

Risultati preliminari sullo sviluppo di un dispositivo di sicurezza per l'assorbimento di urti e/o scosse sulle costruzioni

Preliminary results on the development of a “safety-fuse” device to reduce the effects of extreme loads on structures

Alois Neulichedl¹ ■

Sommario

Eventi eccezionali, quali terremoti o esplosioni rappresentano un problema per molti elementi costruttivi rigidi e fragili, come ad esempio i tasselli usati per il collegamento di manufatti in calcestruzzo. Il dispositivo di smorzamento descritto in questo lavoro limita la forza trasmessa all'elemento di ancoraggio rappresentando una sorta di "fusibile" meccanico. Le proprietà dissipative e smorzanti dell'elemento, descritte sia teoricamente che sperimentalmente, lo rendono adatto a migliorare le caratteristiche di un sottosistema strutturale o di un'intera struttura in caso di sollecitazioni improvvise e cicliche. La ricerca effettuata ha mostrato una riduzione anche dell'80% delle forze di trazione trasmesse dall'ancoraggio in relazione al rapporto di rigidità delle strutture collegate. Il dispositivo di seguito presentato, caratterizzato da una relativa semplicità, è costituito da un blocchetto di elastomero "incapsulato", la cui efficienza dissipativa e smorzante è principalmente dovuta sia alla capacità di assorbire gli urti da parte del materiale elastomerico, sia al comportamento rigido-plastico dell'acciaio impiegato come capsula.

Parole chiave: Fusibile di sicurezza, smorzatore, dissipatore, carichi ciclici, materiale elastomerico, comportamento rigido-plastico.

Abstract

Extreme loads on structures and buildings as earthquakes or explosions are a problem for many structural elements that have a rigid and fragile behaviour to sudden impact loads. This is true especially for many anchors used to connect structural elements to concrete structures.

The damping device described in this contribution reduces the stress transmitted to the anchor, being a sort of mechanical safety-fuse. Thanks to his dissipative and damping properties, described theoretically and experimentally in this article, the device can be used to improve the reaction of a structural subsystem or an entire structure to sudden shock loads or cyclic loads.

This research proves that a reduction up to 80% of the tension forces transmitted by the anchors can be achieved, in relation to the mechanical characteristics of stiffness of the connected structures.

The described damping device is a quite simple system, composed of an enclosed block of elastomeric material in a metallic capsule. His dissipative efficiency is due to the capability of the elastomeric material to absorb shock loads and to the capability of rigid-ductile deformation of the metallic capsule under increasing loads.

Keywords: Safety-fuse device, damper, dissipator, cyclic loads, elastomeric material, rigid plastic behavior.

1. Descrizione del dispositivo

1.1 Obiettivi

È generalmente riconosciuto ed accettato dalla comunità scientifica come per terremoti di lieve intensità sia sufficiente che una struttura risponda in base alla sua resistenza ed alla sua rigidità, in modo da limitare la domanda di spostamento. Si può così dire che agli elementi strutturali ed alle loro connessioni sono richieste rigidità elevate relativamente all'uso "fre-

quente" della struttura in esercizio. In caso di sollecitazioni eccezionali, come ad esempio una scossa di terremoto di intensità rilevante, esplosioni, urti particolarmente violenti, carichi da impatto in genere, le strutture molto rigide spesso hanno problemi importanti. Lo stesso vale per l'uso di materiali fragili nel caso fossero sottoposti allo stesso tipo di sollecitazioni.

L'obiettivo principale del lavoro svolto è stato lo sviluppo di un limitatore di forza ("fusibile", ele-

¹ Studio di ingegneria Alois Neulichedl & Partner, Merano (BZ), - neulichedl.alois@rolmail.net

mento di sicurezza), che allo stesso tempo fosse ammortizzatore e dissipatore rispetto a sollecitazioni cicliche. Esso deve reagire sufficientemente rigidamente sotto i carichi di servizio e soddisfare le esigenze dell'idoneità all'uso, mentre per carichi d'urto eccezionali (incluse le scosse sismiche di elevata intensità) il dispositivo protegge i componenti collegati da una sollecitazione eccessiva.

1.2 Composizione

Il dispositivo sviluppato consiste in un blocco elastomerico chiuso su tutti i lati da elementi di rigidità maggiore ("incapsulato"). Esso è assoggettato al solo sforzo di compressione assiale. I singoli elementi sono mostrati nelle Figure 1 e 2.

In particolare, si possono riconoscere: una piastra anulare metallica superiore (1a) ed una inferiore (1b), un blocco anulare di materiale elastomerico o di materiale equivalente (2) posto tra le piastre, che all'interno (3b) e all'esterno (3a) è delimitato da pareti di cilindri metallici.

Il **blocco elastomerico** (o di materiale equivalente) deve avere le tipiche proprietà viscoelastiche di un elastomero. Esso è di materiale quasi incompressibile (rapporto di Poisson $0.48 \leq \nu \leq 0.50$), ha una opportuna rigidezza propria e può assorbire forti sollecitazioni di compressione.

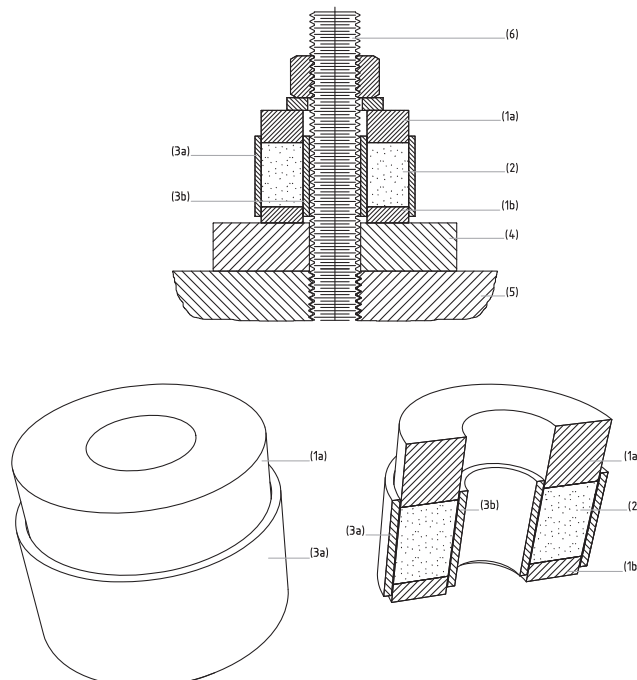
Almeno una delle **pareti laterali**, preferibilmente quella esterna (3a) è costituita da un materiale metallico di marcata proprietà duttile (vale a dire che il materiale sopporta anche un elevato livello

Figura 1
Elemento di smorzamento
assemblato (sopra) e singoli
componenti (sotto). Si veda
la Figura 2 per ulteriori
dettagli.

Dispositivo completo



Figura 2
Vista in sezione e spaccato
3D del dispositivo di
smorzamento (si veda la
Figura 1 per
l'identificazione dei singoli
componenti).



di deformazione oltre lo stato snervato), con un minimo allungamento a rottura di $A \geq 20\%$. È importante inoltre che l'incrudimento, dopo aver raggiunto il punto di snervamento non sia troppo elevato. Quindi il materiale ideale è contraddistinto da un basso valore del rapporto tra tensione di rottura e tensione di snervamento (f_u/f_y).

1.3 Comportamento

Come già specificato, il dispositivo smorzante così sviluppato può trasmettere solo forze di compressione, ma a seconda della disposizione dei componenti in fase di montaggio, può in realtà essere utilizzato sia per la trasmissione di sforzo di compressione (Figura 3a) che sforzo di trazione (Figura 3b).

In particolare, se si sofferma l'attenzione al caso in cui sia applicata una forza di compressione sul dispositivo, il blocco elastomerico viene compresso e cerca di espandersi lateralmente, ma questa deformazione, essendo ostacolata dalle pareti laterali dei due cilindri, genera una pressione radiale (Figura 4) perpendicolare alle pareti dei cilindri stessi.

La Figura 5 mostra il diagramma di interazione tipico tra carico assiale e deformazione dell'elemento ammortizzante, con incremento del carico di tipo monotono - continuo.

Sotto carico, l'elemento inizialmente risponde in modo molto rigido (rigidezza iniziale K_0 elevata). A causa dell'insorgere della pressione radiale sul cilindro metallico esterno, viene indotta nella sezione della parete una tensione tangenziale di trazione. Quando tale tensione raggiunge il valore di snervamento, si può parlare del raggiungimento della "forza limite inferiore" (forza di snervamento F_y) dell'elemento smorzatore. Dopo aver superato questa forza F_y , il dispositivo risponde a piccoli aumenti di carico con relative grandi deformazioni ed il sistema si comporta in modo molto dolce e duttile fino al raggiungimento di un predefinito limite di deformazione u_{min} in corrispondenza del quale si rimane al di sotto della "forza limite superiore" F_{u1} . Il dispositivo agisce quindi come un **limitatore di forza**, cioè un "**fusibile a sforzo**", poiché sia l'elemento di collegamento (per esempio il tassello), sia gli elementi strutturali

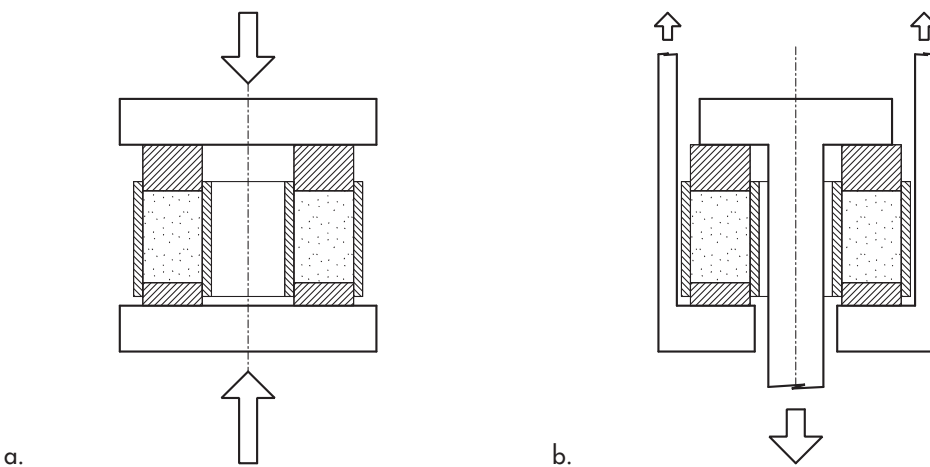


Figura 3
a) Montaggio del sistema per resistere a forze di compressione e b) a forze di trazione.

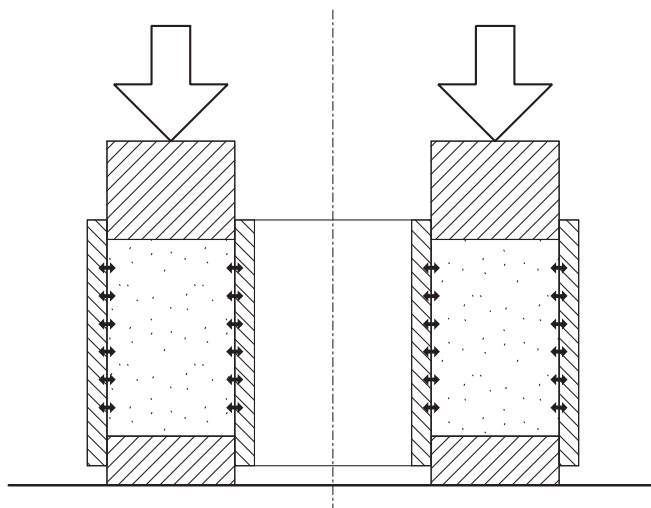


Figura 4
Schema relativo all'origine della pressione radiale sulla parete metallica del dispositivo.

collegati saranno sempre sollecitati da una forza di entità inferiore alla forza limite F_{ul} . Sottoposto a carico ciclico e al di sotto del limite di snervamento $F < F_y$ (Figura 6a), il sistema risponde in modo quasi perfettamente elastico ed in modo molto rigido. Il campo di valori di forza $F < F_y$ rappresenta il normale intervallo atteso per quanto riguarda l'uso del collegamento in esercizio. In tale campo l'elastomero non diminuisce il suo volume a compressione e la risposta del sistema è governata unicamente dalle caratteristiche dei componenti metallici 3a e 3b indicati in Figura 1.

Se si esamina un generico ciclo in cui la forza F ha superato il limite di snervamento F_y (condizione $F > F_y$, Figura 6b), si può riscontrare quanto segue. Nell'istante in cui avviene la fase di ricarica appena dopo quella di scarico, e fino a quando il blocco elastomero aderisce di nuovo all'involucro metallico, lavora esclusivamente l'elastomero con le sue proprietà tipicamente non lineari, duttili e altamente visco-elastiche. Solo ad un ulteriore aumento del carico le pareti del cilindro metallico saranno ulterior-

mente deformate in modo plastico. In questa situazione sono nuovamente le proprietà strutturali del materiale delle pareti ad essere determinanti. Pertanto il dispositivo agisce anche come un **ammortizzatore**: sia a caricamento iniziale attraverso la capacità di deformazione plastica delle parti metalliche, sia a sollecitazioni cicliche attraverso le proprietà visco-elastiche del materiale elastomero. Dopo il superamento della forza limite F_y , l'elemento collegato attraverso il dispositivo, nel caso di un evento eccezionale di tipo improvviso, non subirà più le stesse sollecitazioni a cui sarebbe sottoposto senza il dispositivo stesso, in quanto la forza d'impatto viene ammortizzata. Con l'aumento della duttilità del sistema strutturale verranno inoltre ridotte anche le frequenze proprie di tutto il sistema strutturale (o analogamente aumentato il periodo di vibrare), fatto che generalmente porta ad una riduzione in termini di sollecitazione sulla struttura sottoposta ad un'azione sismica di intensità non trascurabile.

Per sollecitazioni cicliche con $F > F_y$, il dispositivo funge anche da **dissipatore**. Questa funzione è

Figura 5
Diagramma forza-spostamento del dispositivo sottoposto a carico monotono.

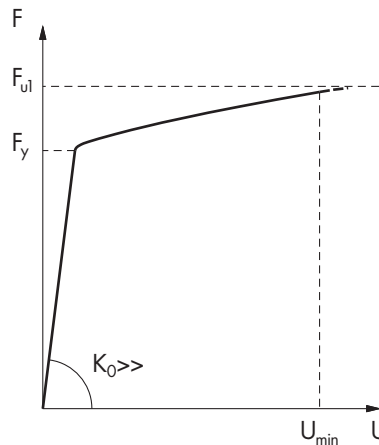
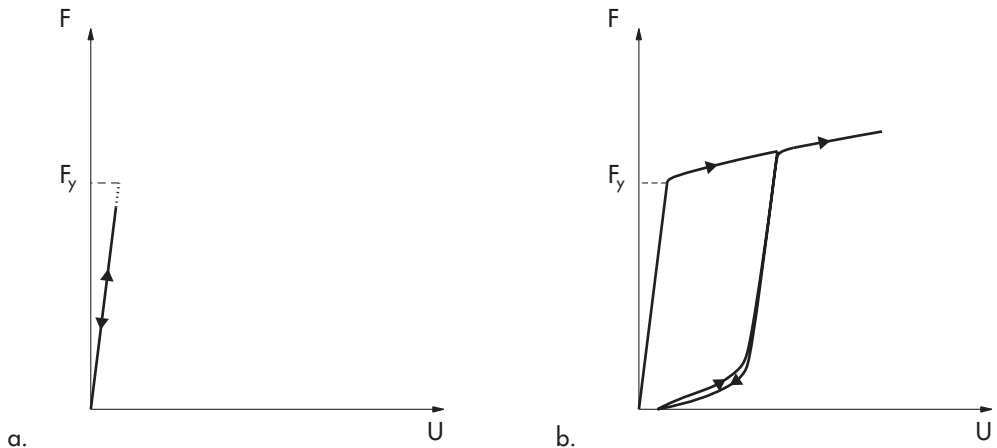


Figura 6
a) Comportamento del dispositivo sotto carico ciclico per $F < F_y$
e b) $F > F_y$.



ottenuta dal contributo di molteplici componenti, fondamentalmente il superamento della deformazione plastica e la risposta ciclica consentono la dissipazione di energia per isteresi, ma un ruolo, seppure minore, è svolto anche dall'attrito e da un meccanismo di "rocking".

2. Prove sperimentali

2.1 Il programma sperimentale

Il comportamento del dispositivo sviluppato e descritto nelle pagine precedenti è stato preliminarmente valutato mediante un modello agli elementi finiti, tenendo conto della non-linearità dei materiali, dell'ipotesi di grandi deformazioni e delle caratteristiche geometriche, in particolare simulando l'effettivo contatto tra i singoli componenti del dispositivo. Nonostante la parte numerica così sviluppata, i test sperimentali effettuati si sono resi necessari in quanto la complessità del sistema e le forti non-linearità che lo caratterizzano ponevano ancora alcuni dubbi circa l'effettivo

comportamento reale del dispositivo.

Per avere maggiore certezza circa il comportamento effettivo del dispositivo e per validare i risultati numerici, quindi, sono state effettuate diverse prove di laboratorio su alcuni prototipi. In particolare è stato testato il comportamento di carico-deformazione del solo anello elastomerico (componente 2) senza cilindro di confinamento e il comportamento di carico-deformazione dell'intero dispositivo, sottoposto dapprima al carico monotono e successivamente ad uno di tipo ciclico.

Le caratteristiche dei prototipi (dimensioni e materiali) sono riportati nelle Tabelle da 1 a 3. Per confermare il comportamento previsto dai calcoli, è stato eseguito il programma di test preliminari sui prototipi indicato nella Tabella 4.

2.2 Risultati delle prove

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio di prove sui materiali della Provincia Autonoma di Bolzano.

Tabella 1 - Dimensioni del prototipo

Dimensioni del prototipo	
Tubo in acciaio inox esterno (3a)	Ø 50 x 2 mm
Tubo in acciaio inox interno (3b)	Ø 20 x 2 mm
Altezza anello in elastomero (2)	20 mm

Tabella 2 - Proprietà del materiale del componente 3a

Caratteristiche del materiale del tubo di acciaio inossidabile esterno (3a)	
$f_y =$	423 N/mm ²
$f_u =$	674 N/mm ²
E =	149.000 N/mm ²

Tabella 3 - Proprietà del materiale del componente 2

Caratteristiche del materiale elastomerico PUR (2)	
Durezza Shore A/D	96/45
Resistenza alla trazione	34 N/mm ²
Allungamento a rottura	430%

Tabella 4 - Programma sperimentale

Programma sperimentale	
Anello elastomerico	Ciclo di carico; prova a spostamento controllato (0 - 2.5 - 0 - 5.0 - 0 - 7.5 - 0 - 10.0 - 0 mm); velocità di carico lento (1 mm/min)
Dispositivo completo	Carico con aumento monotono; prova a spostamento controllato, fino a 10.0 mm; velocità di carico lento (1 mm/min)
Dispositivo completo	Carico con aumento monotono; prova a spostamento controllato, fino a 10.0 mm; velocità di carico veloce (5 mm/sec)
Dispositivo completo	Ciclo di carico; prova a spostamento controllato (0 - 2.5 - 0 - 5.0 - 0 - 7.5 - 0 - 10.0 - 0 mm); velocità di carico lento (1 mm/min)

2.2.1 Prova di compressione sull'anello elastomerico - carico monotono ciclico (Figura 7a e b)

Come mostra il grafico della misurazione sottostante (Figura 8), può essere confermato il comportamento fortemente non lineare previsto del materiale elastomerico. Lo sforzo di compressione indicato al raggiungimento di 10 mm di spostamento relativo è di 43 kN.

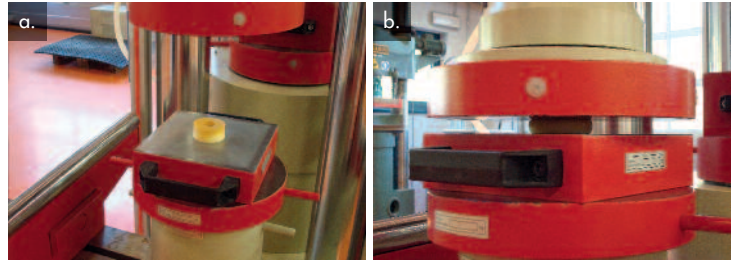
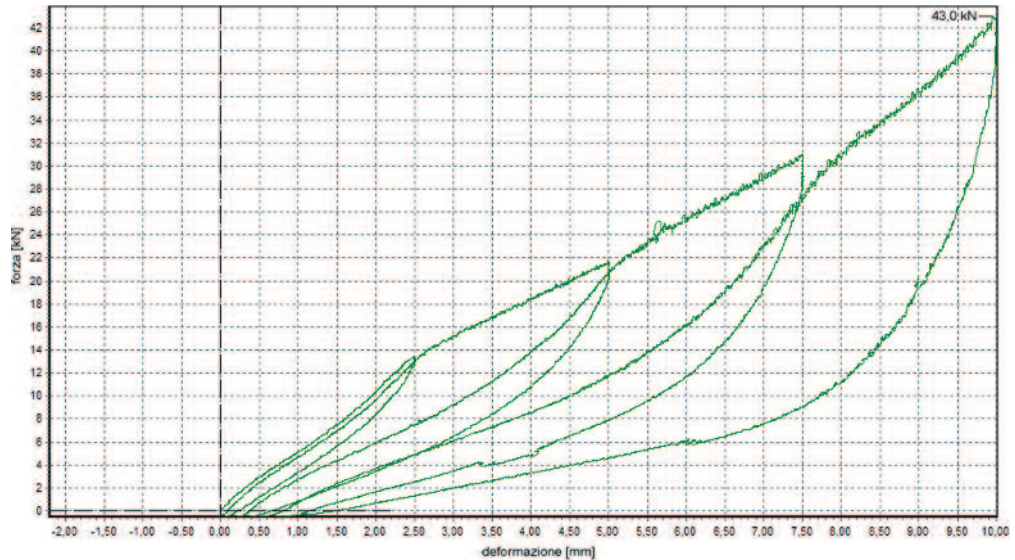


Figura 7
Anello elastomerico
a) prima della prova
b) durante la prova.

Figura 8
Grafico del comportamento
forza (compressione) -
spostamento dell'anello
elastomerico sotto carico
ciclico.



2.2.2 Prova di compressione sul dispositivo con aumento monotono del carico e velocità di carico lenta (Figura 9a e b)

Come mostra il grafico della misurazione (Figura 10), l'atteso comportamento del dispositivo smorzante, altamente non-lineare, può essere pienamente confermato. La forza di compressione indicata al raggiungimento di 10 mm di deformazione è di 128.1 kN, cioè circa 3 volte superiore rispetto alla stesso spostamento relativo dell'anello elastomerico non vincolato dai cilindri metallici.

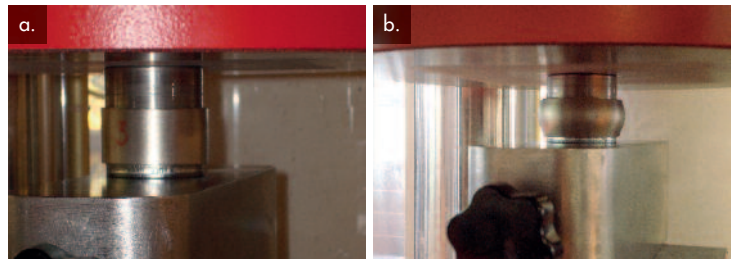
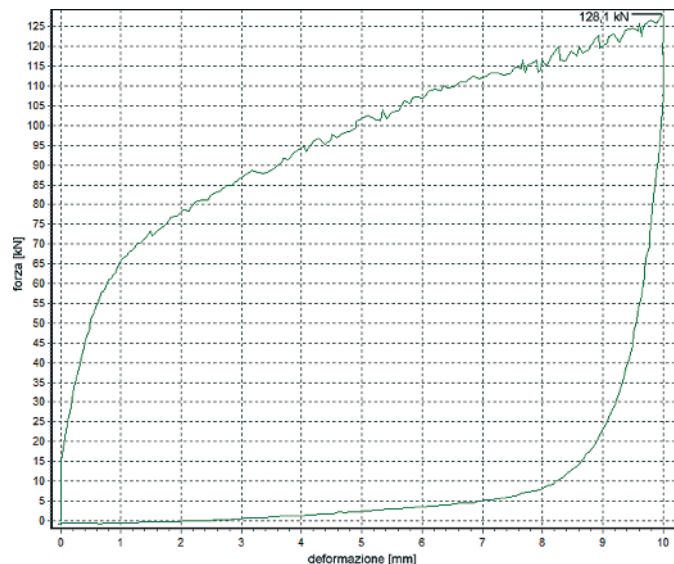


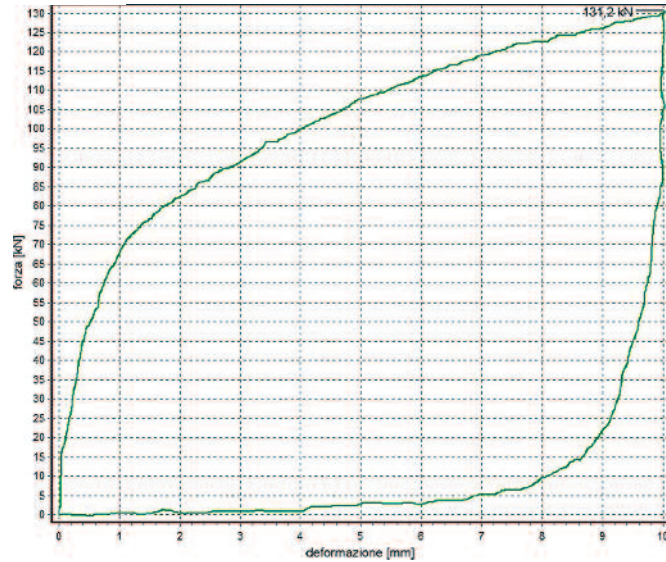
Figura 9
a) Dispositivo di
smorzamento prima della
prova e b) dopo la prova.

Figura 10
Risposta forza
(compressione) -
spostamento del dispositivo
di smorzamento per un ciclo
di carico monotono
applicato a velocità bassa.



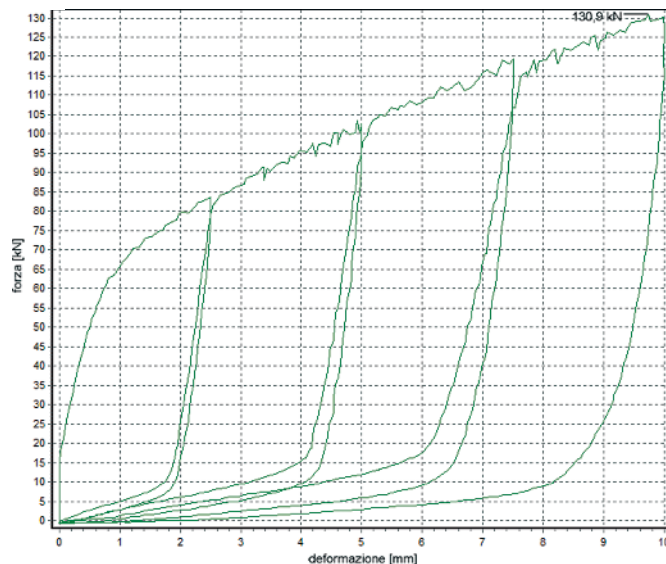
2.2.3 *Prova di compressione sul dispositivo con aumento monotono del carico e velocità di carico veloce*
 Come indicato nel grafico di Figura 11, il comportamento del dispositivo smorzante non mostra differenze significative rispetto alla prova di carico a velocità lenta. La forza di compressione indicata al raggiungimento di 10.06 mm di deformazione è di 131.2 kN (contro 128.1 kN della prova precedente).

Figura 11
 Risposta forza (compressione) – spostamento del dispositivo di smorzamento per un ciclo di carico monotono applicato a velocità elevata.



2.2.4 *Prova di compressione sul dispositivo, carico ciclico e velocità di carico lenta:*
 Anche in questo caso (Figura 12), il comportamento atteso del dispositivo smorzante è pienamente confermato. La capacità di deformazione a compressione è quasi identica ai carichi monotoni e si attesta a 130.9 kN in corrispondenza di una deformazione pari a 9.7 mm.

Figura 12
 Risposta forza (compressione) – spostamento del dispositivo di smorzamento per carico ciclico monotono applicato a velocità bassa.



2.6 Commenti sui risultati sperimentali:

Tutti gli esperimenti effettuati confermano sostanzialmente il comportamento ricavato anche per via numerica. In particolare:

- La risposta iniziale è sufficientemente rigida;
- Il comportamento successivo al raggiungimento del limite di snervamento è caratterizzato da un'ampia escursione in campo plastico con un rapporto fra spostamento ultimo e spostamento al limite di snervamento superiore a 10;
- Il comportamento isteretico è costituito da cicli piuttosto ampi che sottendo un'area/energia dissipata non trascurabile. Si può notare anche già visivamente che il comportamento è dissipativo e ammortizzante sotto carichi ciclici.

La differenza, in termini di risultati, tra velocità di carico lenta e veloce non è di rilievo.

Con un'ulteriore calibrazione il comportamento complessivo dello smorzatore potrebbe essere ottimizzato, per esempio tramite:

- L'uso di un acciaio avente un incrudimento inferiore dopo aver raggiunto il punto di snervamento;
- Eventualmente l'uso di un elastomero con ancora maggiore rigidità e maggiore capacità dissipativa.

Ulteriori prove, in particolare una prova su tavola vibrante di una intera struttura sarebbe sicuramente utile e significativa per confermare l'efficacia del dispositivo.

Per il momento i risultati sperimentali ottenuti dalle prove sui prototipi sono da considerarsi promettenti.

3. Indagini numeriche

L'efficienza del dissipatore sviluppato sarà valutata nelle pagine seguenti facendo riferimento ad un oscillatore semplice ad un grado di libertà con

e senza la presenza dei dissipatori sviluppati. Il carico sarà applicato sotto forma di accelerogramma alla base dell'oscillatore stesso. Per questa indagine puramente teorica del comportamento del sistema dell'oscillatore semplice è stata usata la versione di prova del programma ad elementi finiti SeismoStruct 6 di SeismoSoft Ltd.

3.1 Modellazione del dispositivo di smorzamento

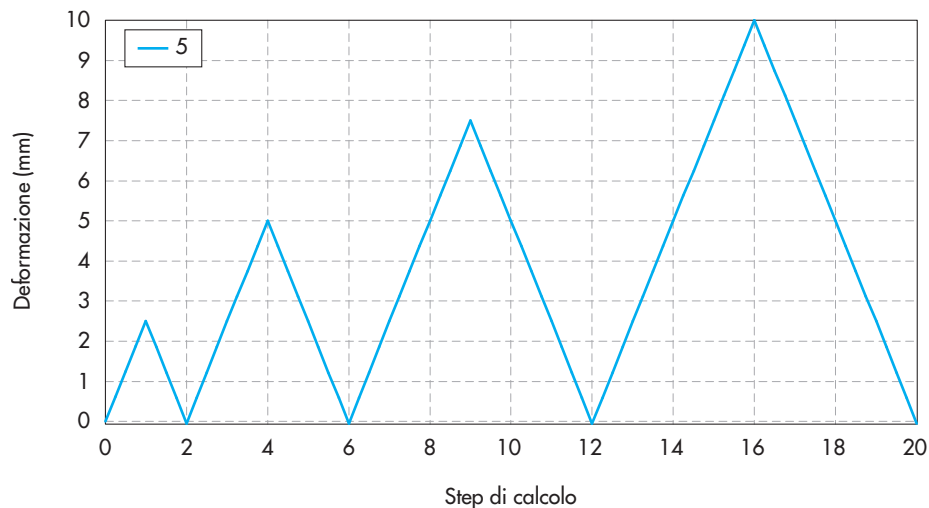
Il programma ad elementi finiti scelto per le analisi consente di utilizzare vari elementi "link" a comportamento non lineare. Per il caso specifico è sembrato opportuno fare riferimento ad un elemento molla il cui comportamento è caratterizzata dalla curva di isteresi denominata Richard-Abbott modificato (Richard & Abbott, 1975; Nogueiro et al., 2005). Il modello richiede la calibrazione di 15 parametri che possono essere ottenuti dai dati sperimentali precedentemente descritti.

Il grafico di Figura 13 mostra l'input a cui è stato preliminarmente sottoposto un elemento molla con i parametri calibrati, cioè una successione di cicli monotoni ad ampiezza crescente esattamente identica alla storia di spostamento della prova sperimentale i cui risultati sono raffigurati in Figura 12. La corrispondente risposta numerica è mostrata in Figura 14, ad indicare come la modellazione del dissipatore sembri essere sufficientemente efficace nel simulare il comportamento sperimentale (si confrontino la Figura 12 e la Figura 14).

Per l'indagine comparativa si è scelto di utilizzare il seguente oscillatore semplice con massa concentrata in sommità e vincolato alla base in quattro punti, come indicato in Figura 15.

Si vuole dimostrare come le forze alla base e le sollecitazioni interne alla struttura cambino in funzione della presenza nei 4 punti di vincolo degli elementi ammortizzanti sviluppati nella

Figura 13
Storia di spostamento
assiale applicata al modello
del dispositivo di
smorzamento.



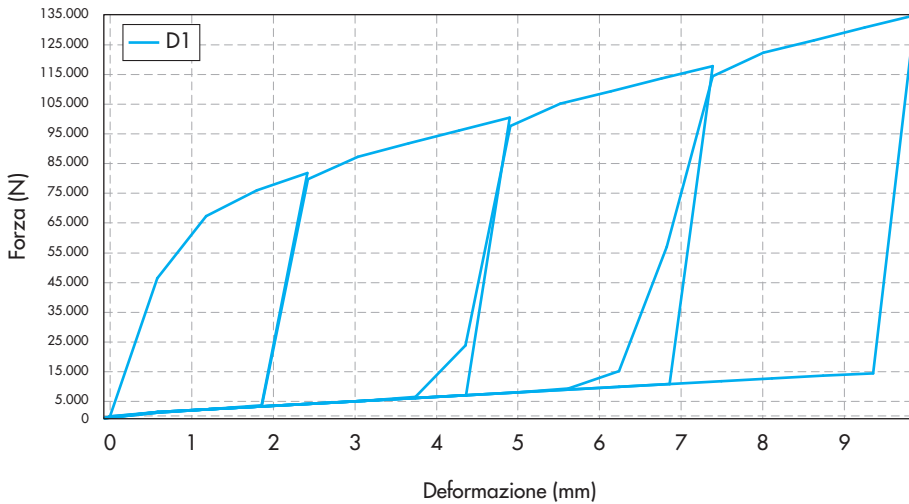


Figura 14
Curva di risposta forza-spostamento dell'elemento molla simulante il singolo smorzatore.

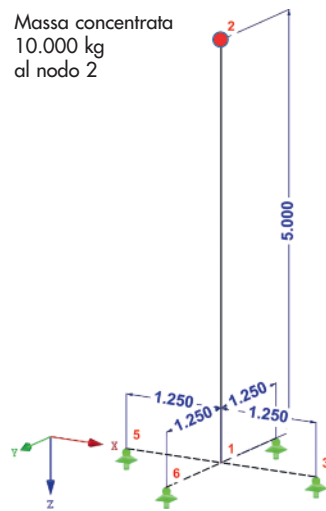


Figura 15
Modello ad aste dell'oscillatore semplice per l'indagine comparativa.

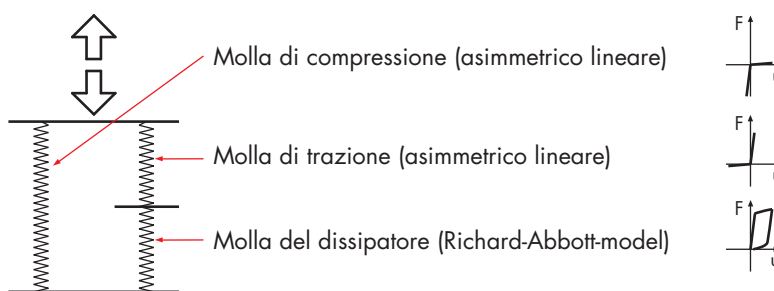


Figura 16
Modellazione delle molle assiali ai punti di appoggio nei sistemi 1a - 4a.

ricerca qui descritta. Per raggiungere questo obiettivo, in particolare, sono stati presi in considerazione quattro oscillatori semplici con diverse rigidità, ma di geometria invariata. I collegamenti al piede dell'oscillatore in corrispondenza dei 4 punti di vincolo a terra vengono inizialmente considerati fissi (sistema 1-4). In una seconda serie di analisi, invece, nei 4 punti di appoggio si considera la presenza degli ammortizzatori (sistema 1a - 4a). Tali dispositivi aggiuntivi reagiranno solo se soggetti a sollecitazioni

di trazione (si veda il caso contemplato nella Figura 3b), dato che le azioni di compressione si scaricano direttamente in fondazione. Per questo motivo, ai fini di realizzare il modello, è stato necessario fare riferimento a un sistema di molle rappresentato schematicamente in Figura 16 applicato a ciascuno dei 4 punti di vincolo a terra. Come si può notare dalla figura, il sistema di molle assiali è costituito da una molla reagente solo a compressione che dovrà simulare la

superficie di fondazione e da una molla reagente solo a trazione a cui è collegata in serie quella dell'elemento smorzante, caratterizzata da un comportamento che segue la legge di isteresi Richard-Abbott modificato riportata in Figura 14.

3.2 Azione applicata

All'oscillatore semplice è applicato un accelerogramma al piede (Figura 17), ottenuto secondo la norma italiana NTC 2008 per la posizione della città dell'Aquila in Italia, con categoria di suolo A, indice di Topografia T1 e per un periodo di ritorno considerato di 475 anni. I risultati ottenuti dalle analisi dinamiche modali

con spettro di risposta (smorzamento strutturale del 5%, Figura 18), effettuate preliminarmente, sono indicati nella Tabella 5. In particolare sono evidenziati, per i quattro casi 1 ÷ 4 senza ammortizzatori, la rigidità elastica ed il periodo di vibrazione. È altresì indicata anche la forza statica equivalente ricavata moltiplicando l'accelerazione spettrale, letta in corrispondenza del periodo del sistema, per la massa che contraddistingue il sistema stesso.

3.3 Risultati delle analisi dinamiche non-lineari

Noti i principali parametri che caratterizzano i sistemi privi di ammortizzatori, sono state effettuate le analisi dinamiche non-lineari sugli oscil-

Figura 17
Accelerogramma di eccitazione alla base.

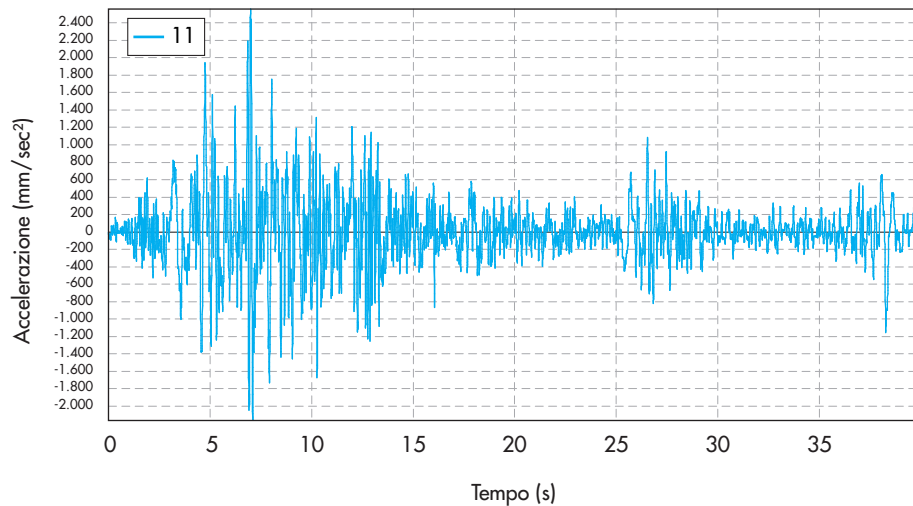


Figura 18
Spettro di risposta elastico per le coordinate del Comune de L'Aquila con periodo di ritorno T = 475 anni.

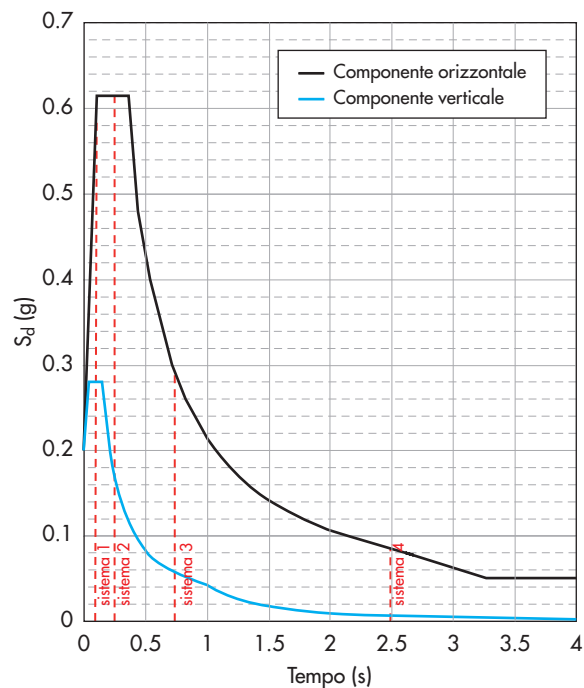


Tabella 5 - Caratteristiche degli oscillatori semplici analizzati

Oscillatore semplice senza smorzatori	Rigidezza EI ($N\ m^2$)	Periodo di oscillazione T (sec)	Forza statica equivalente F_x (kN)
Sistema 1	$1822.641 \cdot 10^6$	0.095	54.35
Sistema 2	$263.189 \cdot 10^6$	0.250	60.53
Sistema 3	$29.243 \cdot 10^6$	0.750	27.96
Sistema 4	$2.632 \cdot 10^6$	2.500	8.40

latori semplici di tutti i casi definiti, da 1 a 4 e da 1a a 4a.

I risultati più significativi sono riassunti in Tabella 6. È stato riscontrato che l'installazione dei dispositivi ammortizzatori-dissipatori nei quattro punti di vincolo a terra produce i seguenti effetti:

- Lo spostamento orizzontale massimo $u_{x,max}$ dell'oscillatore aumenta notevolmente quando gli ammortizzatori sono applicati al sistema molto rigido (sistema 1), mentre la stessa installazione ha poco effetto sullo spostamento orizzontale degli altri sistemi, che invece sono più flessibili.
- L'azione di taglio massimo al piede $F_{x,max}$ dell'oscillatore lungo la direzione di carico corrisponde alla forza statica equivalente ottenuta dallo spettro di risposta elastico (Tabella 5). La variazione della forza di taglio tramite l'introduzione del dispositivo di smorzamento è dovuta alla leggera variazione del periodo di oscillazione T del sistema.
- Le reazioni agli appoggi $A_{z,min}$ e $A_{z,max}$ variano significativamente in seguito all'installazione dei dispositivi: in particolare le azioni di compressione trasmesse direttamente in fondazione aumentano con l'eccezione del sistema 4, che risulta essere quello più flessibile. Le forze di trazione negli ancoraggi invece, e questo è essenziale, sono notevolmente ridotte in seguito all'installazione degli elementi smorzanti.

- L'importanza che deriva dalla installazione dei dispositivi è quindi chiaramente visibile: riduzione delle sollecitazioni di trazione nei vincoli a terra, con maggior beneficio nei sistemi rigidi, dato che le forze in gioco sono decisamente superiori. Questo beneficio lo si ottiene a prezzo di una maggiore domanda di spostamento sul sistema nei sistemi più rigidi, che sarà comunque modesta rispetto ai sistemi flessibili.

Per maggiore dettaglio, nei grafici da Figura 19 a Figura 22 sono rappresentate le risposte del sistema 2 e 2a, in cui si possono osservare gli effetti della presenza degli elementi ammortizzatori negli ancoraggi:

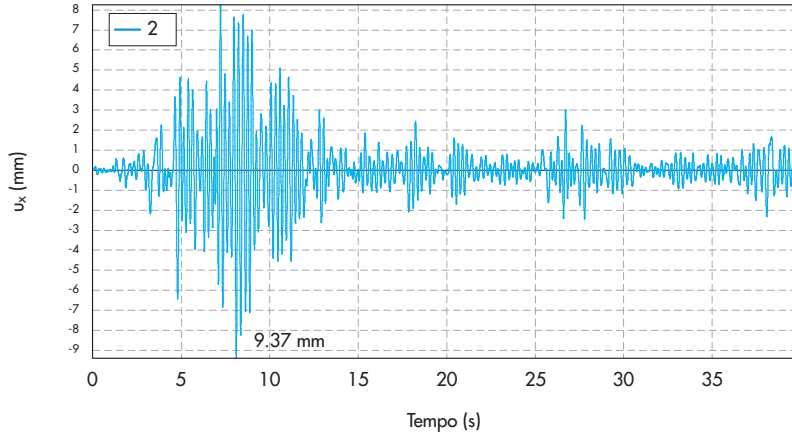
Sarebbe auspicabile poter confermare questi risultati anche su di un prototipo sperimentale più complesso, testato possibilmente su tavola vibrante, prova però ad ora non eseguibile per mancanza di fondi.

- $u_{x,max}$... Massimo spostamento del nodo in sommità nella direzione del carico orizzontale applicato;
- $F_{x,max}$... Massima azione di taglio al piede nella direzione del carico orizzontale applicato;
- $A_{z,min}$... Reazione di compressione massima alla base in uno dei quattro punti di appoggio;
- $A_{z,max}$... Reazione di trazione massima alla base in uno dei quattro punti di appoggio.

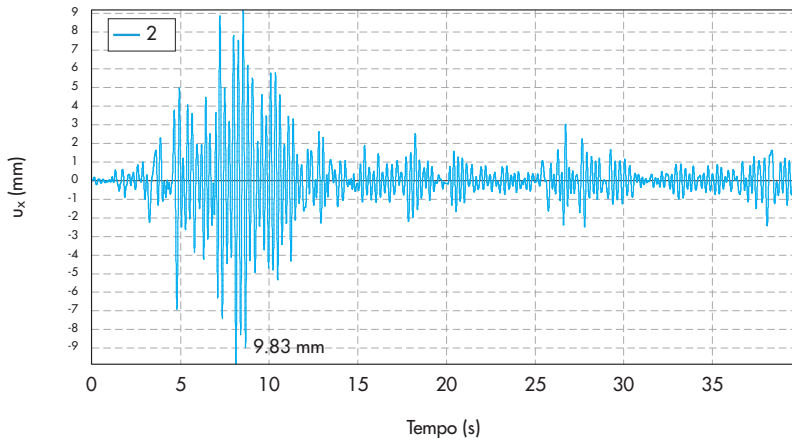
Tabella 6 - Principali risultati dell'analisi dinamica non lineare effettuata sugli 8 sistemi definiti

Oscillatore semplice	periodo di oscillazione T (sec)	$u_{x,max}$ (mm)	$F_{x,max}$ (kN)	$A_{z,min}$ (kN)	$A_{z,max}$ (kN)	Percentuale di $A_{z,max}$ rispetto al sistema rigido	Riduzione di $A_{z,max}$
Sistema 1 (rigido)	0.095	1.27	55.29	-135.72	86.67	100%	
Sistema 1a (ammortiz.)	0.100	4.07	63.85	-196.34	63.46	73%	27%
Sistema 2 (rigido)	0.250	9.37	58.95	-143.33	94.23	100%	
Sistema 2a (ammortiz.)	0.252	9.83	53.47	-173.66	52.36	56%	44%
Sistema 3 (rigido)	0.750	34.95	23.88	-74.01	24.91	100%	
Sistema 3a (ammortiz.)	0.750	35.08	23.89	-96.02	5.00	20%	80
Sistema 4 (rigido)	2.500	74.44	3.40	-34.05	0.00	-	
Sistema 4a (ammortiz.)	2.500	74.45	3.39	-34.01	0.00	-	

Figura 19
 u_x nel nodo 2:
 a) con appoggio rigido
 b) con i dispositivi
 ammortizzanti installati.

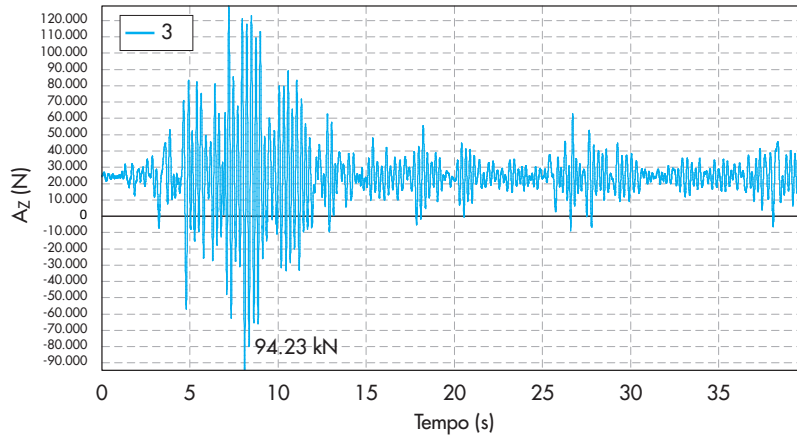


a.

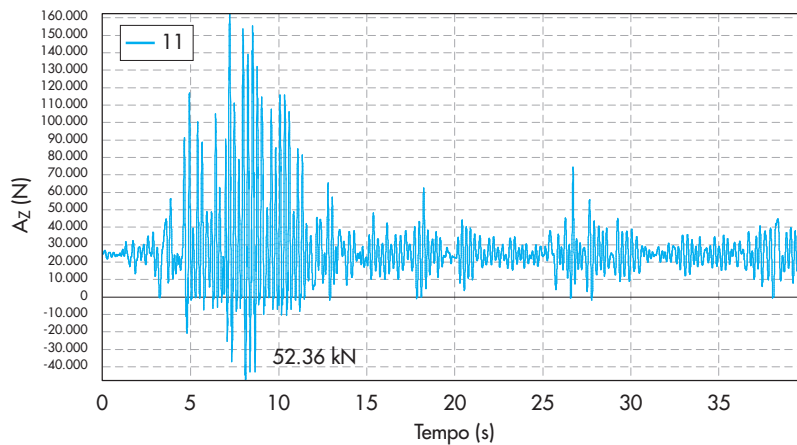


b.

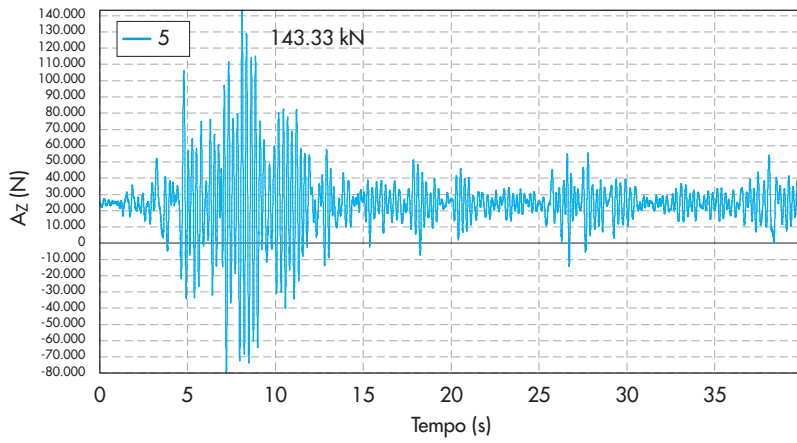
Figura 20
 A_z nel nodo 3:
 a) con appoggio rigido
 b) con i dispositivi
 ammortizzanti installati.



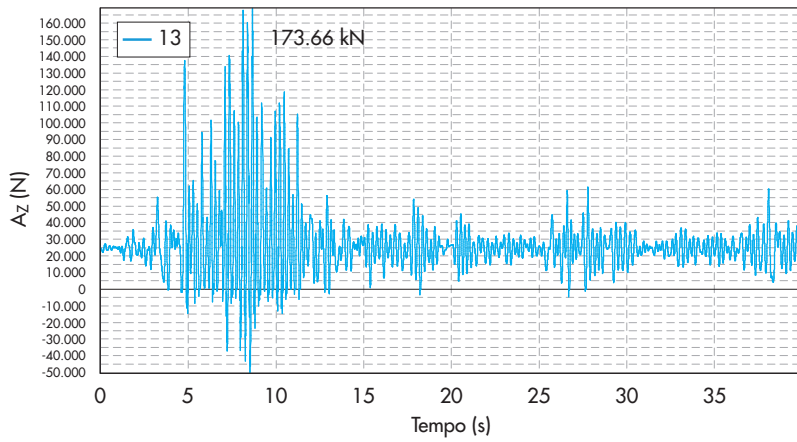
a.



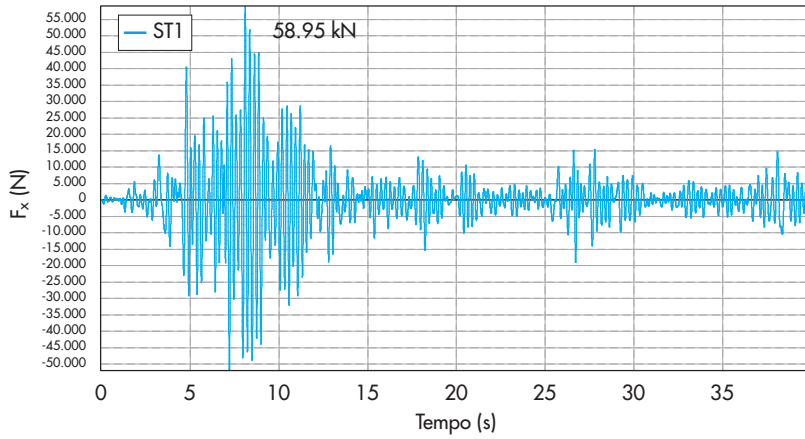
b.



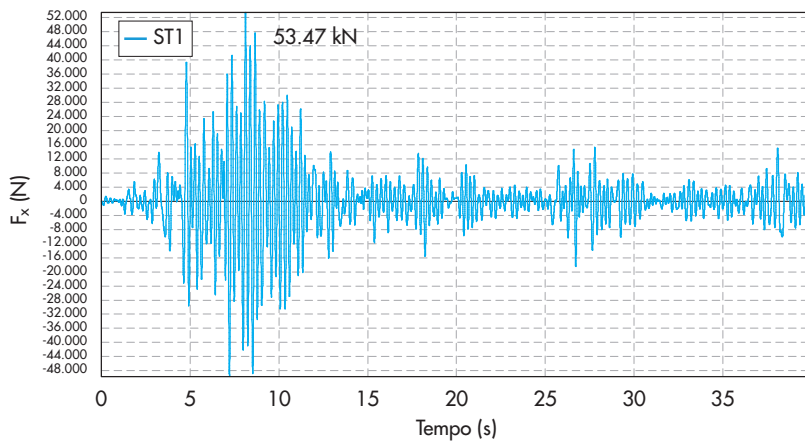
a.



b.



a.



b.

Figura 21
Az nel nodo 5:
a) con appoggio rigido
b) con i dispositivi
ammortizzanti installati.

Figura 22
Fx azione di taglio alla base:
a) con appoggio rigido
b) con i dispositivi
ammortizzanti installati.

6. Conclusioni

Il dispositivo qui presentato è in grado di limitare verso l'alto la forza trasferibile dal dispositivo stesso ed è quindi classificabile come un elemento "fusibile" di sicurezza. Nel caso di carichi straordinari, improvvisi e ciclici, l'elemento ha inoltre ottime proprietà di ammortizzazione (shock-assorbente) e proprietà dissipative. Questo si è potuto mostrare sia tramite analisi numerica F.E., sia con prove di laboratorio su un prototipo del singolo dispositivo. Sarebbe fondamentale effettuare ulteriori prove sperimentali, per esempio su tavola vibrante di un'intera struttura, per una conferma definitiva dell'efficienza del dispositivo.

È opportuno sottolineare inoltre come il dispositivo sviluppato si distingua per la sua semplice e

robusta costruzione e sia praticamente insensibile ai guasti. Esso, inoltre, può essere facilmente montato su strutture esistenti, non richiede particolare manutenzione, ma deve essere sostituito dopo un evento eccezionale (elemento monouso). Da non trascurare anche il punto di vista economico, aspetto per cui il dispositivo può risultare sicuramente competitivo nell'ambito degli elementi da utilizzare come protezione in caso di eventi eccezionali (sisma, esplosioni, urti).

Principali campi d'impiego possono essere inserti e tasselli di ancoraggio, ma anche altre componenti strutturali caricate assialmente, come giunti bullonati con bulloni ad alta resistenza o tensostrutture, soprattutto quando esse sono collegate ad elementi caratterizzati da una rottura fragile.

Bibliografia

Consiglio Superiore dei LL. PP., D.M. 14 gennaio (2008) - Norme Tecniche per le Costruzioni. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Circolare 2 febbraio 2009 n. 617, Istruzioni per l'applicazione delle (2009) - Nuove norme tecniche per le costruzioni, di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Nogueiro P., Simoes da Silva L., Bento R., Simoes R. (2005) - Numerical implementation and calibration of a hysteretic model with pinching for the cyclic response of steel and composite joints, Proceedings of the

Fourth International Conference on Advances in Steel Structures, Shanghai, China, Paper no. ISP. 45.

Richard R.M., Abbott B.J. (1975) - Versatile Elastic Plastic Stress-Strain Formula, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 101, No. 4, pp. 511-515.

SeismoStruct. A computer program for static and dynamic non linear analysis of framed structures v. 6 (2012) - Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions - © Seismosoft Ltd - Via Boezio 10, 27100 Pavia.

L'Autore

Dr. Ing. Alois Neulichedl

È titolare dello Studio di ingegneria Alois Neulichedl & Partner di Merano (BZ)

Nato nel 1961 a Nova Levante (BZ), ha conseguito la Laurea in Ingegneria Civile nel 1986 ed il Dottorato di Ricerca nel 1990 presso l'Università di Innsbruck, in Austria. È iscritto all'albo degli Ingegneri di Bolzano dal 1987.

La sua esperienza professionale pluriennale nel settore

dell'ingegneria strutturale ha riguardato:

- la collaborazione con lo Studio di Ingegneria del Prof. F. Tschammerlegg di Innsbruck (Austria);
- la carica di Assistente universitario presso il Dipartimento per Strutture in Acciaio e Legno a Innsbruck (Austria);
- la libera professione con lo Studio di Ingegneria di Merano (BZ), specializzato in particolare nella progettazione strutturale di ponti, torri, strutture speciali;
- la pubblicazione di articoli su riviste specializzate.