ORDINE DEGLI INGEGNERI
PROVINCIA DI PORDENONE

CSI Italia s.r.l

Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
Fax 0434 28466
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Corso di aggiornamento professione

Tecnologie avanzate di protezione sismica: isolamento sismico e dissipazione supplementare di energia

Pordenone, 02-04-11 novembre del 2015

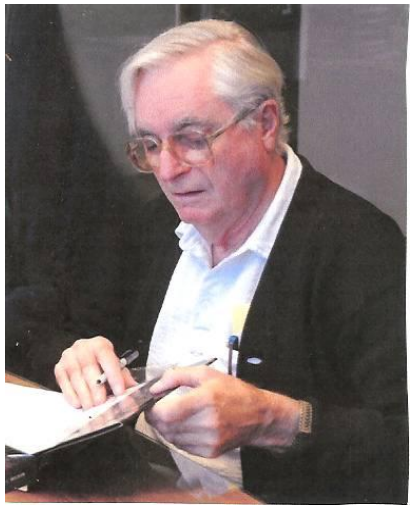
A cura di:
Ing. Leonardo Bandini
leonardo@csi-italia.eu
Tel. 0434.28465
Mob. 347.1921706

SAP2000

ViS

L'uscita di un articolo dal titolo:
Termination of the Response Spectrum Method - RSM
Ed Wilson – Luglio 13, 2015

http://www.edwilson.org/History/Termination.pdf



History of the RSM for Seismic Analysis

Ray Clough and I regret we created the approximate response spectrum method for seismic analysis of structures in 1962. At that time many members of the profession were using the sum of the absolute values of the modal values to estimate the maximum member forces. Ray suggested we use the SRSS method to combine the modal values. However, I am the one who put the approximate method in many dynamic analysis programs which allowed engineers to produce meaningless positive numbers of little or no value. In early 1980 Arman Der Kiureghian and I replaced the SRSS method with the CQC method. This new approach had been used in Random Vibration of mechanical engineering equipment to produce a ***maximum peak value*** for one force or one displacement at an unspecified point in time. Therefore, the use of the method in earthquake engineering, where the duration of vibrations are a few minutes and not several hours, required the introduction of additional approximations. After working with the RSM for over 50 years, I recommend it not be used for seismic analysis.

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.

SUI VANTAGGI DELL'ISOLAMENTO SISMICO

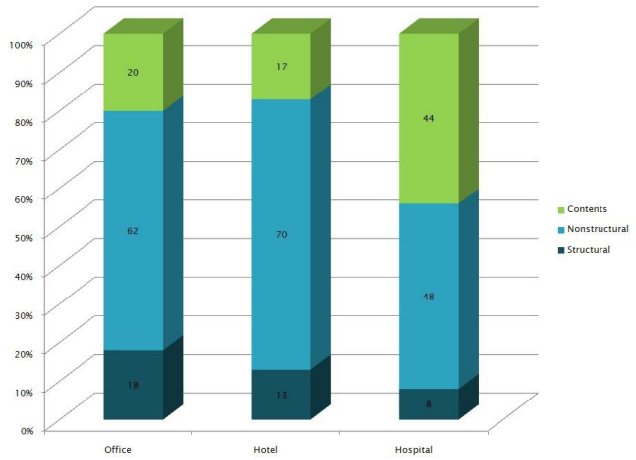
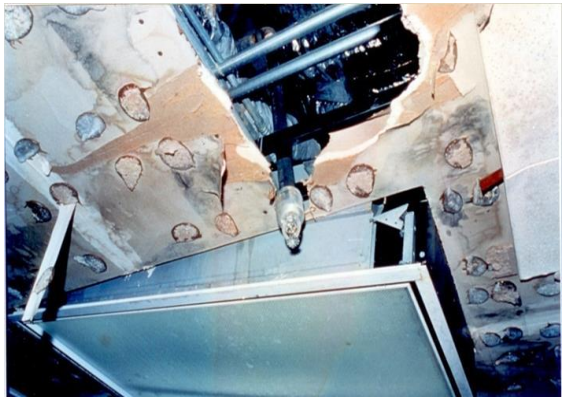


Figure 2.1.3-1 Typical investments in building construction.



Isolamento sismico vs Capacity Design

Isolamento sismico vs Progettazione con q = 1

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

INQUADRAMENTO NORMATIVO ITALIANO

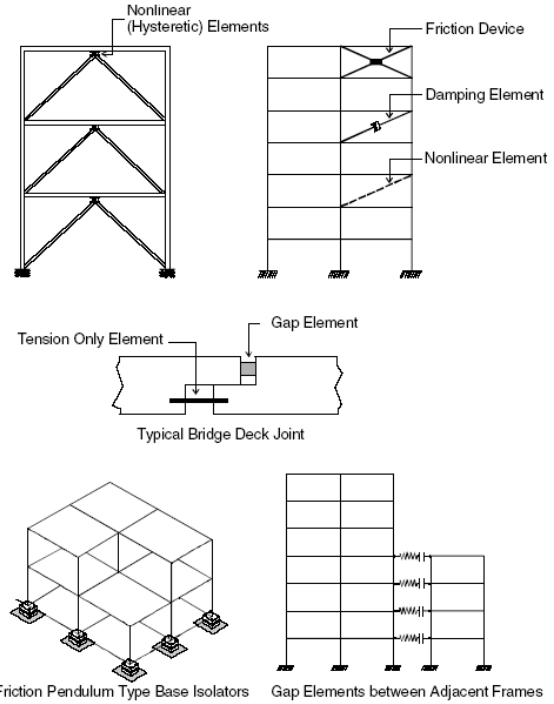
- ***1997/98 – Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei LL.PP. - Linee guida per la progettazione,esecuzione e collaudo di strutture isolate.***
- ***2003 - OPCM 3274 e succ. int.***
- ***2005 – DM2005***
- ***2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni***
- ***Eurocodice 8, capitolo 10 – strutture isolate***

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:

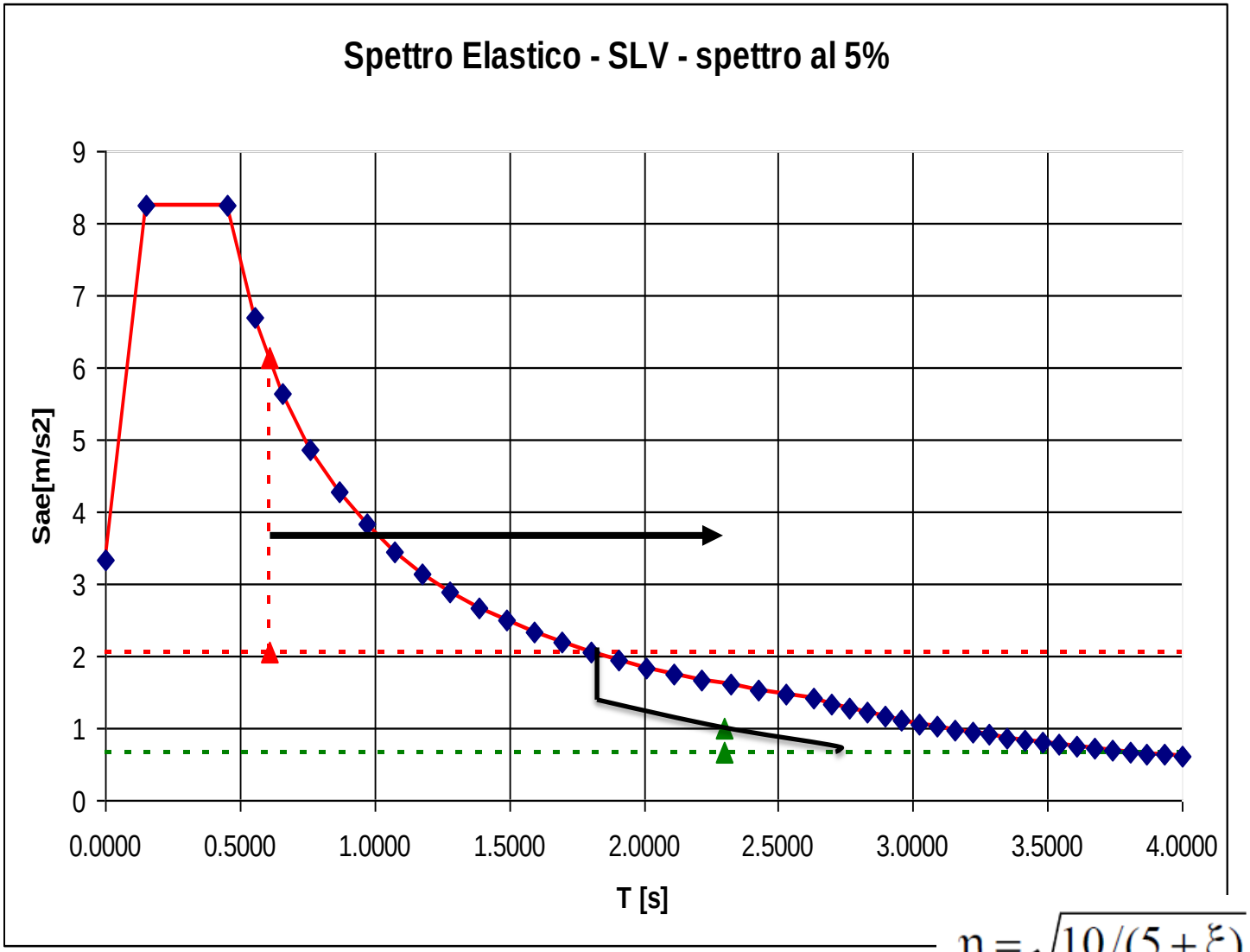
- instabilità di un diagonale di controvento,
- vincoli monolateri,
- contatti tra parti differenti di strutture,
- escursione in campo plastico di una cerniera plastica,
- dispositivi di dissipazione supplementare di energia,
- dispositivi di isolamento sismico.



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

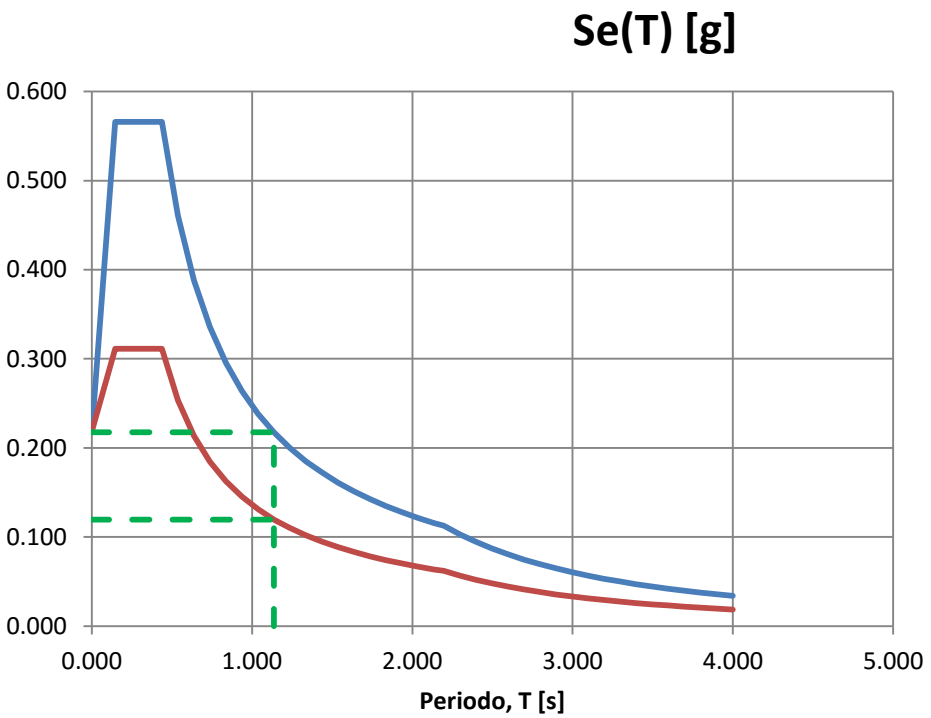
PROTEZIONE SISMICA MEDIANTE ISOLAMENTO



$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0{,}55$$

PROTEZIONE SISMICA MEDIANTE DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

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.

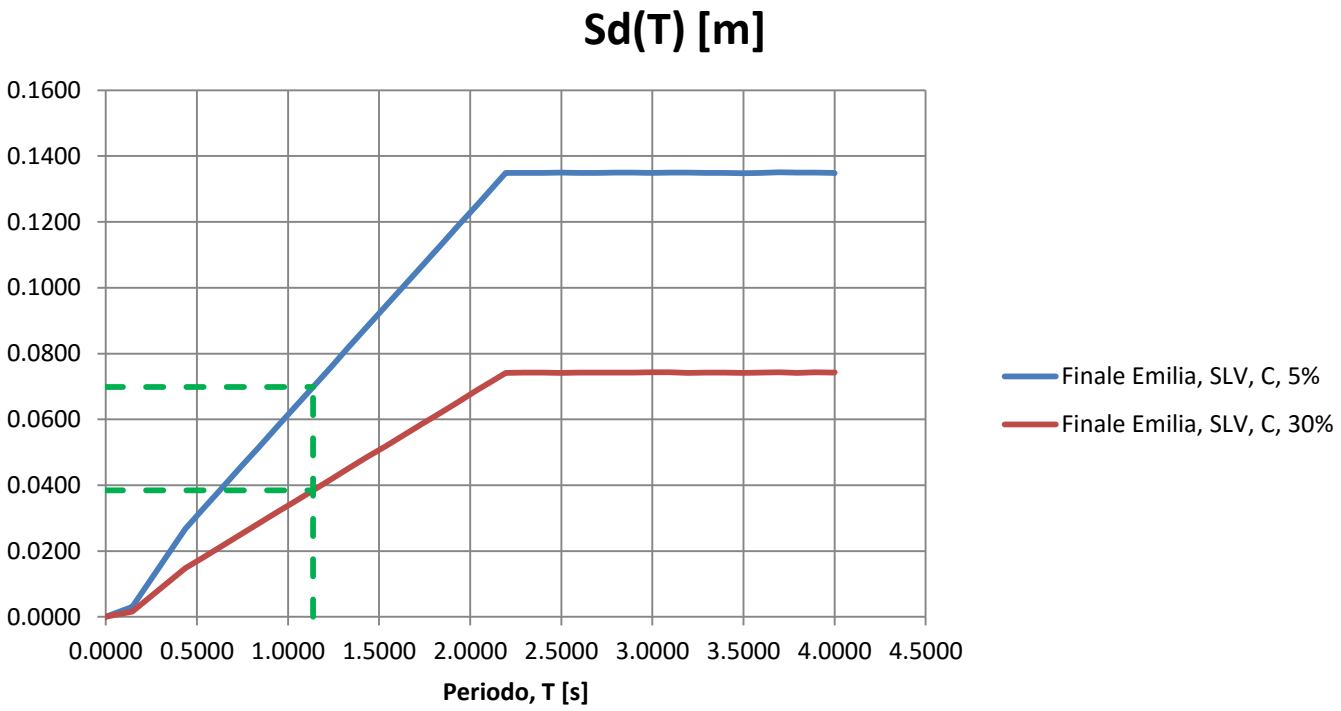


$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0{,}55$$

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

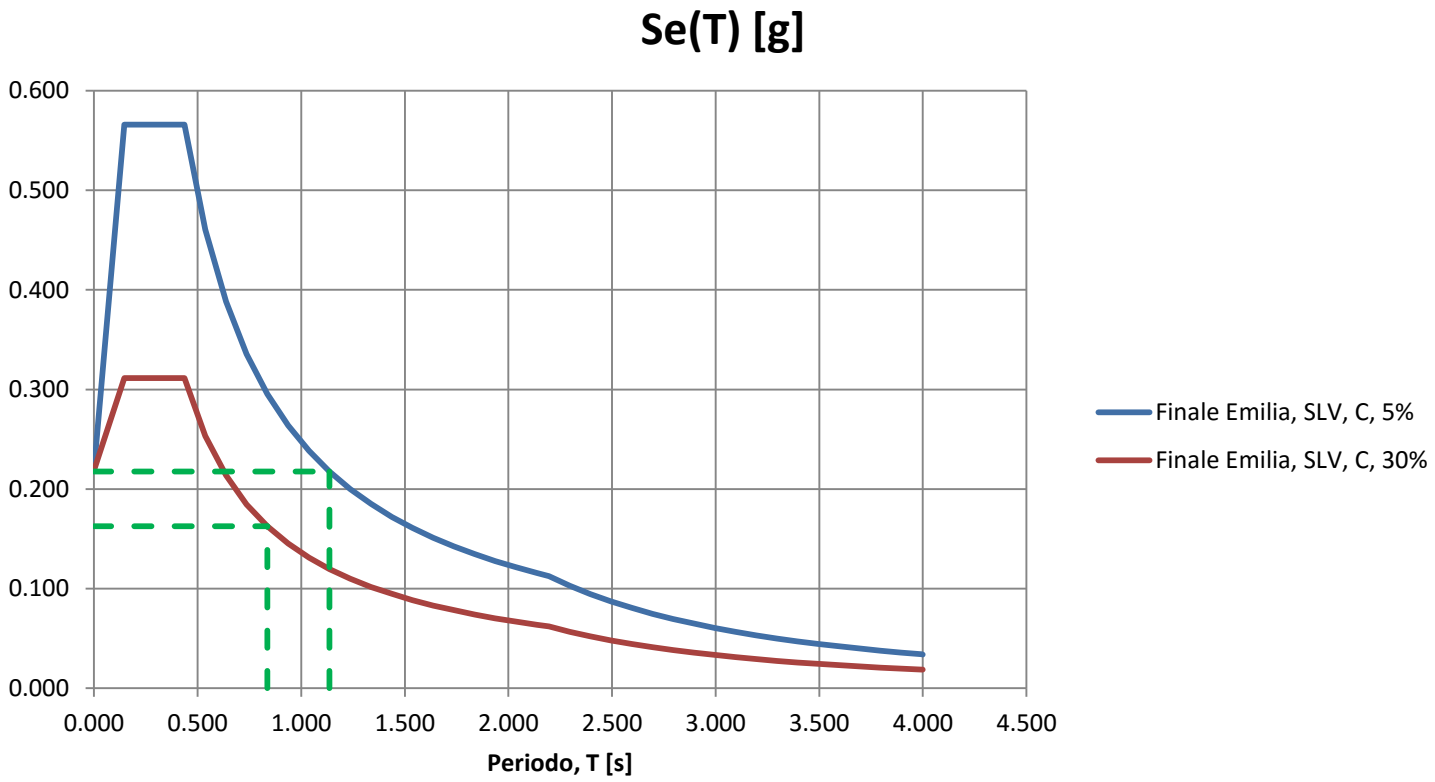
L'introduzione di dispositivi di dissipazione supplementare di energia, produce una significativa riduzione della componente di azione sismica assorbita dalla struttura. In altre parole si riduce sulla struttura la forza applicata e di conseguenza le sue deformazioni. Molti dispositivi aggiungono smorzamento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



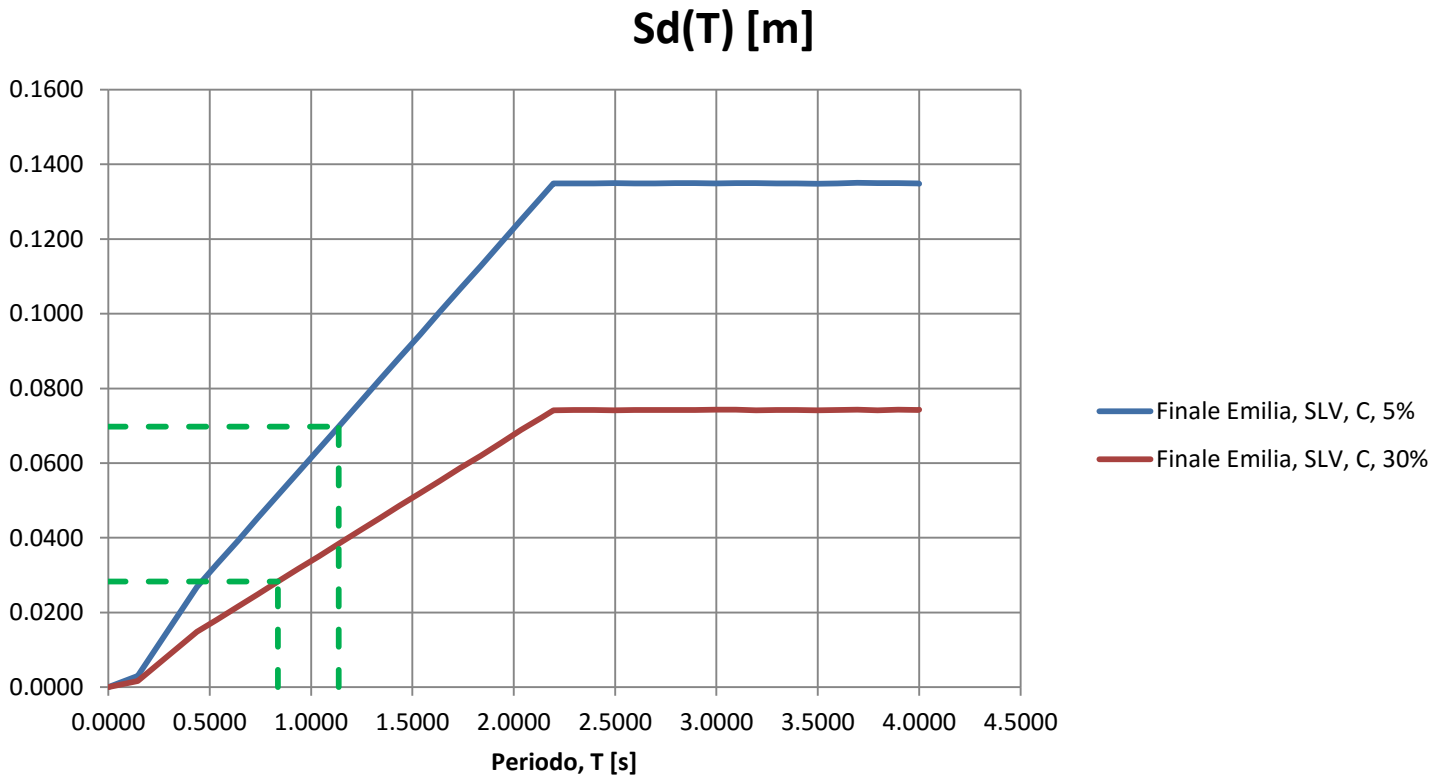
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@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 **smorzamento** 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 anche da un punto di vista procedurale più semplice.**

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

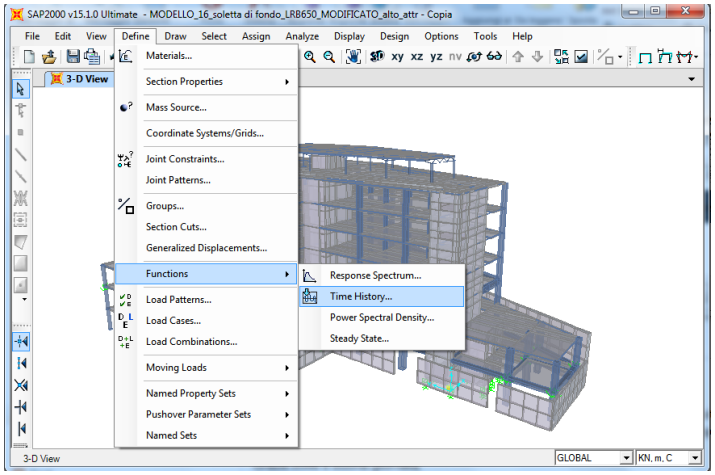
Passi costitutivi dell'analisi dinamica non lineare

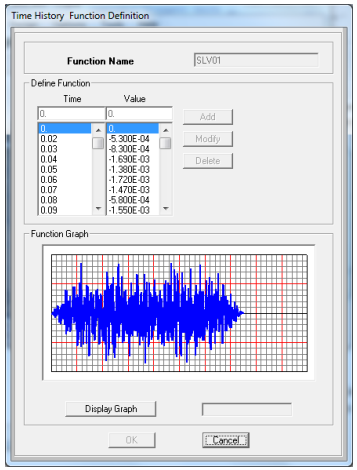
1. Modellazione della struttura: il modello computazione è fatto in modo tradizionale per tutta la struttura, particolare attenzione viene posta solo ai dispositivi di dissipazione, di seguito verranno riportate le modellazioni dei dispositivi di dissipazione più comuni.
2. Generazione di una famiglia 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.

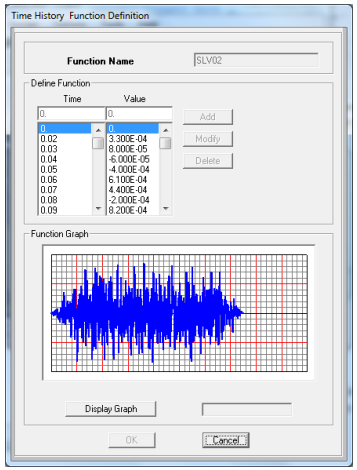
Sequenza di analisi dinamica non lineare

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.

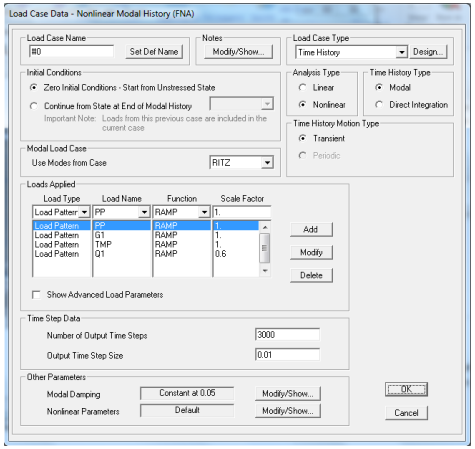
INTRODUZIONE ALL'ANALISI DINAMICA NON LINEARE

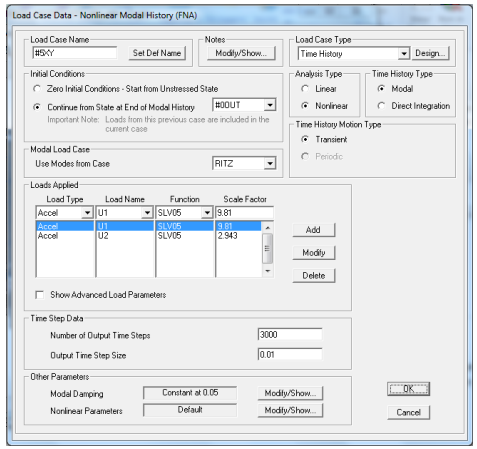






Analisi dinamica non lineare: le analisi dinamiche dei diversi set di accelerogrammi, partono dalla fine della analisi dei carichi statici verticali. Essendo una analisi non lineare, non vale il principio di sovrapposizione degli effetti, quindi si creano analisi per ogni scenario di carico.





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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

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:

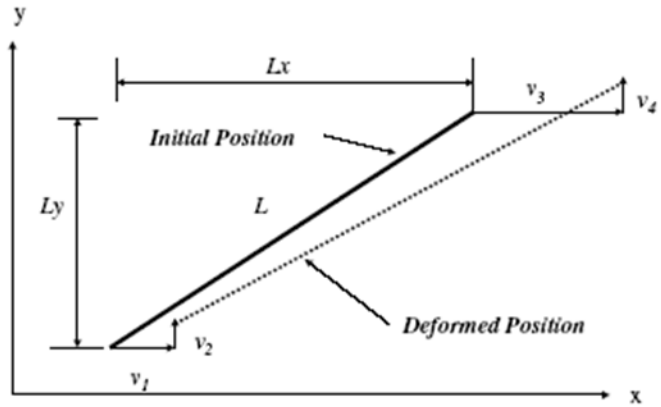
$$\dot{d}(t) = b\dot{u}(t) \qquad \textbf{(11)}$$

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:

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

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:

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

Le deformate dell'elemento espresse nelle coordinate modali:

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

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

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:

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

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

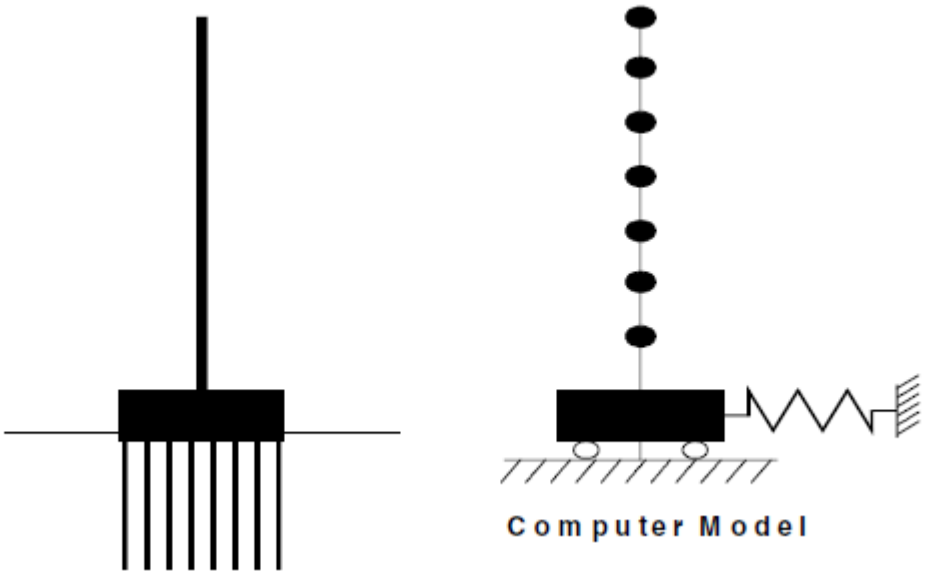
Dove la (19) rappresenta le forze modali non lineari e la (20) le forze modali associate alle componenti elastiche (effettive) degli NLLINK.

ANALISI MODALE
Eigen vectors vs Ritz vectors

Correzione per il troncamento dei modi ad alta frequenza (modi superiori)

- Nell'analisi di molte strutture, la risposta dinamica dei modi ad alta frequenza può essere significativa. Nell'uso del metodo classico degli autovettori, per analisi basate sulla sovrapposizione modale, come analisi spettrale o FNA, sono stati sviluppati metodi per migliorare la qualità dei risultati ottenuti e la predizione del comportamento dinamico della struttura: metodi basati sul "***controllo della massa persa***", metodi di "***correzione statica***".
- La "***correzione statica***" consiste nello stimare la bontà del numero di modi considerato, rapportando (in termini energetici) la soluzione esatta (su tutti i gradi di libertà) di un modello soggetto ad un carico statico arbitrario, con la soluzione ottenuta con il sistema di gradi di libertà ridotto ai soli modi di vibrare. Nel caso in cui tale controllo lo richieda, la procedura di "***correzione statica***" modifica alcuni autovettori in modo da rendere accettabile tale rapporto energetico.
- Nel metodo di ***Ritz*** viene applicata una correzione agli autovettori in modo da compensare gli errori indotti dal trascurare i modi superiori. In altre parole, immaginiamo un sistema costituito da ***N*** gradi di libertà. Si chiede di calcolare ***m*** modi di vibrare, con ***m<<N***. Gli ***m*** modi di vibrare sono corretti in modo da considerare gli effetti sulla risposta indotti dagli ***N-m*** modi non considerati.

Esempio di una mensola con fondazione massiva



- Immaginiamo un semplice modello costituito da una mensola (discretizzata lungo l'altezza) ed una fondazione massiva e si confronti i risultati dell'analisi modale e spettrale utilizzando il metodo classico agli autovalori (senza metodi correttivi) ed il metodo di Ritz. Nel piano il sistema ha 8 gdl.

Periodi e fattori di partecipazione di massa

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

- Periodi e fattori di partecipazione di massa dei modi considerati

Raffronto del taglio al piede

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

- Si raffronta il taglio al piede ottenuto da un'analisi spettrale con il metodo della sovrapposizione modale in cui i modi sono stati calcolati con il metodo esatto degli autovettori o con il metodo di Ritz.
- Il metodo di Ritz introduce una correzione di massa attivata, ma il beneficio maggiore è sul taglio al piede, che per merito della correzione che esegue mette in conto l'effetto dei modi superiori. Tende alla soluzione attesa con un numero di modi inferiore e comunque procedendo in modo cautelativo.

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 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):

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

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

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

Direct Integration

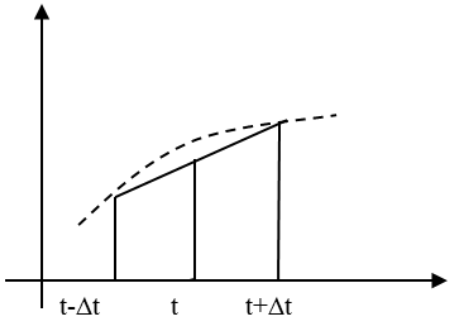
Il metodo di Newmark rientra nei metodi a **passo singolo**, ovvero, si determinano le grandezze al passo i-esimo con quelle al passo i-1.

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 $\beta=1/4$

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					

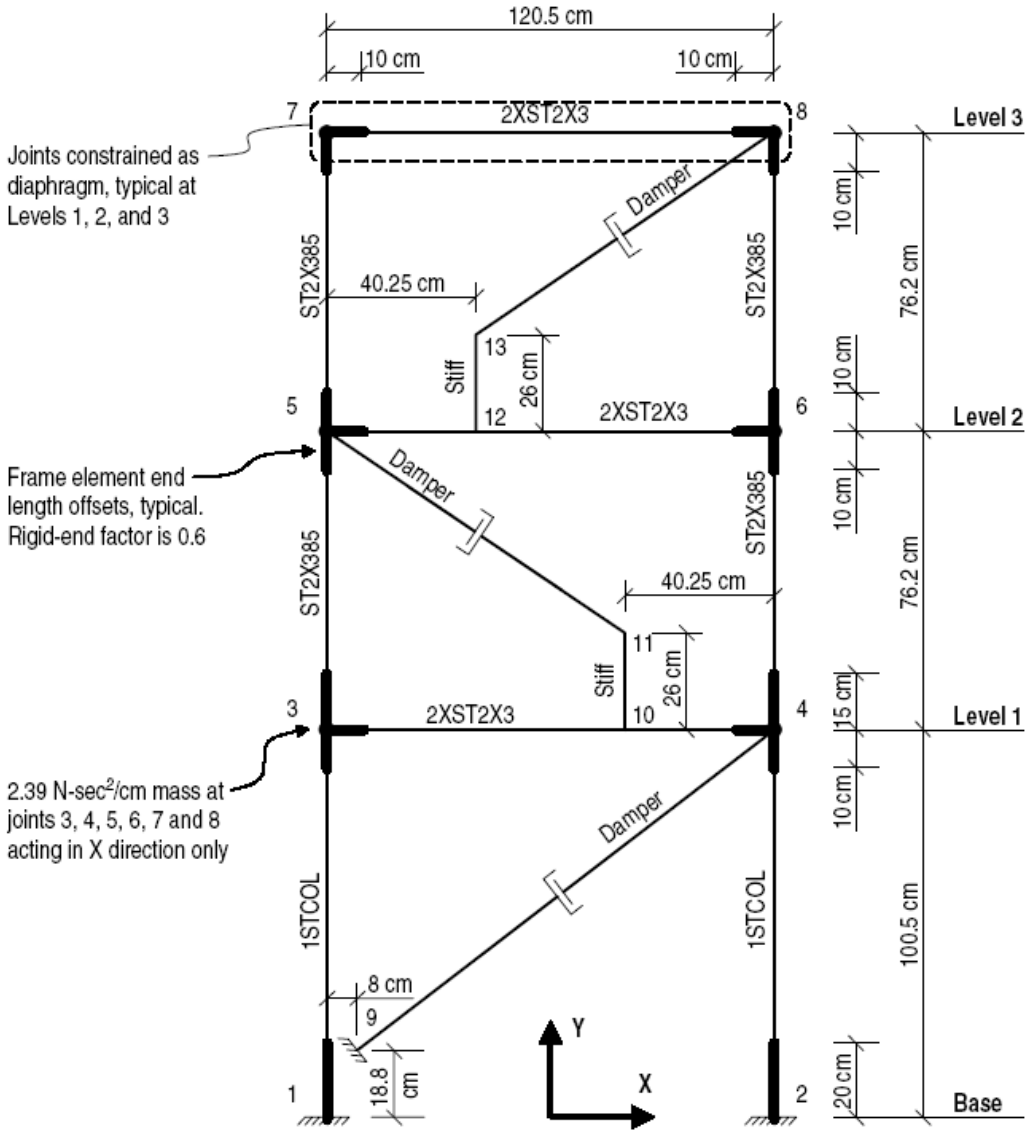
Il metodo Hilber-Hughes-Taylor (HHT) noto anche come metodo α

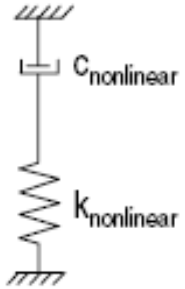
$$M\ddot{u}_t + (1+\alpha)C\dot{u}_t + (1+\alpha)Ku_t = (1+\alpha)F_t - \alpha F_{t-\Delta t} + \alpha C\dot{u}_{t-\Delta t} + \alpha K u_{t-\Delta t}$$

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



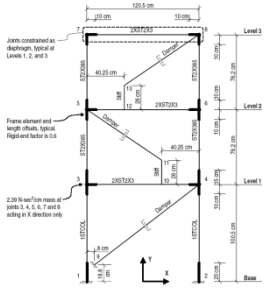


Damper Properties for Nonlinear Analyses

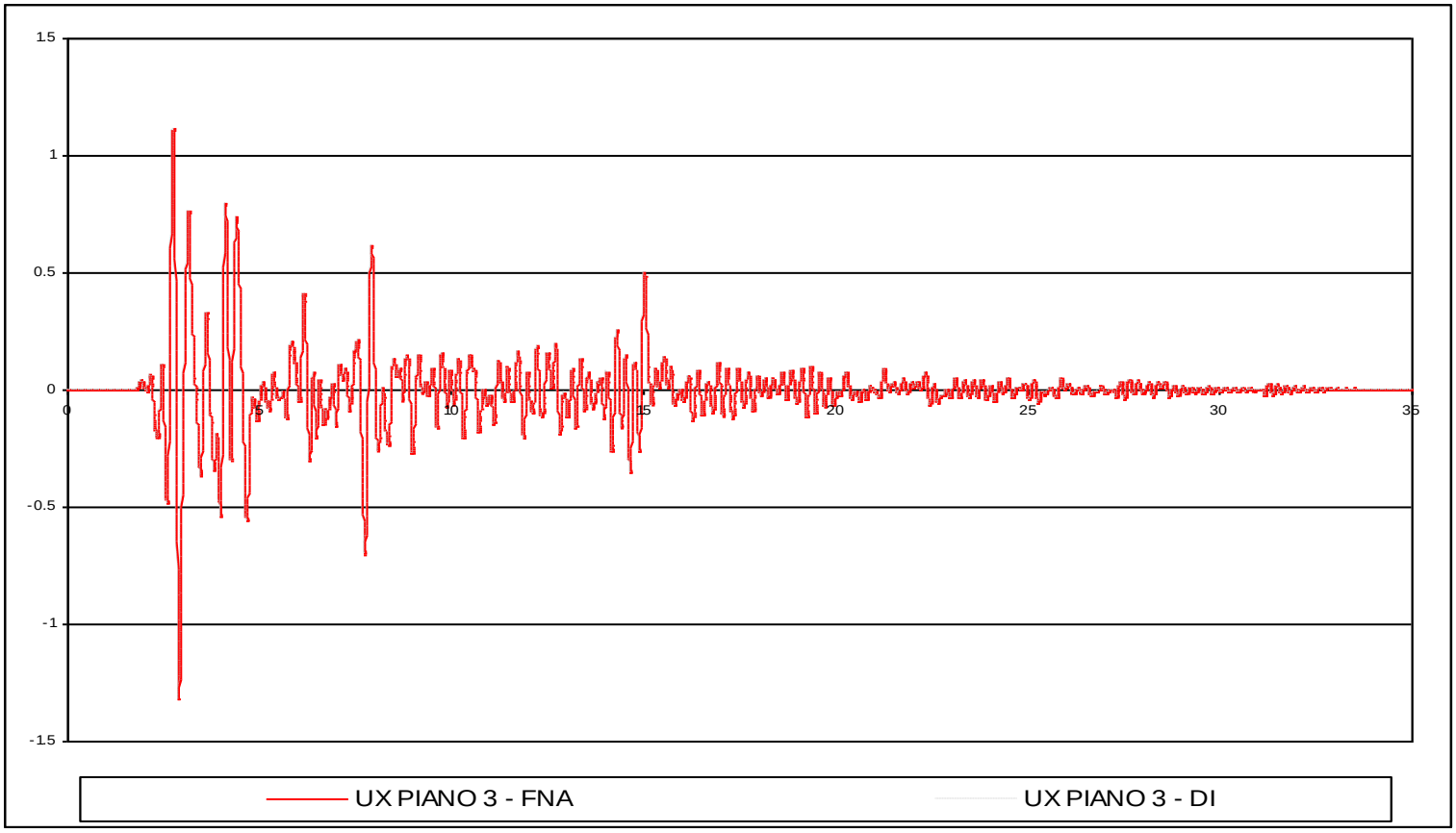
Damper Properties for Linear Analyses

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



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

OSSERVAZIONI SULLO SMORZAMENTO

Smorzamento viscoso lineare equivalente

• Una struttura a comportamento elastico dissipa energia attraverso diversi meccanismi. Questo normalmente viene tenuto in conto mediante uno smorzamento viscoso, detto anche viscosità lineare equivalente.

• Quando una struttura si snerva dissipa molta energia mediante meccanismi plastici. Questa dissipazione energetica è quantificabile come area sottesa in un ciclo isteretico ottenuto dalla legge Forza-Spostamento (Momento-Rotazione) di questi meccanismi plastici. Quello di cui ci occupiamo adesso non è la dissipazione energetica per effetto di danno, ma una dissipazione energetica propria di una struttura elastica. Anche in strutture in cui si ha un comportamento plastico (es. formazione di cerniere plastiche, o strutture protette mediante dispositivi di dissipazione) si ha comunque una dissipazione viscosa per la fase elastica.

• In analisi spettrali si tiene in conto di questa dissipazione viscosa lineare utilizzando un rapporto di smorzamento critico del 5% e tracciando gli spettri di risposta utilizzando tale rapporto.

• Vediamo come tenere in conto della componente dissipativa viscosa anche in analisi dinamiche non lineari (analisi al passo o Time History).

Smorzamento viscoso lineare equivalente

• In una analisi al passo, in ogni istante di tempo deve essere soddisfatta la seguente relazione:

$$R_{external} = R_{internal} = R_K + R_M + R_C$$

Per analisi lineari:

$$R_K = (stiffness)x(displacement) = Kr$$

Per analisi non lineari:

$$R_K = \sum_{all\ steps} K_{tangent}\,\Delta r$$

$$R_M = (mass)x(acceleration) = M\ddot{r}$$

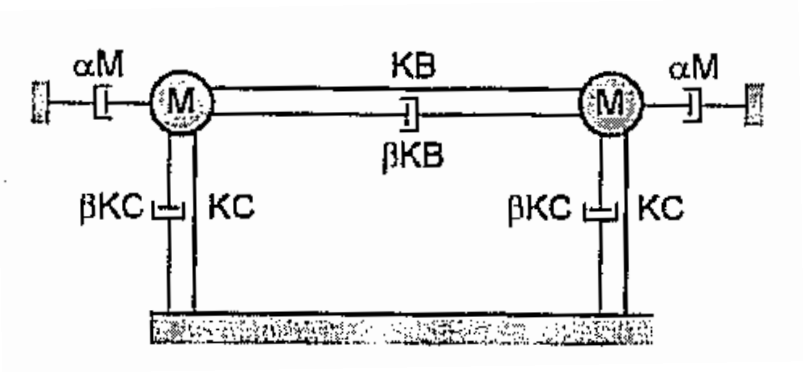
E normalmente:

$$R_C = (damping)x(velocity) = C\dot{r}$$

La matrice di rigidezza e di massa, K e M sono facilmente definibili, necessita una definizione anche la matrice di smorzamento C.

Smorzamento viscoso lineare equivalente – smorzamento alla Rayleigh

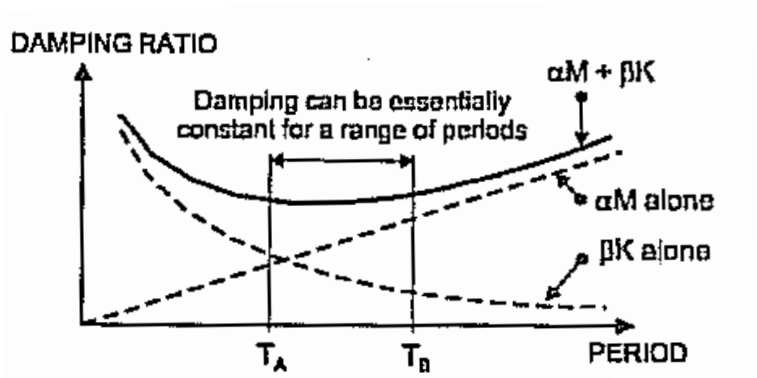
• Secondo l'ipotesi di **Rayleigh**, una generica struttura può essere schematizzata come di seguito:



Il termine **αM** rappresenta uno smorzamento proporzionale alla massa è connesso a terra. Rappresenta una forza di smorzamento esterna.
Il termine **βK** rappresenta uno smorzamento proporzionale alla rigidezza è parallelo agli elementi. Rappresenta una forza di smorzamento interna.
La matrice di smorzamento **C** è ottenuta da: **C = αM + βK**
Il significato fisico è chiaro, la scelta dei parametri α e β non è chiara ed univoca.

Smorzamento viscoso lineare equivalente – smorzamento alla Rayleigh

• Il rapporto di smorzamento può essere diagrammato rispetto al periodo



In analisi lineari, i coefficienti α e β possono essere scelti in modo da rendere essenzialmente costante lo smorzamento all'interno di un range di periodo. Un possibile metodo è:

• Scegliere $T_B = 0.9\ T_1$, $T_A = 0.2\ T_1$

Dove T_1 è il primo modo della struttura.

• Fissare ad un valore tipico (es. ξ = 5%) il rapporto di smorzamento in corrispondenza dei due periodi.

Lo smorzamento è più alto nei modi ad alta frequenza, questo è generalmente buono per ridurre problemi numerici. Tuttavia, in analisi non lineare, per elementi che hanno una forte rigidezza iniziale (comportamento rigido-plastico) si rischia di introdurre uno smorzamento lineare equivalente troppo elevato e non realistico.

Smorzamento viscoso lineare equivalente – smorzamento modale

• In analisi lineare od in analisi non lineare in cui sia applicabile un metodo di disaccoppiamento delle equazioni di moto su base modale, la struttura vibra in modo indipendente in ogni modo.

• Lo smorzamento modale coglie sia effetti interni che esterni, le forze non sono però uguali di quelle di Rayleigh.

For n^{th} mode : $\mathbf{C}_n = \xi_n \frac{4\pi}{T_n} (\mathbf{M}\,\phi_n)(\mathbf{M}\,\phi_n)^T$

For structure : $\mathbf{C} = \Sigma\, \mathbf{C}_n$

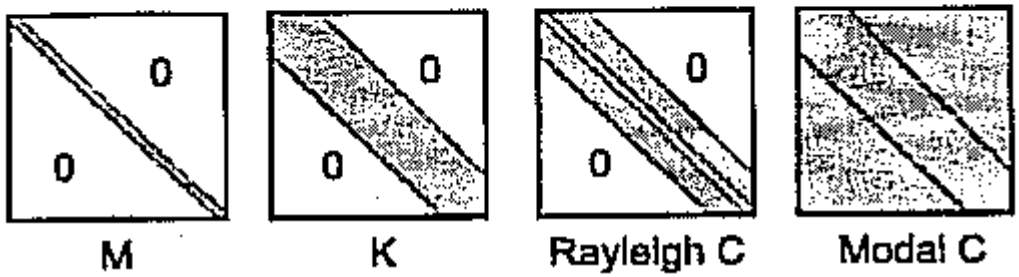
Where : ξ = damping ratio, T = period,
$\mathbf{M}$ = mass matrix, ϕ = mode shape.

• Lo smorzamento modale rimane costante durante l'analisi anche al variare della rigidezza della struttura.

Smorzamento modale vs Smorzamento alla Reyleigh

- La matrice di massa M è diagonale
- La matrice di rigidezza K è a banda
- Nella relazione di Reyleigh la matrice C risulta quindi a banda
- Nella trattazione dello smorzamento modale la matrice C è invece completa

  - The mass matrix, M, is diagonal.
  - The stiffness matrix, K, is banded.
  - For Rayleigh damping, $C = \alpha M + \beta K$, so C is banded.
  - For modal damping, C is generally a full matrix (not banded).



- Fissare uno smorzamento modale è più semplice e non si rischia di introdurre smorzamenti non realistici indotti da elementi molto rigidi od elementi a comportamento rigido-plastico.

MODELLAZIONE FEM ELEMENTI A NON LINEARITA' CONCENTRATA

NLLINK - PROPRIETA' GENERALI:

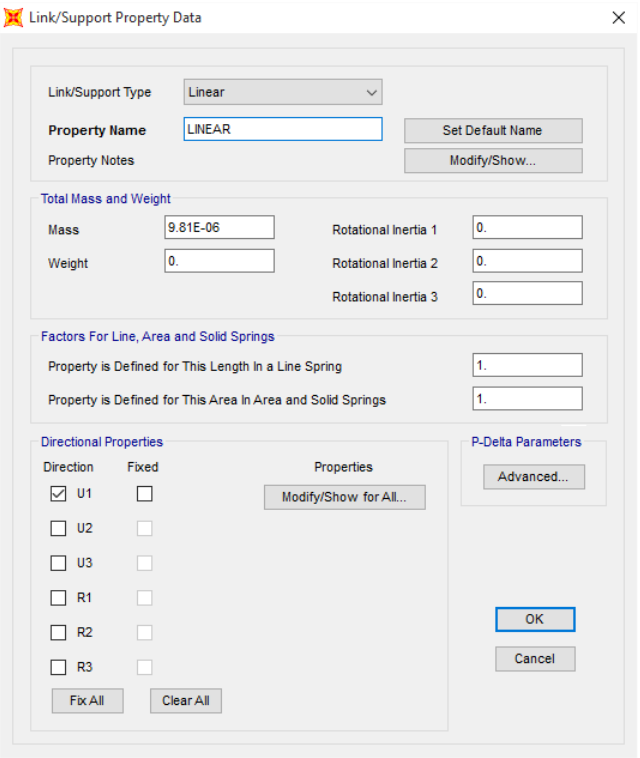
L'elemento **Nllink** viene usato per modellare delle non linearità locali all'interno della struttura come ad esempio **Multi linear elastic** (elementi ad elastici n-lineari), **Gap** (elementi solo compressi costituiti da un molla con in serie una apertura), **Hook** (elementi solo tesi costituiti 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).

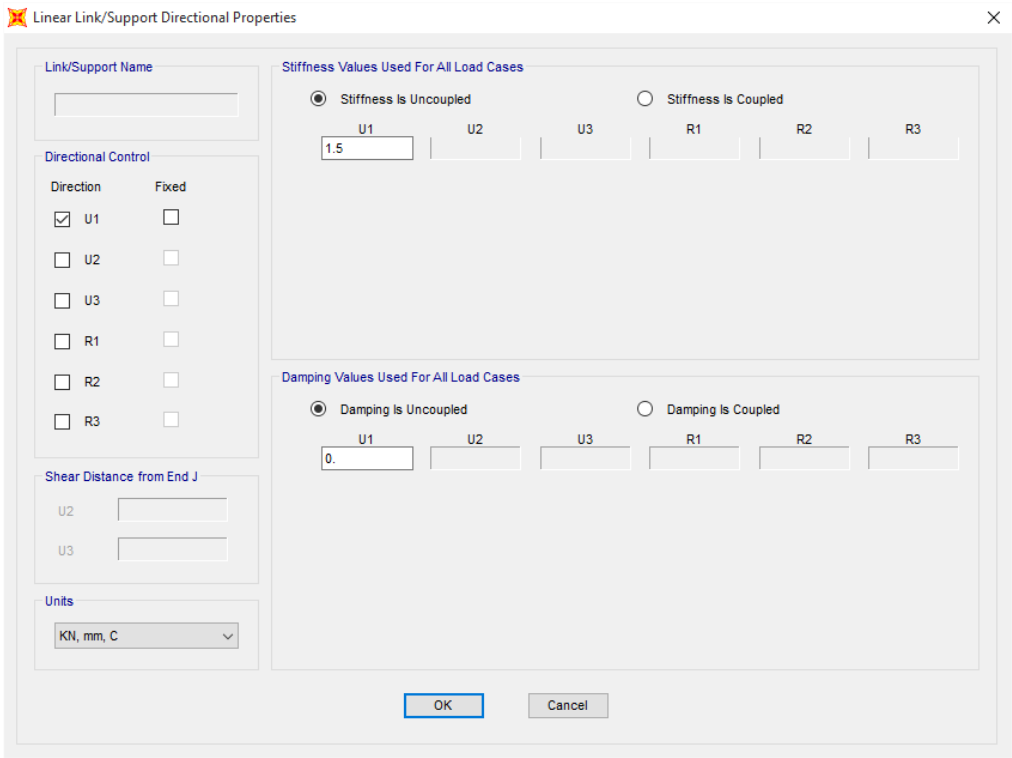
- E' simile ad un elemento trave nello spazio.
- Può essere ad 1 nodo (per esempio molle a terra) o a 2 nodi (anche coincidenti nello stato indeformato).
- E' assunto come composto da 6 "molle" indipendenti (una per DOF).
- Ogni "molla" ha due gruppi di proprietà:
    - *lineari*: effective stiffness 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*.

Seguiranno esempi delle diverse leggi costitutive implementate in SAP2000.

LINEAR:

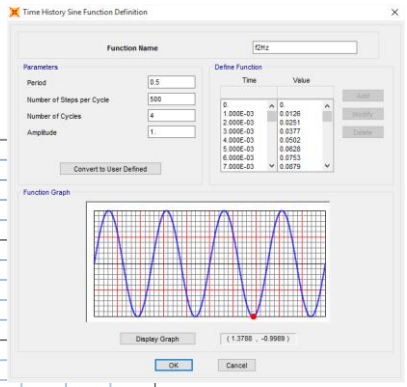
Il comportamento è **lineare elastico**. E' una semplice molla che può essere accoppiata o disaccoppiata su tutti e 6 i gdl. Si riporta a titolo di esempio una legge costitutiva F-D.



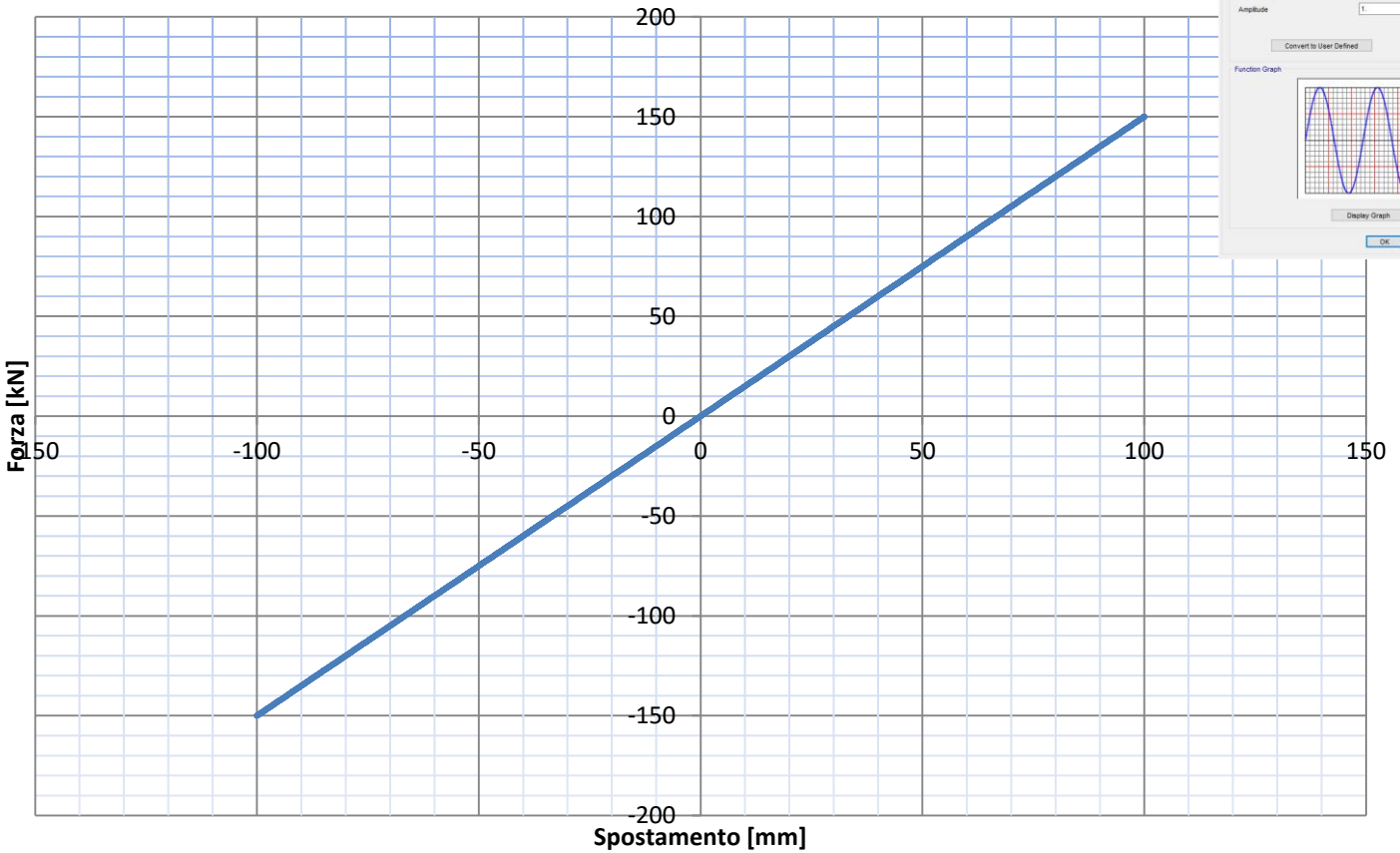


LINEAR:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

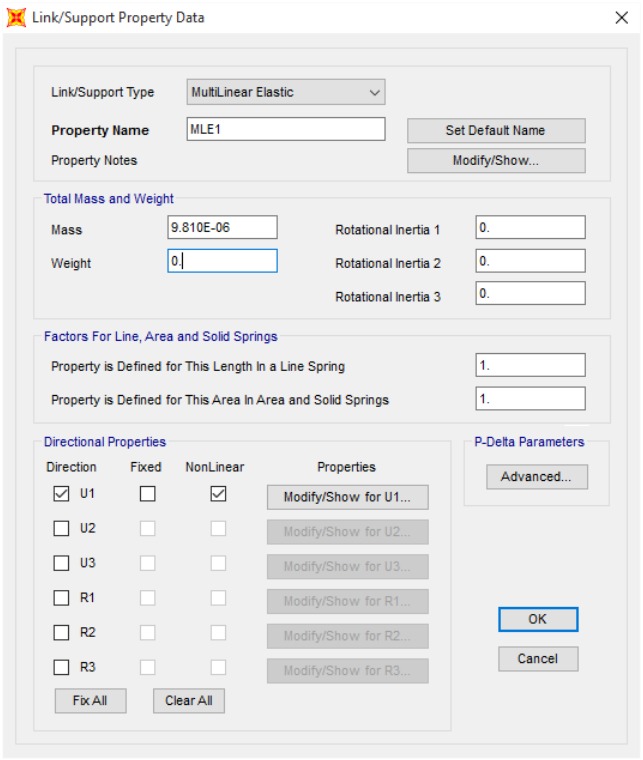


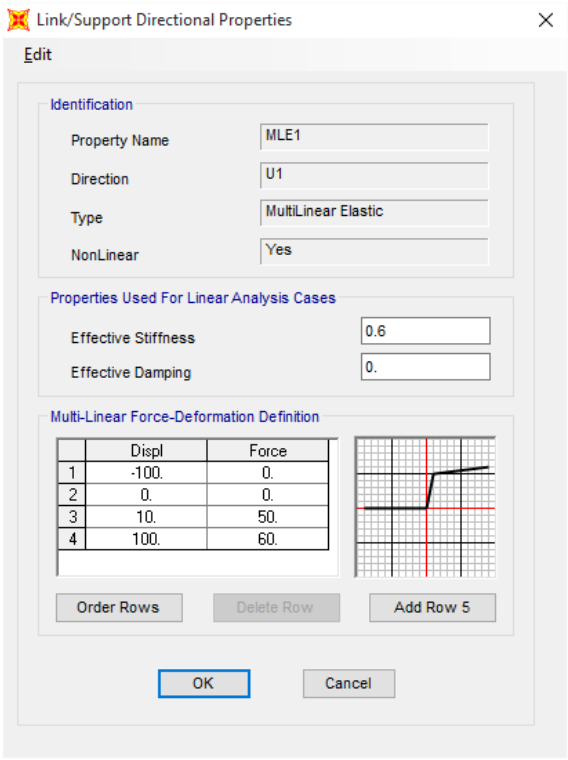
Risultati F-D per analisi TH

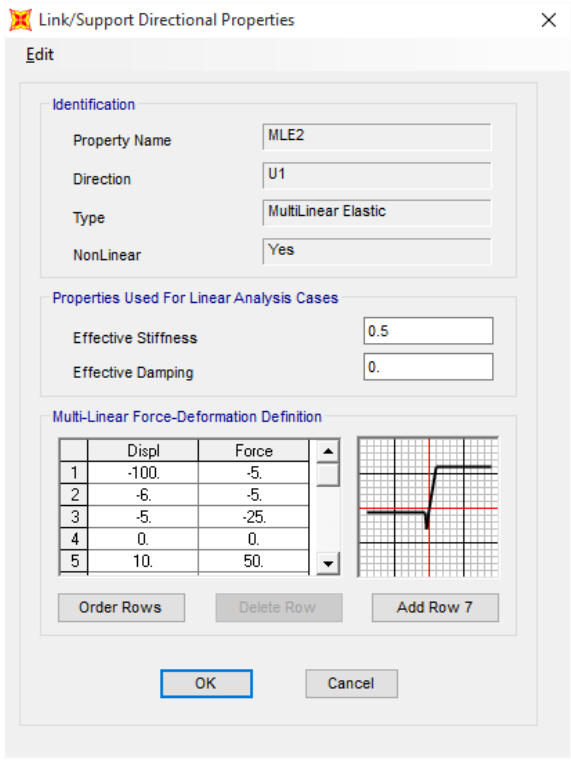


MULTILINEAR ELASTIC:

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. Si riportano a titolo di esempio due possibili leggi costitutive F-D.

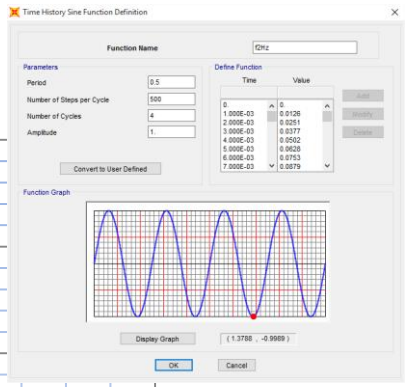




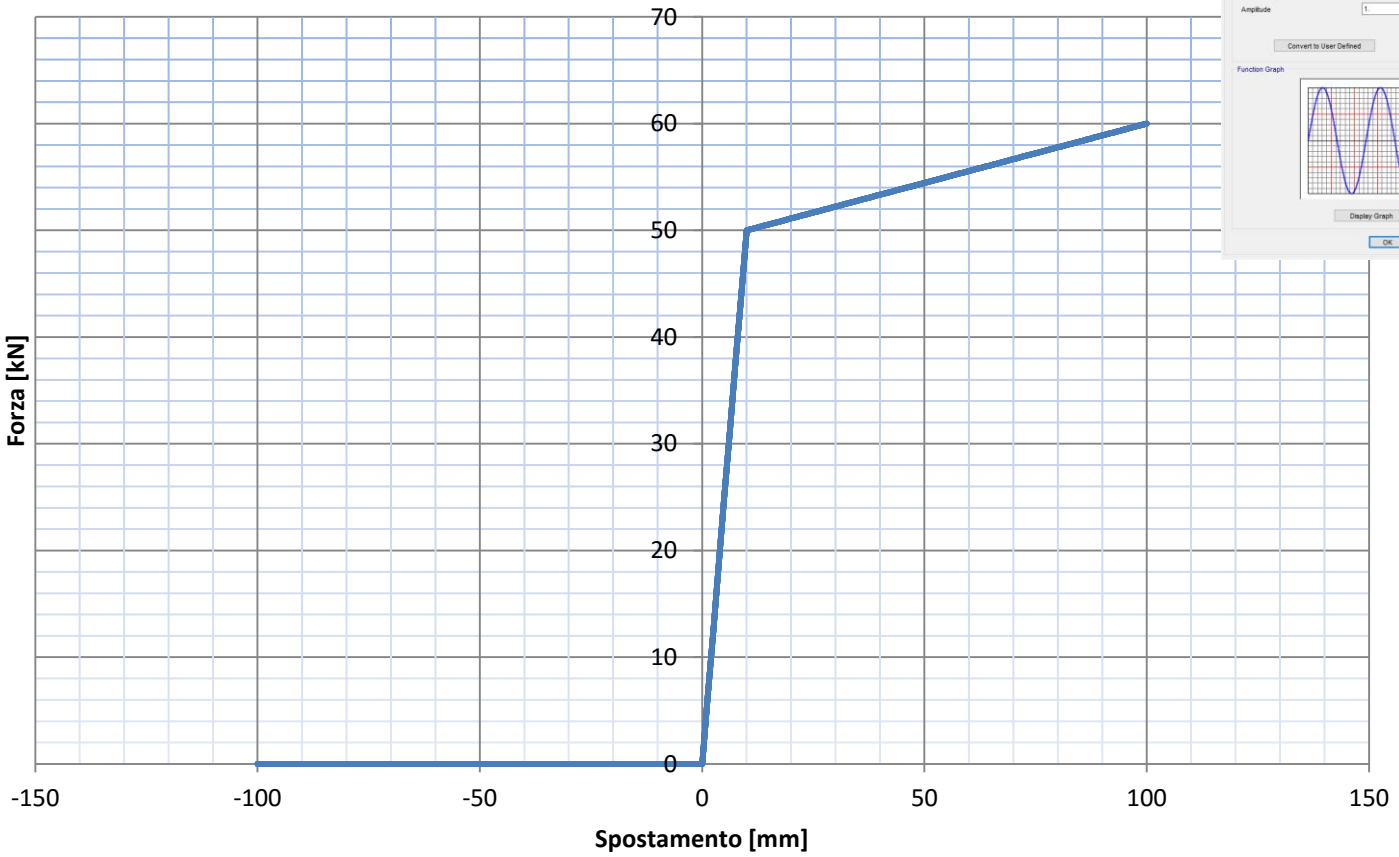


MULTILINEAR ELASTIC – MLE1:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.



Risultati F-D per analisi TH

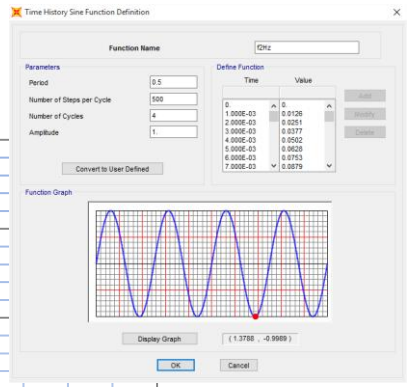


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

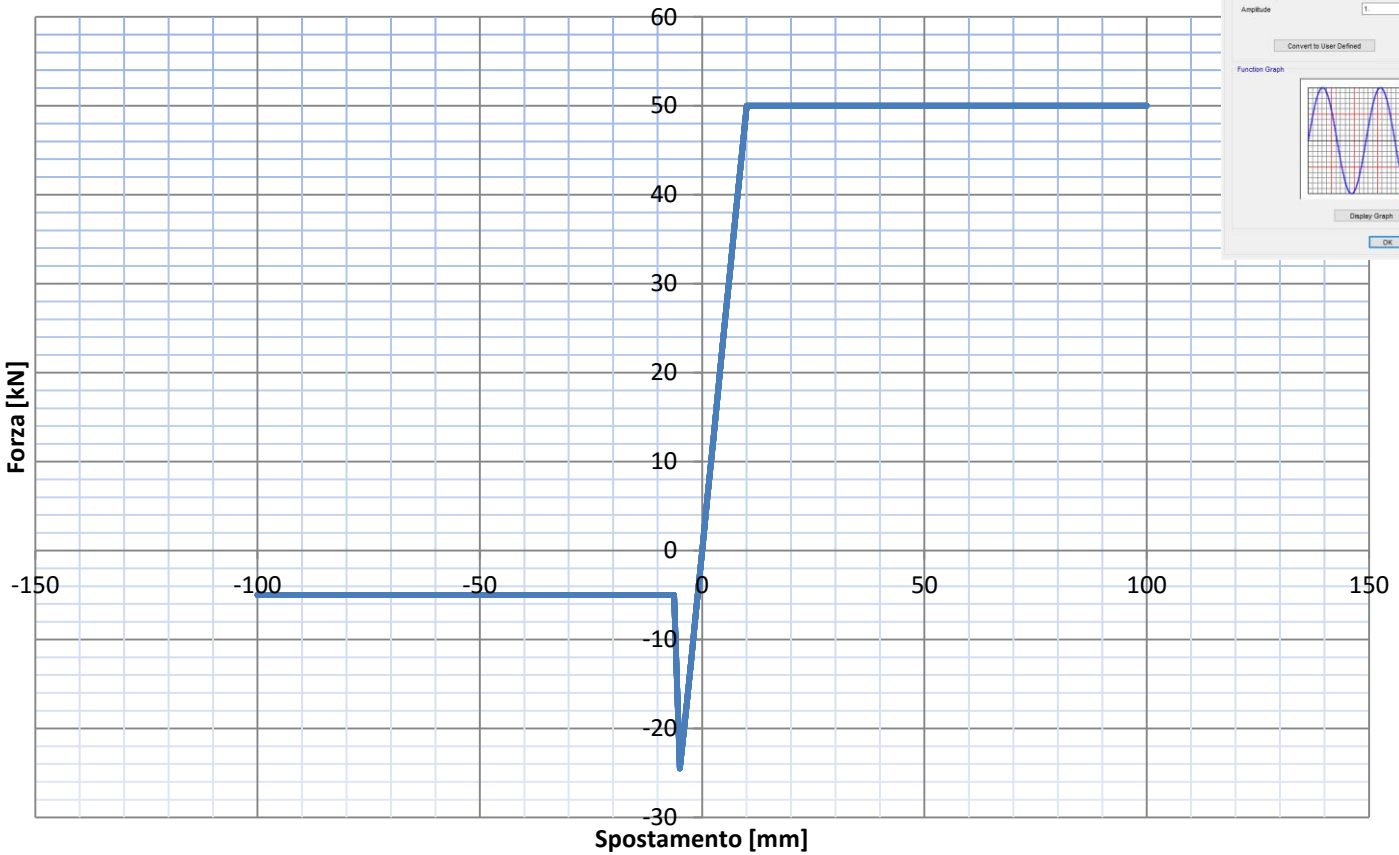
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

MULTILINEAR ELASTIC – MLE2:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

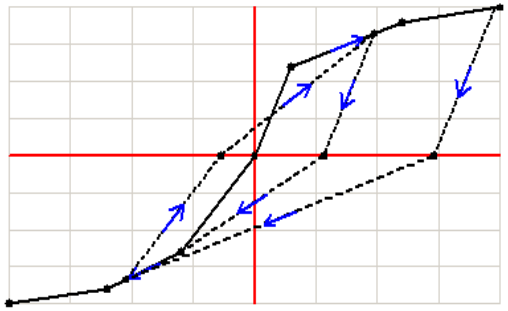


Risultati F-D per analisi TH

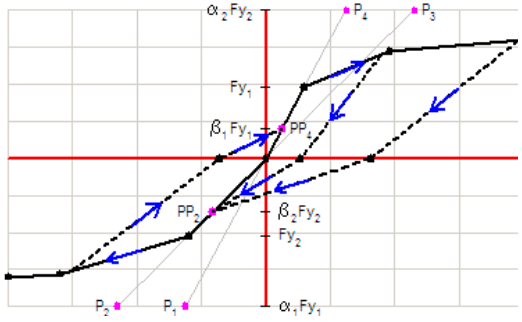


MULTILINEAR PLASTIC:

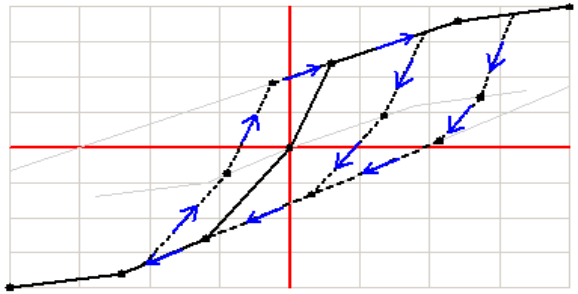
La relazione Forza-Deformazione è data da una curva **n-lineare elastica**. La curva n-lineare rappresenta rigidezze costanti a tratti. La curva in fase di **scarico** deriva da quelle di carico secondo tre diversi modelli isteretici: **Takeda**, **Pivot** o ad **incrudimento cinematico**.



isteresi secondo il modello Takeda



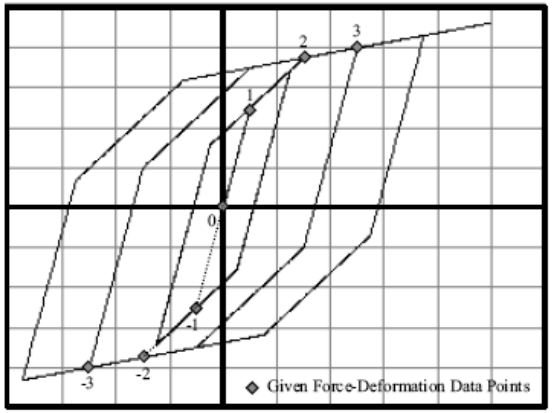
isteresi secondo il modello Pivot



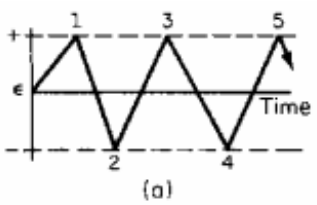
isteresi secondo un modello ad incrudimento cinematico

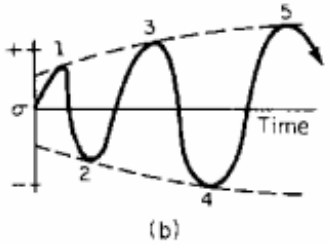
MULTILINEAR PLASTIC - KINEMATIC:

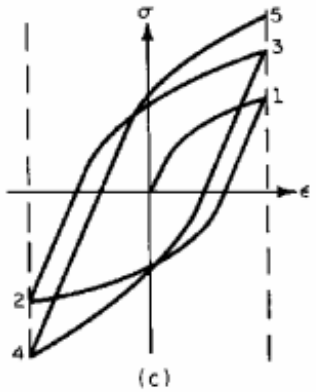
- Un punto deve coincidere con l'origine (0,0).
- Almeno un punto deve essere a deformazione positiva/negativa
- Curve monotone positive/negative



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)







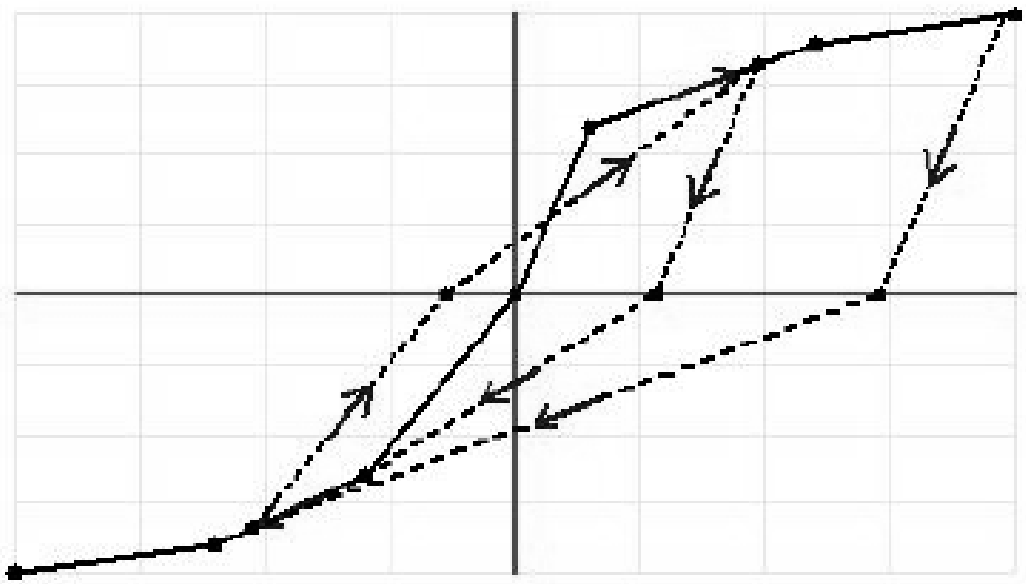
a) Ciclo di carico (deformata-tempo)

b) Risposta in stress

c) Cicli isteretici

MULTILINEAR PLASTIC - TAKEDA:

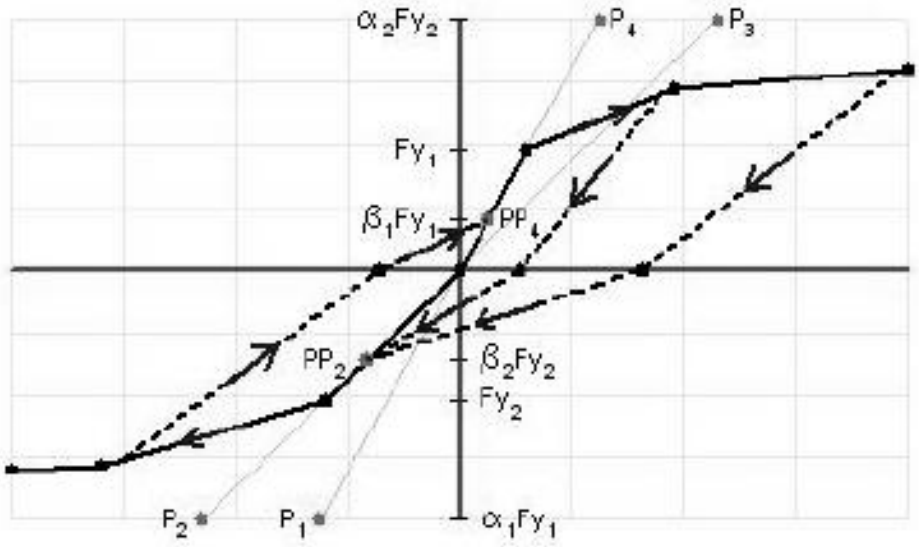
- Un punto deve coincidere con l'origine (0,0).
- Almeno un punto deve essere a deformazione positiva/negativa
- Curve monotone positive/negative



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

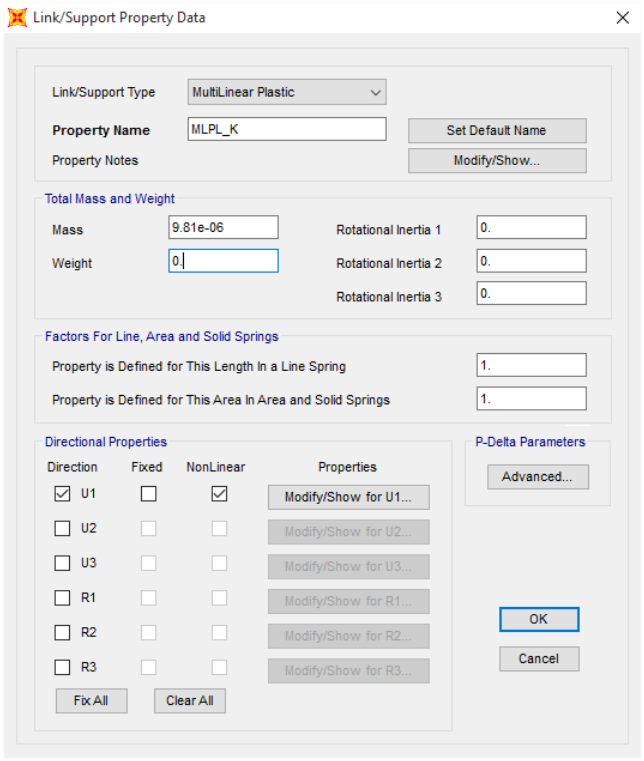
β1, con il quale posizionare il punto di pivot di inversione da zero verso una forza positiva

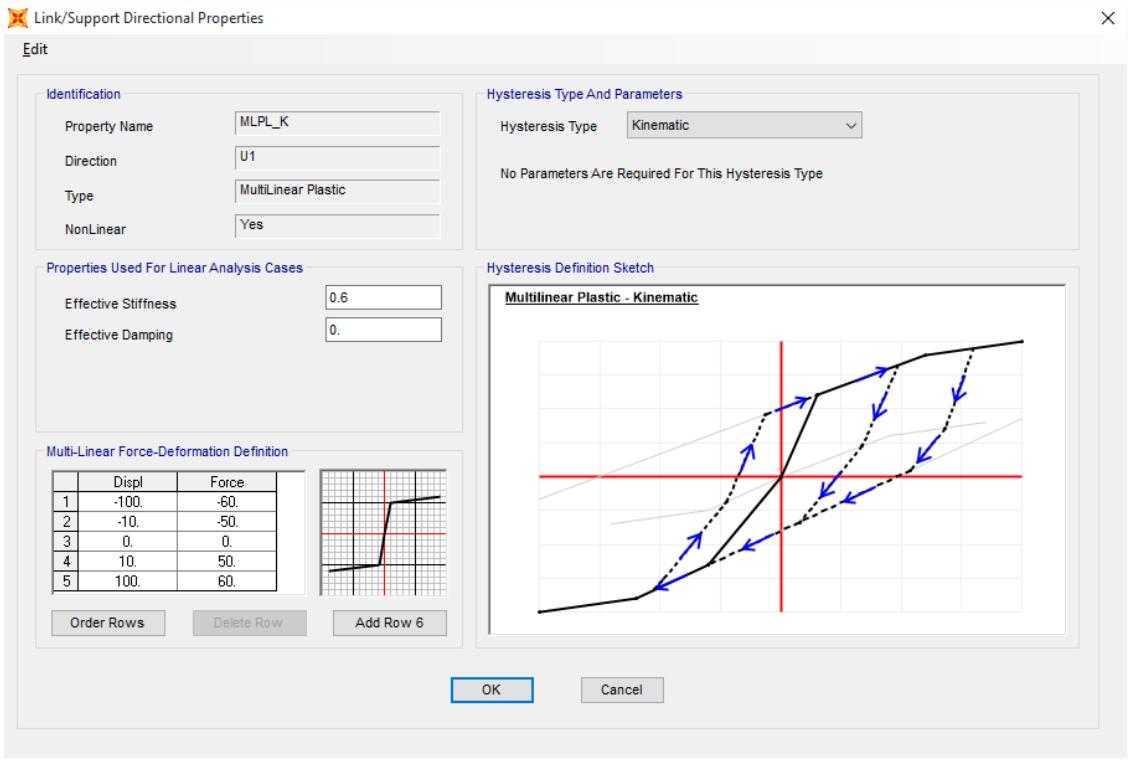
β2, con il quale posizionare il punto di pivot di inversione da zero verso una forza negativa

η, quantifica la degradazione della rigidezza elastica dopo lo snervamento.

MULTILINEAR PLASTIC:

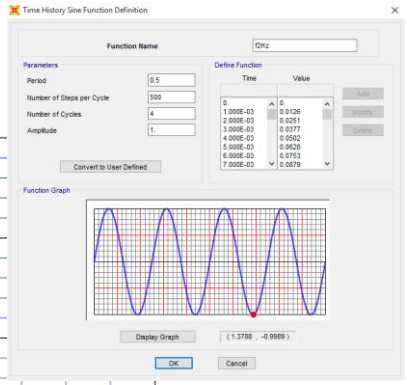
Si riportano a titolo di esempio tre possibili leggi costitutive F-D.



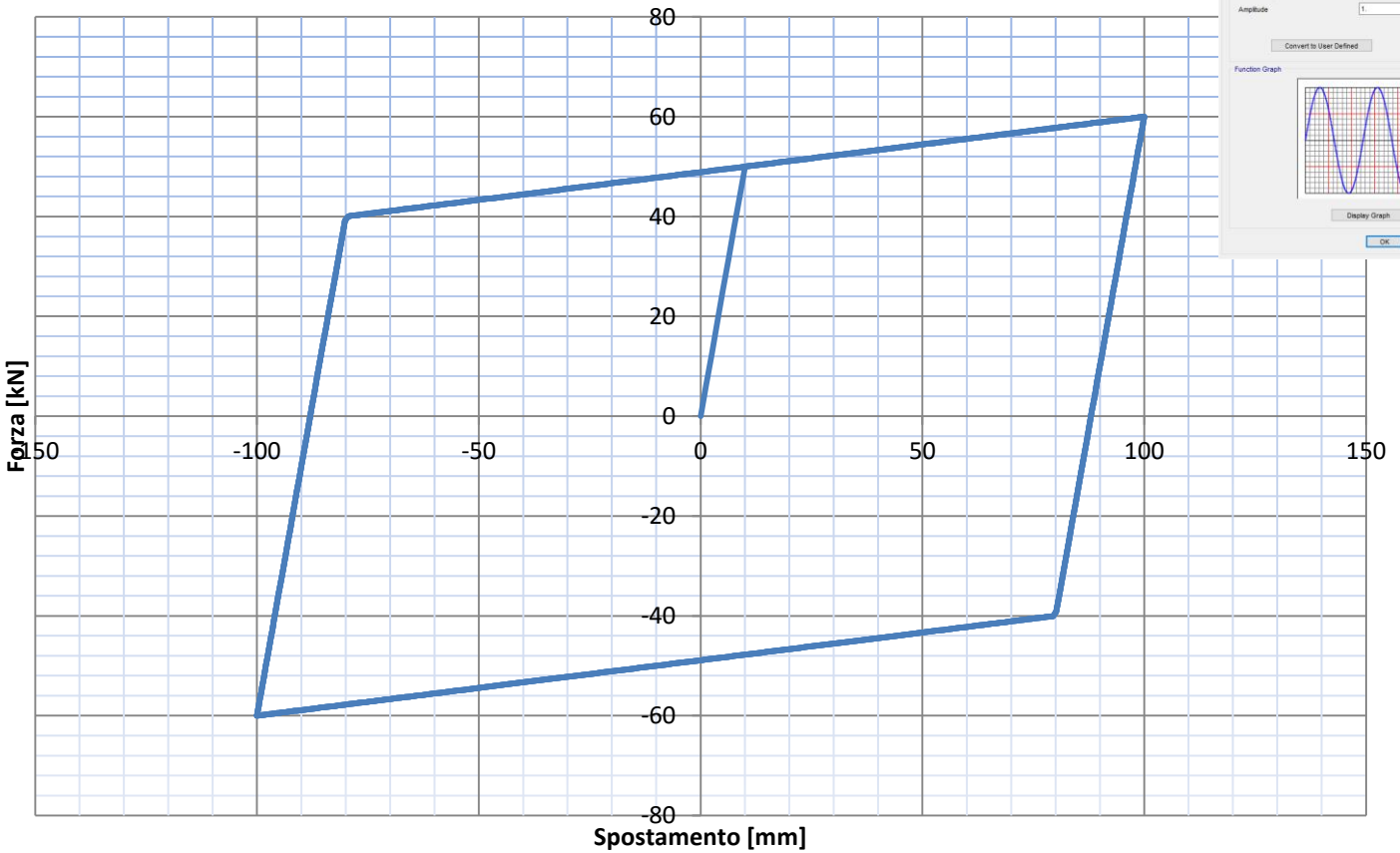


MULTILINEAR ELASTIC – MLP_K:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

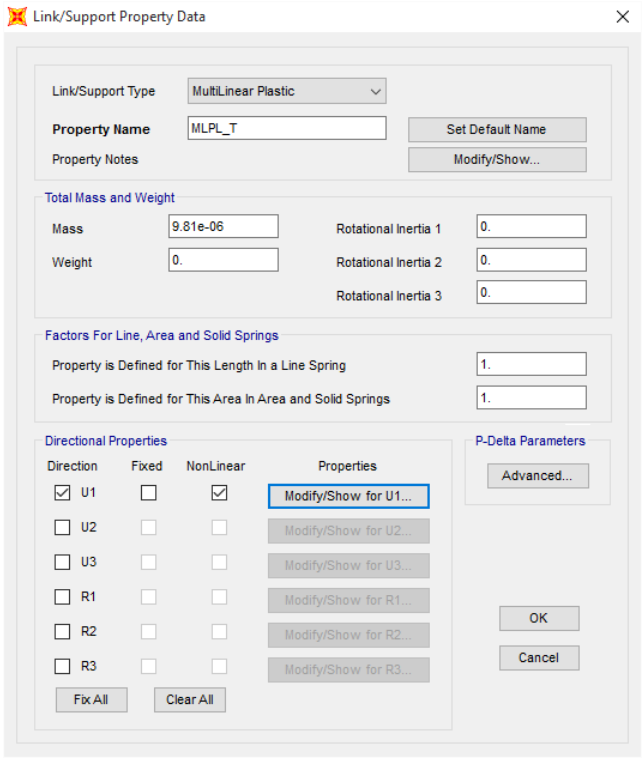


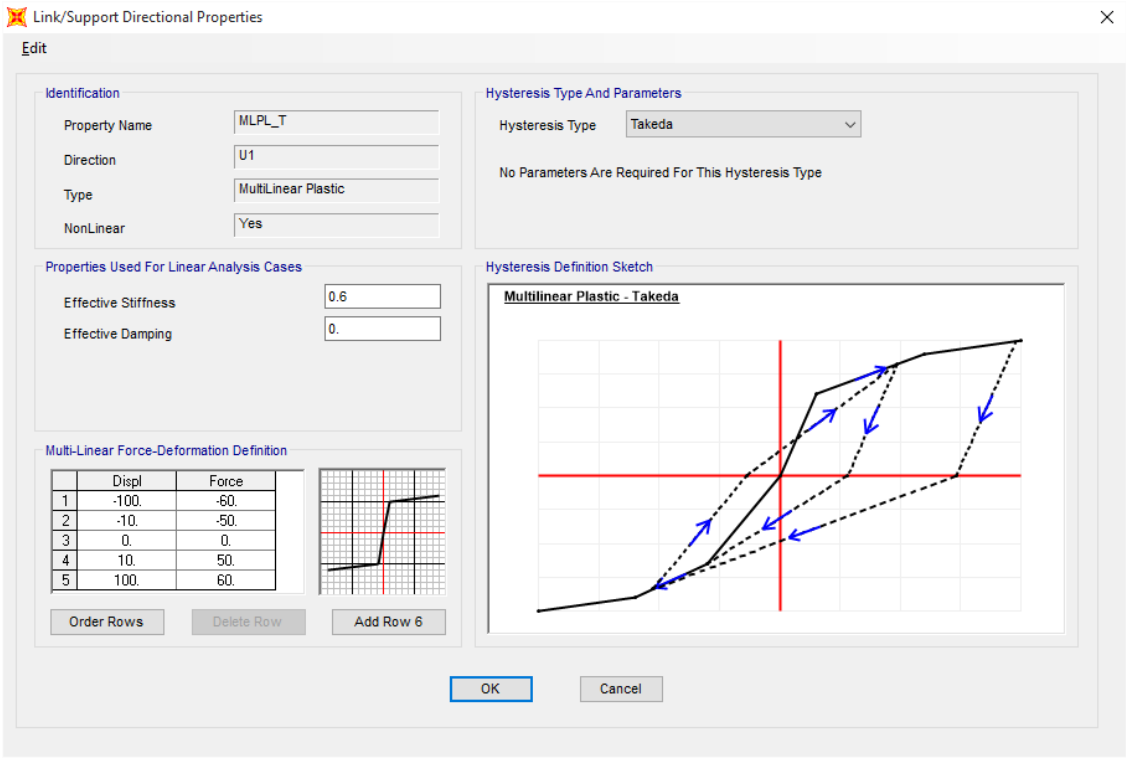
Risultati F-D per analisi TH



MULTILINEAR PLASTIC:

Si riportano a titolo di esempio due possibili leggi costitutive F-D.



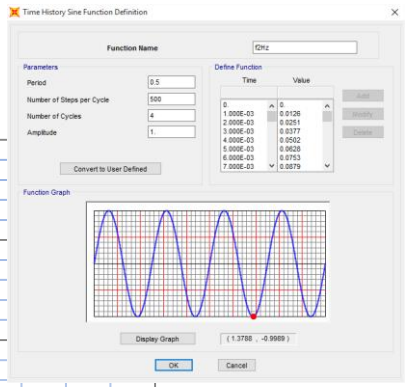


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

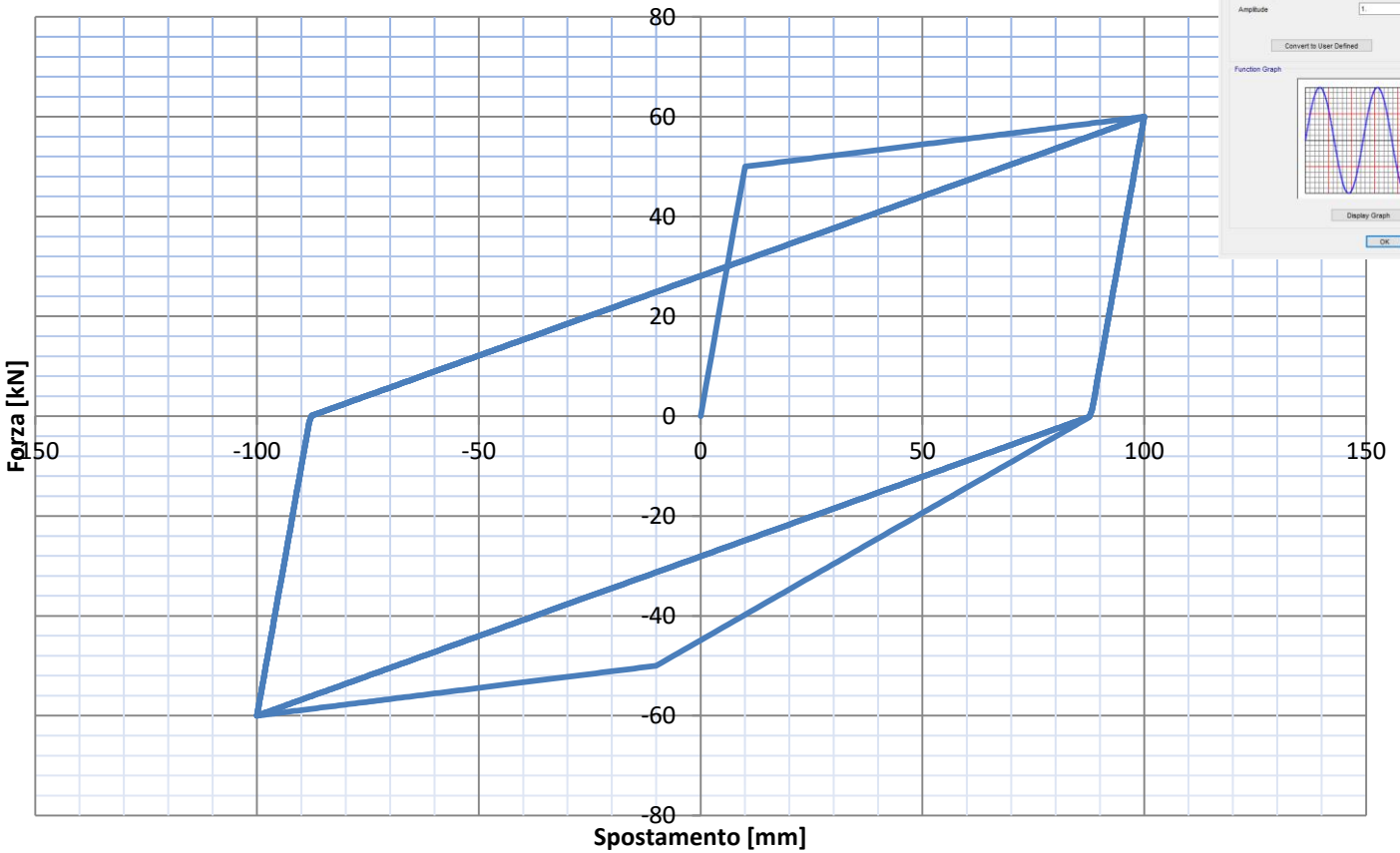
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

MULTILINEAR ELASTIC – MLP_T:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

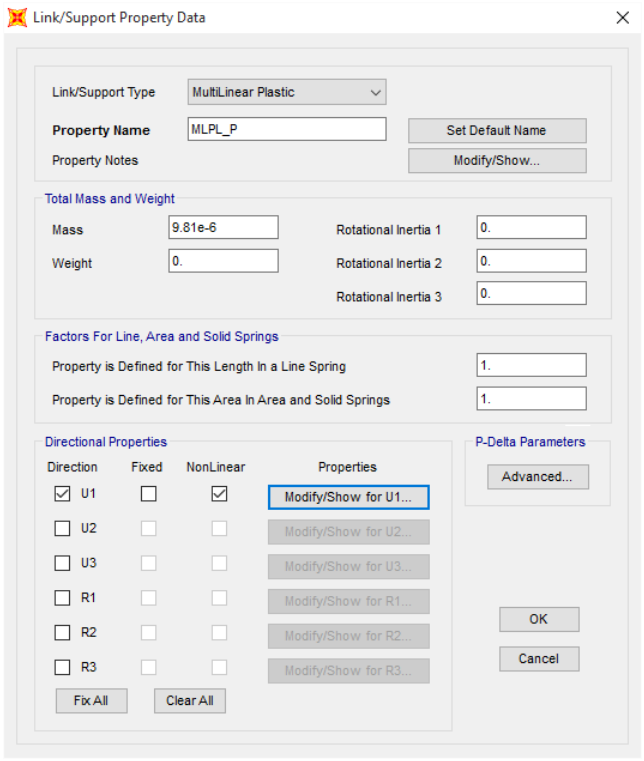


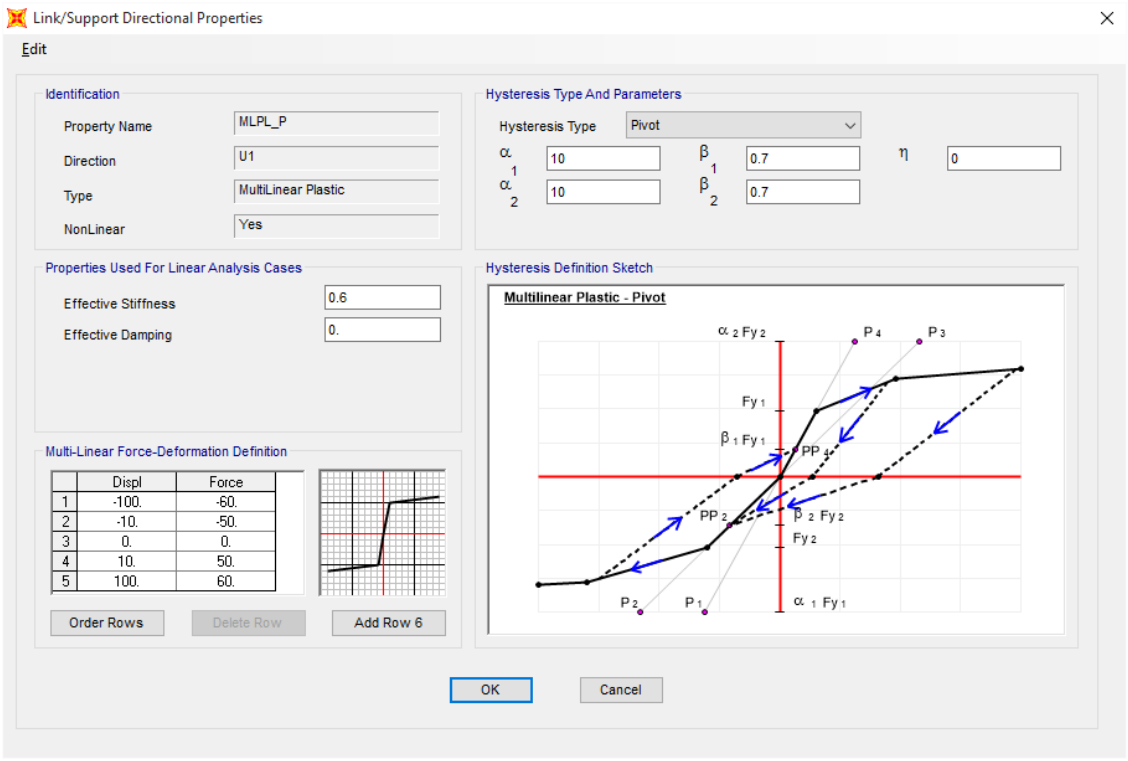
Risultati F-D per analisi TH



MULTILINEAR PLASTIC:

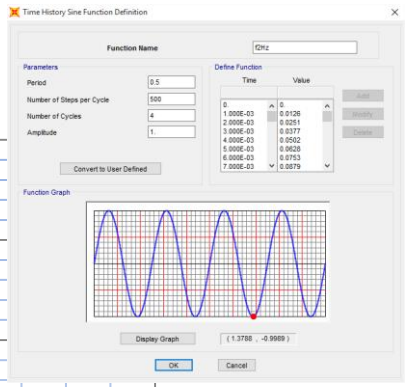
Si riportano a titolo di esempio due possibili leggi costitutive F-D.



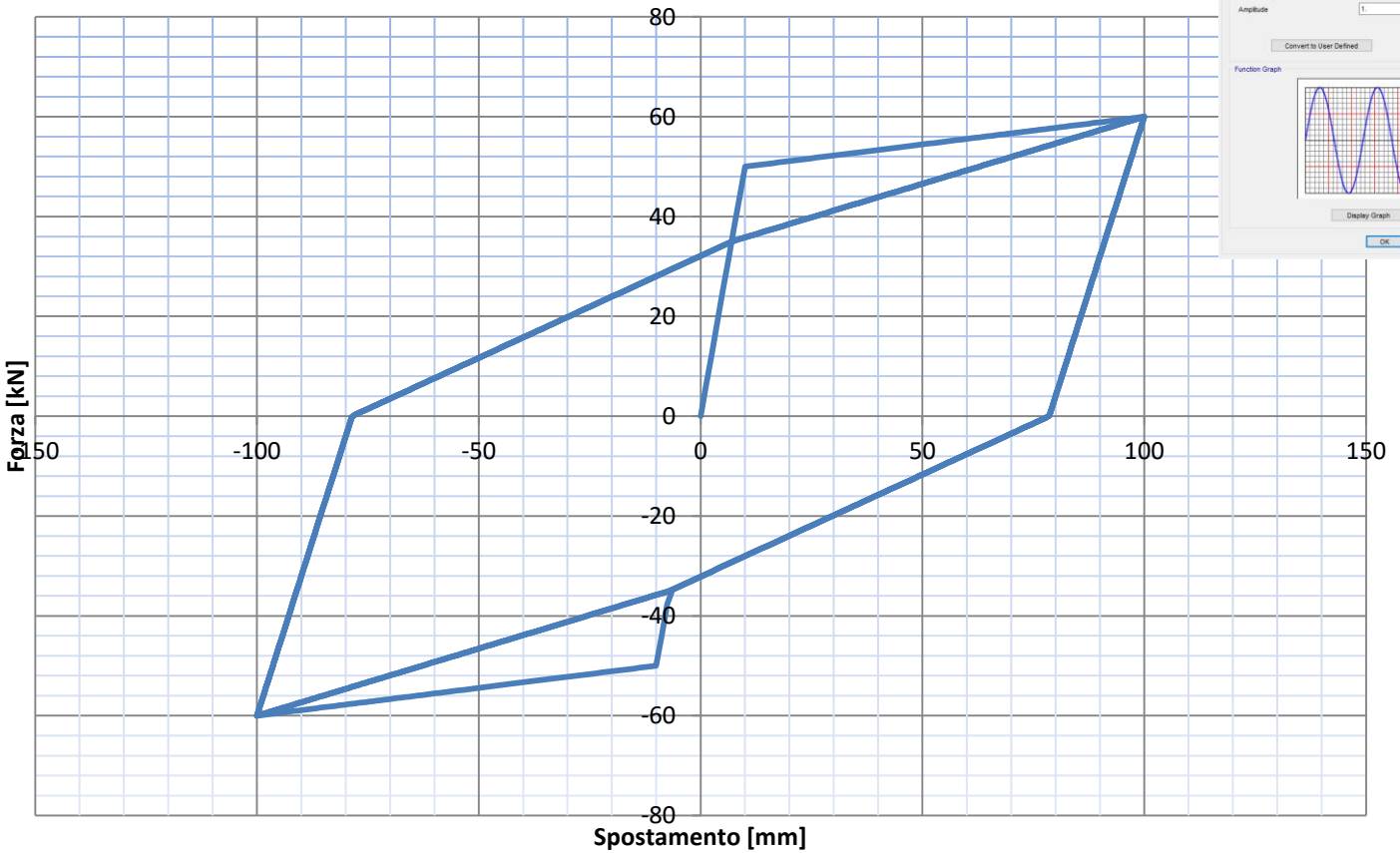


MULTILINEAR ELASTIC – MLP_P:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

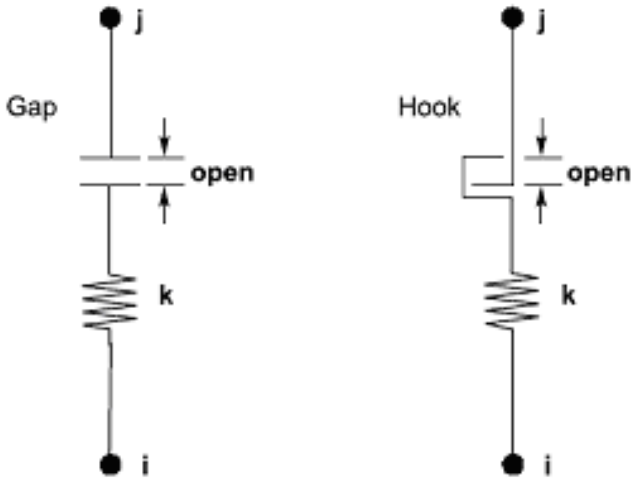


Risultati F-D per analisi TH



GAP/HOOK:

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



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

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:

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

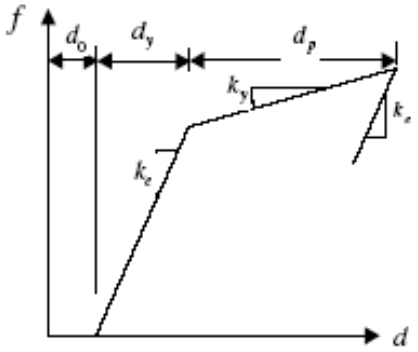
   if $e_t^{(i)} < -d_y$ then $e_t^{(i)} = -d_y$

3. Calculate Iterative Force:

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

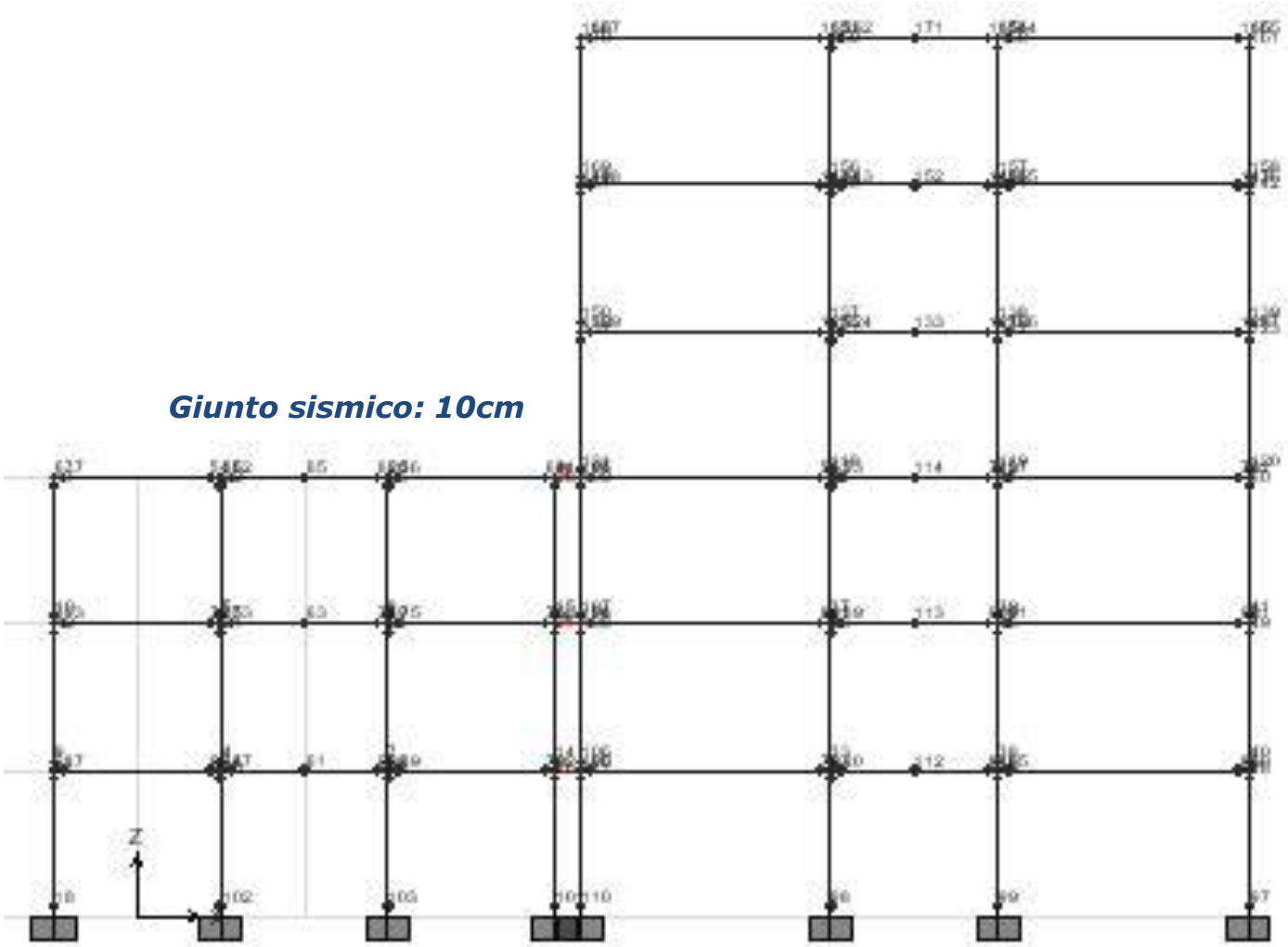
   if $f_t^{(i)} > 0$ then $f_t^{(i)} = 0$

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

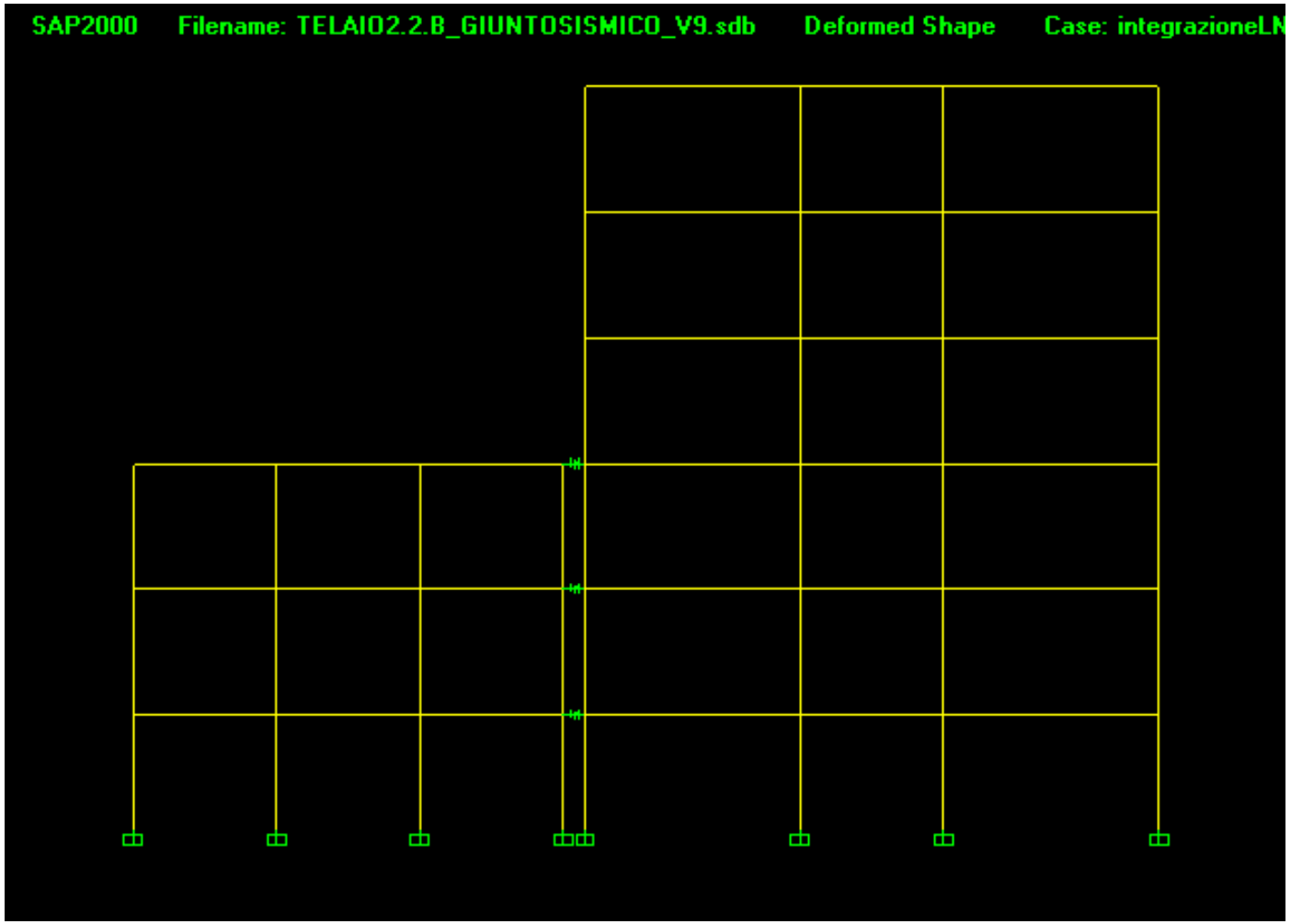
DINAMICA NON LINEARE: martellamenti strutturali



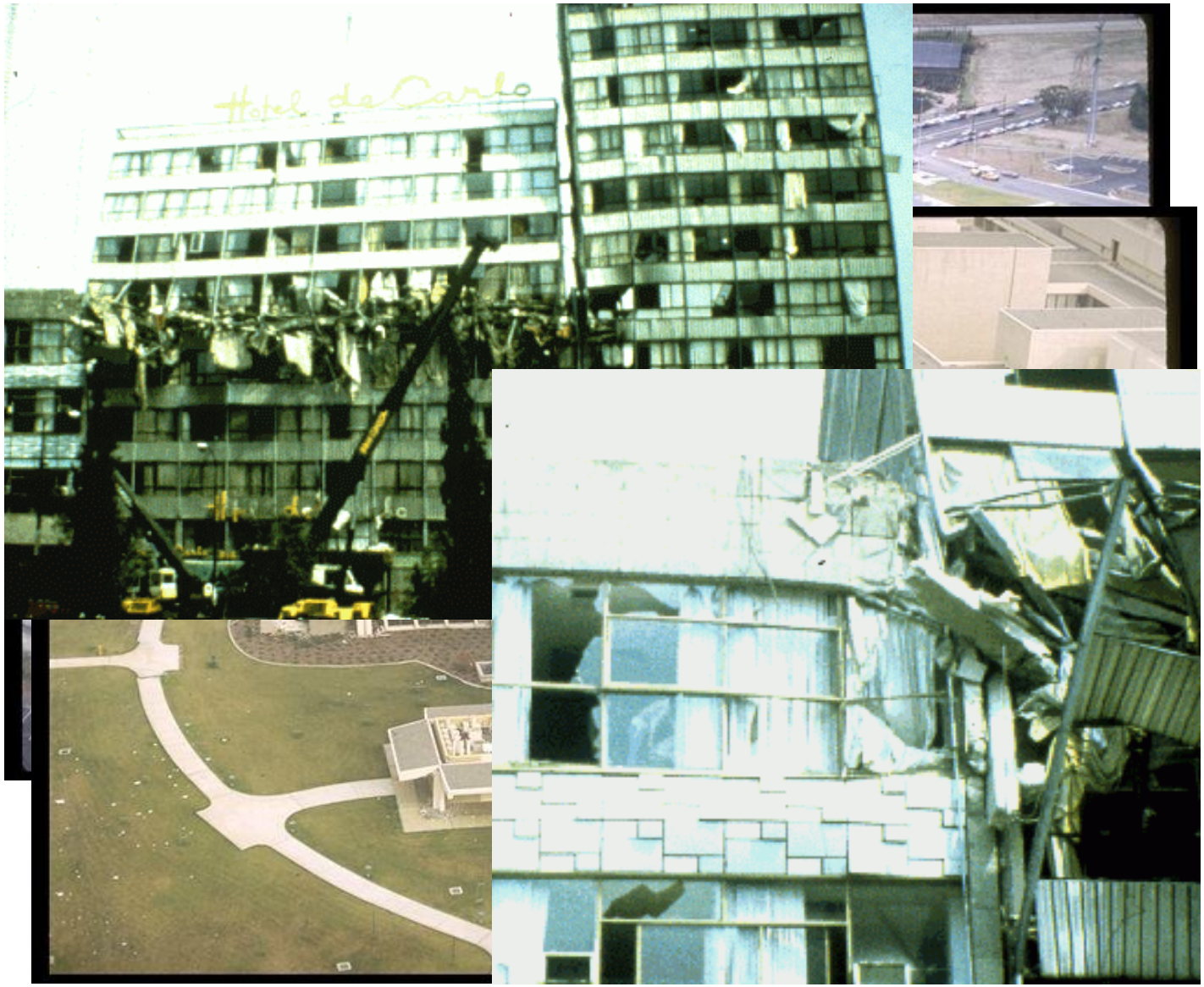
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DINAMICA NON LINEARE: martellamenti strutturali



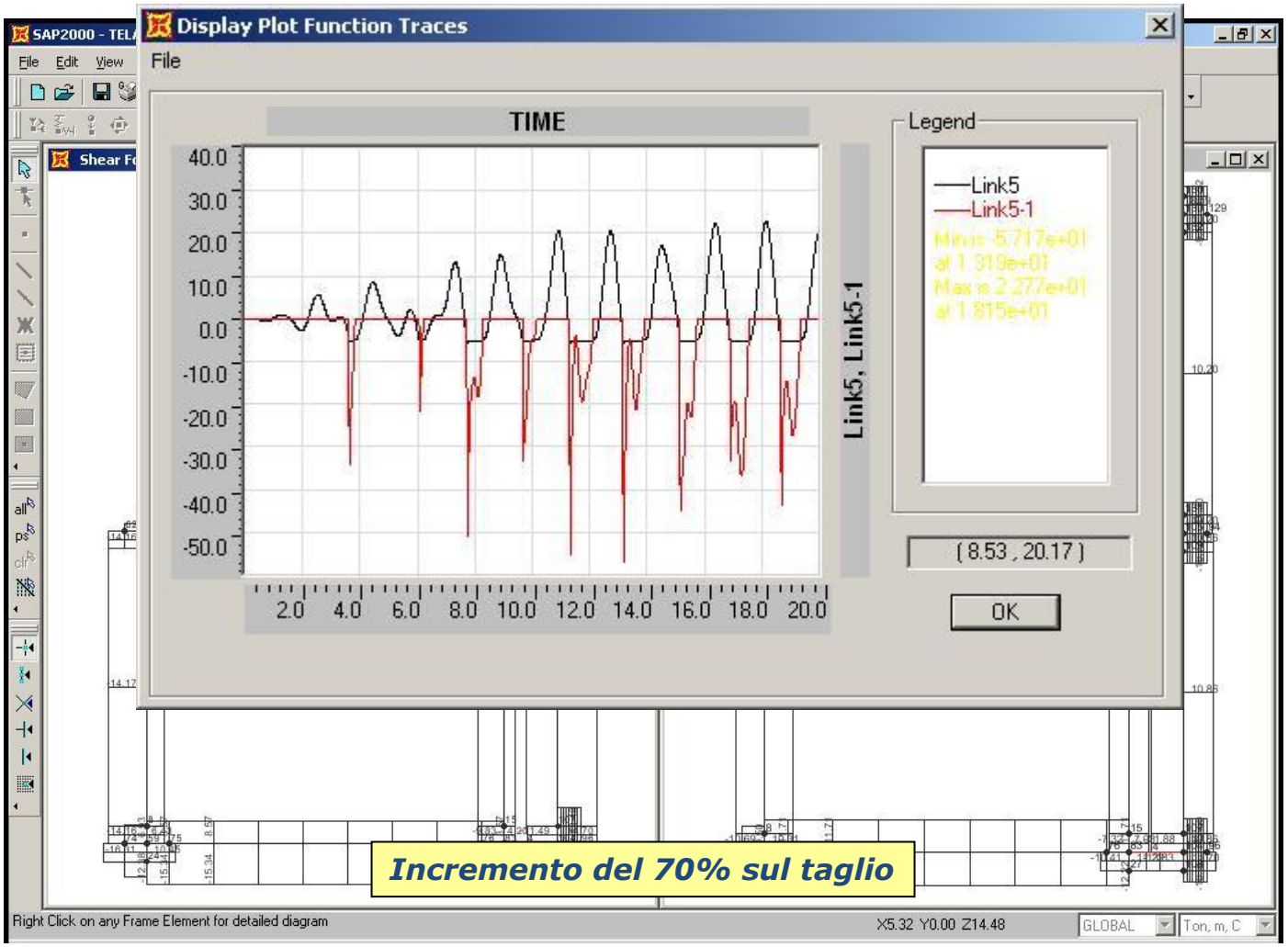
DINAMICA NON LINEARE: martellamenti strutturali



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

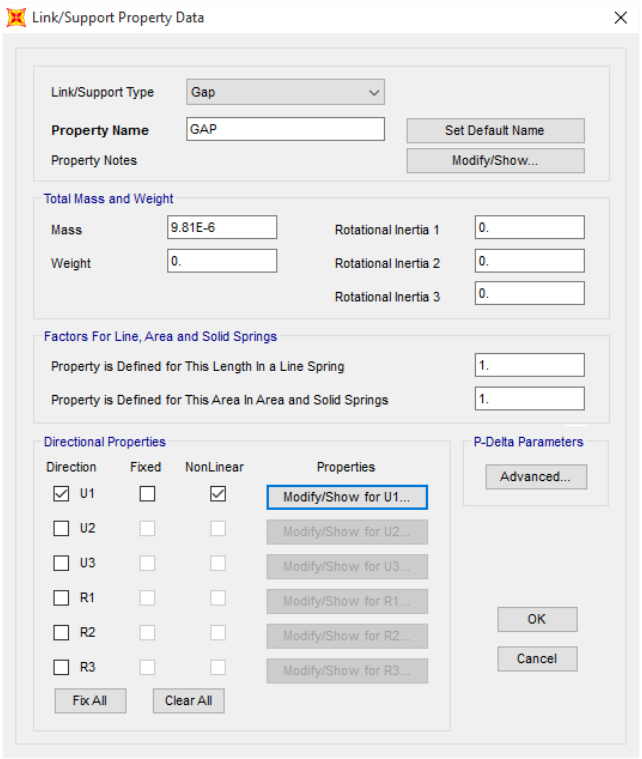
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

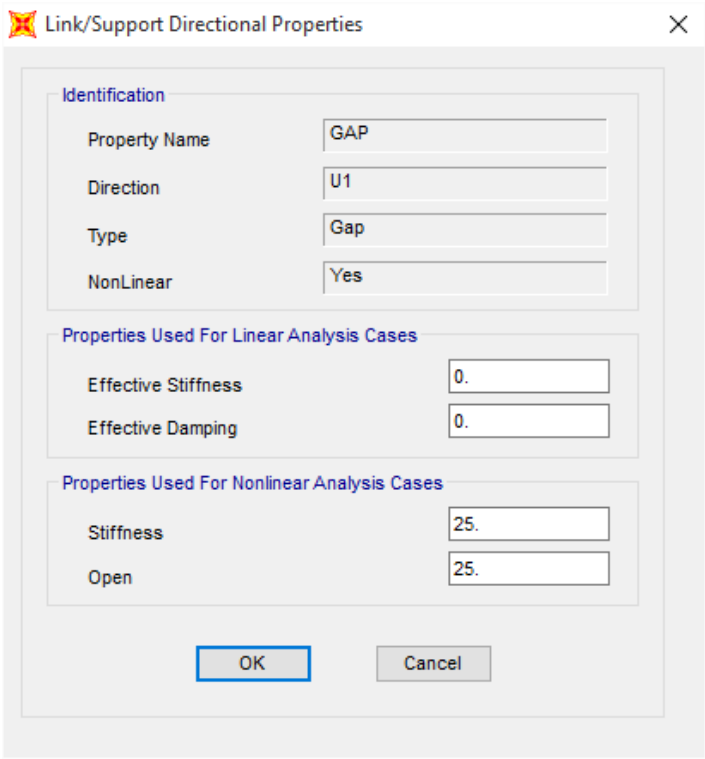
DINAMICA NON LINEARE: martellamento strutturali



GAP:

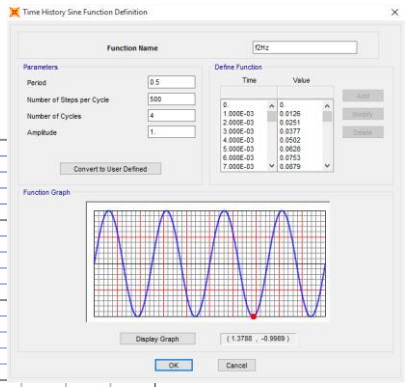
Si riporta a titolo di esempio una possibile legge costitutiva F-D.



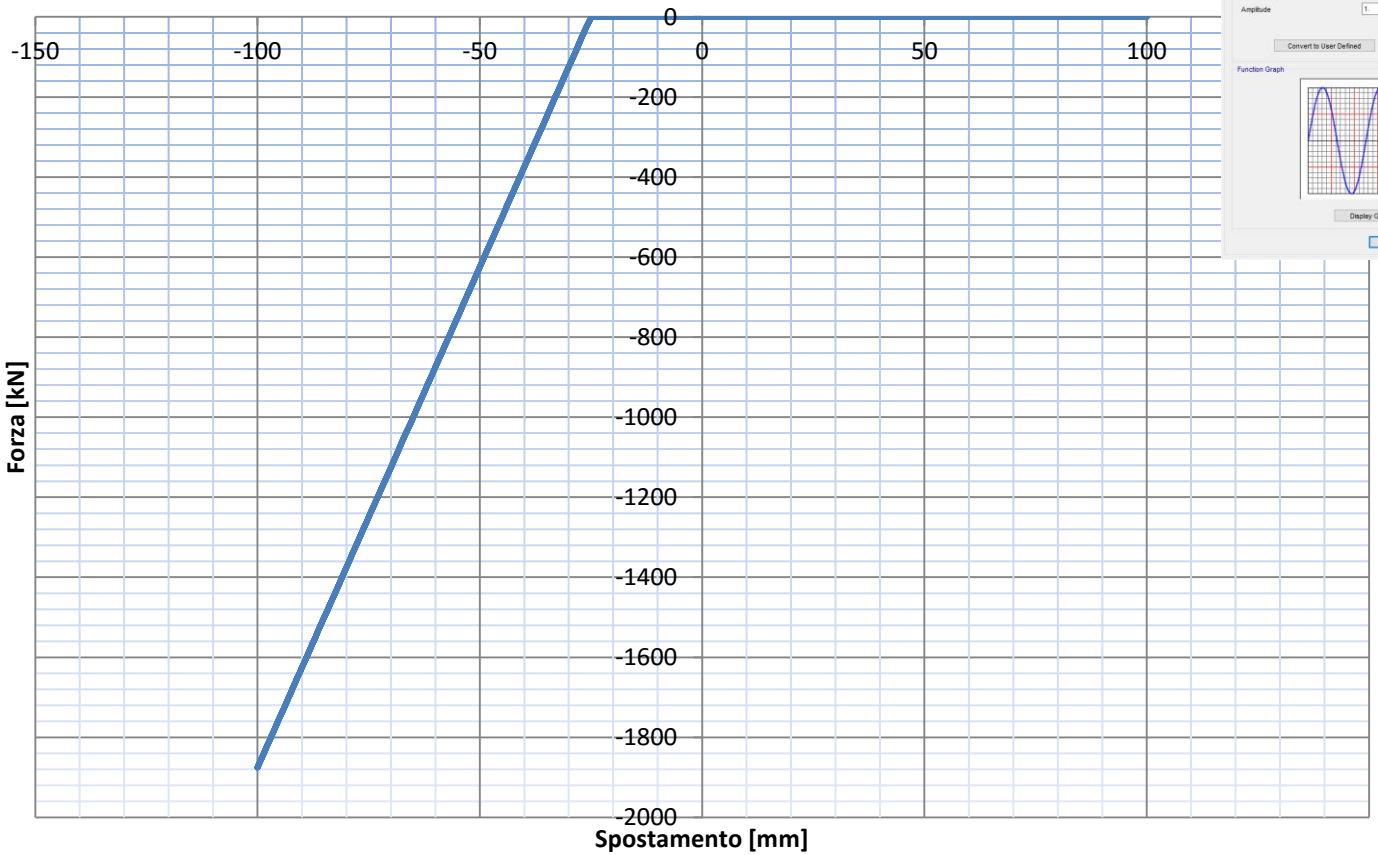


GAP:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.



Risultati F-D per analisi TH

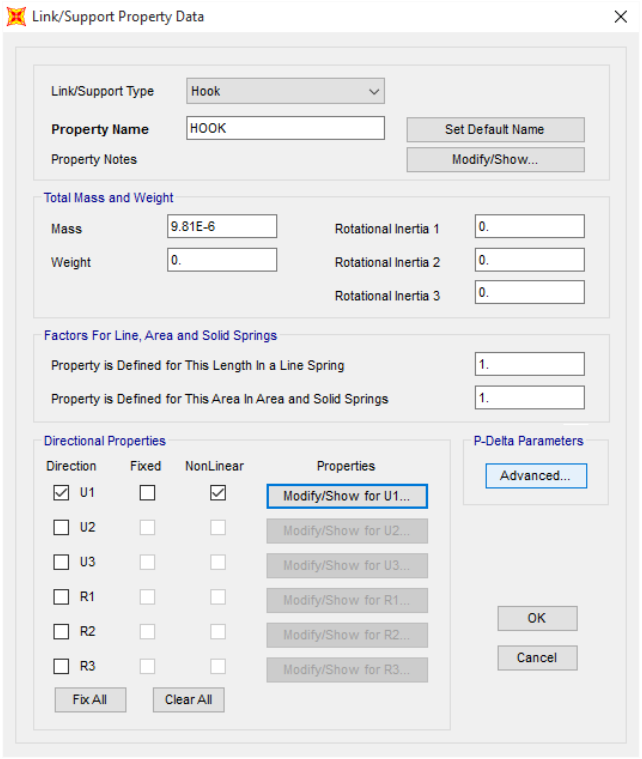


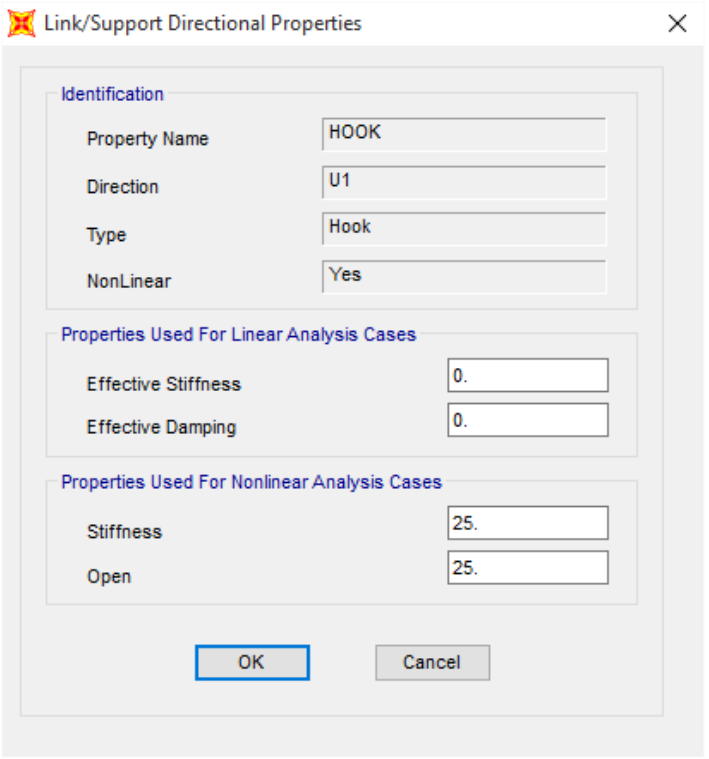
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

HOOK:

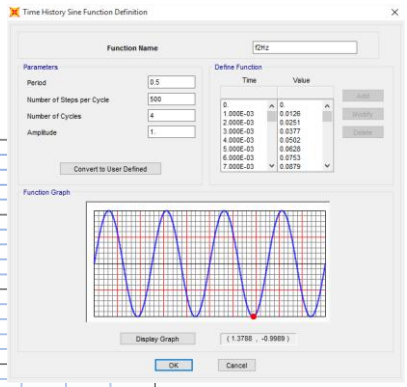
Si riporta a titolo di esempio una possibile legge costitutiva F-D.



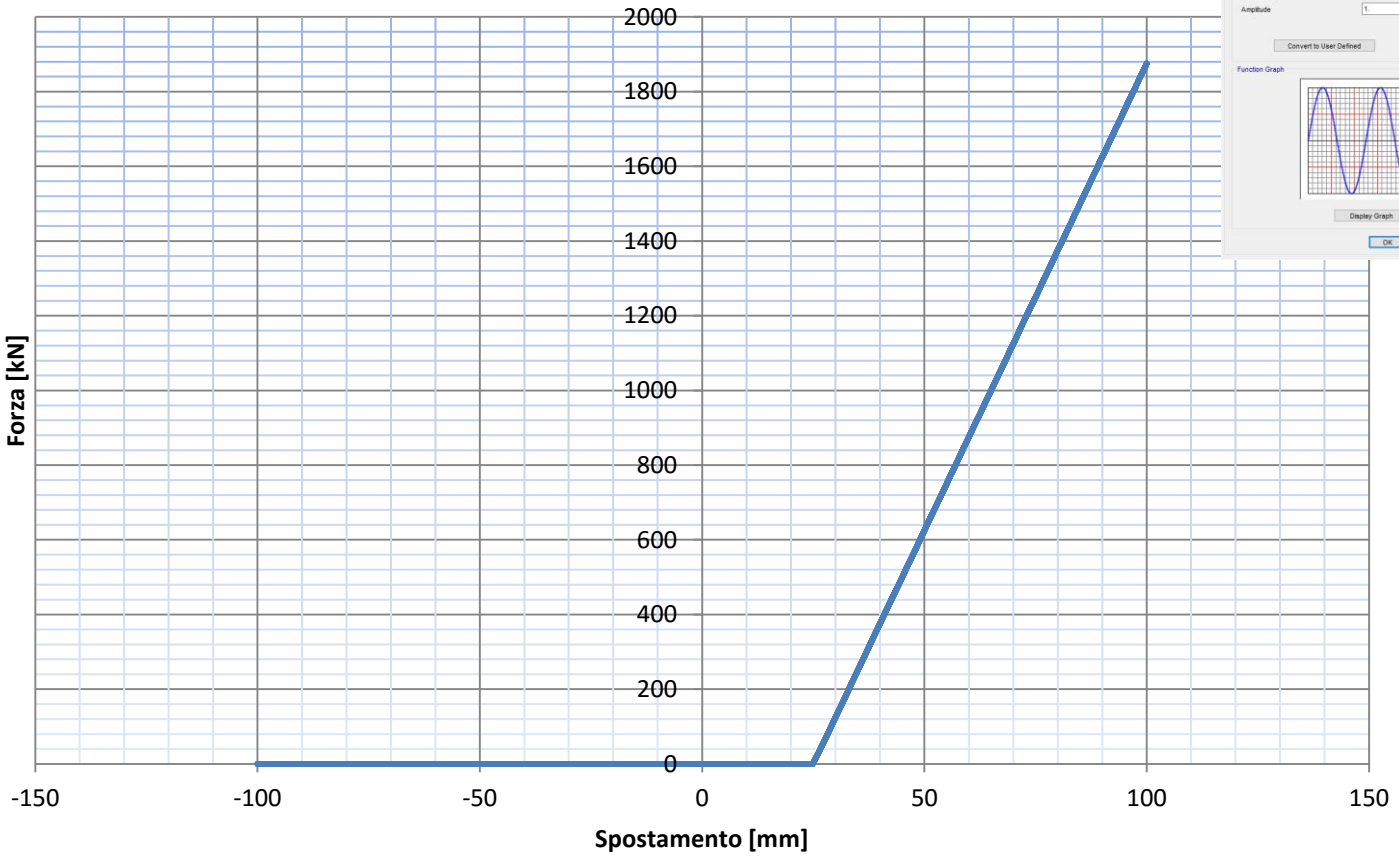


GAP:

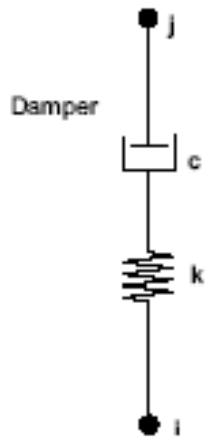
Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.



Risultati F-D per analisi TH



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.

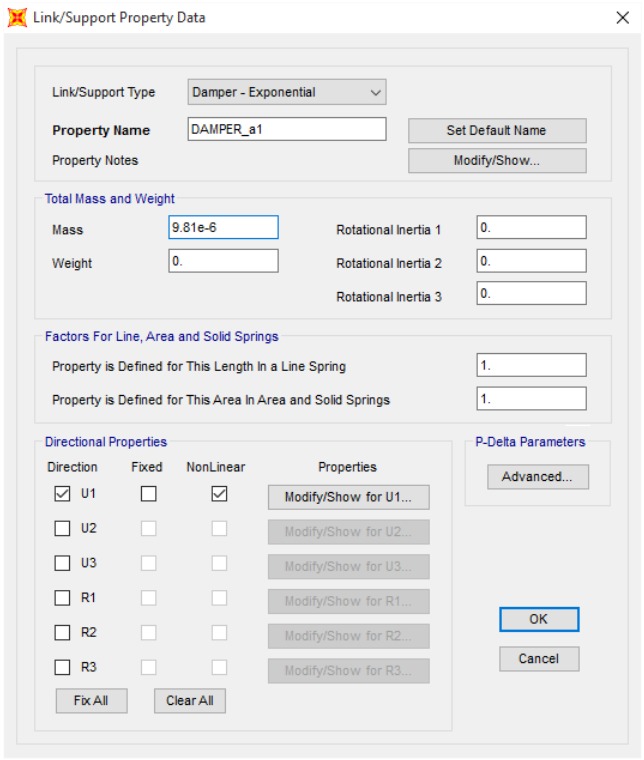
$$d = d_k + d_c$$

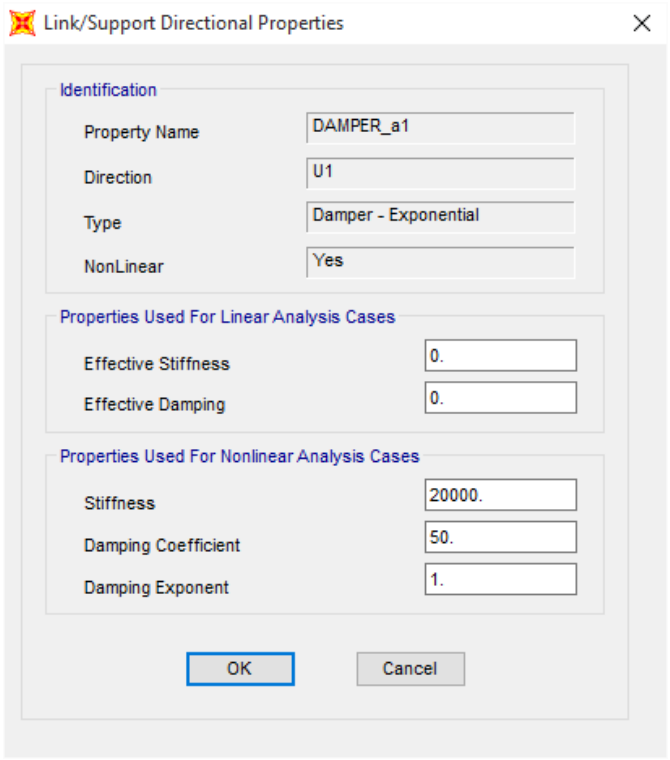
La deformazione totale dell'elemento risulterà pertanto somma della deformazione della componente elastica e di quella viscosa.

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.

DAMPER:

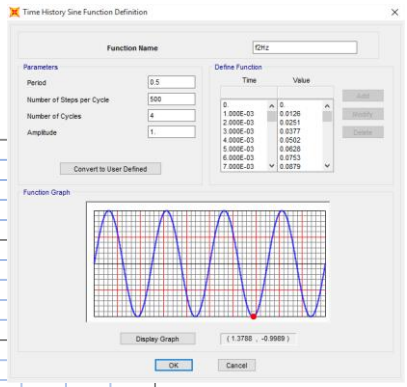
Si riporta a titolo di esempio una possibile legge costitutiva F-D.



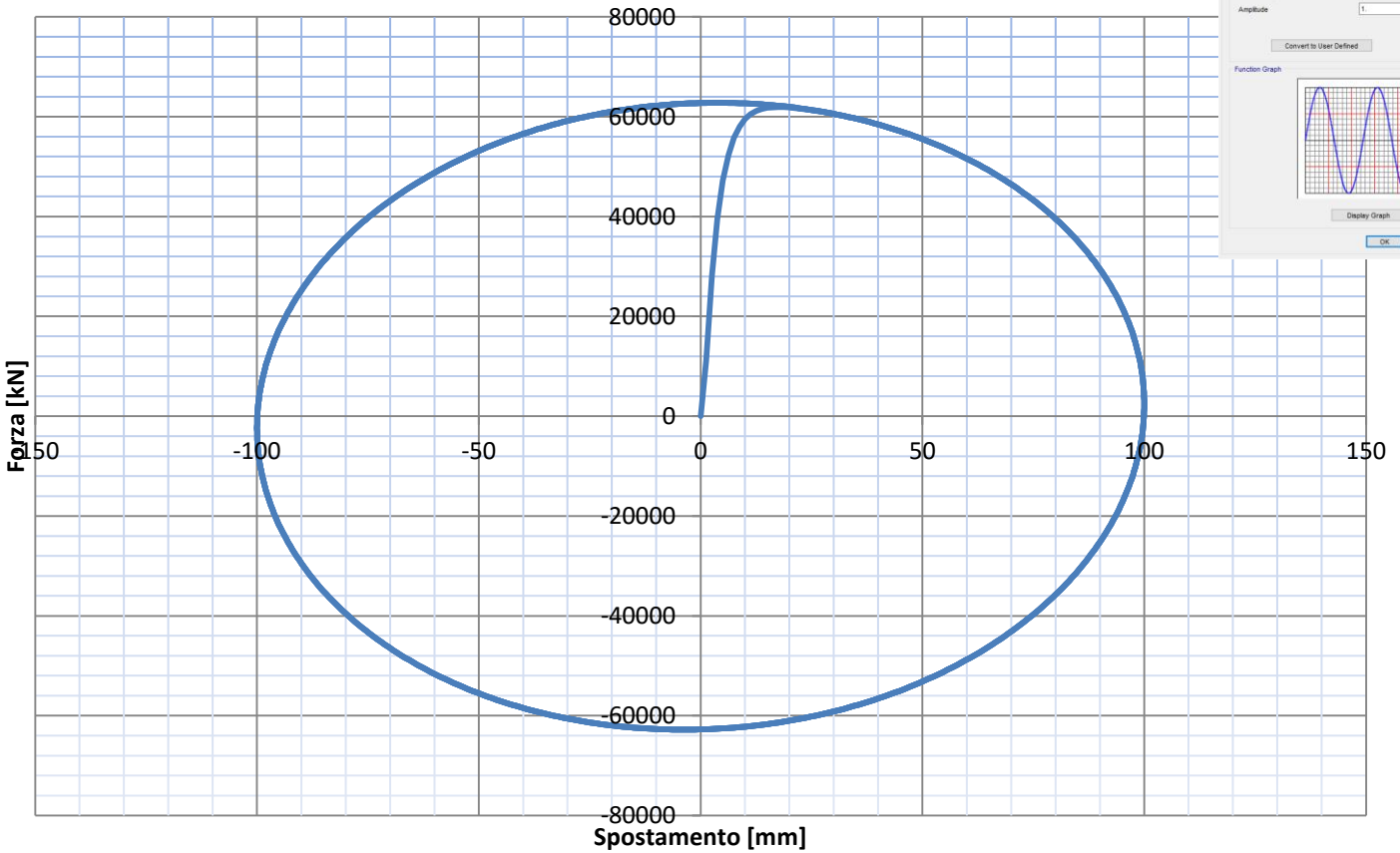


GAP:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

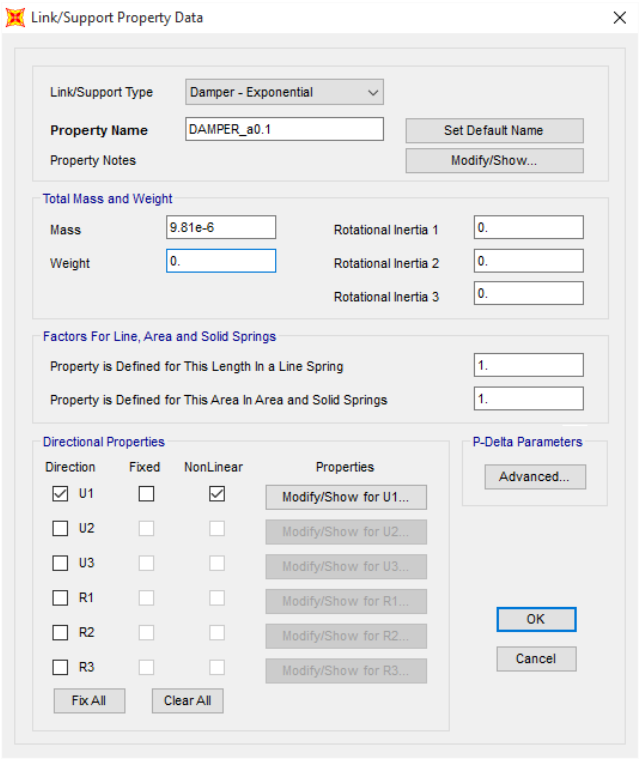


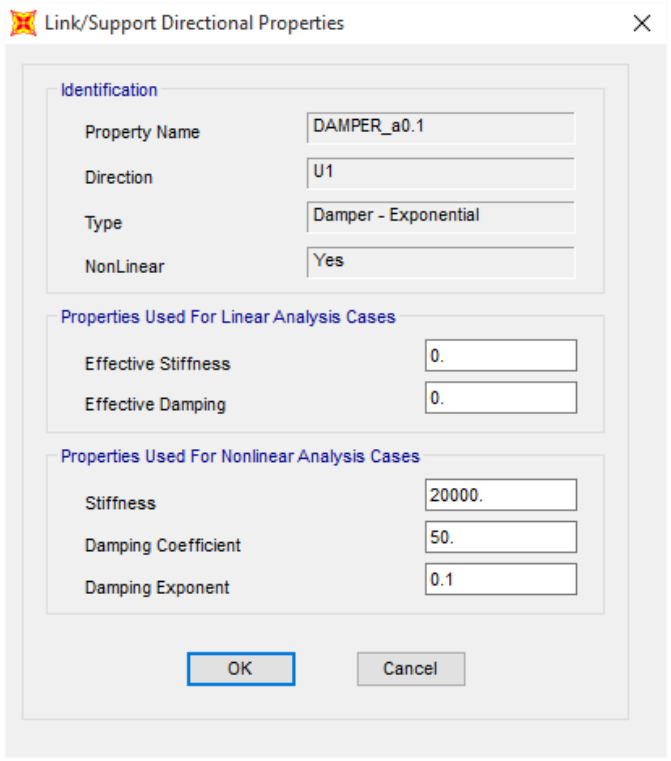
Risultati F-D per analisi TH



DAMPER:

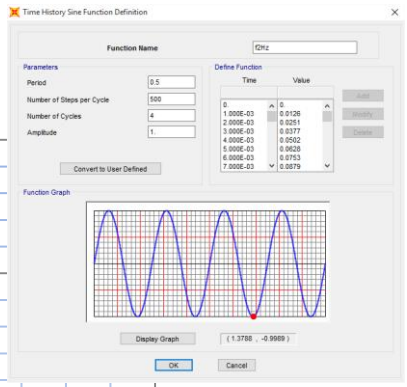
Si riporta a titolo di esempio una possibile legge costitutiva F-D.



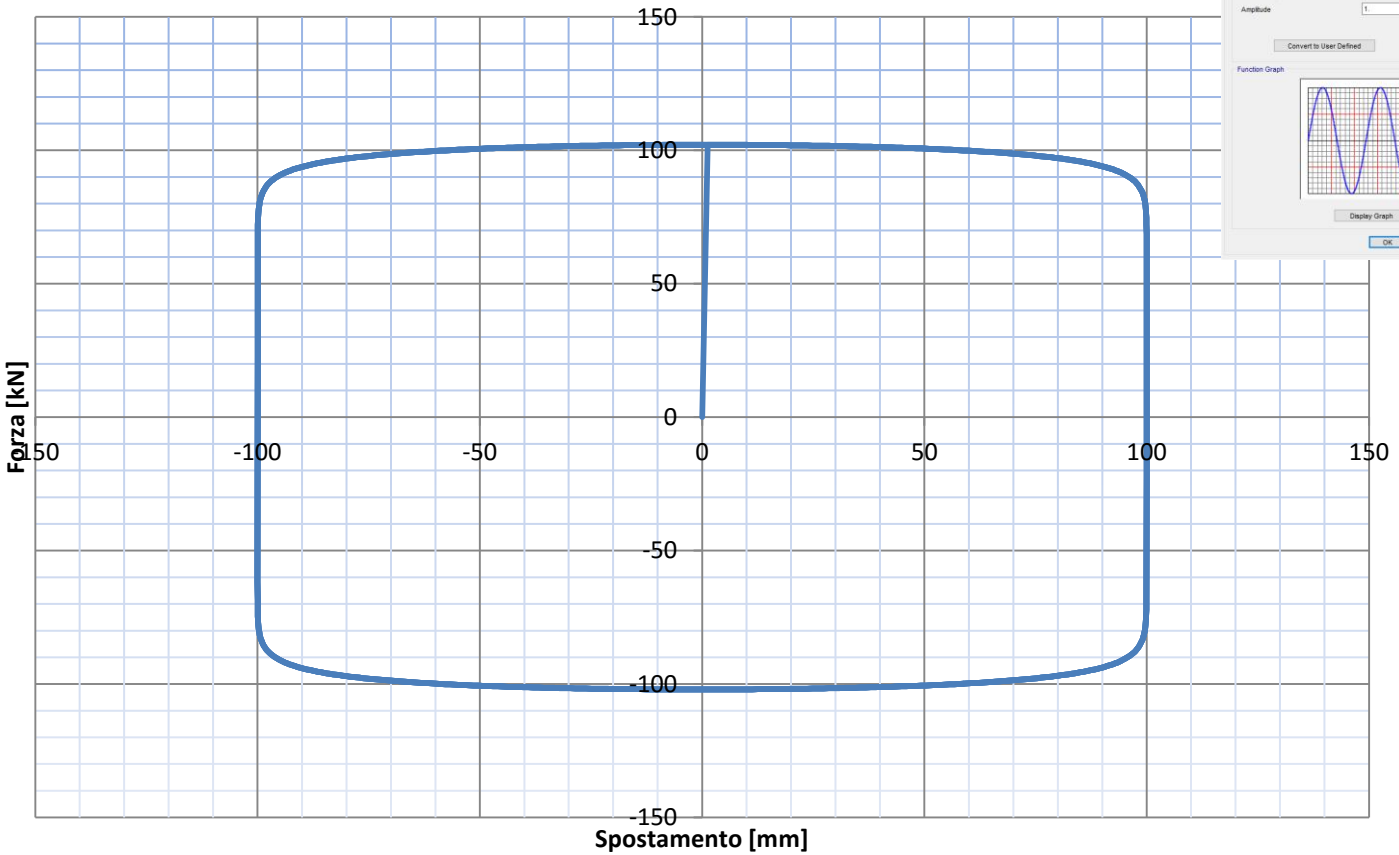


GAP:

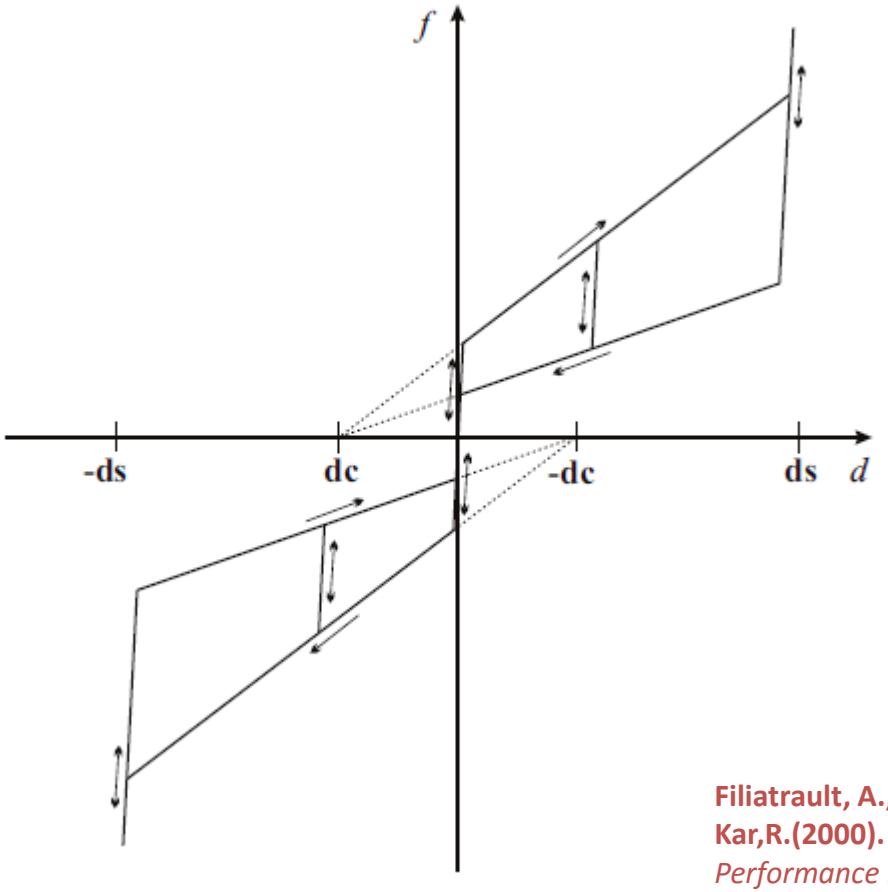
Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

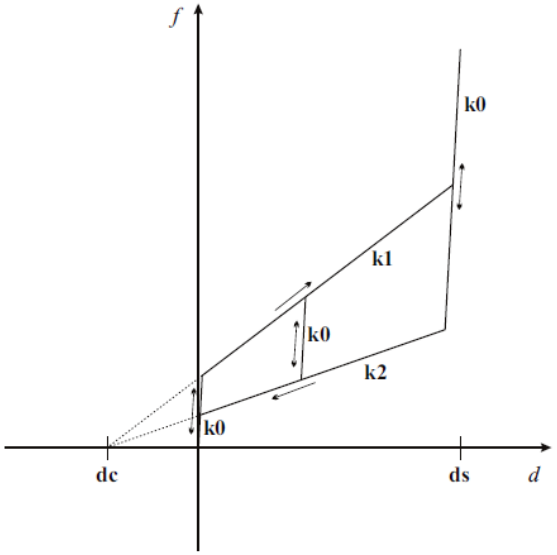


Risultati F-D per analisi TH

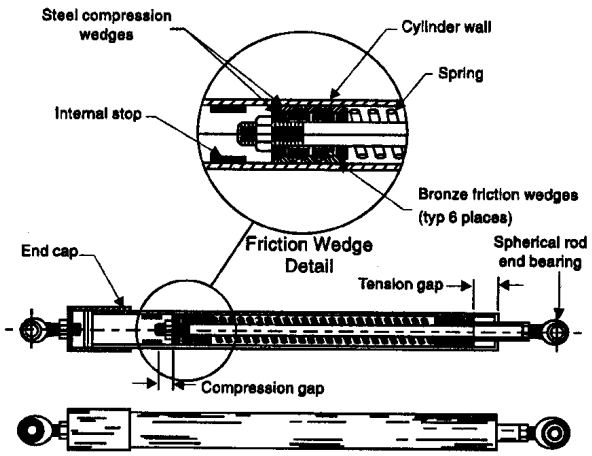


FRICTION SPRING DAMPER





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

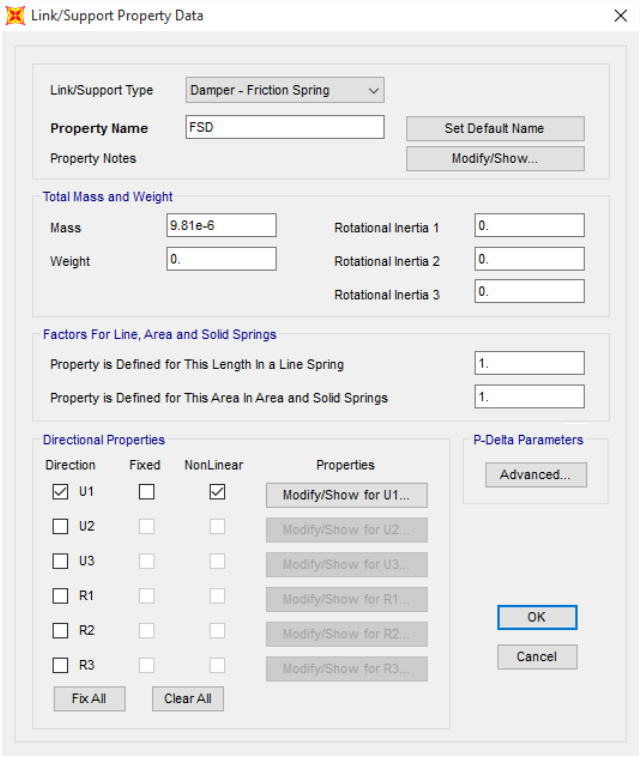


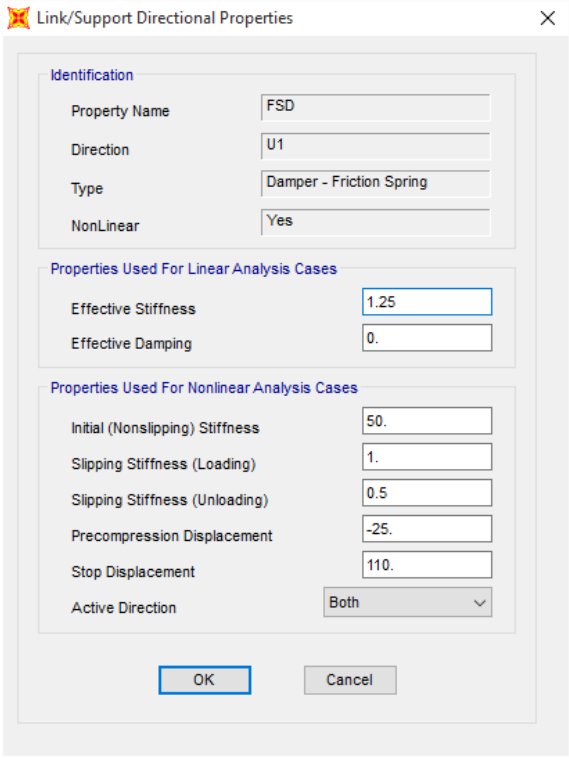
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DAMPER:

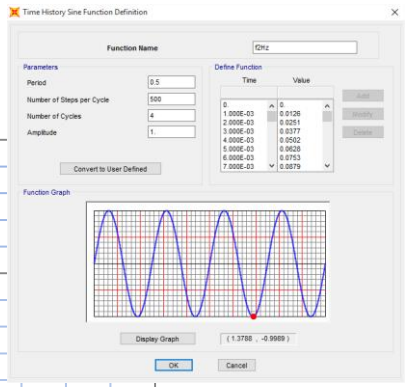
Si riporta a titolo di esempio una possibile legge costitutiva F-D.



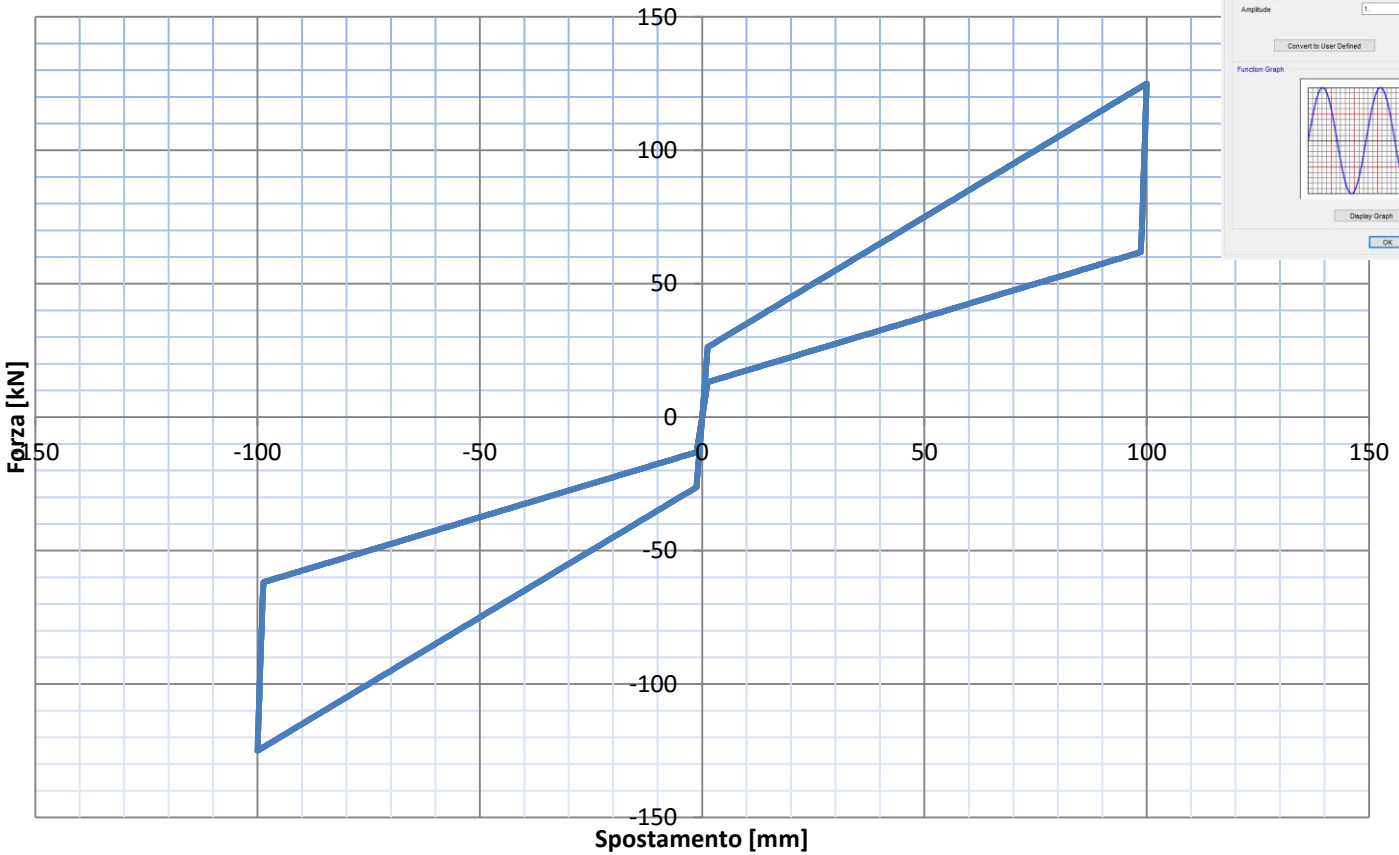


GAP:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.

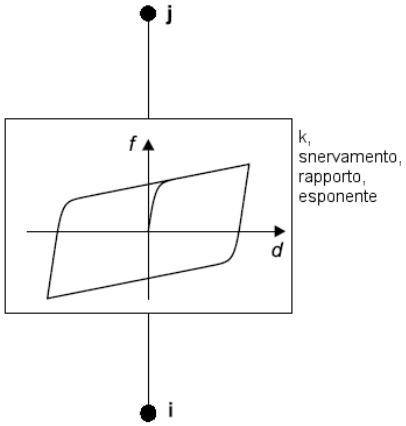


Risultati F-D per analisi TH



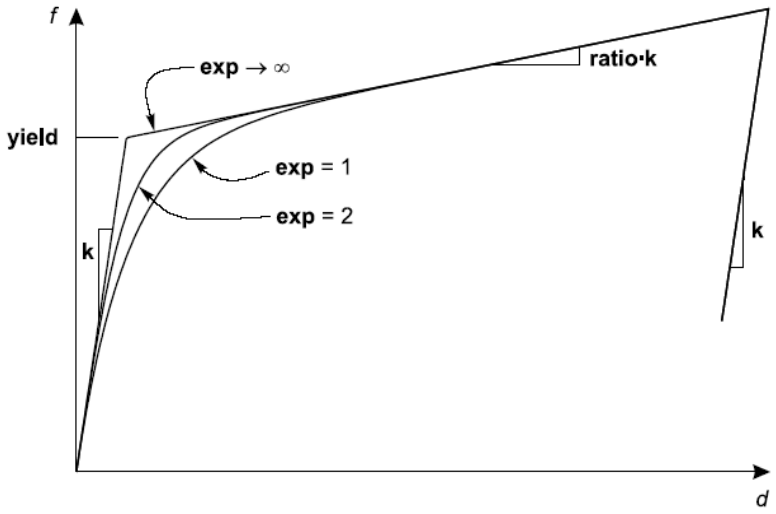
PLASTIC (WEN)

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



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

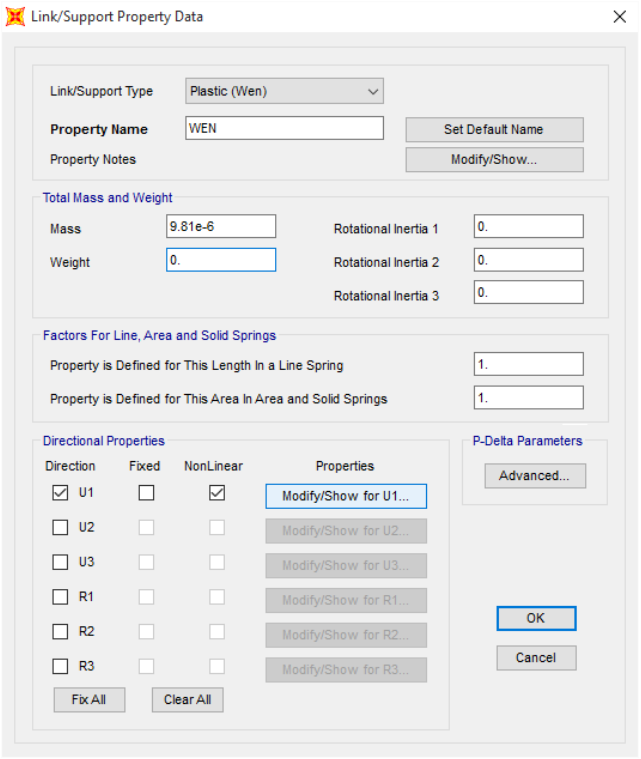
dove **k** è la rigidezza della fase elastica, **yield** è la forza di snervamento, **ratio** è il rapporto tra il valore della rigidezza dopo lo snervamento e il valore di rigidezza della fase elastica, z è la variabile isteretico interna. $|z| \leq 1$ superficie di snervamento rappresentata da $|z|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

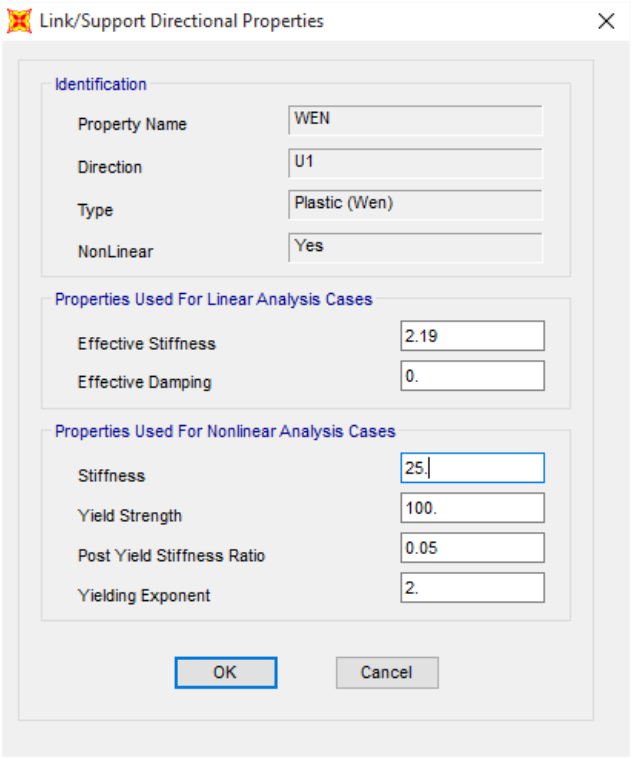


$$\dot{z} = \frac{k}{yield} \begin{cases} \dot{d} \cdot \left(1 - |z|^{\exp}\right) \Leftrightarrow \dot{d}z > 0 \\ \dot{d} \end{cases}$$

DAMPER:

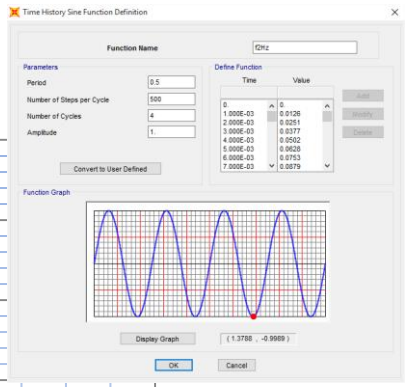
Si riporta a titolo di esempio una possibile legge costitutiva F-D.



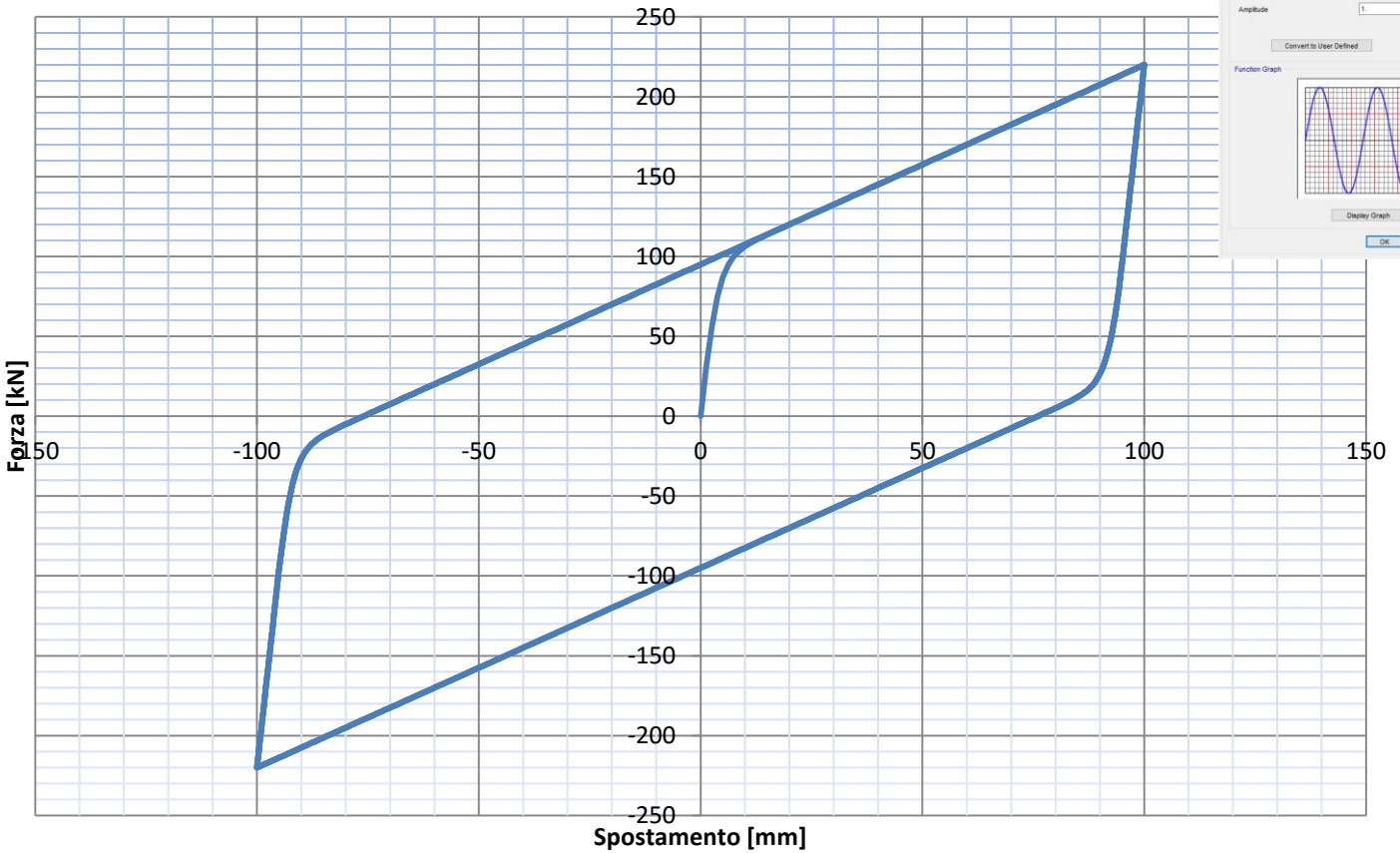


GAP:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso.



Risultati F-D per analisi TH



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

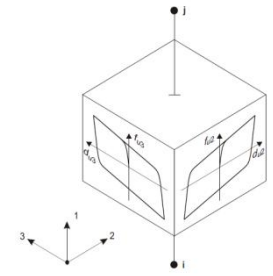


Figure 63
Hysteretic Isolator Property for Biaxial Shear Defo

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:

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

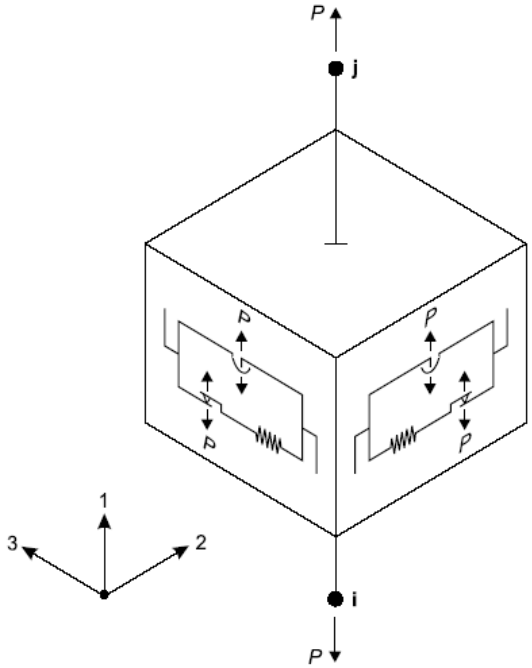
Where:

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

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

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

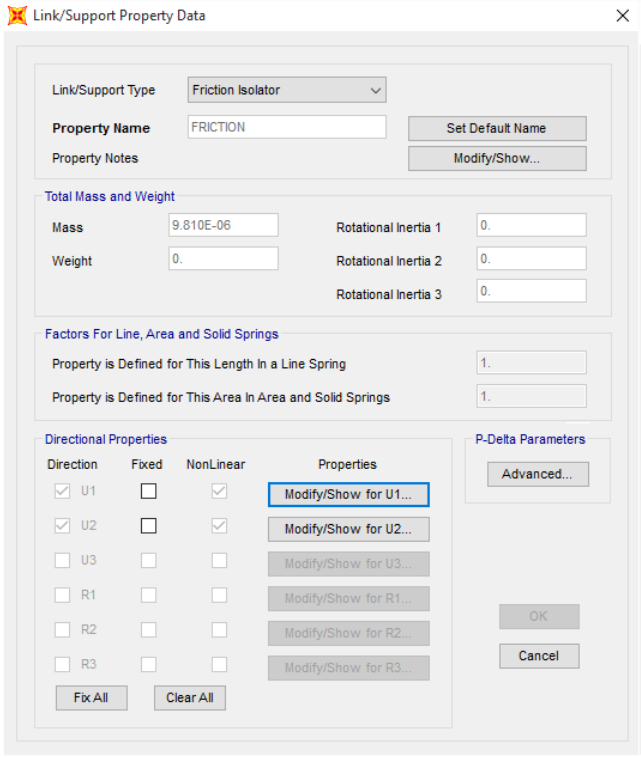
$$f_{u2f} = -P\,\mu_2\, z_2$$
$$f_{u3f} = -P\,\mu_3\, z_3$$

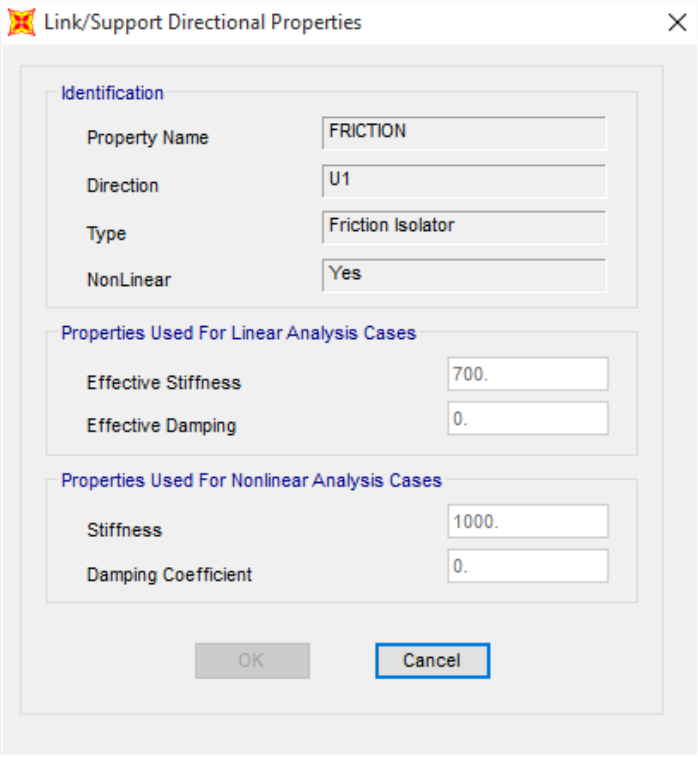
$$\mu_2 = \mathbf{fast2} - (\mathbf{fast2} - \mathbf{slow2})\, e^{-r\,v}$$
$$\mu_3 = \mathbf{fast3} - (\mathbf{fast3} - \mathbf{slow3})\, e^{-r\,v}$$

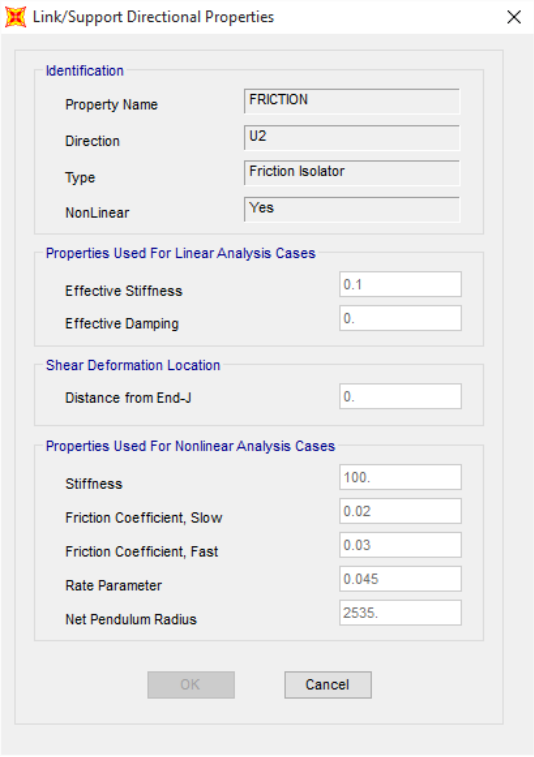
Alta velocità

FRICTION ISOLATOR, T/C FRICTION ISOLATOR:

Si riporta a titolo di esempio una possibile legge costitutiva F-D.

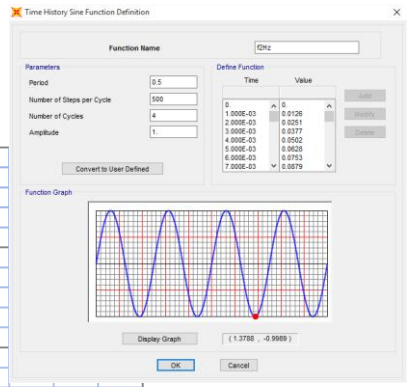




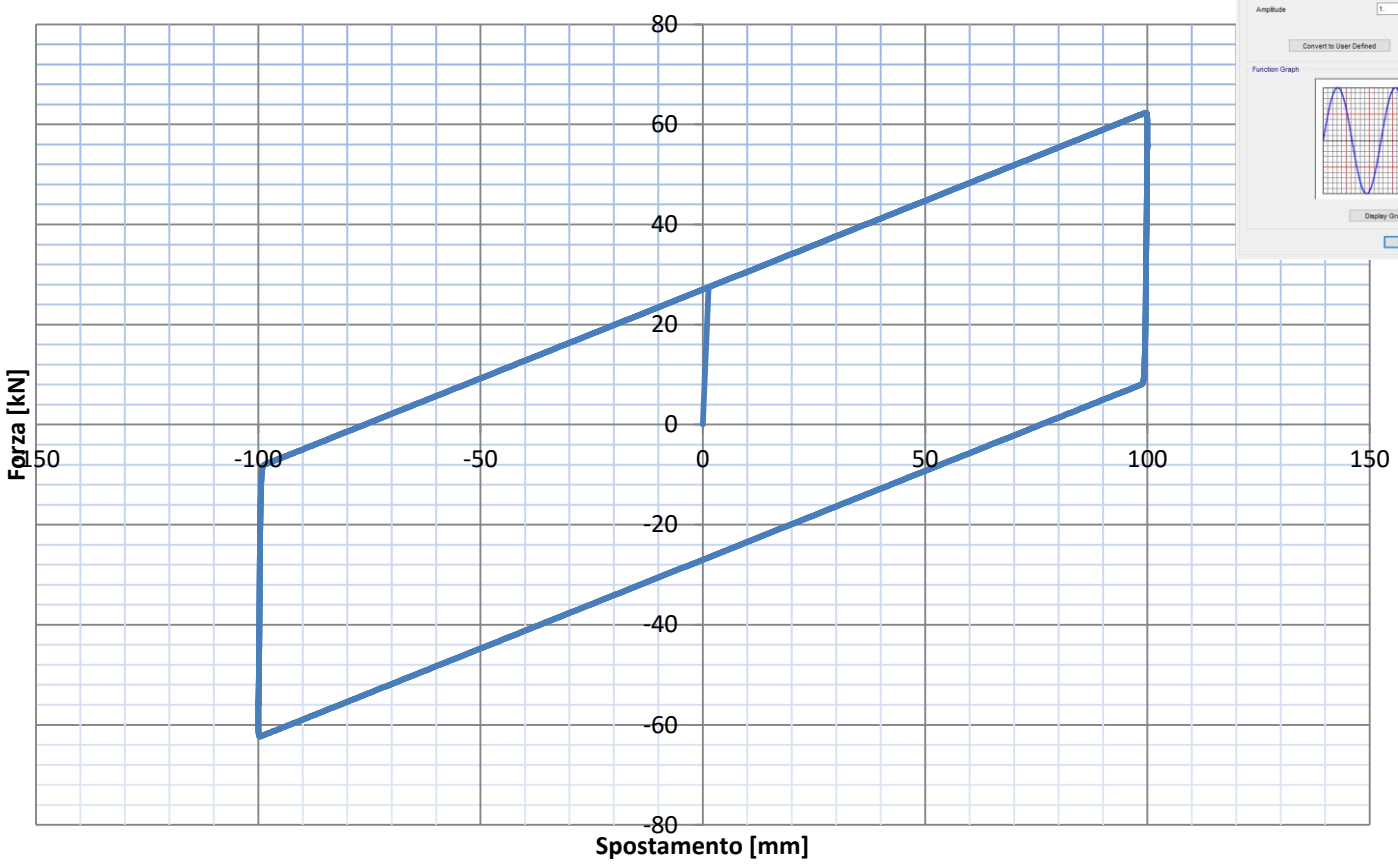


GAP:

Si riportano le uscite di un'analisi TH, con forzante sinusoidale (2Hz, +/-100mm) a spostamento impresso. Sforzo assiale di 900 kN



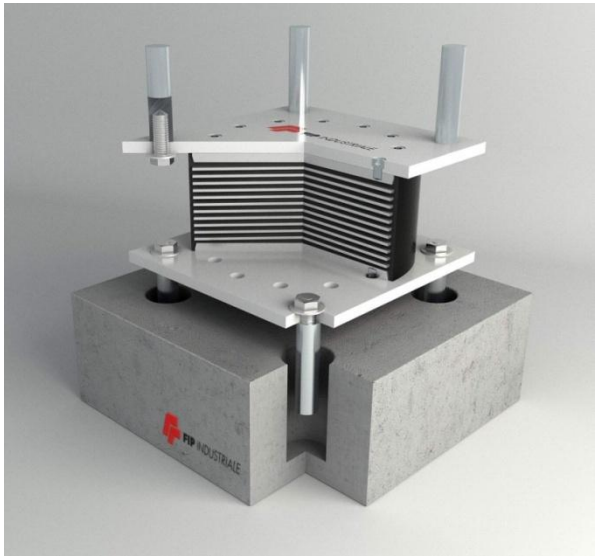
Risultati F-D per analisi TH



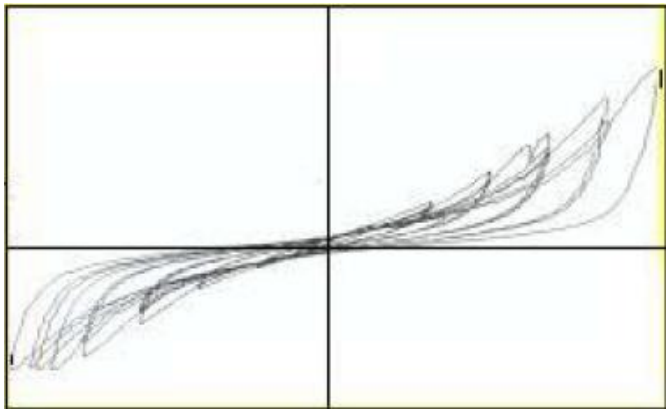
MODELLAZIONE FEM DI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO SISMICO

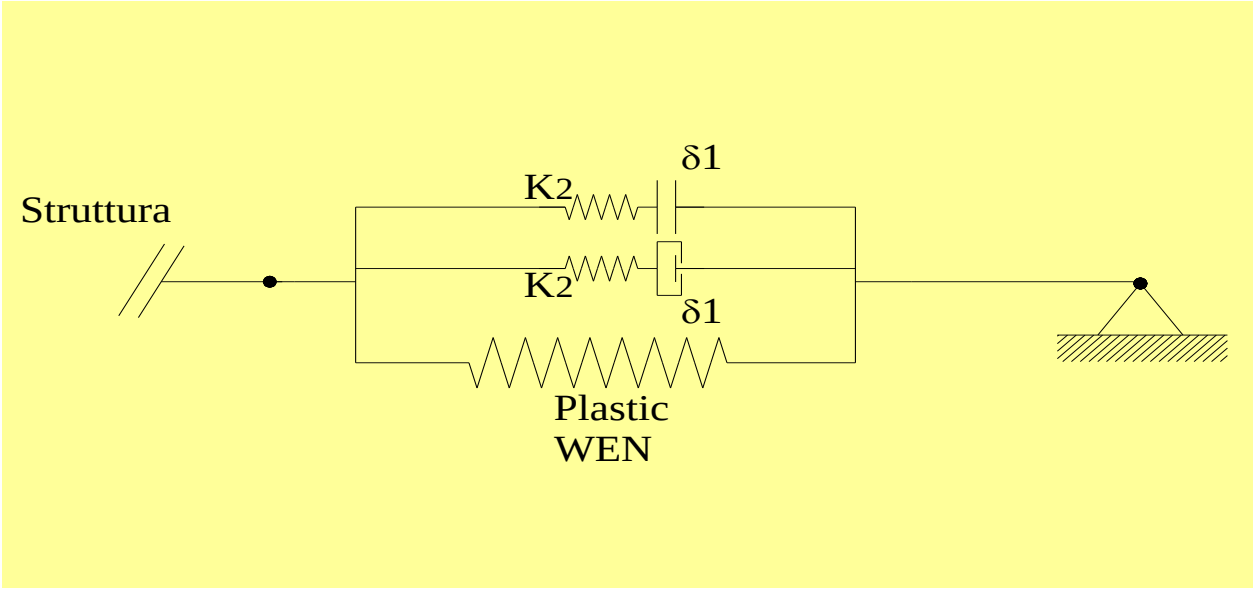
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ELASTOMERICO – GOMMA ARMATA



Terenzi, G., Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Roma,
"Effetti dissipativi nell'isolamento sismico".

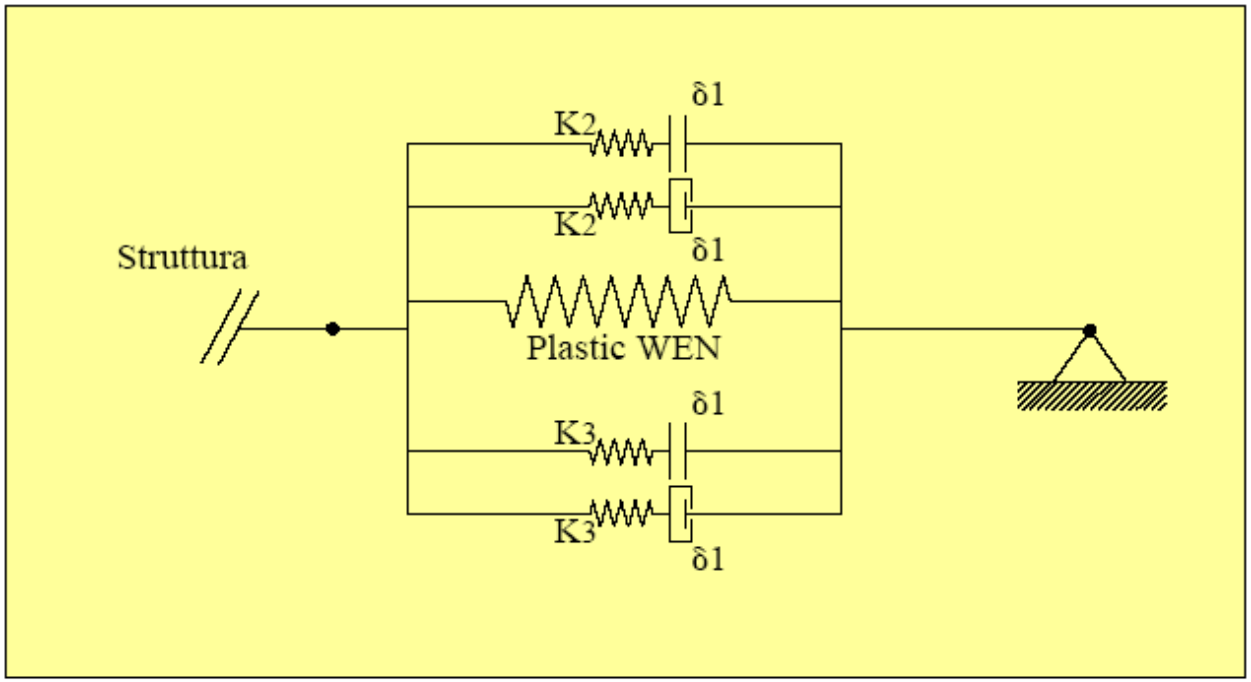




Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ELASTOMERICO – GOMMA ARMATA



Plastic Wen:

-rigidezza secante: K_H[0-100] = 0.61 kN/mm

-rigidezza primo tratto: K[20] = 1.3672 kN/mm

-snervamento: Q20 = 35 kN

-rigidezza secondo tratto: K[20-100] = 0.4207 kN/mm

-rapporto K[20-100]/K[20] = 0.3077

DISPOSITIVO ELASTOMERICO

INTRODUZIONE

CERTIFICAZIONI

Nel 1992 **FIP Industriale** ha ottenuto la certificazione CISQ-ICIM per il Sistema di Assicurazione Qualità in conformità con le normative europee EN 29001 (ISO 9001). **FIP Industriale** è orgogliosa di essere il primo produttore italiano di apparecchi d'appoggio, dispositivi antisismici e giunti di dilatazione ad aver ottenuto un Sistema di Assicurazione Qualità certificato ai livelli più alti, dal progetto all'assistenza al Cliente. La certificazione è stata ottenuta tramite una rigorosa valutazione da parte di un organismo internazionale indipendente. Tale certificazione è pertanto riconosciutaa livello internazionale.

FIP Industriale è inoltre il primo produttore italiano di dispositivi antisismici ad aver ottenuto gli Attestati di Qualificazione di Dispositivi Antisismici, ai sensi del D.M. 14/01/2008, paragrafo 11.9. Infine, nell'ambito della Direttiva Europea sui Prodotti da Costruzione, **FIP Industriale** ha ottenuto la Marcatura CE dei diversi tipi di dispositivi antisismici, compresi gli isolatori elastomerici, in accordo alla normativa europea armonizzata UNI EN 15129:2009 *Dispositivi antisismici*.

DESCRIZIONE

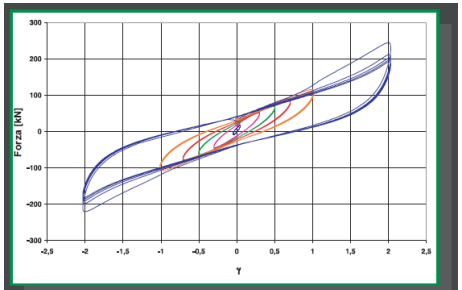
Gli isolatori elastomerici della serie **SI** sono dispositivi d'appoggio in elastomero armato, cioè costituiti da strati alterni di acciaio e di elastomero collegati mediante vulcanizzazione. Solitamente sono a pianta circolare, ma possono essere realizzati anche con sezione quadrata o rettangolare. Sono caratterizzati da ridotta rigidezza orizzontale, elevata rigidezza verticale ed opportuna capacità dissipativa. Queste caratteristiche consentono rispettivamente di aumentare il periodo proprio della struttura, di sostenere i carichi verticali senza apprezzabili cedimenti, e di contenere lo spostamento orizzontale della struttura isolata.

I parametri progettuali fondamentali nella determinazione delle rigidezze verticale ed orizzontale sono le caratteristiche geometriche degli isolatori (ad esempio le dimensioni globali, gli spessori dei singoli strati, ecc.) e le caratteristiche meccaniche dell'elastomero. La capacità dissipativa degli isolatori è invece determinata dal tipo di mescola elastomerica, che solitamente è ad alto smorzamento.

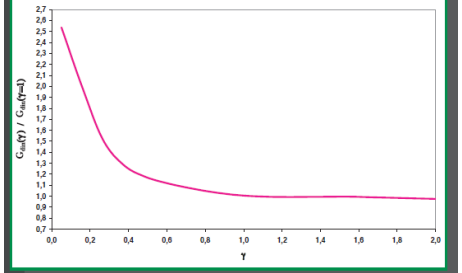
3

FIP INDUSTRIALE

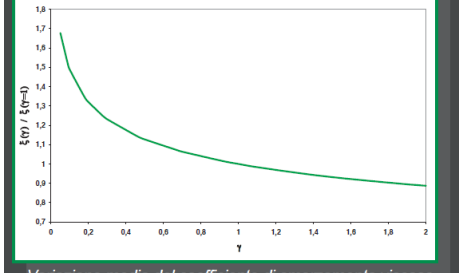
PROPRIETÀ	MESCOLA		
	MORBIDA (SOFT - S)	NORMALE (NORMAL - N)	DURA (HARD - H)
Durezza (Shore A)	40	60	75
Modulo di elasticità tangenziale G_{din} a $\gamma = 1$ (MPa)	0.4	0.8	1.4
Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ a $\gamma = 1$ (%)	10 / 15	10 / 15	10 / 15



Tipico diagramma isteretico di un isolatore elastomerico ottenuto in prove dinamiche ad ampiezza crescente.



Variazione media del modulo dinamico equivalente a taglio G_{din} in funzione della deformazione di taglio γ.



Variazione media del coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ in funzione della deformazione di taglio γ.

DISPOSITIVO ELASTOMERICO

SPOSTAMENTO 200 mm

SI-S	V kN	F_{zd} kN	K_e kN/mm	K_v kN/mm	D_g mm	t_e mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-S 300/100	105	960	0.28	304	300	100	188	238	350	100
SI-S 350/100	250	1500	0.39	389	350	100	178	228	400	128
SI-S 400/100	590	2650	0.50	623	400	100	178	228	450	166
SI-S 450/102	900	3570	0.62	725	450	102	190	240	500	220
SI-S 500/102	1420	5550	0.77	1038	500	102	190	240	550	270
SI-S 550/105	1830	6890	0.91	1148	550	105	187	237	600	316
SI-S 600/104	2230	8750	1.09	1313	600	104	180	230	650	362
SI-S 650/108	2760	10430	1.23	1424	650	108	181	231	700	418
SI-S 700/100	3110	11370	1.54	1722	700	100	177	237	750	535
SI-S 800/100	5040	14990	2.01	2711	800	100	177	237	850	694
SI-S 900/108	6670	21220	2.36	2954	900	108	190	250	950	905
SI-S 1000/112	8390	22590	2.81	3322	1000	112	200	280	1050	1327
SI-S 1100/112	11590	27460	3.39	4577	1100	112	200	280	1150	1600
SI-S 1200/112	13570	28700	4.04	5160	1200	112	196	276	1250	1865

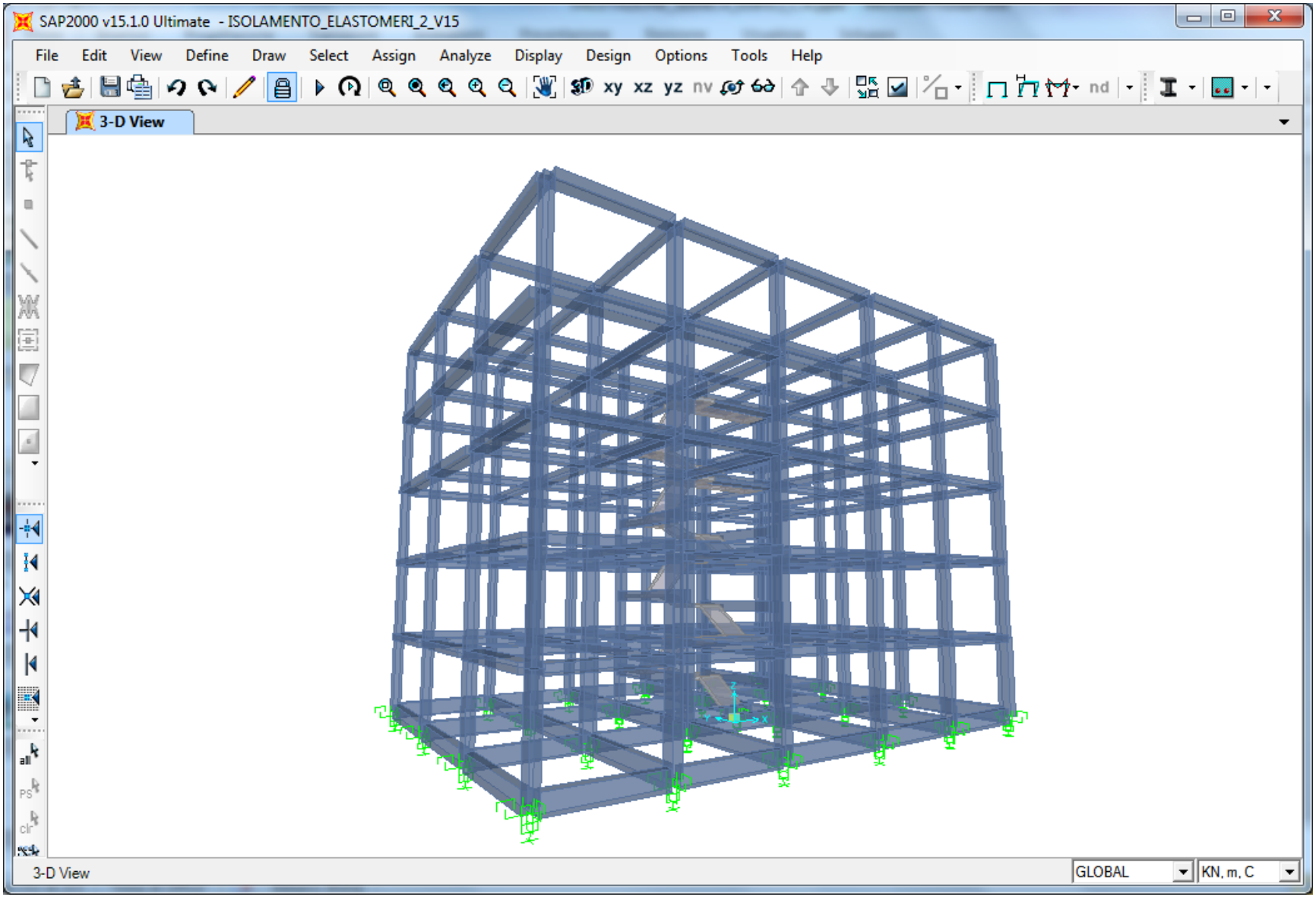
SI-H	V kN	F_{zd} kN	K_e kN/mm	K_v kN/mm	D_g mm	t_e mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-H 300/100	370	2320	0.99	583	300	100	188	238	350	100
SI-H 350/100	900	3510	1.35	775	350	100	178	228	400	128
SI-H 400/100	1720	4680	1.76	1138	400	100	178	228	450	166
SI-H 450/102	3170	7510	2.18	1372	450	102	190	240	500	220
SI-H 500/102	4640	9380	2.70	1840	500	102	190	240	550	270
SI-H 550/105	5310	9820	3.17	2103	550	105	187	237	600	316
SI-H 600/104	5970	10310	3.81	2469	600	104	180	230	650	362
SI-H 650/108	6620	10830	4.30	2735	650	108	181	231	700	418
SI-H 700/100	7270	11370	5.39	3367	700	100	177	237	750	535
SI-H 800/100	10260	14990	7.04	4877	800	100	177	237	850	694
SI-H 900/108	15290	21220	8.25	5517	900	108	190	250	950	905
SI-H 1000/112	16910	22590	9.82	6381	1000	112	200	280	1050	1327
SI-H 1100/112	21190	27460	11.88	8289	1100	112	200	280	1150	1600
SI-H 1200/112	22700	28700	14.14	9602	1200	112	196	276	1250	1865

SI-N	V kN	F_{zd} kN	K_e kN/mm	K_v kN/mm	D_g mm	t_e mm	h mm	H mm	Z mm	W kg
SI-N 300/100	210	1350	0.57	457	300	100	188	238	350	100
SI-N 350/100	510	2100	0.77	597	350	100	178	228	400	128
SI-N 400/100	1180	3720	1.01	912	400	100	178	228	450	166
SI-N 450/102	1810	4990	1.25	1082	450	102	190	240	500	220
SI-N 500/102	2840	7780	1.54	1494	500	102	190	240	550	270
SI-N 550/105	3660	9650	1.81	1683	550	105	187	237	600	316
SI-N 600/104	4470	10310	2.18	1953	600	104	180	230	650	362
SI-N 650/108	5520	10830	2.46	2143	650	108	181	231	700	418
SI-N 700/100	6230	11370	3.08	2617	700	100	177	237	750	535
SI-N 800/100	10090	14990	4.02	3934	800	100	177	237	850	694
SI-N 900/108	13350	21220	4.71	4377	900	108	190	250	950	905
SI-N 1000/112	16780	22590	5.61	5000	1000	112	200	280	1050	1327
SI-N 1100/112	21190	27460	6.79	6667	1100	112	200	280	1150	1600
SI-N 1200/112	22700	28700	8.08	7631	1200	112	196	276	1250	1865

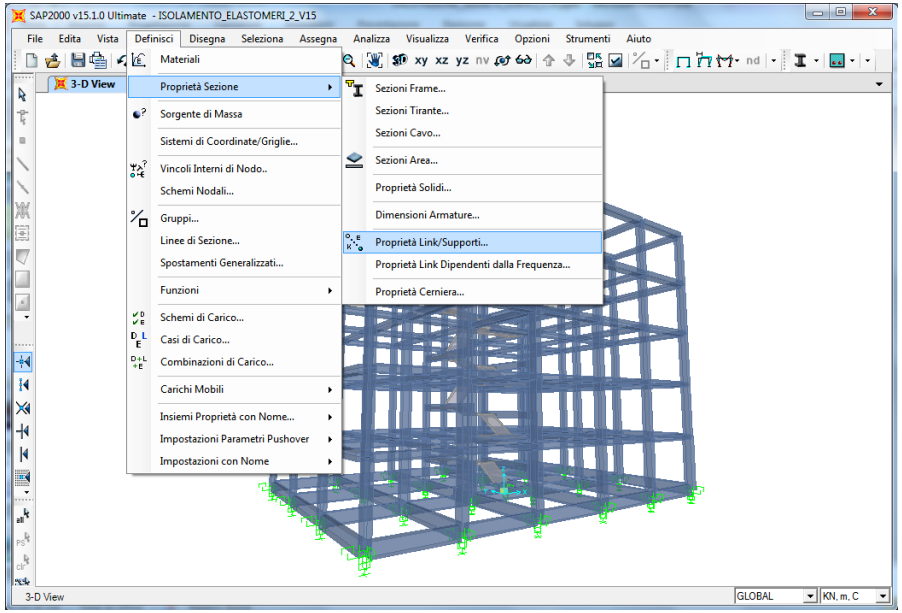
Legenda

V	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in presenza di sisma corrispondente allo SLC
F_{zd}	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in assenza di sisma (SLU), concomitante con rotazione 0 e spostamento orizzontale 10 mm
K_e	Rigidezza orizzontale equivalente
K_v	Rigidezza verticale
D_g	Diametro elastomero
t_e	Spessore totale gomma
h	Altezza escluse piastre di ancoraggio
H	Altezza totale incluse piastre di ancoraggio
Z	Lato piastre di ancoraggio
W	Peso isolatore escluse zanche

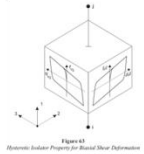
DISPOSITIVO ELASTOMERICO – GOMMA ARMATA



DISPOSITIVO ELASTOMERICO – GOMMA ARMATA



RUBBER ISOLATOR



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

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

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

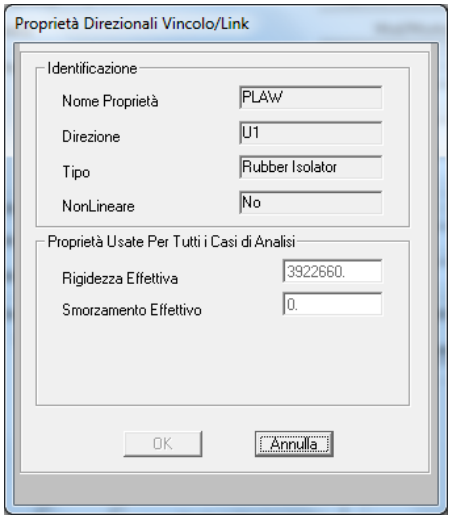
$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dfrac{\text{k2}}{\text{yield2}} \dot{d}_{u2} \\ \dfrac{\text{k3}}{\text{yield3}} \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

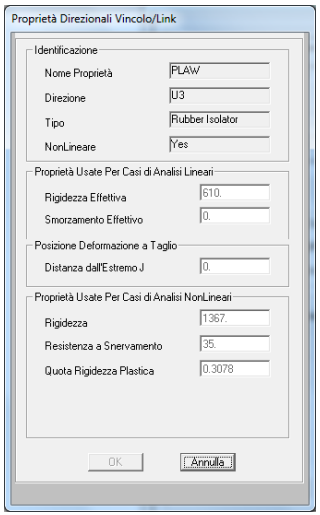
Where:

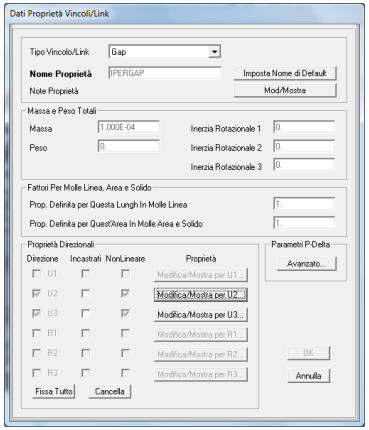
$$a_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u2} z_2 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

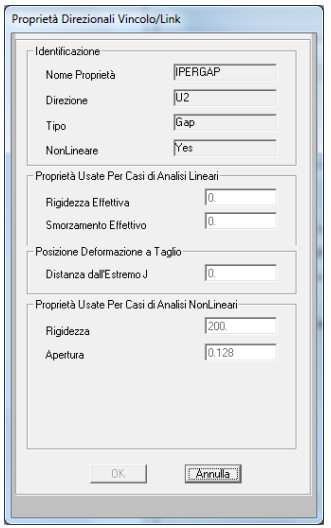
$$a_3 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u3} z_3 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

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





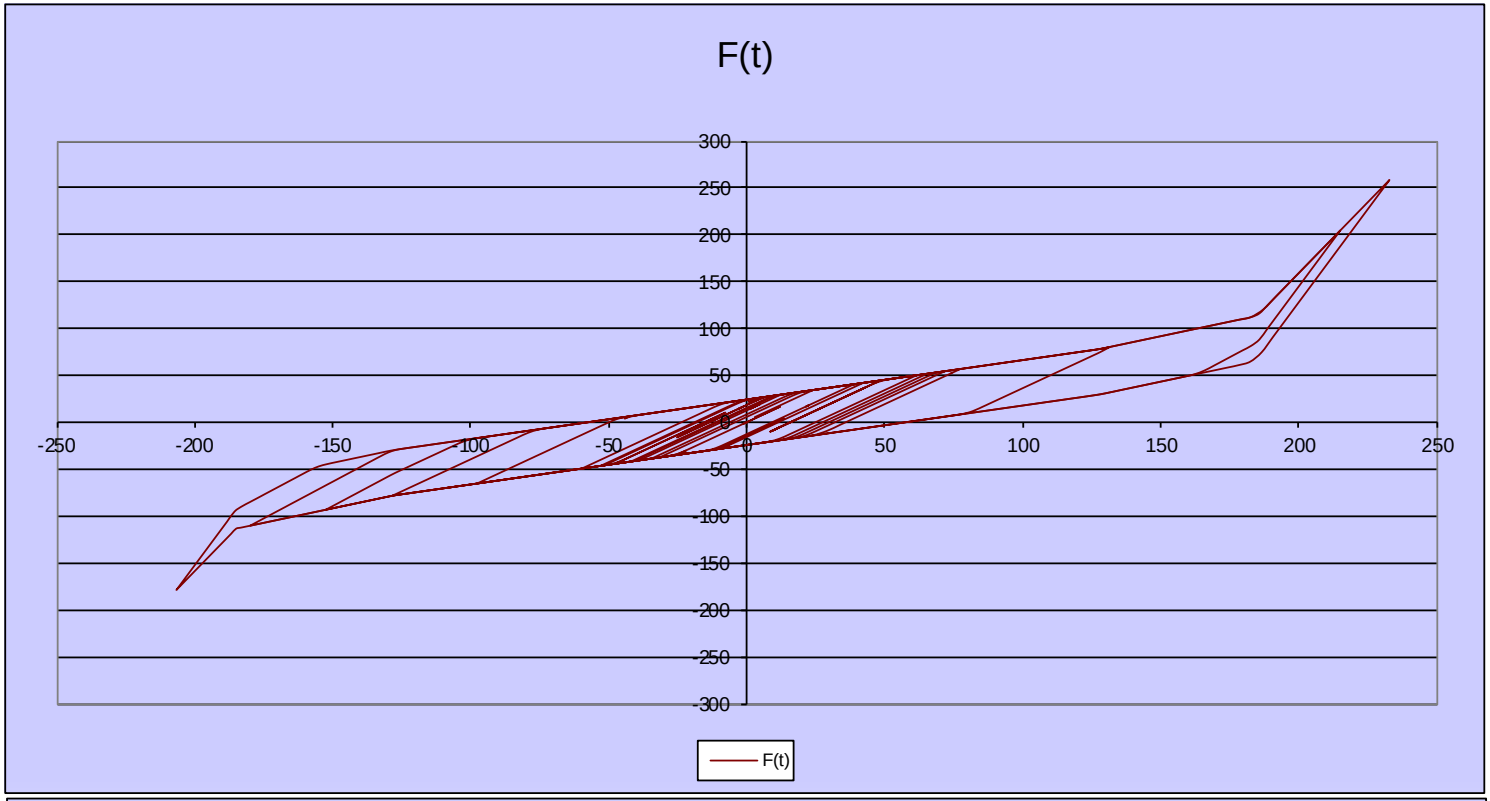




Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

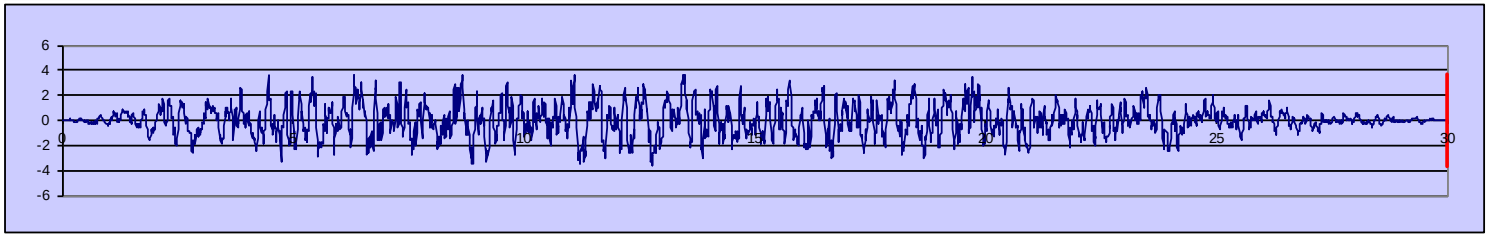
DISPOSITIVO ELASTOMERICO – GOMMA ARMATA



T_{max} =	30
N_{iter} =	3001
Scala =	20
T =	30.00

Totale

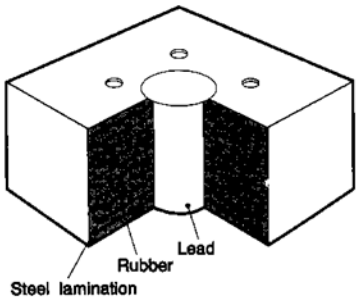
Incrementale

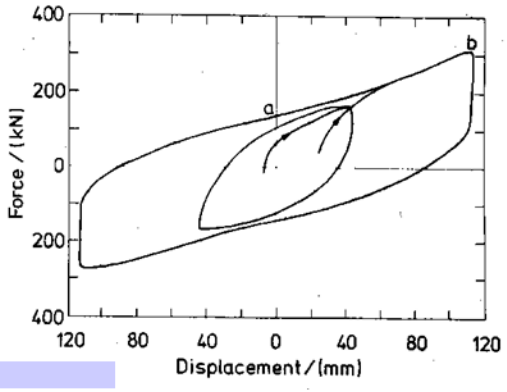


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

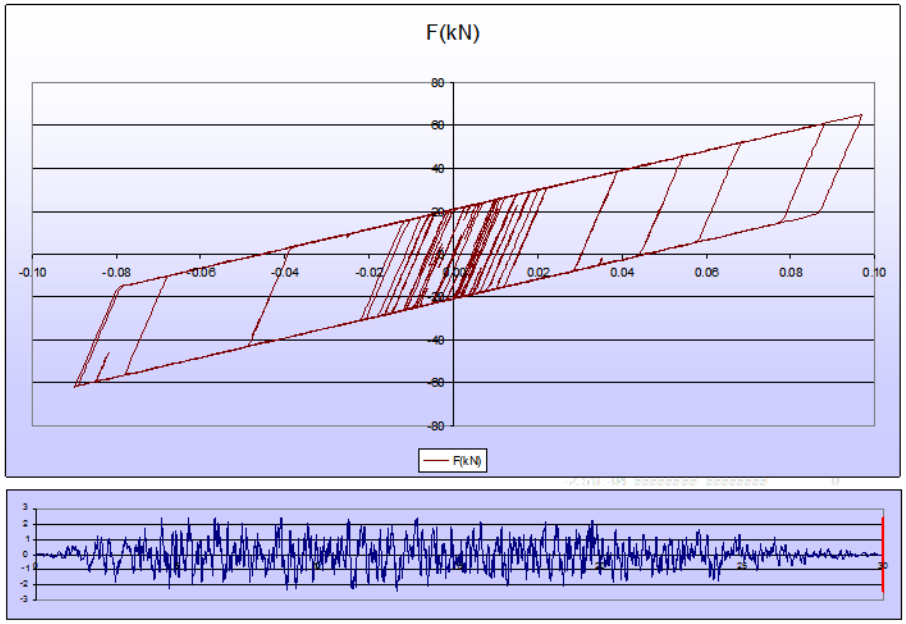
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

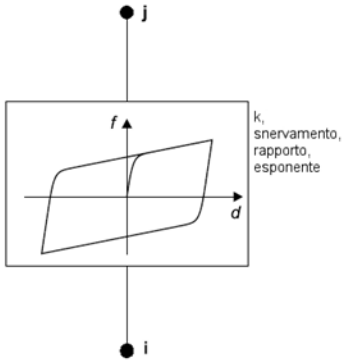
DISPOSITIVO ELASTOMERICO CON NUCLEO IN PIOMBO





Elemento Plastic-WEN





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

INTRODUZIONE

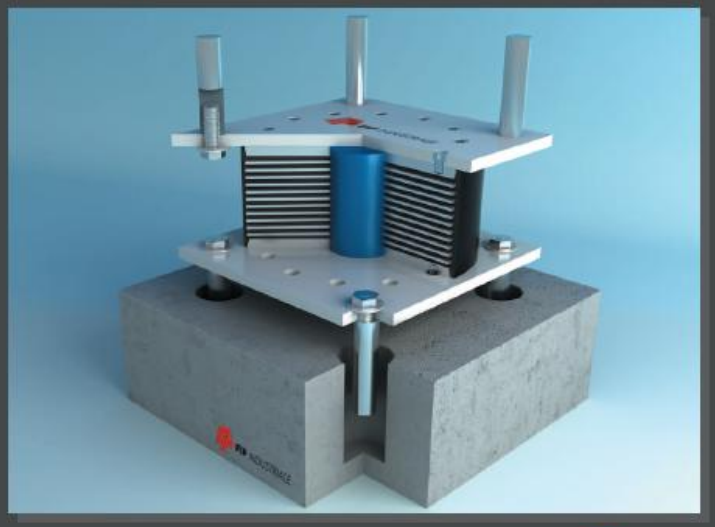
CERTIFICAZIONI

Nel 1992 **FIP Industriale** ha ottenuto la certificazione CISQ-ICIM per il Sistema di Assicurazione Qualità in conformità con le normative europee EN 29001 (ISO 9001). **FIP Industriale** è orgogliosa di essere il primo produttore italiano di apparecchi d'appoggio, dispositivi antisismici e giunti di dilatazione ad aver ottenuto un Sistema di Assicurazione Qualità certificato ai livelli più alti, dal progetto all'assistenza al Cliente. La certificazione è stata ottenuta tramite una rigorosa valutazione da parte di un organismo internazionale indipendente. Tale certificazione è pertanto riconosciutaa livello internazionale.

FIP Industriale è inoltre il primo produttore italiano di dispositivi antisismici ad aver ottenuto gli Attestati di Qualificazione di Dispositivi Antisismici, ai sensi del D.M. 14/01/2008, paragrafo 11.9. Infine, nell'ambito della Direttiva Europea sui Prodotti da Costruzione, **FIP Industriale** ha ottenuto la Marcatura CE dei diversi tipi di dispositivi antisismici, compresi gli isolatori elastomerici con nucleo in piombo, in accordo alla normativa europea armonizzata UNI EN 15129:2009 *Dispositivi antisismici*.

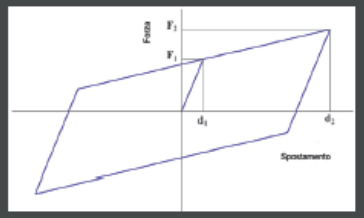
DESCRIZIONE

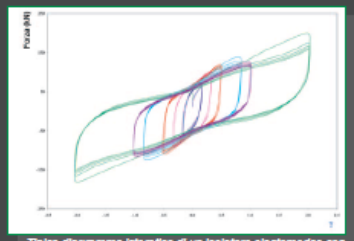
Gli isolatori elastomerici con nucleo in piombo della serie **LRB** (Lead Rubber Bearings), sono dispositivi d'appoggio in elastomero armato, cioè costituiti da strati alterni di acciaio e di elastomero collegati mediante vulcanizzazione, con un nucleo centrale in piombo di forma cilindrica. La dissipazione di energia fornita dal nucleo in piombo, mediante la sua plasticizzazione, consente di ottenere un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente fino a circa il 30%, cioè il doppio di quello ottenibile con gli isolatori elastomerici ad alto smorzamento (serie SI). Grazie all'elevata capacità dissipativa, si riesce a ridurre lo spostamento orizzontale, rispetto a quello di un sistema di isolamento con la stessa rigidezza equivalente ma con minore capacità dissipativa. Solitamente sono a pianta circolare, ma possono essere realizzati anche con sezione quadrata, eventualmente con più di un nucleo in piombo.



CARATTERISTICHE

Il tipico ciclo isteretico forza-spostamento di un isolatore con nucleo in piombo può essere schematizzato con una relazione bilineare. I parametri d_1, F_1, d_2 ed F_2, che definiscono la bilineare, sono indicati nelle tabelle seguenti per ciascuno degli isolatori **LRB** standard.



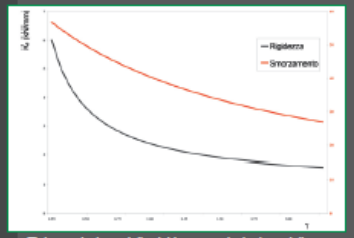


Tipico diagramma isteretico di un isolatore elastomerico con nucleo in piombo ottenuto con prove dinamiche ad ampiezza crescente.

Il comportamento isteretico di un isolatore **LRB** può anche essere linearizzato, se consentito dalla normativa (si veda il par. 7.10.5.2 del D.M. 14/01/2008), mediante la rigidezza equivalente K_e ed il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_e, che dipendono dallo spostamento massimo d_2 e dalla forza corrispondente F_2 a cui sono riferiti:

$$K_e = \frac{F_2}{d_2}$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \left[\frac{F_1}{F_2} - \frac{d_1}{d_2}\right]$$



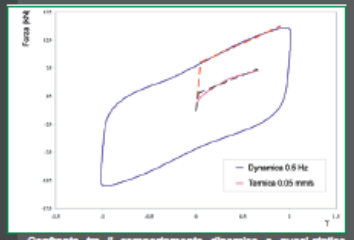
Tipica variazione della rigidezza equivalente e dello smorzamento viscoso equivalente in funzione della deformazione di taglio γ.

Nelle tabelle, a titolo di esempio sono riportati i valori di K_e e ξ_e per uno spostamento d_2^{SLV} (corrispondente allo Stato Limite di salvaguardia della Vita - SLV) assunto pari a quello corrispondente allo Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC) – d_2^{SLC} – diviso per il coefficiente 1,2.

Il secondo grafico riportato a lato illustra il tipico andamento di K_e e ξ_e in funzione della deformazione di taglio γ dell'elastomero (in questo caso per l'isolatore LRB-S 800/200 -175).

In caso di deformazioni lente, ad es. indotte dalle variazioni termiche, il legame costitutivo dell'isolatore **LRB** è sempre bilineare, ma con parametri diversi da quelli corrispondenti a deformazioni veloci, quali quelle indotte dal sisma.

Come si può notare dal grafico a lato, le forze che si sviluppano a fronte di deformazioni lente sono molto inferiori a quelle che si sviluppano durante un sisma. In particolare, si può assumere una forza di snervamento pari a circa 1/3 di quella dinamica, ed una rigidezza post-elastica pari al 90% di quella dinamica.



Confronto tra il comportamento dinamico e quasi-statico ottenuto in prove a diversa velocità (prova dinamica con input sinusoidale alla frequenza di 0.5 Hz e prova di simulazione della variazione termica alla velocità di 0.05 mm/s).

Le mescole elastomeriche utilizzate normalmente per la produzione degli isolatori elastomerici con nucleo in piombo della serie **LRB** sono caratterizzate da un modulo dinamico equivalente a taglio G_{din} pari a 0,4 MPa (mescola S) o 0,6 MPa (mescola SN). Su richiesta possono essere utilizzate anche mescole elastomeriche con valori superiori del modulo G_{din} fino a 1,4 MPa. Il piombo utilizzato è di elevata purezza, superiore al 99,85%.

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ELASTOMERICO – GOMMA ARMATA

POSA IN OPERA

La tipica procedura di installazione dell'isolatore vincolato superiormente ed inferiormente a strutture in c.a. gettate in opera, prevede le seguenti fasi:

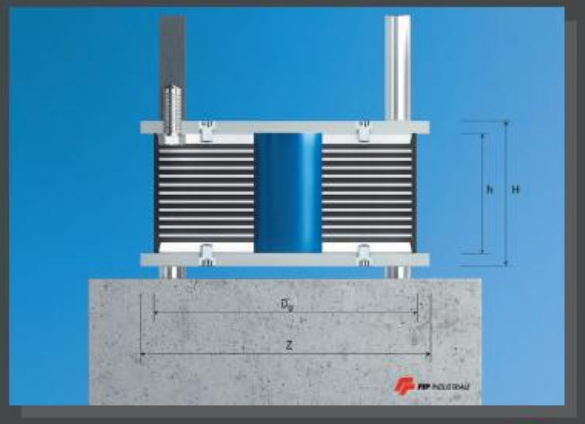
- getto della sottostruttura fino ad un livello più basso di alcuni centimetri di quello degli isolatori, prevedendo fori di alloggiamento delle zanche di ancoraggio di diametro almeno doppio di quello delle stesse;
- posizionamento degli isolatori al livello di progetto e con la superficie di base orizzontale;
- costruzione di una cassaforma di dimensioni leggermente più grandi dell'isolatore e più alta di circa 1 cm del livello inferiore dello stesso;
- allettamento con malta (epossidica o cementizia antiritiro) per uno spessore consigliato tra i 2 e i 5 cm;
- avvitamento delle zanche superiori (se non già fissate);
- approntamento della cassaforma superiore adattandola con precisione attorno alla piastra superiore dell'isolatore;
- posizionamento dell'armatura lenta della sovrastruttura ed esecuzione del getto in c.a.

SIGLA

Gli isolatori elastomerici con nucleo in piombo sono identificati mediante la sigla LRB (Lead Rubber Bearing), seguita da una o più lettere (S o SN, per indicare il tipo di mescola) e da tre cifre. La prima rappresenta il diametro esterno dell'isolatore in millimetri, la seconda lo spessore totale degli strati di gomma in millimetri, la terza il diametro del nucleo in piombo in millimetri.

Esempio:

LRB-S 700/203-150 Isolatore elastomerico con nucleo in piombo del diametro di 700 mm, realizzato con mescola elastomerica con G=0,4 MPa, con strati in gomma aventi spessore totale di 203 mm, e nucleo in piombo del diametro di 150 mm.



FIP INDUSTRIALE

SPOSTAMENTO 200 mm

LRB-S	V	F_{sd}	K_e	ξ_e	F_2	F_1	d_1	K_v	D_g	t_e	h	H	Z
	kN	kN	kN/mm	%	KN	kN	mm	kN/mm	mm	mm	mm	mm	mm
			per d_2^{SLV} = 167mm										
LRB-S 500/100-110	1420	3630	1.35	27	224	106	8	1164	500	100	197	247	550
LRB-S 550/100-120	2120	5430	1.62	27	270	126	8	1579	550	100	197	247	600
LRB-S 600/102-120	2610	6500	1.78	24	296	128	8	1715	600	102	190	240	650
LRB-S 650/102-120	3620	9190	1.97	22	328	129	8	2235	650	102	200	260	700
LRB-S 700/105-115	4250	10570	2.08	19	347	121	8	2374	700	105	197	257	750
LRB-S 750/112-125	5680	12530	2.31	20	385	143	9	2754	750	112	207	267	800
LRB-S 800/128-130	6740	13190	2.37	21	394	155	10	2577	800	128	223	283	850
LRB-S 850/128-130	8420	17040	2.57	19	428	157	10	3130	850	128	223	283	900
LRB-S 900/126-140	9070	19250	2.94	20	490	182	10	3359	900	126	228	288	950
LRB-S 1000/135-150	13510	26760	3.39	20	565	210	11	4344	1000	135	251	331	1050
LRB-S 1100/150-160	17580	32410	3.75	20	625	241	12	4725	1100	150	266	346	1150
LRB-S 1200/154-160	21780	38760	4.15	18	692	247	12	5498	1200	154	266	346	1250

LRB-SN	V	F_{sd}	K_e	ξ_e	F_2	F_1	d_1	K_v	D_g	t_e	h	H	Z
	kN	kN	kN/mm	%	KN	kN	mm	kN/mm	mm	mm	mm	mm	mm
			per d_2^{SLV} = 167 mm										
LRB-SN 500/100-110	2130	6060	1.72	21	287	109	8	1424	500	100	197	247	550
LRB-SN 550/100-120	3190	9060	2.07	21	345	130	8	1892	550	100	197	247	600
LRB-SN 600/102-120	3910	10880	2.31	19	385	132	8	2091	600	102	190	240	650
LRB-SN 650/114-130	5690	13520	2.51	20	419	155	9	2986	650	114	218	278	700
LRB-SN 700/126-140	6780	14260	2.73	21	455	180	10	2939	700	126	227	287	750
LRB-SN 750/126-140	8870	17170	3.00	19	500	182	10	2890	750	126	227	287	800
LRB-SN 800/136-145	10200	18010	3.19	19	531	197	11	2904	800	136	234	294	850
LRB-SN 850/144-155	12980	20410	3.47	20	579	225	12	3267	850	144	245	305	900
LRB-SN 900/144-160	14120	27260	3.83	20	639	241	12	3509	900	144	254	314	950
LRB-SN 1000/153-170	20940	33970	4.42	19	737	275	12	4489	1000	153	277	357	1050
LRB-SN 1100/170-185	27080	37200	4.95	20	825	327	14	4883	1100	170	294	374	1150
LRB-SN 1200/176-185	31990	40620	5.46	18	910	336	14	5651	1200	176	296	376	1250

Legenda

V	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in presenza del sisma corrispondente allo SLC (allo spostamento d_2^{SLC})
F_{sd}	Carico verticale massimo agente sull'isolatore in assenza di sisma (SLU), concomitante con rotazione 0 e spostamento orizzontale 10 mm
K_e	Rigidezza orizzontale equivalente (allo spostamento d_2^{SLC})
ξ_e	Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente (allo spostamento d_2^{SLC})
F_2	Forza massima (allo spostamento d_2^{SLC})
F_1	Forza al limite elastico
d_1	Spostamento al limite elastico
K_v	Rigidezza verticale
D_g	Diametro elastomero
t_e	Spessore totale gomma
h	Altezza escluse piastre di ancoraggio
H	Altezza totale incluse piastre di ancoraggio
Z	Lato piastre di ancoraggio

FIP INDUSTRIALE

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ELASTOMERICO CON NUCLEO IN PIOMBO

Verifiche geometriche e di carico dei dispositivi LRB scelti e loro caratterizzazione

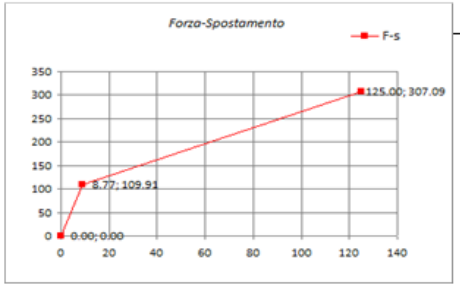
N.B. In rosso i valori di input, in blu quelli calcolati

Carichi - Deformazioni - Rotazioni				Note	
Carico normale massimo in fase sismica	V	7520	kN		
Carico normale minimo in fase sismica	$V_{s,min}$	0	kN		
Spostamento massimo (+/-)	d_z	125	mm		
Rotazione attorno alla direzione x	α_x	-	rad		
Rotazione attorno alla direzione y	α_y	-	rad		
Rotazione totale	α	0.0040	rad		
Caratteristiche isolatore					
Diametro esterno isolatore	D_e	650	mm		
Diametro lamierini	D	640	mm		
Numero fori	n_f	1	n°		
Diametro fori interni	d	110	mm		
Foro riempito (s/n)?		s			
Spessore armature	t_s	5	mm	t_s > 2 mm	Ok
Numero strati di gomma	n_g	19	n°		
Spessore singolo strato di gomma	t_i	6	mm		
Spessore strati ricoprimento esterno	t_{ext}	14	mm		
Spessore piastre d'acciaio sup/inf.	$t_{s\,ext}$	30	mm	$t_{s\,ext}$ > 20 mm	Ok
Tensione di snervamento dell'acciaio lamierini	f_{yk}	275	MPa		
Modulo di compressibilità volum. della gomma (bulk)	E_b	2000	MPa		
Modulo di elasticità dinamico equivalente a taglio	G_{din}	0.60	MPa		
Spessore totale gomma	te	114	mm		
Altezza isolatore escluse piastre di ancoraggio	h	218	mm		
Altezza totale	H	278	mm		

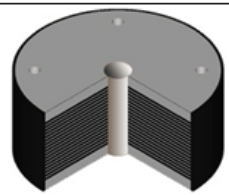
Calcoli				
Area strato di gomma (eventualmente depurata del foro)	A	322327	mm²	
Area singolo foro interno	A_f	9503	mm²	
Sup. laterale del singolo foro per singolo strato di gomma	L_f	2073	mm²	
Sup. laterale totale del singolo strato di gomma	L	12064	mm²	
Area lamierino (eventualmente depurata del foro)	A'	312196	mm²	
Spessore totale gomma	$\Sigma t_i + \Sigma t_{ext}$	128	mm	
Spessore totale di calcolo della gomma	t_e	114	mm	
Coefficiente	ϕ	2.75	rad	
Area ridotta soggetta al carico	A_r	242211	mm²	
Dimensione equivalente: $3\cdot\alpha\cdot D^2/4$	a^2	1229		
D/t_e	δ	5.61		
Modulo di compressibilità assiale	E_c	924.70	MPa	

Verifiche

Fattore di forma primario $S_1 = A'/L$	S_1	25.88			
Fattore di forma secondario $S_2 = D/t_e$	S_2	5.61			
Def. di taglio della gomma dovuta alla compressione assiale	γ_c	2.999			
Def. di taglio della gomma dovuta allo spost. tot. sismico	γ_s	1.096		$\gamma_s < 2$	Ok
Def. della gomma dovuta alla rotazione angolare	γ_α	0.898			
Deformazione totale di taglio	γ_t	4.994		$\gamma_t < 5$	Ok
Tensione max sui lamierini d'acciaio = $1.3\cdot V\cdot 2t_i/(A_r\cdot t_s)$	σ_s	97	MPa	$\sigma_s < f_{yk}$	Ok
Carico normale di instabilità = $G\cdot A_r\cdot S_1\cdot(D/t_e)$	V_{cr}	21114	kN		
Rapporto di instabilità = V_{cr}/V	i	2.81		i > 2	Ok
Diametro esterno	D_e	650	mm		
Altezza totale comprese piastre sup/inf	h	264	mm		
Volume parte vulcanizzata	Vol	0	dm³		
Volume totale	Vol	0	dm³		
Pressione sismica uniforme = V/A	$\sigma_{v,sis}$	23.33	MPa		
Pressione sismica minima uniforme = V_{min}/A'	$\sigma_{vs,sis}$	0.00	MPa	$\sigma_{vs,sis} > -1$	Ok
Rigidezza verticale $K_v = E_c\cdot A'/t_e$	K_v	2532	kN/mm		
Rigidezza orizzontale dell'elastomero = $G_{din}\cdot A/t_e$	K_g	1.696	kN/mm	Kv/Kb >800	Ok
Rigidezza equivalente orizzontale	K_e	**2.457**	kN/mm		
Trazione massima gomma min 1Mpa e 2G	Tr	312.2	kN		
Tensione di taglio al limite elastico del piombo	τ_{pb}	10	MPa		
Modulo di elasticità a taglio del piombo	G_{pb}	130	MPa		
Spostamento al limite elastico del piombo	Δy	8.77	mm		
Contributo del nucleo in piombo = $A_{pb}\cdot\tau$	$V_{y,pb}$	95	kN		
Taglio elastico dell'elastomero = $G_{din}\cdot\gamma$	τ_{el}	0.0462	MPa	Gdin*(tau,pb/Gpb)	
Contributo elastomero = $(A_{tot} - A_{pb})\cdot\tau_{gm}$	$V_{y,el}$	14.88	kN		
Contributo totale $V_{y,tot} = V_{y,pb} + V_{y,gm}$	$V_{y,tot}$	**110**	kN		
$V_u - V_y = K_g\cdot(d_z - \Delta y)$		197	kN		
	V_u	**307**	kN		
Pendenza primo tratto curva	k_1	12.53	kN/mm		
Pendenza secondo tratto curva	k_2	1.70	kN/mm		
Rapporto rigidezze	k_2/k_1	0.13535			



rapporto smorzamento ξ 21.2



Collegamento al File excel

DISPOSITIVO ELASTOMERICO CON NUCLEO IN PIOMBO

Dove,

V – massimo valore di carico verticale in condizione sismica. Tale valore è stato valutato allo SLC. La verifica di tale valore viene effettuata ipotizzando la concomitanza del massimo spostamento, e quindi della minima sezione trasversale;

dε – massima deformazione ammissibile sotto sisma, per una azione corrispondente al raggiungimento dello SLC;

α – massima rotazione totale sotto l'evento sismico;

Dg – diametro esterno isolatore;

D – diametro lamierini;

d – diametro nucleo in piombo;

ts – spessore delle armature metalliche interposte agli strati di gomma;

ti,tf – spessore piastre di acciaio inferiori e superiori;

Eb – modulo di compressibilità volumetrica, 2000 MPa;

Gdin – Modulo di elasticità a taglio. Assunta una mescola di 0.6 Mpa;

te – spessore totale gomma;

h – altezza del dispositivo escluso piastre di ancoraggio;

H – altezza totale del dispositivo;

Ar – area ridotta a seguito della deformazione tagliante;

A' – area depurata del foro;

S1 = A'/L Fattore di forma primario;

S2 = D/te Fattore di forma secondario;

γe – deformazione a taglio della gomma a taglio;

γt – deformazione totale;

i – Rapporto di instabilità = Vcr / V

Kv – Rigidezza verticale

Kg – Rigidezza orizzontale elastomero

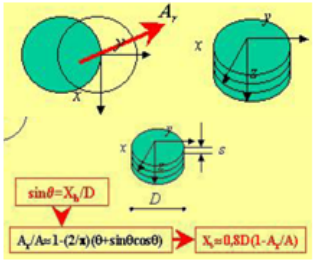
Tr – Massima trazione sopportabile, corrispondente ad una tensione di trazione non superiore al minimo di 2Gdin e 1 Mpa;

k1 – Rigidezza del primo ramo della curva

k2 – Rigide del secondo ramo della bilatera rappresentativa della curva di carico

Vy – Forza allo snervamento del nucleo di piombo

Vu – Forza massima di taglio del dispositivo



➢ *Verifica dello stato tensionale negli inserti in acciaio*

$$\sigma_s = 1{,}3V(t_1+t_2)/(A_r t_s) \le f_{yk}$$

σ_s = tensione massima agente nella generica piastra in acciaio;

f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio;

V = Carico verticale di progetto agente sull'isolatore in presenza di sisma;

t_1, t_2 = spessore dei due strati di elastomero direttamente a contatto con la piastra considerata;

t_s = spessore della piastra di verifica ($t_s \ge 2$ mm);

A_r = area ridotta efficace dell'isolatore calcolata come segue:

isolatori rettangolari con lati b_x e $b_y \Rightarrow \text{Min}[(b_x-d_{rftx}-d_{Ex})(b_y-d_{rfty}-0.3d_{Ey}), (b_x-d_{rftx}-0.3d_{Ex})(b_y-d_{rfty}-d_{Ey})]$;

d_{rftx}, d_{rfty} = spostamenti relativi tra le due facce (superiore e inferiore) degli isolatori, prodotti dalle azioni di ritiro, fluage e termiche (ridotte al 50%), ove rilevanti;

d_{Ex}, d_{Ey} = spostamenti relativi tra le due facce (superiore e inferiore) degli isolatori, prodotti dalla azione sismica agente nelle direzioni x ed y;

isolatori circolari di diametro D $\Rightarrow (\phi-\sin\phi)D^2/4$ con $\phi = 2\arccos(d_{Ed}/D)$

Devono risultare soddisfatte le condizioni:

$$\gamma_t \le 5$$

$$\gamma_s \le \gamma^*/1{,}5 \le 2$$

γ* = valore massimo della deformazione di taglio raggiunto nelle prove di qualificazione relative all'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, senza segni di rottura.

$\gamma_t = \gamma_c+\gamma_s+\gamma_\alpha$ = deformazione di taglio totale di progetto;

$\gamma_c = 1{,}5V/S_1 G_{din} A_r$ = deformazione di taglio dell'elastomero prodotta dalla compressione;

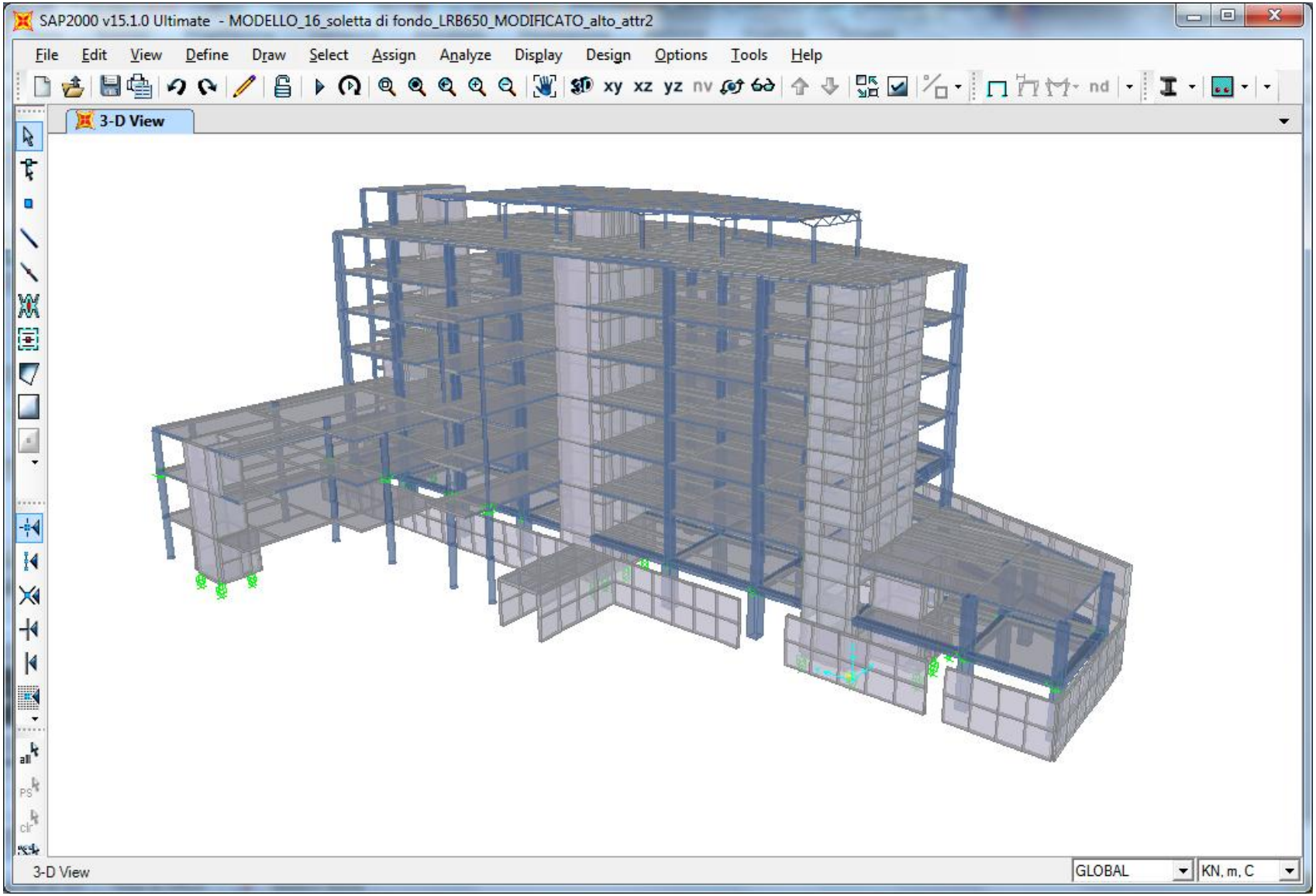
Tensioni tangenziali prodotte da un carico normale – valore massimo ai bordi: $\tau_v = \sigma_v \frac{1{,}5}{S}$

S_1 = fattore di forma primario che quantifica il rapporto fra rigidezza assiale e trasversale del dispositivo = A'/L

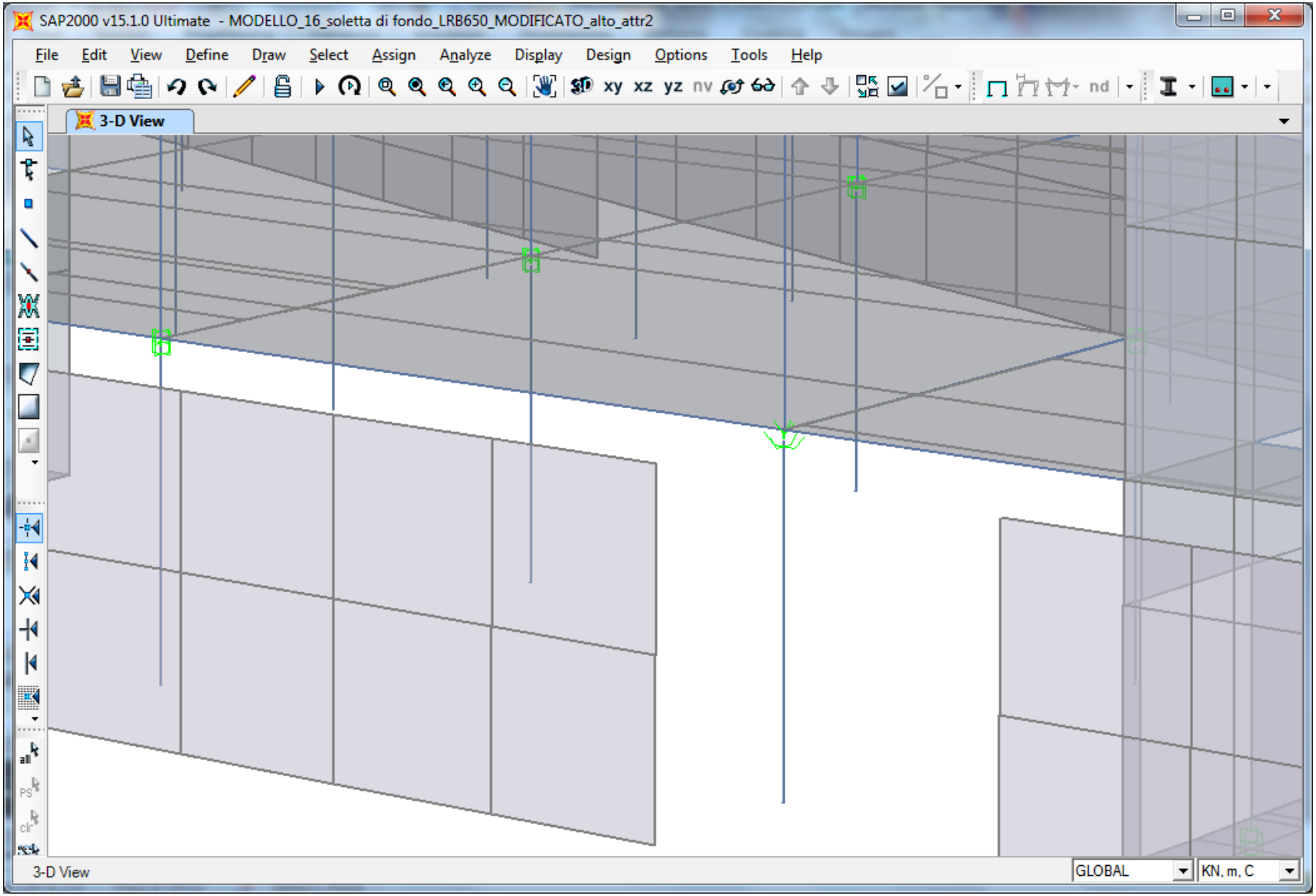
A' = area della superficie comune alla singola piastra d'acciaio ed allo strato di elastomero depurata degli eventuali fori (se non riempiti successivamente);

L = superficie laterale libera del singolo strato di elastomero di un isolatore elastomerico maggiorata degli eventuali fori;

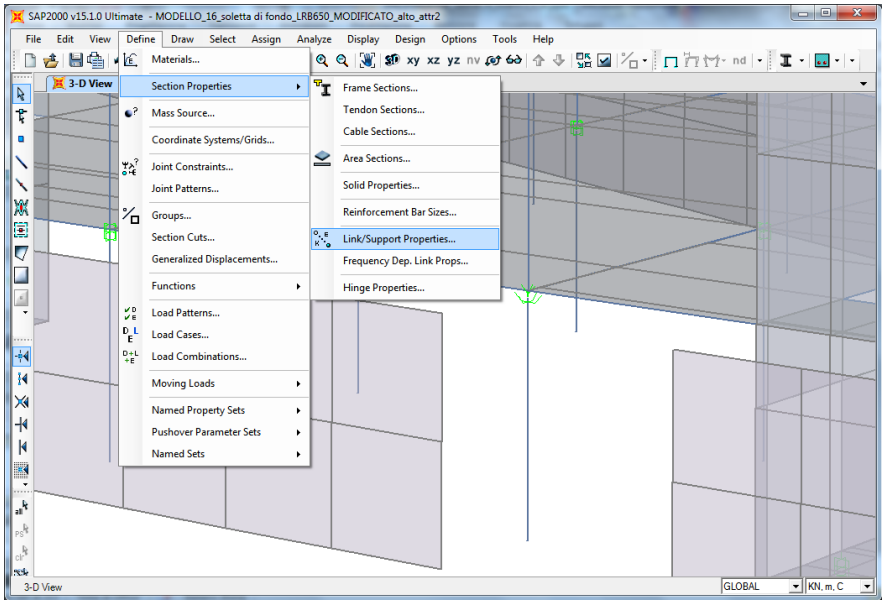
DISPOSITIVO ELASTOMERICO CON NUCLEO IN PIOMBO



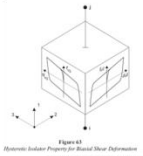
DISPOSITIVO ELASTOMERICO CON NUCLEO IN PIOMBO



DISPOSITIVO ELASTOMERICO CON NUCLEO IN PIOMBO



RUBBER ISOLATOR



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

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

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

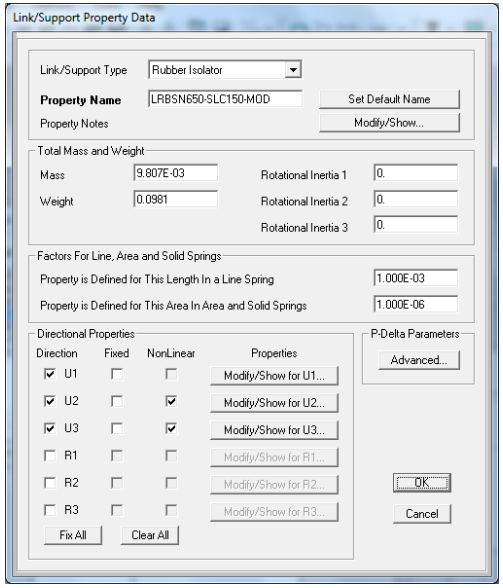
$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dfrac{\text{k2}}{\text{yield2}} \dot{d}_{u2} \\ \dfrac{\text{k3}}{\text{yield3}} \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

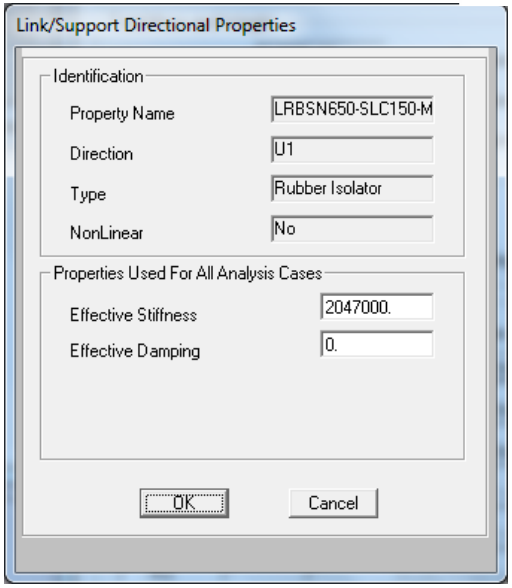
Where:

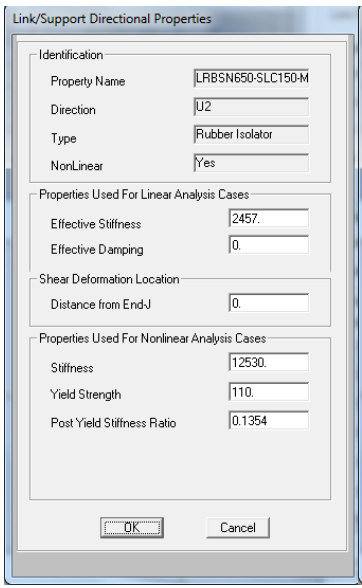
$$a_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u2} z_2 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

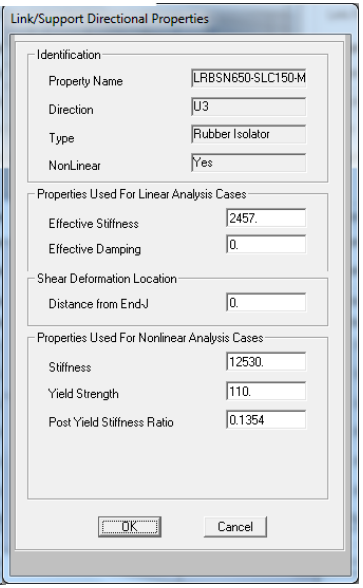
$$a_3 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u3} z_3 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

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









DISPOSITIVO DI APPOGGIO PTFE | ACCIAIO - TEFLON

I dispositivi scelti, sono dispositivi a scorrimento, in cui superfici trattate con teflon puro, lubrificate, scorrono su superfici di acciaio inossidabile o cromato o alluminio lucidate a specchio.
Tali dispositivi sono caratterizzati da bassi coefficienti di attrito, dipendenti dalla velocità di deformazione e dal carico di compressione esercitato dai carichi gravitativi, applicati su di essi durante l'eccitazione sismica.
I valori di attrito, caratteristici per questi dispositivi variano da un minimo del 1% ad un massimo del 6%.
Secondo la CNR 10018/1999 i coefficienti di attrito sono così definiti:

Tab. 4.1: Coefficienti di attrito μ in funzione della pressione di contatto.

Pressione di contatto σ_p (MPa)	< 5	10	20	30
PTFE/acciaio austenitico o cromatura	0.08	0.06	0.04	0.03 (0.025) [1]
PTFE/lega di alluminio anodizzato	0.12	0.09	0.06	0.038

(•)' : Valore del coefficiente di attrito di superfici curve.

DISPOSITIVO DI APPOGGIO PTFE | ACCIAIO - TEFLON

FIP INDUSTRIALE
scheda tecnica

www.fip-group.it

ISOLATORI A SCORRIMENTO A SUPERFICIE CURVA

SERIE

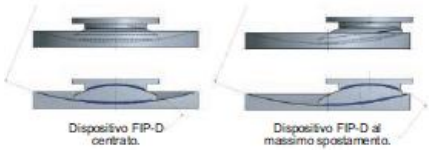
FIP / FIP-D

Fip Industriale SpA • via Scapacchiò 41, Casella Postale 97 • 35030 Selvazzano (PD) • Italy
T +39 049 8225511 • F +39 049 636567 • fip@fip-group.it

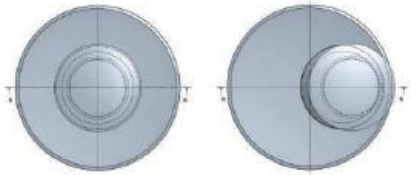
FIP INDUSTRIALE
scheda tecnica
www.fip-group.it

DESCRIZIONE

Gli isolatori a scorrimento a superficie curva della serie FIP (Friction Isolation Pendulum) sono dispositivi d'appoggio in acciaio caratterizzati da una legge di funzionamento riconducibile a quella del pendolo semplice, in cui il periodo d'oscillazione non dipende dalla massa supportata dall'isolatore quanto dalla lunghezza del pendolo stesso.



Dispositivo FIP-D centrato. Dispositivo FIP-D al massimo spostamento.



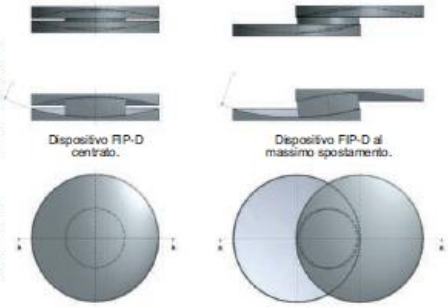
I dispositivi FIP sono sostanzialmente costituiti da 3 elementi d'acciaio sovrapposti: una base concava superiormente, opportunamente sagomata in modo da ottenere il periodo di oscillazione desiderato; una rotula centrale, convessa sia inferiormente che superiormente; infine un terzo elemento che si accoppia con la sottostante rotula, consentendo le rotazioni. Al fine di controllare l'attrito opposto al movimento dalle superfici di scorrimento e rotazione, vengono utilizzati opportuni materiali termoplastici.

Le principali qualità degli isolatori serie FIP sono l'indipendenza del periodo di oscillazione dalla massa gravante (il che rende molto versatile il dispositivo in rapporto ai diversi valori di carico supportato), l'indipendenza della capacità portante dallo spostamento e il ridotto spessore. Qualora risulti necessario ridurre l'ingombro in pianta o qualora si presentino particolari necessità costruttive, conviene utilizzare gli isolatori a scorrimento a doppia superficie curva FIP-D muniti di due superfici di scorrimento concave di uguale raggio tali da consentire lo scorrimento su entrambe le superfici. In tal modo ogni singola superficie viene progettata per uno spostamento pari a metà di quello di progetto.

IDENTIFICAZIONE

Gli isolatori a scorrimento a superficie curva sono identificati mediante la sigla FIP o FIP-D seguita da 3 cifre. La prima rappresenta il carico verticale massimo statico allo SLU in kN/10, la seconda lo scorrimento totale in millimetri, la terza, tra parentesi, indica il raggio di curvatura dell' elemento concavo in millimetri.

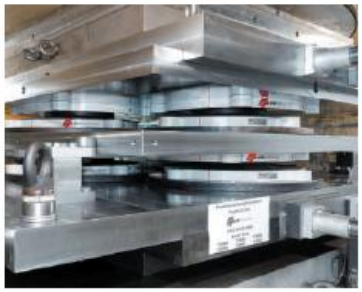
Ad esempio: *FIP 800/1000 (4000)* identifica un isolatore a scorrimento a superficie curva da 8000 kN di carico verticale statico allo SLU, che consente uno scorrimento di ± 500 mm in tutte



Dispositivo FIP-D centrato. Dispositivo FIP-D al massimo spostamento.

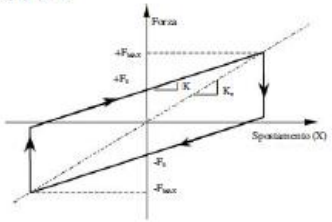
DISPOSITIVO DI APPOGGIO PTFE | ACCIAIO - TEFLON

FIP INDUSTRIALE scheda tecnica
www.fip-group.it



MODELLAZIONE

Il modello matematico che meglio rappresenta il funzionamento degli isolatori della serie FIP/FIP-D è la curva bilineare Forza-Spostamento in cui l'intercetta sull'asse delle ordinate rappresenta la sola forza d'attrito F_0=AV sviluppata dall'isolatore (A rappresenta il coefficiente d'attrito e V il carico verticale). La rigidezza K=V/R dipende invece sia dal carico verticale che dal raggio geometrico di curvatura R.



Volendo utilizzare un modello lineare equivalente, la valutazione della rigidezza equivalente K_e e dello smorzamento equivalente ξ_e in funzione dello spostamento di progetto X viene effettuata con le seguenti formule:

$$K_e = V \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{X}\right)$$

$$\xi_e = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{\frac{X}{\mu R} + 1}$$

Il periodo di oscillazione è dato da:

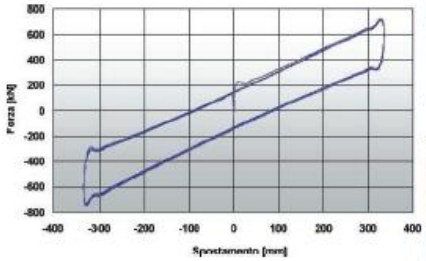
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{\mu}{X}\right)}}$$

Solitamente questi isolatori forniscono un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ_e tra il 15 ed il 30%, in funzione del coefficiente d'attrito del materiale utilizzato, del raggio di curvatura e dello spostamento di progetto.

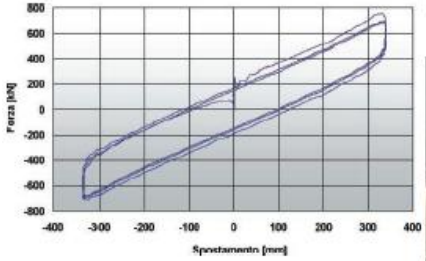
FIP INDUSTRIALE scheda tecnica
www.fip-group.it

RISULTATI SPERIMENTALI

I risultati delle prove sperimentali confermano che il ciclo isteretico forza-spostamento di un isolatore FIP può essere modellato con una curva bilineare, con due tratti a rigidezza sensibilmente diversa. Di seguito si riportano 2 tipici grafici sperimentali.



Cicli isteretici sperimentali dell'isolatore FIP-D 1000/1200 (4202) ottenuti con una prova a velocità costante.

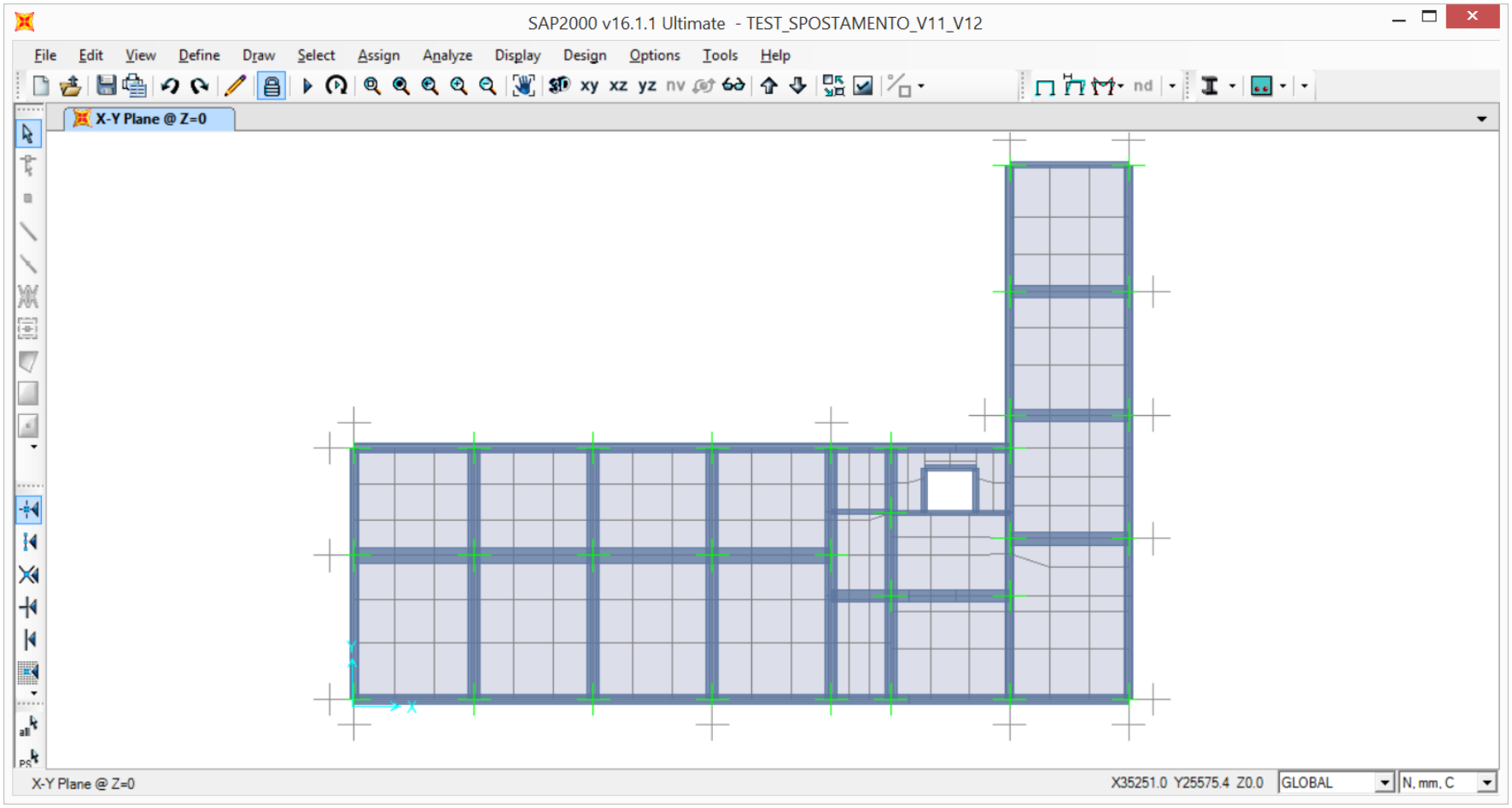


Cicli isteretici sperimentali dell'isolatore FIP-D 1000/1200 (4202) ottenuti con una prova a velocità variabile con legge sinusoidale (f=0.31Hz).

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

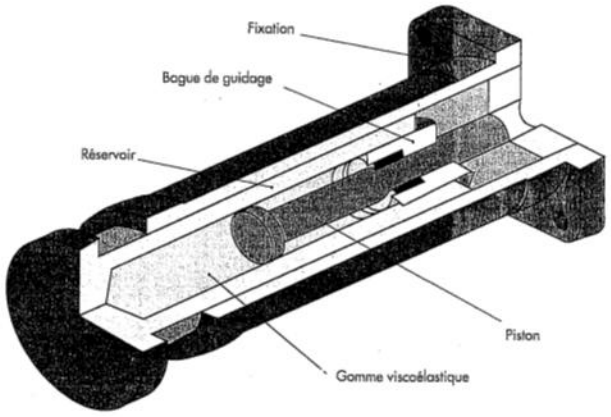
DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE FLUIDO-VISCOSI



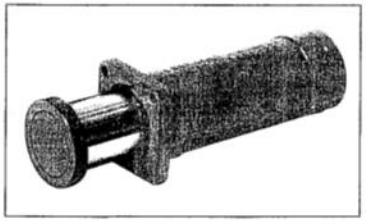
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

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.

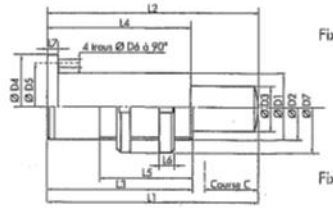
La viscosité (10 à 20 m³/s) et la compressibilité (15 % à 400 MPa) de ces gommes permettent d'associer dans un même appareil les fonctions d'un amortisseur et d'un ressort, supprimant de ce fait tout mécanisme auxiliaire de réarmement.

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



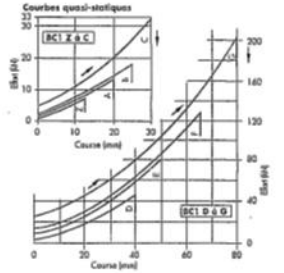
Fixation arrière par bride

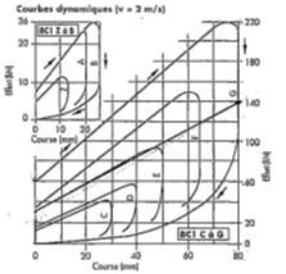
Fixation centrale par écrous

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 3 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

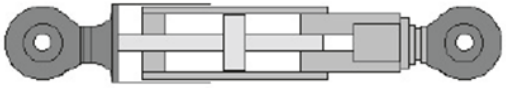
Damper

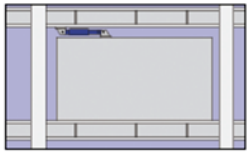
A JARRET STRUCTURES damper is designed to dissipate seismic or dynamic energy on a structure. JARRET STRUCTURES dampers work in tension and compression. The dampers can reduce longitudinal and transverse or vertical displacement of a deck. They can be installed, for example, longitudinally between the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

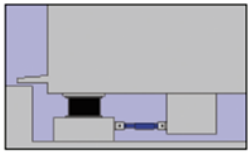
Dampers can be installed at different locations in a building for brace isolation or base isolation systems. Seismic energy is dissipated in the damper unit instead of being dissipated in the concrete or steel structure. JARRET STRUCTURES can accommodate transverse and longitudinal seismic displacement,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

Working Principle

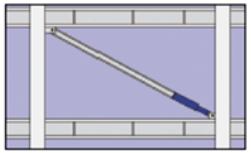
A JARRET STRUCTURES damper works on the principle that rapid passage of viscous fluid through a narrow orifice or port generates high resistance, which then dissipates a large amount of energy as heat.

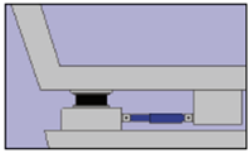




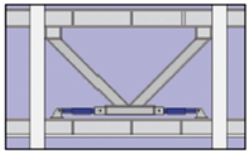


Base isolation for building

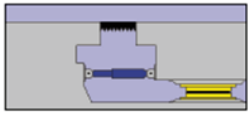




Transverse protection for bridge



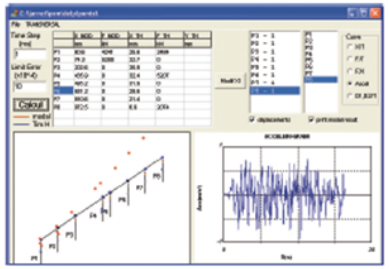
Protection of a building by frame isolation or brace isolation systems



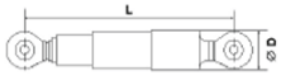
Longitudinal protection for bridge

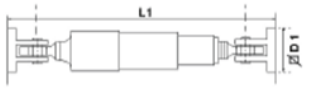
Selection of Unit

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



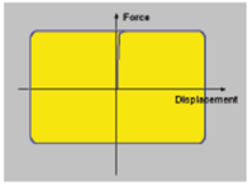


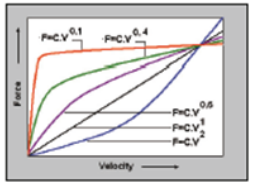
Unit	L (mm)	L1 (mm)	D (mm)	D1 (mm)	Stroke (mm)	RM (KN)
ASR50-100	450	540	60	110	100	50
ASR100-100	490	610	90	110	100	100
ASR150-100	620	740	115	144	100	150
ASR300-100	720	860	155	176	100	300
ASR500-100	800	1000	170	210	100	500
ASR750-100	860	1110	230	280	100	750
ASR1000-100	930	1200	250	340	100	1000
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.

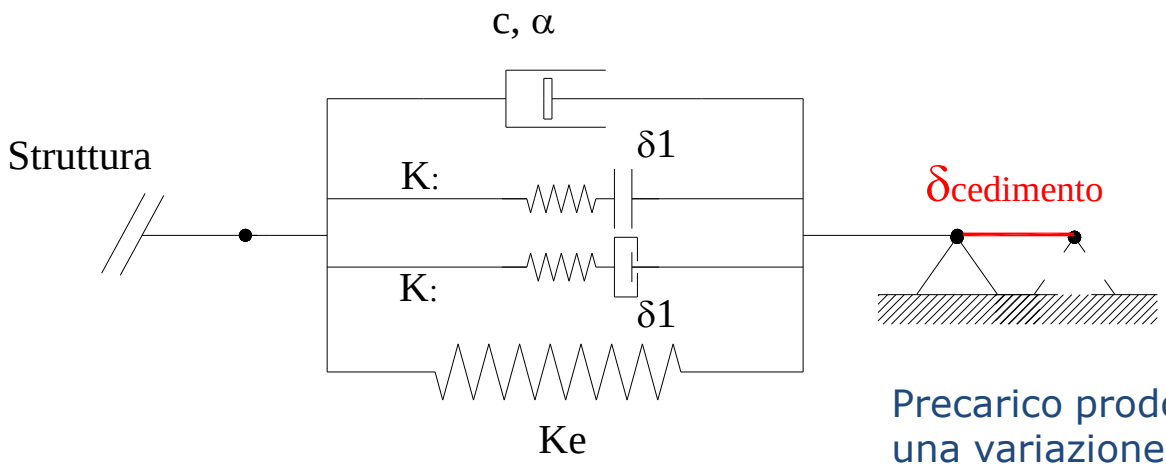
Maintenance

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.

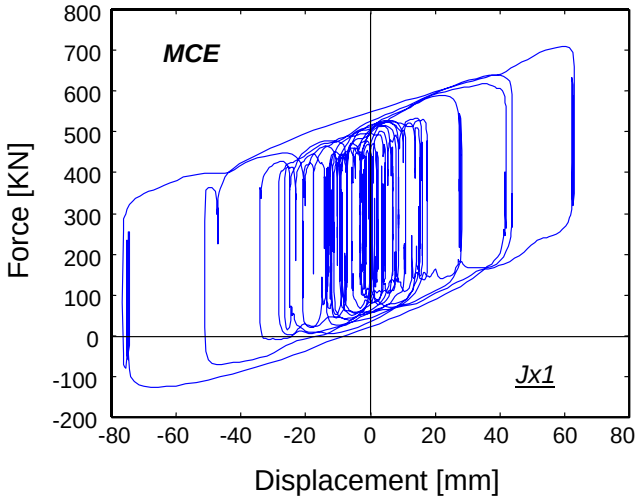
CSi Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

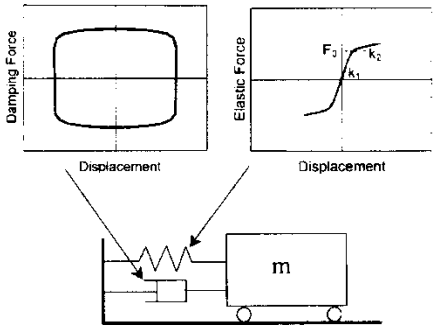
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

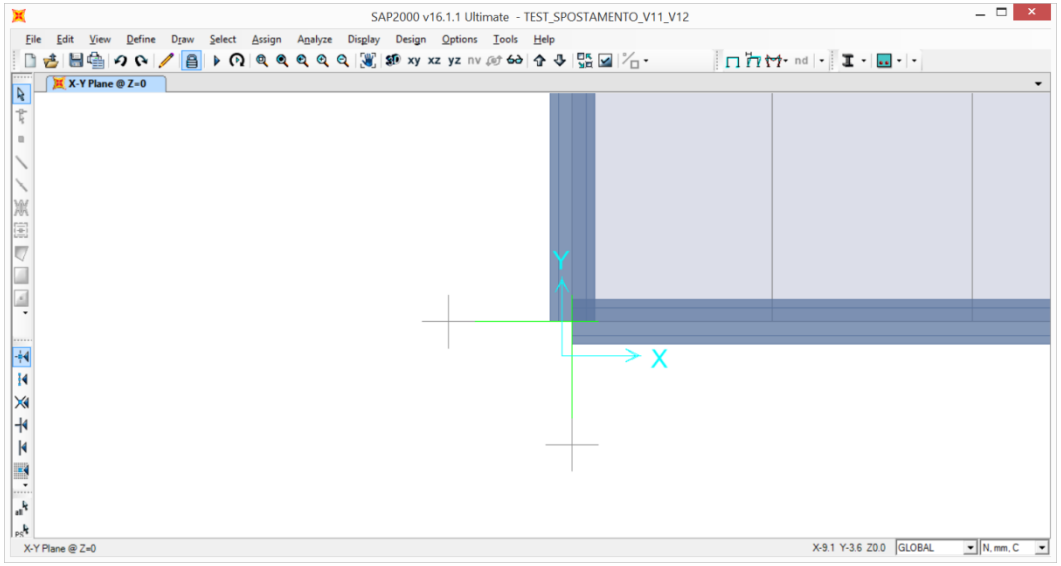


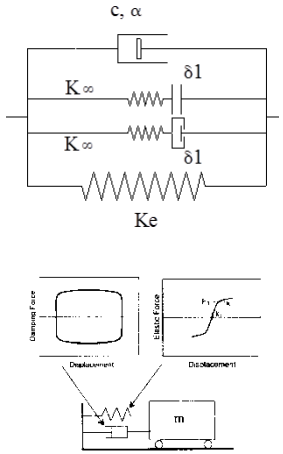
Precarico prodotto da una variazione termica, o da un cedimento impresso del vincolo a terra.

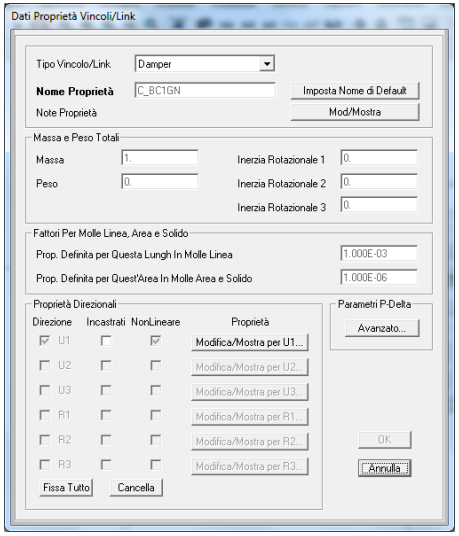


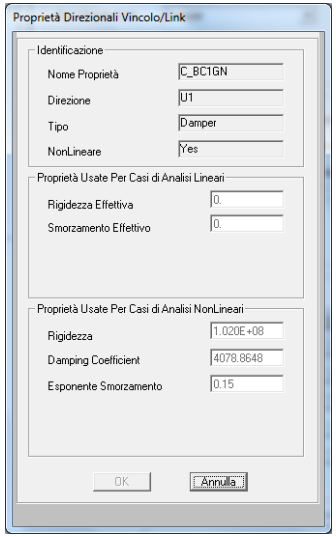


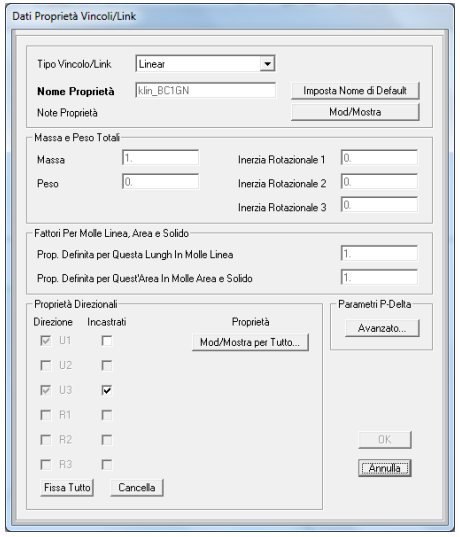
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

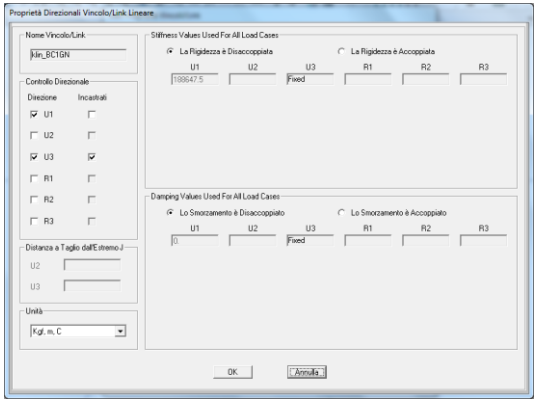








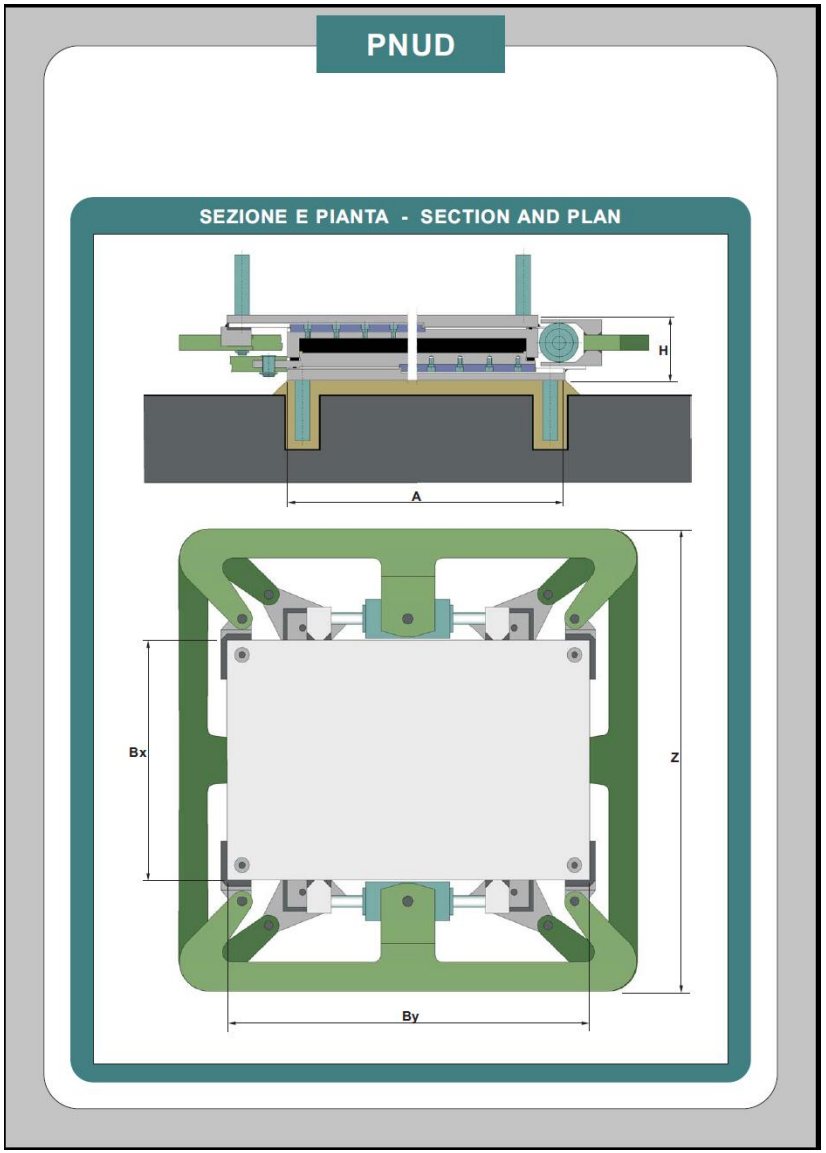


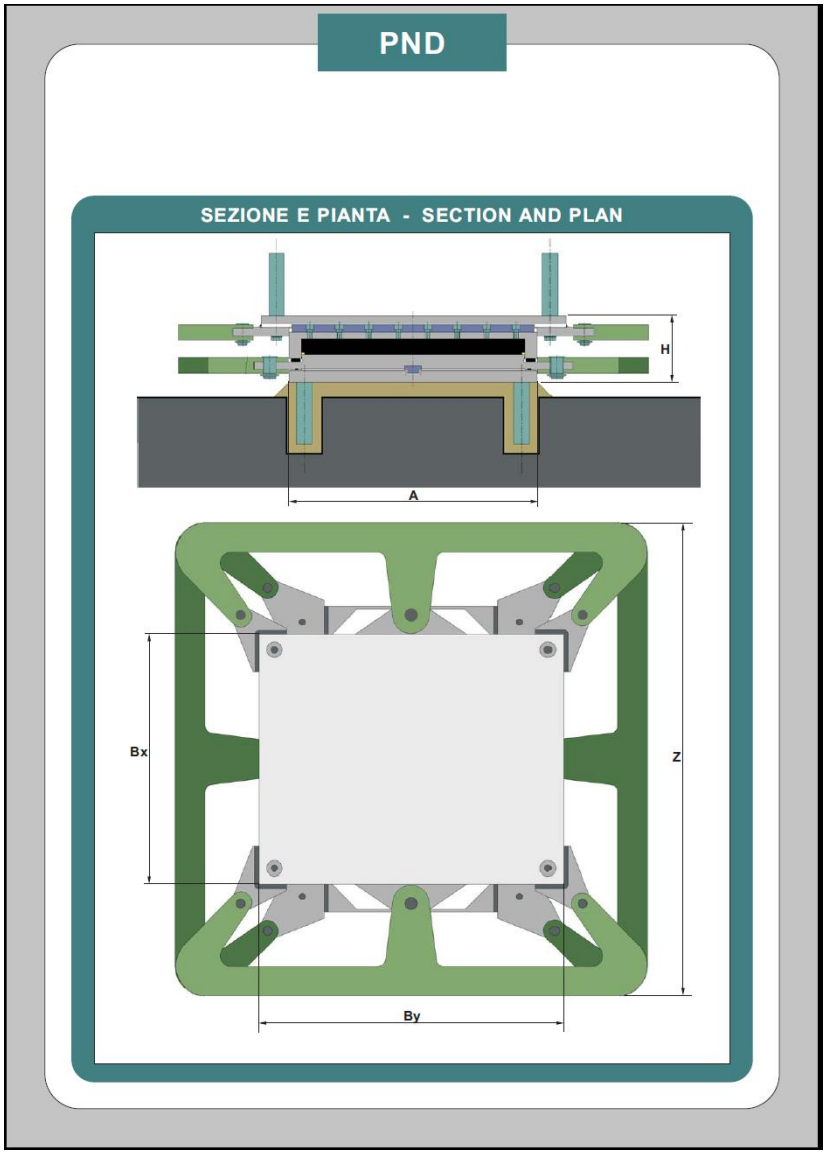


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – PND/PNUD - ALGA





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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – PND/PNUD - ALGA

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.

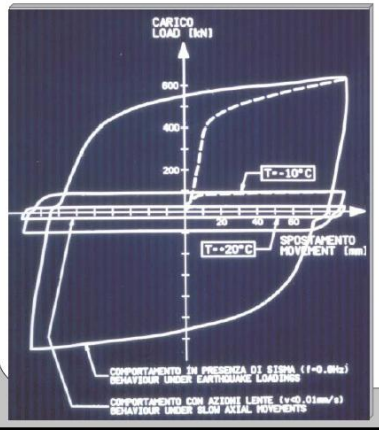
They are characterized by:

- *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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – PND/PNUD - ALGA

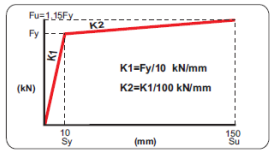
ALGASISM

CONSIGLI PER LA PROGETTAZIONE - ADVISES FOR THE DESIGN

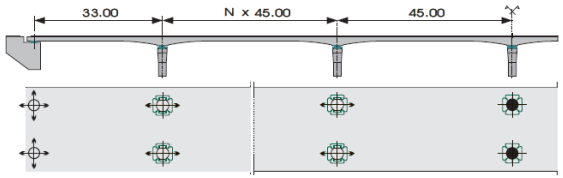
Per ogni serie di campate (comprese tra due giunti) è necessario installare almeno un appoggio PND sulla pila centrale o su di una pila vicina al centro.
· La forza totale di snervamento Fy degli appoggi PND dovrà essere uguale o più grande di 1.5 volte il carico orizzontale di progetto (vento, frenature, 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)**

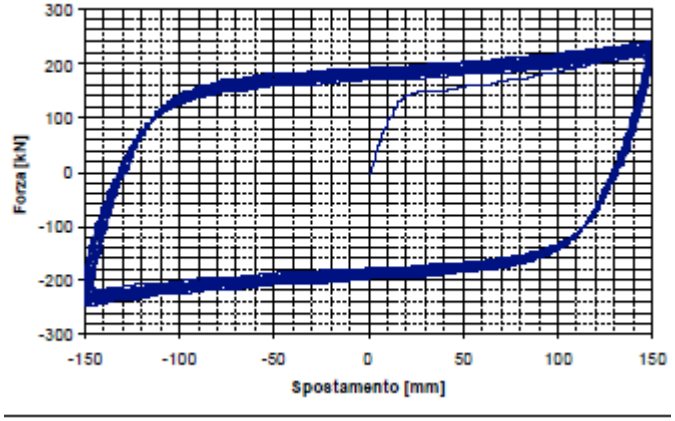
20000 = Carico verticale [kN] - Vertical Load [kN]
150/150 = Movimento elastoplastico longitudinale / trasversale [mm]
Hysteretic longitudinal / transversal displacement [mm]
1500 = Forza di snervamento longit. / trasv. [kN] - Fy nel diagramma carico-spostamento
Yield longit. / transv. force [kN] - Fy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

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – MEL-MELOT, PIOLO - FIP

Figura 1. Elementi dissipativi a falce di luna in prova.



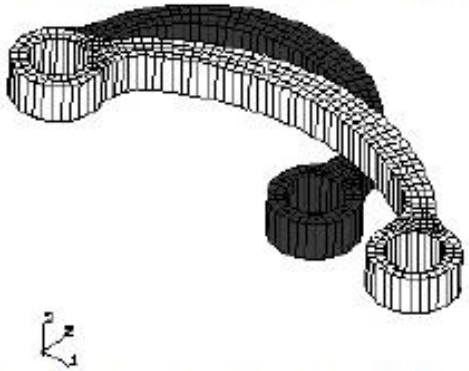


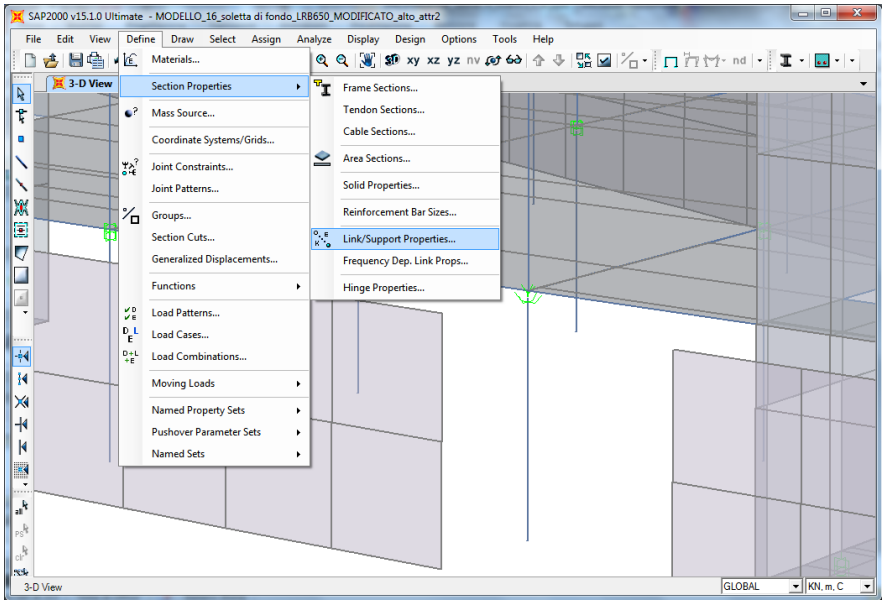
Figura 2. Modello ad elementi finiti di elementi dissipativi a falce di luna.

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – MEL-MELOT - FIP

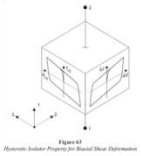
DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – MEL-MELOT, PIOLO - FIP

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – PIOLO - FIP

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – SE ACCOPPIATI



RUBBER ISOLATOR



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

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

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

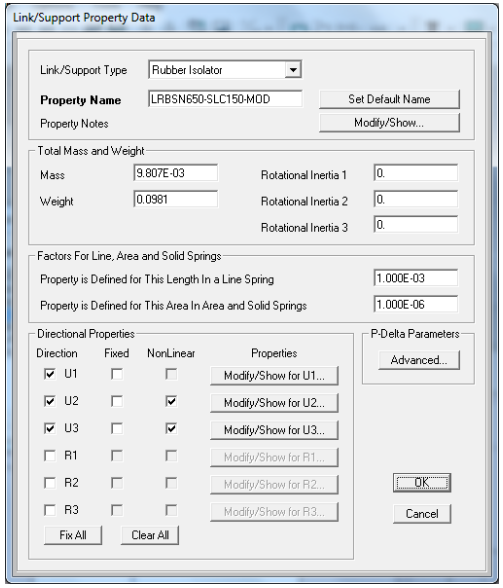
$$\begin{Bmatrix} \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - a_2 z_2^2 & -a_3 z_2 z_3 \\ -a_2 z_2 z_3 & 1 - a_3 z_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dfrac{\text{k2}}{\text{yield2}} \dot{d}_{u2} \\ \dfrac{\text{k3}}{\text{yield3}} \dot{d}_{u3} \end{Bmatrix}$$

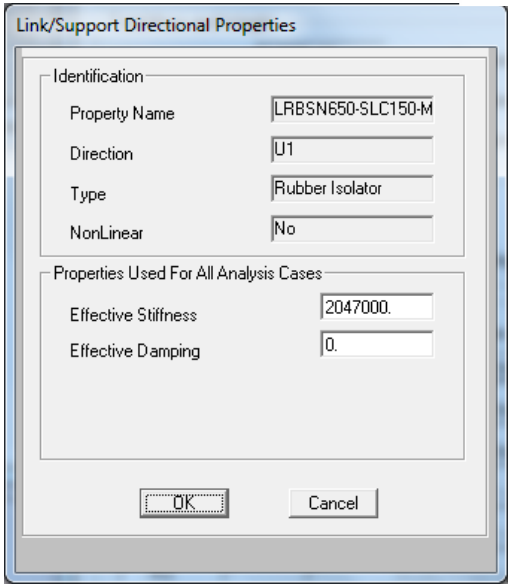
Where:

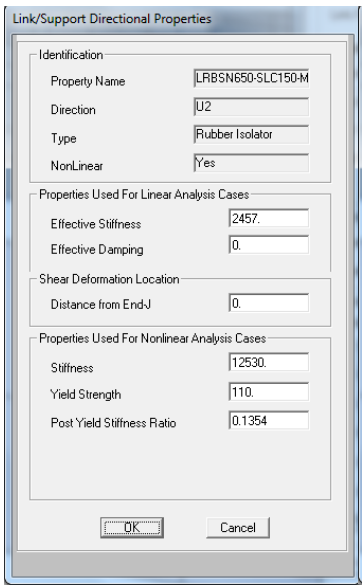
$$a_2 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u2} z_2 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

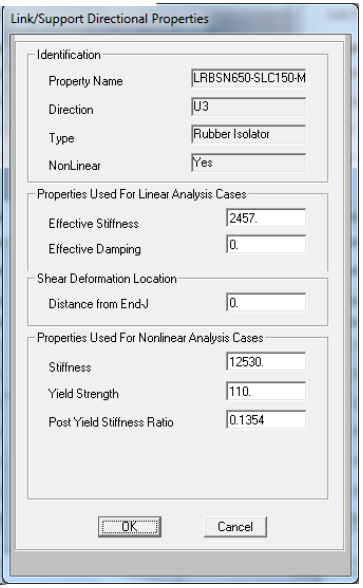
$$a_3 = \begin{cases} 1 & \text{if } \dot{d}_{u3} z_3 > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

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





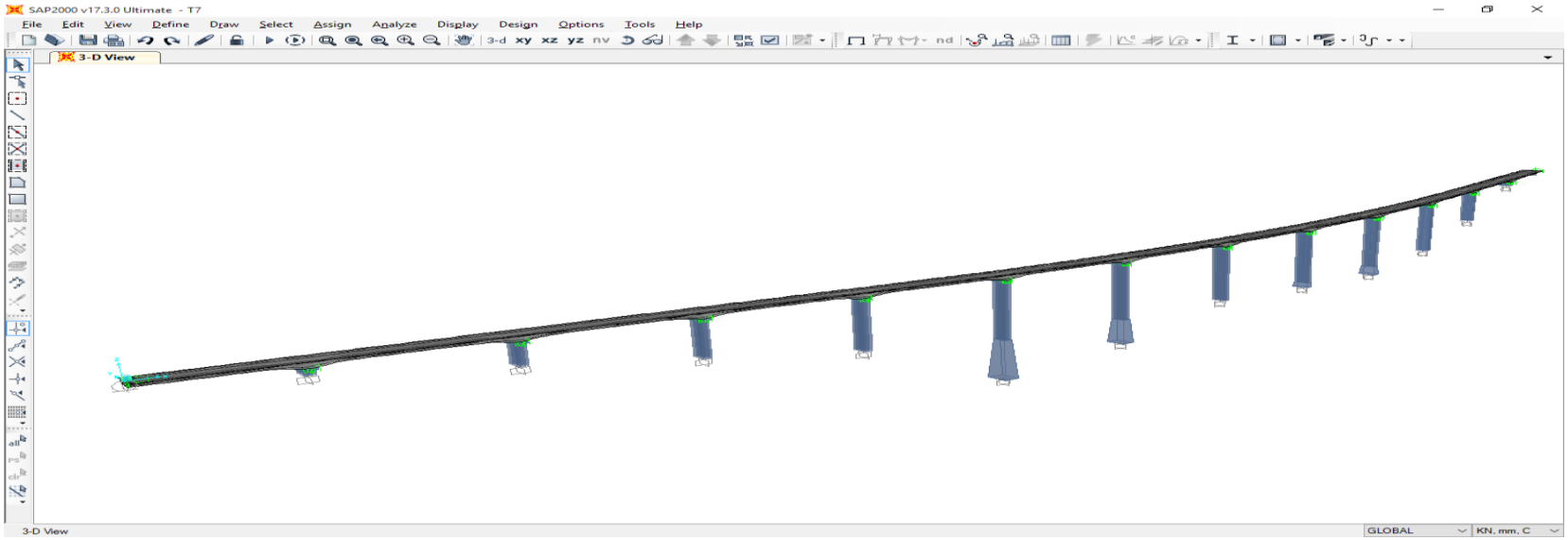


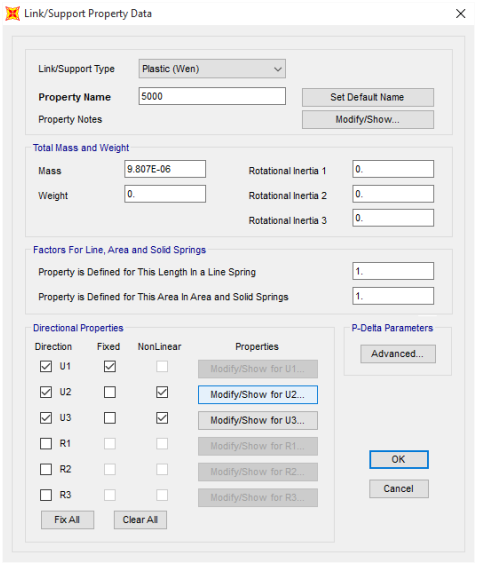


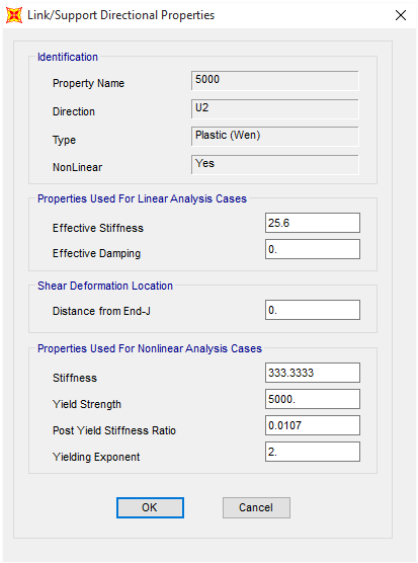
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI APPOGGIO DISSIPATIVI AD ISTERESI METALLICA – NON ACCOPPIATI

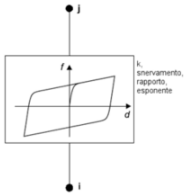






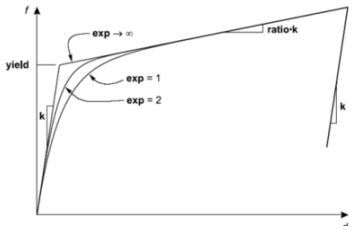
PLASTIC (WEN)

modello plastico basato su un comportamento istereticoproposto 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 $|z| = 1$.

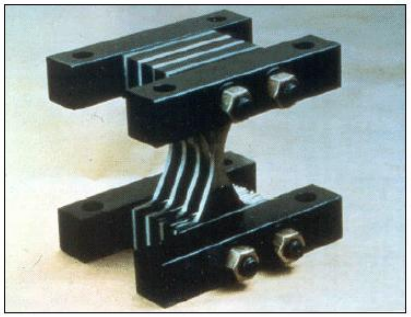


$$\dot{z} = \frac{k}{yield}\begin{cases}\dot{d}\cdot\left(1-|z|^{\exp}\right) \Leftrightarrow \dot{d}z > 0\\ \dot{d}\end{cases}$$

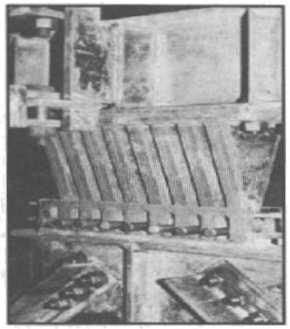
MODELLAZIONE FEM DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

Dispositivi di dissipazione supplementare di energia

Dispositivo ADAS:

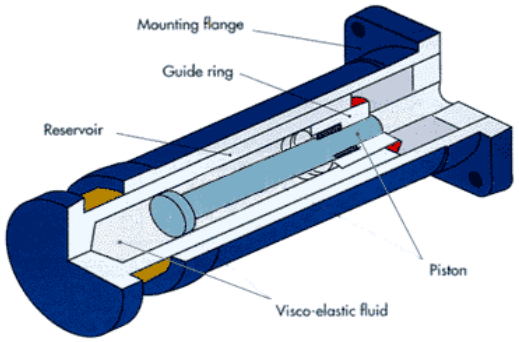


(a) X-shaped Plate Damper

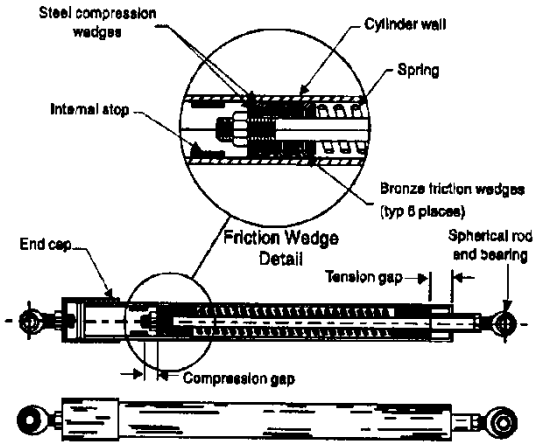


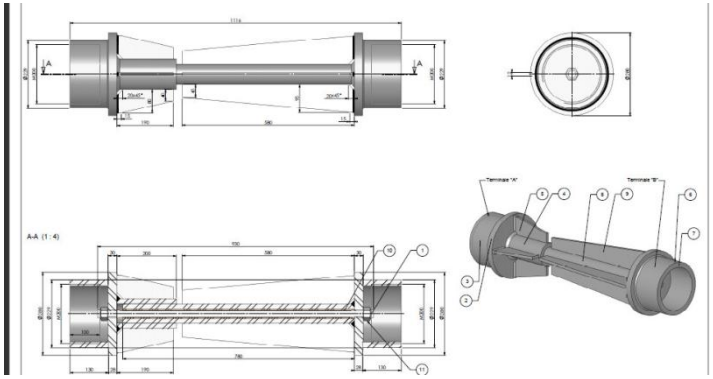
(b) Triangular Plate Damper

Dispositivo SFV:



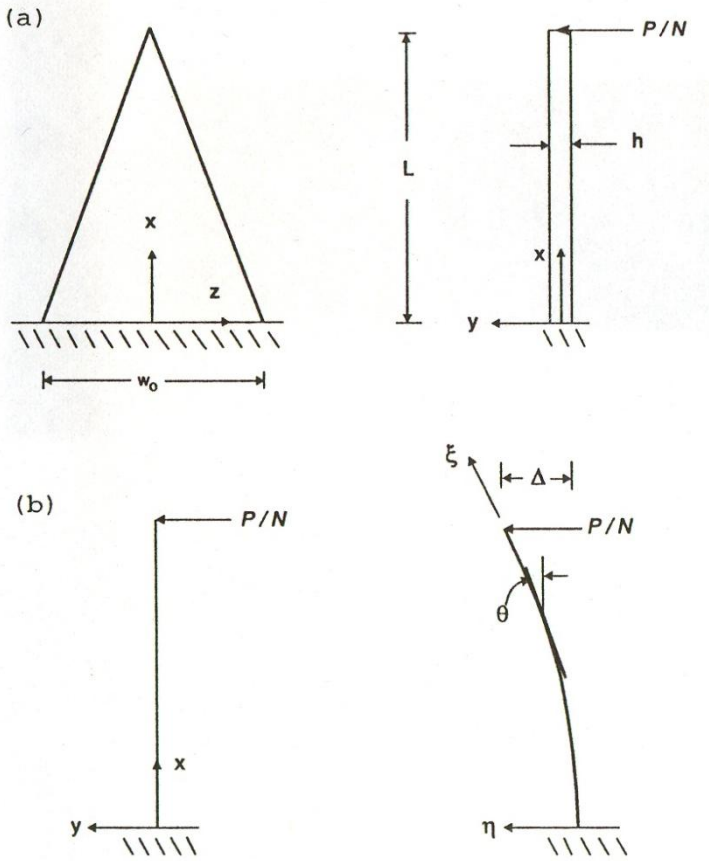
Dispositivo ad attrito:



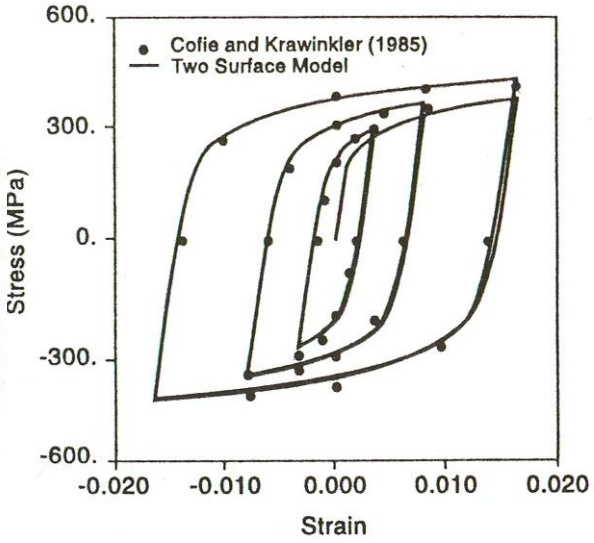


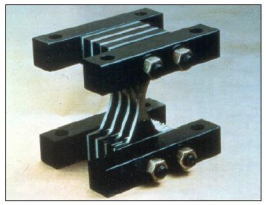
DISPOSITIVO ADAS

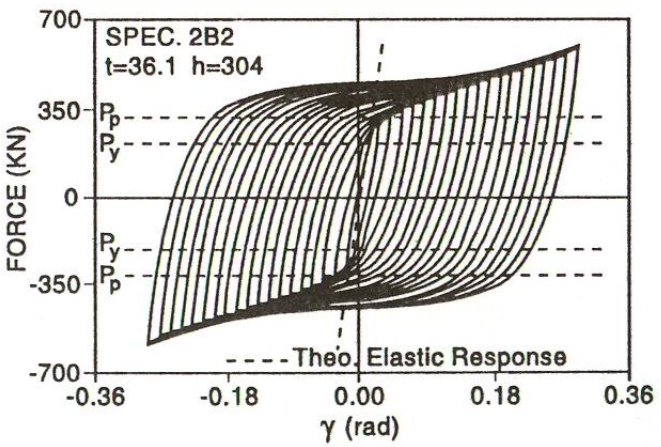
Soong, T.T., Dargush,G.F.(1997).
Passive Energy Dissipation Systems in structural Engineering, 35-81.

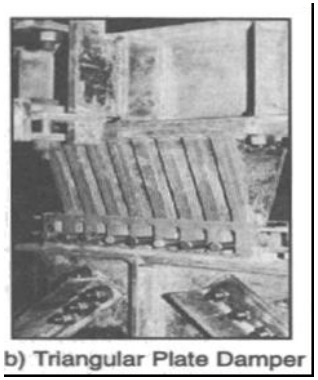


Acciaio tipo ASTM A36:

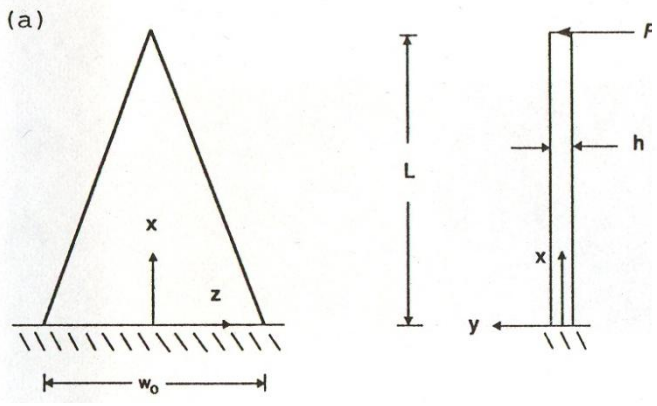


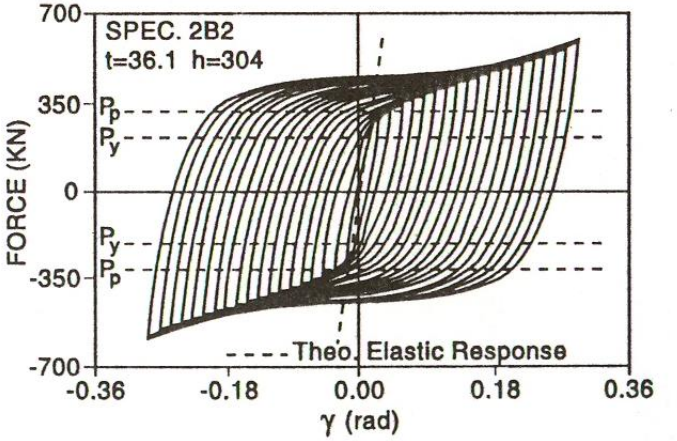


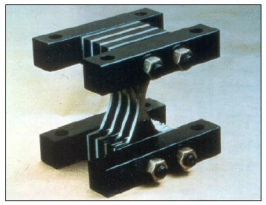



b) Triangular Plate Damper

DISPOSITIVO ADAS

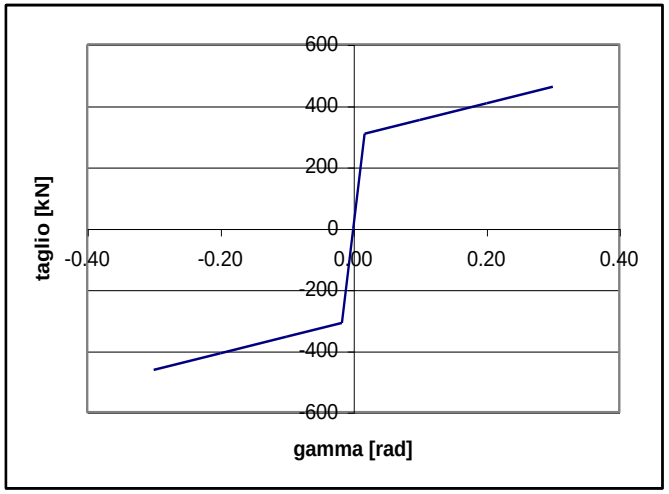






N	8	
E	200000	N/mm^2
w0	133.3	mm
L	304	mm
h	36.1	mm
σy	270	N/mm^2
k1=P/(D)	**59525.05**	**N/mm**
beta	0.03	
k2	**1785.751**	**N/mm**
Pu	**308577.8**	**N**
Du	**5.184**	**mm**

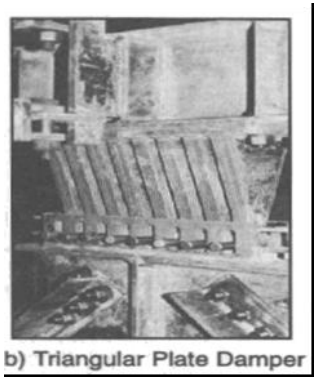
γ	Δ [mm]	F [kN]
-0.30	-91.20	-462.181
-0.20	-60.80	-407.8942
-0.10	-30.40	-353.6073
-0.02	-5.18	-308.5778
0.00	0.00	0
0.02	5.18	308.5778
0.10	30.40	353.6073
0.20	60.80	407.8942
0.30	91.20	462.181



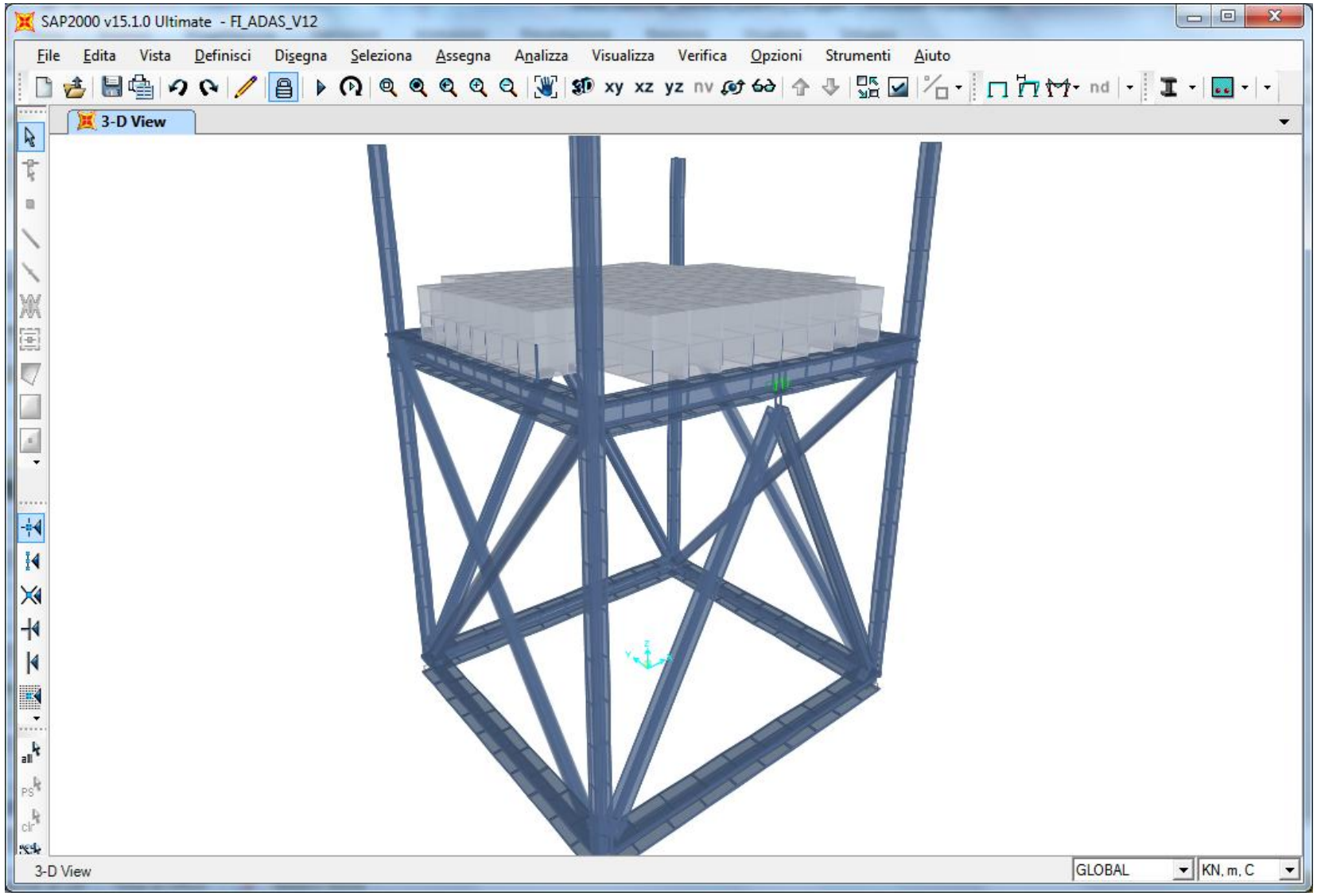
$$k_1 = P/D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

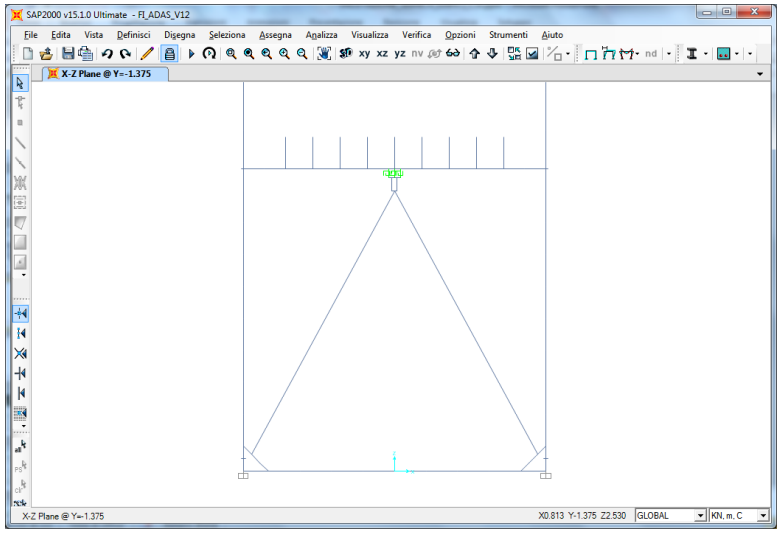
$$P_u = N\sigma_y \cdot \omega_0 \cdot h^2 / 4L$$

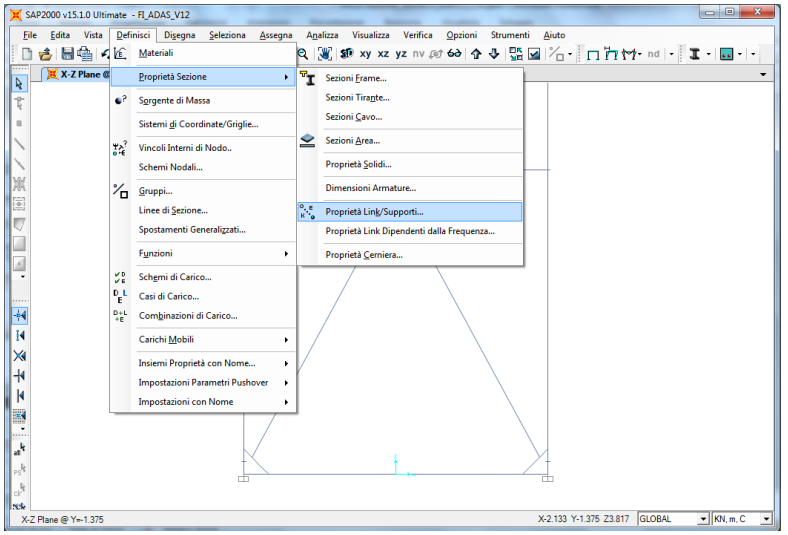

b) Triangular Plate Damper

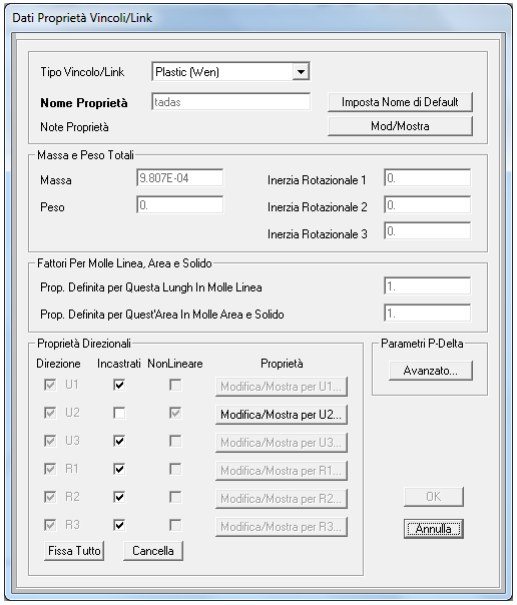
DISPOSITIVO ADAS

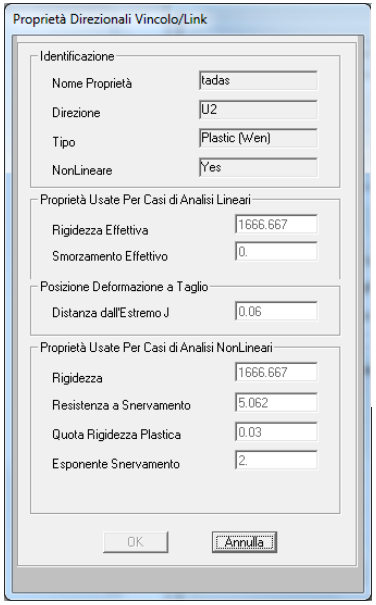


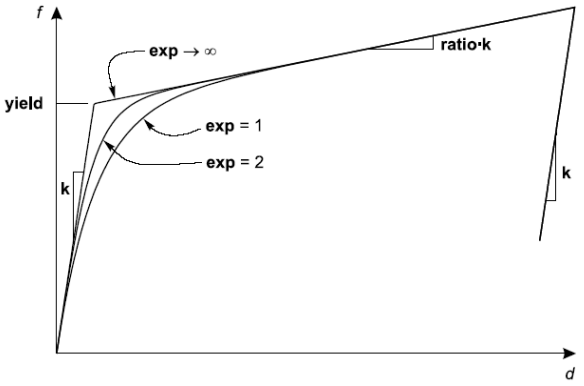
DISPOSITIVO ADAS

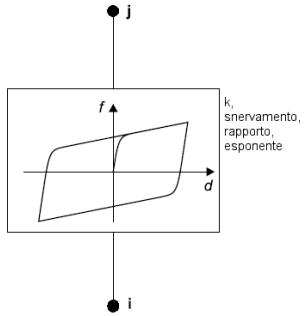








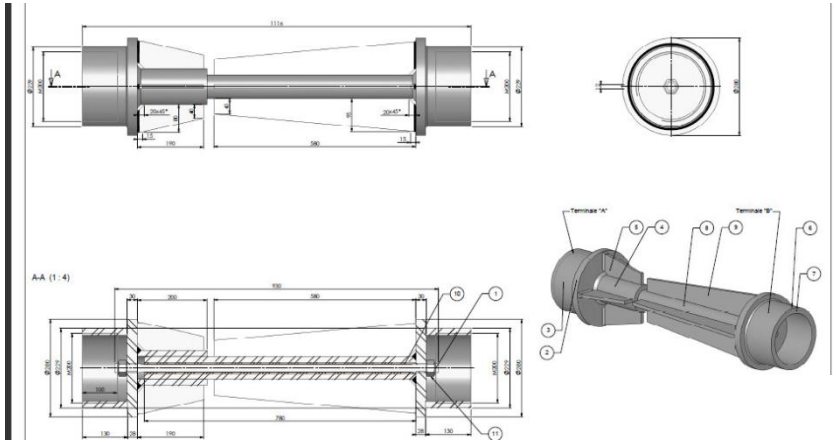


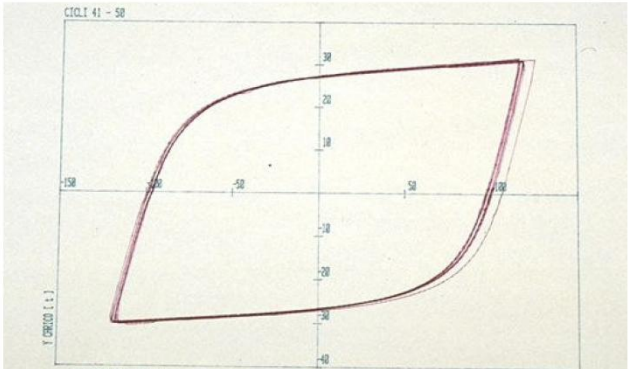


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

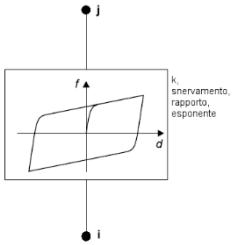
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

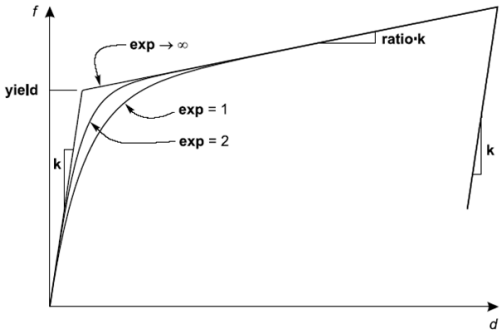
ALTRI ESEMPI DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE AD ISTERESI METALLICA - BRAD CONTROVENTI AD INSTABILITA' IMPEDITA

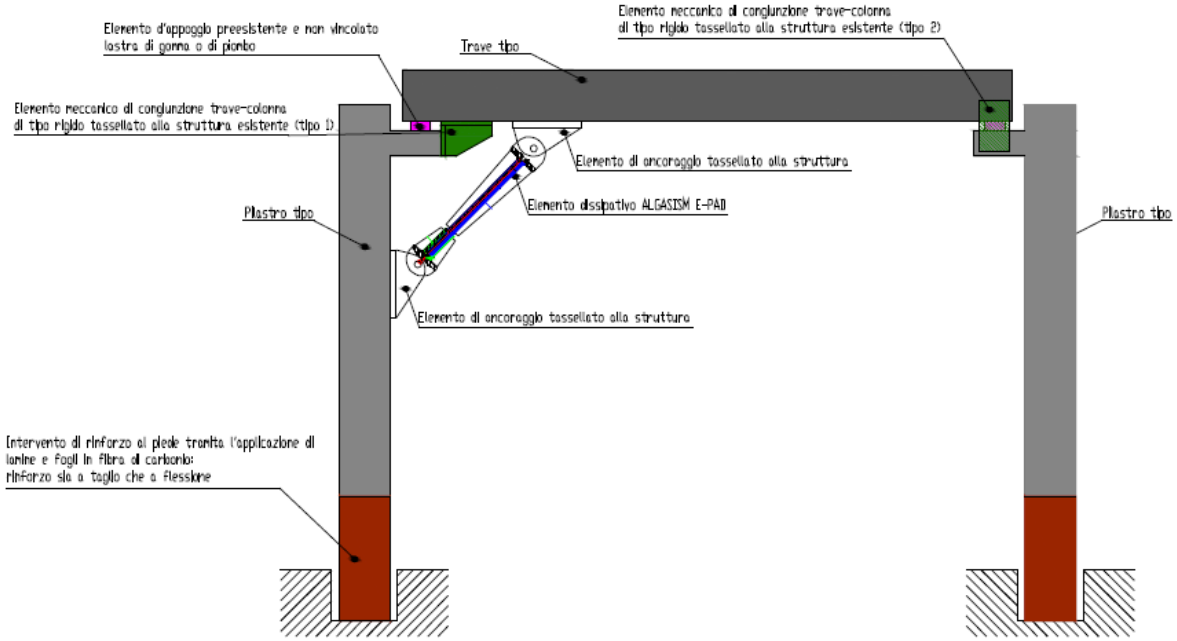




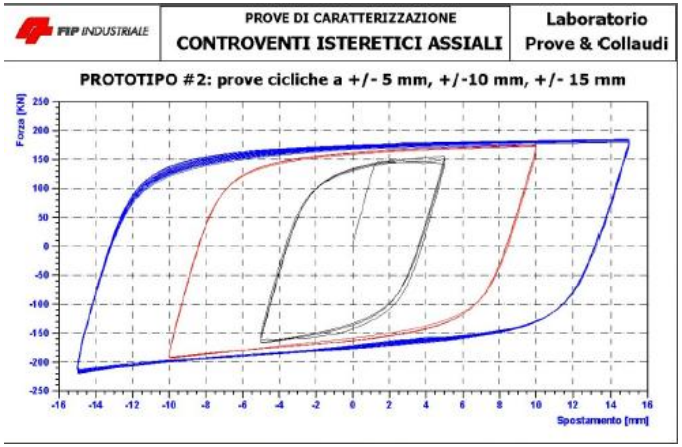
Tre Elementi Plastic-WEN per controvento



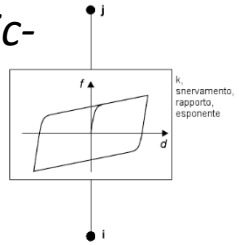


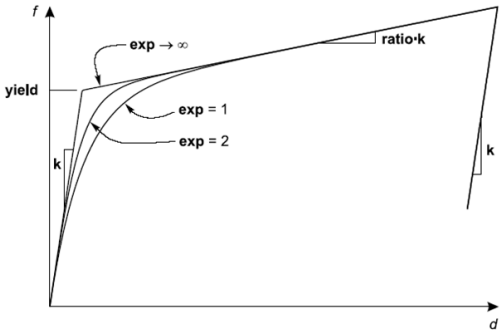


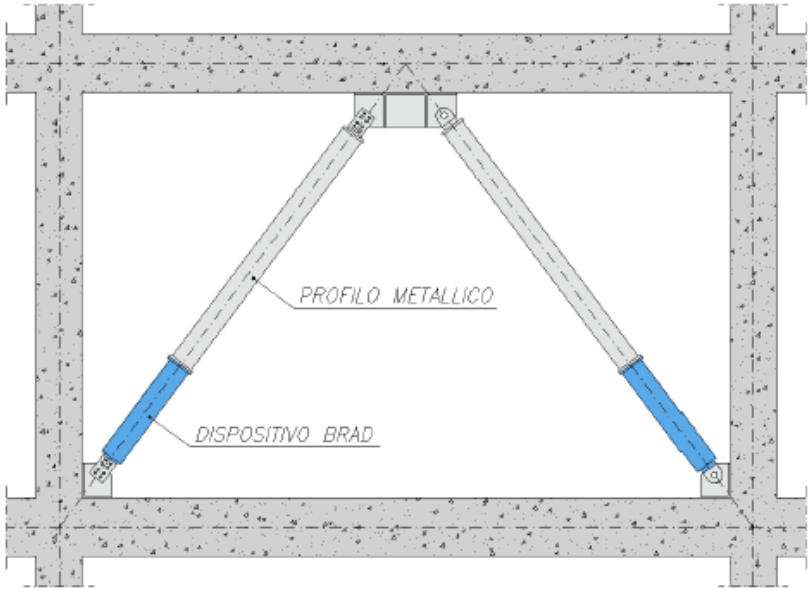
ALTRI ESEMPI DI DISPOSITIVI DI DISSIPAZIONE AD ISTERESI METALLICA - BRAD CONTROVENTI AD INSTABILITA' IMPEDITA



Tre Elementi Plastic-WEN per controvento







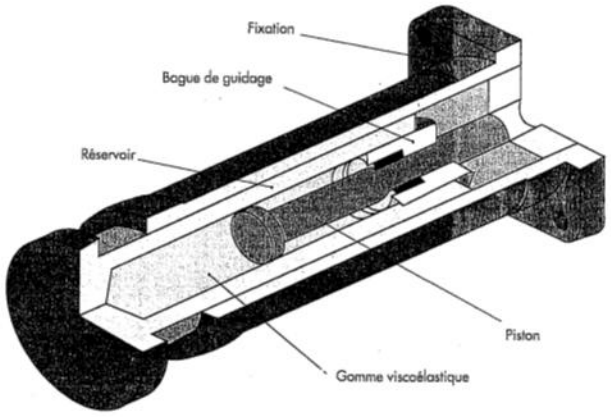
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

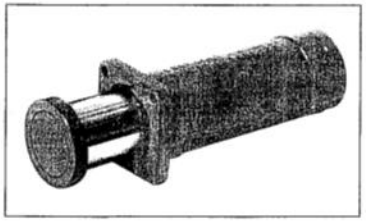
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

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.

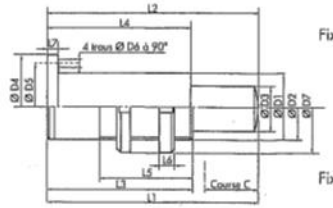
La viscosité (10 à 20 m²/s) et la compressibilité (15 % à 400 MPa) de ces gommes permettent d'associer dans un même appareil les fonctions d'un amortisseur et d'un ressort, supprimant de ce fait tout mécanisme auxiliaire de réarmement.

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



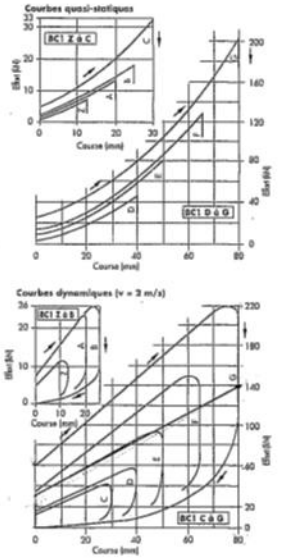
Fixation arrière par bride

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_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

- $E = \frac{1}{2} m v^2 = 1{,}0$ 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.
- $C_e = 40\left(\sqrt{1{,}67 \times \frac{1{,}0}{1{,}5} + 0{,}111} - 0{,}33\right) = 31$ mm
- A Ce = 31 mm, Rdy = 52 kN qui convient car inférieur à 55 kN.

DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI

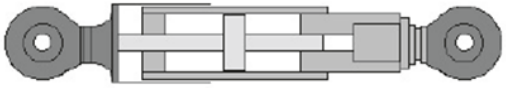
Damper

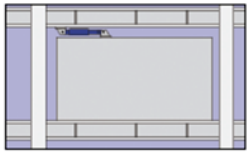
A JARRET STRUCTURES damper is designed to dissipate seismic or dynamic energy on a structure. JARRET STRUCTURES dampers work in tension and compression. The dampers can reduce longitudinal and transverse or vertical displacement of a deck. They can be installed, for example, longitudinally between the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

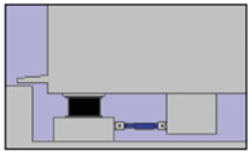
Dampers can be installed at different locations in a building for brace isolation or base isolation systems. Seismic energy is dissipated in the damper unit instead of being dissipated in the concrete or steel structure. JARRET STRUCTURES can accommodate transverse and longitudinal seismic displacement,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

Working Principle

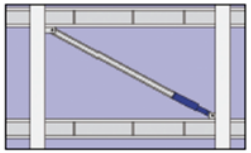
A JARRET STRUCTURES damper works on the principle that rapid passage of viscous fluid through a narrow orifice or port generates high resistance, which then dissipates a large amount of energy as heat.

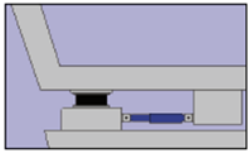




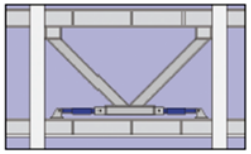


Base isolation for building

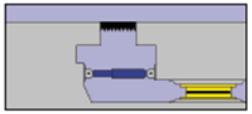




Transverse protection for bridge



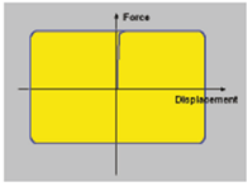
Protection of a building by frame isolation or brace isolation systems

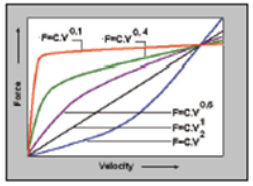


Longitudinal protection for bridge

Performance

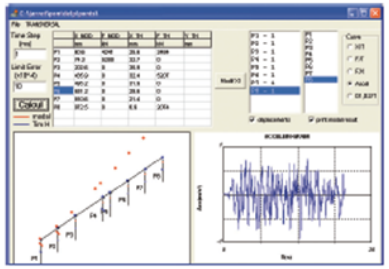
The graphs to the right show the performance generated by a damper during a dynamic event at 0.2 m/second velocity. The value of the velocity exponent of a JARRET STRUCTURES damper can vary from 0.1 to 0.4. As a result, significant damping force levels are achieved at much lower velocity values, while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





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.

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.

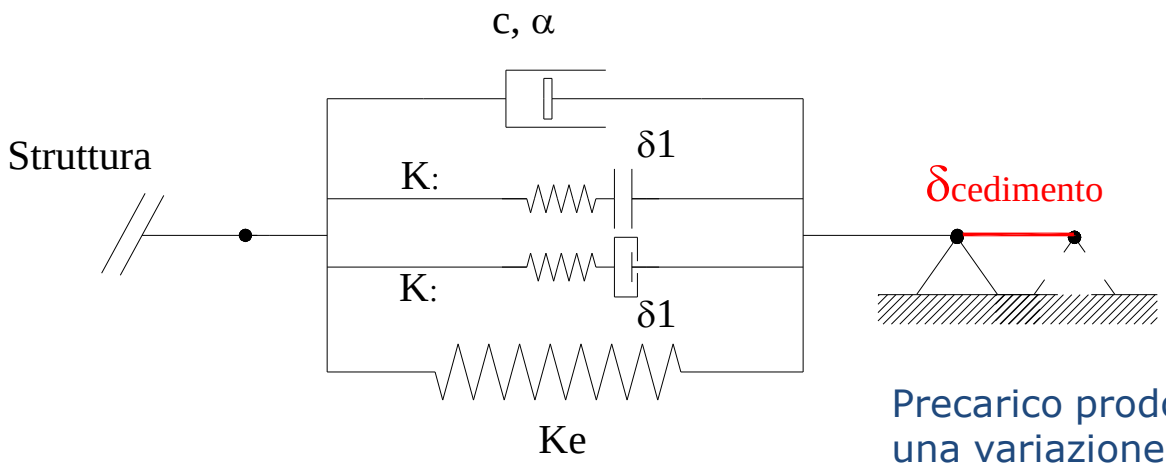
Maintenance

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.

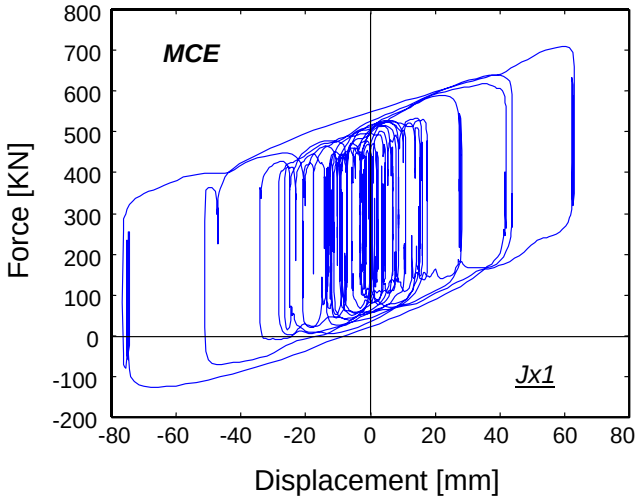
CSi Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

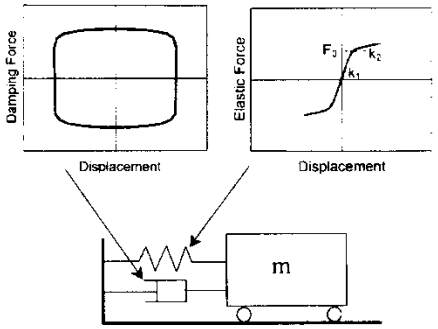
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

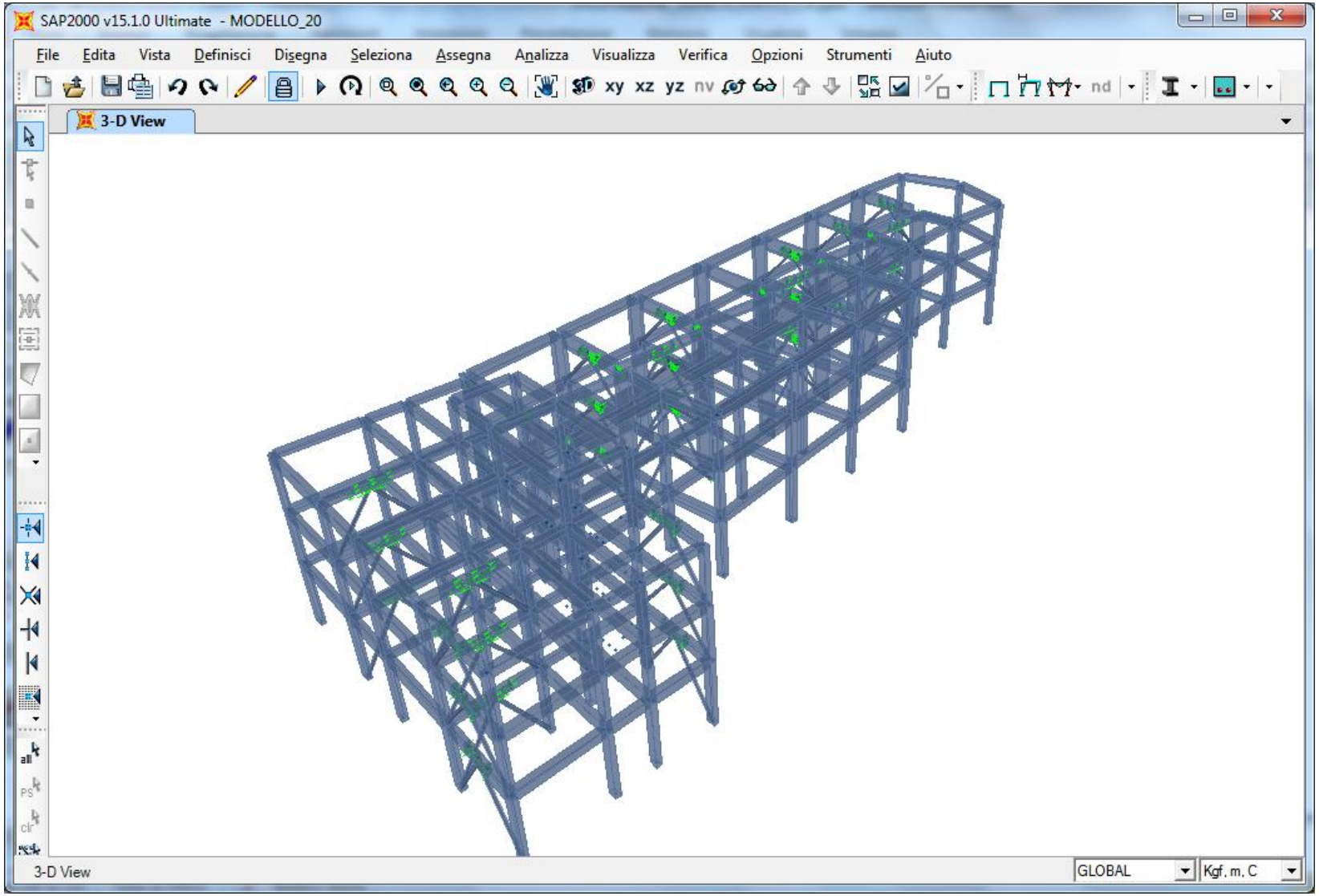


Precarico prodotto da una variazione termica, o da un cedimento impresso del vincolo a terra.

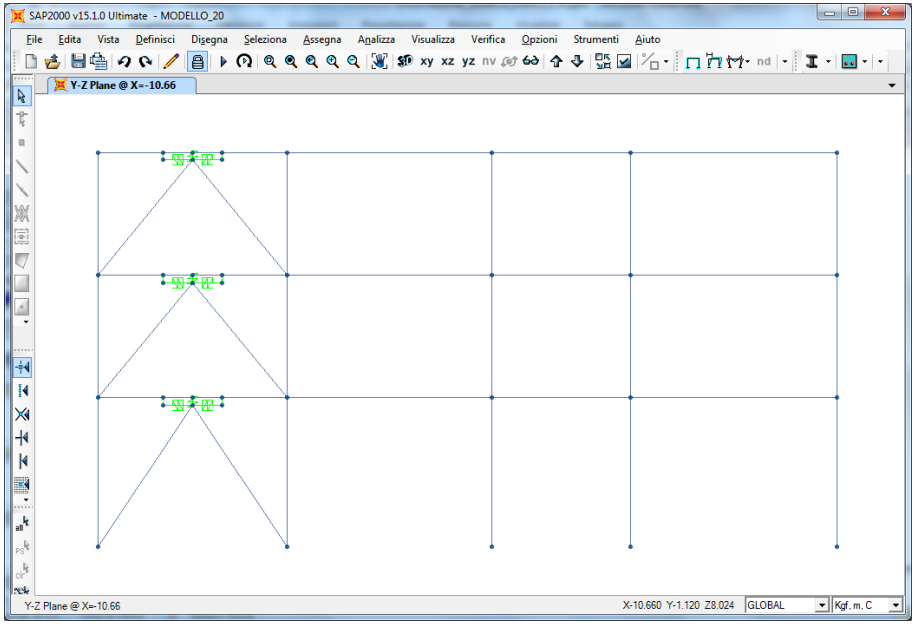


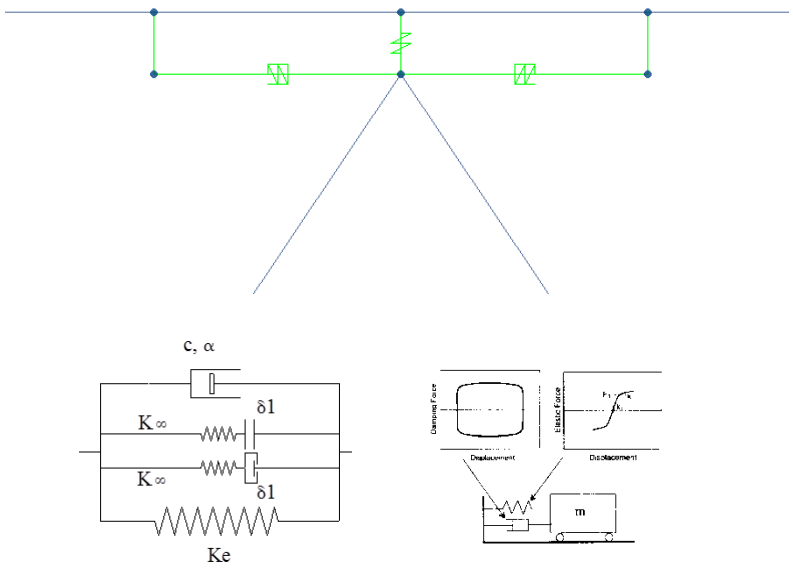


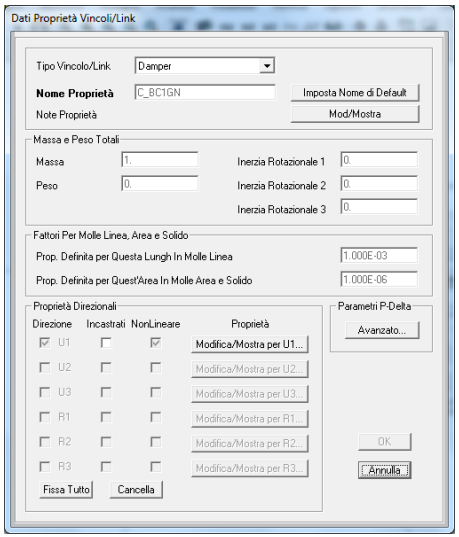
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI PRESSURIZZATI

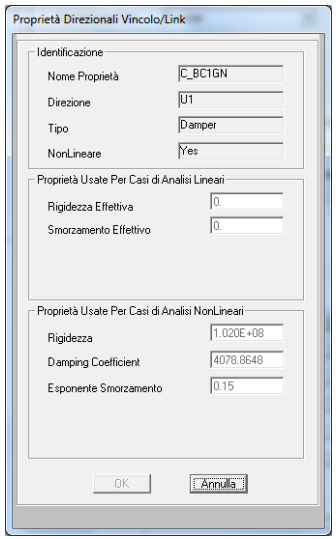


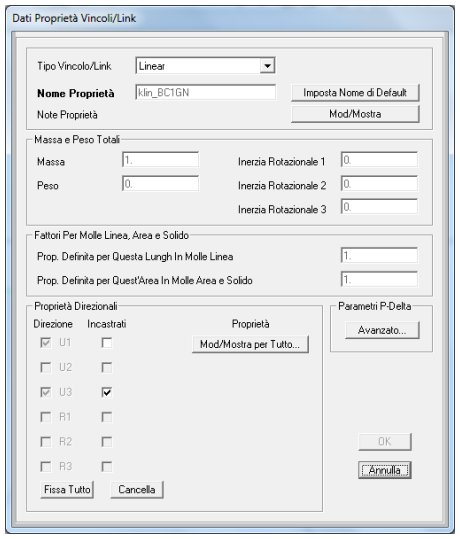
DISPOSITIVI DI DISISPAZIONE FLUIDO-VISCOSI

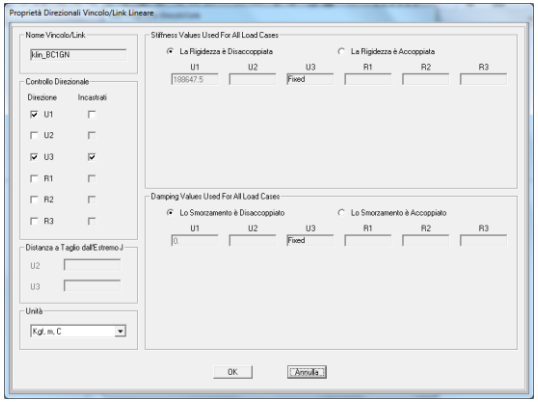








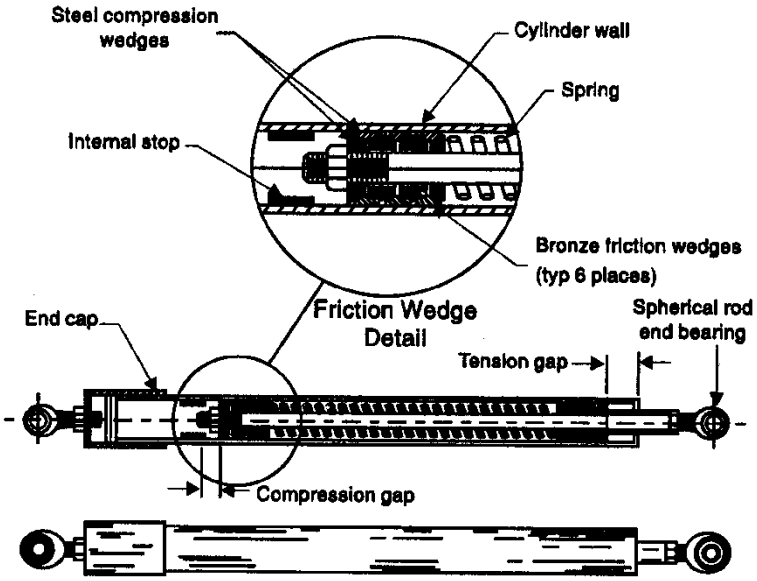




Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

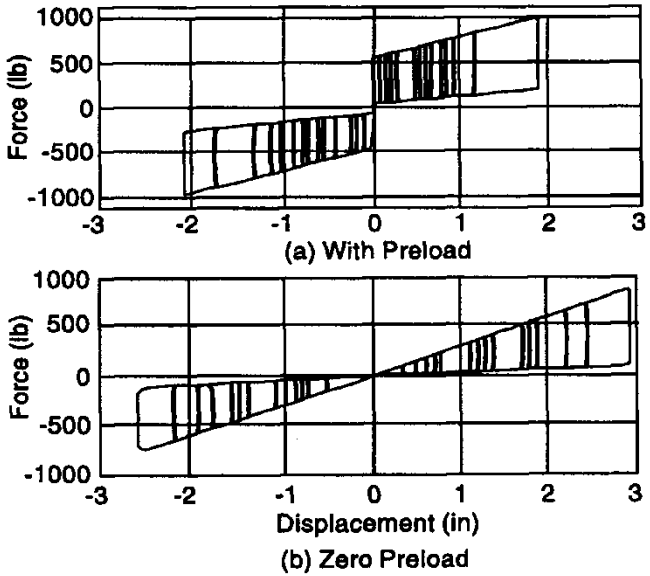
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

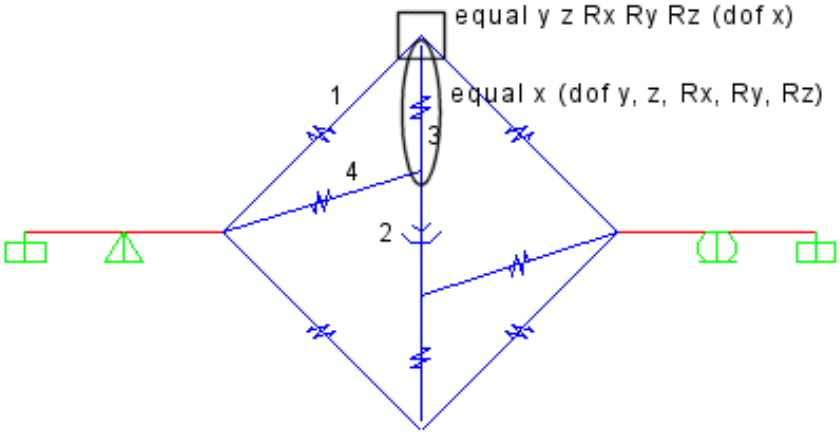


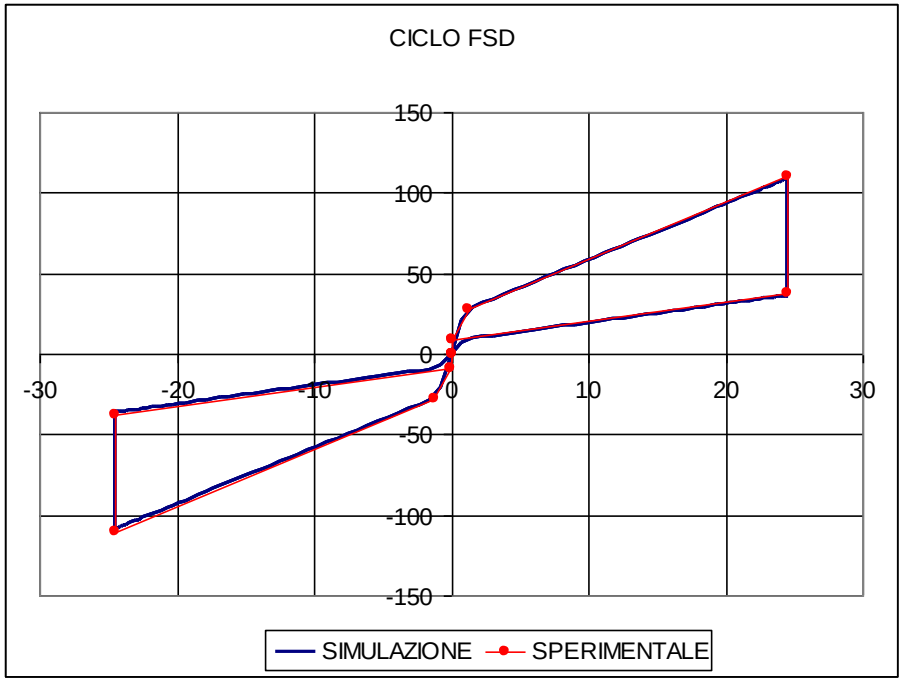
Di seguito verrà fatto riferimento ai cicli sperimentali ottenuti su un "Friction Spring Seismic Damper" riportati in "Performance Evaluation of Friction Spring Seismic Damper" di A. Filiatrault, R Tremblay, R. Kar

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

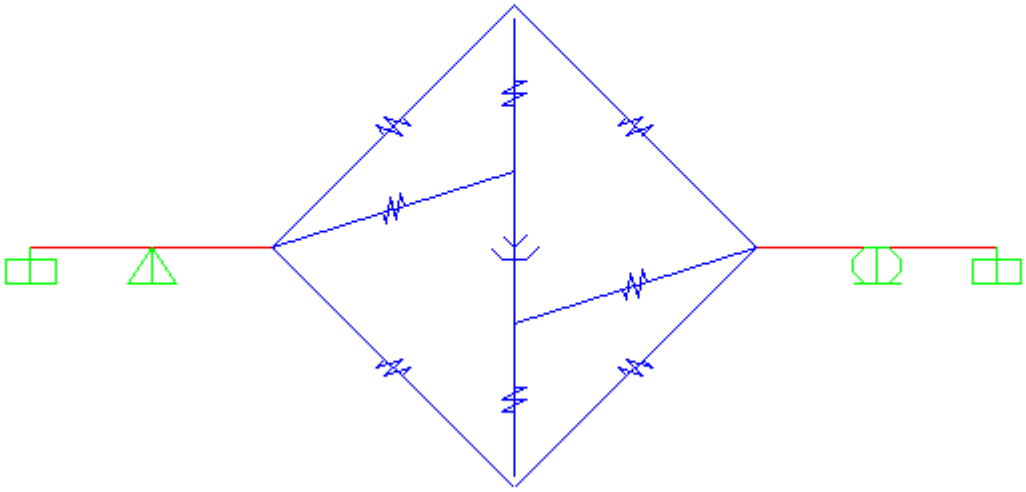


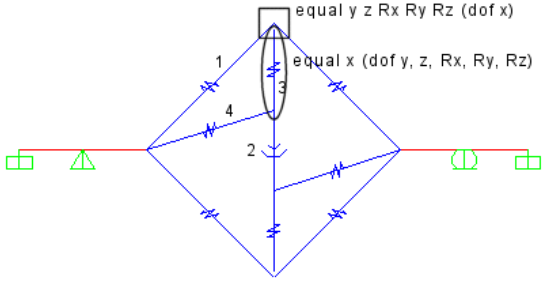


- 1: biella infinitamente rigida assialmente (inclinata a 45°)
- 2: elemento ad attrito - T/C
  - coefficiente slow: 0.5
  - coefficiente fast: 0.01
  - coefficiente r: 0 (indip. v)
  - superficie di scorrimento per l'effetto pendolare: piana
- 3: elemento multilineare con legge bilatera
- 4: beam infinitamente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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE – NUOVA MODELLAZIONE FEM

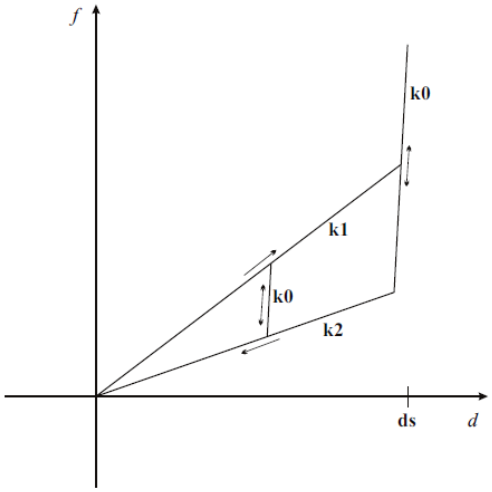
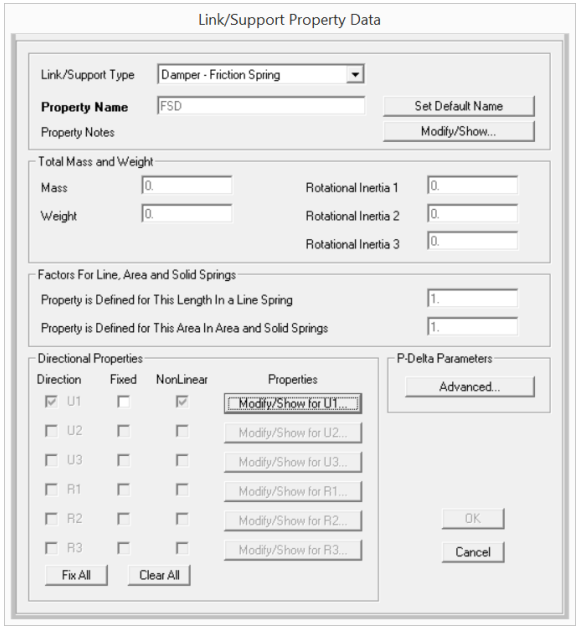
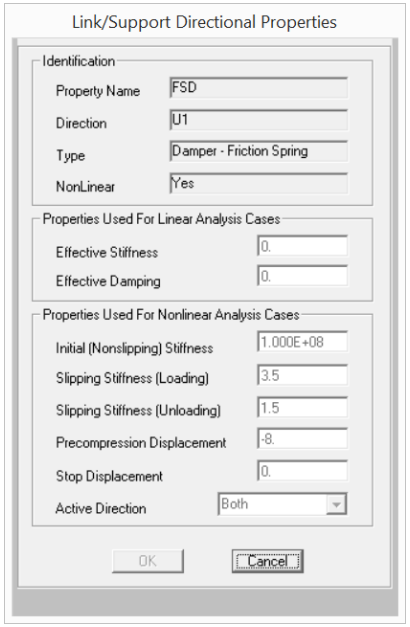
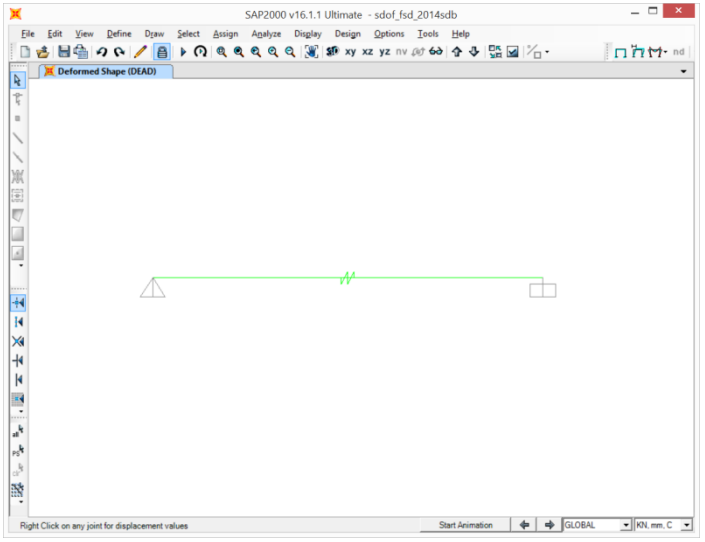
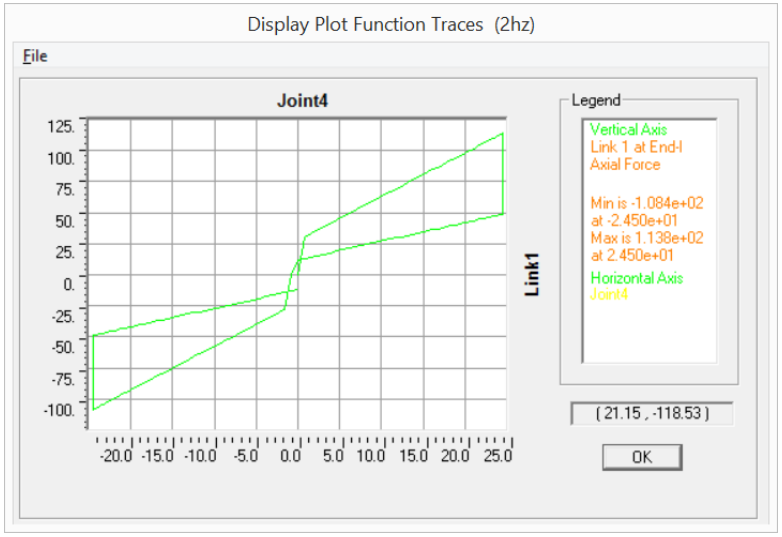


Figure 57
Force-Deformation Behavior of a Friction-Spring Damper in Tension with Stop Displacement but No Precompression





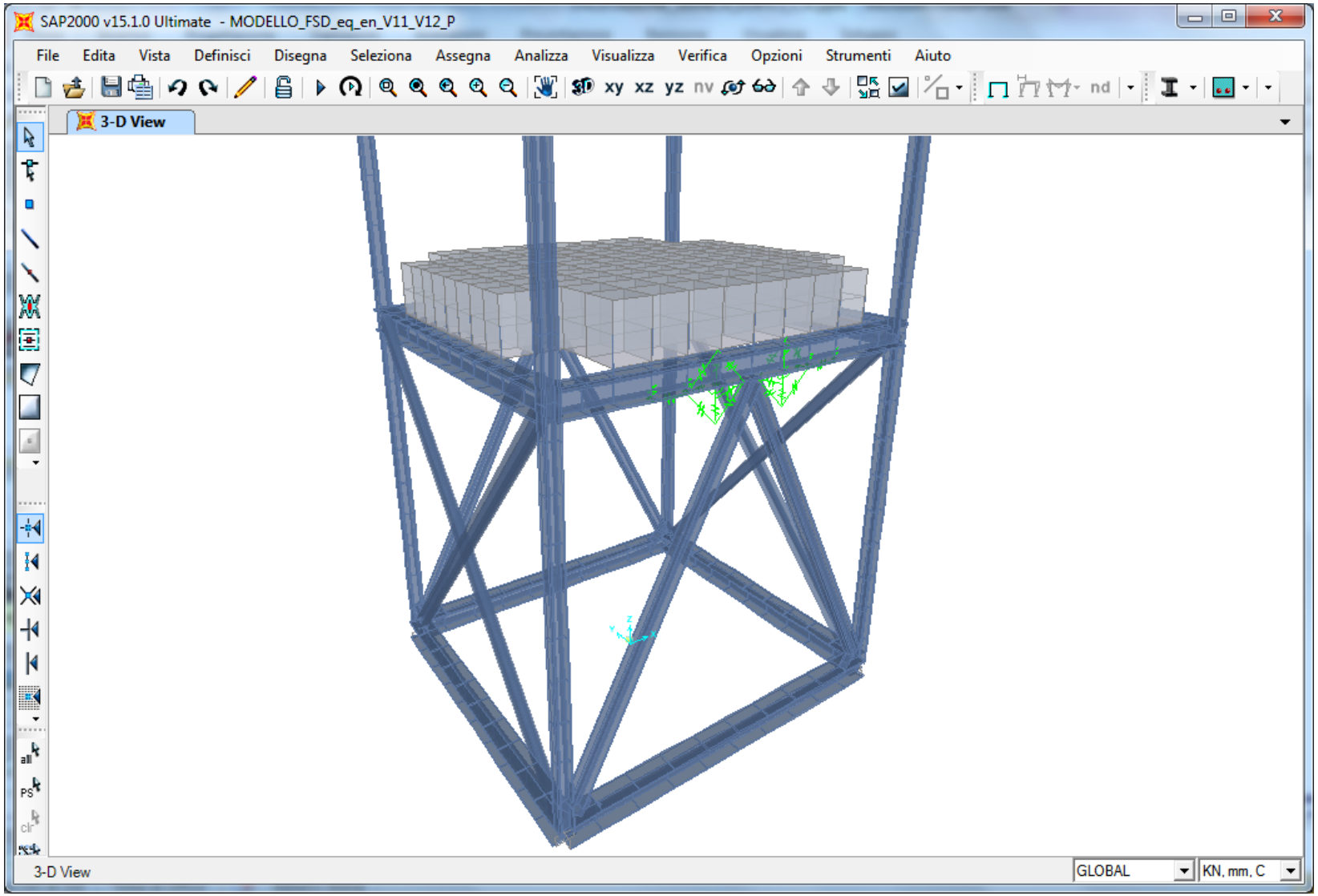




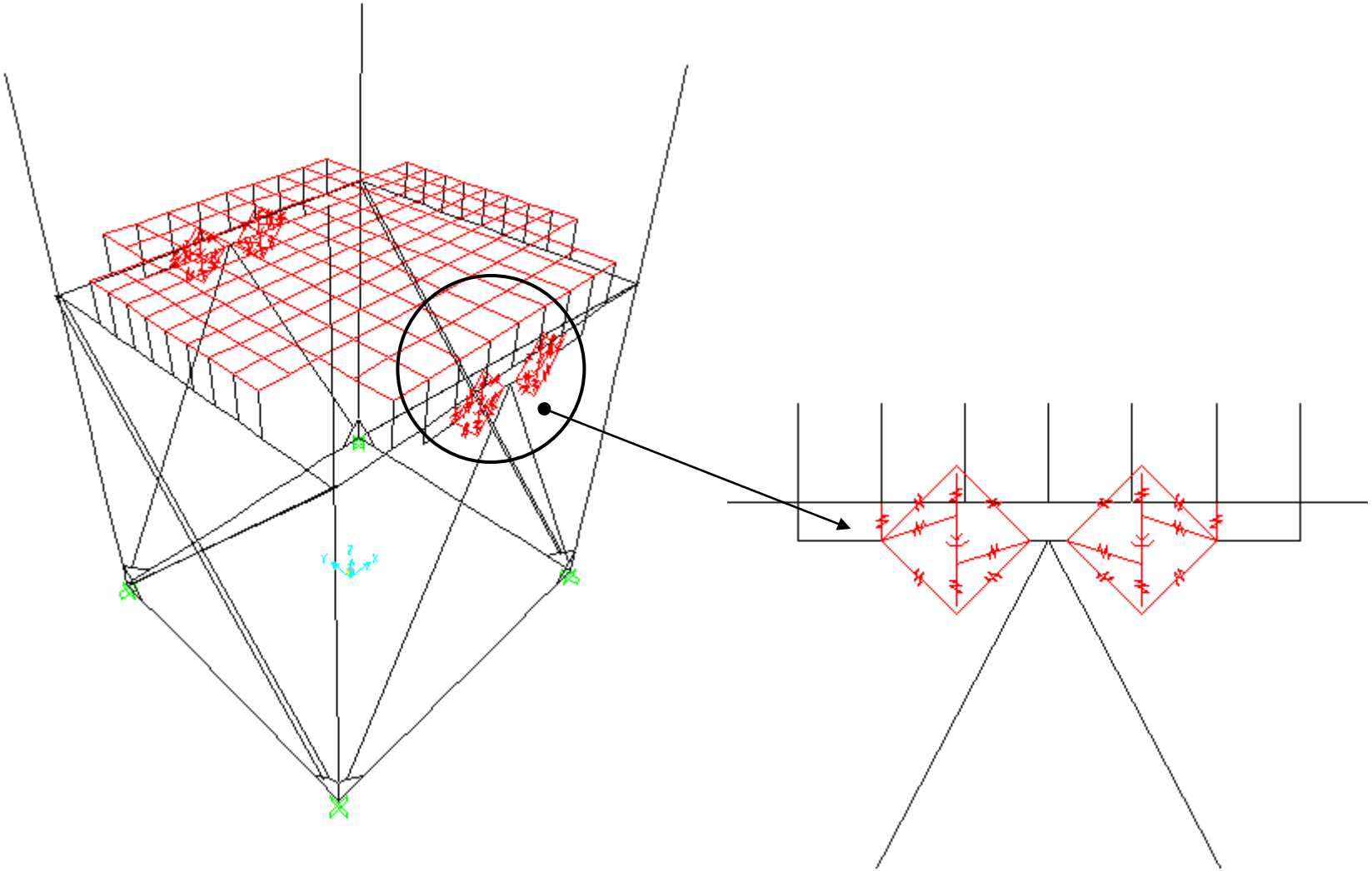
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

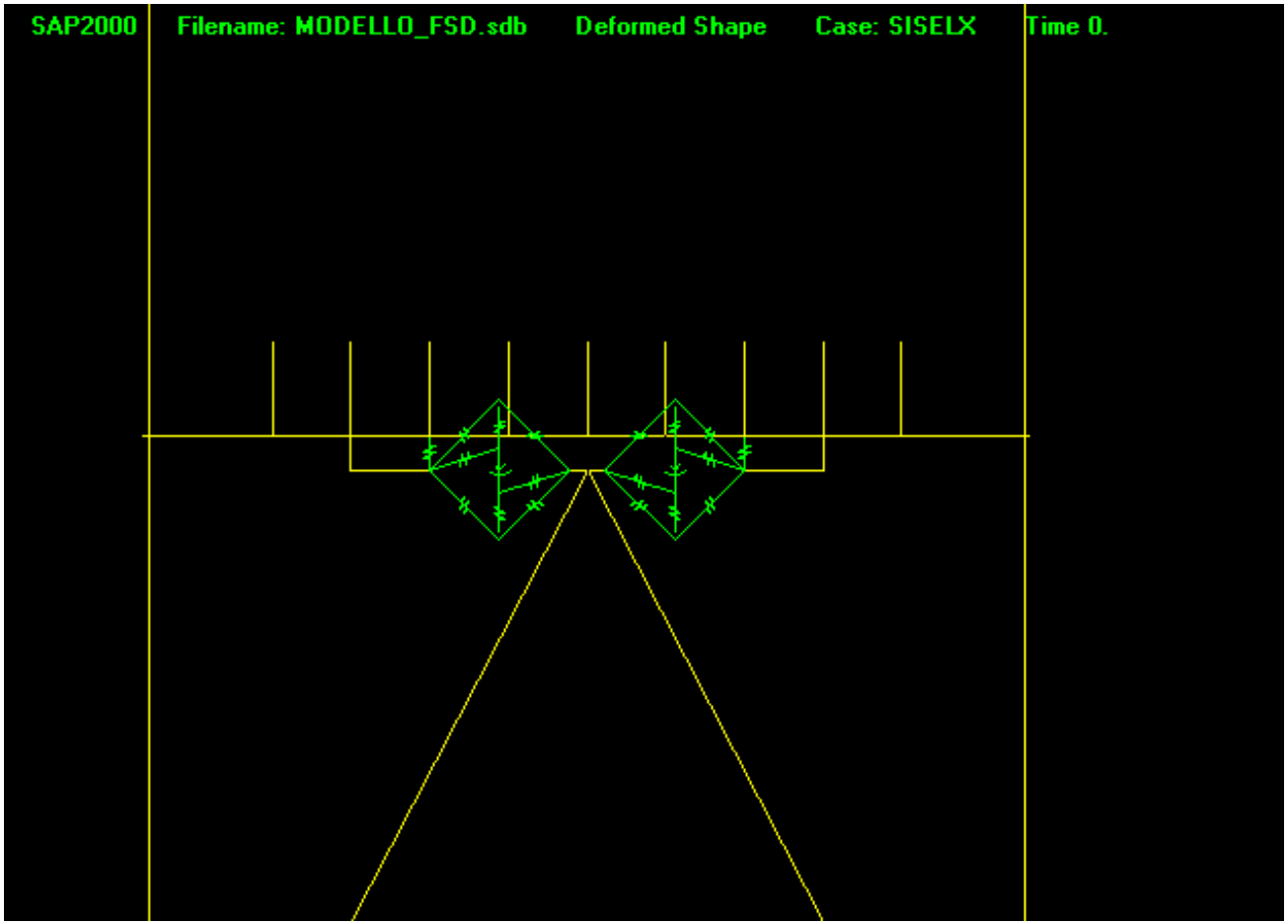
DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

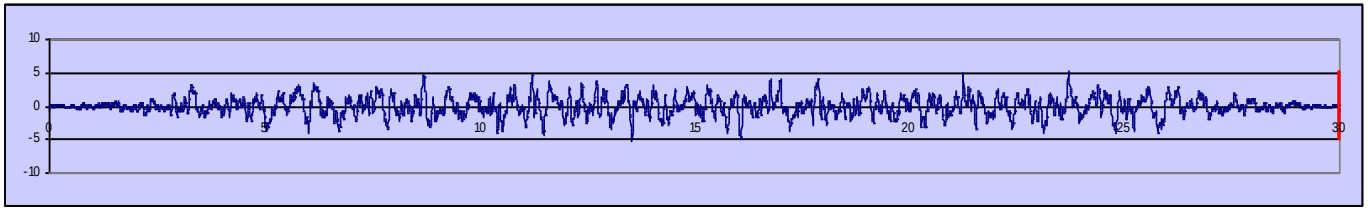


DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE



DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE

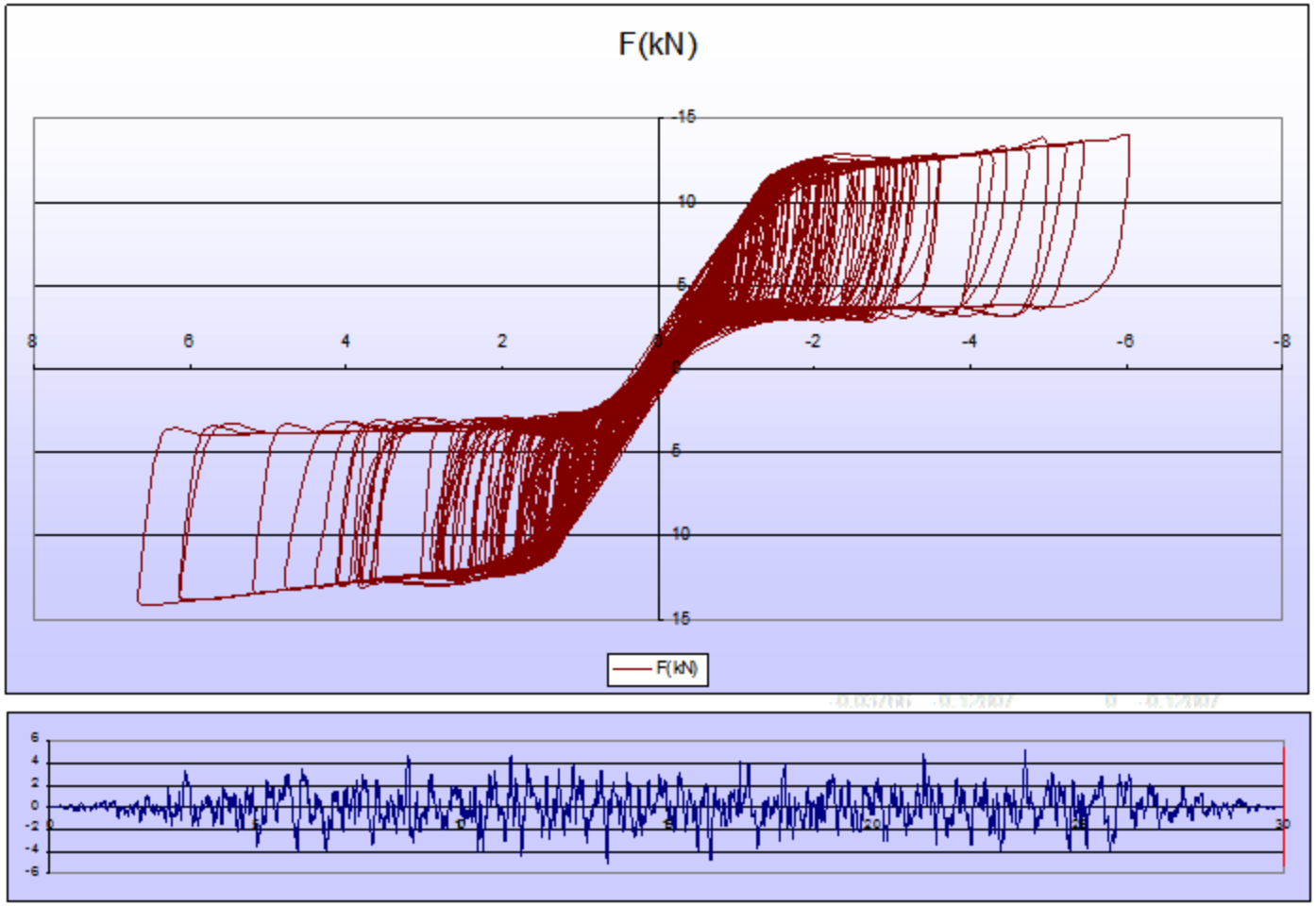




Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

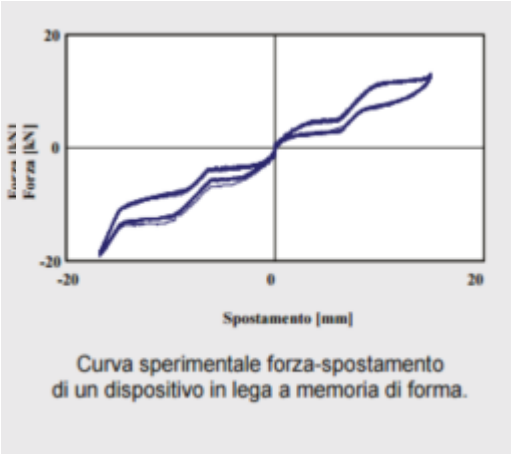
DISPOSITIVO CON MOLLE AD ATTRITO PRECARICATE



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO CON METALLI A MEMORIA DI FORMA – SMA - FIP



Curva sperimentale forza-spostamento
di un dispositivo in lega a memoria di forma.

Dispositivi SMAD installati nella Basilica
di San Francesco ad Assisi.

Prove su tavola vibrante su pareti in muratura
con dispositivi SMAD usati come tiranti orizzontali.

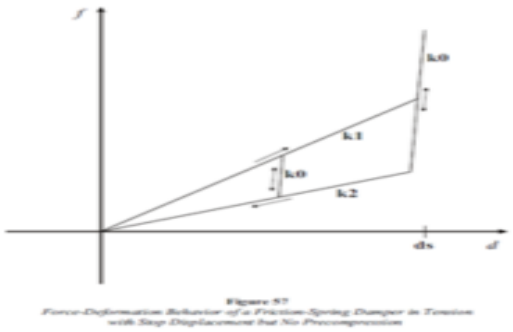
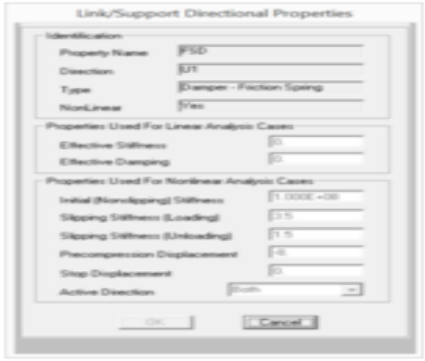
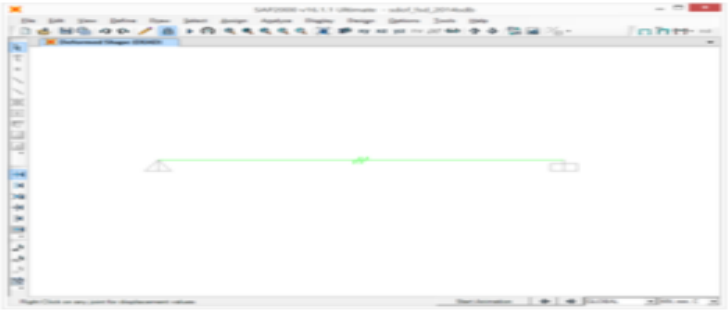
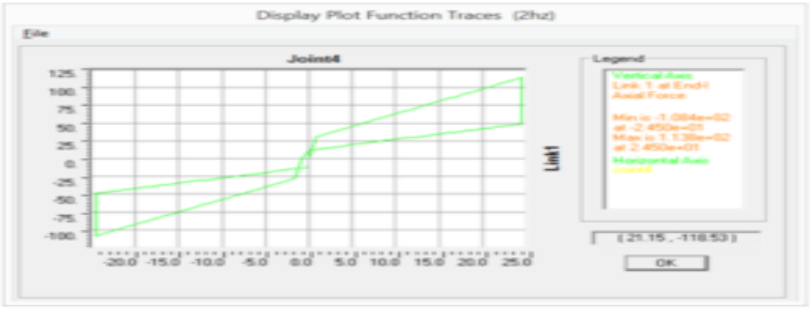


Figure 57
Force-Deformation Behavior of a Friction-Spring Damper in Tension with Slop Displacement but No Precompression







CASI STUDIO ISOLAMENTO SISMICO

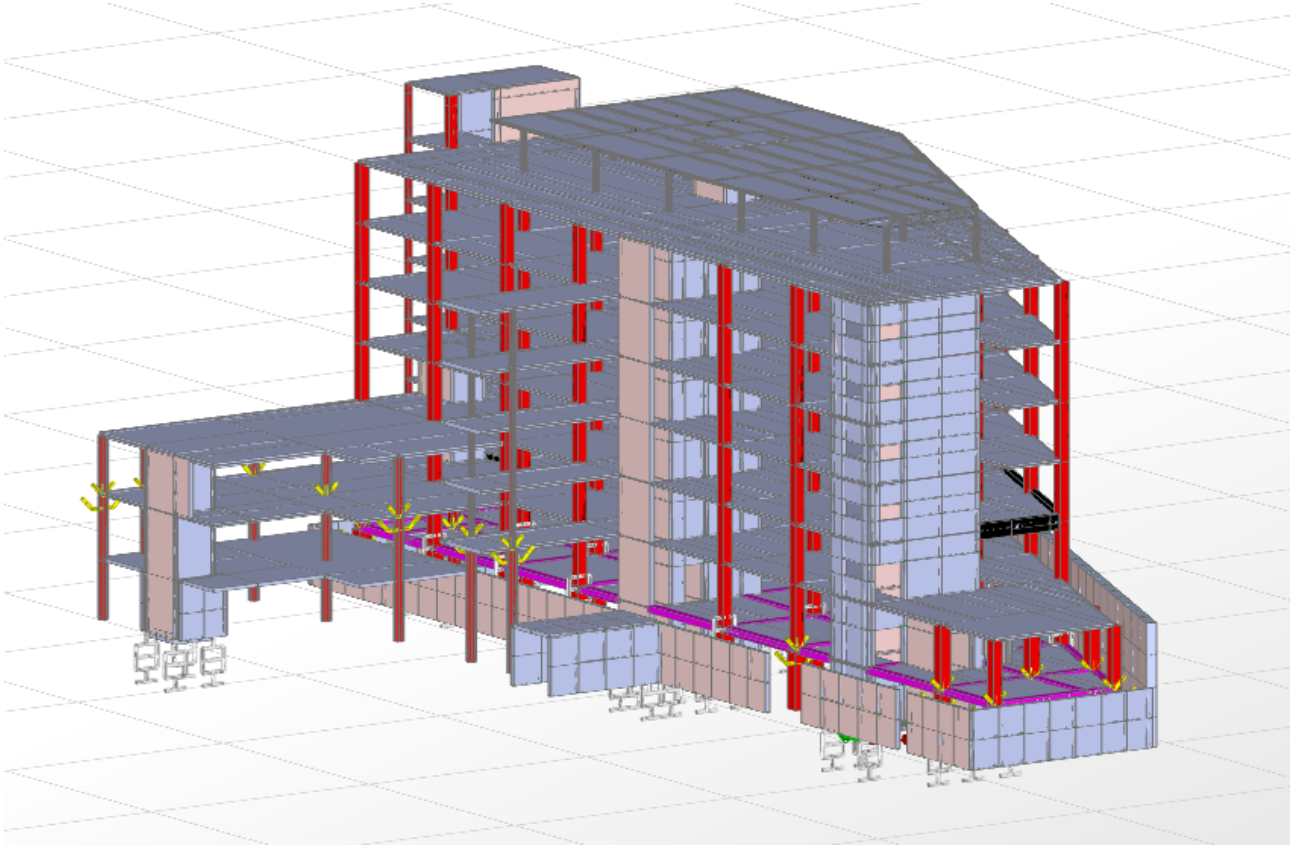
APPALTO CONCORSO: AMPLIAMENTO PRESIDIO OSPEDALIERO DI GAVARDO

PROGETTO ESECUTIVO

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

APPALTO CONCORSO: AMPLIAMENTO PRESIDIO OSPEDALIERO DI GAVARDO



DATI TECNICI:

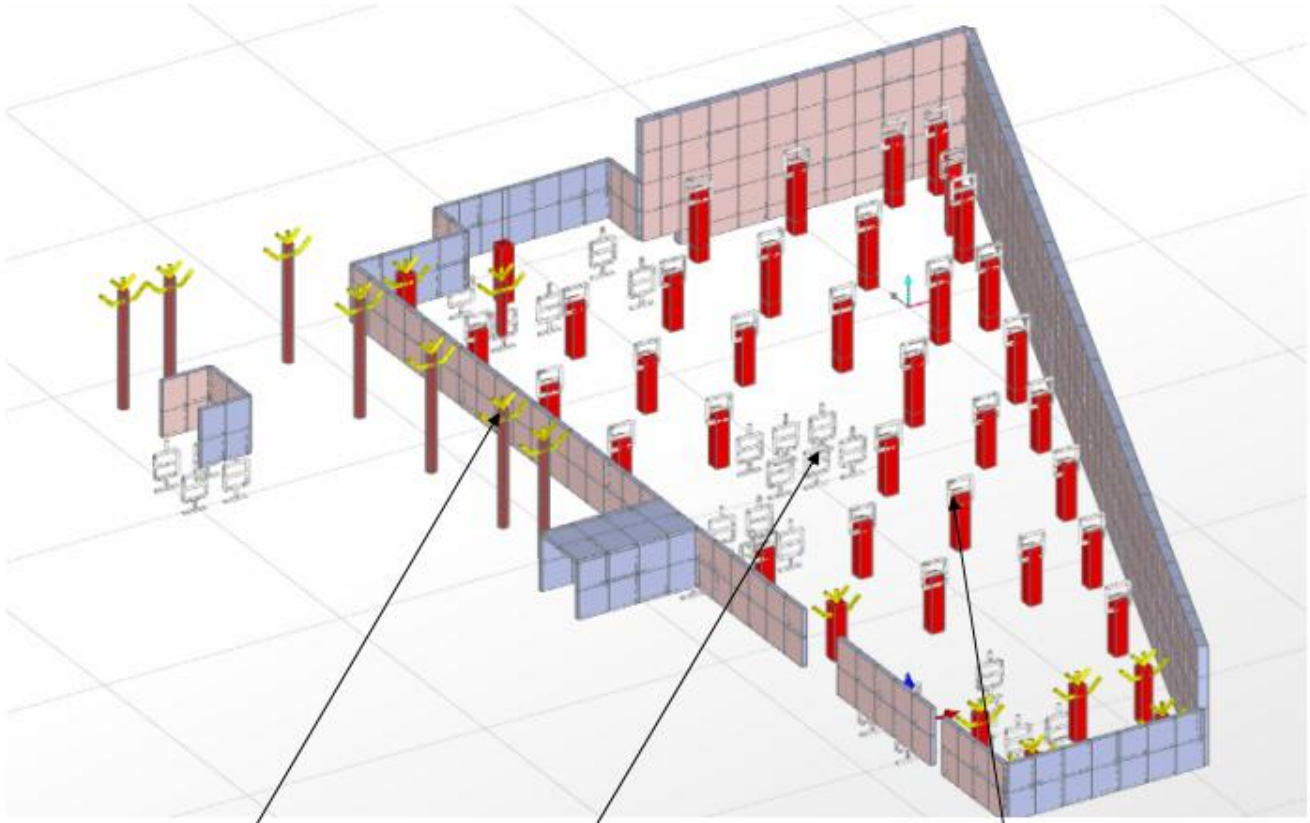
Pianta trapezia: 58m x 35m, 14m
7 livelli dallo spiccato (h 3.5m)
Copertura metallica, vano tecnico
Edificio a base isolata con due piani di scivolamento
Isolamento sismico ottenuto utilizzando dispositivi a scorrimento (a basso attrito) e dispositivi di appoggio elastomerici con nucleo in piombo dotati di alta capacità dissipativa.
Peso sismico della struttura isolata di circa 15000 t.
Azione sismica ag:
-SLV (10% - 100 anni) = 0.258g
-SLC (5% - 100 anni) = 0.282g

APPALTO CONCORSO: AMPLIAMENTO PRESIDIO OSPEDALIERO DI GAVARDO

OBIETTIVI PREPOSTI MEDIANTE ISOLAMENTO SISMICO:

- Riduzione delle accelerazioni di progetto della struttura
- Riduzione delle accelerazioni avvertite (limitazione dell'effetto panico)
- Salvaguardia degli elementi non strutturali anche per eventi di forte entità, limitazione del danno
- Riduzione dei rischi agli apparecchi medicali contenuti
- Riduzione delle richieste di duttilità degli elementi strutturali, non più impegnati nel meccanismo di dissipazione: sgravio del dettaglio strutturale (gerarchia delle resistenze)
- Riduzione delle eccentricità tra centro delle rigidezze e centro delle masse (diversificazione dei dispositivi utilizzati), correzione delle non regolarità strutturali

APPALTO CONCORSO: AMPLIAMENTO PRESIDIO OSPEDALIERO DI GAVARDO



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

APPALTO CONCORSO: AMPLIAMENTO PRESIDIO OSPEDALIERO DI GAVARDO

PROGETTOSECONDO NTC08, CNR 10018

Verifiche geometriche e di carico dei dispositivi LRB scelti e loro caratterizzazione

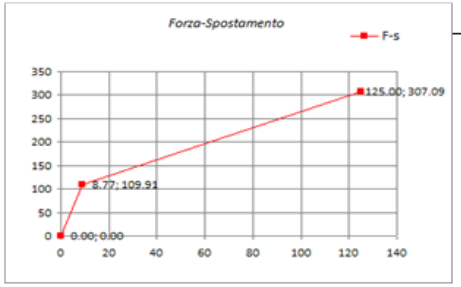
N.B. In rosso i valori di input, in blu quelli calcolati

Carichi - Deformazioni - Rotazioni				Note	
Carico normale massimo in fase sismica	V	7520	kN		
Carico normale minimo in fase sismica	$V_{s,min}$	0	kN		
Spostamento massimo (+/-)	d_z	125	mm		
Rotazione attorno alla direzione x	α_x	-	rad		
Rotazione attorno alla direzione y	α_y	-	rad		
Rotazione totale	α	0.0040	rad		
Caratteristiche isolatore					
Diametro esterno isolatore	D_g	650	mm		
Diametro lamierini	D	640	mm		
Numero fori	n_f	1	n°		
Diametro fori interni	d	110	mm		
Foro riempito (s/n)?		s			
Spessore armature	t_s	5	mm	t_s > 2 mm	Ok
Numero strati di gomma	n_g	19	n°		
Spessore singolo strato di gomma	t_i	6	mm		
Spessore strati ricoprimento esterno	t_{est}	14	mm		
Spessore piastre d'acciaio sup/inf.	$t_{s,est}$	30	mm	$t_{s,est}$ > 20 mm	Ok
Tensione di snervamento dell'acciaio lamierini	f_{yk}	275	MPa		
Modulo di compressibilità volum. della gomma (bulk)	E_b	2000	MPa		
Modulo di elasticità dinamico equivalente a taglio	G_{din}	0.60	MPa		
Spessore totale gomma	te	114	mm		
Altezza isolatore escluse piastre di ancoraggio	h	218	mm		
Altezza totale	H	278	mm		

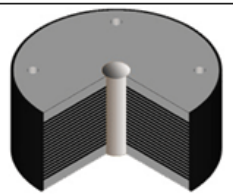
Calcoli				
Area strato di gomma (eventualmente depurata del foro)	A	322327	mm²	
Area singolo foro interno	A_f	9503	mm²	
Sup. laterale del singolo foro per singolo strato di gomma	L_f	2073	mm²	
Sup. laterale totale del singolo strato di gomma	L	12064	mm²	
Area lamierino (eventualmente depurata del foro)	A'	312196	mm²	
Spessore totale gomma	$\Sigma t_i + \Sigma t_{est}$	128	mm	
Spessore totale di calcolo della gomma	t_e	114	mm	
Coefficiente	ϕ	2.75	rad	
Area ridotta soggetta al carico	A_r	242211	mm²	
Dimensione equivalente: $3 \cdot \alpha \cdot D^2/4$	a^2	1229		
D/t_e	δ	5.61		
Modulo di compressibilità assiale	E_c	924.70	MPa	

Verifiche

Fattore di forma primario $S_1 = A'/L$	S_1	25.88			
Fattore di forma secondario $S_2 = D/t_e$	S_2	5.61			
Def. di taglio della gomma dovuta alla compressione assiale	γ_c	2.999			
Def. di taglio della gomma dovuta allo spost. tot. sismico	γ_s	1.096		$\gamma_s < 2$	Ok
Def. della gomma dovuta alla rotazione angolare	γ_α	0.898			
Deformazione totale di taglio	γ_t	4.994		$\gamma_t < 5$	Ok
Tensione max sui lamierini d'acciaio = $1.3 \cdot V \cdot 2t_i/(A_r \cdot t_s)$	σ_s	97	MPa	$\sigma_s < f_{yk}$	Ok
Carico normale di instabilità = $G \cdot A_r \cdot S_1 \cdot (D/t_e)$	V_{cr}	21114	kN		
Rapporto di instabilità = V_{cr}/V	i	2.81		i > 2	Ok
Diametro esterno	D_g	650	mm		
Altezza totale comprese piastre sup/inf	h	264	mm		
Volume parte vulcanizzata	Vol	0	dm³		
Volume totale	Vol	0	dm³		
Pressione sismica uniforme = V/A	$\sigma_{v,sis}$	23.33	MPa		
Pressione sismica minima uniforme = V_{min}/A'	$\sigma_{vs,sis}$	0.00	MPa	$\sigma_{vs,sis} > -1$	Ok
Rigidezza verticale $K_v = E_c \cdot A'/t_e$	K_v	2532	kN/mm		
Rigidezza orizzontale dell'elastomero = $G_{din} \cdot A/t_e$	K_g	1.696	kN/mm	Kv/Kb >800	Ok
Rigidezza equivalente orizzontale	K_e	**2.457**	kN/mm		
Trazione massima gomma min 1Mpa e 2G	Tr	312.2	kN		
Tensione di taglio al limite elastico del piombo	τ_{pb}	10	MPa		
Modulo di elasticità a taglio del piombo	G_{pb}	130	MPa		
Spostamento al limite elastico del piombo	Δy	8.77	mm		
Contributo del nucleo in piombo = $A_{pb} \cdot \tau$	$V_{y,pb}$	95	kN		
Taglio elastico dell'elastomero = $G_{din} \cdot \gamma$	τ_{el}	0.0462	MPa	Gdin*(tau,pb/Gpb)	
Contributo elastomero = $(A_{tot} - A_{pb}) \cdot \tau_{gm}$	$V_{y,el}$	14.88	kN		
Contributo totale $V_{y,tot} = V_{y,pb} + V_{y,gm}$	$V_{y,tot}$	**110**	kN		
$V_u - V_y = K_g \cdot (d_z - \Delta y)$		197	kN		
	V_u	**307**	kN		
Pendenza primo tratto curva	k_1	12.53	kN/mm		
Pendenza secondo tratto curva	k_2	1.70	kN/mm		
Rapporto rigidezze	k_2/k_1	0.13535			



rapporto smorzamento ξ 21.2



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

Dove,

V – massimo valore di carico verticale in condizione sismica. Tale valore è stato valutato allo SLC. La verifica di tale valore viene effettuata ipotizzando la concomitanza del massimo spostamento, e quindi della minima sezione trasversale;

dε – massima deformazione ammissibile sotto sisma, per una azione corrispondente al raggiungimento dello SLC;

α – massima rotazione totale sotto l'evento sismico;

Dg – diametro esterno isolatore;

D – diametro lamierini;

d – diametro nucleo in piombo;

ts – spessore delle armature metalliche interposte agli strati di gomma;

ti,tf – spessore piastre di acciaio inferiori e superiori;

Eb – modulo di compressibilità volumetrica, 2000 MPa;

Gdin – Modulo di elasticità a taglio. Assunta una mescola di 0.6 Mpa;

te – spessore totale gomma;

h – altezza del dispositivo escluso piastre di ancoraggio;

H – altezza totale del dispositivo;

Ar – area ridotta a seguito della deformazione tagliante;

A' – area depurata del foro;

S1 = A'/L Fattore di forma primario;

S2 = D/te Fattore di forma secondario;

γe – deformazione a taglio della gomma a taglio;

γt – deformazione totale;

i – Rapporto di instabilità = Vcr / V

Kv – Rigidezza verticale

Kg – Rigidezza orizzontale elastomero

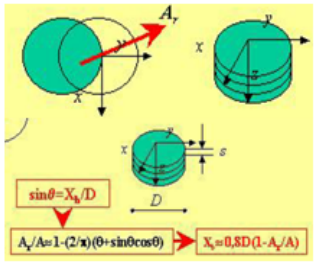
Tr – Massima trazione sopportabile, corrispondente ad una tensione di trazione non superiore al minimo di 2Gdin e 1 Mpa;

k1 – Rigidezza del primo ramo della curva

k2 – Rigide del secondo ramo della bilatera rappresentativa della curva di carico

Vy – Forza allo snervamento del nucleo di piombo

Vu – Forza massima di taglio del dispositivo



➢ *Verifica dello stato tensionale negli inserti in acciaio*

$$\sigma_s = 1{,}3V(t_1+t_2)/(A_r t_s) \le f_{yk}$$

σ_s = tensione massima agente nella generica piastra in acciaio;

f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio;

V = Carico verticale di progetto agente sull'isolatore in presenza di sisma;

t_1, t_2 = spessore dei due strati di elastomero direttamente a contatto con la piastra considerata;

t_s = spessore della piastra di verifica ($t_s \ge 2$ mm);

A_r = area ridotta efficace dell'isolatore calcolata come segue:

isolatori rettangolari con lati b_x e b_y $\Rightarrow$ $\mathrm{Min}[(b_x-d_{rftx}-d_{Ex})(b_y-d_{rfty}-0.3d_{Ey}), (b_x-d_{rftx}-0.3d_{Ex})(b_y-d_{rfty}-d_{Ey})]$;

d_{rftx}, d_{rfty} = spostamenti relativi tra le due facce (superiore e inferiore) degli isolatori, prodotti dalle azioni di ritiro, fluage e termiche (ridotte al 50%), ove rilevanti;

d_{Ex}, d_{Ey} = spostamenti relativi tra le due facce (superiore e inferiore) degli isolatori, prodotti dalla azione sismica agente nelle direzioni x ed y;

isolatori circolari di diametro D $\Rightarrow$ $(\phi-\sin\phi)D^2/4$ con $\phi = 2\arccos(d_{Ed}/D)$

Devono risultare soddisfatte le condizioni:

$$\gamma_t \le 5$$

$$\gamma_s \le \gamma^*/1{,}5 \le 2$$

γ^* = valore massimo della deformazione di taglio raggiunto nelle prove di qualificazione relative all'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio, senza segni di rottura.

$\gamma_t = \gamma_c+\gamma_s+\gamma_\alpha$ = deformazione di taglio totale di progetto;

$\gamma_c = 1{,}5V/S_1G_{din}A_r$ = deformazione di taglio dell'elastomero prodotta dalla compressione;

Tensioni tangenziali prodotte da un carico normale – valore massimo ai bordi: $\tau_v = \sigma_v \frac{1{,}5}{S}$

S_1 = fattore di forma primario che quantifica il rapporto fra rigidezza assiale e trasversale del dispositivo = A'/L

A' = area della superficie comune alla singola piastra d'acciaio ed allo strato di elastomero depurata degli eventuali fori (se non riempiti successivamente);

L = superficie laterale libera del singolo strato di elastomero di un isolatore elastomerico maggiorata degli eventuali fori;

Caratteristiche dei dispositivi di appoggio PTFE

I dispositivi scelti, sono dispositivi a scorrimento, in cui superfici trattate con teflon puro, lubrificate, scorrono su superfici di acciaio inossidabile o cromato o alluminio lucidate a specchio.
Tali dispositivi sono caratterizzati da bassi coefficienti di attrito, dipendenti dalla velocità di deformazione e dal carico di compressione esercitato dai carichi gravitativi, applicati su di essi durante l'eccitazione sismica.
I valori di attrito, caratteristici per questi dispositivi variano da un minimo del 1% ad un massimo del 6%.
Secondo la CNR 10018/1999 i coefficienti di attrito sono così definiti:

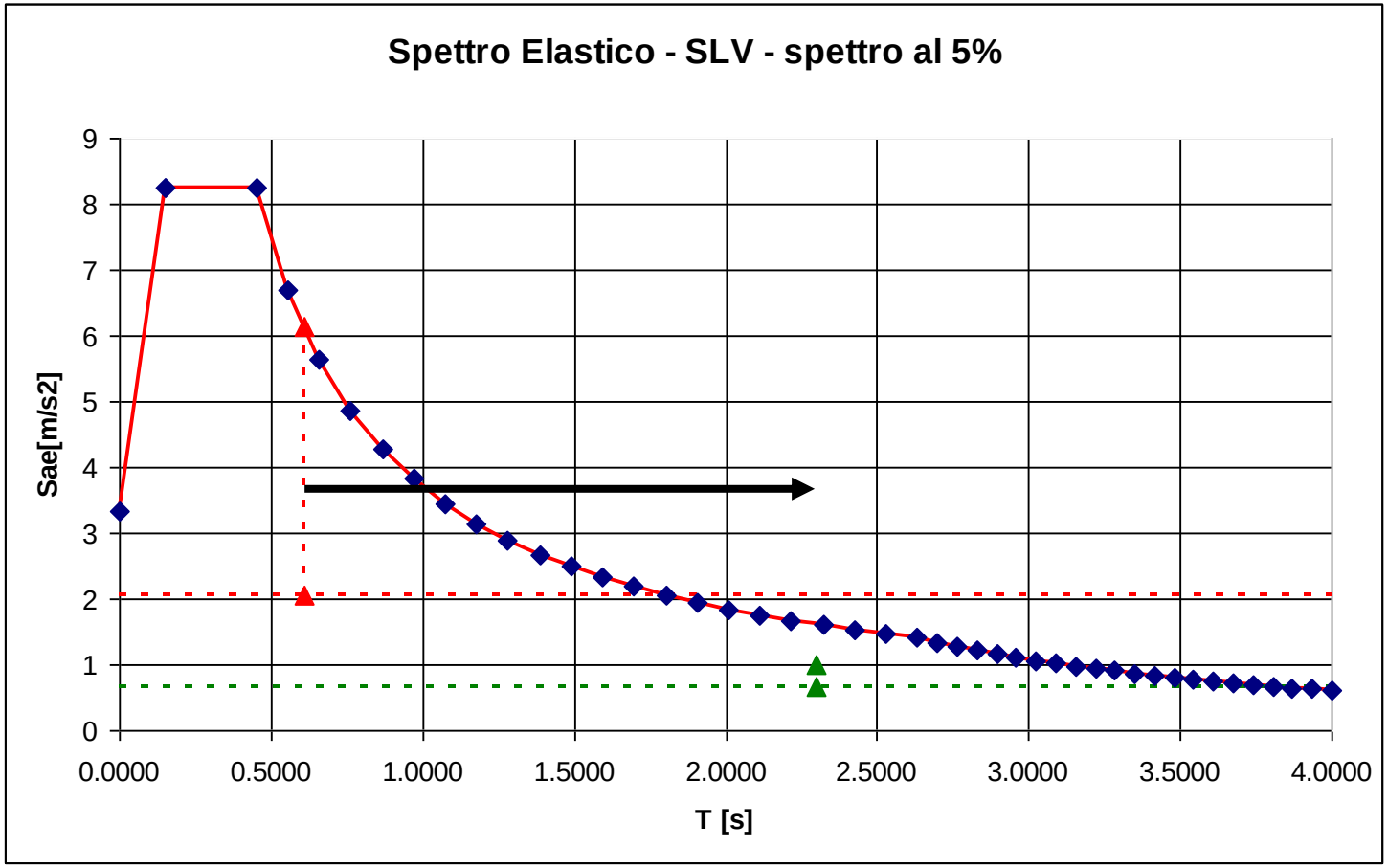
Tab. 4.1: Coefficienti di attrito μ in funzione della pressione di contatto.

Pressione di contatto σ_p (MPa)	< 5	10	20	30
PTFE/acciaio austenitico o cromatura	0.08	0.06	0.04	0.03 (0.025) [1]
PTFE/lega di alluminio anodizzato	0.12	0.09	0.06	0.038

(•)[1] : Valore del coefficiente di attrito di superfici curve.

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

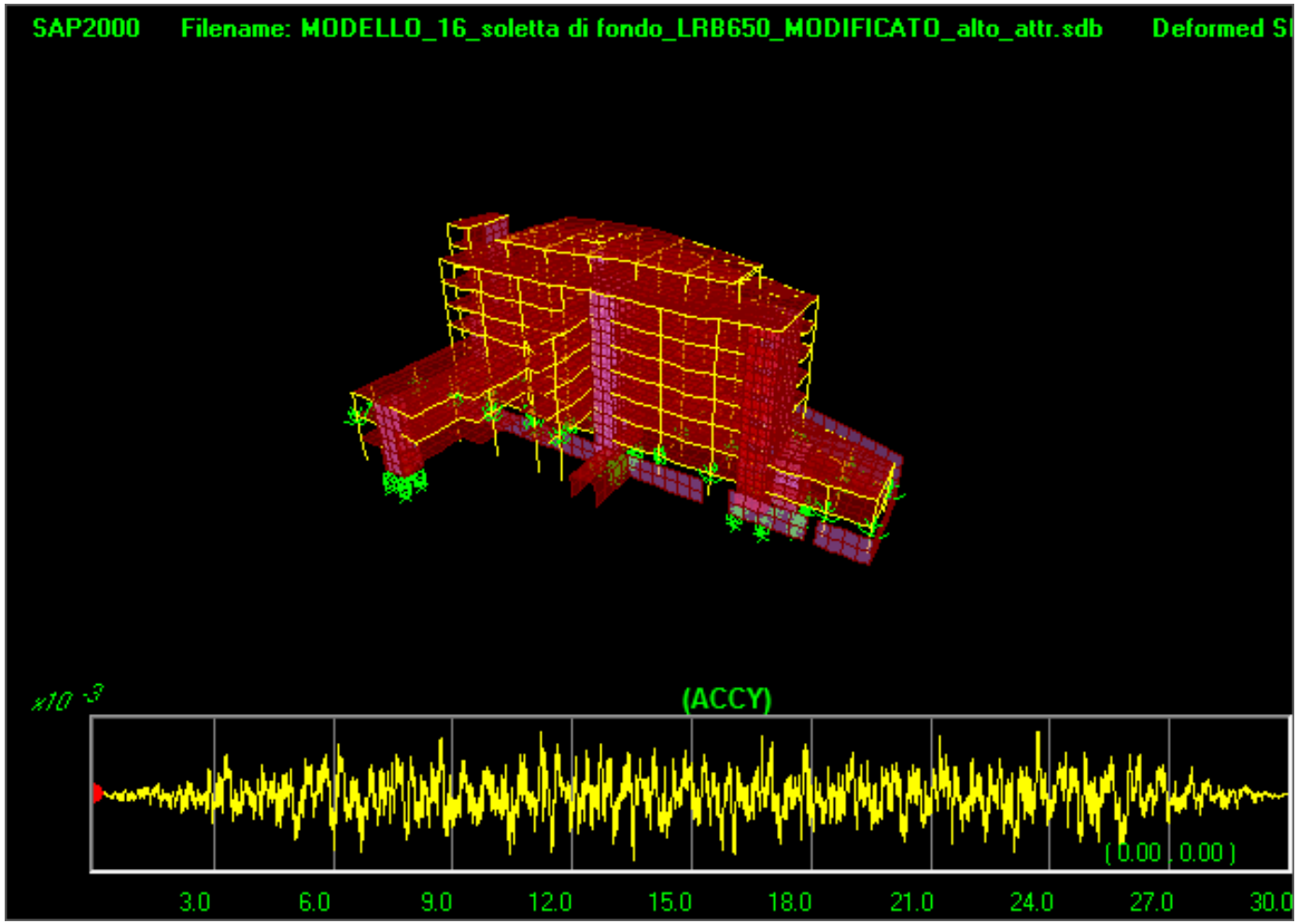


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

APPALTO CONCORSO: AMPLIAMENTO PRESIDIO OSPEDALIERO DI GAVARDO

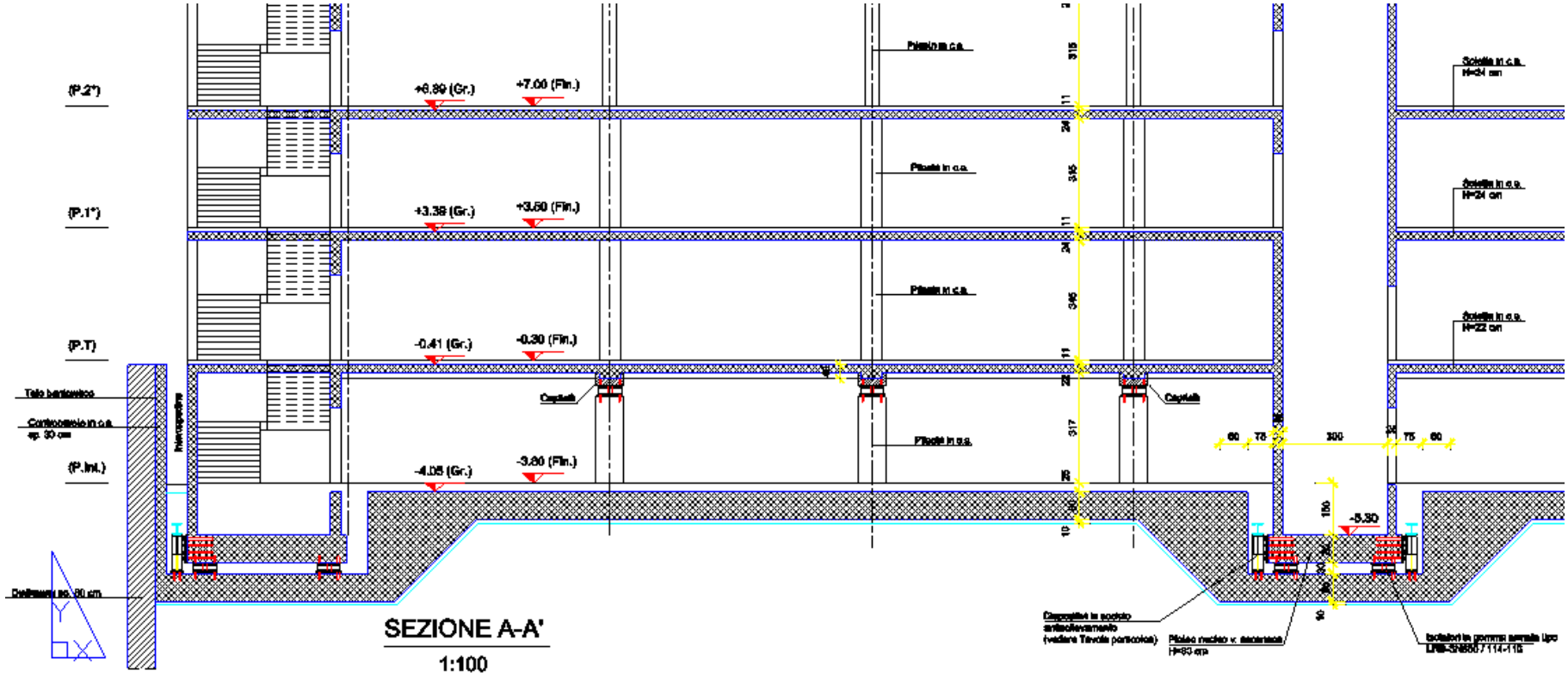
ANIMAZIONE IN SAP2000: DEFORMAZIONE SISMA 100%Y +30%X



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

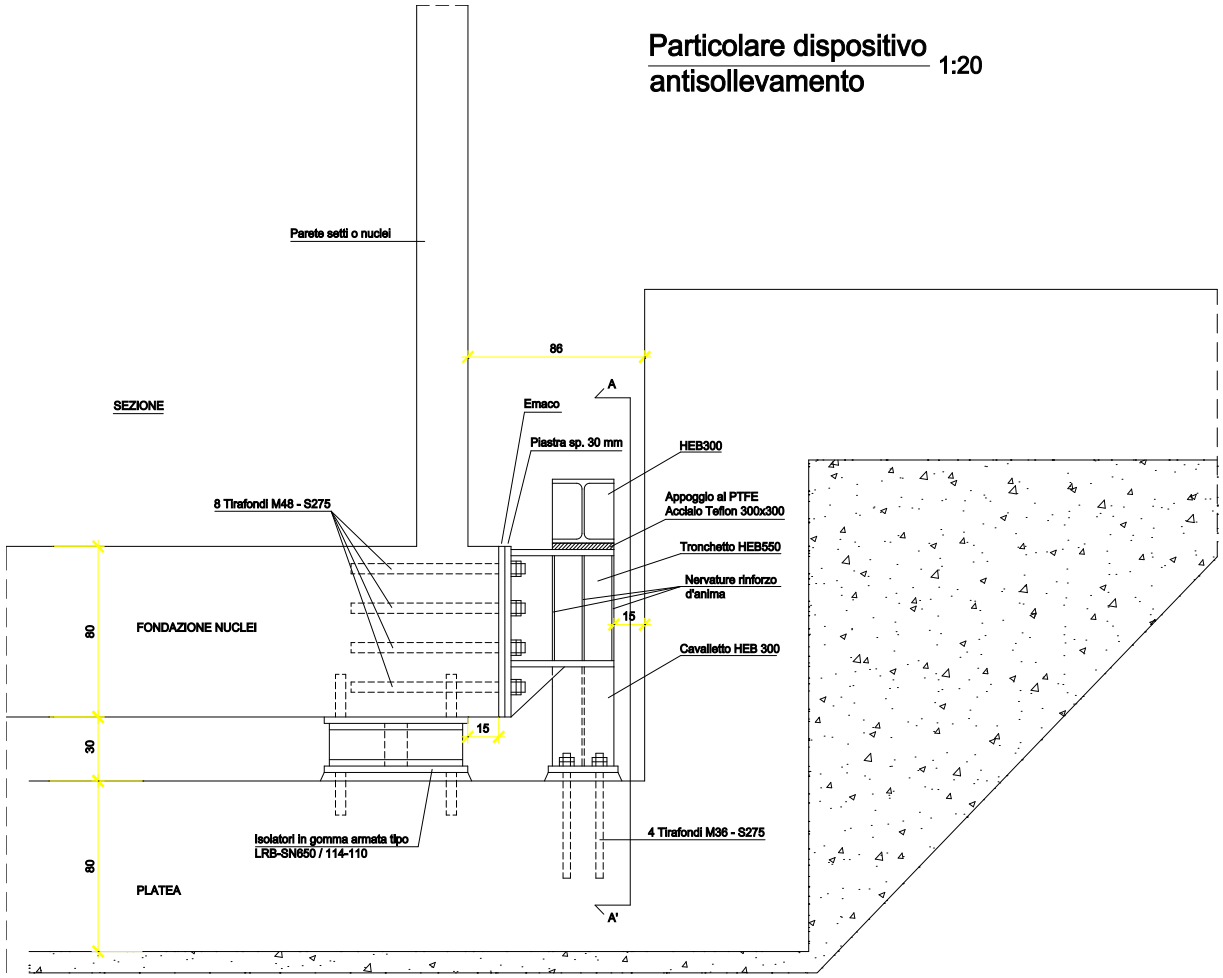
APPALTO CONCORSO: AMPLIAMENTO PRESIDIO OSPEDALIERO DI GAVARDO

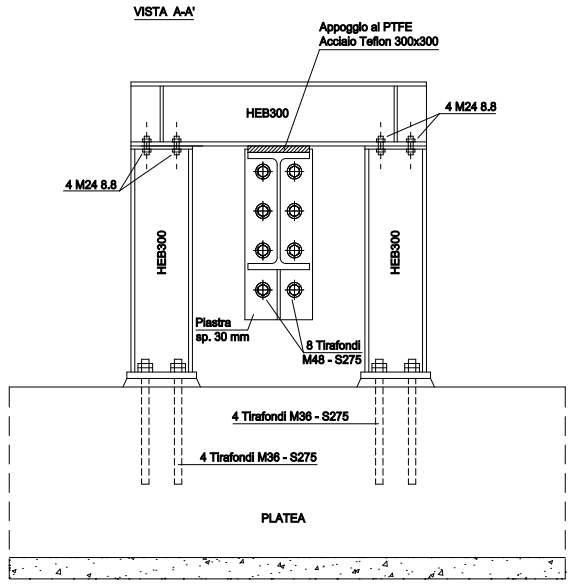


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

Particolare dispositivo antisollevamento 1:20





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

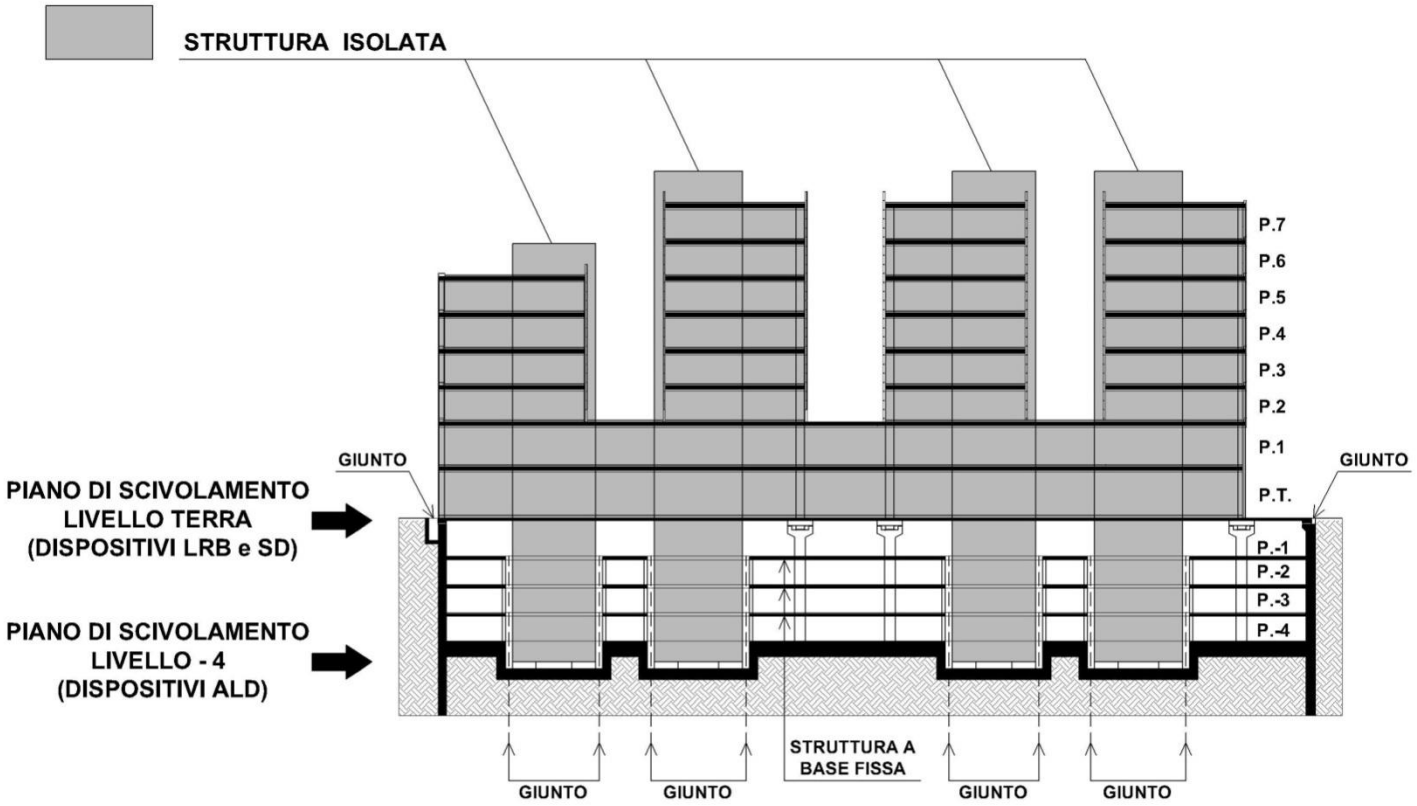
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

PALAZZO VENEZIA - BUCAREST

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

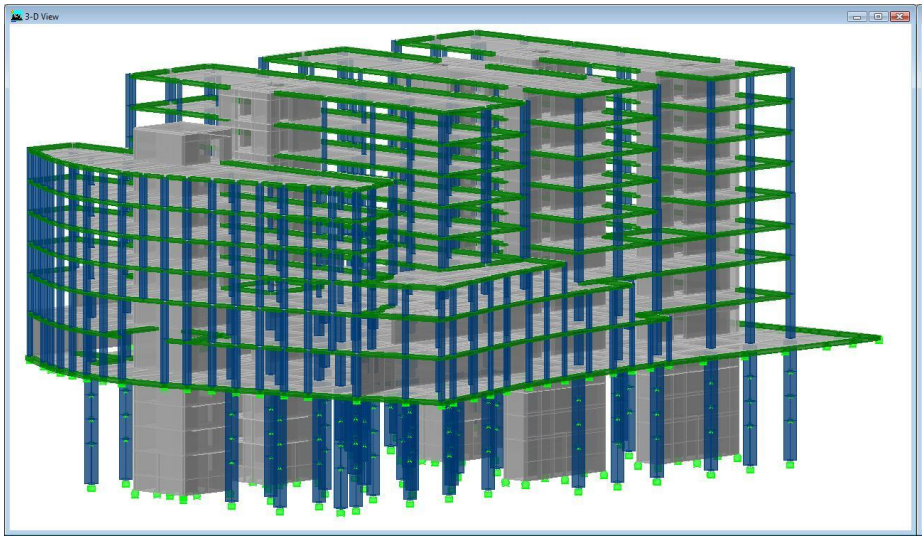
PALAZZO VENEZIA - BUCAREST

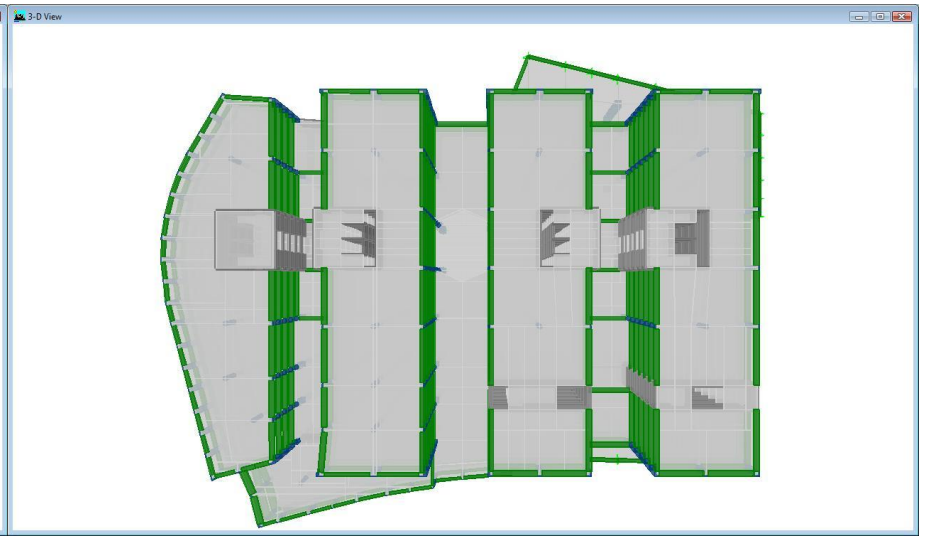


GIUNTI STRUTTURALI:
- SUL PERIMETRO AL PIANO TERRA
- SUL PERIMETRO DEI VANI SCALA-ASCENSORI AI PIANI INTERRATI

SEZIONE TRASVERSALE IN CORRISPONDENZA DEI NUCLEI SCALE E ASCENSORI

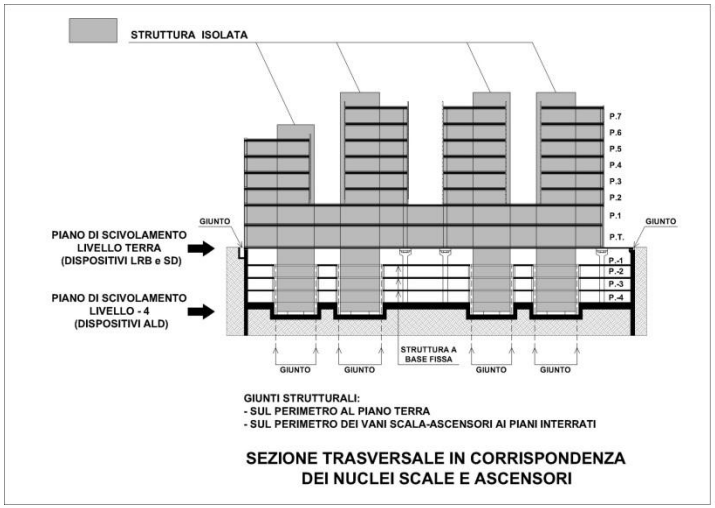
PALAZZO VENEZIA - BUCAREST





"**Palazzo Venezia**" è sito nel pieno centro di **Bucarest (Romania)**.
Destinazione direzionale ed albergo-ristorante, uffici e negozi, per un complessivo di **20.000 m^2** di superficie coperta.
Un volume **interrato** consistente di **18.000 m^3** suddiviso su **4 differenti livelli**.
La struttura della parte interrata è comune a **4 edifici distinti**, ma interconnessi, di altezze diverse e un massimo di **8 piani fuori terra**.
Il **peso sismico** della porzione di struttura isolata, secondo la nota definizione normativa UNI EN 1998 (2005), utilizzata per la progettazione strutturale, risulta di oltre **40.000 t**.
Gli **orizzontamenti** sono realizzati mediante **solette monolitiche in c.a.**, la **struttura sismoresistente** è costituita da **nuclei o setti e colonne in c.a.** Dal punto di vista sismogenetico, l'area su cui insisterà la costruzione è soggetta ad una accelerazione massima al suolo, **PGA di 0.24g**, per un evento caratteristico allo stato limite ultimo.

PALAZZO VENEZIA - BUCAREST

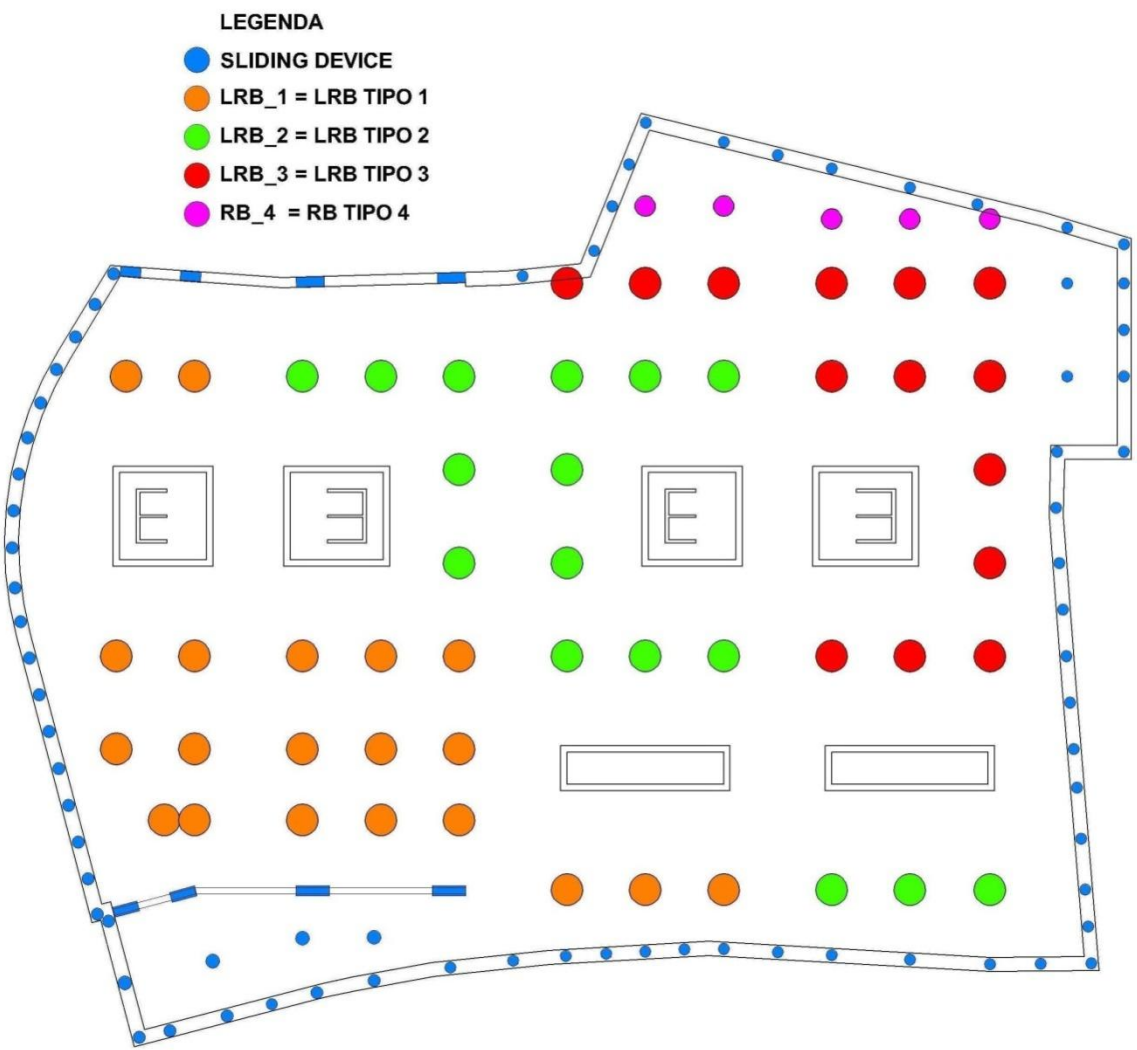


Dato il volume delle opere interrate, è stato scelto di impostare **due diversi piani di scivolamento**:

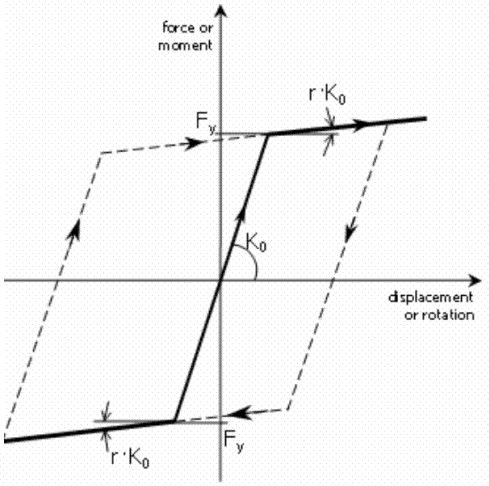
- il primo - dotato sia di scivolatori puri sliding device (di seguito SD) che di appoggi dissipativi del tipo Lead Rubber Bearing (di seguito LRB) con nucleo in piombo - è impostato appena al di sotto del livello terreno (sul piano di campagna).
- il secondo - dotato solo di dispositivi di tipo anti-lifting device (di seguito ALD), in grado di reagire a carichi di trazione - è in corrispondenza delle opere fondazionali dei nuclei interni.

La scelta del doppio piano di scivolamento ha consentito, tra le altre, una notevole riduzione delle trazioni sui dispositivi localizzati al di sotto dei nuclei e la possibilità di usufruire della struttura interrata come efficace contrasto alle pareti costituenti il diaframma fondazionale.

PALAZZO VENEZIA - BUCAREST



La dissipazione di energia avviene sul piano di scivolamento posto al livello terra, ad opera dei dispositivi di isolamento e dissipazione. La restante parte di struttura è lasciata lavorare in fase elastica; ciò comporta la salvaguardia degli elementi di elevazione, che non hanno quindi più il compito di dissipare energia mediante l'utilizzo delle loro risorse inelastiche a seguito del loro danneggiamento.



LRB tipo 1

K_0 = 30.53 kN/mm

F_y = 737 kN

r = 0.0509

LRB tipo 2

K_0 = 23.25 kN/mm

F_y = 560 kN

r = 0.0658

LRB tipo 3

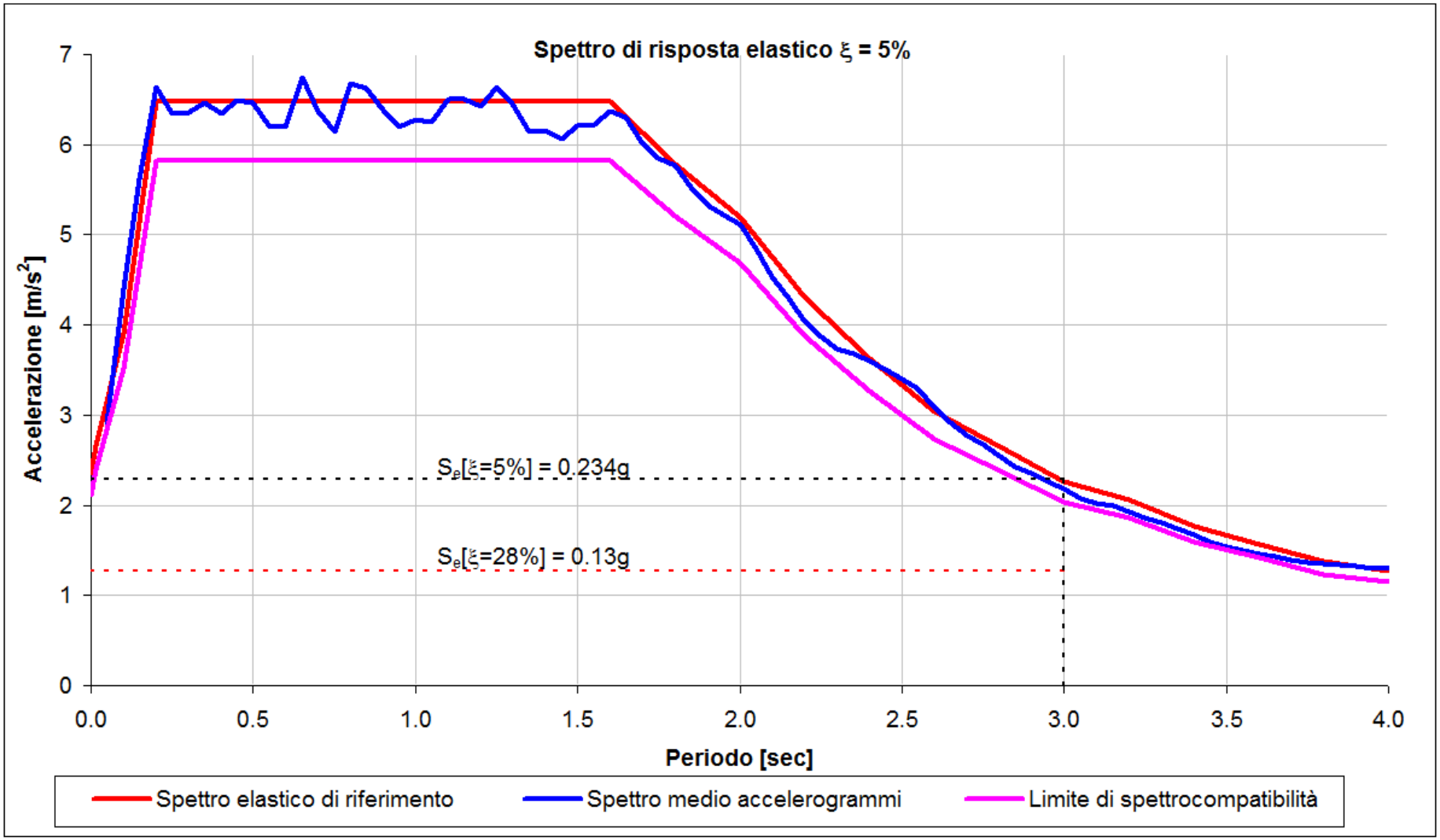
K_0 = 17.0 kN/mm

F_y = 410 kN

r = 0.093

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

In accordo con lo spettro di risposta elastico, riprodotto in fig. 3 e con l'adozione di un coefficiente di smorzamento viscoso,equivalente del sistema di isolamento, stimato pari a ξ_{is} = 28%, si hanno, in condizione esemplificativa di un oscillatore elastico lineare ad un grado di libertà, le seguenti quantità di progetto:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5+\xi_{is}}} = \sqrt{\frac{10}{5+28}} = 0.55 \qquad [1]$$

$$S_e = a_g \cdot \eta \cdot \frac{8.8}{T_{is}^{\ 2}} = 0.13g \qquad [2]$$

$$D_e = S_e(T_{is}) \cdot \left(\frac{T_{is}}{2 \cdot \pi}\right)^2 = 0.29m \qquad [3]$$

Il valore massimo di tagliante alla base è di 51.750 kN. Tale valore risulta in linea con quello facilmente ottenibile dal prodotto del peso sismico con l'accelerazione di progetto stimata in [3] e riportato in [4].

$$V_{max} = W_s \cdot S_e(T_{is}, \xi_{is}) = \qquad [4]$$

$$= 405.000 \cdot 0.13 = 52.650kN$$

In condizioni di base fissa, il taglio alla base Vsd risulterebbe di circa 134.500 kN (calcolato con un fattore di struttura q = 2.1). Adottando un fattore di struttura q = 1.5, per la struttura in condizioni isolata si ha:

$$V_{sd} = 52.650 / 1.5 = 35.100kN \qquad [5]$$

Dalla condizione espressa in [5] si può verificare un abbattimento del tagliante alla base nell'ordine di circa il 70%.

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

PALAZZO VENEZIA - BUCAREST

DATI GENERALI OPERA
Complesso a destinazione commerciale, direzionale e alberghiero, Str.Doamnei n.7-9, Bucarest (Romania)

COMMITTENTE
S.C. Conta Investment s.r.l., Bucarest (Romania)

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA
Pietrobon & Rossi Engineering s.r.l., Castelfranco Veneto (TV)

PROGETTAZIONE STRUTTURALE DEGLI EDIFICI
Ing. Giovanni De Grandis, Piombino Dese (PD)
Ing. Tudor Andritoiu, S.C. Saco Construct, Bucarest (Romania)

CONSULENZA PER ISOLAMENTO SISMICO
Ing. Leonardo Bandini, Pordenone (PN)

PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE INTERRATE
Prof.ing. Romeo Ciortan, S.C. Hecon s.r.l., Constant (Romania)

ISOLAMENTO SISMICO DI PALAZZO VENEZIA - BUCAREST

Case History

L'isolamento sismico di "Palazzo Venezia" a Bucarest (Romania)

A cura di ***Leonardo Bandini***, Ing., Brunetta Bandini Centa srl , Pordenone (posta@leonardobandini.it)
Giovanni De Grandis, Ing., Piombino Dese (PD) (giovanni.degrandis@fastwebnet.it)

Note sulla struttura e il sito di progetto

L'edificio denominato "Palazzo Venezia" sorgerà nel pieno centro di Bucarest (Romania), in una delle aree più prestigiose della città; sarà a destinazione direzionale e ospiterà un albergo-ristorante, numerosi uffici e negozi, per un complessivo di 20.000 m² di superficie coperta.
Al momento della stesura del presente articolo, terminata la fase di progettazione esecutiva, l'opera è in attesa di realizzazione.
Il progetto prevede un volume interrato consistente (18.000 m³) suddiviso su 4 differenti livelli. La struttura della parte interrata è comune a 4 edifici distinti, ma interconnessi, di altezze diverse e un massimo di 8 piani fuori terra. La geometria della struttura è ben rappresentata nelle Fig. 1 e 2.
Il peso sismico della porzione di struttura isolata, secondo la nota definizione normativa UNI EN 1998 (2005), utilizzata per la progettazione strutturale, risulta di oltre 40.000 t.
Gli orizzontamenti sono realizzati mediante solette monolitiche in c.a., la struttura sismoresistente è costituita da nuclei o setti e colonne in c.a.
Dal punto di vista sismogenetico, l'area su cui insisterà la costruzione è soggetta ad una accelerazione massima al suolo (di seguito PGA) di 0.24g, per un evento caratteristico allo stato limite ultimo.
La destinazione d'uso suggerisce l'adozione di un fattore di importanza pari a 1.

La scelta del sistema di isolamento sismico e richiami teorici

La scelta dell'isolamento alla base, accoppiata alla dissipazione supplementare di energia ad opera dei dispositivi scelti, come tecnica di protezione sismica, è stata dettata dalla necessità di elevare la capacità prestazionale della struttura, salvaguardando nel contempo la distribuzione architettonica in essere. Le ampie luci, l'impossibilità d'inserimento di ulteriori elementi controventanti, l'assenza di telai "forti", la consistente non regolarità in elevazione, prodotta anche dall'unione di diversi corpi di fabbrica e le grandi eccentricità, tra centri di rigidezza e di massa, sono le principali cause che hanno spinto i Progettisti all'adozione di sistemi di protezione alternativi.
Gli Autori vogliono inoltre focalizzare l'attenzione sul fatto che l'incremento di prestazione è stato concentrato nell'adozione di tale sistema e non su strategie convenzionali quali l'incremento di resistenza dei singoli elementi strutturali o l'adozione di filosofie, seppur moderne, come il *capacity design*, che porta sì all'aumento della duttilità della struttura, ma a scapito dell'inasprimento della qualità di dettaglio strutturale da perseguire. Nel caso in esame, tutta la dissipazione di energia, avviene sul piano di scivolamento posto al livello terra, ad opera dei dispositivi di isolamento e dissipazione. La restante parte di struttura è lasciata lavorare in fase elastica; ciò comporta la salvaguardia

Fig. 1 - Inserimento della struttura nel contesto urbano.

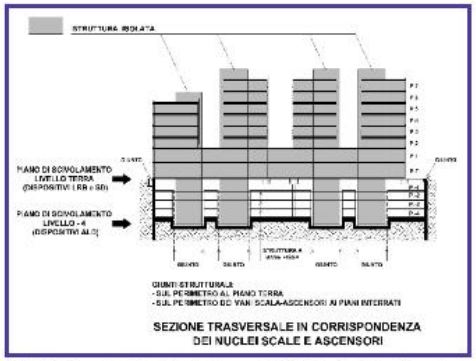
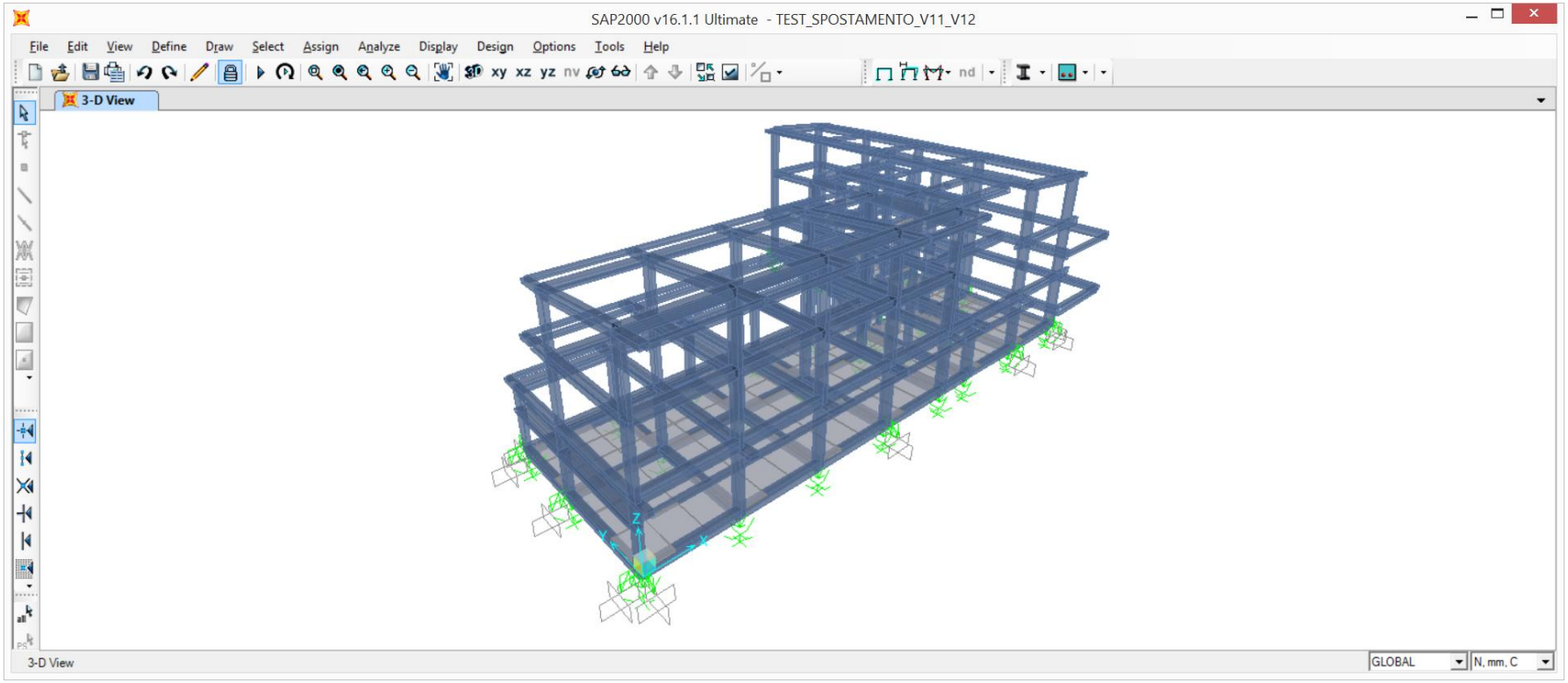


Fig. 2 - Sezione schematica della struttura con indicati i due piani di scivolamento e i giunti strutturali del volume interrato.

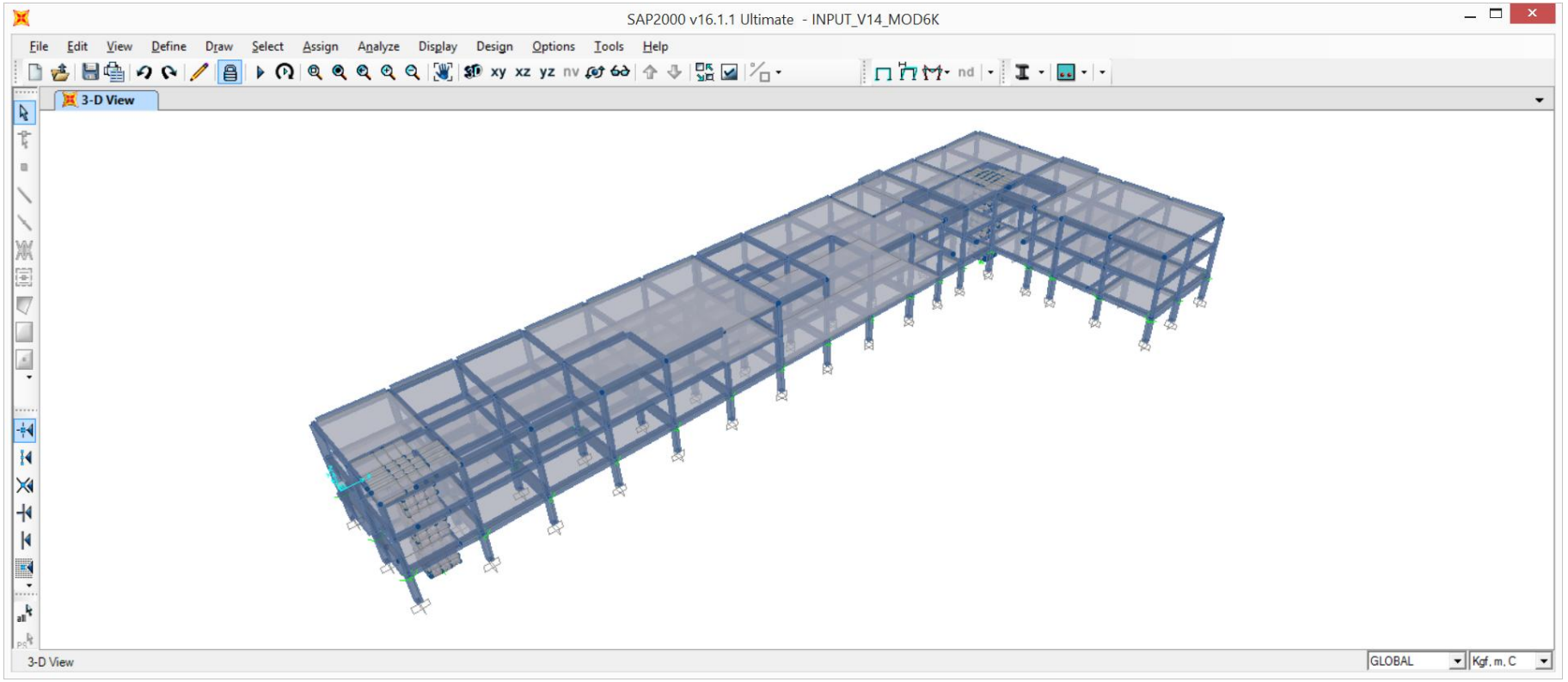
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

Realizzazione: nuova sede di Pubblica Assistenza “Fratellanza Popolare” Grassina (FI)


SAP2000 v16.1.1 Ultimate - TEST_SPOSTAMENTO_V11_V12
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help
3-D View
3-D View
GLOBAL
N, mm, C

Edificio ad uso residenziale situato a Sesto Fiorentino (Firenze) – Intervento di edilizia sovvenzionata (committente: CASA SpA)


SAP2000 v16.1.1 Ultimate - INPUT_V14_MOD6K
File Edit View Define Draw Select Assign Analyze Display Design Options Tools Help
3-D View
3-D View
GLOBAL
Kgf, m, C

CASI STUDIO DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA

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

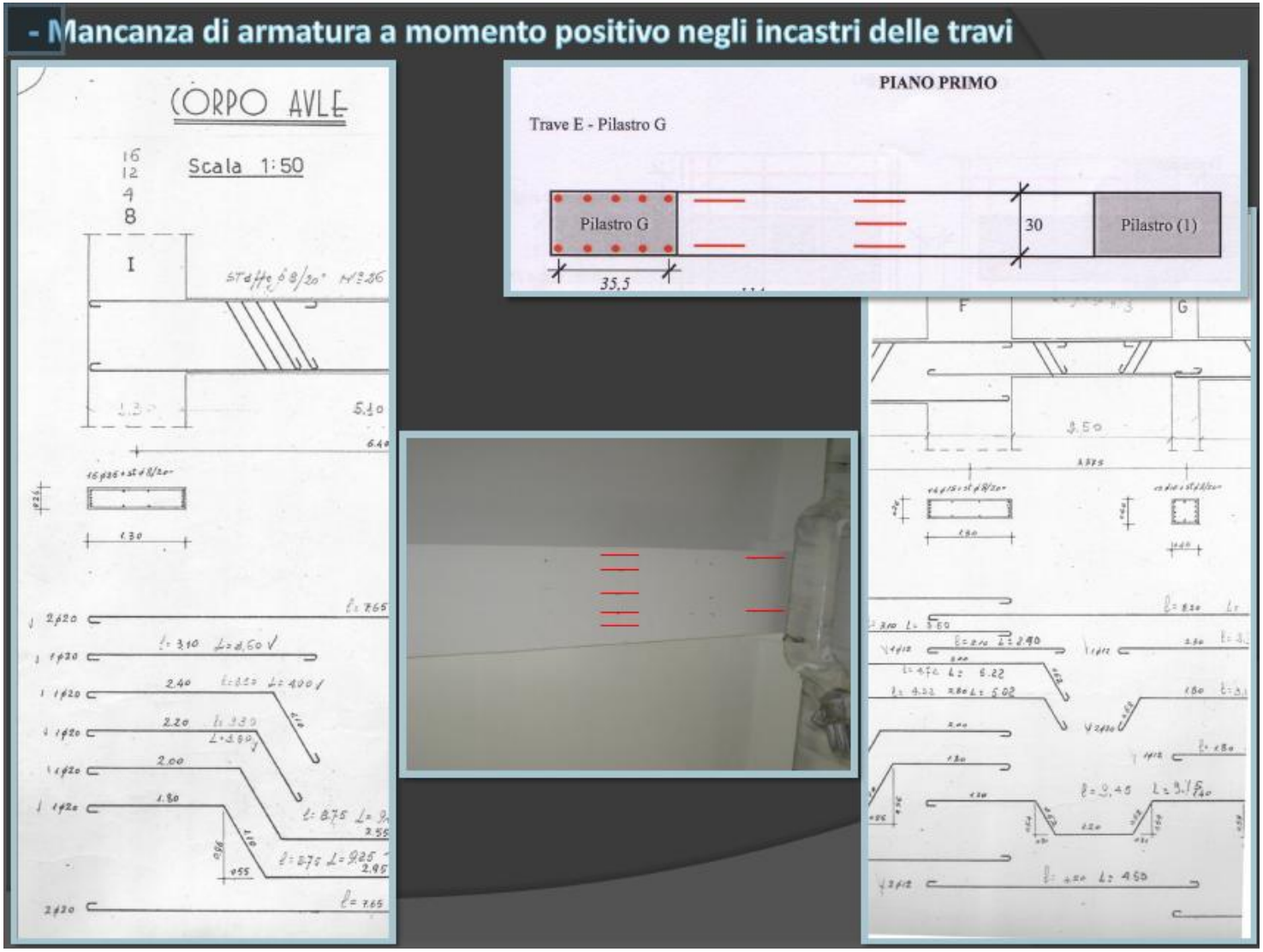
CSi Italia s.r.l
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH

- Mancanza di armatura a momento positivo negli incastri delle travi



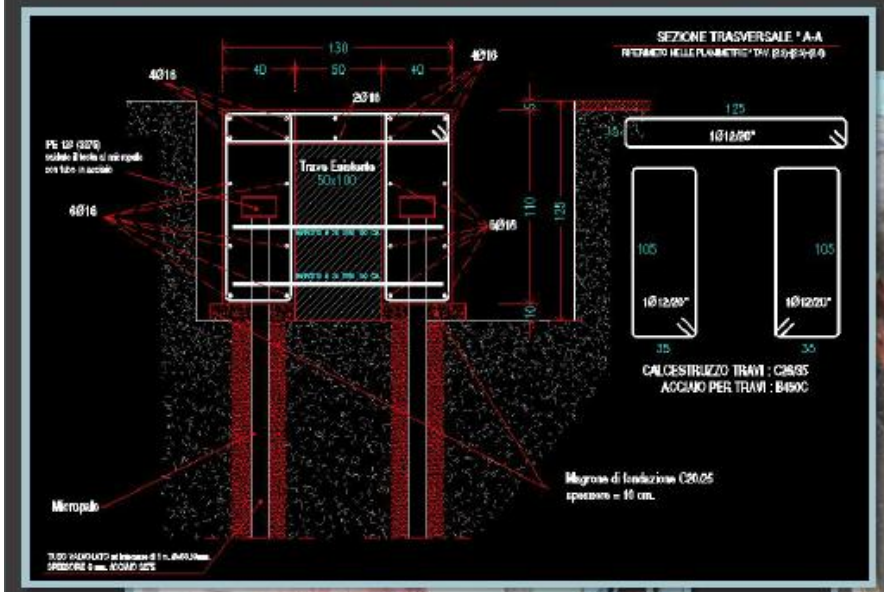
ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola "G. De Petra" – Casoli – CH

ADEGUAMENTO SISMICO

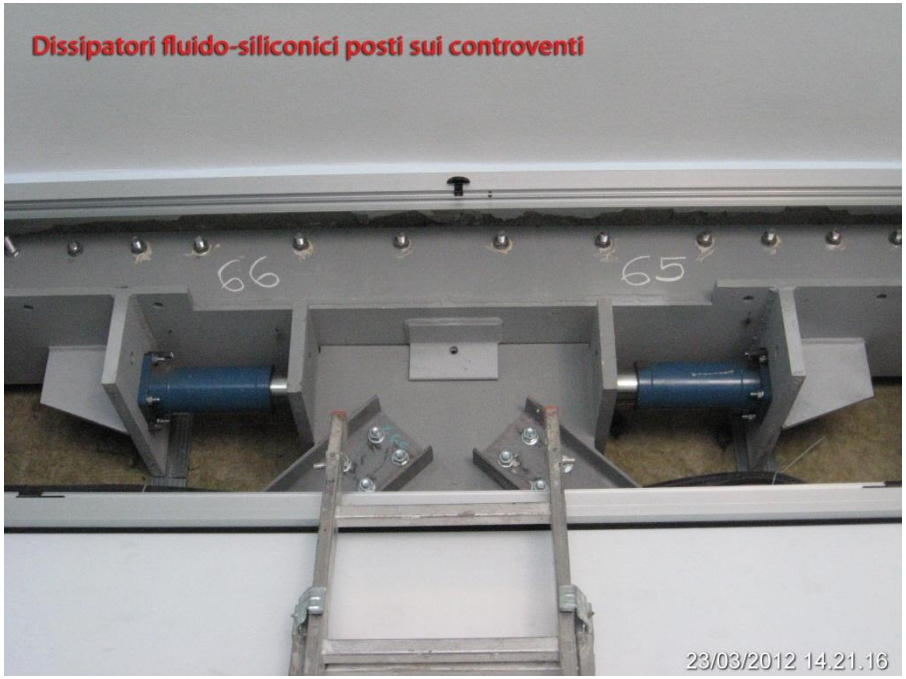
Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH

- 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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

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

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
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.

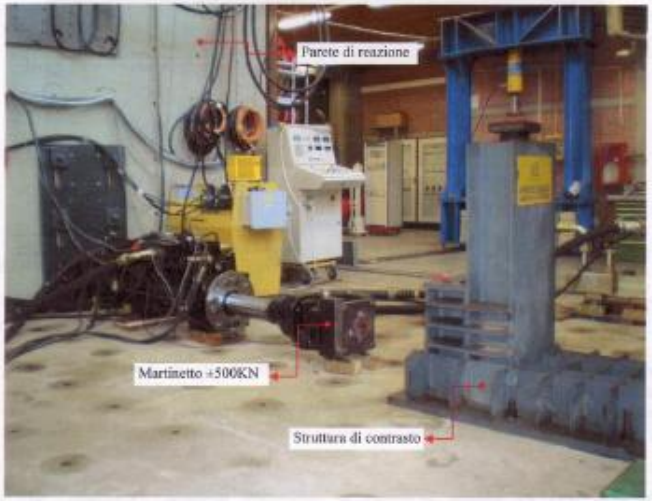


Figura 1 – Apparato di prova presente presso il Laboratorio Prove Materiali e Strutture, Potenza.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DELLA BASILICATA
Dipartimento di Strutture, Geotecnica e Geologia applicata
Laboratorio Prove Materiali e Strutture
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

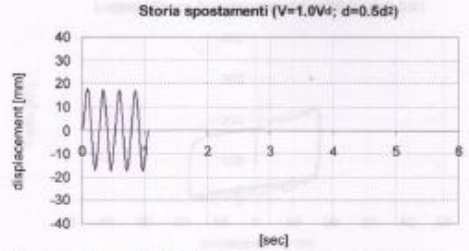


Figura 4 – Prova preliminare 100%V_d : Storia degli spostamenti a velocità costante – quattro cicli.

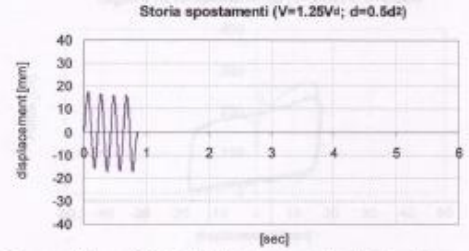


Figura 5 – Prova preliminare 125%V_d : Storia degli spostamenti a velocità costante – quattro cicli.

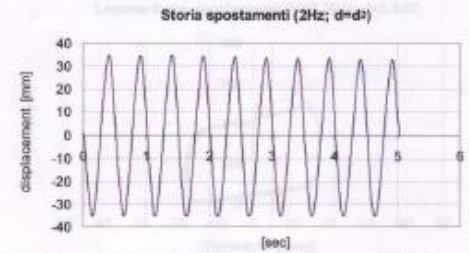


Figura 6 – Prova dinamica: Storia degli spostamenti sinusoidale a 2Hz – dieci cicli.

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

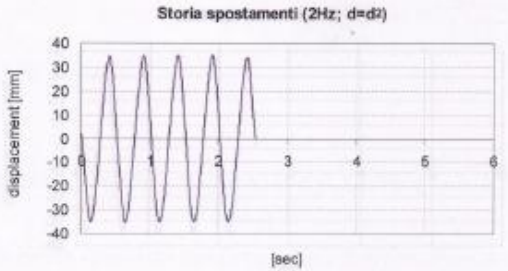


Figura 1 – 1° Prova dinamica: Storia degli spostamenti sinusoidale a 2Hz – cinque cicli.

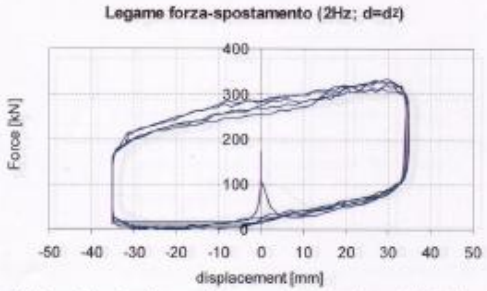
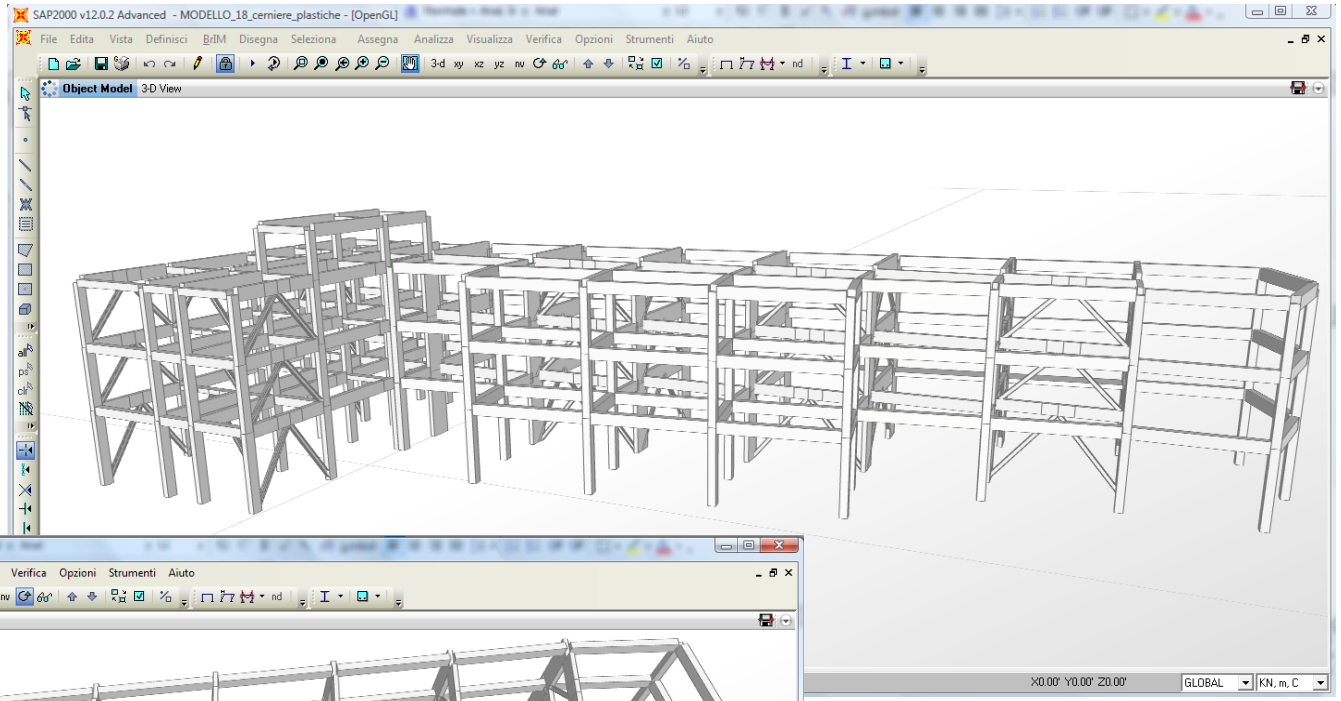
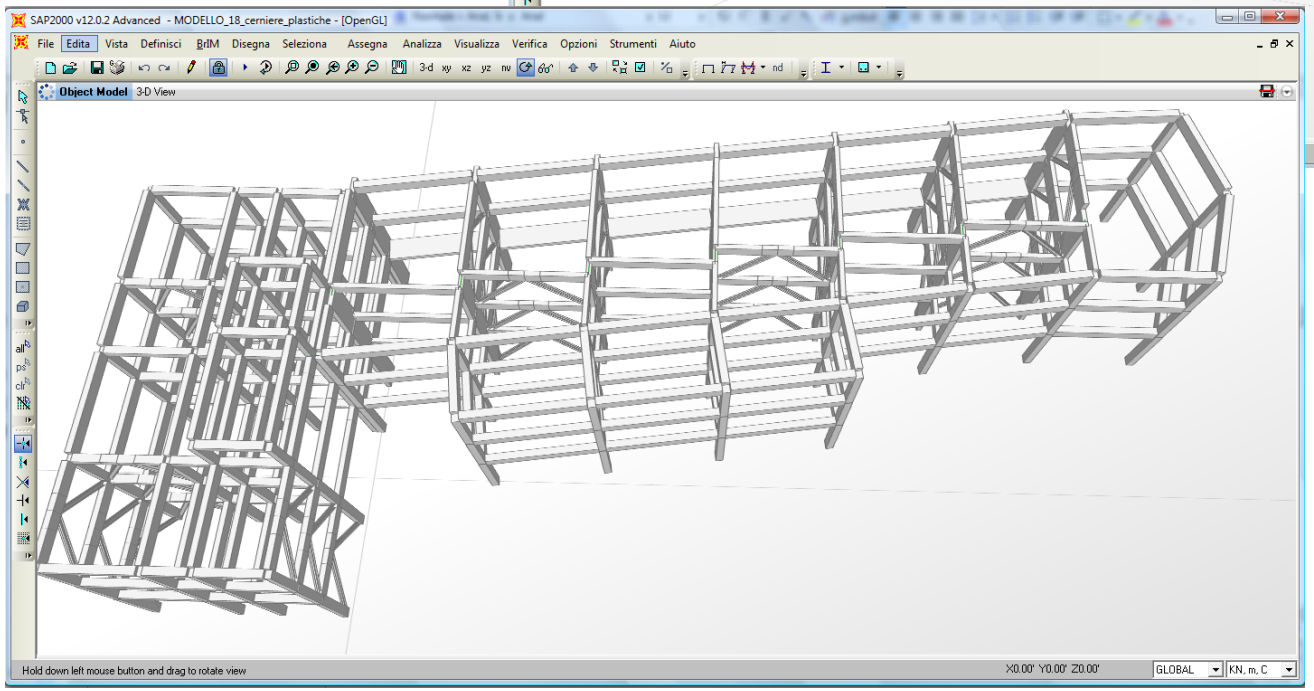


Figura 2 – 1° Prova dinamica : Legame forza-spostamento – cinque cicli alla frequenza 2Hz.

ADEGUAMENTO SISMICO

Scuola “G. De Petra” Casoli – CH



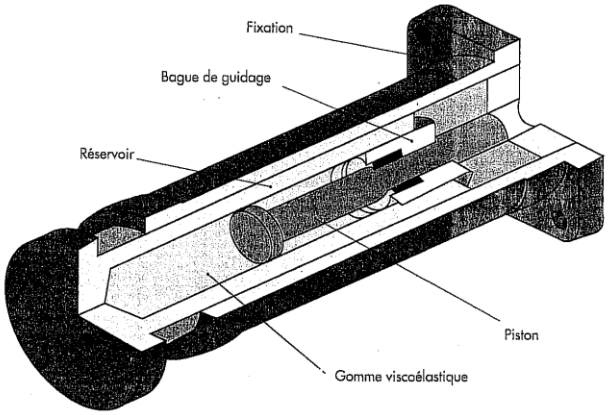


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

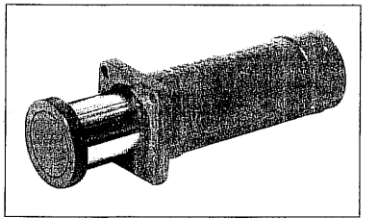
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

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.

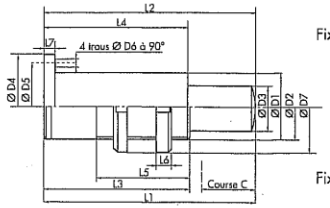
La viscosité (10 à 20 m²/s) et la compressibilité (15 % à 400 MPa) de ces gommes permettent d'associer dans un même appareil les fonctions d'un amortisseur et d'un ressort, supprimant de ce fait tout mécanisme auxiliaire de réarmement.

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



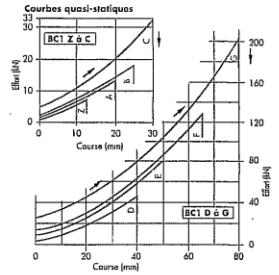
Fixation arrière par bride

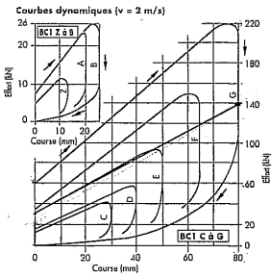
Fixation centrale par écrous

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.

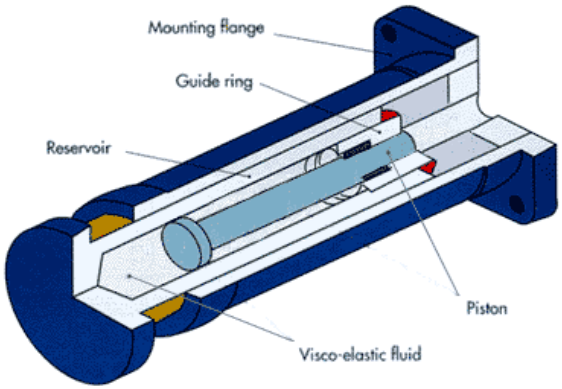
EXEMPLE D'APPLICATION

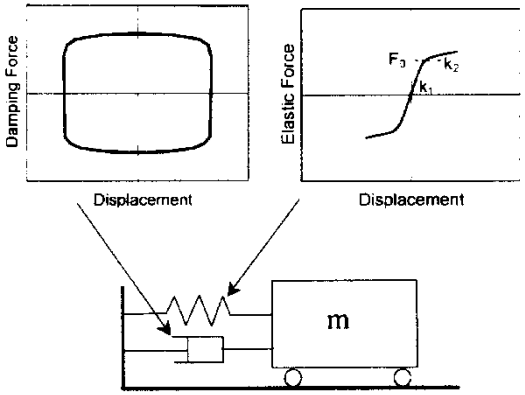
DONNEES

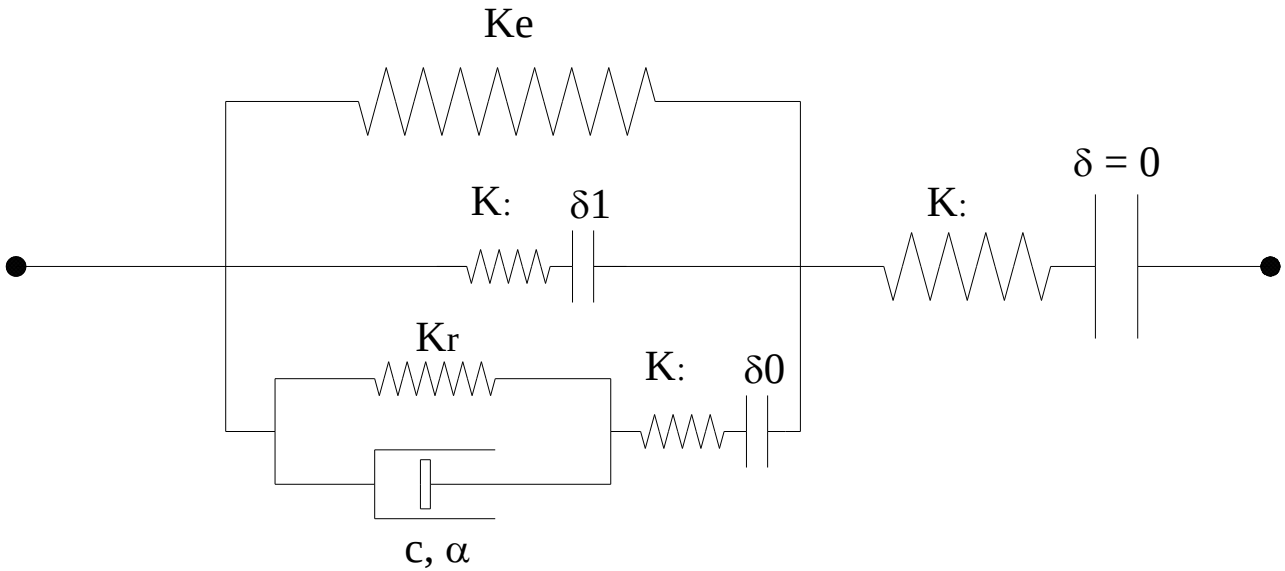
- Chocs à amortir sur un seul amortisseur.
- Masse m = 2,5 t.
- Vitesse v = 0,9 m/s.
- Fréquence : 25 chocs/heure.
- Effort maximum sur la structure : 55 kN.

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.


Mounting flange
Guide ring
Reservoir
Piston
Visco-elastic fluid

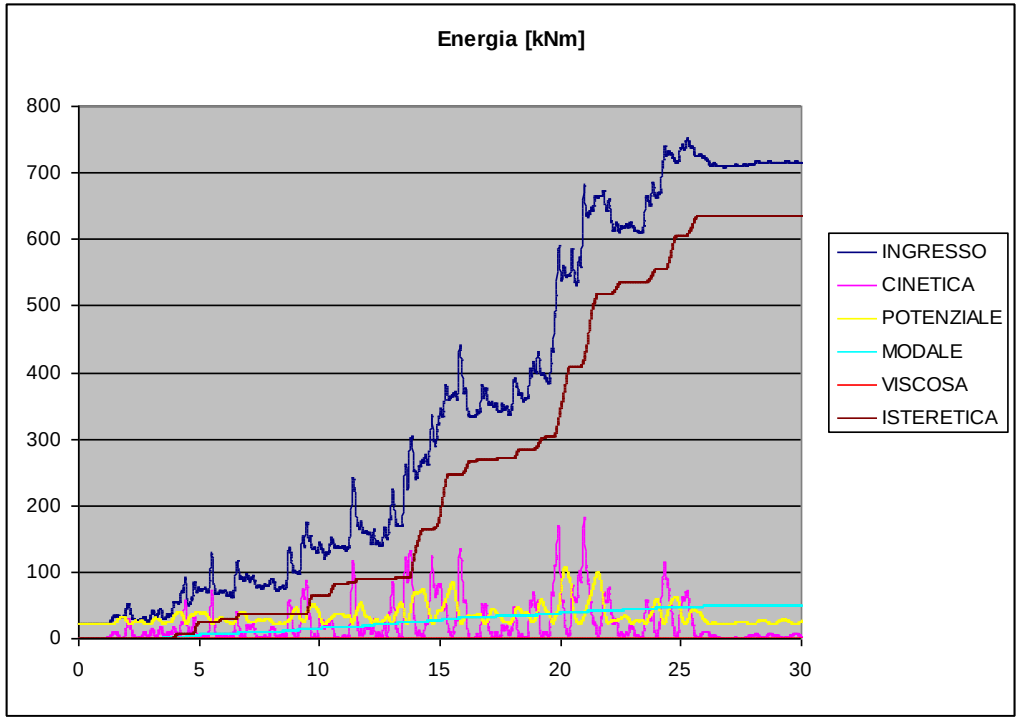

Damping Force
Displacement
Elastic Force
Displacement
m


Ke
K:
δ1
K:
δ = 0
Kr
K:
δ0
c, α

BILANCIO ENERGETICO

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

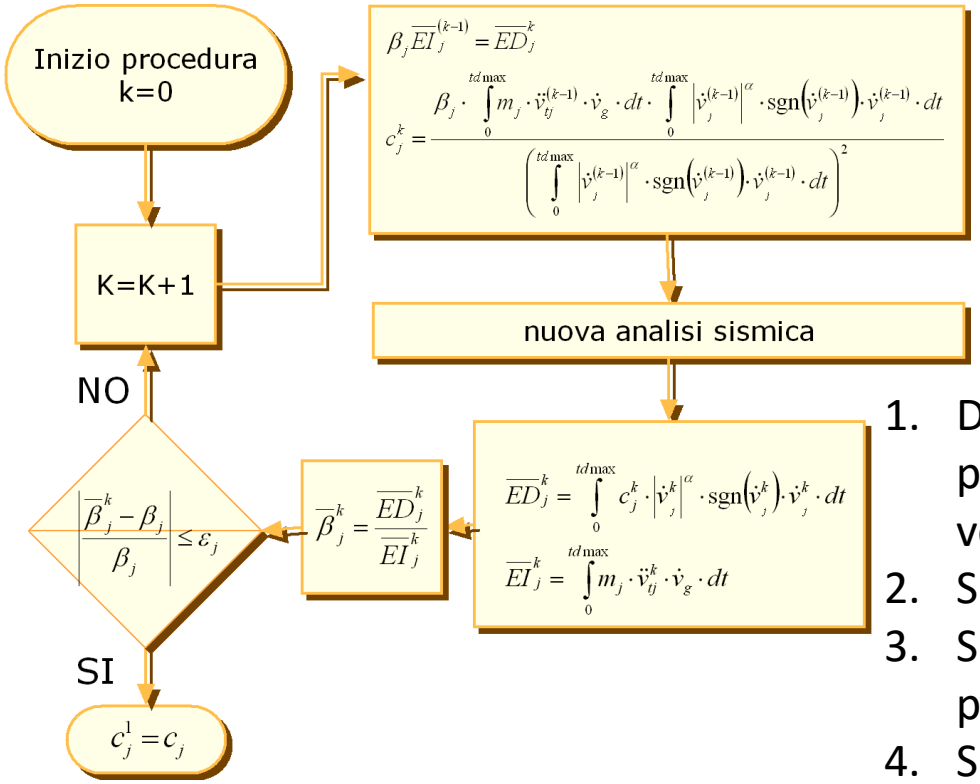
E_k = energia cinetica
E_ξ = energia dissipata per viscosità lineare
E_s = energia potenziale
E_h = energia dissipata per isteresi
E_v = energia dissipata per effetto viscoso non lineare
E_e = sbilancio energetico
E_i = energia d'ingresso.



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

PROCEDURA DI PROGETTO DEI DISPOSITIVI SILICONICO FLUIDO VISCOSI OTTIMALI

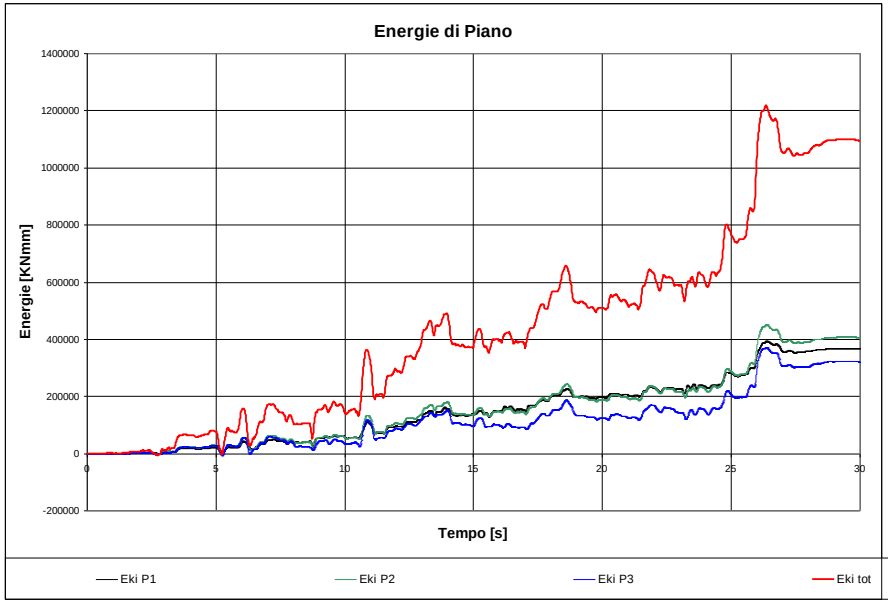


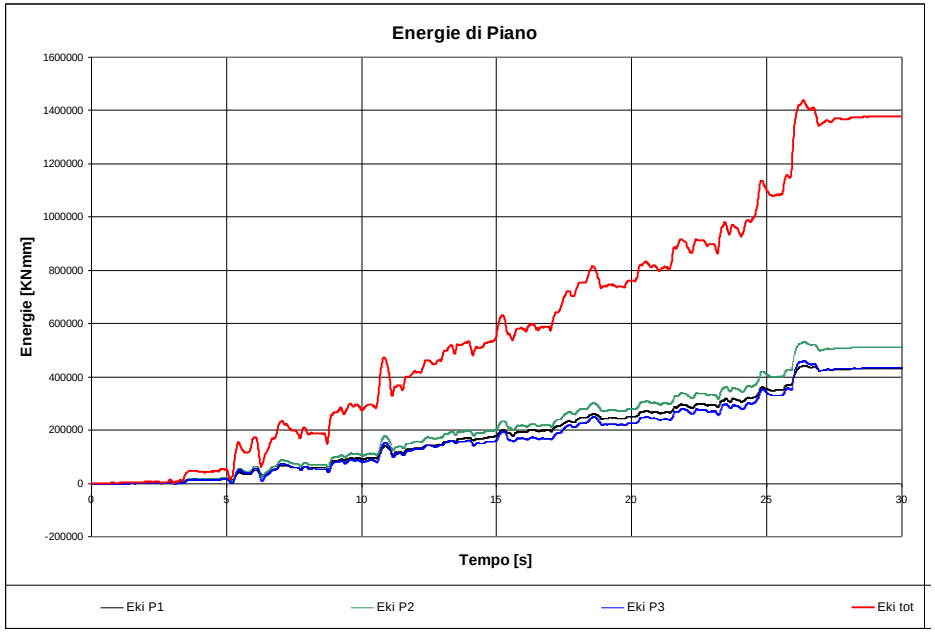
1. Dalla analisi non lineare del passo precedente, si ottengono, spostamenti, velocità ed accelerazioni di piano.
2. Si calcolano le forze inerziali di piano.
3. Si calcolano le energie di ingresso di ogni piano.
4. Si fissano gli obiettivi in termini di energia da dissipare
5. Si calcolano i coefficienti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

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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

PROCEDURA DI PROGETTO DEI DISPOSITIVI SILICONICO FLUIDO VISCOSI OTTIMALI





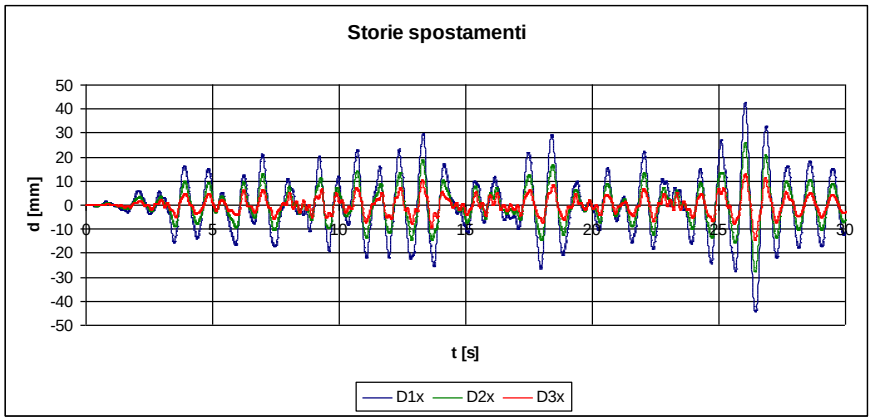
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

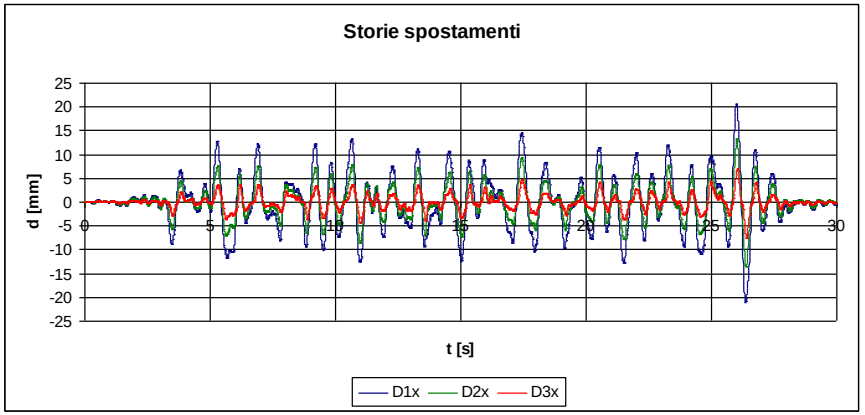
ADEGUAMENTO SISMICO

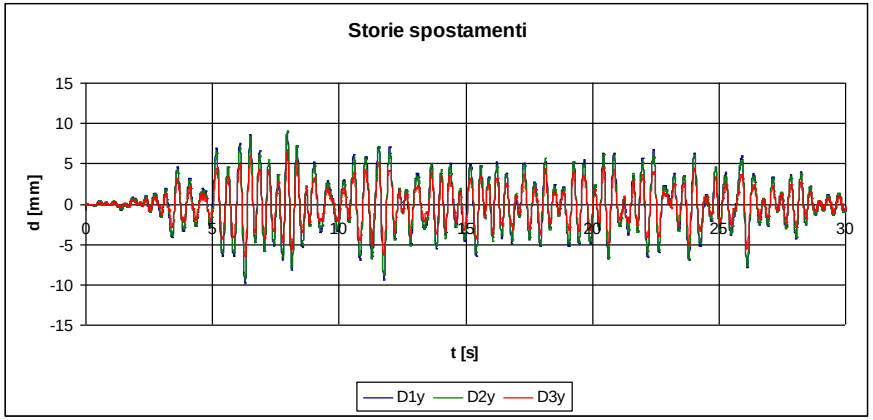
Scuola “G. De Petra” – Casoli – CH

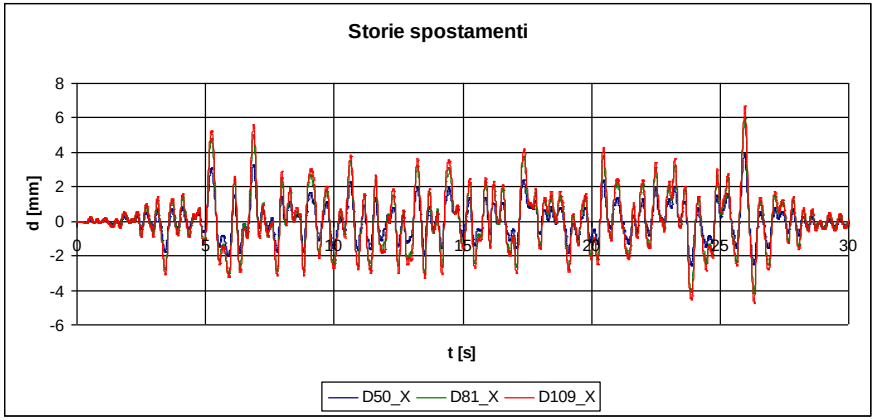
STATO DI FATTO



STATO PROTETTO





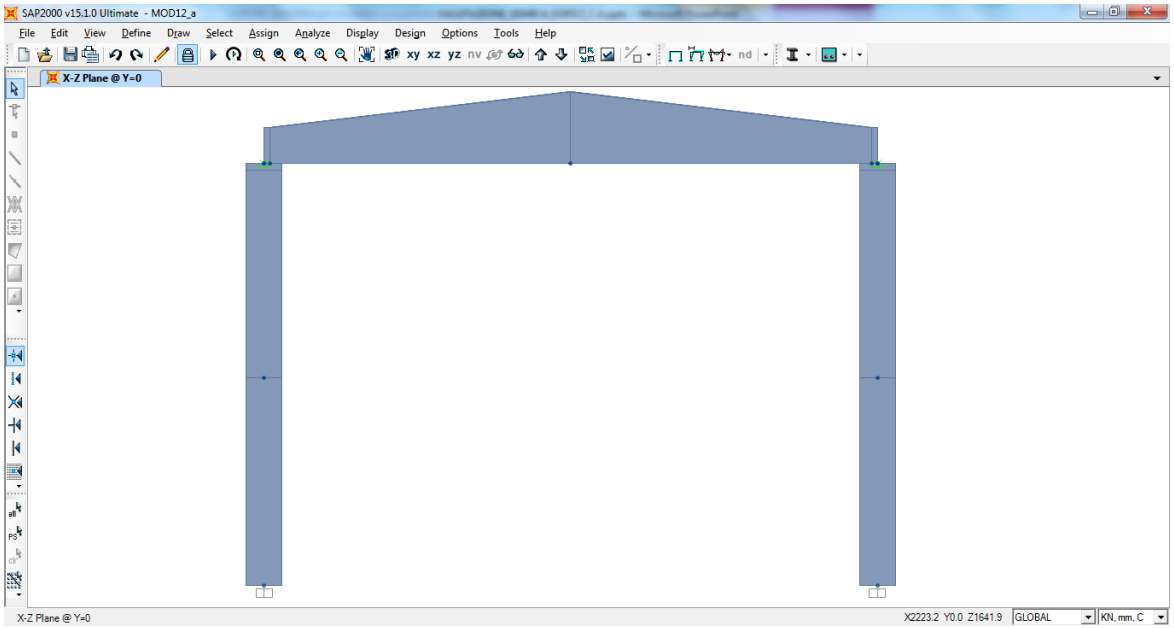


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

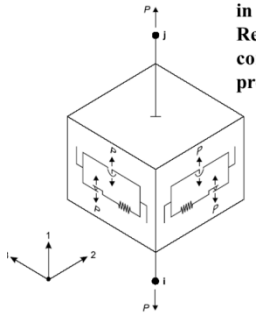
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

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

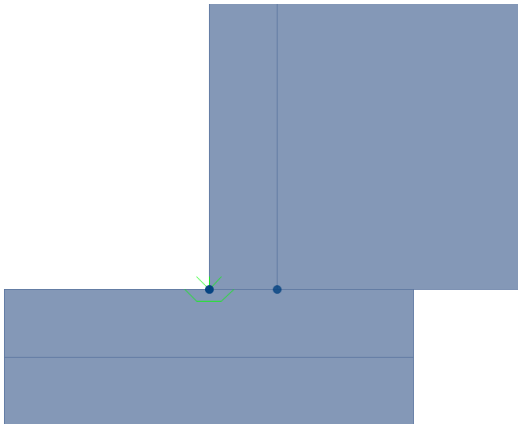
$$f_{u2f} = -P\,\mu_2\,z_2 \qquad f_{u3f} = -P\,\mu_3\,z_3 \quad (8)$$

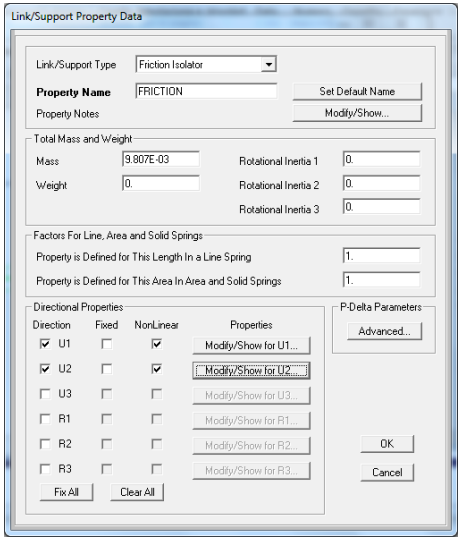
$$\mu_2 = \mathbf{fast2} - (\mathbf{fast2} - \mathbf{slow2})\,e^{-r\,v}$$

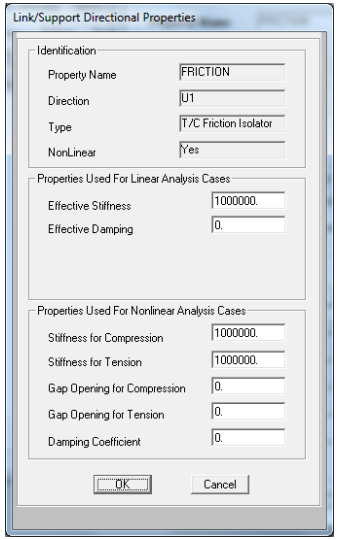
$$\mu_3 = \mathbf{fast3} - (\mathbf{fast3} - \mathbf{slow3})\,e^{-r\,v}$$

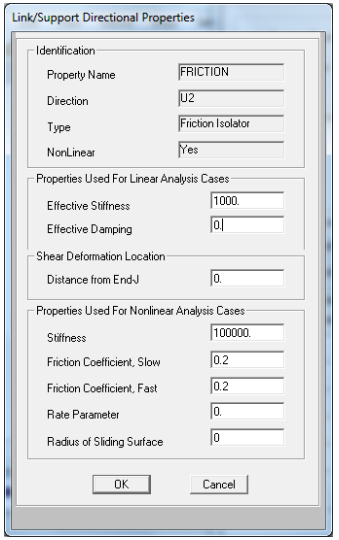
Alta velocità

ATTRITO





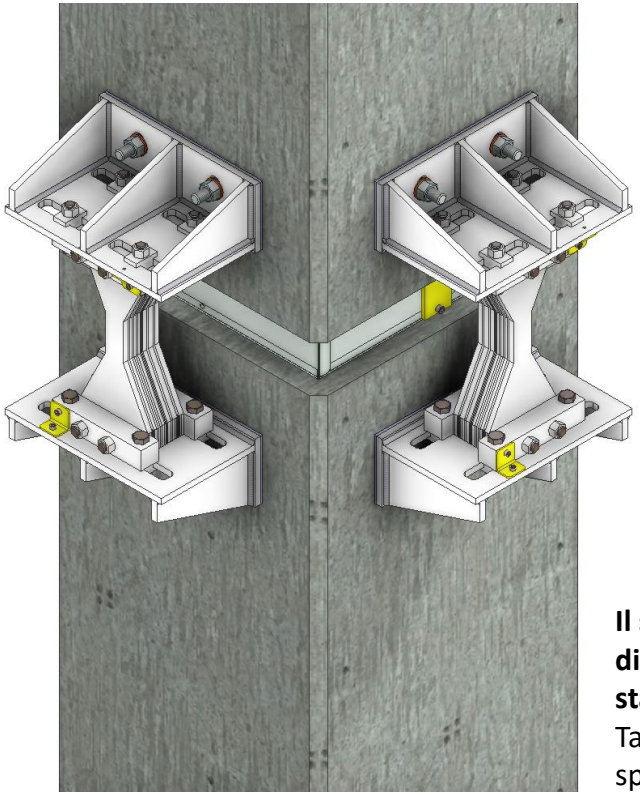


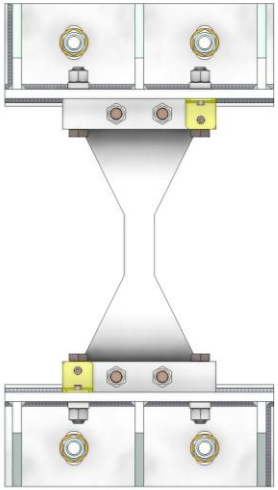


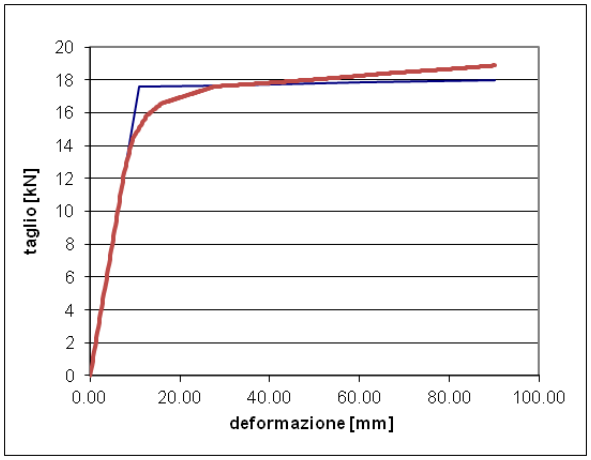
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ADAS



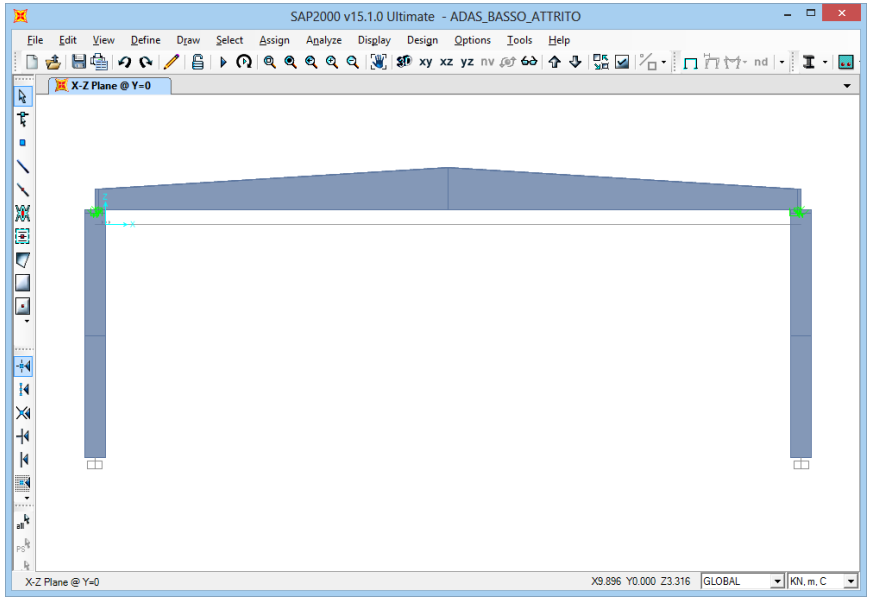


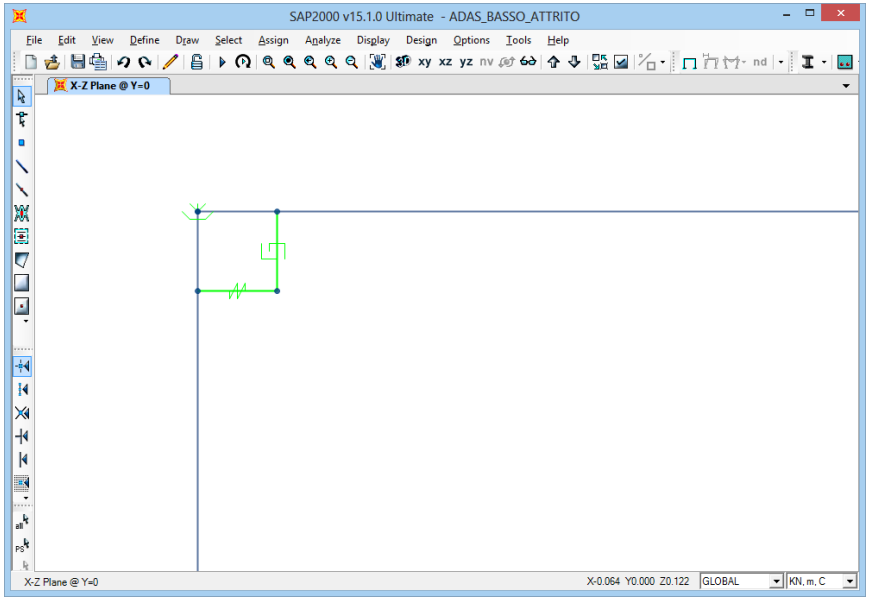


Il sistema si basa sulla sinergia di due dispositivi: una slitta a basso attrito, e un dispositivo ADAS ad alta dissipazione energetica e caratterizzato da una notevole stabilità ciclica basata sull'isteresi metallica.

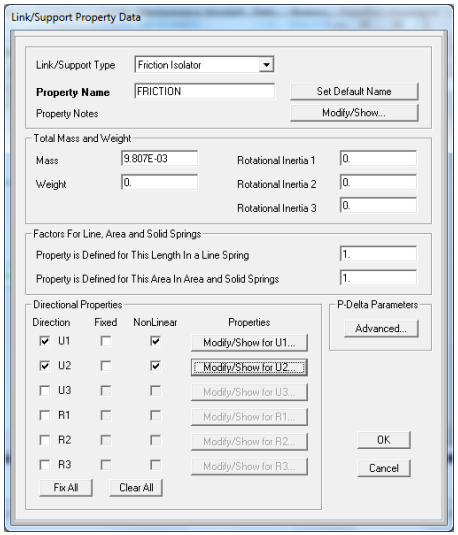
Tale dissipatore ha il compito di ridurre ulteriormente le forze e limitare gli spostamenti del sistema isolato.

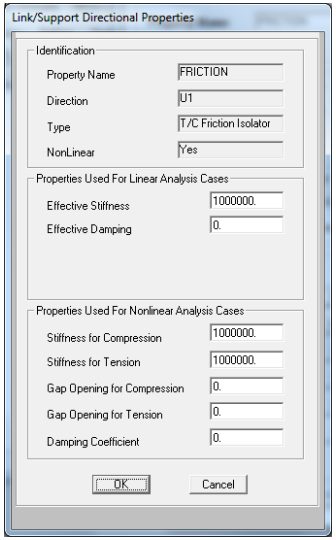
DISPOSITIVO ADAS

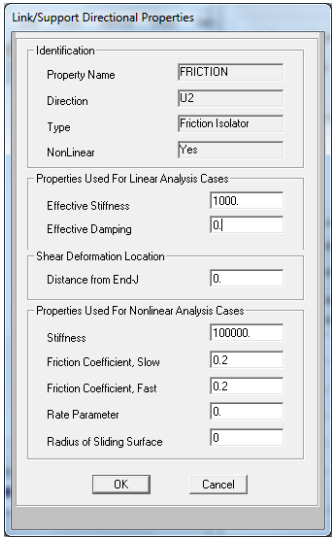




ATTRITO



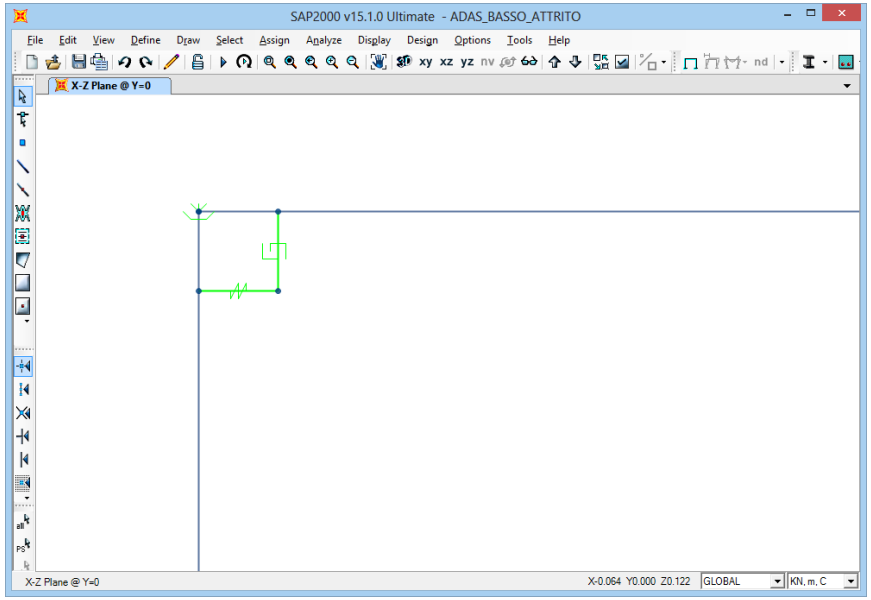




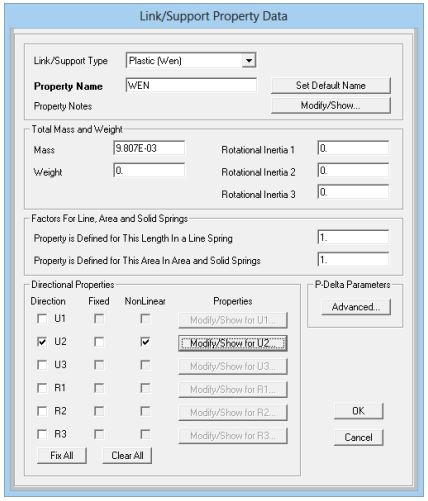
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

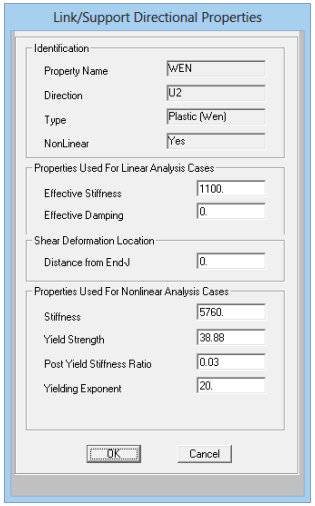
Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ADAS



ADAS

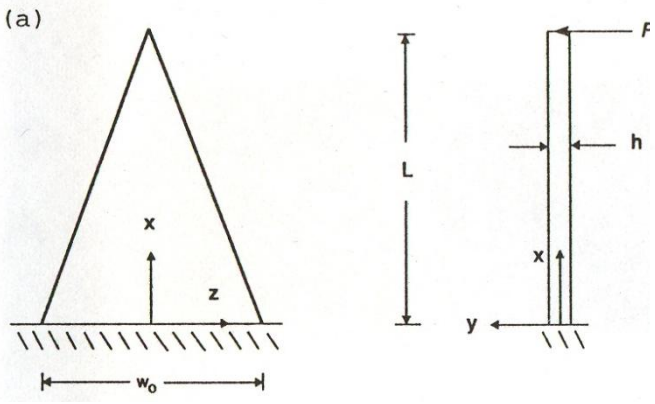


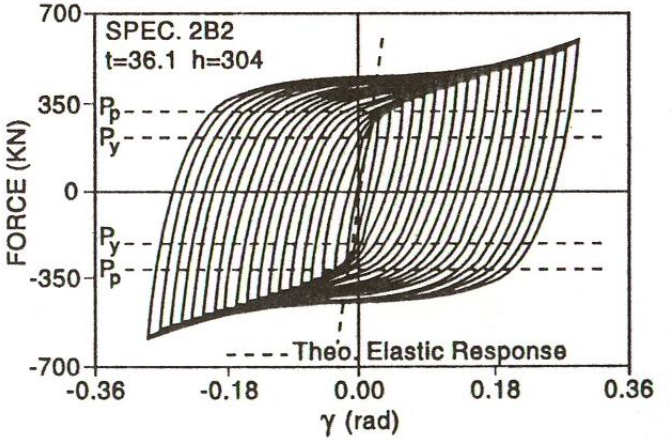


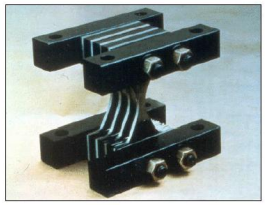
Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ADAS

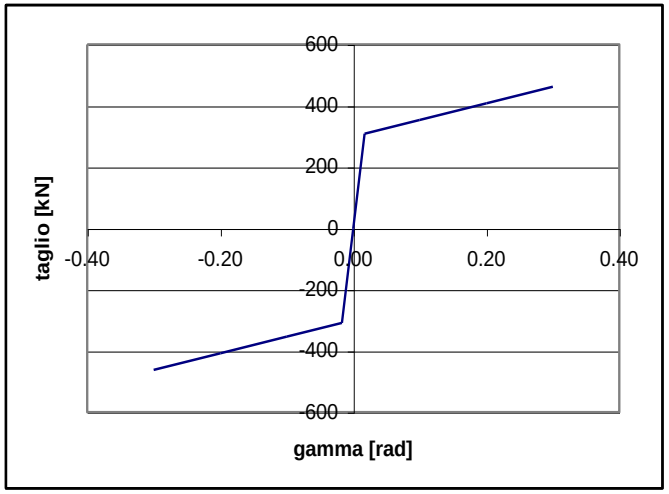






N	8	
E	200000	N/mm^2
w0	133.3	mm
L	304	mm
h	36.1	mm
σy	270	N/mm^2
k1=P/(D)	**59525.05**	**N/mm**
beta	0.03	
k2	**1785.751**	**N/mm**
Pu	**308577.8**	**N**
Du	**5.184**	**mm**

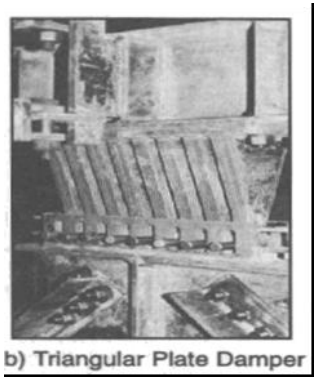
γ	Δ [mm]	F [kN]
-0.30	-91.20	-462.181
-0.20	-60.80	-407.8942
-0.10	-30.40	-353.6073
-0.02	-5.18	-308.5778
0.00	0.00	0
0.02	5.18	308.5778
0.10	30.40	353.6073
0.20	60.80	407.8942
0.30	91.20	462.181



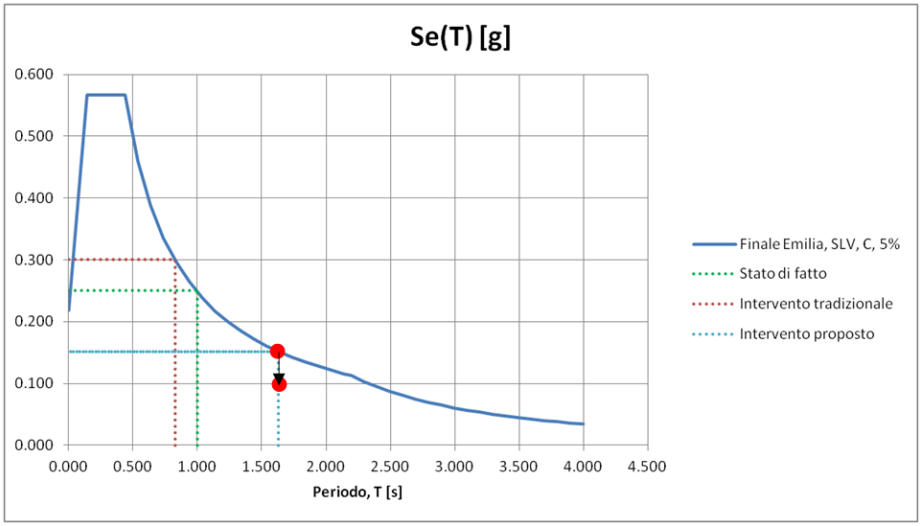
$$k_1 = P/D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

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

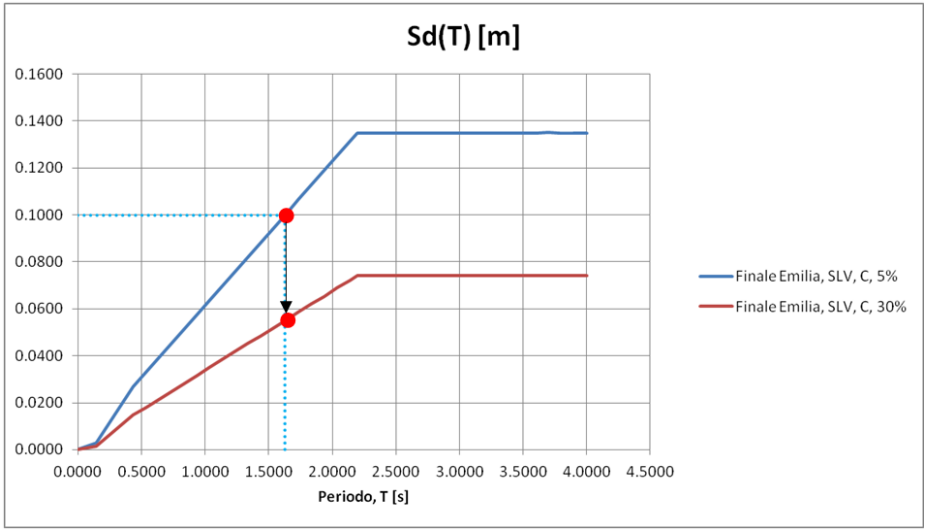

b) Triangular Plate Damper

DISPOSITIVO ADAS

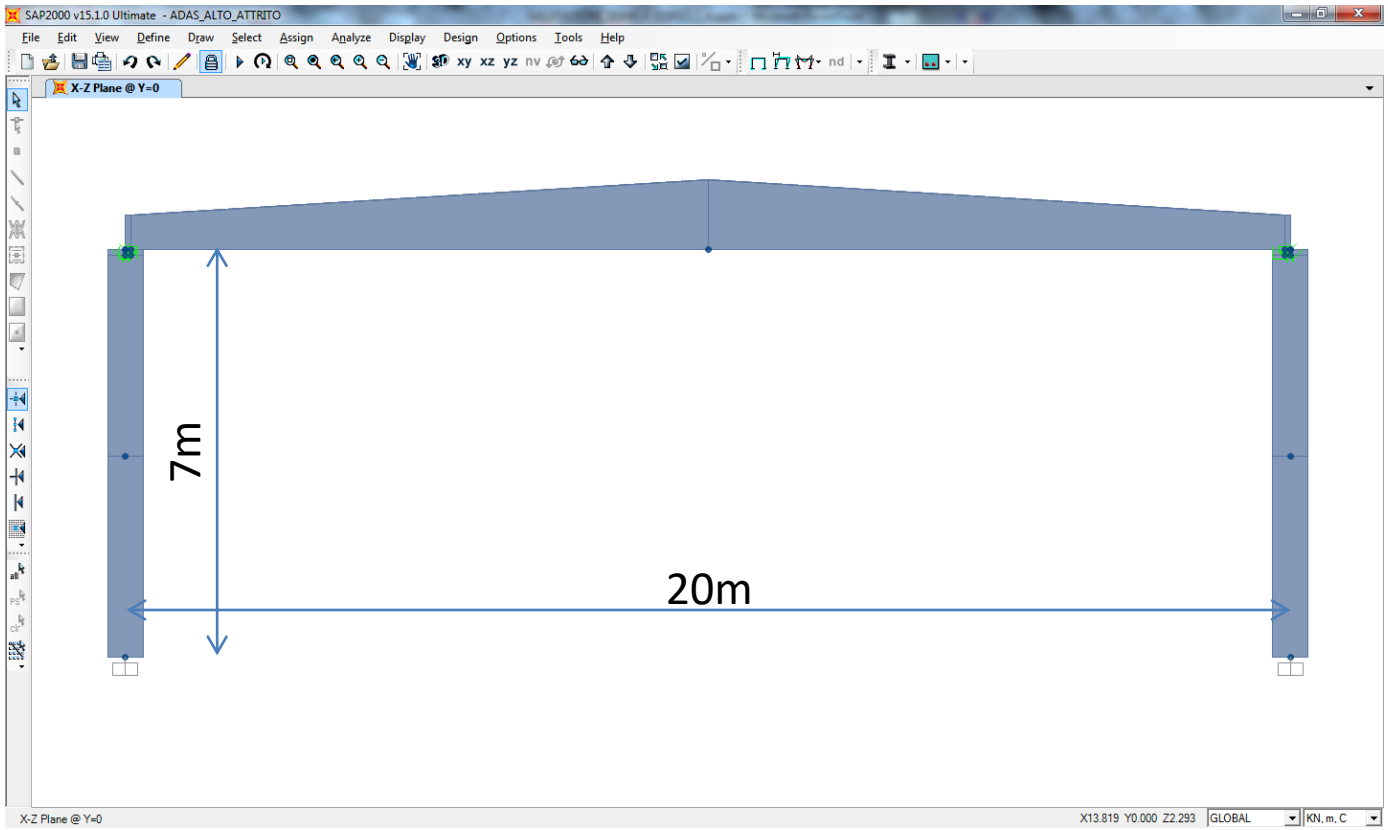


La riduzione delle forze è garantita dalla sinergia dei due concetti: isolamento sismico e dissipazione supplementare di energia.
La soglia di plasticizzazione del dispositivo coincide con la massima forza trasmessa attraverso l'interfaccia.
Data la modularità del dispositivo, garantita dalla possibile 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.

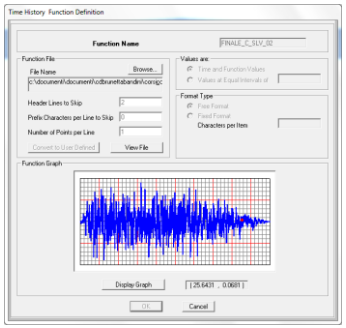


CASO STUDIO



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

CASO STUDIO

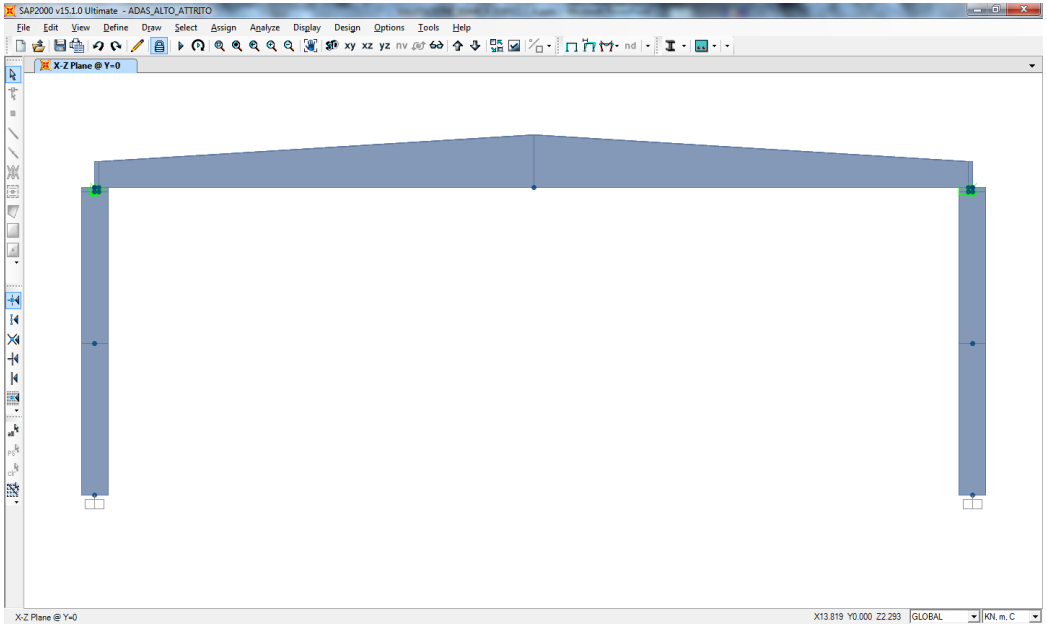
Analisi parametrica del caso studio:

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;

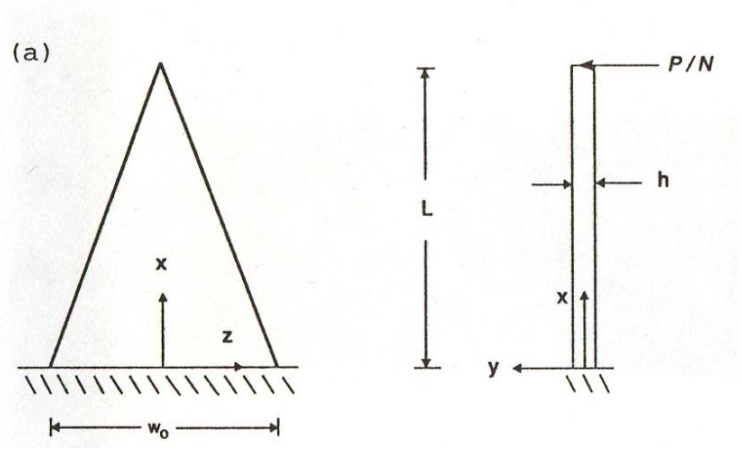
1d) dispositivo tipo ADAS da 20 kN di soglia, attrito μ = 2% (trave- colonna);



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

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

Dispositivo ADAS soglia da 39 kN

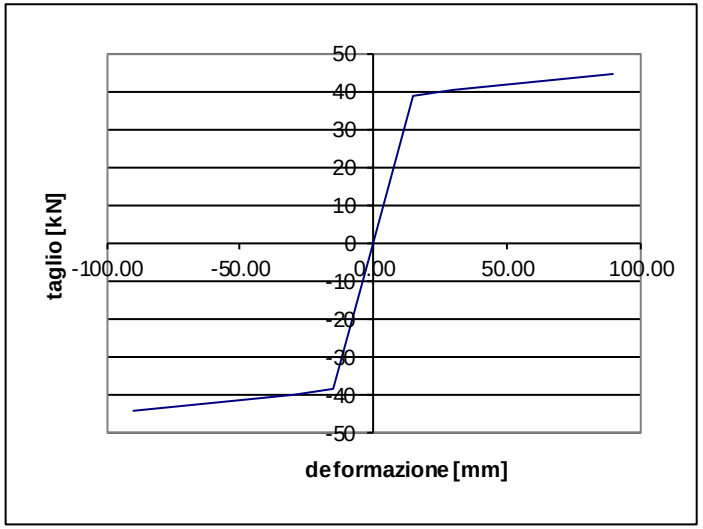


$$k_1 = P / D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

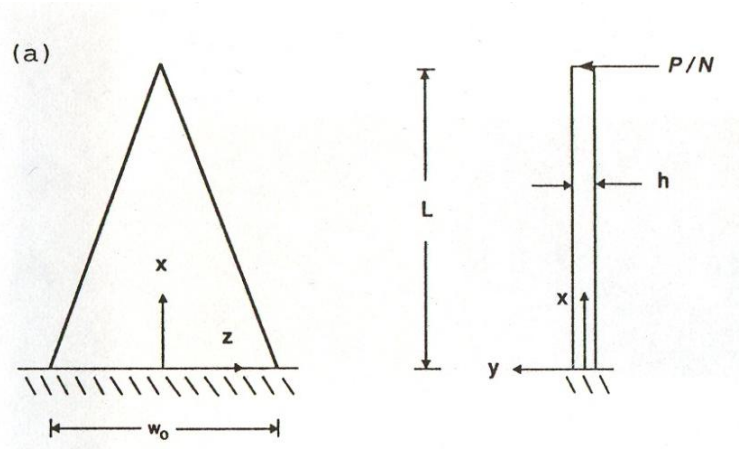
$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

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

			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

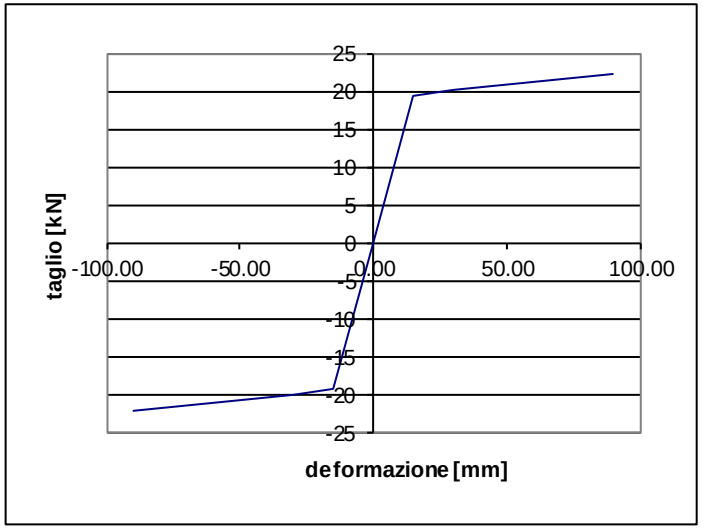


$$k_1 = P / D = \frac{E \cdot \omega_0 \cdot h^3}{6L^3} \cdot N$$

$$k_2 = \beta \cdot k_1$$

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

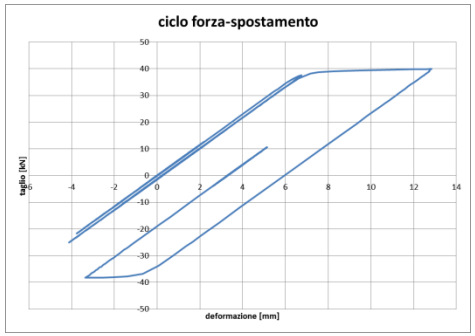
			γ	Δ [mm]	F [kN]
N	2				
E	200000	N/mm^2	-0.30	-90.00	-22.3128
w0	300	mm	-0.20	-60.00	-21.1608
L	300	mm	-0.10	-30.00	-20.0088
h	12	mm	-0.05	-15.19	-19.44
σy	270	N/mm^2	0.00	0.00	0
k1=P/(D)	**1280**	**N/mm**	0.05	15.19	19.44
beta	0.03		0.10	30.00	20.0088
k2	**38.4**	**N/mm**	0.20	60.00	21.1608
Pu	**19440**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



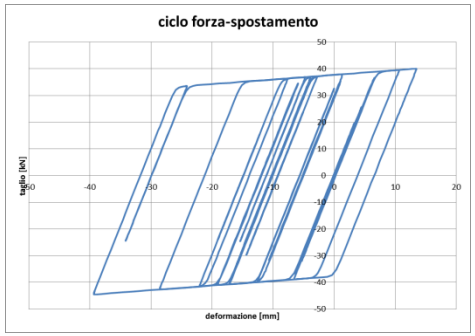
CASO STUDIO

#	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

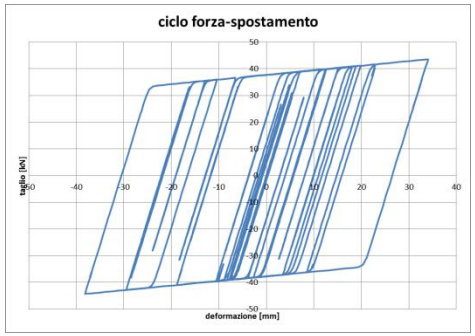
1a)



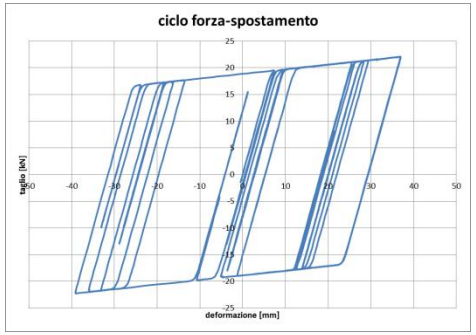
1b)



1c)



1d)

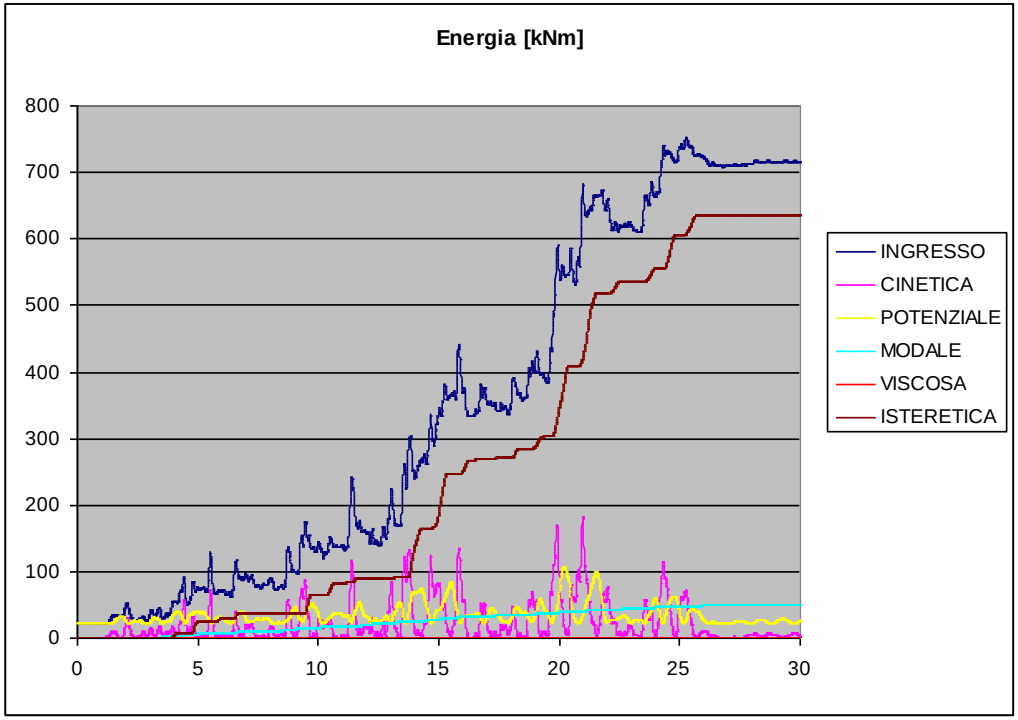


Analisi parametrica del caso studio:
1a) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, attrito μ = 15% (trave- colonna);
1b) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, attrito μ = 2% (trave- colonna);
1c) dispositivo tipo ADAS da 39 kN di soglia, assenza attrito;
1d) dispositivo tipo ADAS da 20 kN di soglia, 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.

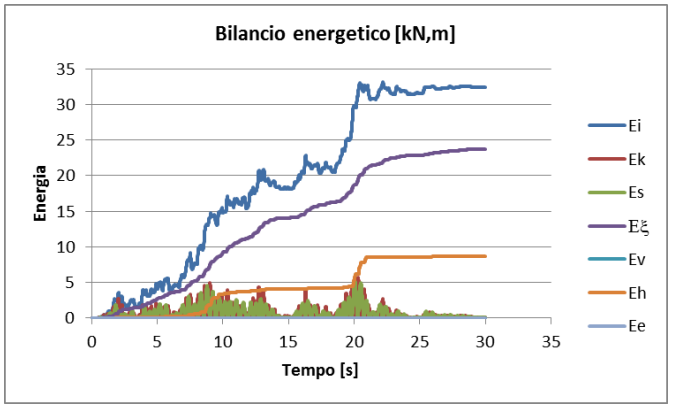


BILANCIO ENERGETICO

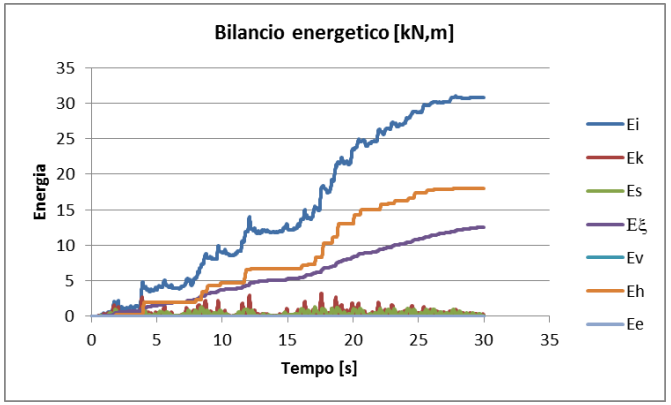
$$E_k + E_\xi + E_s + E_h + E_v + E_e = E_i$$

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.

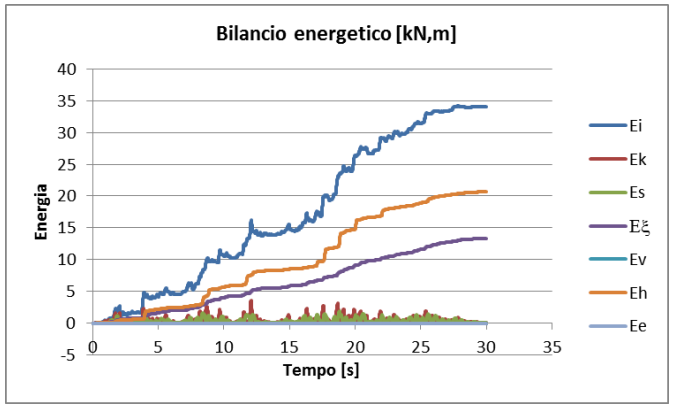
1a)



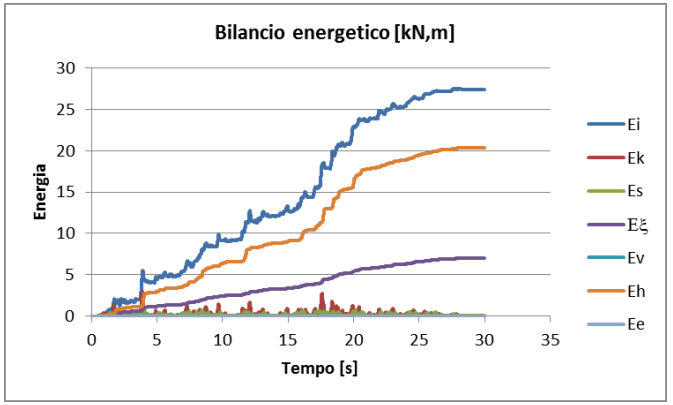
1b)



1c)



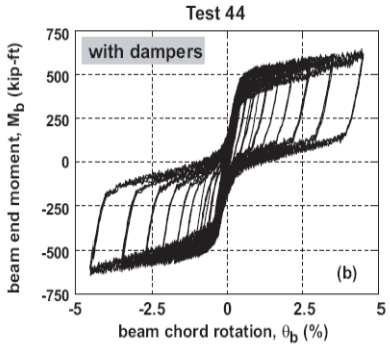
1d)

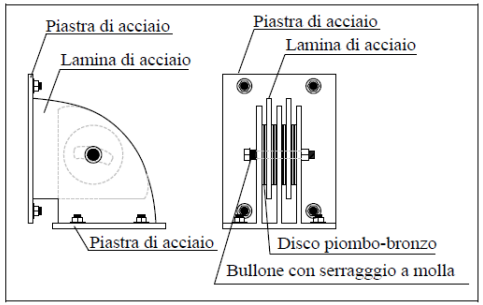


Galleria San Marco 4
33170 Pordenone
Tel. 0434 28465
E-mail info@csi-italia.eu
http://www.csi-italia.eu

Relatore CSi Italia:
Ing. Leonardo Bandini
Mob. 347.1921706
E-mail leonardo@csi-italia.eu

DISPOSITIVO ATTRITIVO ROTAZIONALE



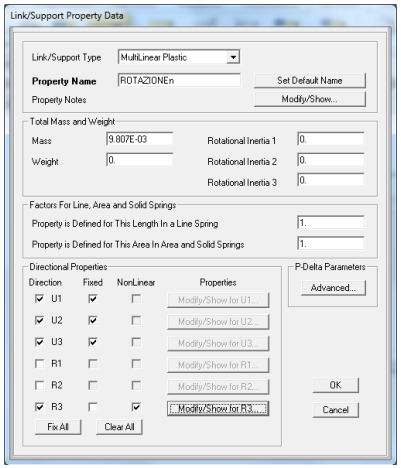


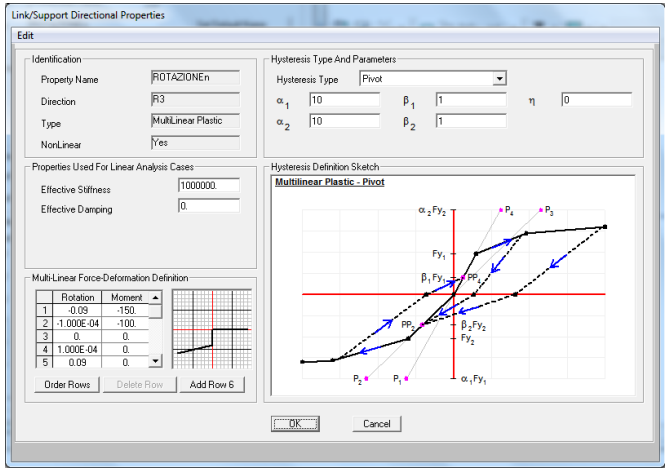
Dispositivi ad attrito - Morgen & Kurama et al. 2004

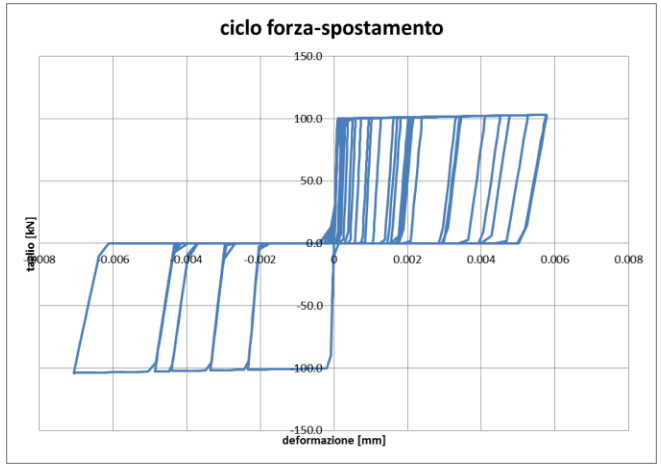
RICERCA DI SISTEMI DI PROTEZIONE APPROPRIATI PER SCHEMI PREFABBRICATI RICORRENTI

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

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

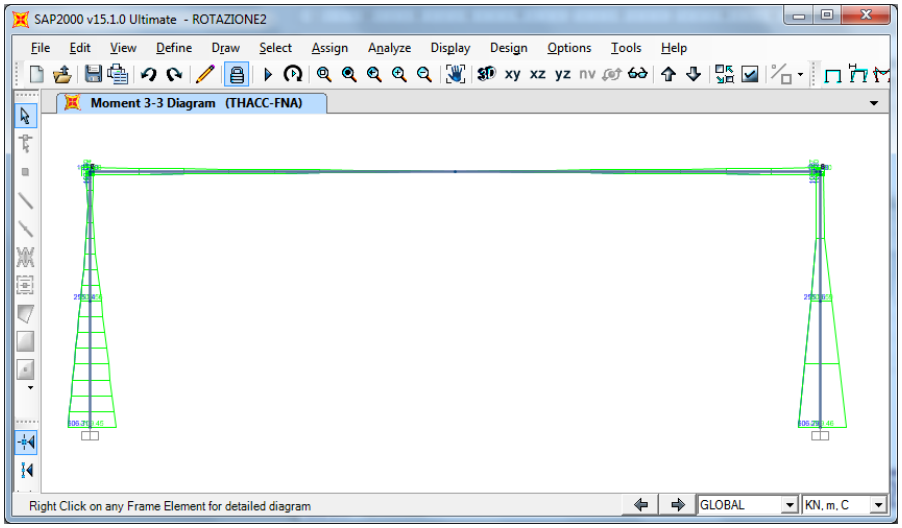
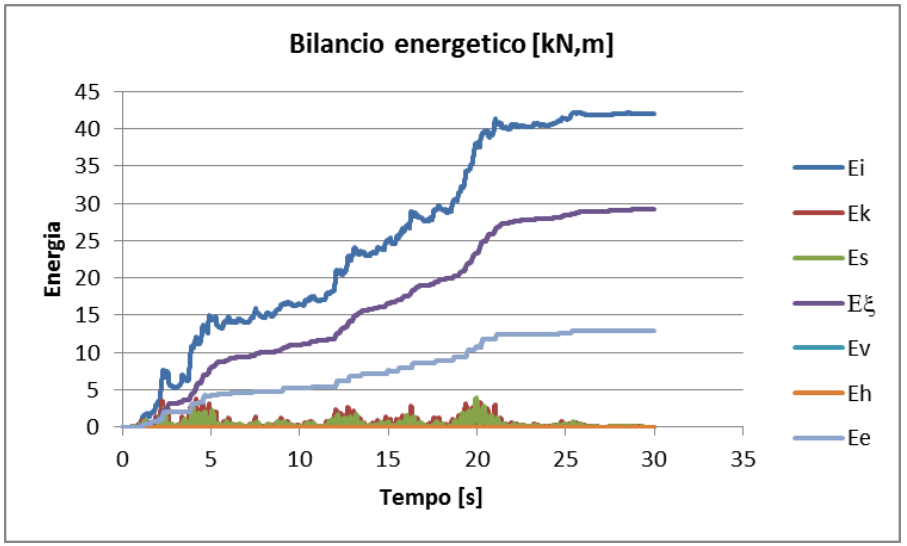






2 LINK DI TIPO MULTILINEAR PLASTIC – PIVOT DISPOSTI IN PARALLELO (UN PER LA COMPONENTE POSITIVA L'ALTRO NEGATIVA)

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.