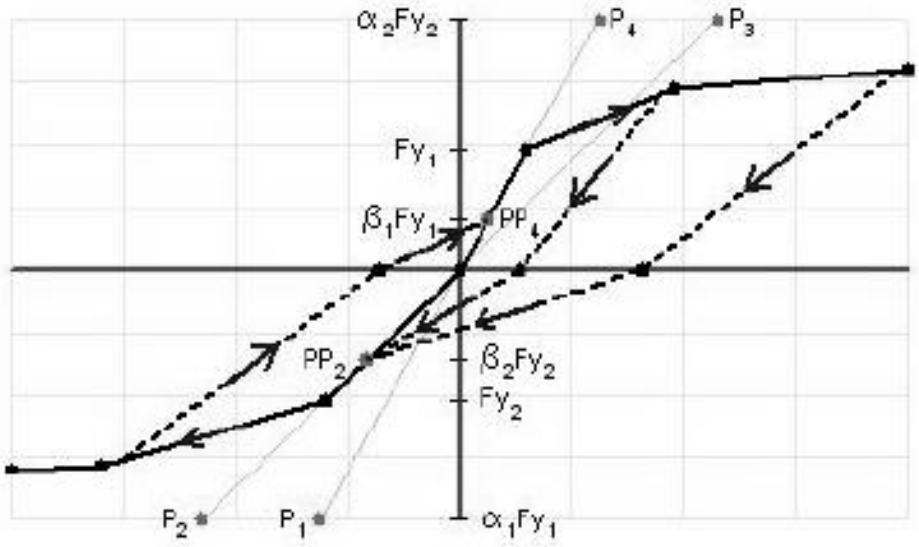
- Un punto deve coincidere con l'origine (0,0).
- Almeno un punto deve essere a deformazione positiva/negativa
- Curve monotone positive/negative



Il modello è molto simile a quello con hardening cinematico, ma si utilizza un modello di degrado basato sul modello TAKEDA. Quando si passa l'asse in fase di scarico, la curva segue una rigidezza secante.

MULTILINEAR PLASTIC - PIVOT:

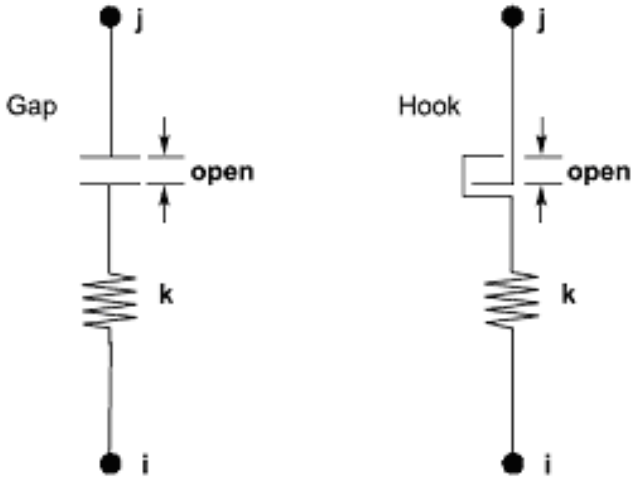
E’ simile al modello TAKEDA, ma ci sono parametri aggiuntivi per “governare” il degrado.



α1, con il quale posizionare il punto di pivot di scarico verso zero da una forza positiva
α2, con il quale posizionare il punto di pivot di scarico verso zero da una forza negativa
β1, con il quale posizionare il punto di pivot di inversione da zero verso una forza positiva
β2, con il quale posizionare il punto di pivot di inversione da zero verso una forza negativa
η, quantifica la degradazione della rigidezza elastica dopo lo snervamento.

GAP/HOOK:

Sono elementi elastici non lineari caratterizzati da una rigidezza elastica e da una apertura in compressione (gap) o in trazione (hook).



$$f = \begin{cases} k\left(d + open\right) \Leftrightarrow d + open < 0 \\ 0 \end{cases}$$

GAP/HOOK:

Si riporta di seguito l'algoritmo di un **Gap-Crush Element**:

1. Update Crush Deformation from Previously Converged Time Step:

   $y = d_{t-\Delta t} + d_0 + d_y$

   if $y > d_c$ then $d_c = y$

2. Calculate Elastic Deformation:

   $e_t^{(i)} = d_t^{(i)} + d_o - d_c$

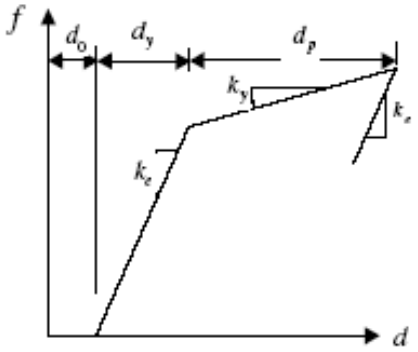
   if $e_t^{(i)} < -d_y$ then $e_t^{(i)} = -d_y$

3. Calculate Iterative Force:

   $f_t^{(i)} = k_y (d_t^{(i)} + d_0) + (k_e - k_y) e_t^{(i)}$

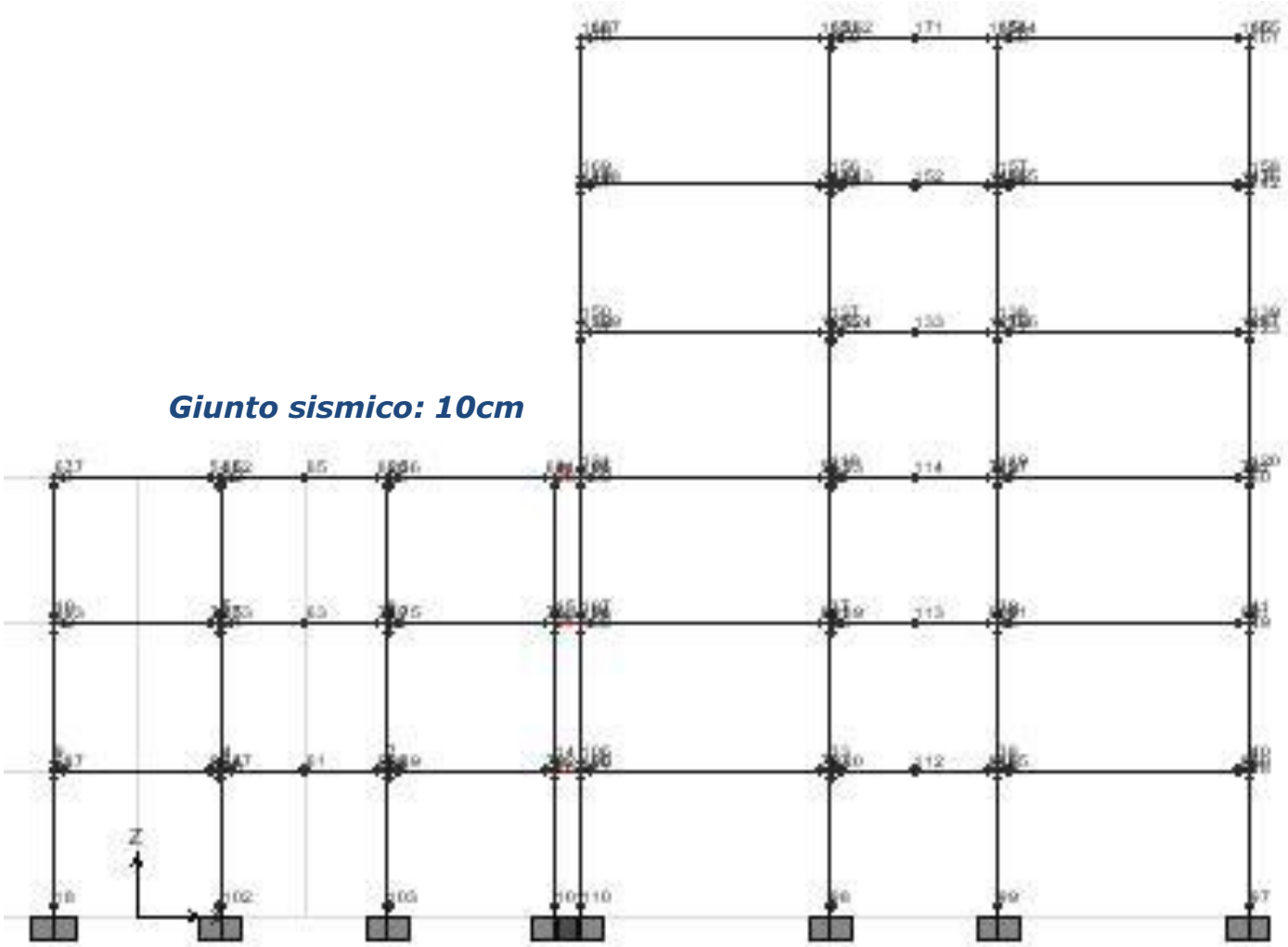
   if $f_t^{(i)} > 0$ then $f_t^{(i)} = 0$

Se viene usata una rigidezza molto grande può essere difficoltosa la convergenza.. Per simulare l'impatto tra due porzioni di strutture, è buona norma non superare oltre due ordini di grandezza la rigidezza degli elementi collegati al link.

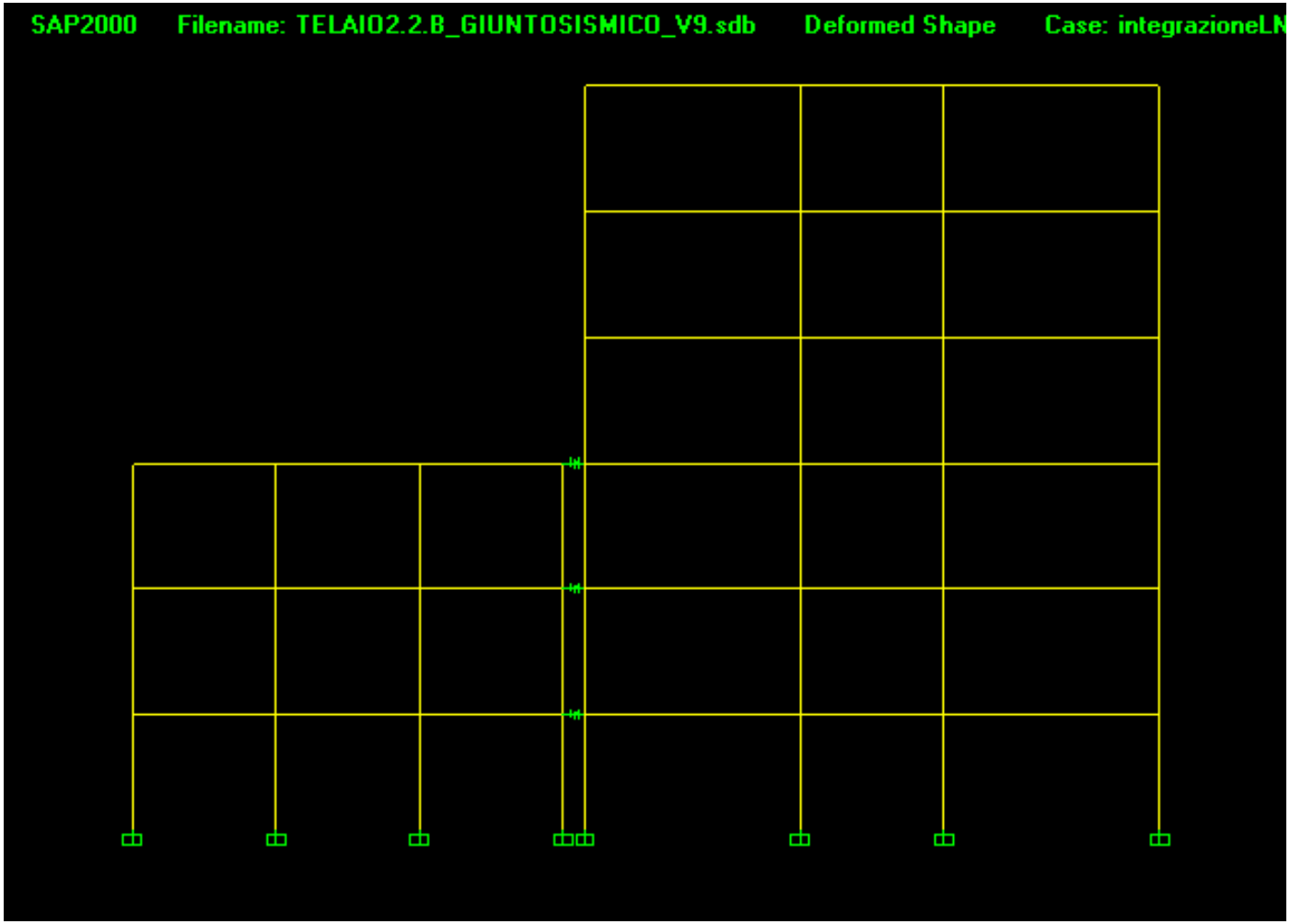


Tension-Gap-Yeld element

DINAMICA NON LINEARE: martellamenti strutturali

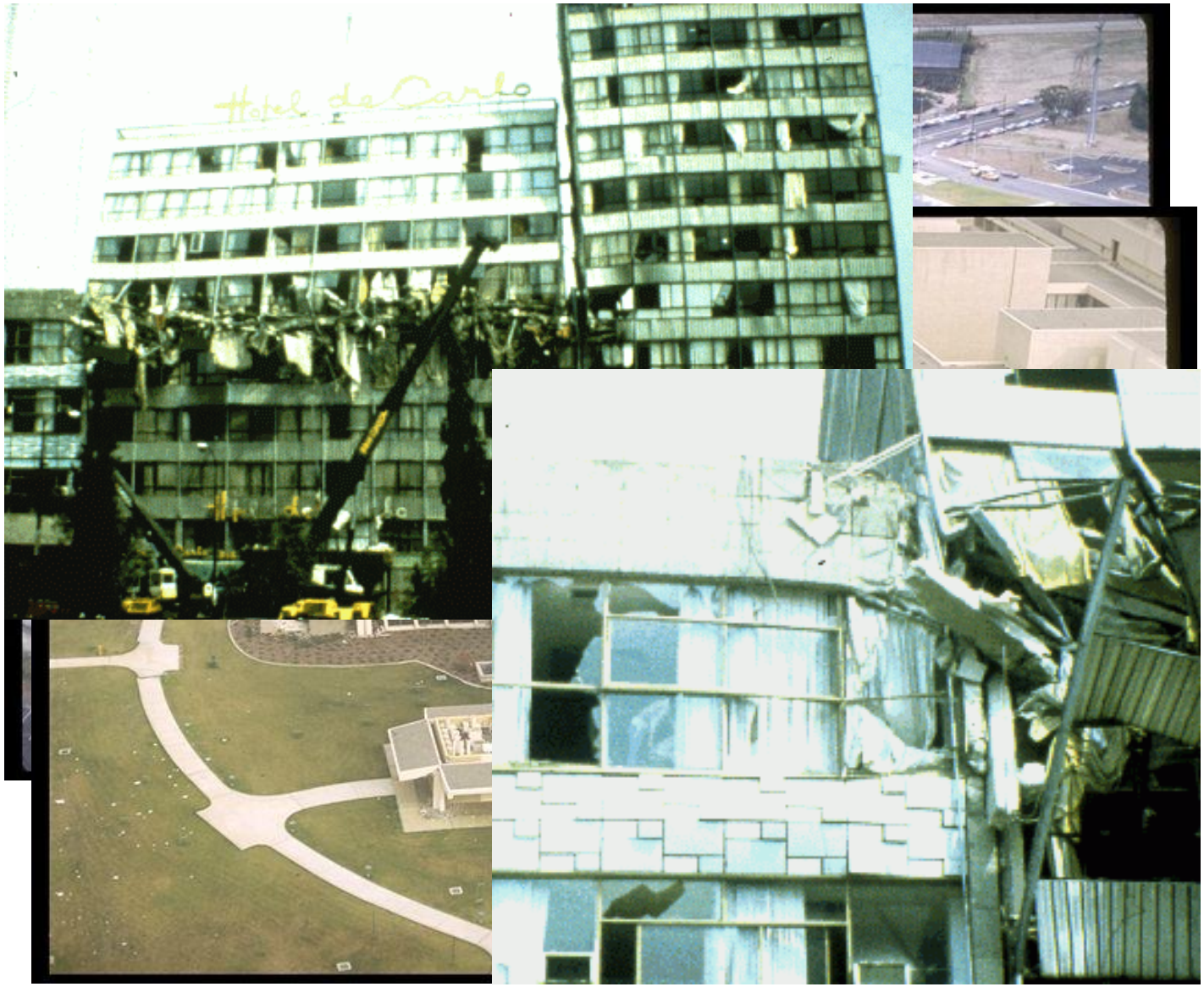


DINAMICA NON LINEARE: martellamenti strutturali

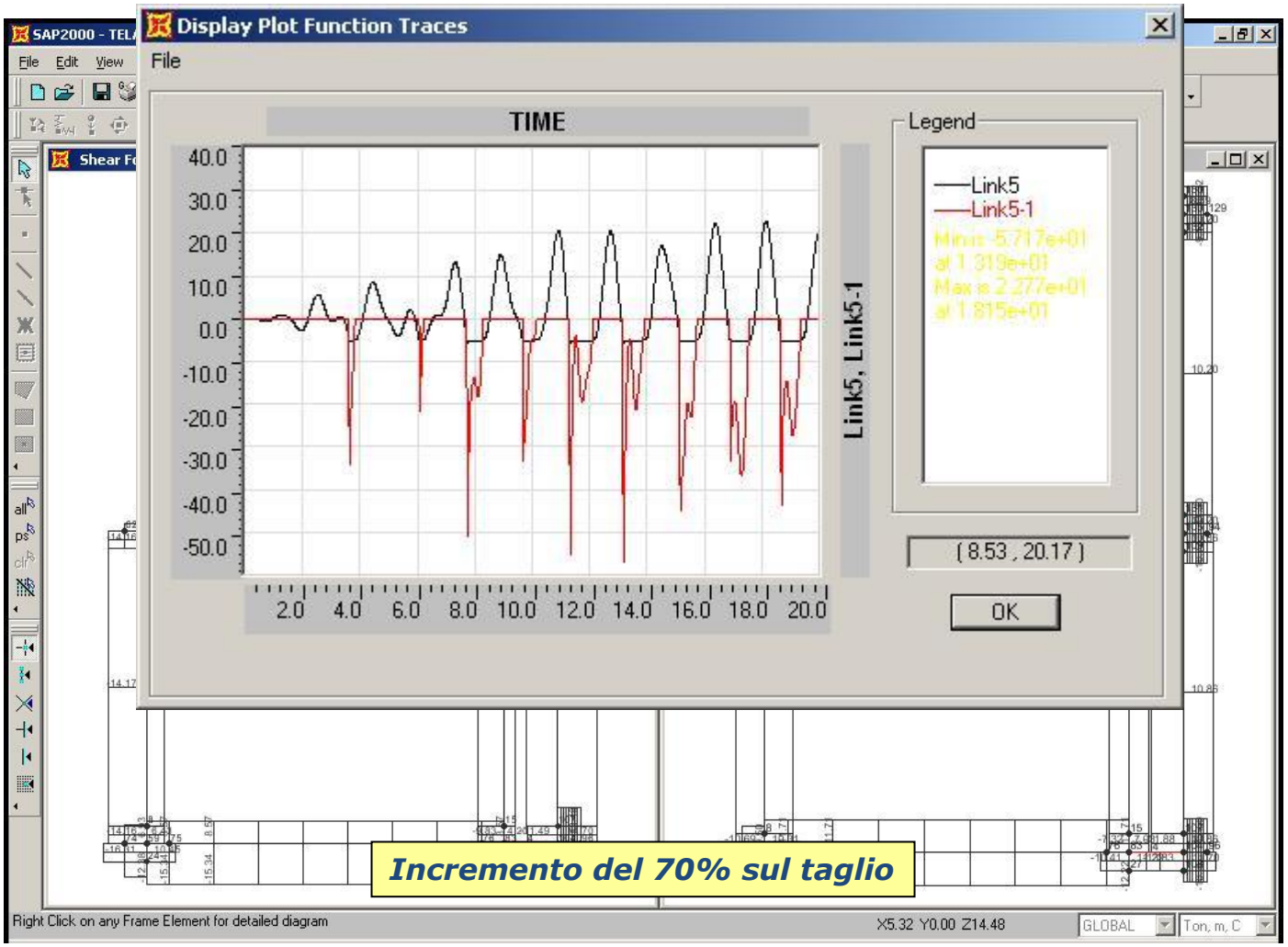


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

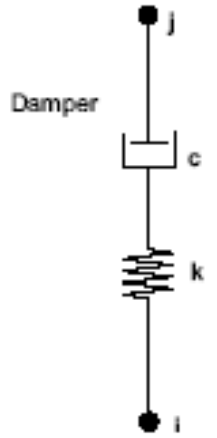
DINAMICA NON LINEARE: martellamenti strutturali



DINAMICA NON LINEARE: martellamento strutturali



modello viscoelastico di Maxwell (Malvern, 1969)



$$f = kd_k = c\dot{d}_c^{\,c\,\exp}$$

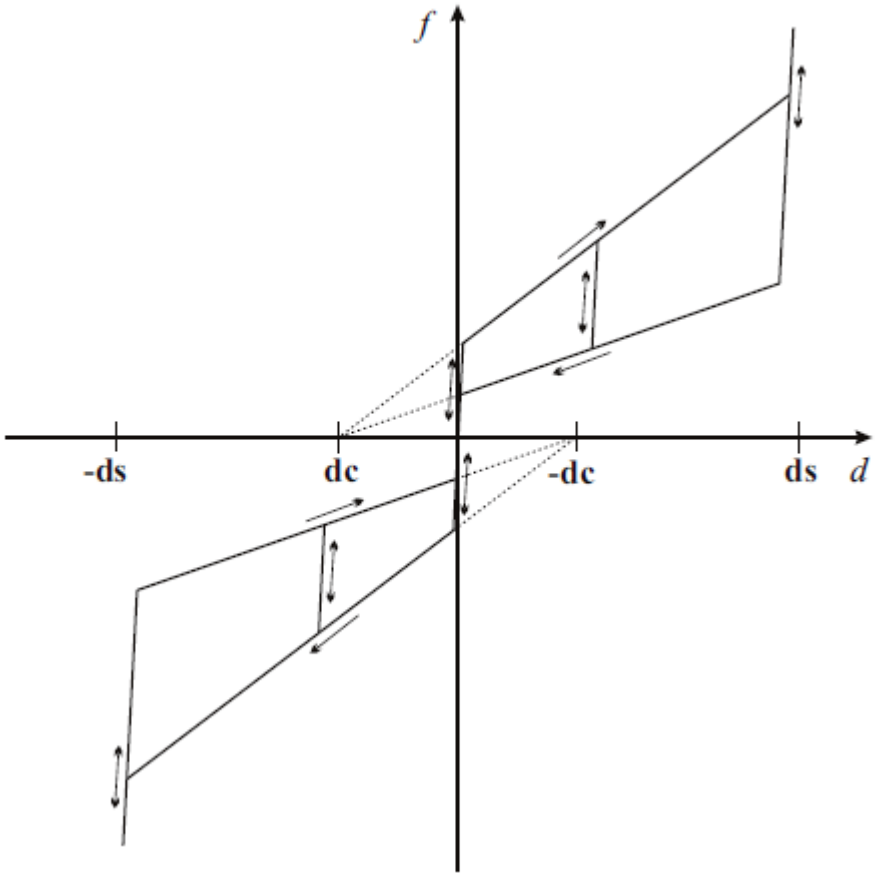
dove **K** è la costante elastica della molla, **la c** è il coefficiente di smorzamento, **cexp** è l'esponente della velocità, il *dk* è la deformazione subita dalla molla elastica e la è la velocità di deformazione.

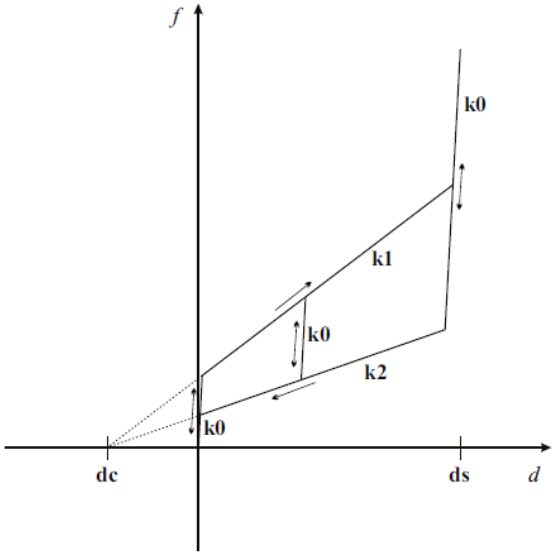
$$d = d_k + d_c$$

La deformazione totale dell'elemento risulterà pertanto somma della deformazione della componente elastica e di quella viscosa.

IMPORTANTE! Per uno smorzatore puro l'effetto della molla può essere reso trascurabile rendendolo sufficiente rigido. Si potrebbe essere tentati di mettere una rigidezza infinita ma questo non è conservativo.
Si suggerisce di confrontare il seguente rapporto $\tau = c/k$ e di porlo di uno o due ordini inferiori al passo di variazione del carico (campionatura) o passo d'integrazione.

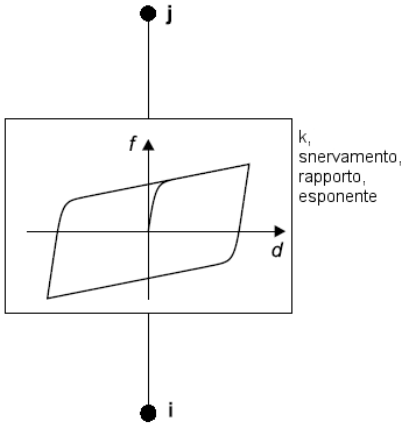
FRICTION SPRING DAMPERDAMPER





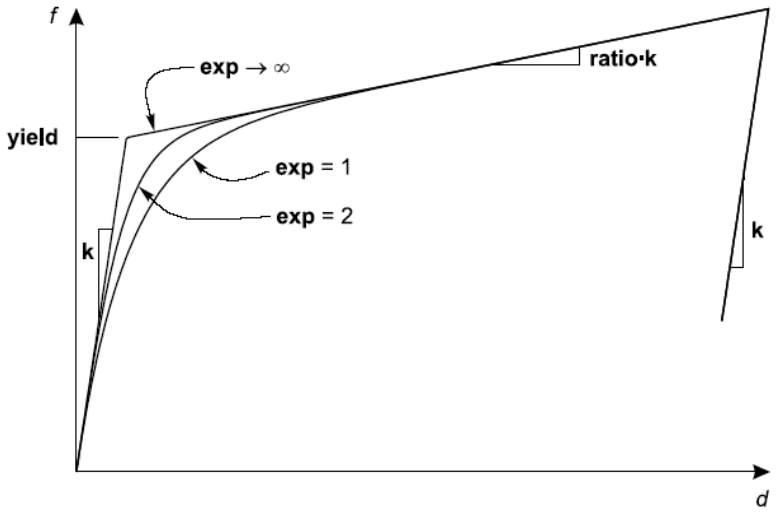
PLASTIC (WEN)

modello plastico basato su un comportamento isteretico proposto da Wen (1976)



f = **ratio k** d + (1 - **ratio**) **yield** z

dove **k** è la rigidezza della fase elastica, **yield** è la forza di snervamento, **ratio** è il rapporto tra il valore della rigidezza dopo lo snervamento e il valore di rigidezza della fase elastica, z è la variabile isteretico interna. $|z| \leq 1$ superficie di snervamento rappresentata da $|z| = 1$.



$$\dot{z} = \frac{k}{yield} \begin{cases} \dot{d} \cdot \left(1 - |z|^{\exp}\right) \Leftrightarrow \dot{d}z > 0 \\ \dot{d} \end{cases}$$

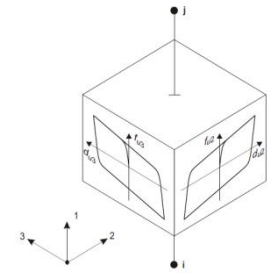


Figure 63
Hysteretic Isolator Property for Biaxial Shear Defo

modello plastico basato su un comportamento isteretico proposto da Wen (1976)

$$f_{u2} = \mathbf{ratio2}\ \mathbf{k2}\ d_{u2} + (1 - \mathbf{ratio2})\ \mathbf{yield2}\ z_2$$
$$f_{u3} = \mathbf{ratio3}\ \mathbf{k3}\ d_{u3} + (1 - \mathbf{ratio3})\ \mathbf{yield3}\ z_3$$

$\sqrt{{z_2}^2 + {z_3}^2} = 1$. The initial values of z_2 and z_3 are zero, and they evolve according to the differential equations:

$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2\ {z_2}^2 & -a_3\ z_2\ z_3 \\ -a_2\ z_2\ z_3 & 1 - a_3\ {z_3}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dfrac{\mathbf{k2}}{\mathbf{yield2}}\ \dot{d}_{u2} \\ \dfrac{\mathbf{k3}}{\mathbf{yield3}}\ \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

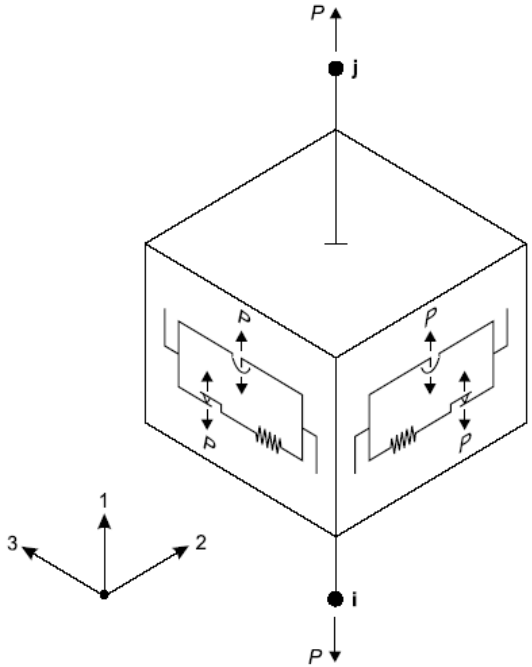
Where:

$$a_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u2}\ z_2 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$a_3 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u3}\ z_3 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

These equations are equivalent to those of Park, Wen and Ang (1986) with $A = 1$ and $\beta = \gamma = 0.5$.

T/C FRICTION ISOLATOR



Park, Wen ed Ang (1986) e suggerito per analisi in occasione di isolamento alla base Nagarajaiah, Reinhorn e Constantinou (1991). Il comportamento del pendolo è come quello proposto da Zayas e da Low (1990).

$$P \equiv f_{u1} = \begin{cases} \mathbf{k1}\, d_{u1} & \text{if } d_{u1} < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Il **Friction Isolator** è dotato di un elemento gap nella direzione verticale per lavorare solo compresso.

$$f_{u2} = f_{u2f} + f_{u2p}$$
$$f_{u3} = f_{u3f} + f_{u3p}$$

$$f_{u2p} = -P\,\frac{d_{u2}}{\mathbf{radius2}}$$
$$f_{u3p} = -P\,\frac{d_{u3}}{\mathbf{radius3}}$$

Bassa velocità

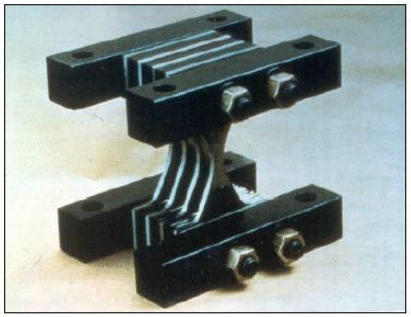
$$f_{u2f} = -P\,\mu_2\,z_2$$
$$f_{u3f} = -P\,\mu_3\,z_3$$

$$\mu_2 = \mathbf{fast2} - (\mathbf{fast2} - \mathbf{slow2})\,e^{-r\,v}$$
$$\mu_3 = \mathbf{fast3} - (\mathbf{fast3} - \mathbf{slow3})\,e^{-r\,v}$$

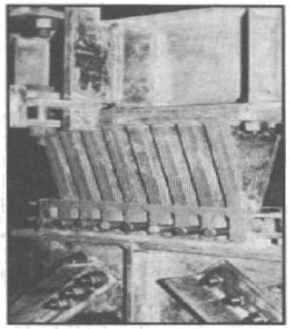
Alta velocità

Dispositivi di dissipazione supplementare di energia

Dispositivo ADAS:

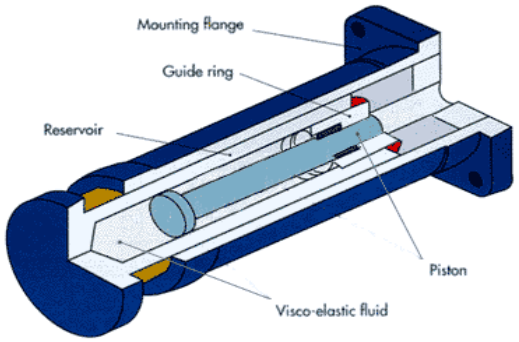


(a) X-shaped Plate Damper

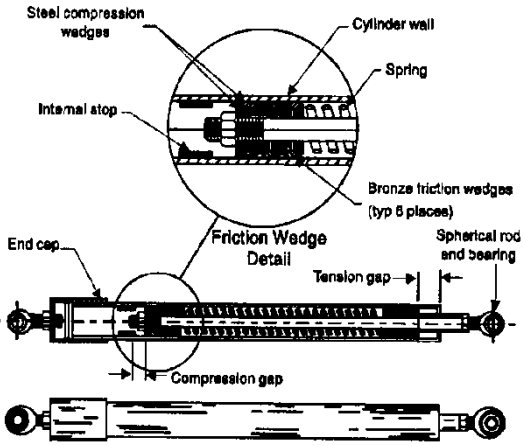


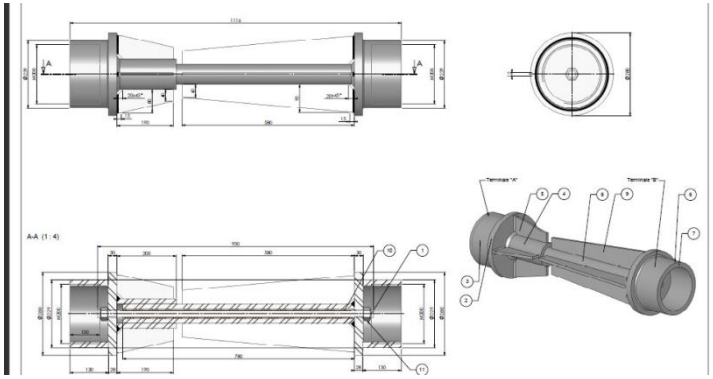
(b) Triangular Plate Damper

Dispositivo SFV:



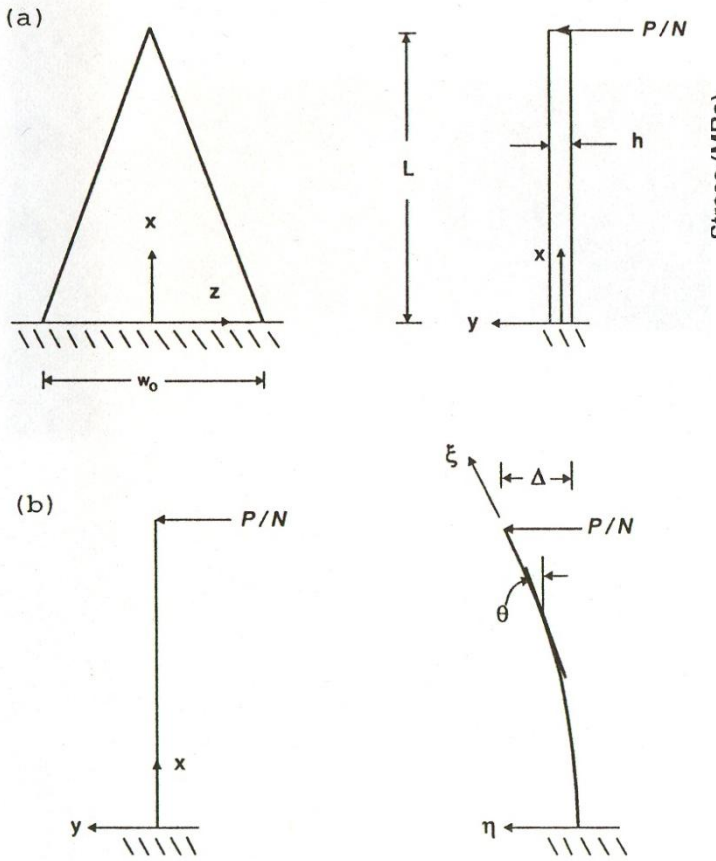
Dispositivo ad attrito:



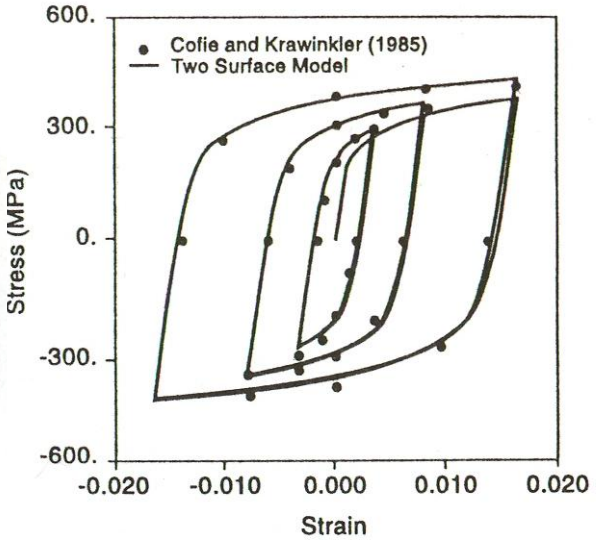


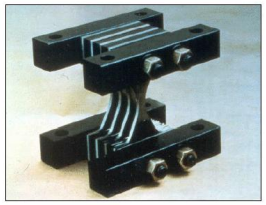
DISPOSITIVO ADAS

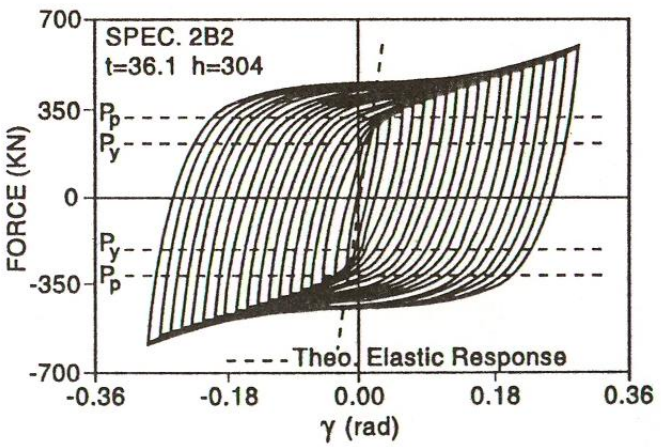
Soong, T.T., Dargush,G.F.(1997).
Passive Energy Dissipation Systems in structural Engineering, 35-81.

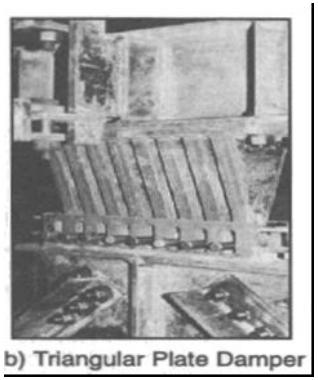


Acciaio tipo ASTM A36:

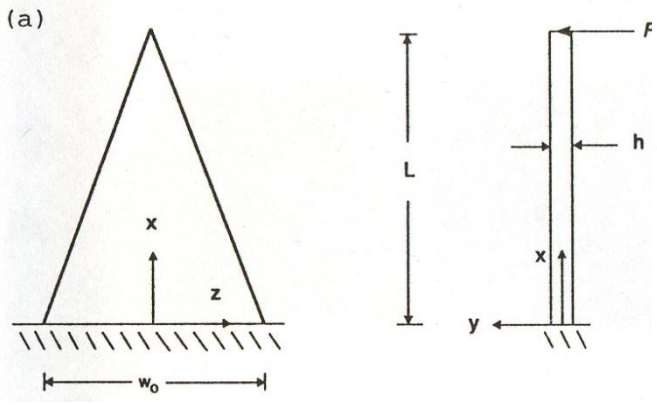


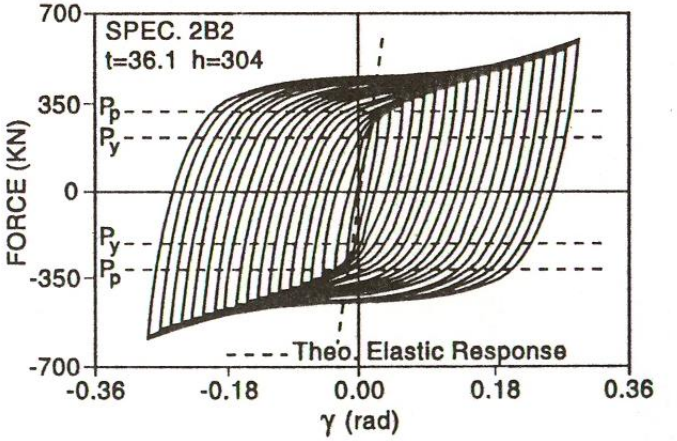


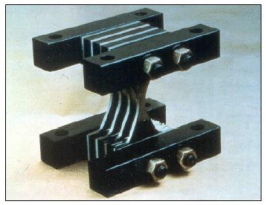



b) Triangular Plate Damper

DISPOSITIVO ADAS

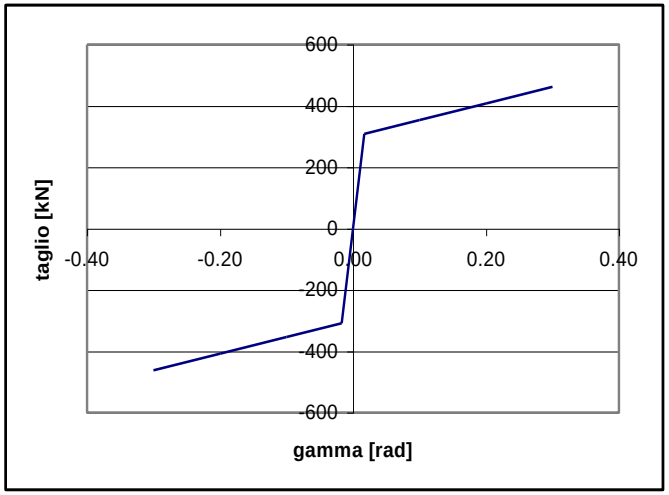






N	8	
E	200000	N/mm^2
w0	133.3	mm
L	304	mm
h	36.1	mm
σy	270	N/mm^2
k1=P/(D)	**59525.05**	**N/mm**
beta	0.03	
k2	**1785.751**	**N/mm**
Pu	**308577.8**	**N**
Du	**5.184**	**mm**

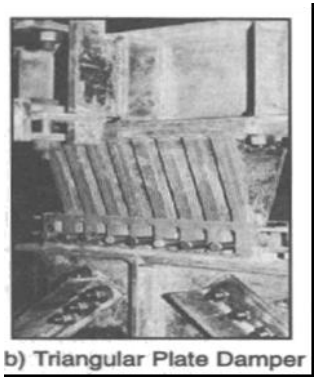
γ	Δ [mm]	F [kN]
-0.30	-91.20	-462.181
-0.20	-60.80	-407.8942
-0.10	-30.40	-353.6073
-0.02	-5.18	-308.5778
0.00	0.00	0
0.02	5.18	308.5778
0.10	30.40	353.6073
0.20	60.80	407.8942
0.30	91.20	462.181



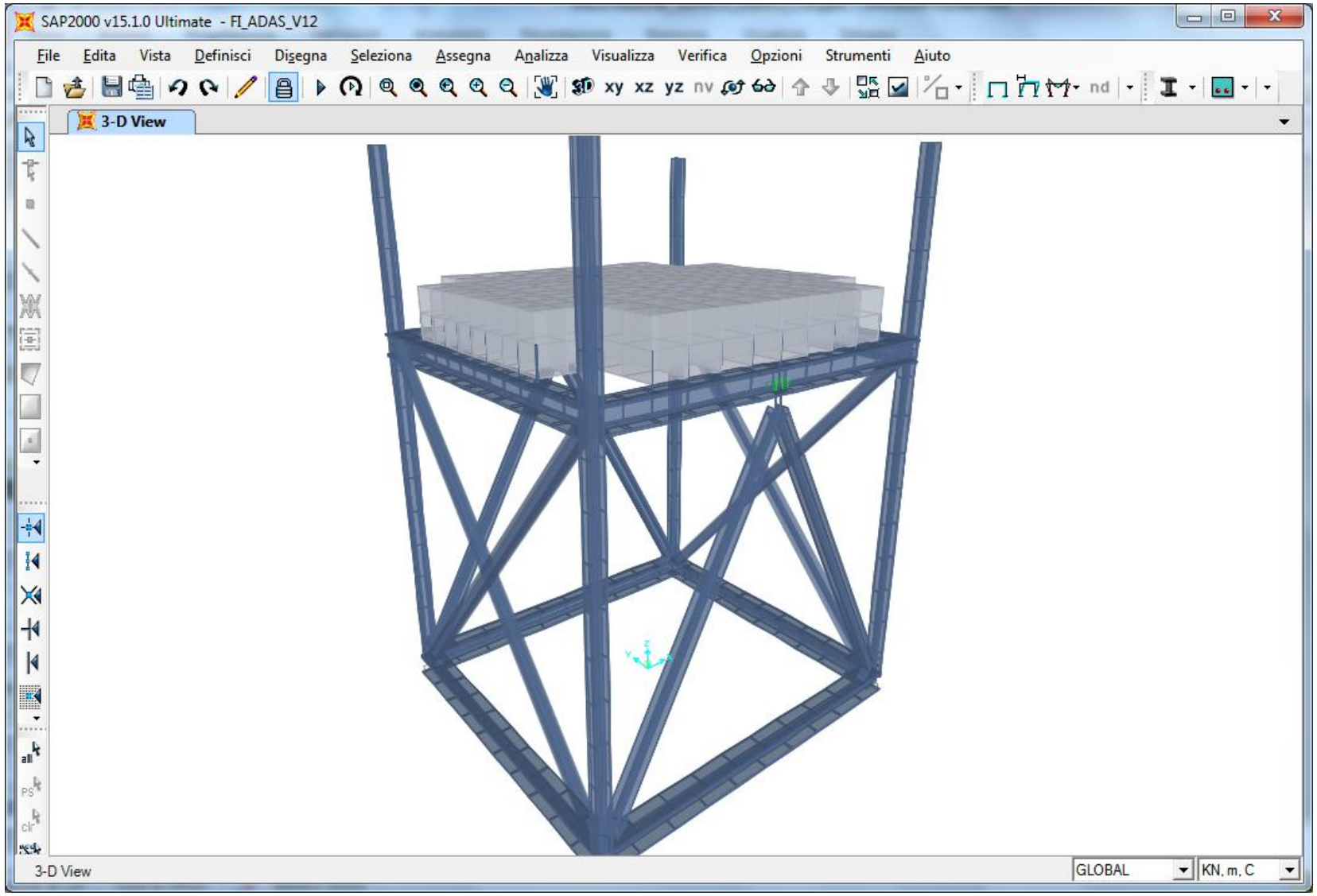
$$k_1 = P/D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

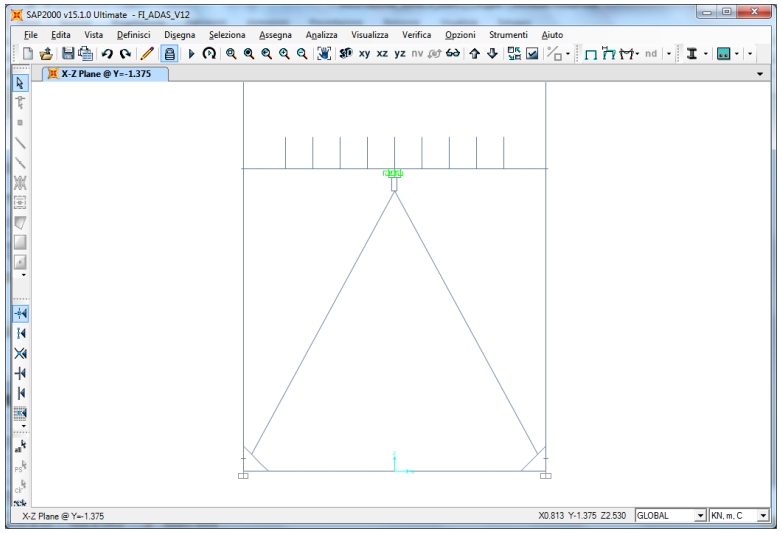
$$P_u = N\sigma_y \cdot \omega_0 \cdot h^2 / 4L$$

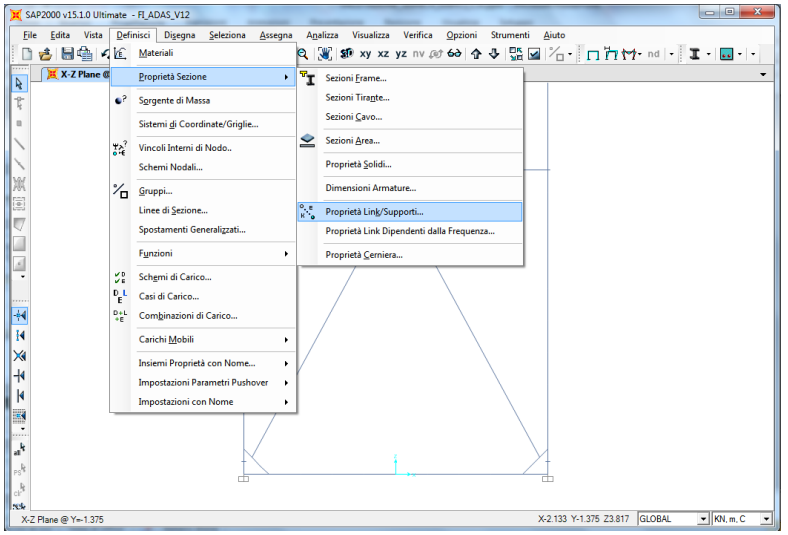

b) Triangular Plate Damper

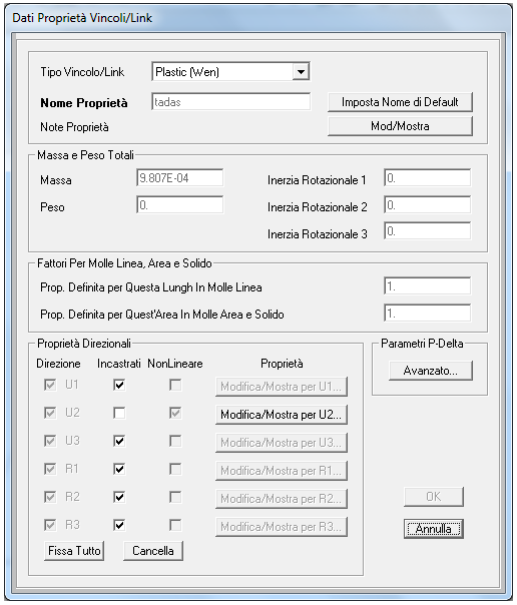
DISPOSITIVO ADAS

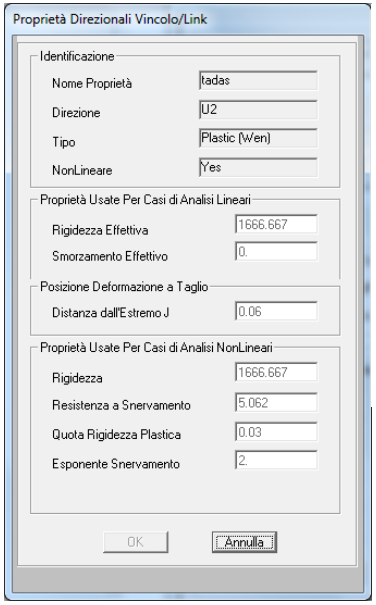


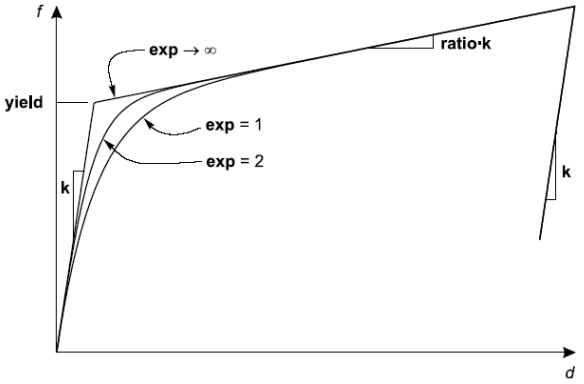
DISPOSITIVO ADAS

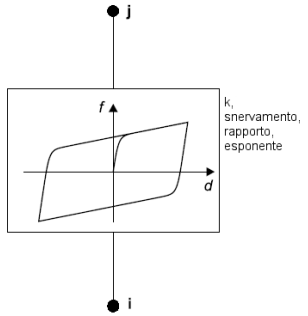












Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ALTRI ESEMPI DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE AD ISTERESI METALLICA

PND

ALGA azienda leader nel settore dell'isolamento sismico progetta e produce dispositivi d'appoggio muniti di smorzatori elastoplastici, atti a ridurre la vulnerabilità delle strutture e a garantirne l'integrità, attraverso una forte riduzione dei carichi sismici.

Appoggi ALGASISM
Gli appoggi antisismici ALGASISM PND e PNUD assolvono le seguenti funzioni:
- Trasmettono i carichi verticali permanenti ed accidentali;
- Permettono la rotazione fino a 0.01 rad, tra struttura ed infrastruttura;
- Consentono, con una piccola reazione parassita, le variazioni di lunghezza della struttura dovute a ritiro, fluage, e deformazioni termiche.
- Trasmettono le forze statiche orizzontali ad una sola pila senza sensibili movimenti.
- Distribuiscono equamente le forze dinamiche orizzontali (frenature, forze sismiche di progetto) fra tutte le pile senza apprezzabili movimenti.
- Dividono, in caso di terremoto catastrofico, l'azione sismica equamente fra le pile e riducono le forze orizzontali dissipando l'energia sismica per mezzo del loro comportamento elastoplastico.

Descrizione
I dispositivi di appoggio antisismico ALGASISM raggruppano tutte le funzioni in solo due modelli:
PND (tipo fisso) e PNUD (tipo mobile), con le seguenti caratteristiche:

- Un appoggio tipo ALGAPOT per trasmettere i carichi verticali e permettere la rotazione.
- Superfici scorrevoli con contatto acciaio inox / PTFE per migliorare i movimenti lenti.
- Smorzatori elastoplastici a forma di "E" per dissipare l'energia sismica.
- Accoppiatori viscosi (solo per i dispositivi mobili PNUD) per assicurare la trasmissione della scossa sismica simultaneamente a tutti i dispositivi, in modo da ottenere una coattiva reazione lungo tutta la sezione strutturale protetta.

ALGA is a company leader in seismic isolation designs and produces antiseismic bridge bearings provided with hysteretic dampers, to reduce structures vulnerability and assure the integrity, through a large reduction of the seismic action.

ALGASISM Bearings
The antiseismic bridge bearing devices ALGASISM PND and PNUD shall fulfill the following requirements:
- *Transmit the vertical loads due to permanent and accidental effects;*
- *Allow the rotation between the structure and the infrastrucutres up to 0.01 rad;*
- *Allow, with little parasite reaction, the length variations of the structure due to creep, shrinkage and thermal effects;*
- *Transmit the static horizontal forces to a pier only without appreciable movements;*
- *Distribute the dynamic horizontal forces (braking, design earthquake) equally among all the piers, without appreciable movements;*
- *Share, in case of catastrophic earthquake, the seismic action equally among the piers and restrict the horizontal forces dissipating the seismic energy through an hysteretic behaviour.*

Description
The antiseismic bearing devices Algasism assemble all the functions in only 2 types:

APPOGGI ANTISISMICI ALGASISM PND PNUD

Dissipatori Elastoplastici
Per dissipare energia gli smorzatori utilizzati sugli appoggi PND sfruttano le proprietà elastoplastiche dell'acciaio.
Le principali caratteristiche sono:
- Ottimizzazione della forma ad E, che procura una migliore diffusione della plasticizzazione per tutto il volume, previene la localizzazione e la concentrazione delle deformazioni e permette una maggior resistenza alla fatica oligociclica.
- Geometria dei dissipatori che neutralizza gli effetti del secondo ordine, che spesso causano dissimmetria dei cicli d'isteresi per ampi movimenti. Di conseguenza la dissipazione migliora efficaciemente.
- Le prove hanno dimostrato che i nostri smorzatori hanno davvero un gran numero di cicli utili e quasi nessun ciclo di deterioramento prima di danneggiarsi. Inoltre hanno una altissima dissipazione che è dimostrata anche dalla forma quasi quadrata del diagramma dei cicli d'isteresi forza-spostamento.
L'efficienza dei dispositivi, calcolata come rapporto tra l'area del 2° ciclo e l'area del rettangolo circoscritto (4 Fu Su), non è minore di 0.7.

Accoppiatori Viscosi
Gli accoppiatori viscosi permettono i movimenti lenti senza offrire apprezzabile resistenza; essi rispondono invece rigidamente se sottoposti a carichi pulsanti.
Movimenti lenti: Muovendo il pistone ad una velocità non superiore a 0.01 mm/s la reazione non sarà più del 10% del valore Fy di progetto.
Movimenti impulsivi: Applicando all'accoppiatore viscoso la forza di ± 1,2 Fy alla frequenza compresa tra 0.4 e 0.8 Hz lo spostamento, dovuto per effetto termico, non supererà il 3% della corsa nominale del pistone.

Appoggi Algasism dei Viadotti Autostrada Livorno - Civitavecchia. Particolari di ossitaglio.

Algasism bearings laying on Livorno - Civitavecchia Highway. Some flame-cut "E" elements.

PND (fixed type) and PNUD (movable type), whith following features:
- *An ALGAPOT bearing to transmit the vertical loads and allow rotation.*
- *PTFE and stainless steel sliding surfaces to allow slow movements with very low friction.*
- *E-shaped hysteretic dampers to dissipate the seismic energy.*
- *Shock transmission units (PNUD types only) to ensure simultaneous reaction of all the bearing devices belonging to a structural section.*

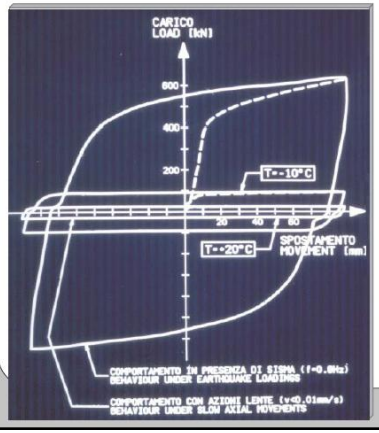
Hysteretic Dampers
The mechanism of energy dissipation is, for the proposed devices, the elastoplastic flexure of steel elements.

They are characterized by:
- *An optimized E-shape which allows diffusion of plasticization over most of the volume and by preventing localiza- tion and concentration of deformation, provides extended low fatigue cycles.*
- *Geometry which neutralizes the 2nd order effects, which often cause, in similar devices, strain hardening or softening behavior and/or dissimmetri-zation of the hysteresis cycles, at large displacements; as a consequence impro- ved dissipation effectiveness results.*
- *The tests have shown that the propo- sed devices present indeed long cyclic life, almost no cycle deterioration before failure, and very good dissipation.*

The efficiency of the device computed as ratio between the area of the 2nd cycle and the area of the circumscribed rectangle (4 Fu Su) is not less than 0.7.

Shock transmission units
Shock transmission units allow slow movements without offering appreciable resistance; they respond rigidly if stressed by pulse loads.
***Slow movements**: Applying to the piston a velocity not exceeding 0,01 mm/s the reaction shall not exceed 10% of the design value Fy.*
***Pulse movements**: Applying to the shock transmission unit the force ± 1,2 Fy at a frequency between 0.4 and 0.8 Hz the displacement shall not exceed 3% of the nominal stroke due to thermal effects.*

- ALGASISM PND PNUD HYSTERETIC DAMPING BEARINGS



VALORI RACCOMANDATI DI Fy(g)
RECOMMENDED Fy(g) VALUES

Accelerazione al suolo secondo le AASHTO (g) *Ground acceleration according to AASHTO*			
0.09	0.19	0.29	>0.29
L	SISMICITA' SEISMICITY		H
0.05	0.07	0.10	0.12
Rapporto Fy/Peso proprio raccomandato *Recommended Fy/Own weight ratio*			

csi Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ALTRI ESEMPI DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE AD ISTERESI METALLICA

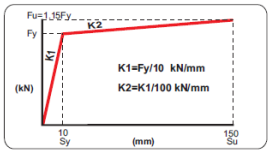
ALGASISM

CONSIGLI PER LA PROGETTAZIONE - ADVISES FOR THE DESIGN

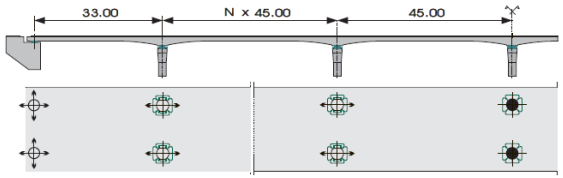
Per ogni serie di campate (comprese tra due giunti) è necessario installare almeno un appoggio PND sulla pila centrale o su di una pila vicina al centro.
· La forza totale di snervamento Fy degli appoggi PND dovrà essere uguale o più grande di 1.5 volte il carico orizzontale di progetto (vento, frenature, attrito differenziale degli appoggi) escluso il terremoto.
· Su tutte le altre pile si installeranno appoggi tipo PNUD ed eventualmente altri appoggi mobili multidirezionali.
· La forza totale di snervamento Fy di tutti gli appoggi PND e PNUD dovrà essere approssimativamente uguale alla frazione di peso proprio della struttura come suggerito nella tabella (TAB.1), in funzione del grado di sismicità della zona.
Appoggi PND e PNUD per alta e bassa sismicità e appoggi multidirezionali si possono combinare, per ottenere il valore Fy richiesto.
· Il valore totale di Fy per ogni pila definisce anche il massimo effetto orizzontale del terremoto che sarà uguale a 1.15 Fy.
· La struttura dovrà comunque sempre essere verificata con analisi dinamica non lineare.

For each bridge section (from an expansion joint to the next one) it is necessary to provide at least one PND device on the centre pier or in the pier nearest to the centre.

· The total yield force Fy of the PND devices shall be equal or greater than 1.5 times the design horizontal loads (wind, braking, differential friction of the sliding bearings) except earthquake.
· On all the other piers shall be provided PNUD devices and if necessary other free sliding bearings.
· The total yield force Fy of all PND and PNUD devices shall be approximately equal to the fraction of the own weight of the structure suggested in the table (TAB.1), in function of the degree of seismicity of the area. High seismicity and low seismicity PND and PNUD devices and free sliding bearings may be combined in order to reach the required Fy.
· The Fy total values for each pier also defines the maximum horizontal effect of the earthquake that will be equal to 1.15 Fy.
· The structure shall always be also verified by non linear dynamic analysis.



ESEMPIO DI DISPOSIZIONE - TYPICAL LAYOUT



LEGENDA SIMBOLI - SYMBOLS

ALGAPOT PNM
Mobile Multi - Free sliding

ALGASISM PNUD
Mobile - Sliding

ALGASISM PND
Fisso - Fixed

ALGASISM

DIMENSIONI - DIMENSIONS [mm]

PND - DISPOSITIVI FISSI - FIXED DEVICES

Siglatura - Mark		Fy	Fy	A	Bx	By	Z	Z	H
PND	3000 / 150 / 150 -	150	225	440	440	620	800	920	130
PND	4000 / 150 / 150 -	200	300	510	510	700	900	1050	140
PND	5000 / 150 / 150 -	250	375	570	570	750	950	1150	150
PND	6000 / 150 / 150 -	300	450	620	620	800	1050	1300	170
PND	7000 / 150 / 150 -	350	525	670	670	850	1100	1400	180
PND	8000 / 150 / 150 -	400	600	720	720	900	1200	1500	190
PND	9000 / 150 / 150 -	450	675	760	760	950	1300	1600	200
PND	10000/ 150 / 150 -	500	750	800	800	1000	1350	1700	210
PND	12000/ 150 / 150 -	600	900	880	880	1080	1500	1900	230
PND	15000/ 150 / 150 -	750	1125	980	980	1160	1700	2150	240
PND	18000/ 150 / 150 -	900	1350	1080	1080	1240	1900	2250	250
PND	20000/ 150 / 150 -	1000	1500	1130	1130	1280	2050	2300	250

PNUD - DISPOSITIVI MOBILI - SLIDING DEVICES

Siglatura - Mark		Fy	Fy	A	Bx	By	Z	Z	H
PNUD	3000 / 150 / 150 -	150(±75)	225(±75)	440	440	620	800	920	130
PNUD	4000 / 150 / 150 -	200(±75)	300(±75)	510	510	700	900	1050	140
PNUD	5000 / 150 / 150 -	250(±75)	375(±75)	570	570	750	950	1150	150
PNUD	6000 / 150 / 150 -	300(±75)	450(±75)	620	620	800	1050	1300	170
PNUD	7000 / 150 / 150 -	350(±75)	525(±75)	670	670	850	1100	1400	180
PNUD	8000 / 150 / 150 -	400(±75)	600(±75)	720	720	900	1200	1500	190
PNUD	9000 / 150 / 150 -	450(±75)	675(±75)	760	760	950	1300	1600	200
PNUD	10000/150 / 150 -	500(±75)	750(±75)	800	800	1000	1350	1700	210
PNUD	12000/150 / 150 -	600(±75)	900(±75)	880	880	1080	1500	1900	230
PNUD	15000/150 / 150 -	750(±75)	1125(±75)	980	980	1160	1700	2150	240
PNUD	18000/150 / 150 -	900(±75)	1350(±75)	1080	1080	1240	1900	2250	250
PNUD	20000/150 / 150 -	1000(±75)	1500(±75)	1130	1130	1280	2050	2300	250

BASSA SISMICITA' - *LOW SEISMICITY* ALTA SISMICITA' - *HIGH SEISMICITY*

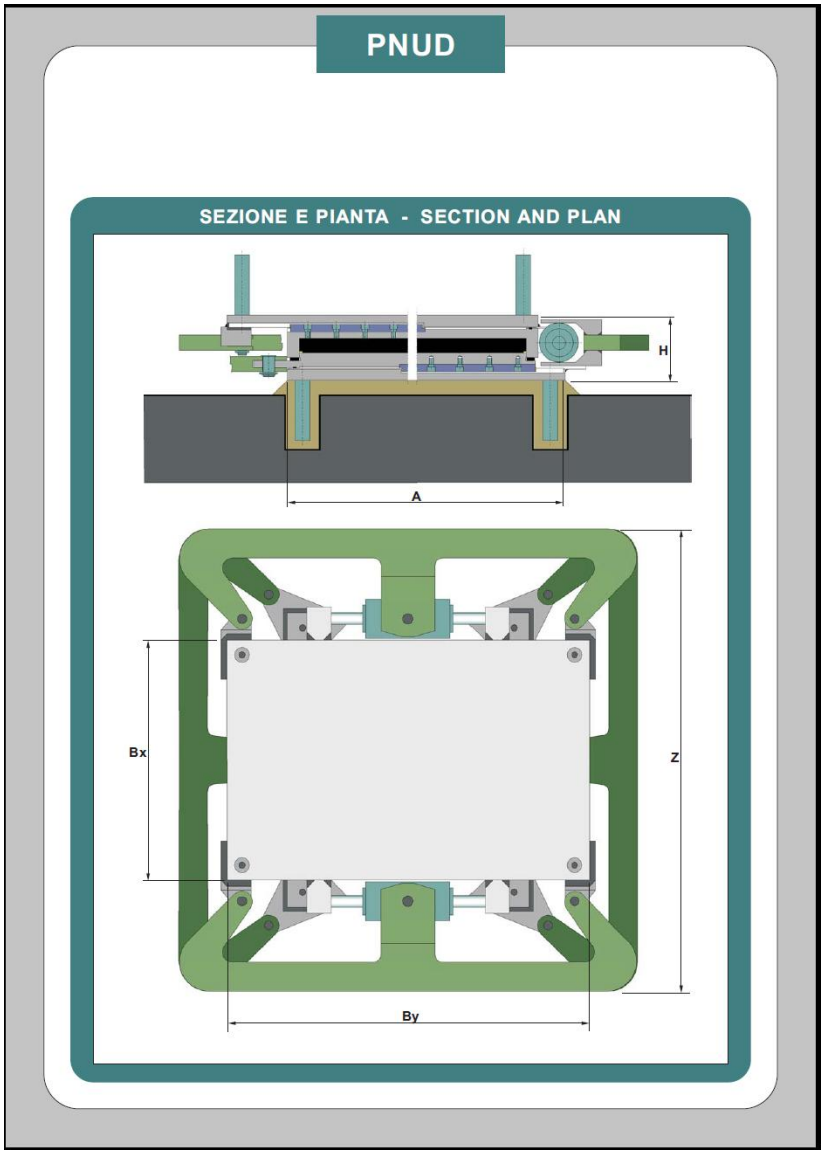
SIGNIFICATO DELLE SIGLATURE - KEY OF MARKS

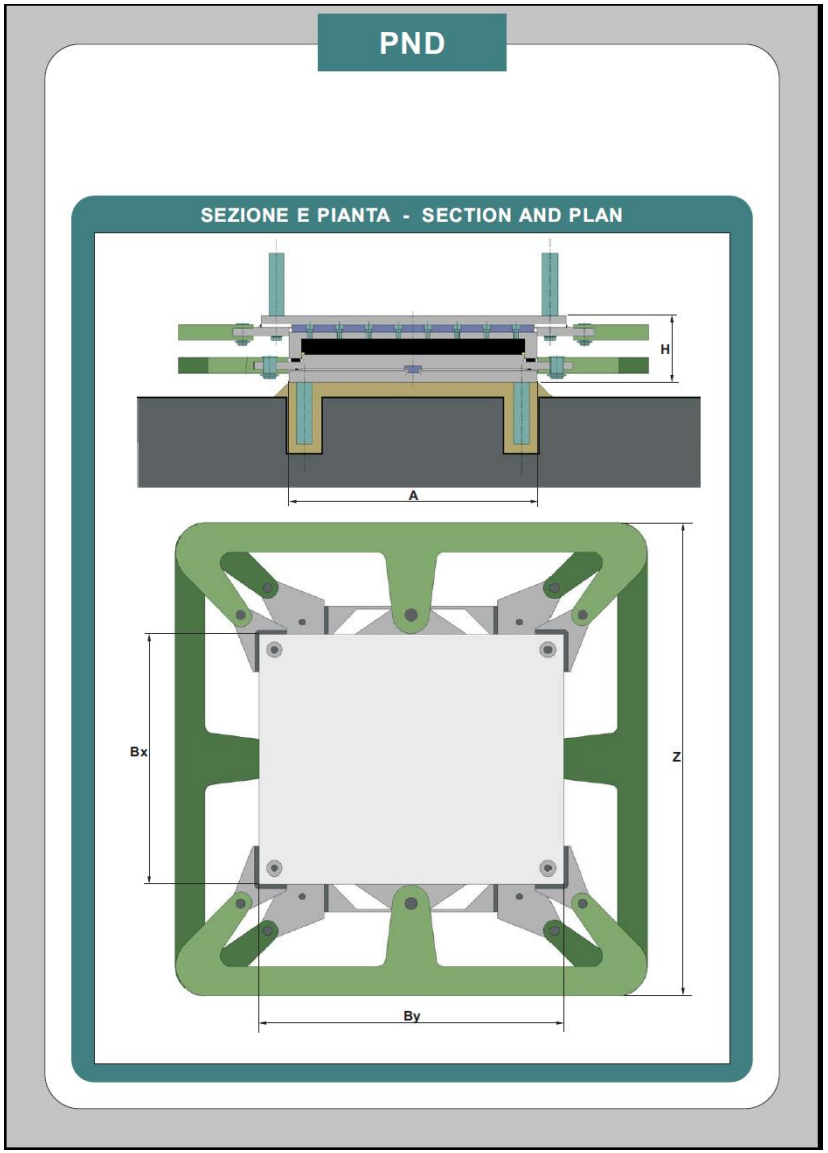
es.: **PNUD 20000 / 150 / 150 - 1500 (+/-75)**

20000 = Carico verticale [kN] - Vertical Load [kN]
150/150 = Movimento elastoplastico longitudinale / trasversale [mm]
Hysteretic longitudinal / transversal displacement [mm]
1500 = Forza di snervamento longit. / trasv. [kN] - Fy nel diagramma carico-spostamento
Yield longit. / transv. force [kN] - Fy in the typical load-deflection plot
+/- 75 = Escursione termica [mm] - Thermal displacement [mm]

CSI Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ALTRI ESEMPI DI DISSIPAZIONE AD ISTERESI METALLICA





Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ALTRI ESEMPI DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE AD ISTERESI METALLICA

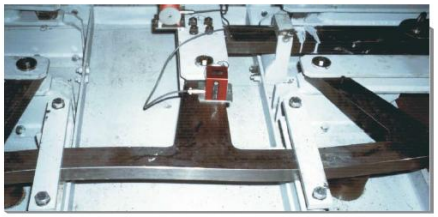
Alga

Appoggi - Giunti - Dispositivi antisismici - Tecnologie speciali per le costruzioni
Bearings - Exp. Joints - Aseismic devices - Advanced tecnologies for constructions
ALGA SpA - Via Olona 12 - 20123 MILANO - Tel. +39 2 48569.1 - Fax. +39 2 48569.245

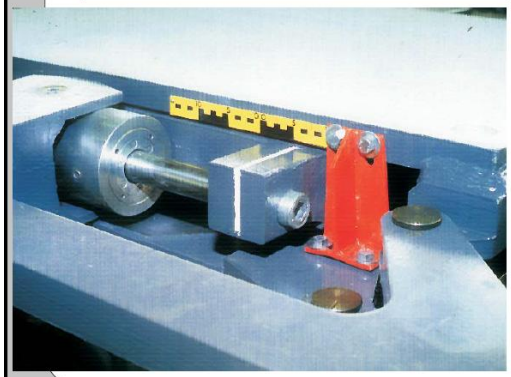
ASSICURAZIONE DELLA QUALITA' - QUALITY ASSURANCE

Alga progetta e produce con **Sistema di Qualità** conforme alle norme **UNI EN ISO 9001**. Sul dispositivo completo (appoggio + dissipatori) si possono eseguire i seguenti test: **Carico Verticale**: Gli appoggi ven- gono sottoposti ad un carico 1.5 volte il carico di progetto. Il diagramma carico-deformazione che viene tracciato non deve evidenziare alcun cedimento.
Movimenti lenti (PNUD): Gli appoggi vengono sottoposti al carico verticale di progettto e viene loro applicata anche una forza orizzontale, sufficiente per ottenere lo spostamento della piastra scorrevole, ad una velocità non superiore a 0.01 mm/s. La reazione, non deve superare del 10% la forza di snervamento Fy dell'appoggio.
Cicli d'isteresi: I test possono essere fatti sui due tipi, nelle due direzioni, longitudinale e trasversale. Per i tipi PNUD, nella direzione longitudinale, gli accoppiatori viscosi verranno bloccati. Agli appoggi, sotto carico verticale di progetto, si applica un carico orizzontale tale da ottenere lo spostamento Su max di progetto.

*Design and production are performed by ALGA in compliance with a **Quality System** according to **UNI EN ISO 9001**. The following tests may be performed on the complete bearings:*
***Vertical load test**: The bearings shall be tested up to 1.5 times the design load.. The load deflection plot shall not show any evidence of distress.*
***Slow motion test** (PNUD types): The bearing shall be loaded up to the vertical design load.*
An horizontal force shall be applied in order to obtain a movement of the sliding plate at a velocity not exceeding 0.01 mm/s. The measured reaction shall not exceed 10% of the design yield force Fy of the bearing.
***Hysteresis cycles**: The tests may be performed for the two types, in longitudinal and transversal direction. For PNUD types tested in longitudinal direction the shock transmission unit shall be blocked. The bearing shall be loaded at the design vertical load. An horizontal load shall be applied in order to obtain a displacement up to the maximum design displacement Su.*



REFERENZE - REFERENCES

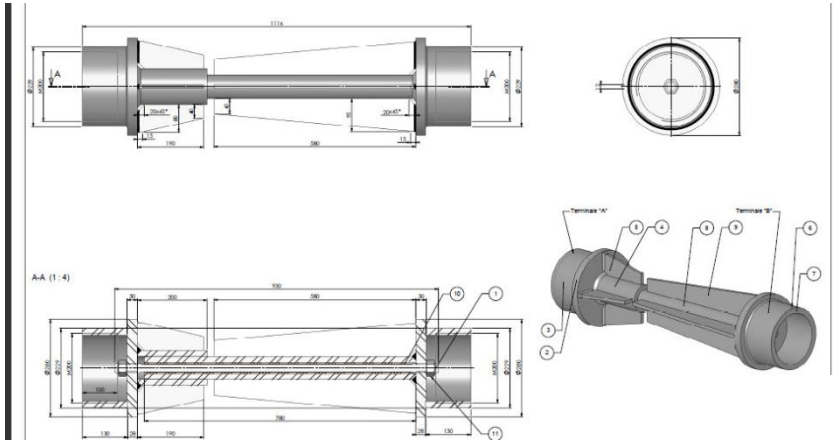


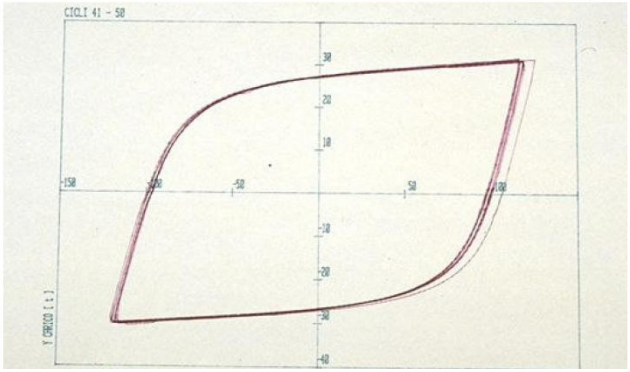
Sopra: Ritegni elastoplastici con lo stesso tipo di dissipatore.
A lato: particolare di un accoppiatore viscoso.

Above: E-shaped hysteretic damper. On side: A shock transmission unit detail.

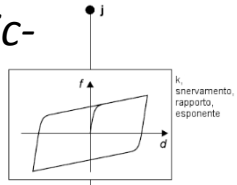
REALIZZAZIONE UFFICIO TECNICO ALGA - STAMPA PRESS POINT AGOSTO 96'

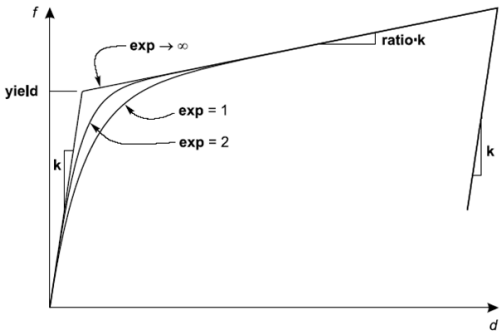
ALTRI ESEMPI DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE AD ISTERESI METALLICA | E-PAD CONTROVENTI AD INSTABILITA' IMPEDITA

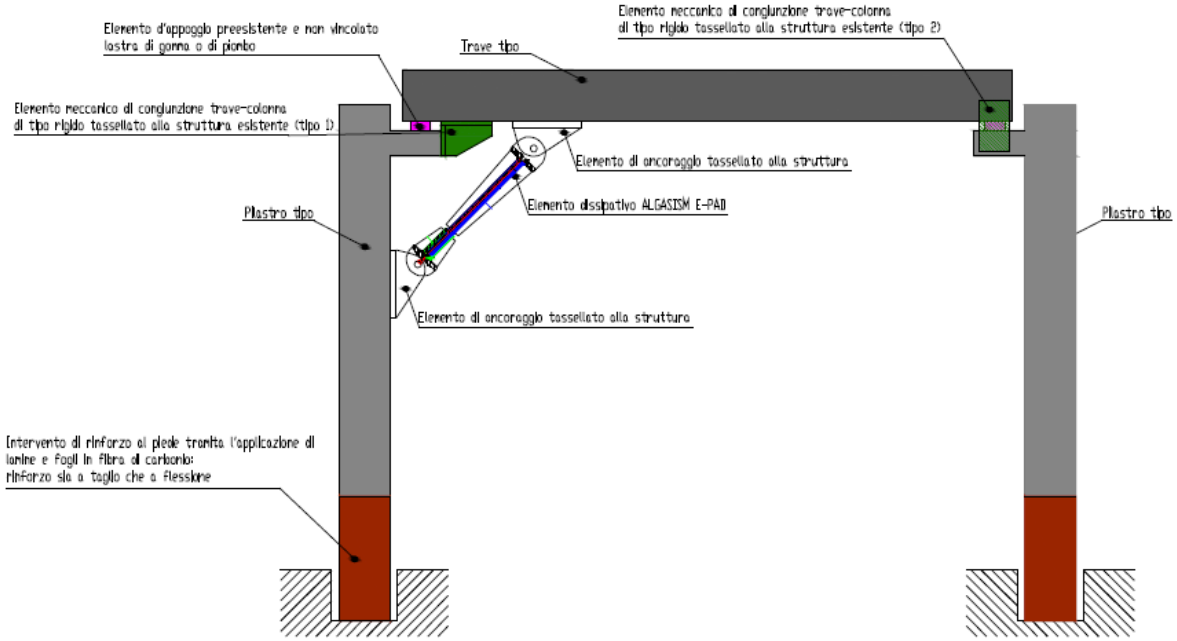




Tre Elementi Plastic-WEN per controvento



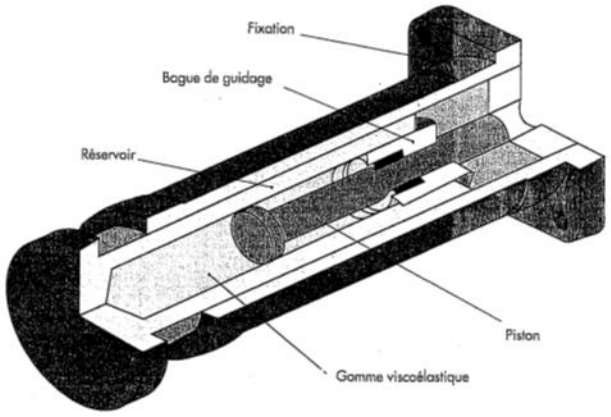




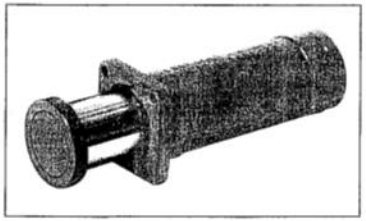
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

DOMANGE – JARRET

AMORTISSEURS DE CHOCS VISCOELASTIQUES
GAMME STANDARD



Au moment d'un choc accidentel ou fonctionnel, l'énergie liée à la masse et à la vitesse doit être emmagasinée. Le rôle d'un amortisseur de choc est d'absorber cette énergie en la transformant pour l'essentiel en chaleur.



L'originalité des amortisseurs JARRET repose sur le principe breveté de la compression de gommes viscoélastiques.

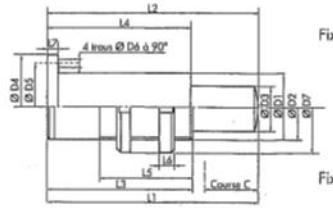
La viscosité (10 à 20 m²/s) et la compressibilité (15 % à 400 MPa) de ces gommes permettent d'associer dans un même appareil les fonctions d'un amortisseur et d'un ressort, supprimant de ce fait tout mécanisme auxiliaire de réarmement.

GAMME STANDARD

La série **BC1** offre des caractéristiques allant de **0,1 kJoule** à **12 kJoules**
La série **BC5** offre des caractéristiques allant de **25 kJoules** à **150 kJoules**
La série **BCLR** offre des caractéristiques allant de **12 kJoules** à **1000 kJoules**

DOMANGE – JARRET réalise toutes adaptations répondant à vos besoins spécifiques.

SERIE BC1



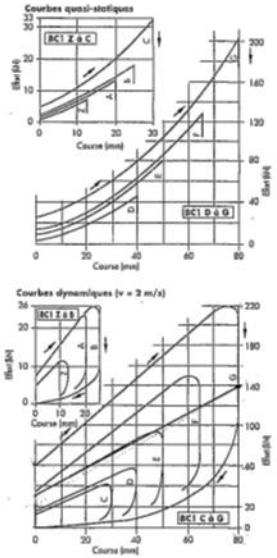
Fixation arrière par bride

Fixation centrale par écrous

Type	Dimensions (mm)																	
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	I7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7				
BC1 - Z	75	78	53	56	30	8	6	25	M 25 x 1,50	18,5	57	41	7	38	0,09	12	12,1	0,3
BC1 - A	110	114	75	79	50	9	8	35	M 35 x 1,50	26	75	55	9	50	0,32	20	24	0,7
BC1 - B	130	136	90	96	60	9	8	40	M 40 x 1,50	29	80	60	9	56	0,43	25	26	1
BC1 - C	158	162	108	112	70	10	8	50	M 50 x 1,50	36	90	70	9	68	0,85	30	42	1,8
BC1 - D	188	188	127	127	90	11	10	60	M 60 x 2,00	44	106	85	11	81	1,50	40	60	3
BC1 - E	214	218	145	149	100	13	10	75	M 75 x 2,00	60	125	100	11	100	3,30	50	90	5
BC1 - F	265	265	183	183	100	16	10	95	M 95 x 2,00	74	150	120	11	120	6,00	65	150	10,5
BC1 - G	337	337	218	218	100	16	14	110	M 110 x 2,00	91	165	140	13	140	12,00	80	220	17

Vitesse d'impact : l'amortisseur de la série BC1 peut être sollicité jusqu'à une vitesse de 5 m/s, au delà, un réglage spécifique doit être effectué

COURBES



DETERMINATION D'UN AMORTISSEUR

- Calculer l'énergie E
- Choisir l'amortisseur correspondant
- Vérifier que la fréquence de choc est inférieure à $\left(20 \times \frac{En}{E}\right)$ chocs/heure.
- Calculer la course effective C_a en mm :

$$Ca = C\left(\sqrt{1{,}67 \times \frac{E}{En} + 0{,}111} - 0{,}33\right)$$

- Rechercher l'effort de réaction maximal Rdy correspondant à la course C_a sur la courbe dynamique.

EXEMPLE D'APPLICATION

DONNEES

- Chocs à amortir sur un seul amortisseur.
- Masse m = 2,5 t.
- Vitesse v = 0,9 m/s.
- Fréquence : 25 chocs/heure.
- Effort maximum sur la structure : 55 kN.

DETERMINATION

- $E = \frac{1}{2} mv^2 = 1{,}0$ kJ.
- Choix du BC1 - D : En = 1,5 kJ ; C = 40 mm ; Rdy_{max} = 60 kN.
- La fréquence maximale est de $20 \times \frac{1{,}5}{1{,}0}$ = 30 chocs/heure donc 25 chocs/heure convient.
- $C_a = 40\left(\sqrt{1{,}67 \times \frac{1{,}0}{1{,}5} + 0{,}111} - 0{,}33\right) = 31$ mm
- A Ca = 31 mm, Rdy = 52 kN qui convient car inférieur à 55 kN.

DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI

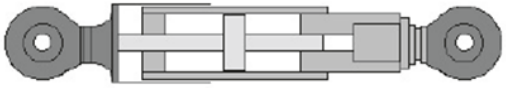
Damper

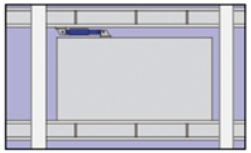
A JARRET STRUCTURES damper is designed to dissipate seismic or dynamic energy on a structure. JARRET STRUCTURES dampers work in tension and compression. The dampers can reduce longitudinal and transverse or vertical displacement of a deck. They can be installed, for example, longitudinally between the deck and the abutment, or in transverse between the deck and the pier structure.

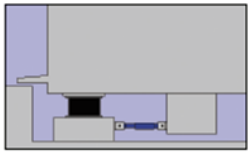
Dampers can be installed at different locations in a building for brace isolation or base isolation systems. Seismic energy is dissipated in the damper unit instead of being dissipated in the concrete or steel structure. JARRET STRUCTURES can accommodate transverse and longitudinal seismic displacement, and at the same time allow longitudinal displacement such as creep shrinkage and thermal expansion or contraction of the structure.

Working Principle

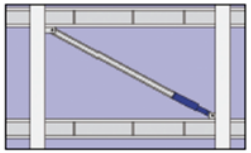
A JARRET STRUCTURES damper works on the principle that rapid passage of viscous fluid through a narrow orifice or port generates high resistance, which then dissipates a large amount of energy as heat.

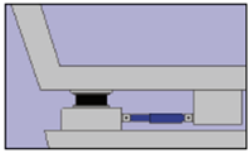




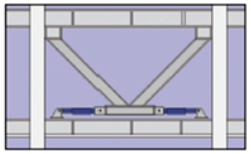


Base isolation for building

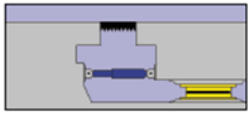




Transverse protection for bridge



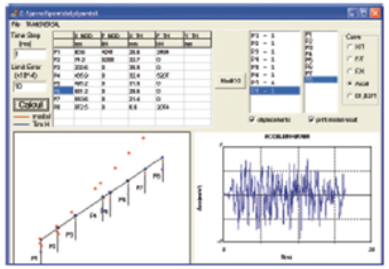
Protection of a building by frame isolation or brace isolation systems



Longitudinal protection for bridge

Selection of Unit

The selection of the appropriate unit must be done by implementing the behavior law of the unit into dynamic analysis software. The behavior law of a JARRET STRUCTURES damper is $F = C.v^{\alpha}$. This is a non-linear behavior law. The value of α can vary from 0.1 to 0.4. A modal analysis will not be possible with a non-linear model. It is necessary to run a time-step analysis. In order to assist its customers, JARRET STRUCTURES is able to run such a pre-sizing analysis in order to determine the most appropriate unit to protect a structure. This preselection will have to be validated afterwards by the designer. In order to do such analysis, JARRET STRUCTURES needs to receive the main geometrical data of the structure and of the ground. The result of the analysis will provide the energy capacity required to protect the structure, and the specifications of the units required. All information such as force induced to the structure and displacement is also provided.



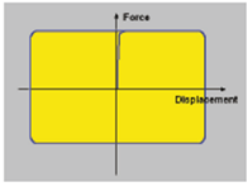
Dimension of Units

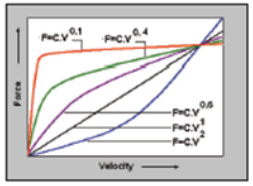
Unit	L (mm)	L1 (mm)	D (mm)	D1 (mm)	Stroke (mm)	RM (KN)
ASR50-100	450	540	60	110	100	50
ASR100-100	490	610	90	110	100	100
ASR150-100	620	740	115	144	100	150
ASR300-100	720	860	155	176	100	300
ASR500-100	800	1000	170	210	100	500
ASR750-100	860	1110	230	280	100	750
ASR1000-100	930	1200	250	340	100	1000
ASR1250-100	1000	1300	280	340	100	1250
ASR1500-100	1050	1350	310	340	100	1500
ASR2000-100	1150	1470	430	360	100	2000
ASR2500-100	1250	1660	440	460	100	2500
ASR3000-100	1350	1760	450	460	100	3000

L = total length , at mid stroke, for S = 100 mm or +/-50 mm
For S <or> 100 mm, L = L +2.5(S - 100) All dimensions are subject to modification.

Performance

The graphs to the right show the performance generated by a damper during a dynamic event at 0.2 m/second velocity. The value of the velocity exponent of a JARRET STRUCTURES damper can vary from 0.1 to 0.4. As a result, significant damping force levels are achieved at much lower velocity values, while at the same time limiting the amount of force increase at higher velocities.





Temperature and Aging

A variation of the outside temperature, which can range from -55°C to + 80°C, does not change the amount of energy dissipated per cycle. There is no aging of the silicone fluid. The JARRET STRUCTURES units have been tested in very severe environmental conditions, including fire.

Installation

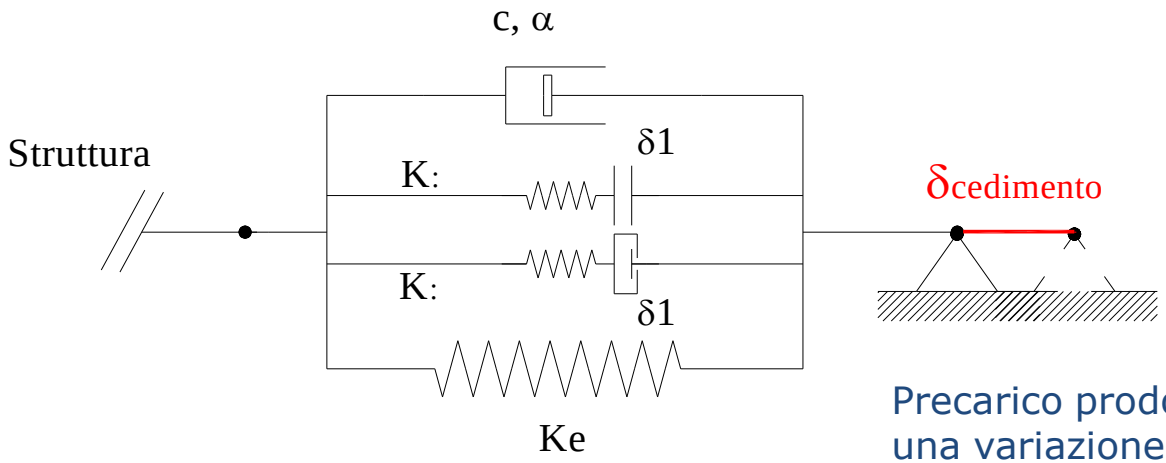
A damper can be installed easily with standard anchors. An installation manual is provided.

Maintenance

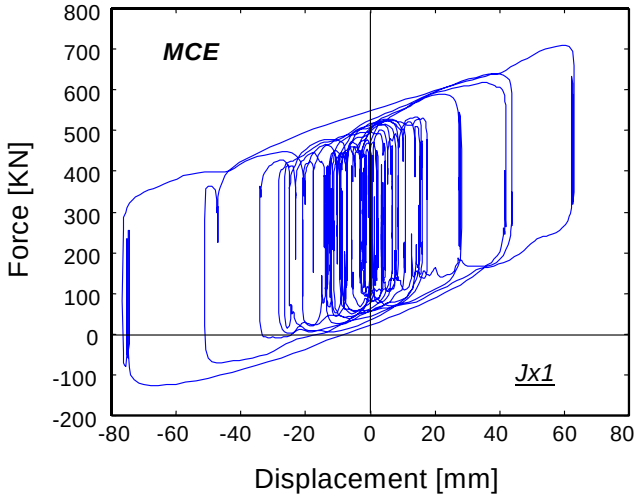
JARRET STRUCTURES dampers are maintenance free. A regular visual inspection can be done on a periodic basis in order to check the corrosion protection system.

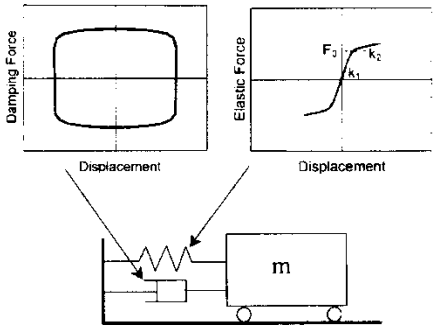
csi Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

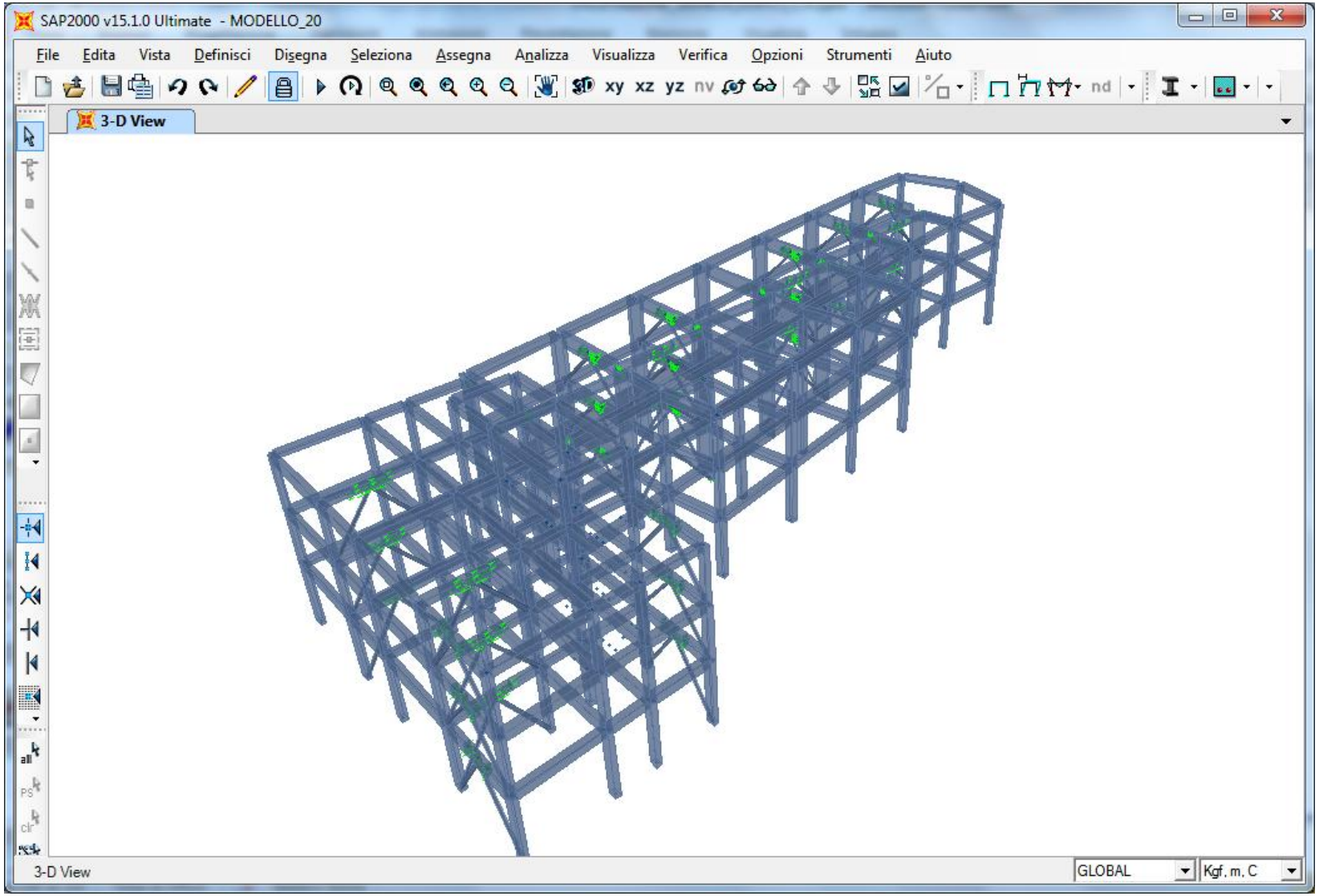


Precarico prodotto da una variazione termica, o da un cedimento impresso del vincolo a terra.

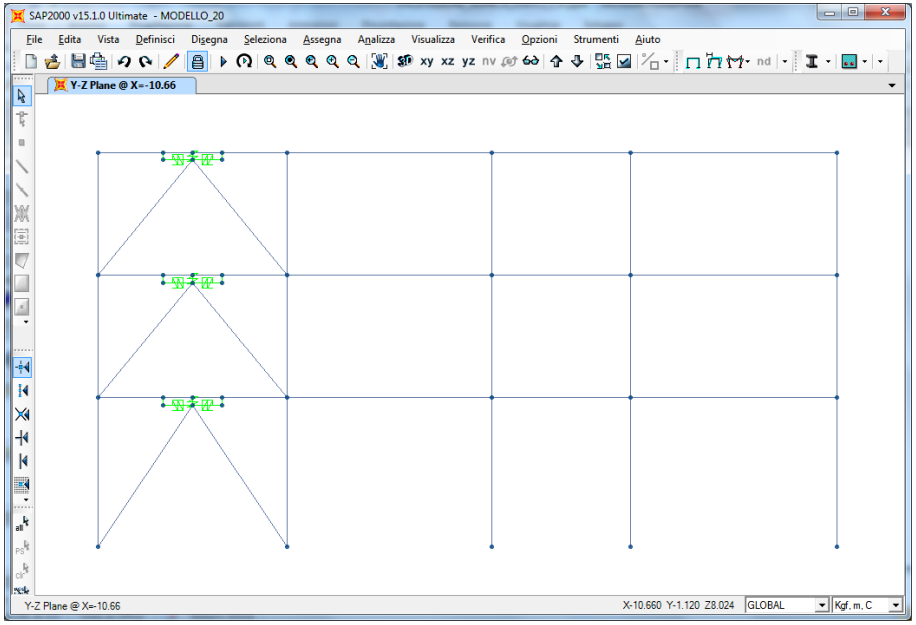


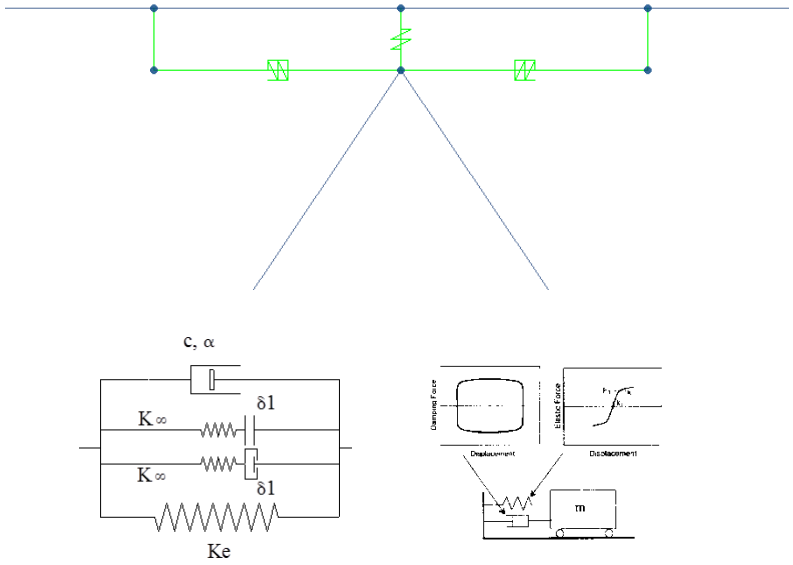


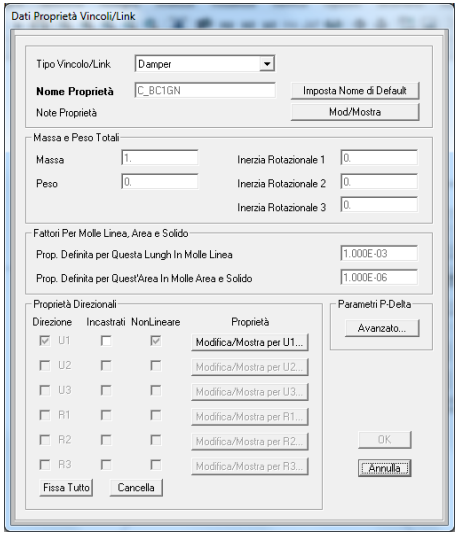
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

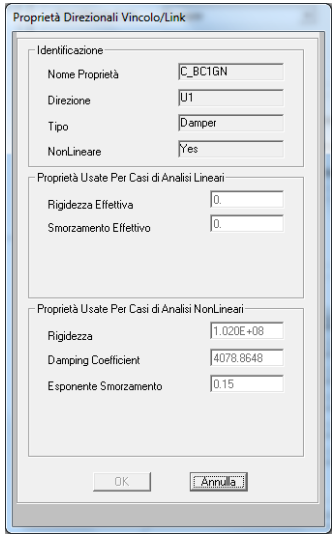


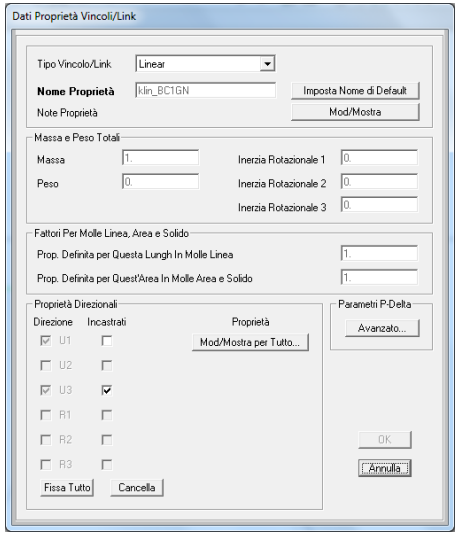
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI

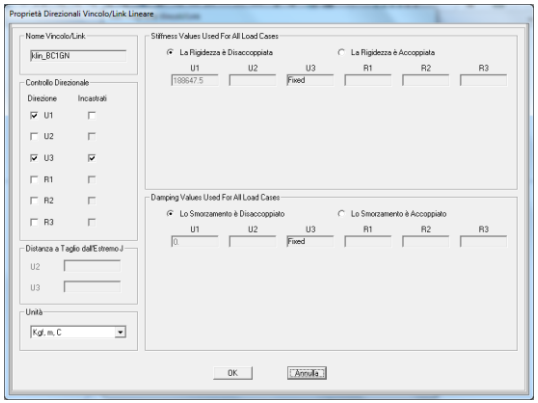




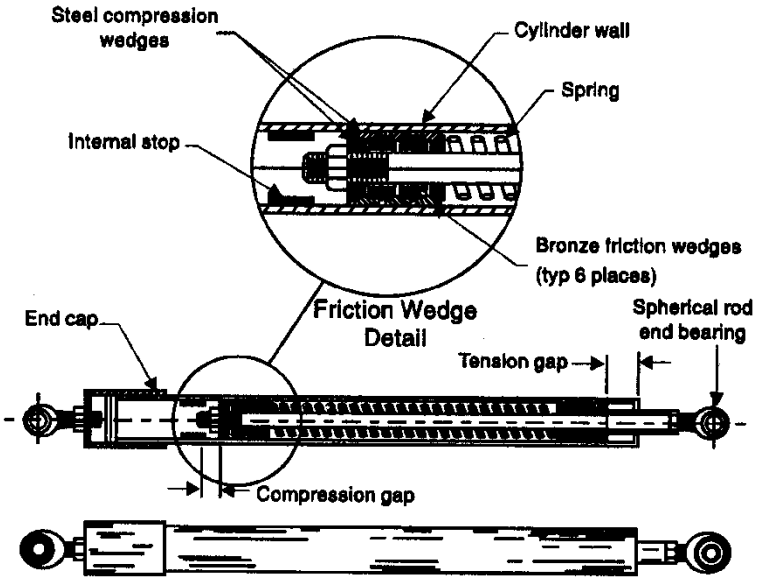




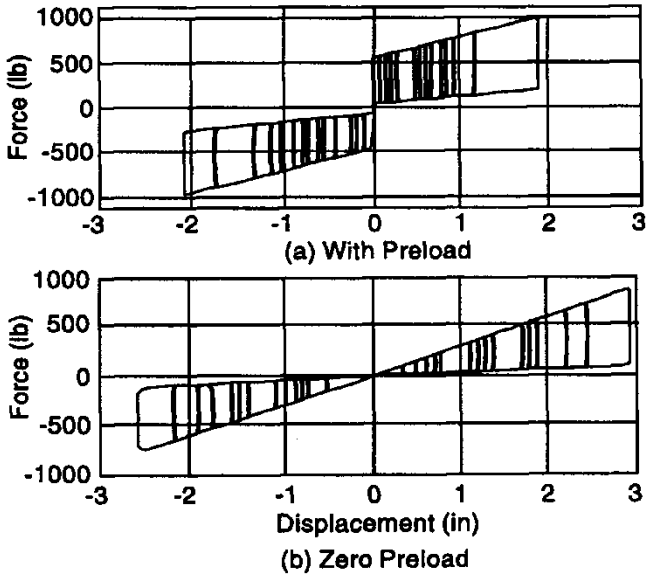




DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

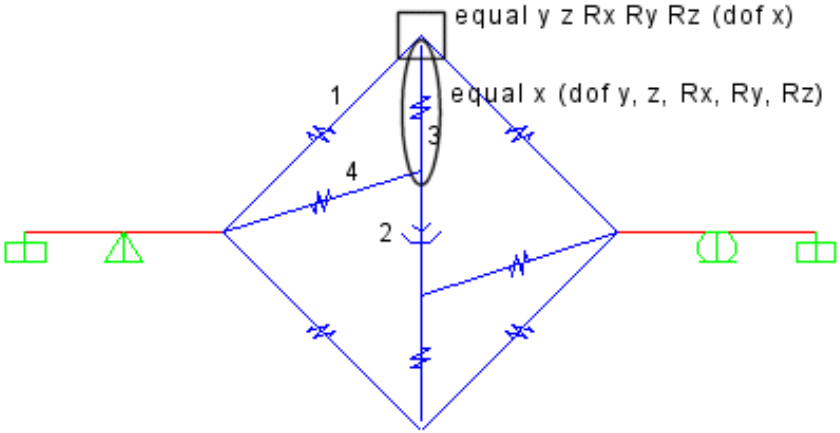


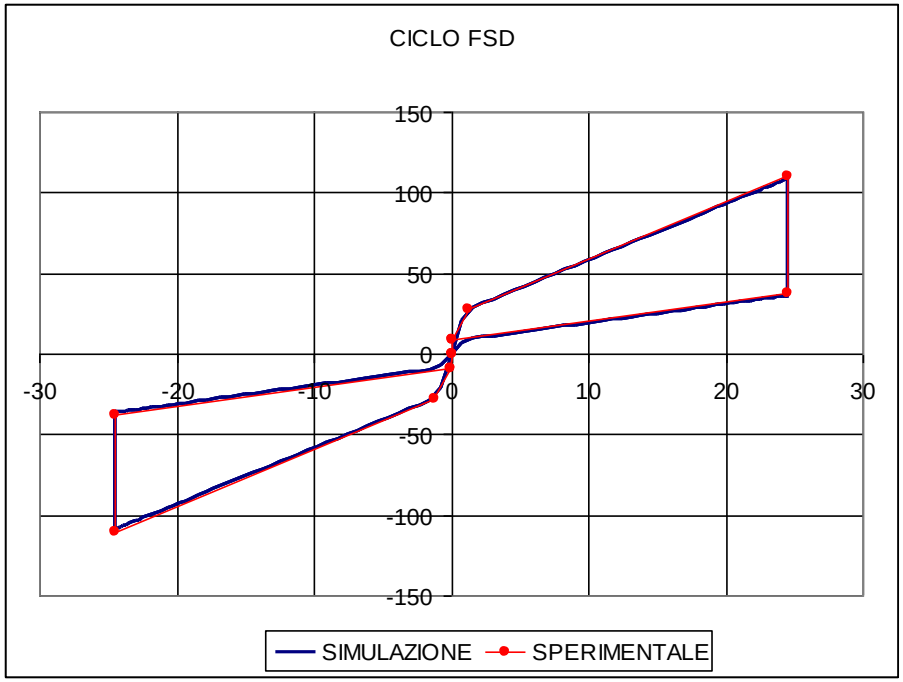
Di seguito verrà fatto riferimento ai cicli sperimentali ottenuti su un "Friction Spring Seismic Damper" riportati in "Performance Evaluation of Friction Spring Seismic Damper" di A. Filiatrault, R Tremblay, R. Kar



Filiatrault, A., Tremblay, R., Kar,R.(2000).
Performance Evaluation of Friction Spring Seismic Damper, Journal of Structural Engineering, Aprile 2000, n°491.

DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

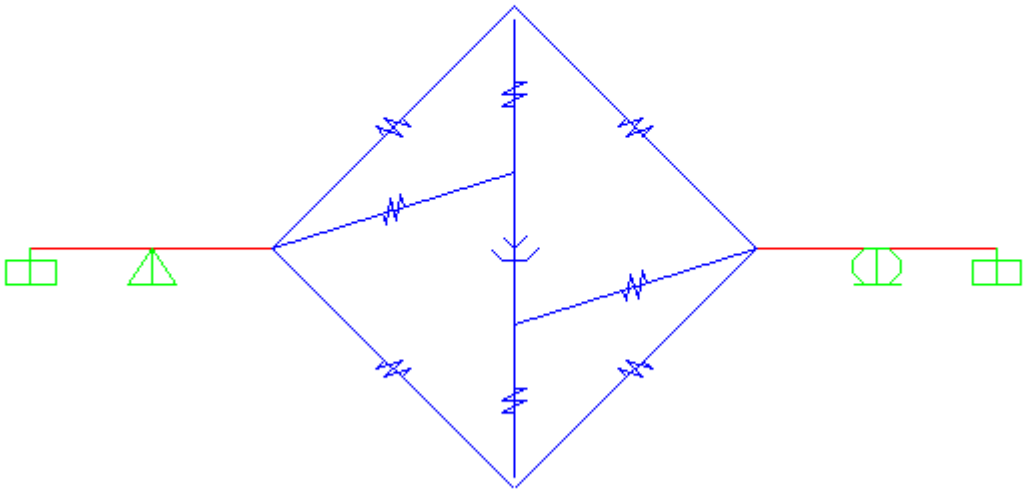


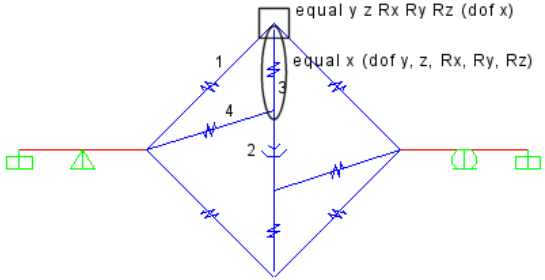


- 1: biella infinitamente rigida assialmente (inclinata a 45°)
- 2: elemento ad attrito - T/C
  - coefficiente slow: 0.5
  - coefficiente fast: 0.01
  - coefficiente r: 0 (indip. v)
  - superficie di scorrimento per l'effetto pendolare: piana
- 3: elemento multilineare con legge bilatera
- 4: beam infinitamente rigida

DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

SAP2000 Filename: sdof.sdb Deformed Shape Case: fna2hz Time 0.





Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE – NUOVA MODELLAZIONE FEM

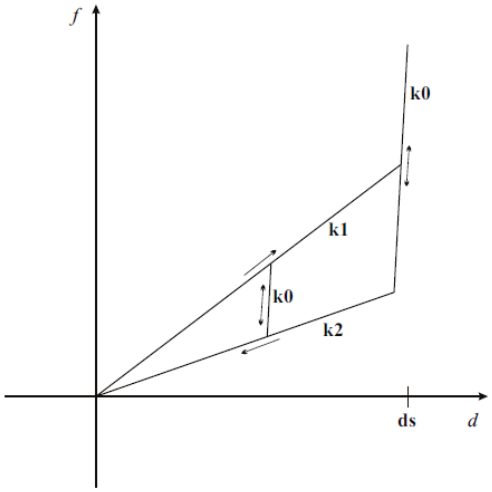
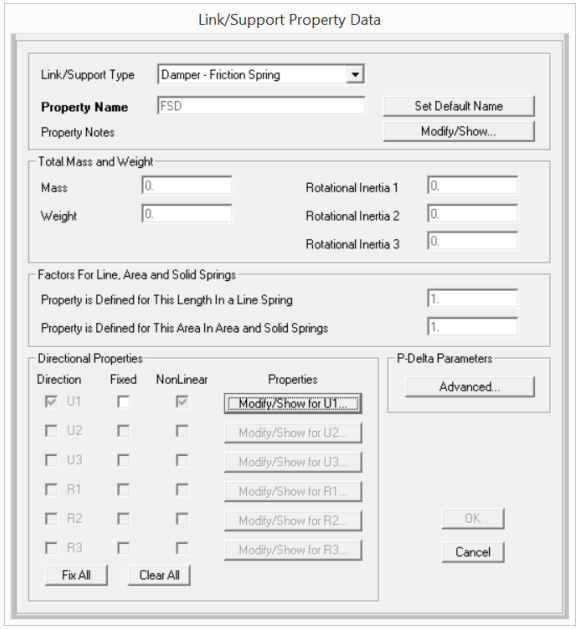
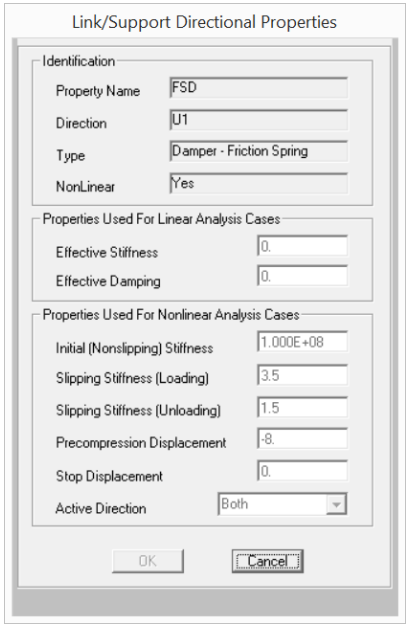
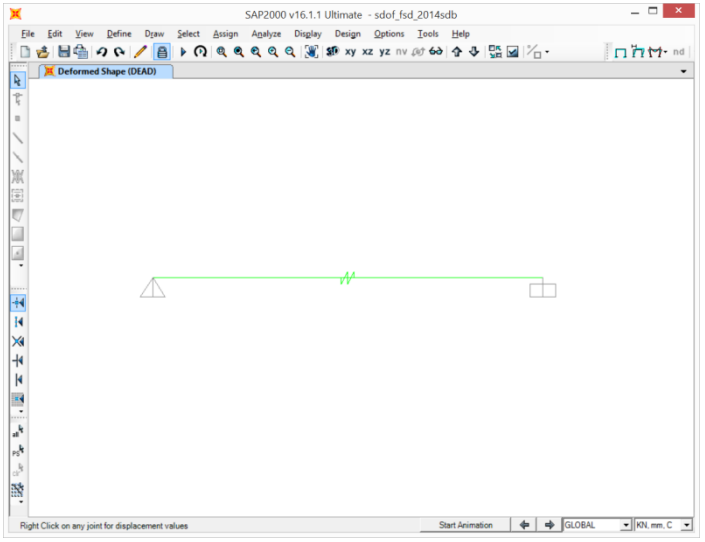
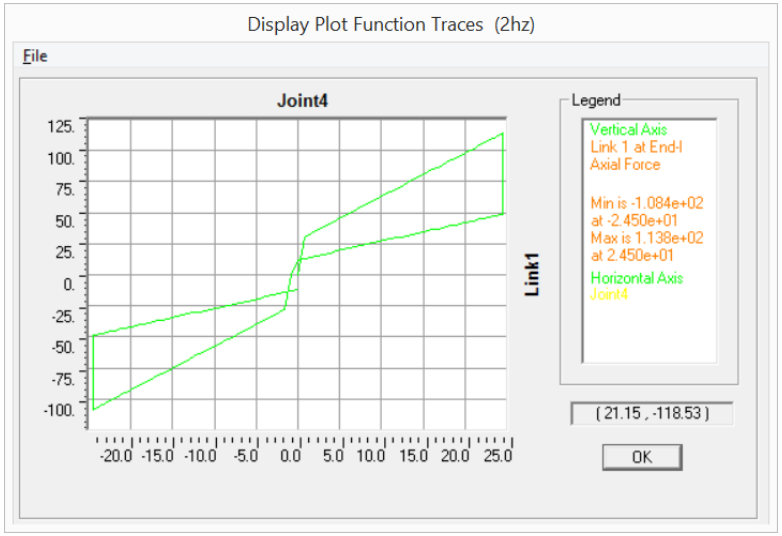


Figure 57
Force-Deformation Behavior of a Friction-Spring Damper in Tension with Stop Displacement but No Precompression

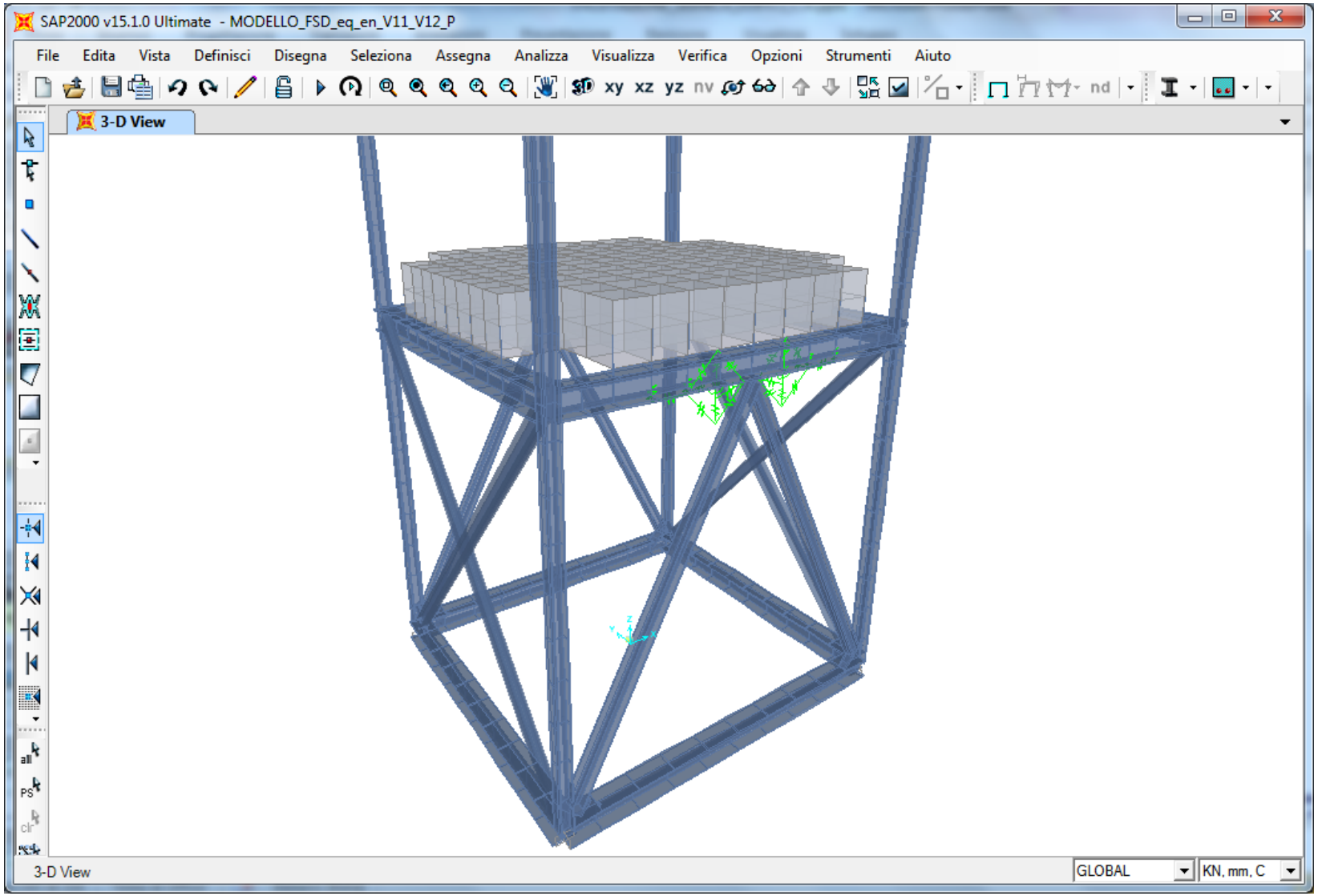




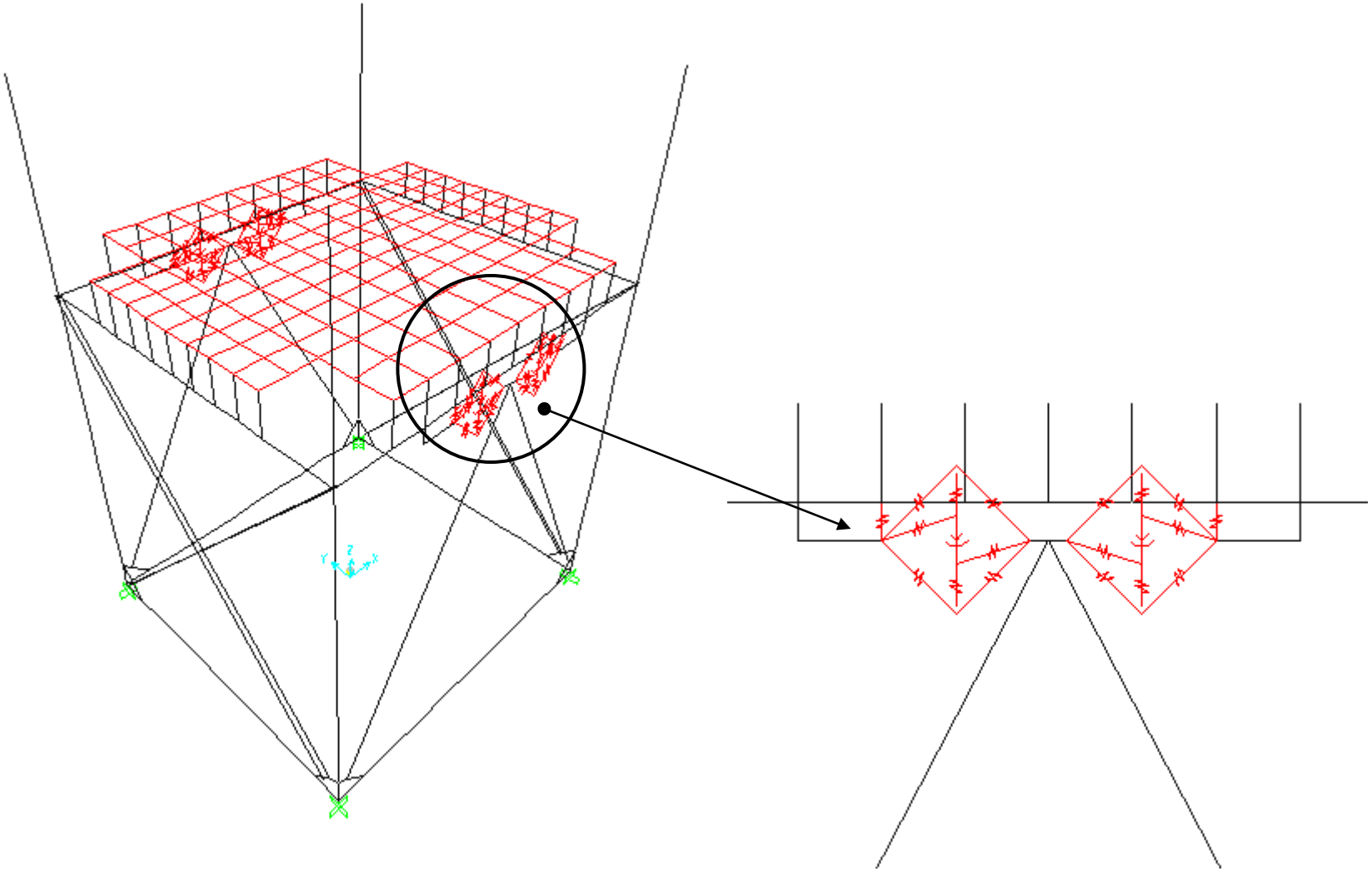




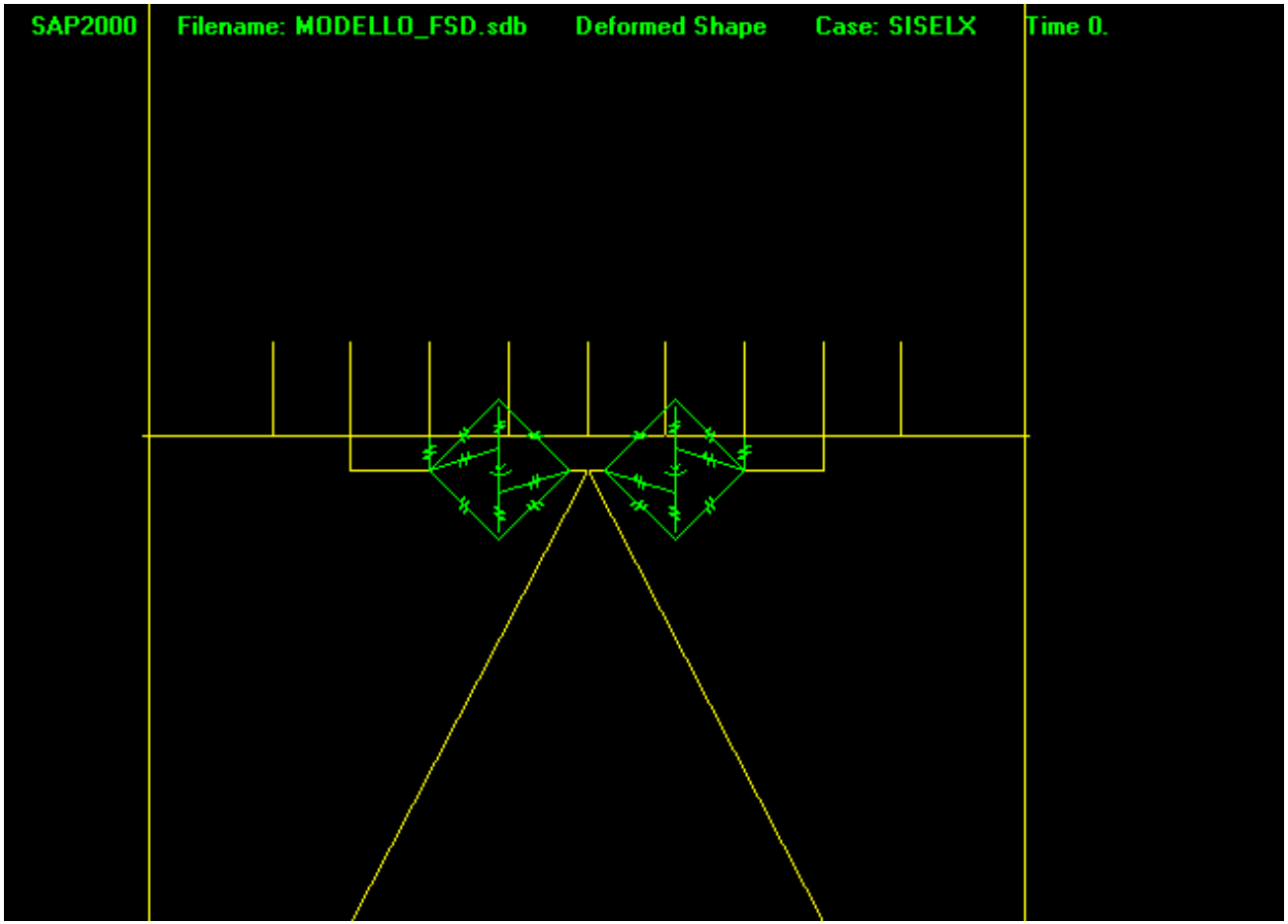
DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

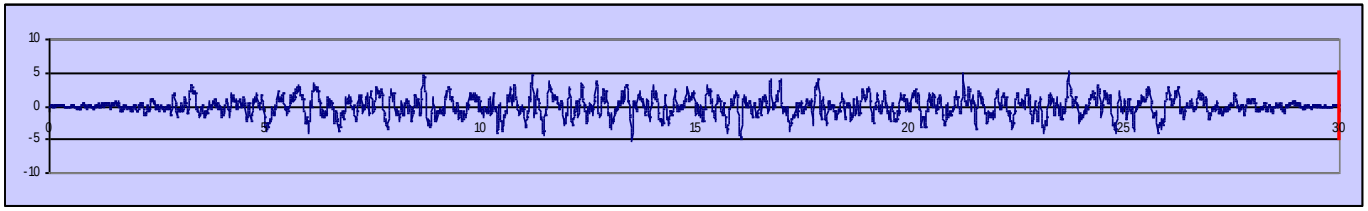


DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE



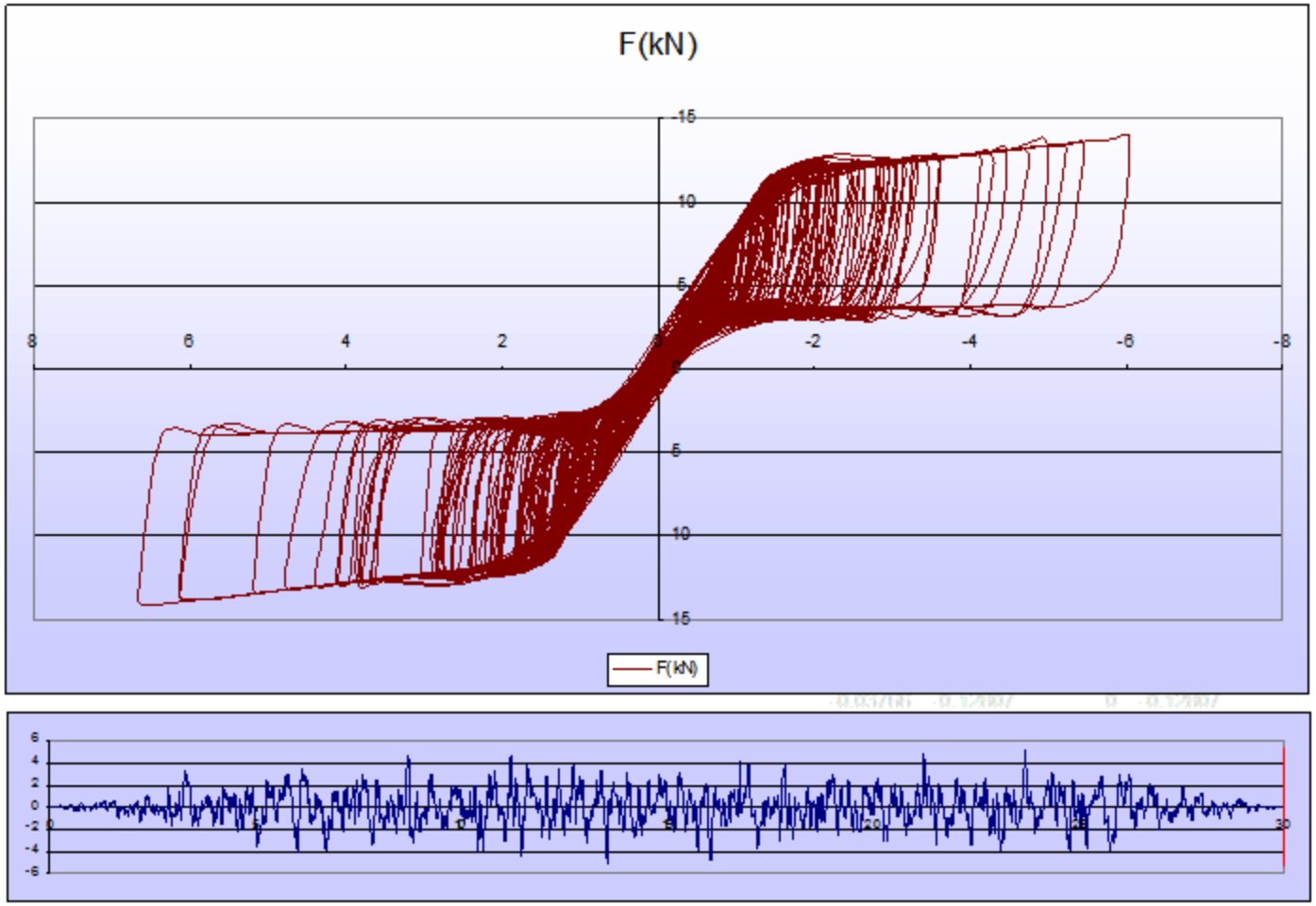
DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE



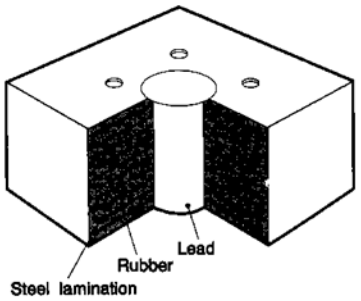


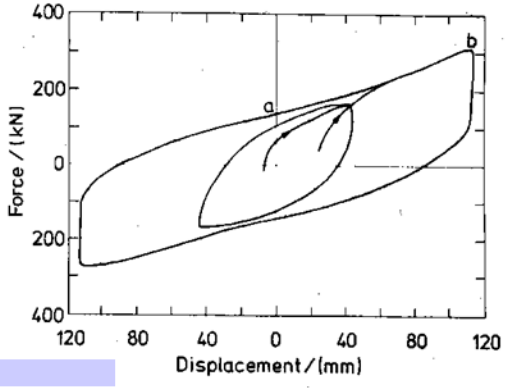
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

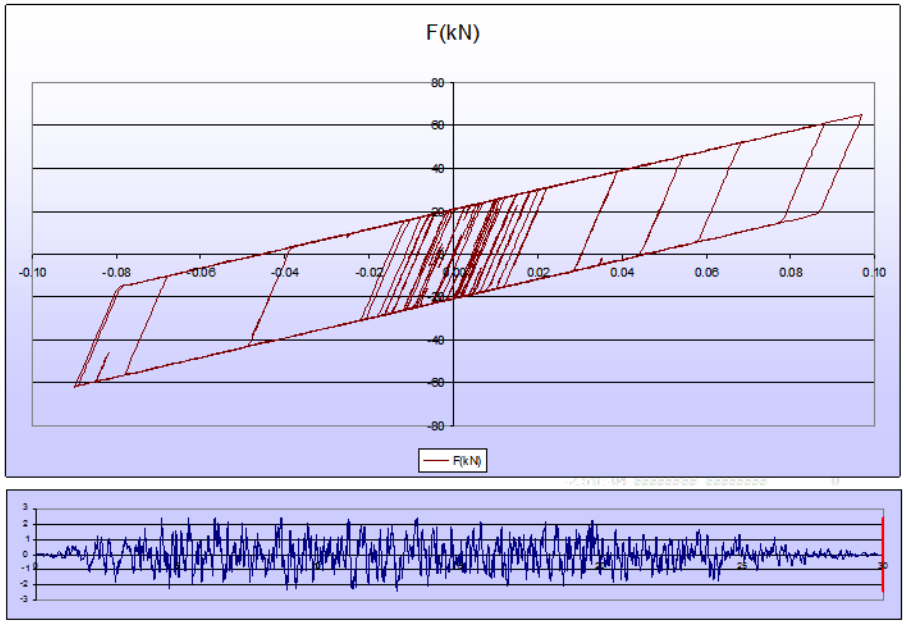


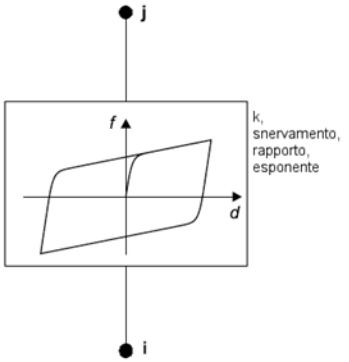
DISPOSITIVO ELASTOMERICO CON NUCLEO IN PIOMBO





Elemento Plastic-WEN





K1 = 4555 N/mm
K2 = 455.5 N/mm
Fy = 23100 N
Exp = 20

CASI STUDIO

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

PROGETTO ESECUTIVO

STUDIO ING. GILBERTO DI FLORIO

CONSULENTI PER L'ADEGUAMENTO SISMICO

STUDIO BRUNETTA BANDINI CENTA

Azione di progetto prevista:

•Nodi del reticolo geofisico intorno al sito: 27428, 27429, 27650, 27651
•Coordinate ISTAT del Comune: Long. 14°.2911 Lat. 42°.1156
•Vita nominale della costruzione, **VN = 50 anni**
•Coefficiente d'uso della costruzione, **CV = 2**
•Periodo di riferimento per la costruzione, **VR = 100 anni**
•Tempo di ritorno associato all'evento di stato limite ultimo di salvataggio delle vite, **TR[SLV] = 949 anni**, corrispondente ad una percentuale di superamento dell'evento del
10% in TR, ovvero 10% in 100 anni
•Tempo di ritorno associato all'evento di stato limite ultimo di collasso, **TR[SLC] = 1950** anni corrispondente ad una percentuale di superamento dell'evento del
5% in TR, ovvero 5% in 100 anni
•Categoria di sottosuolo: B
•Categoria topografica: T1

Domanda corrispondente ad una accelerazione di picco al suolo, **PGA=0.247g**
Stima del rapporto Capacità/Domanda dello stato di fatto: **C/D=30%**
Raggiungimento della **Capacità** dello stato di fatto, **PGA=0.074g**
Tale azione corrisponde ad una **frequenza annuale di superamento di 0.0139** (50° percentile), ovvero ad una **probabilità di eccedenza del 50% in 50 anni** corrispondente ad un **periodo di ritorno Tr = 72 anni.**

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

ADEGUAMENTO SISMICO

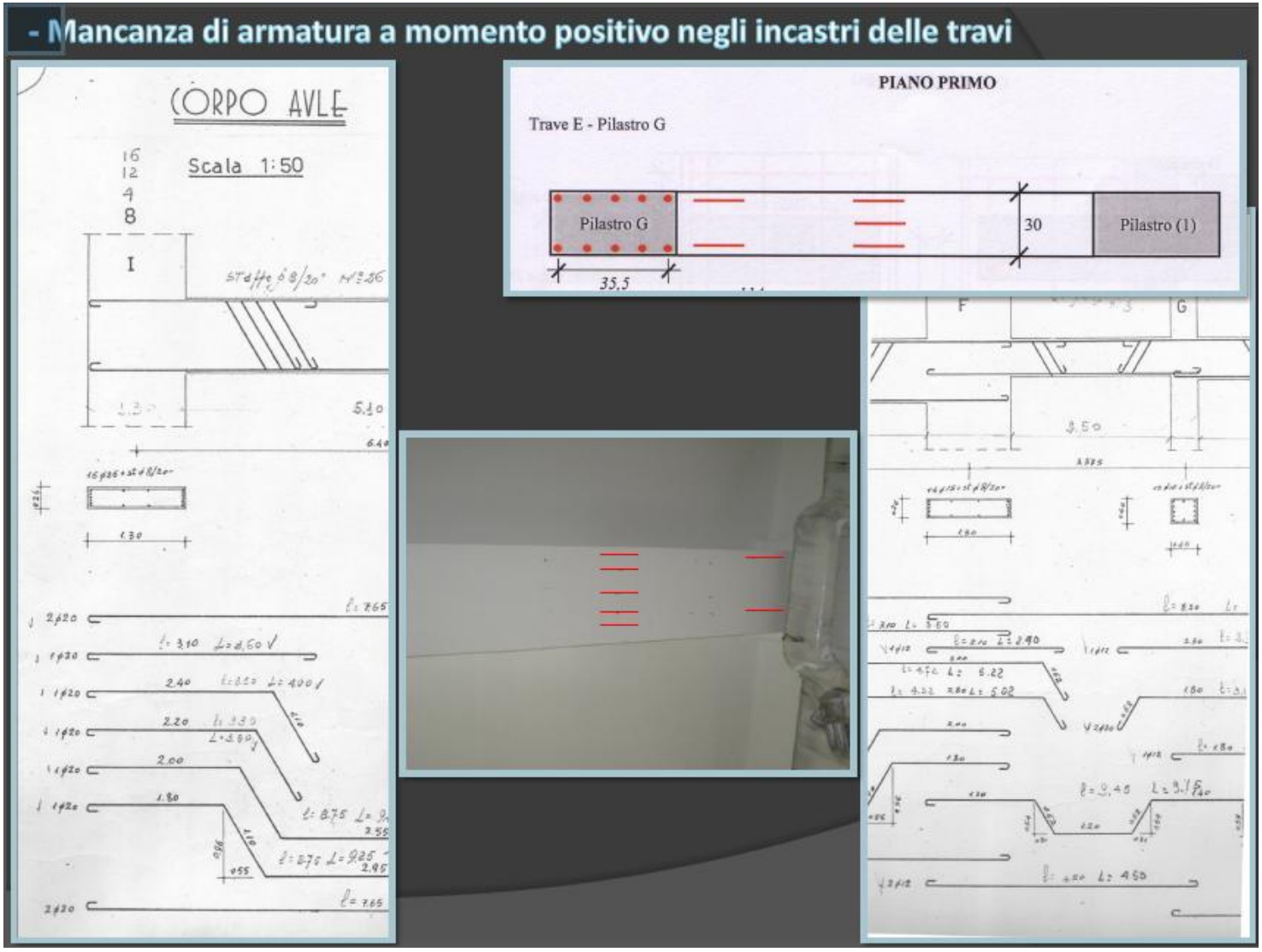
Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH

- Mancanza di armatura a momento positivo negli incastri delle travi



Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ADEGUAMENTO SISMICO

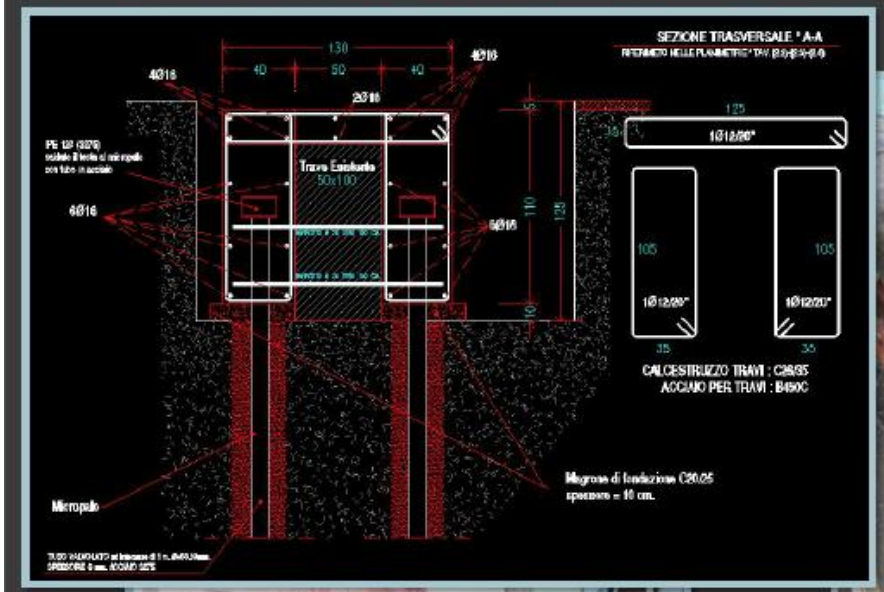
Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

CSI Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ADEGUAMENTO SISMICO

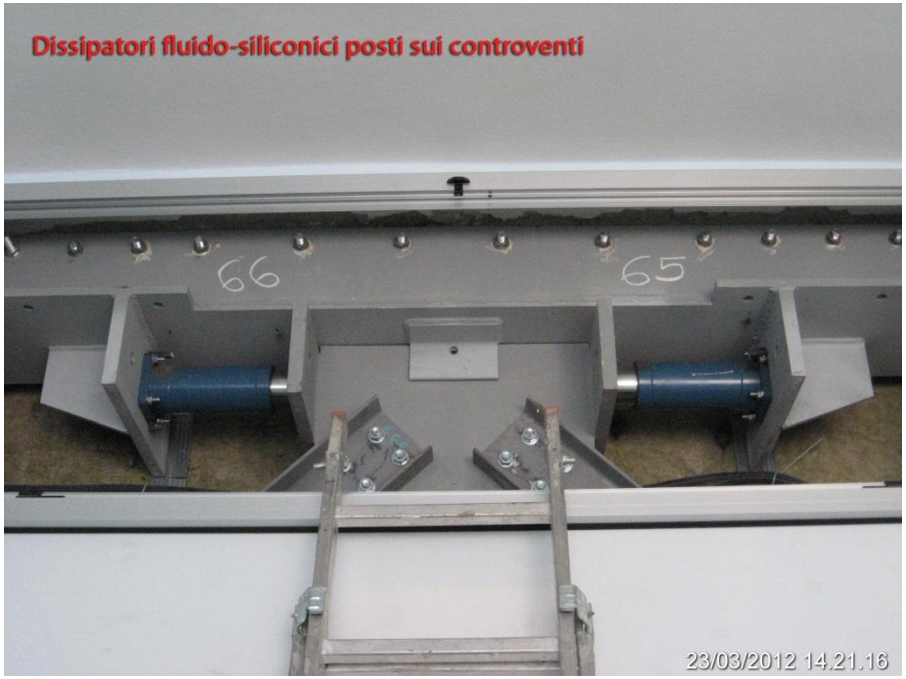
Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH

- AMPLIAMENTO SEZIONI DEL RETICOLO DI FONDAZIONE MEDIANTE RINGROSSI A FORMA DI “C” ROVESCIA CON CALCESTRUZZO C28/35 E ARMATURE B450C



ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH



Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

CSI Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata
Laboratorio Prove Materiali e Strutture
www.unibas.it/utenti/... - e-mail: laboratorio@unibas.it – fax +39 0971 205273 – tel. +39 0971 205279-80
Via dell'Ateneo Lucano n.10 – 85100 Potenza - P.IVA 00948960760

DA ASSOGGETTARSI A BOLLO
IN CASO D'USO,
AI SENSI DEL D.P.R. 642/72.

Potenza 28.01.2010
Certificato n. 558/2009
Pratica n. 71-09 del 04-12-2009

Prot. N. /Prot. N. 30/10-L.S.

CERTIFICATO PROVE DI QUALIFICAZIONE ED ACCETTAZIONE RELATIVO A

Dispositivo Siliconico Fluido Viscoso a Compressione Idrostatica di Elastomeri con Precarico Iniziale ad Effetto Molla Ammortizzata, a Ritorno Automatico

RICHIEDENTE:	Comune di CASOLI – Via Frentana – 66043 Casoli (CH) Il responsabile del 3° Settore del Comune di CASOLI, Arch. Ivan Colocrese
RICHIESTA:	N°. 71/09 del 04-12-2009 Ns. Prot. N° 325/09 L.S. del 04-12-09 Dispositivo ricevuto in Laboratorio in data 09-12-2009
PRATICA:	N° 71/09 del 04-12-2009
DISPOSITIVO:	Dispositivo dissipativo fluidodinamico tipo: **Jarret BC5B-130**
SPECIFICHE DI PROVA:	Prove di qualificazione ed accettazione ai sensi delle NTC08 11.9.6
IDENTIFICATIVO/	Dispositivo numero seriale **19196006**
LAVORO:	Adeguamento strutturale della scuola secondaria di primo grado "G. De Petra" in Casoli (CH) edificio scolastico nella provincia di Chieti
DIRETTORE DEI LAVORI:	Ing. Gilberto Di Florio (Iscritto Albo Ingegneri di Chieti al n°204)

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata
Laboratorio Prove Materiali e Strutture
Via dell'Ateneo Lucano n.10 – 85100 Potenza - P.IVA 00948960760

Caratteristiche del dispositivo soggetto a prova e parametri di progetto

Le prove sono state effettuate su un dispositivo fluido siliconico a compressione idrostatica di elastomeri con precarico iniziale ad effetto molla ammortizzata, classificabile nella categoria dei *"dispositivi a comportamento viscoso"* secondo le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
Le caratteristiche meccaniche e prestazionali dichiarate del dispositivo sono le seguenti:
- quantità di energia dissipata (50 KJ), velocità relativa d'ingresso (2 m/s), velocità massima d'ingresso (4 m/s) e corsa massima (130 mm).
- precarico iniziale prima dell'entrata in servizio prodotto dal montaggio a metà corsa (256 KN).
- valore dell'esponente frazionario per il calcolo della velocità dipendente dal fluido interno al dispositivo fissato pari a $\alpha = 0.15$.
- ricentraggio del dispositivo, senza l'ausilio di attrezzi esterni, nella sua condizione iniziale riportando la struttura alla posizione di servizio dopo l'azione sismica.
- forza massima del dispositivo sotto azione dinamica (Rdymax = 540 kN)
- rigidezza elastica di primo ramo stimata (k1 = 26400 N/mm)
- rigidezza elastica di secondo ramo stimata (k2 = 1760 N/mm)
- coefficiente di smorzamento stimato (C = 175 kN(s/m)α ÷ 187 kN(s/m)α)

La presenza del precarico determina automaticamente il ritorno ammortizzato del pistone interno nella posizione iniziale al termine dell'azione.
Il dispositivo di cui al presente certificato riporta sul cilindro la seguente sigla di identificazione: SN19196006 ed è giunto in laboratorio con una deformazione iniziale nulla.

I parametri di progetto, comunicati dal committente, relativi allo Stato Limite di Collasso e per i quali sono state condotte le prove di qualificazione ed accettazione, sono i seguenti:

- Spostamento massimo : d_2=±35mm
- Velocità di spostamento: V_d=281mm/sec
- Spostamento di precarico: S_p= 65mm

Apparato di prova utilizzato per le prove di qualificazione ed accettazione

L'apparato di prova mostrato in Figura 1 è formato da una struttura metallica rigida di contrasto, fissata alla piastra di base del laboratorio tramite dei tirafondi che ne impediscono lo scorrimento e da un sistema dinamico MTS costituito da una centralina idraulica da 1800 l/min e da un martinetto dinamico da 500 kN e 500 mm di corsa, vincolato alla parete di reazione in c.a. per l'applicazione dell'azione assiale sul dispositivo.
Tra la piastra di testata del martinetto e la struttura metallica di contrasto viene inserito il dispositivo da testare. Quest'ultimo viene ancorato ad un'estremità alla struttura di contrasto metallica, mediante bullonatura, mentre lo stelo presente all'estremità opposta viene semplicemente posto a contatto con la piastra di testata del martinetto. L'adozione di un tale apparato di prova è legata alla necessità di riprodurre le prestazioni richieste secondo le modalità di prova di norma.

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata
Laboratorio Prove Materiali e Strutture
www.unibas.it/stlab - e-mail: labstrutture@unibas.it – fax.+39 0971 205273 – tel. +39 0971 205279-80
Via dell'Ateneo Lucano n.10 – 85100 Potenza - P.IVA 00948960760

Le grandezze di interesse vengono rilevate attraverso la cella di carico MTS da 500 KN (impostata per un range di lavoro di 500KN), direttamente collegata al martinetto, ed il trasduttore di spostamento (LVDT) del martinetto MTS, per quanto riguarda lo spostamento assiale. Inoltre, sul dispositivo è posizionato anche un trasduttore potenziometrico di spostamento con corsa pari a ±100mm che misura direttamente lo spostamento dello stelo del dispositivo.

I dati vengono acquisiti dalla centralina MTS a 64 canali. Il sistema di attuazione del moto opera in controllo di spostamento, in cui lo spostamento controllato è quello relativo al trasduttore interno del martinetto avente corsa massima di ±250 mm.

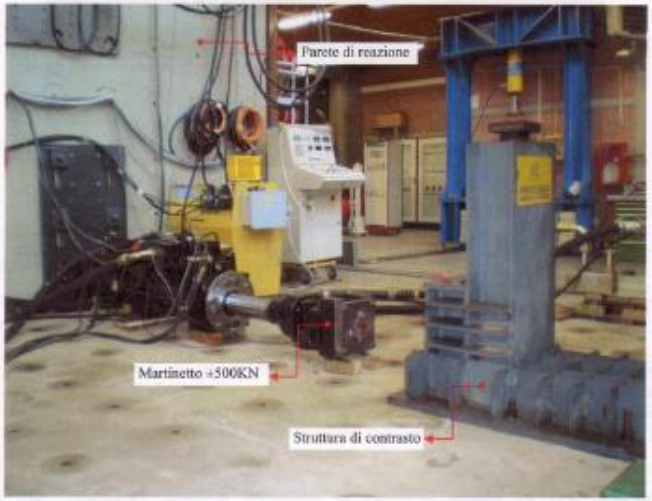


Figura 1 – Apparato di prova presente presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture, Potenza.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata
Laboratorio Prove Materiali e Strutture
www.unibas.it/stlab - e-mail: labstrutture@unibas.it – fax.+39 0971 205273 – tel. +39 0971 205279-80
Via dell'Ateneo Lucano n.10 – 85100 Potenza - P.IVA 00948960760

Figura 2 – Strumentazione del dispositivo JARRET BC5B SN19196006.

Modalità di esecuzione delle prove

Le prove di ***qualificazione*** sui dispositivi sono state svolte in due fasi, ai sensi delle NTC08, paragrafo 11.9.6.2, secondo la seguente procedura:

- *prova "preliminare", finalizzata alla verifica dei parametri caratterizzanti il comportamento del dispositivo, condotta imponendo al prototipo almeno 4 cicli completi di deformazione alternate con rampe a velocità costante ed ampiezza massima riferita al prototipo reale non inferiore a ±0.5 d_2, per almeno 5 diversi valori della velocità di spostamento, pari al 25%, 50%, 75%, 100%, 125% del valore di progetto;*
- *prova "dinamica", condotta imponendo al prototipo almeno 10 cicli completi di deformazione alternate, con ampiezza massima riferita al prototipo reale pari a ±d_2, eventualmente effettuati in due serie di 5 o più cicli consecutivi, applicando le deformazioni imposte con una velocità media pari a quella che si può verificare nel caso del terremoto di progetto relativo allo stato limite di collasso ed assimilabile, in mancanza di specifiche valutazioni, e per i soli dispositivi facenti parte di sistemi di isolamento sismico, a quella corrispondente ad una frequenza di 0.5 Hz per ogni ciclo completo di ampiezza massima ±d_2.*

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata
Laboratorio Prove Materiali e Strutture
Via dell'Ateneo Lucano n.10 – 85100 Potenza – P.IVA 00948960760

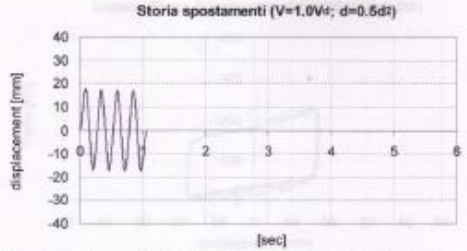


Figura 4 – Prova preliminare 100%V_d : Storia degli spostamenti a velocità costante – quattro cicli.

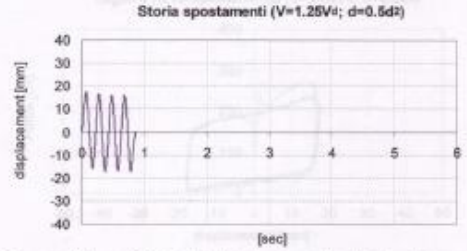


Figura 5 – Prova preliminare 125%V_d : Storia degli spostamenti a velocità costante – quattro cicli.

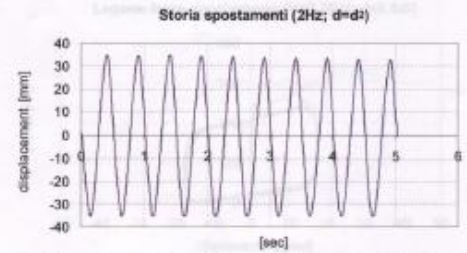


Figura 6 – Prova dinamica: Storia degli spostamenti sinusoidale a 2Hz – dieci cicli.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata
Laboratorio Prove Materiali e Strutture
Via dell'Ateneo Lucano n.10 – 85100 Potenza – P.IVA 00948960760

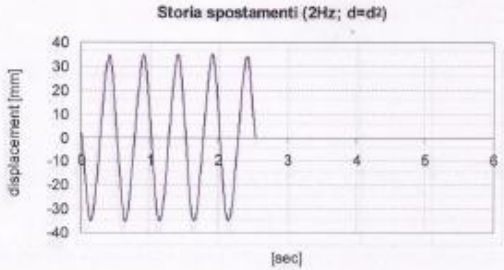


Figura 1 – 1° Prova dinamica: Storia degli spostamenti sinusoidale a 2Hz – cinque cicli.

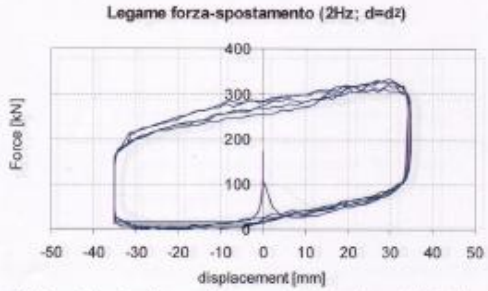
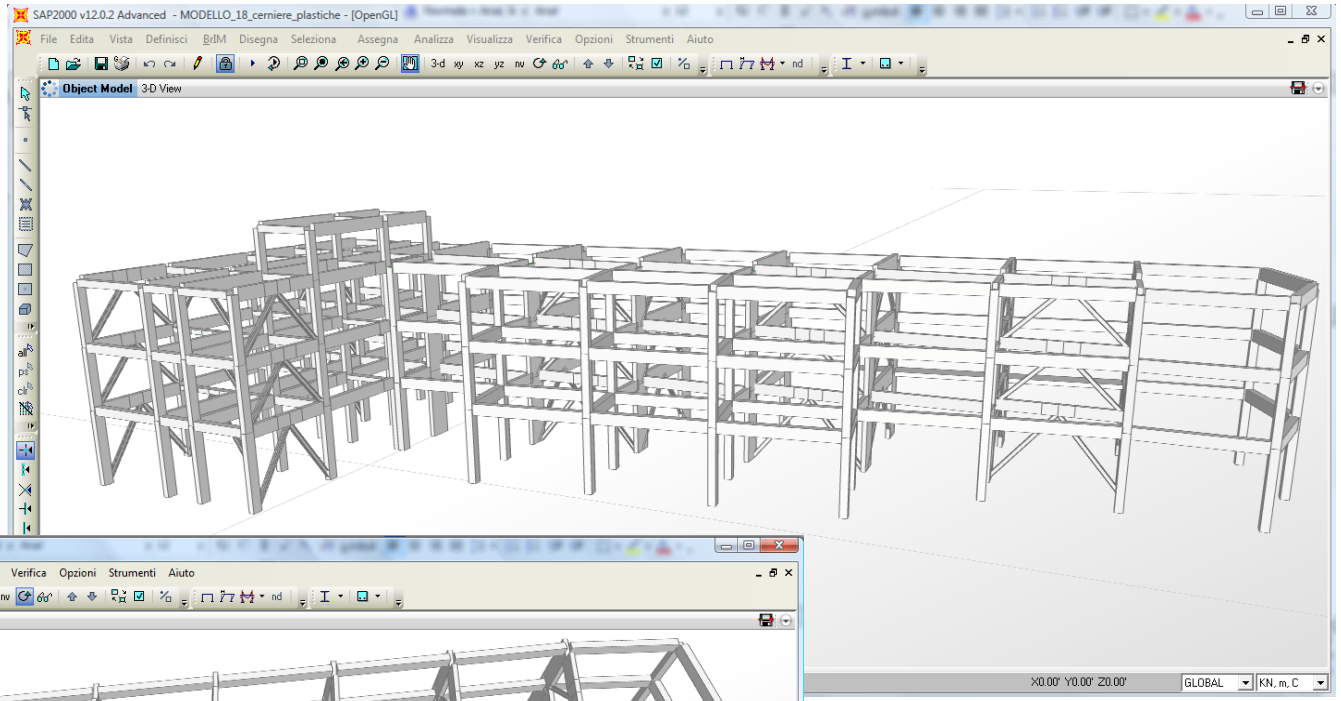
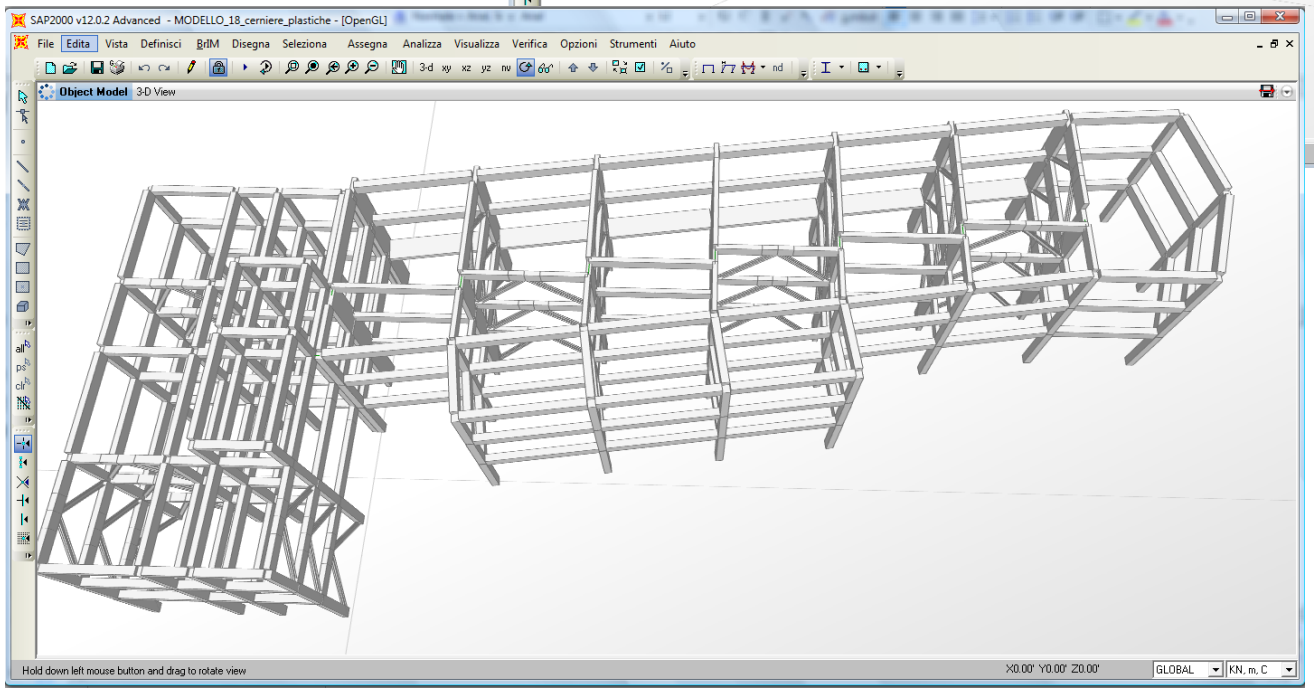


Figura 2 – 1° Prova dinamica : Legame forza-spostamento – cinque cicli alla frequenza 2Hz.

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" Casoli – CH

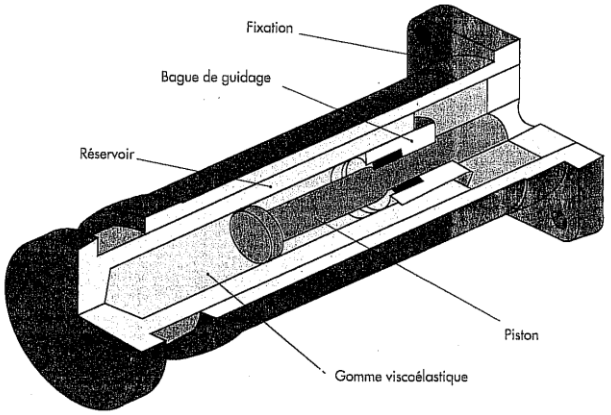




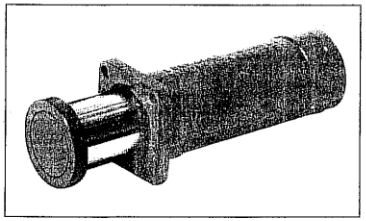
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

DOMANGE – JARRET

AMORTISSEURS DE CHOCS VISCOELASTIQUES
GAMME STANDARD



Au moment d'un choc accidentel ou fonctionnel, l'énergie liée à la masse et à la vitesse doit être emmagasinée. Le rôle d'un amortisseur de choc est d'absorber cette énergie en la transformant pour l'essentiel en chaleur.



L'originalité des amortisseurs JARRET repose sur le principe breveté de la compression de gommes viscoélastiques.

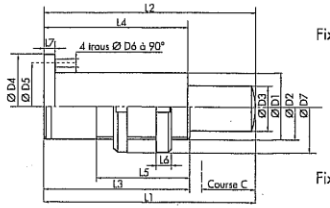
La viscosité (10 à 20 m²/s) et la compressibilité (15 % à 400 MPa) de ces gommes permettent d'associer dans un même appareil les fonctions d'un amortisseur et d'un ressort, supprimant de ce fait tout mécanisme auxiliaire de réarmement.

GAMME STANDARD

La série **BC1** offre des caractéristiques allant de **0,1 kJoule** à **12 kJoules**
La série **BC5** offre des caractéristiques allant de **25 kJoules** à **150 kJoules**
La série **BCLR** offre des caractéristiques allant de **12 kJoules** à **1000 kJoules**

DOMANGE – JARRET réalise toutes adaptations répondant à vos besoins spécifiques.

SERIE BC1



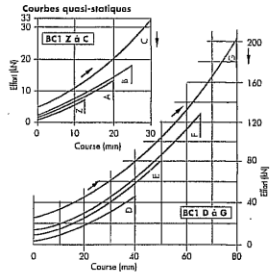
Fixation arrière par bride

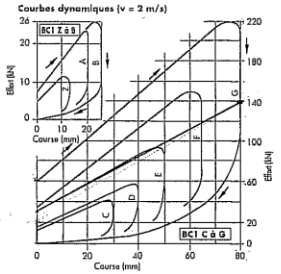
Fixation centrale par écrous

TYPE	Dimensions (mm)																
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7			
BC1 - Z	75	78	53	56	30	8	6	25	M 25 x 1,50	18,5	57	41	7	38	0,09	12	12,1	0,3
BC1 - A	110	114	75	79	50	9	8	35	M 35 x 1,50	26	75	55	9	50	0,32	20	24	0,7
BC1 - B	130	136	90	96	60	9	8	40	M 40 x 1,50	29	80	60	9	56	0,43	25	26	1
BC1 - C	158	162	108	112	70	10	8	50	M 50 x 1,50	36	90	70	9	68	0,85	30	42	1,8
BC1 - D	188	188	127	127	90	11	10	60	M 60 x 2,00	44	106	85	11	81	1,50	40	60	3
BC1 - E	214	218	145	149	100	13	10	75	M 75 x 2,00	60	125	100	11	100	3,30	50	90	5
BC1 - F	265	265	183	183	100	16	10	95	M 95 x 2,00	74	150	120	11	120	6,00	65	150	10,5
BC1 - G	337	337	218	218	100	16	14	110	M 110 x 2,00	91	165	140	13	140	12,00	80	220	17

Vitesse d'impact : l'amortisseur de la série BC1 peut être sollicité jusqu'à une vitesse de 5 m/s, au delà, un réglage spécifique doit être effectué

COURBES





DETERMINATION D'UN AMORTISSEUR

- Calculer l'énergie E
- Choisir l'amortisseur correspondant
- Vérifier que la fréquence de choc est inférieure à $\left(20 \times \frac{En}{E}\right)$ chocs/heure.
- Calculer la course effective C_e en mm :

$$Ce = C\left(\sqrt{1,67 \times \frac{E}{En}} + 0,111 - 0,33\right)$$

- Rechercher l'effort de réaction maximal Rdy correspondant à la course C_e sur la courbe dynamique.

EXEMPLE D'APPLICATION

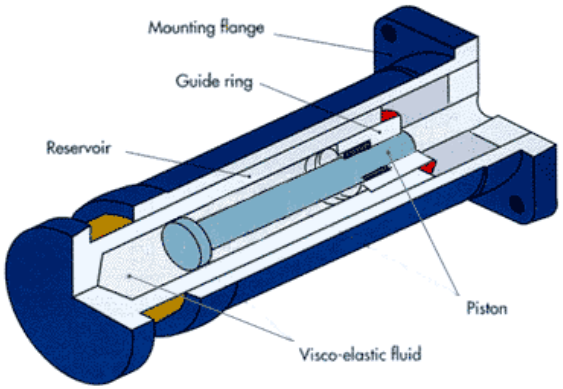
DONNEES

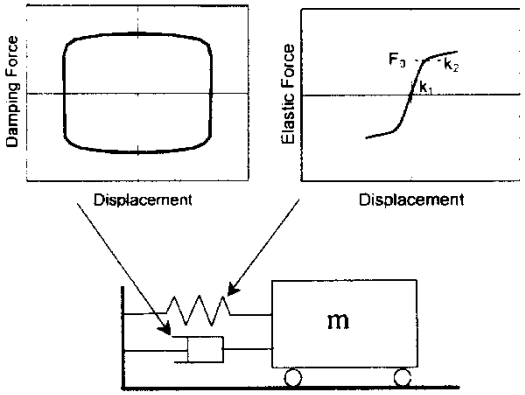
- Chocs à amortir sur un seul amortisseur.
- Masse m = 2,5 t.
- Vitesse v = 0,9 m/s.
- Fréquence : 25 chocs/heure.
- Effort maximum sur la structure : 55 kN.

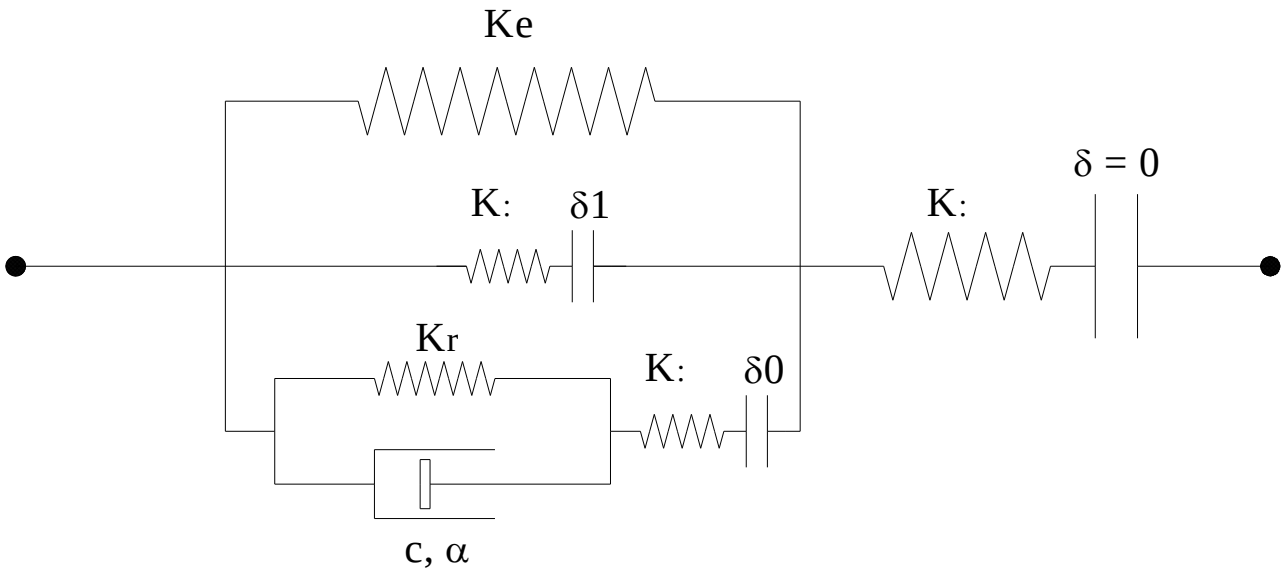
DETERMINATION

- $E = \frac{1}{2}$ m v² = 1,0 kJ.
- Choix du BC1 - D : En = 1,5 kJ ; C = 40 mm ; Rdy_{max} = 60 kN.
- La fréquence maximale est de $20 \times \frac{1,5}{1,0}$ = 30 chocs/heure donc 25 chocs/heure convient.
- $C_e = 40\left(\sqrt{1,67 \times \frac{1,0}{1,5}} + 0,111 - 0,33\right) = 31$ mm
- A Ce = 31 mm, Rdy = 52 kN qui convient car inférieur à 55 kN.

csi Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu


Mounting flange
Guide ring
Reservoir
Piston
Visco-elastic fluid

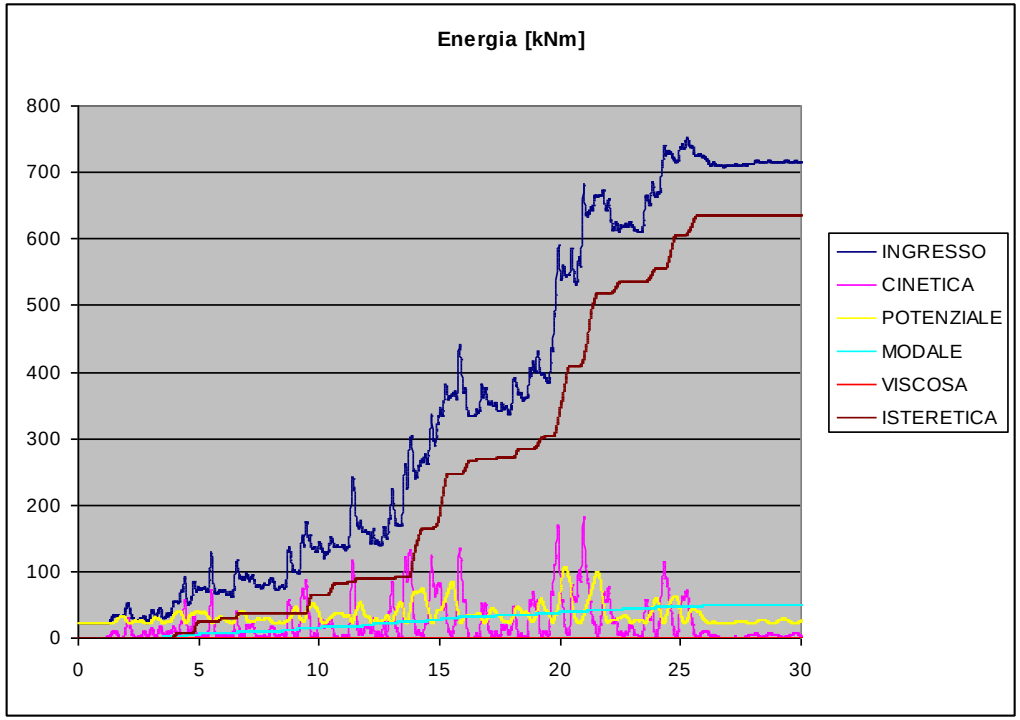

Damping Force
Displacement
Elastic Force
Displacement
m


Ke
K:
δ1
K:
δ = 0
Kr
K:
δ0
c, α

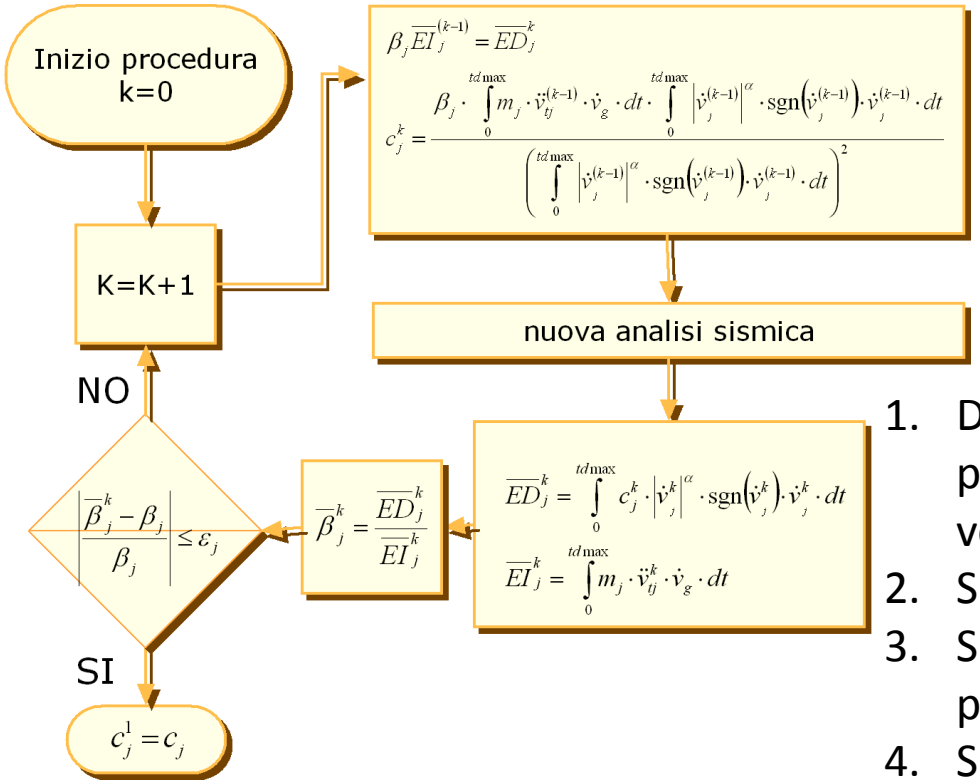
BILANCIO ENERGETICO

$$E_k + E_\xi + E_s + E_h + E_v + E_e = E_i$$

E_k = energia cinetica
E_ξ = energia dissipata per viscosità lineare
E_s = energia potenziale
E_h = energia dissipata per isteresi
E_v = energia dissipata per effetto viscoso non lineare
E_e = sbilancio energetico
E_i = energia d'ingresso.

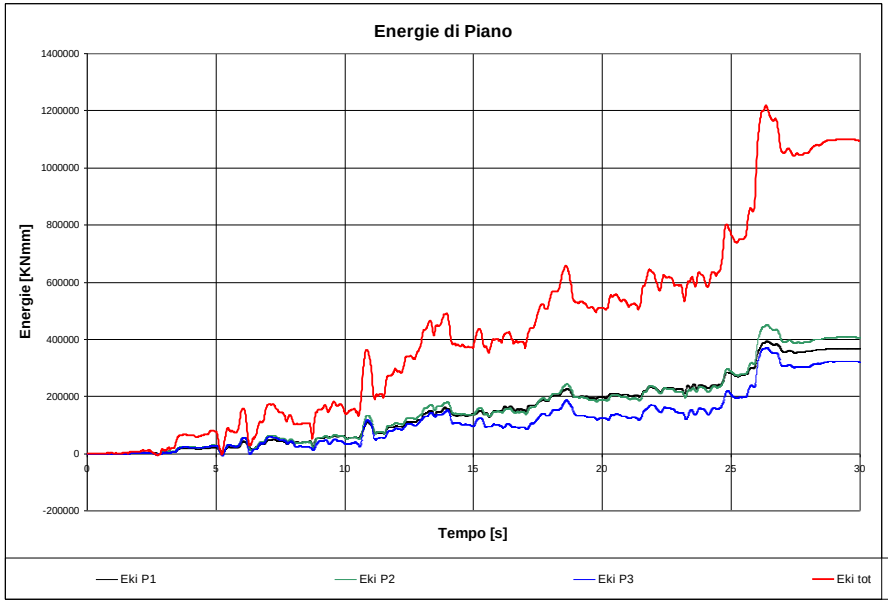


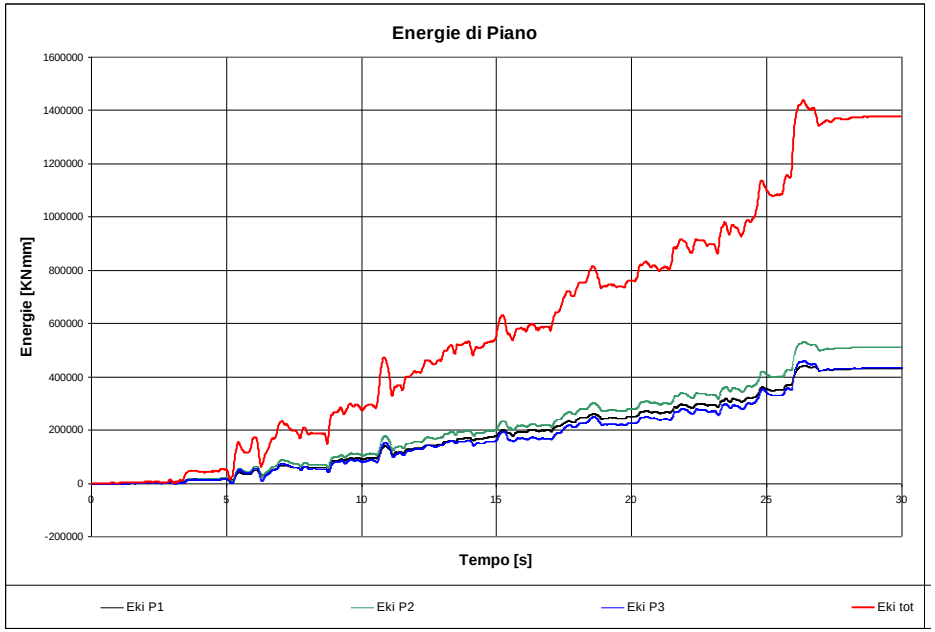
PROCEDURA DI PROGETTO DEI DISPOSITIVI SILICONICO FLUIDO VISCOSI OTTIMALI



1. Dalla analisi non lineare del passo precedente, si ottengono, spostamenti, velocità ed accelerazioni di piano.
2. Si calcolano le forze inerziali di piano.
3. Si calcolano le energie di ingresso di ogni piano.
4. Si fissano gli obiettivi in termini di energia da dissipare
5. Si calcolano i coefficienti di smorzamento da dare ai dispositivi per ottenere l'obiettivo prefisso.

PROCEDURA DI PROGETTO DEI DISPOSITIVI SILICONICO FLUIDO VISCOSI OTTIMALI

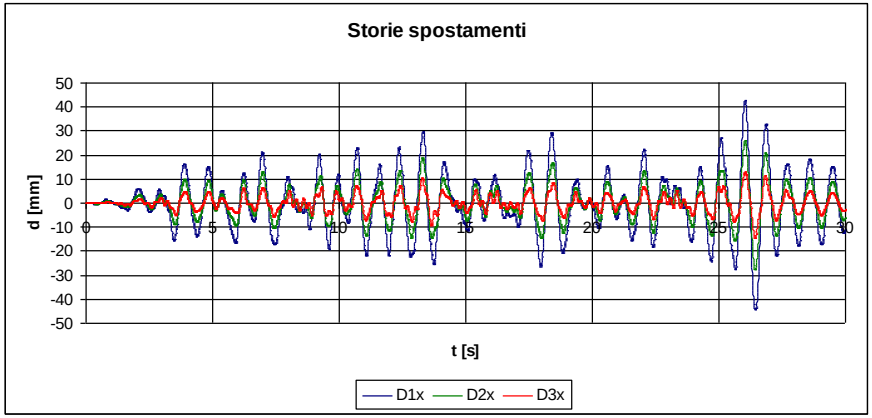




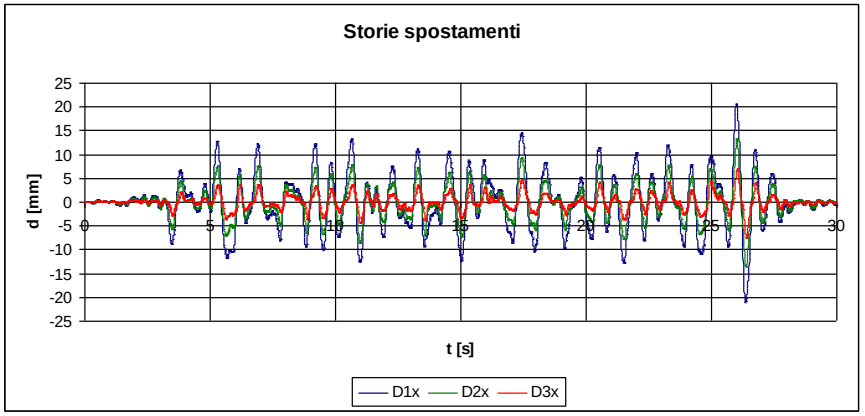
ADEGUAMENTO SISMICO

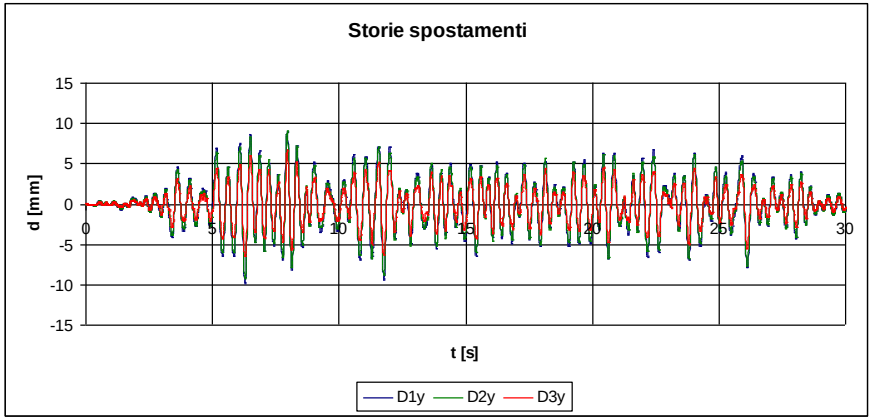
Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH

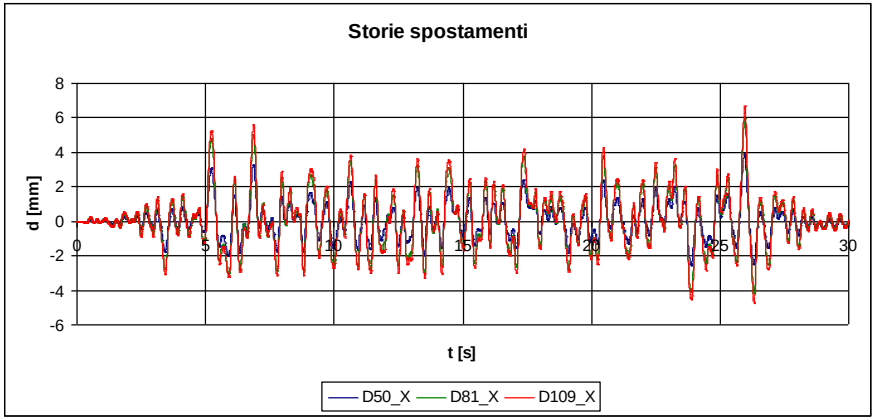
STATO DI FATTO



STATO PROTETTO



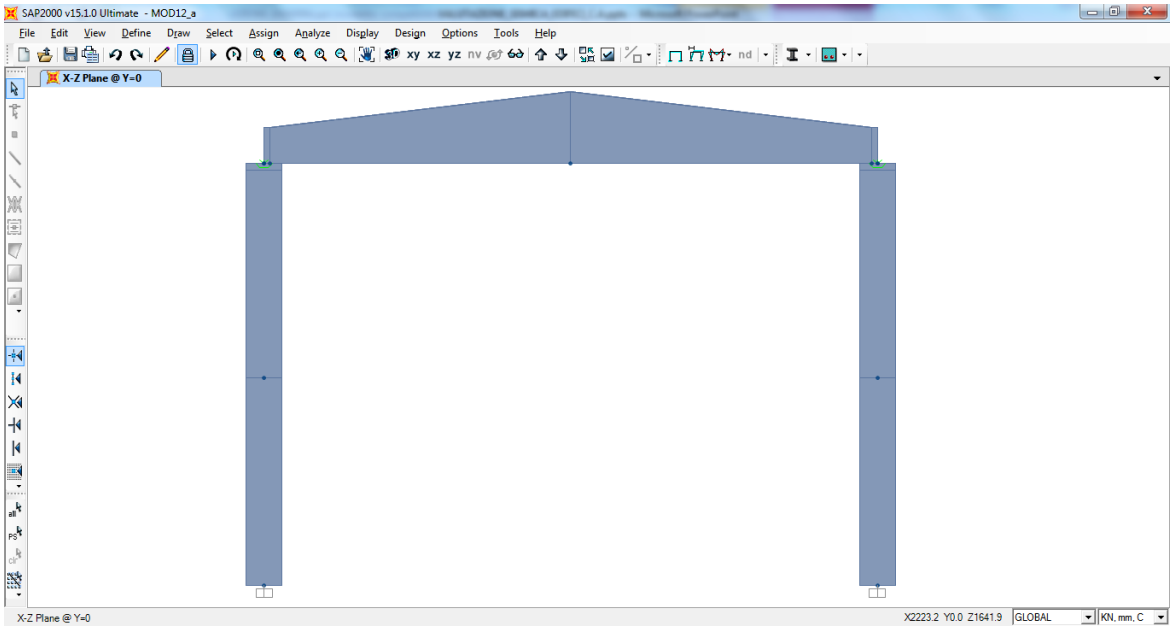




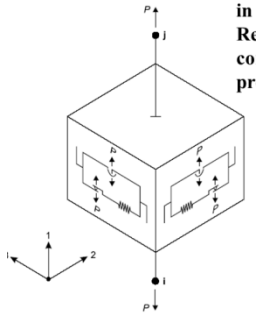
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

MODELLAZIONE DI STRUTTURE INDUSTRIALI PROTETTE SISMICAMENTE MEDIANTE ISOLAMENTO SISMICO DELLA COPERTURA E DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

DISPOSITIVO DI APPOGGIO PTFE | ACCIAIO - TEFLON



T/C FRICTION ISOLATOR **Park, Wen ed Ang (1986) e suggerito per analisi in occasione di isolamento alla base Nagarajaiah, Reinhorn e Constantinou (1991). Il comportamento del pendolo è come quello proposto da Zayas e da Low (1990).**



$$P \equiv f_{u1} = \begin{cases} \mathbf{k1}\, d_{u1} & \text{if } d_{u1} < 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

Il **Friction Isolator** è dotato di un elemento gap nella direzione verticale per lavorare solo compresso.

$$f_{u2} = f_{u2f} + f_{u2p} \qquad f_{u3} = f_{u3f} + f_{u3p}$$

$$f_{u2p} = -P\frac{d_{u2}}{\mathbf{radius2}} \qquad f_{u3p} = -P\frac{d_{u3}}{\mathbf{radius3}}$$

Bassa velocità

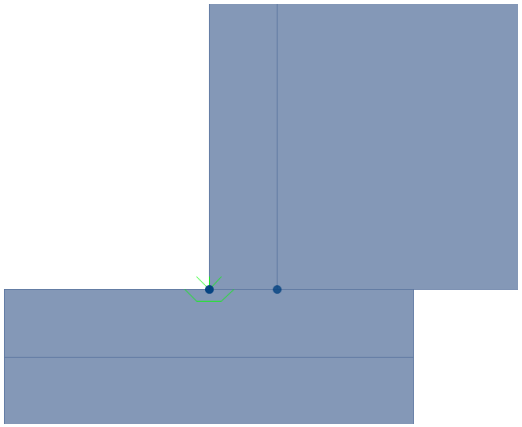
$$f_{u2f} = -P\,\mu_2\,z_2 \qquad f_{u3f} = -P\,\mu_3\,z_3 \quad (8)$$

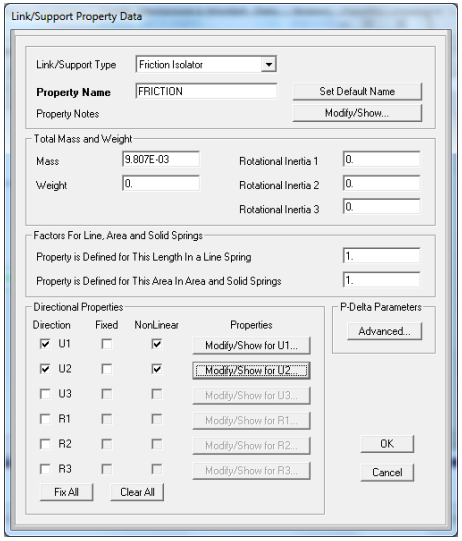
$$\mu_2 = \mathbf{fast2} - (\mathbf{fast2} - \mathbf{slow2})\,e^{-r\,v}$$

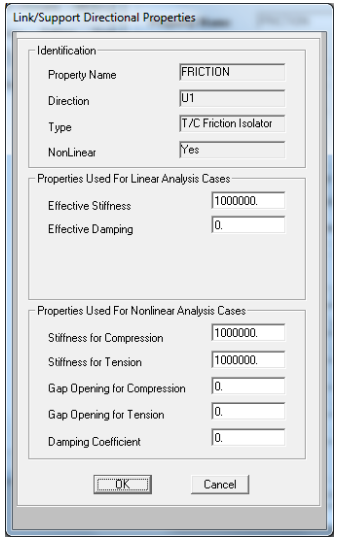
$$\mu_3 = \mathbf{fast3} - (\mathbf{fast3} - \mathbf{slow3})\,e^{-r\,v}$$

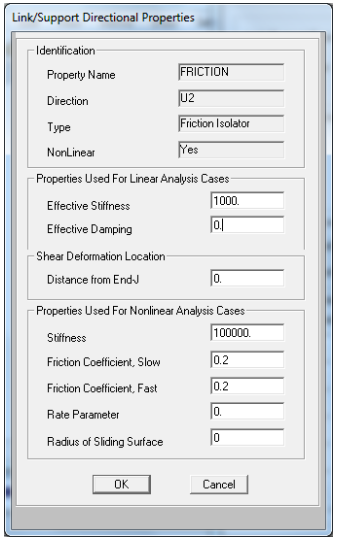
Alta velocità

ATTRITO

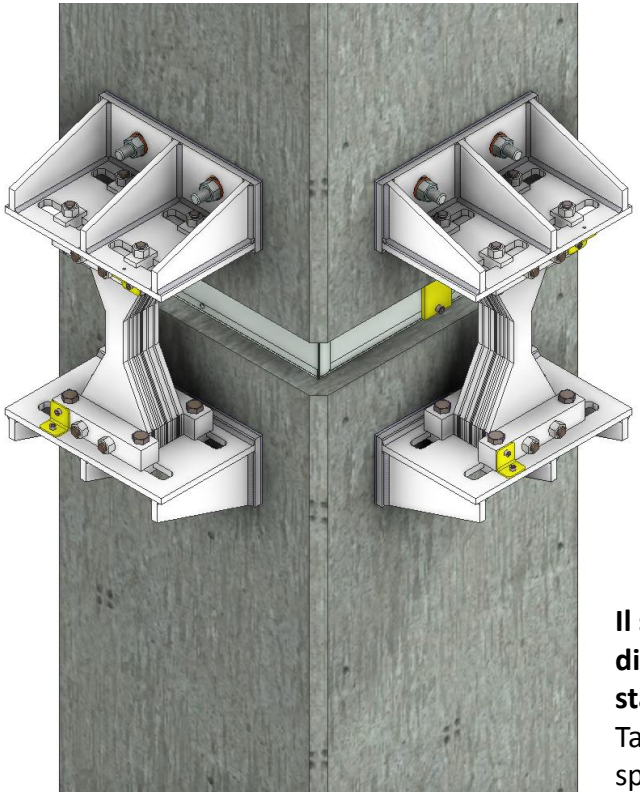


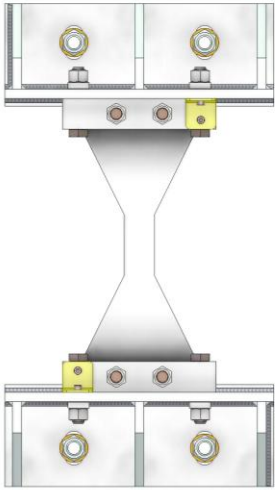


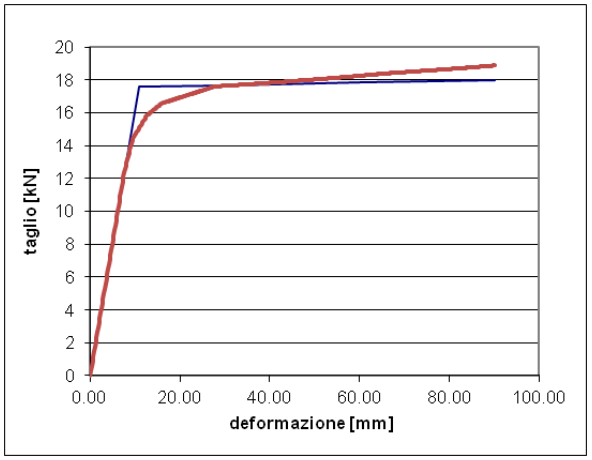




DISPOSITIVO ADAS



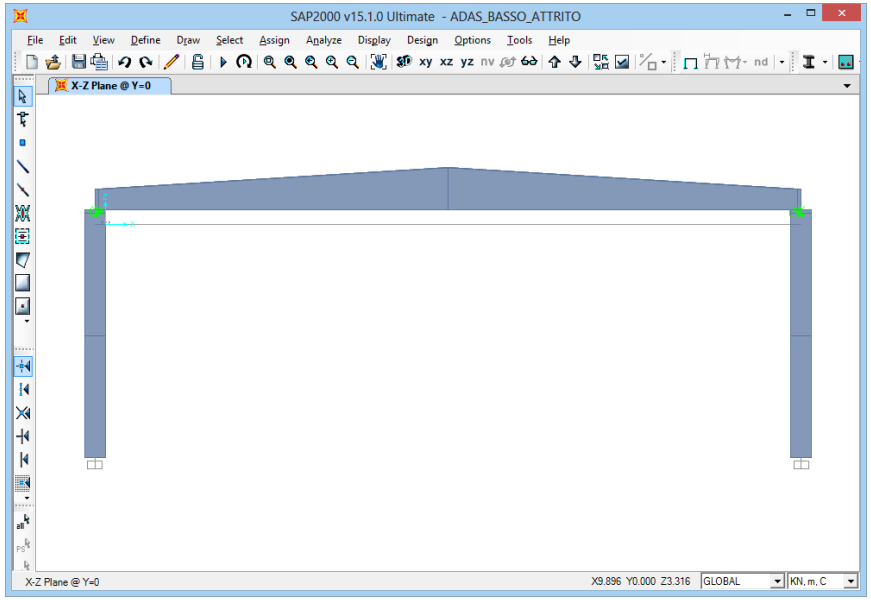


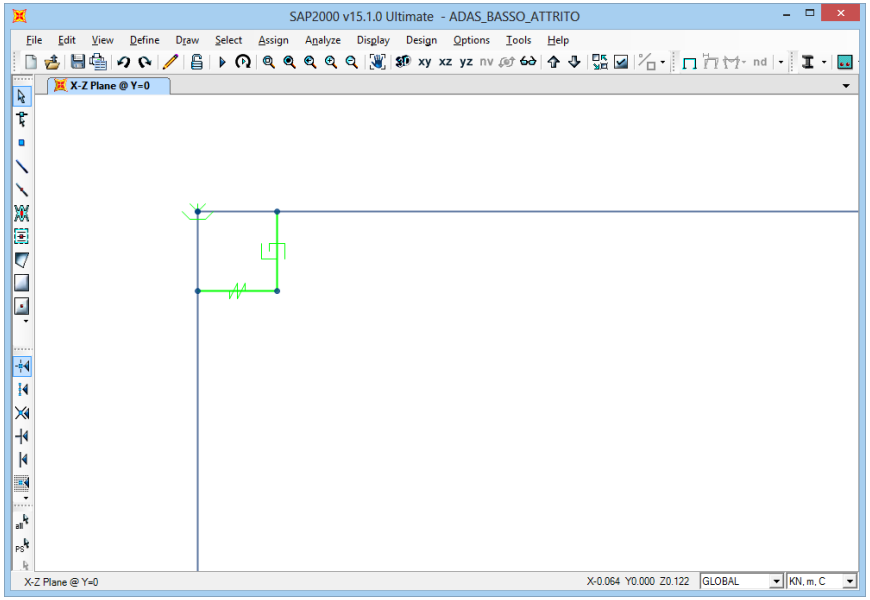


Il sistema si basa sulla sinergia di due dispositivi: una slitta a basso attrito, e un dispositivo ADAS ad alta dissipazione energetica e caratterizzato da una notevole stabilità ciclica basata sull'isteresi metallica.

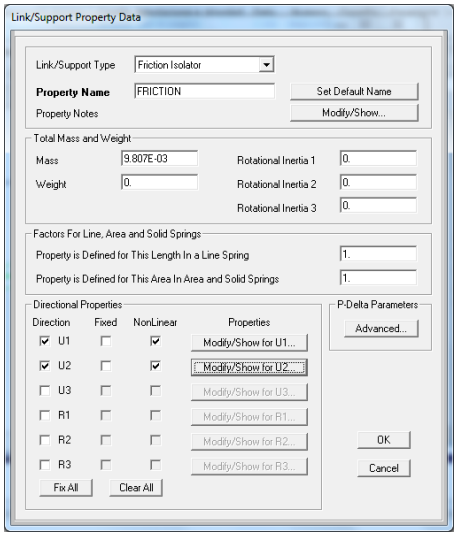
Tale dissipatore ha il compito di ridurre ulteriormente le forze e limitare gli spostamenti del sistema isolato.

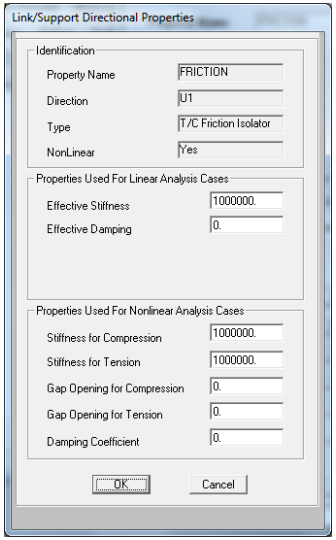
DISPOSITIVO ADAS

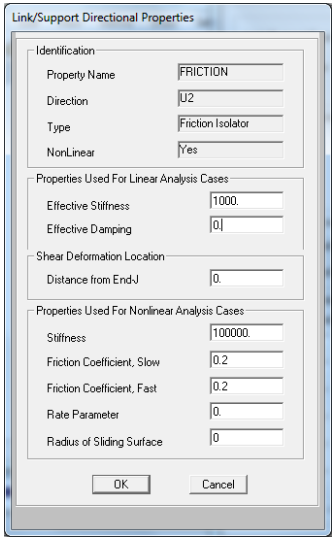




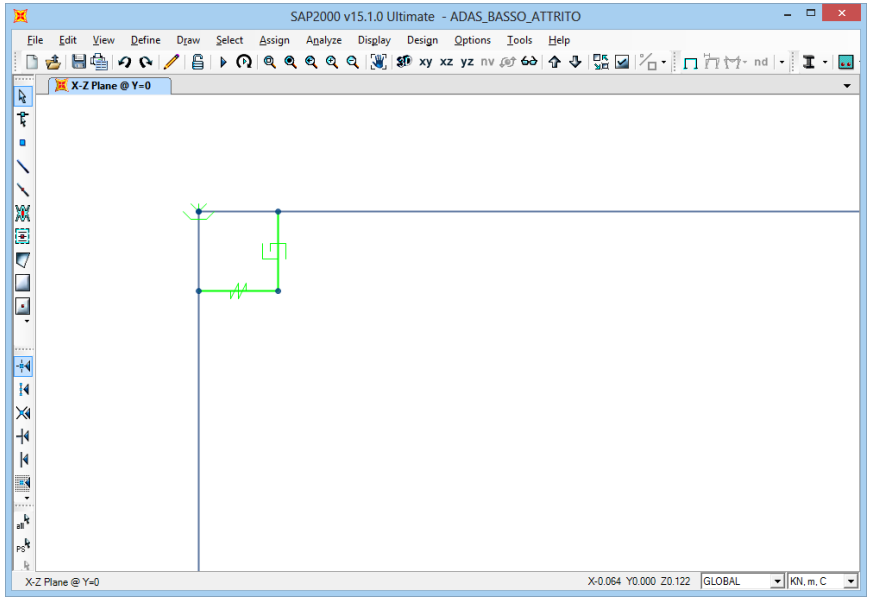
ATTRITO



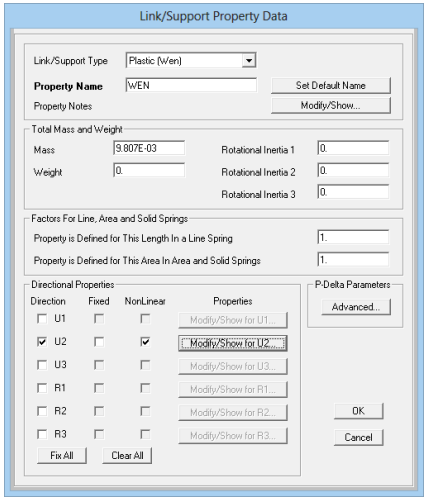


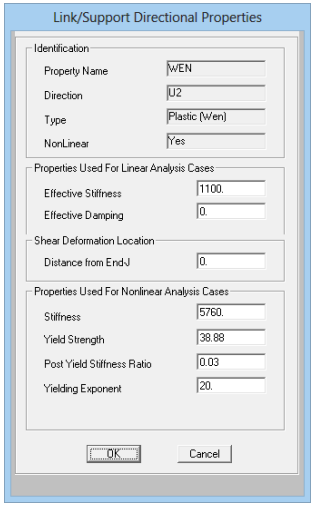


DISPOSITIVO ADAS

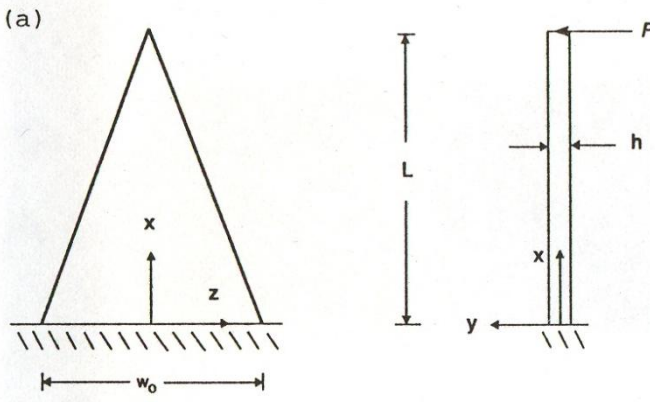


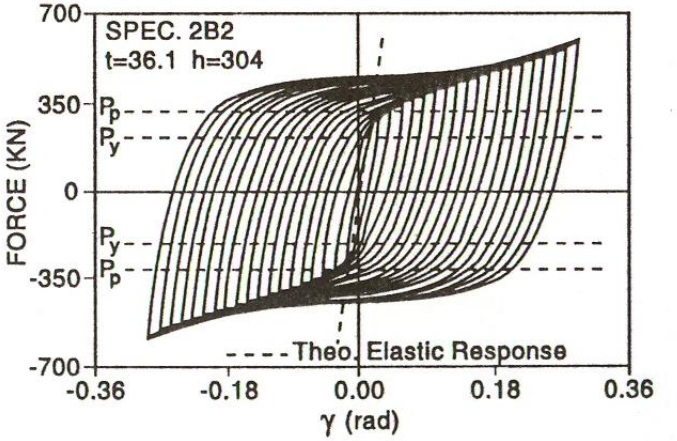
ADAS

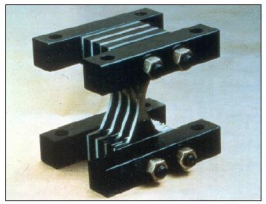




DISPOSITIVO ADAS

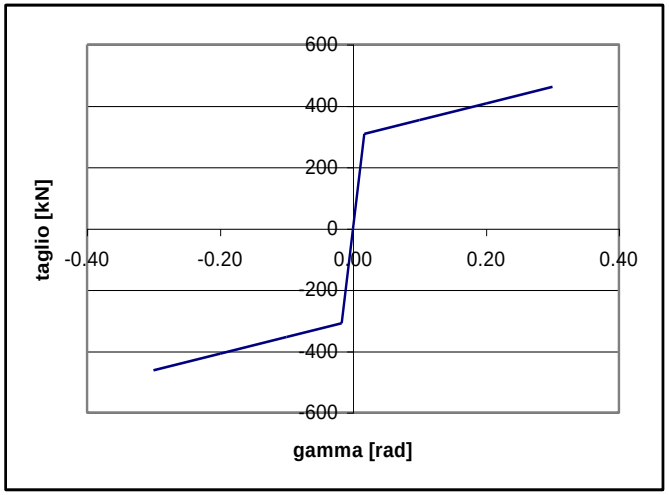






N	8	
E	200000	N/mm^2
w0	133.3	mm
L	304	mm
h	36.1	mm
σy	270	N/mm^2
k1=P/(D)	**59525.05**	**N/mm**
beta	0.03	
k2	**1785.751**	**N/mm**
Pu	**308577.8**	**N**
Du	**5.184**	**mm**

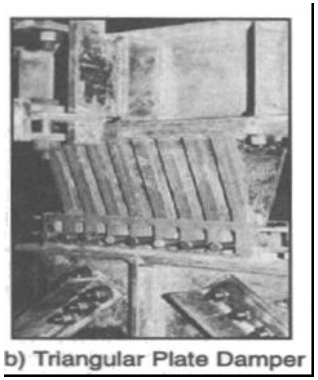
γ	Δ [mm]	F [kN]
-0.30	-91.20	-462.181
-0.20	-60.80	-407.8942
-0.10	-30.40	-353.6073
-0.02	-5.18	-308.5778
0.00	0.00	0
0.02	5.18	308.5778
0.10	30.40	353.6073
0.20	60.80	407.8942
0.30	91.20	462.181



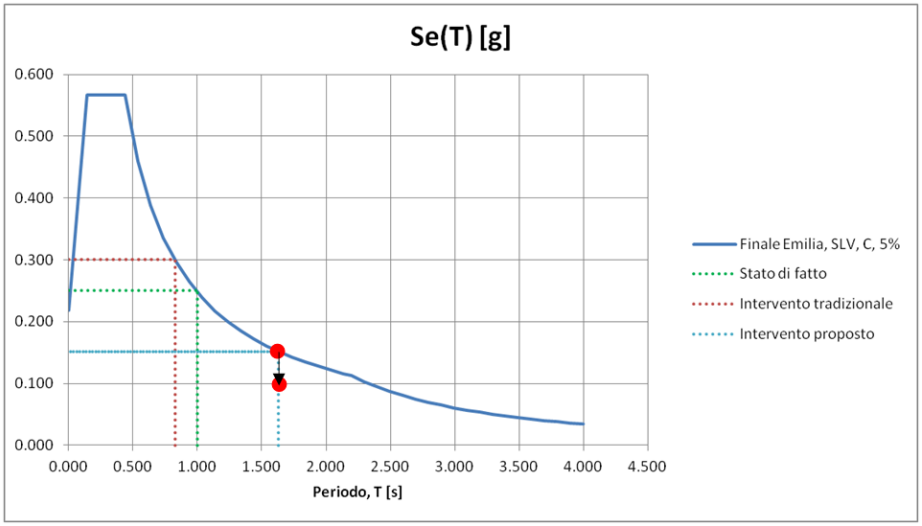
$$k_1 = P/D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

$$P_u = N\sigma_y \cdot \omega_0 \cdot h^2 / 4L$$

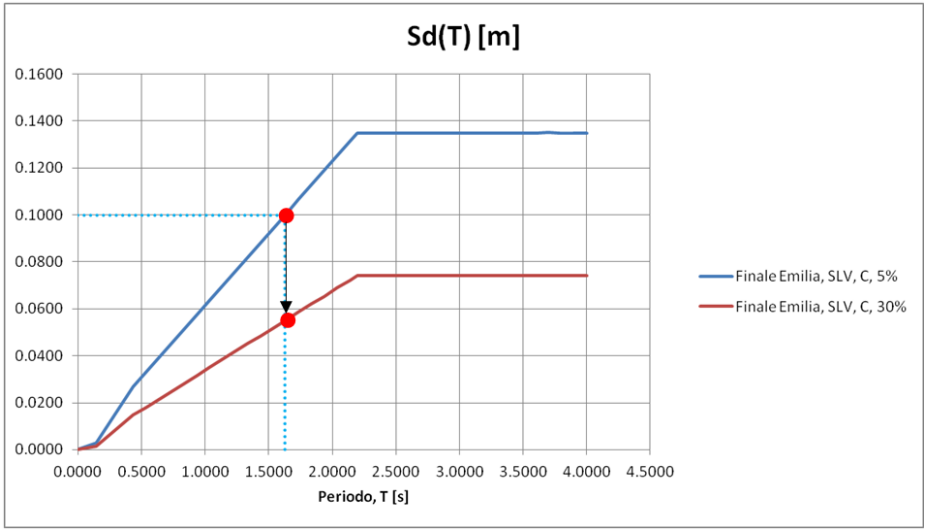

b) Triangular Plate Damper

DISPOSITIVO ADAS

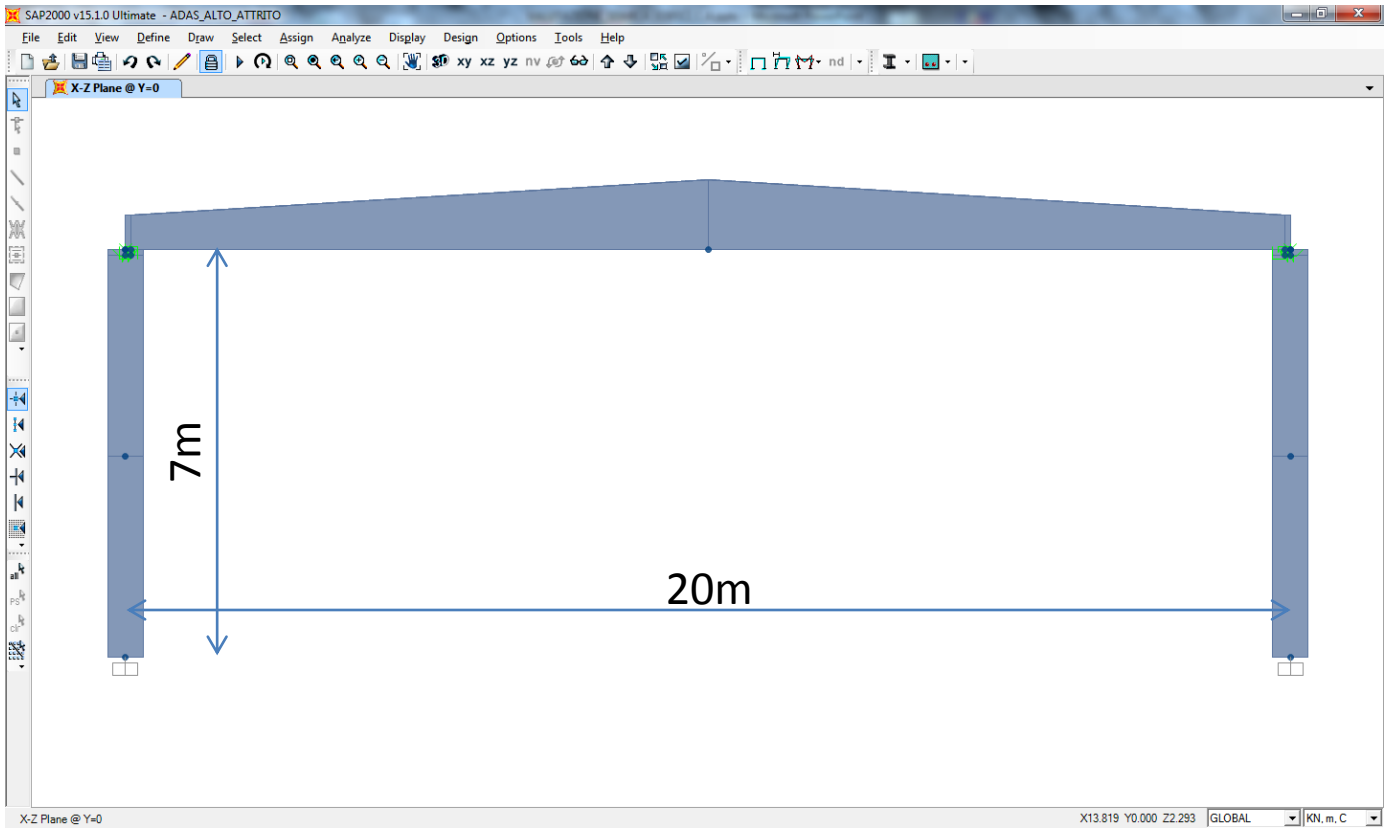


La riduzione delle forze è garantita dalla sinergia dei due concetti: isolamento sismico e dissipazione supplementare di energia.
La soglia di plasticizzazione del dispositivo coincide con la massima forza trasmessa attraverso l'interfaccia.
Data la modularità del dispositivo, garantita dalla possibile scelta del numero di piatti metallici interposti e dal loro spessore, la soglia di plasticizzazione, può essere tarata sulla base delle esigenze strutturali del singolo edificio.

Oltre alla riduzione delle forze, caratteristica di un sistema isolato, si hanno le riduzioni degli spostamenti relativi trave-colonna, ad opera del sistema di dissipazione.

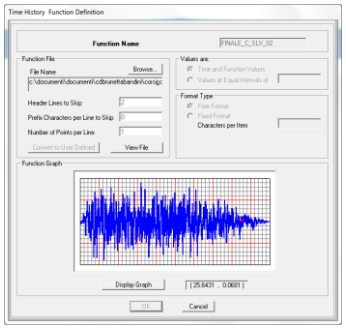


CASO STUDIO



Luce, L = 20m
Altezza, H = 7m
Colonne, 60x60
Travi, 60x(60-120)
G2 = 30 kN/m

Azione sismica:
accelerogramma artificiale, Finale Emilia, SLV,
terreno C,
pga 2.14m/s^2



Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

CASO STUDIO

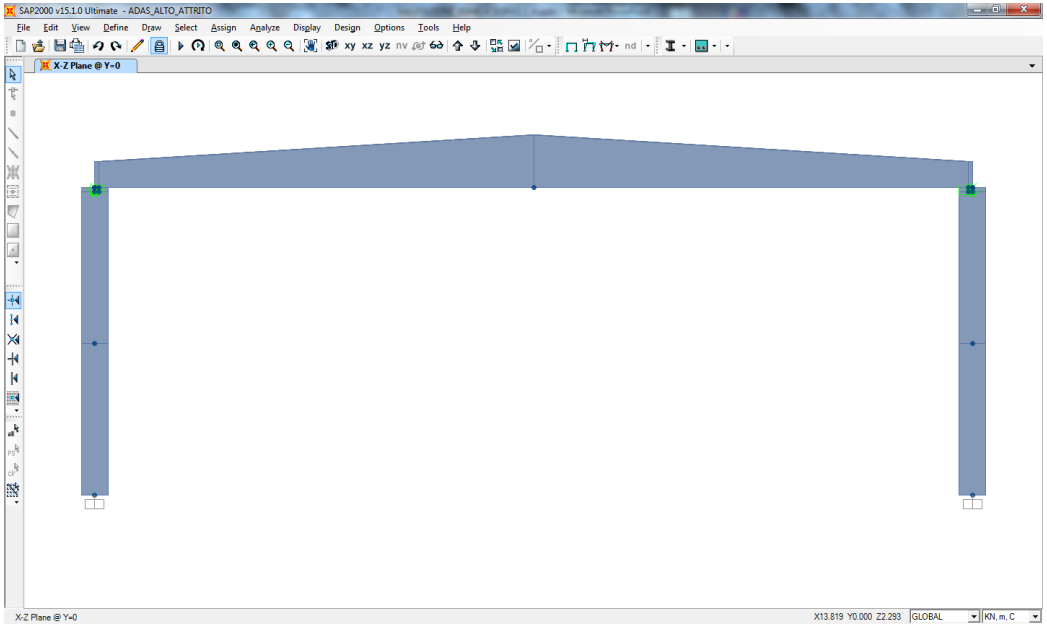
Analisi parametrica del caso studio:

1a) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, attrito μ = 15% (trave- colonna);

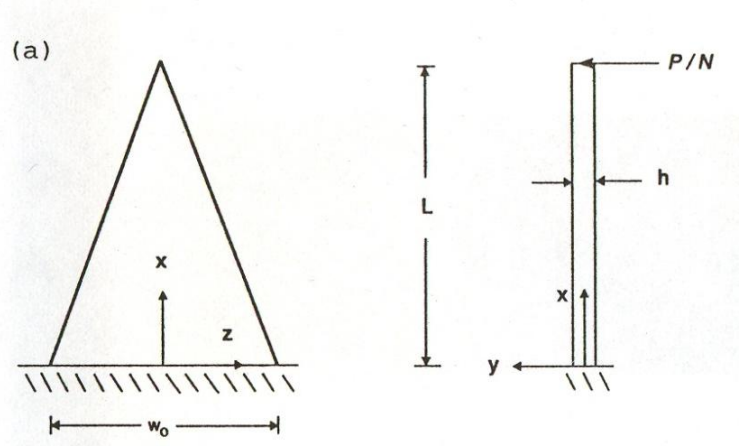
1b) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, attrito μ = 2% (trave- colonna);

1c) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, assenza attrito;

1d) dispositivo tipo ADAS da 20 kN di soglia, attrito μ = 2% (trave- colonna);



Dispositivo ADAS soglia da 39 kN

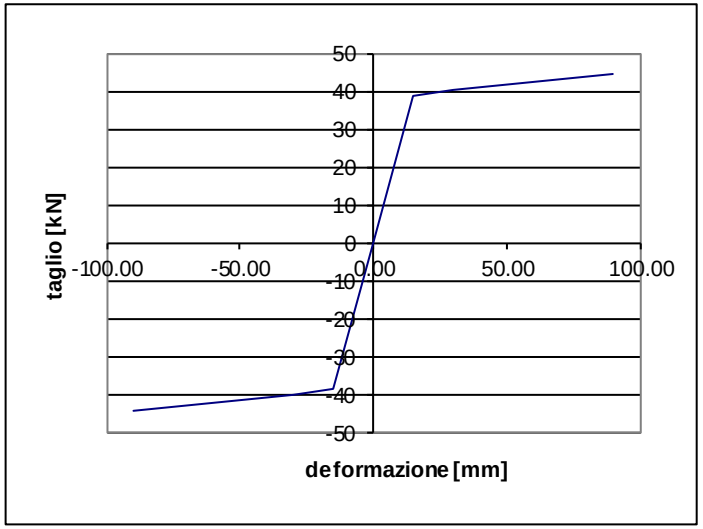


$$k_1 = P / D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

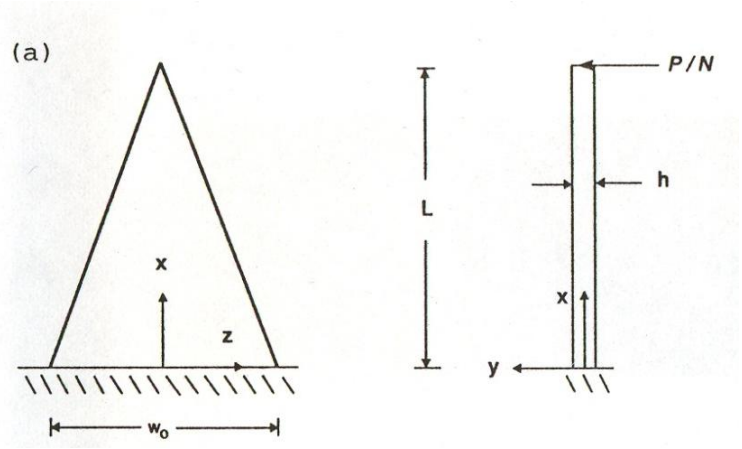
$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

$$P_u = N\sigma_y \cdot \omega_0 \cdot h^2 \Big/ 4L$$

			γ	Δ [mm]	F [kN]
N	4				
E	200000	N/mm^2	-0.30	-90.00	-44.6256
w0	300	mm	-0.20	-60.00	-42.3216
L	300	mm	-0.10	-30.00	-40.0176
h	12	mm	-0.05	-15.19	-38.88
σy	270	N/mm^2	0.00	0.00	0
k1=P/(D)	**2560**	**N/mm**	0.05	15.19	38.88
beta	0.03		0.10	30.00	40.0176
k2	**76.8**	**N/mm**	0.20	60.00	42.3216
Pu	**38880**	**N**	0.30	90.00	44.6256
Du	**15.1875**	**mm**			
De	40	**mm**			
k2ff	1.01964	**kN/mm**			



Dispositivo ADAS soglia da 20 kN

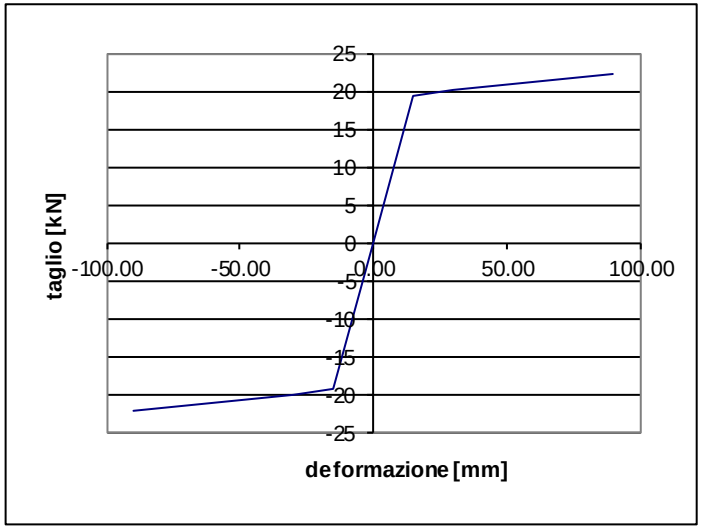


$$k_1 = P / D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

$$P_u = N\sigma_y \cdot \omega_0 \cdot h^2 \Big/ 4L$$

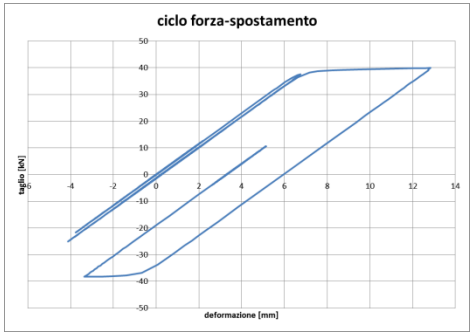
			γ	Δ [mm]	F [kN]
N	2				
E	200000	N/mm^2			
w0	300	mm	-0.30	-90.00	-22.3128
L	300	mm	-0.20	-60.00	-21.1608
h	12	mm	-0.10	-30.00	-20.0088
σy	270	N/mm^2	-0.05	-15.19	-19.44
k1=P/(D)	**1280**	**N/mm**	0.00	0.00	0
beta	0.03		0.05	15.19	19.44
k2	**38.4**	**N/mm**	0.10	30.00	20.0088
Pu	**19440**	**N**	0.20	60.00	21.1608
Du	**15.1875**	**mm**	0.30	90.00	22.3128
De	40	**mm**			
k2ff	0.50982	**kN/mm**			



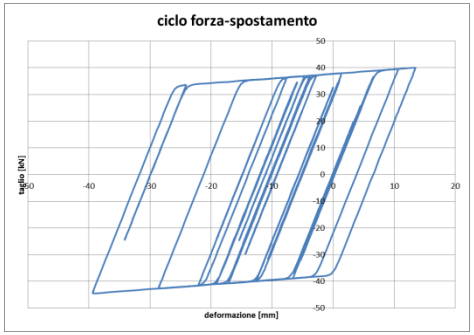
CASO STUDIO

#	V [kN]	Msd [kNm]	Ei [kNm]	Eh [kNm]	Eh/Ei	Em [kNm]
1a	222	775	33.5	9	27%	24
1b	133	427	34	20	59%	13
1c	110	347	31	18.4	59%	12.9
1d	82	275	27.5	20.3	74%	7

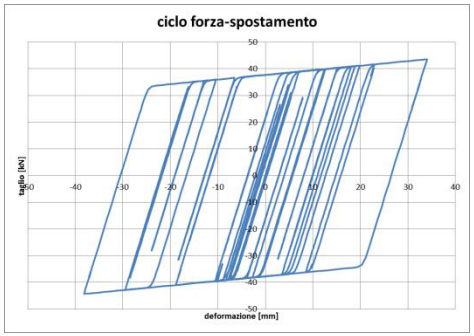
1a)



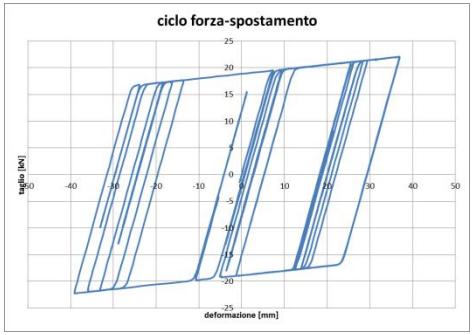
1b)



1c)



1d)



Analisi parametrica del caso studio:

1a) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, attrito μ = 15% (trave- colonna);

1b) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, attrito μ = 2% (trave- colonna);

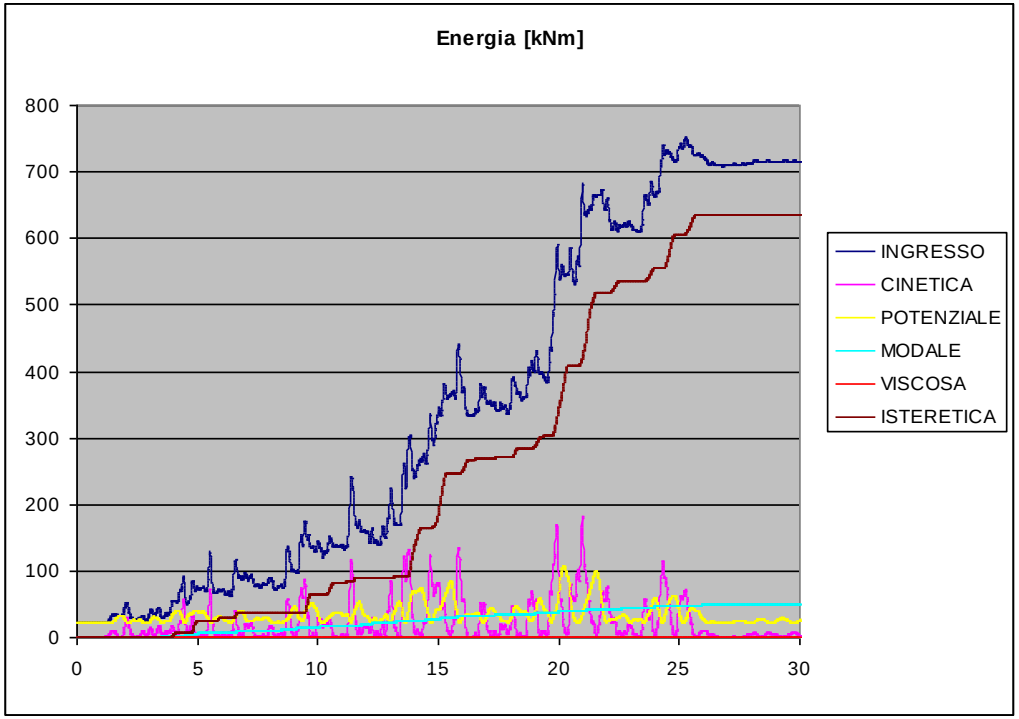
1c) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, assenza attrito;

1d) dispositivo tipo ADAS da 20 kN di soglia, attrito μ = 2% (trave- colonna);

BILANCIO ENERGETICO

$$E_k + E_\xi + E_s + E_h + E_v + E_e = E_i$$

E_k = energia cinetica
E_ξ = energia dissipata per viscosità lineare
E_s = energia potenziale
E_h = energia dissipata per isteresi
E_v = energia dissipata per effetto viscoso non lineare
E_e = sbilancio energetico
E_i = energia d'ingresso.

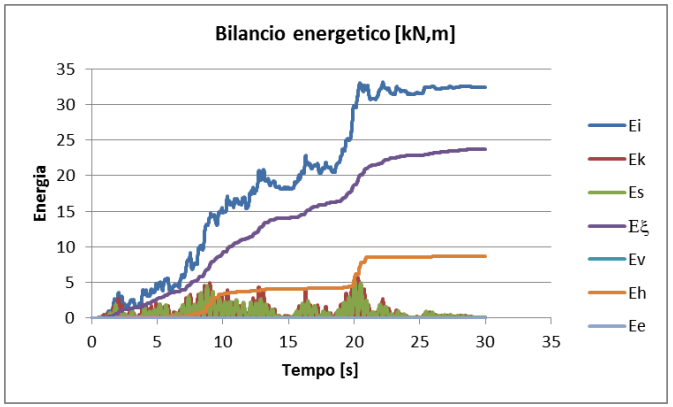


BILANCIO ENERGETICO

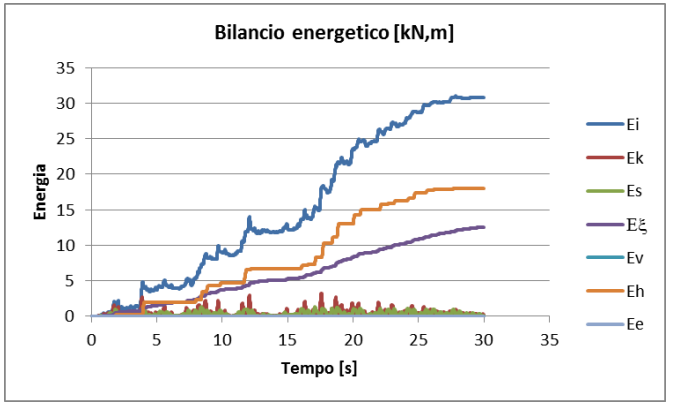
$$E_k + E_\xi + E_s + E_h + E_v + E_e = E_i$$

E_k = energia cinetica
E_ξ = energia dissipata per viscosità lineare
E_s = energia potenziale
E_h = energia dissipata per isteresi
E_v = energia dissipata per effetto viscoso non lineare
E_e = sbilancio energetico
E_i = energia d'ingresso.

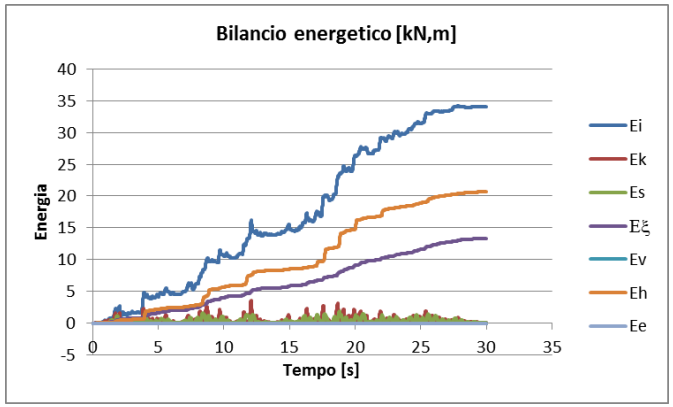
1a)



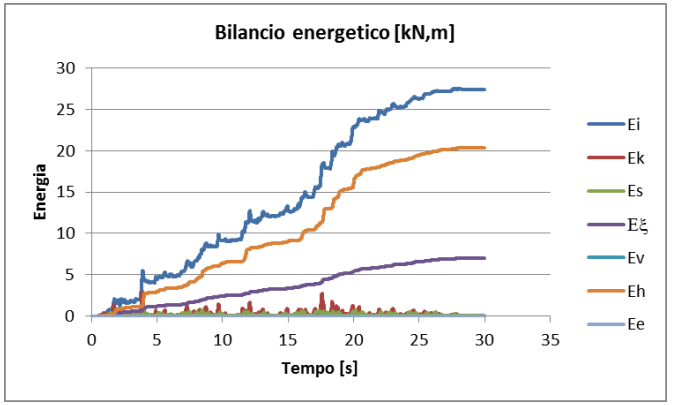
1b)



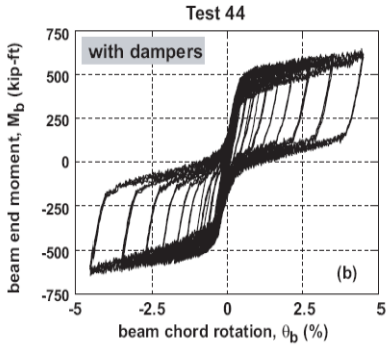
1c)

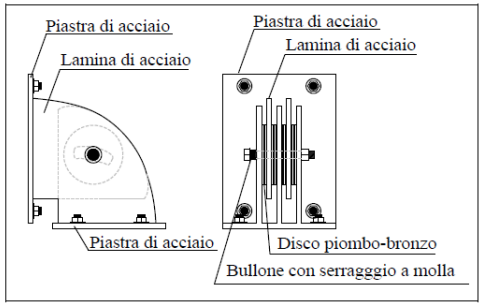


1d)



DISPOSITIVO ATTRITIVO ROTAZIONALE



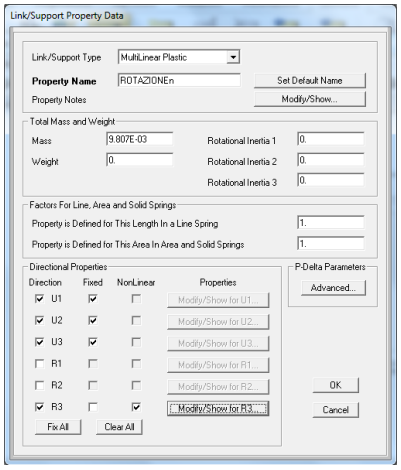


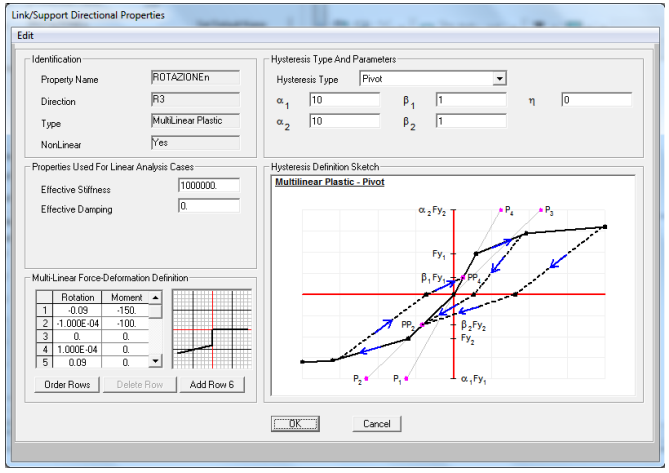
Dispositivi ad attrito - Morgen & Kurama et al. 2004

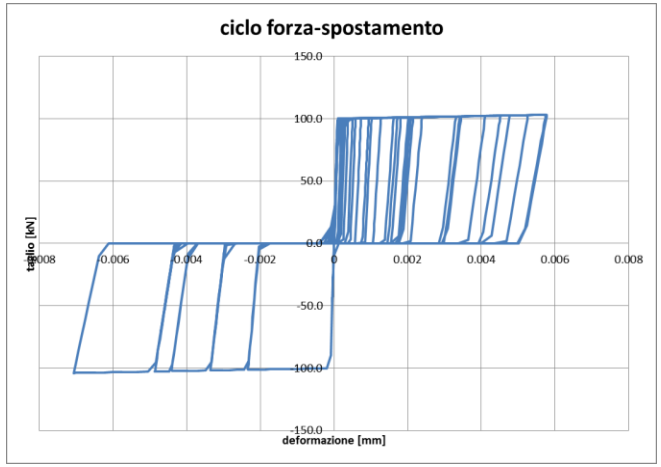
RICERCA DI SISTEMI DI PROTEZIONE APPROPRIATI PER SCHEMI PREFABBRICATI RICORRENTI

Fabrizio Comodini, Università e-Campus, Facoltà di Ingegneria , Novedrate, Como

Marco Mezzi, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Perugia., Perugia

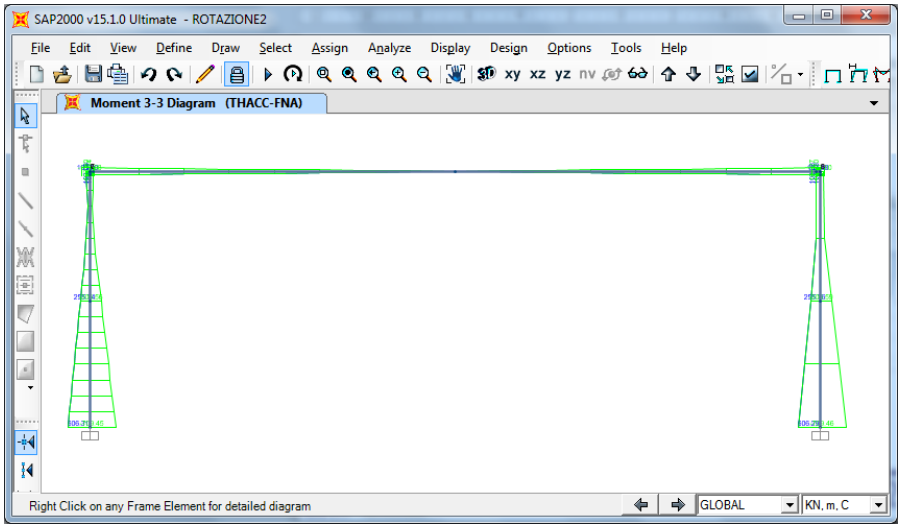
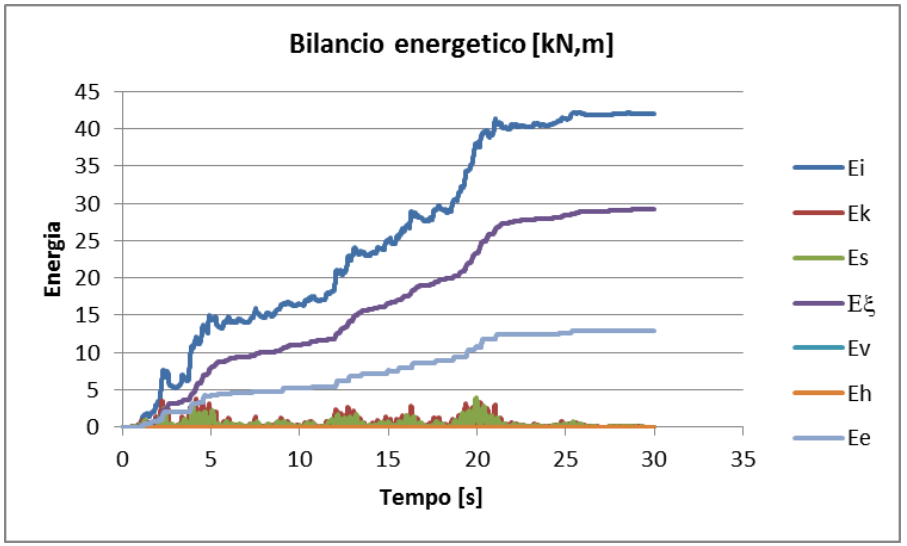






2 LINK DI TIPO MULTILINEAR PLASTIC – PIVOT DISPOSTI IN PARALLELO (UN PER LA COMPONENTE POSITIVA L'ALTRO NEGATIVA)

BILANCIO ENERGETICO

$$E_k + E_\xi + E_s + E_h + E_v + E_e = E_i$$

E_k = energia cinetica
E_ξ = energia dissipata per viscosità lineare
E_s = energia potenziale
E_h = energia dissipata per isteresi
E_v = energia dissipata per effetto viscoso non lineare
E_e = sbilancio energetico
E_i = energia d'ingresso.