

Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali



Prof. Ing. Dora Foti
Politecnico di Bari

20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"

TECNICHE INNOVATIVE DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

Tali **tecniche** nascono intorno alla **metà anni '70** ⇒ **riduzione** **drastica** delle **forze sismiche agenti** sulla **struttura**

LE STRUTTURE SONO
PROGETTATE CON IL PRECISO
SCOPO DI **RIDURRE LA**
VULNERABILITA' DELLE
COSTRUZIONI

I METODI DI CALCOLO SI
BASANO SULLA
MITIGAZIONE DEGLI
EFFETTI DEI TERREMOTI



TECNICHE INNOVATIVE DI PROGETTAZIONE ANTISISMICA

TECNICHE PER LA PROTEZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI

CONTROLLO ATTIVO

CONTROLLO PASSIVO

CONTROLLO MISTO

ISOLAMENTO SISMICO

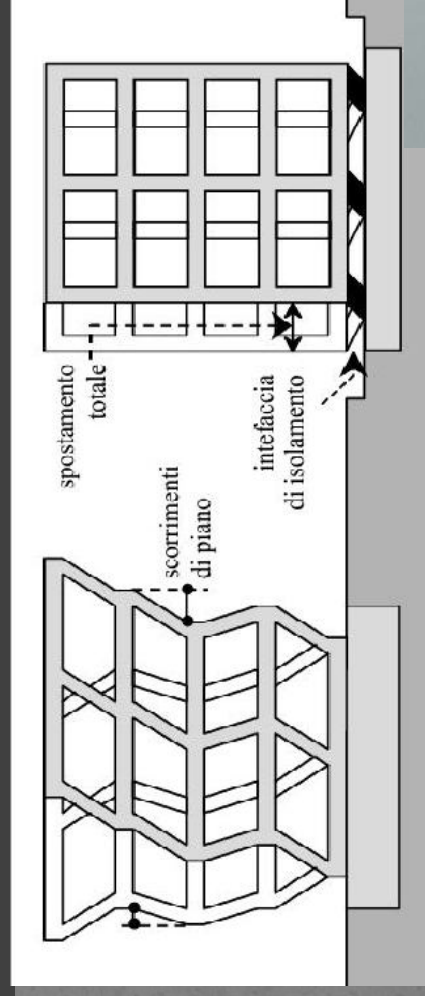
DISSIPAZIONE DI ENERGIA

- Dispositivi “inerti” (il comportamento non può essere modificato “on line”) che vengono aggiunti alla struttura per dissipare e/o deflettere l’energia.
- Localizzano i fenomeni non-lineari in certe zone predefinite di una struttura.

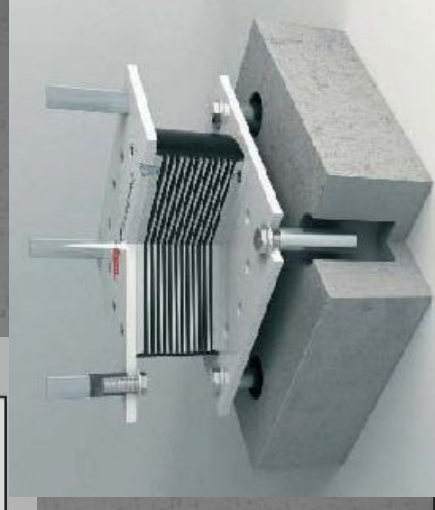
ISOLAMENTO SISMICO

OBIETTIVO

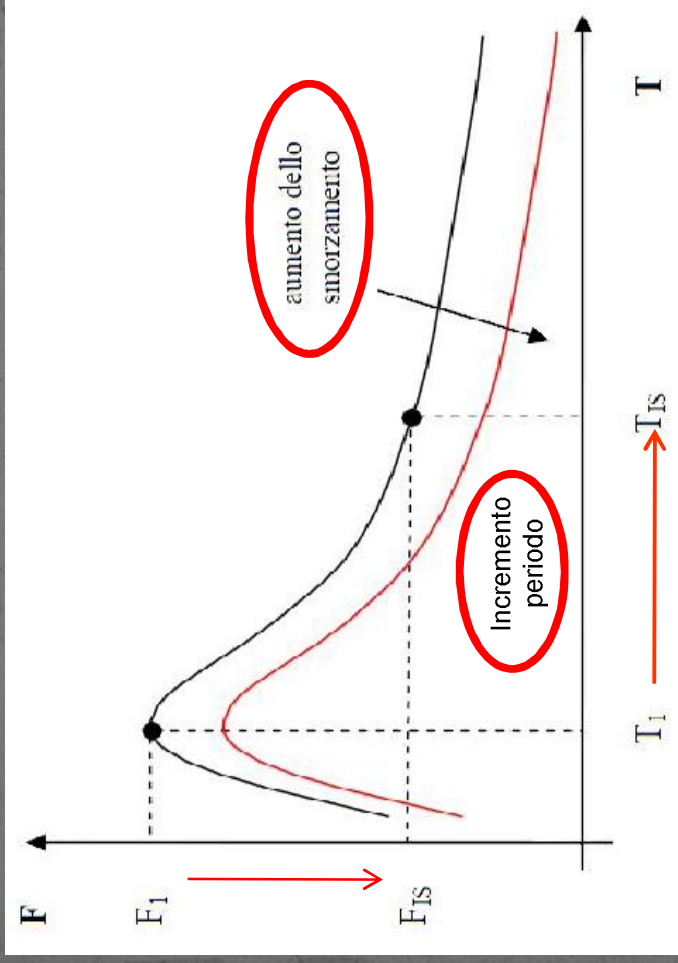
disaccoppiare il movimento orizzontale della costruzione da quello del terreno, modificando il segnale di ingresso e riducendo gli effetti sulla sovrastruttura



Il disaccoppiamento è ottenuto interponendo dispositivi detti ISOLATORI, tra l'edificio e le fondazioni, ciò consente di ridurre le accelerazioni trasmesse alla sovrastruttura, che si comporta come un corpo rigido al di sopra degli isolatori



ISOLAMENTO SISMICO: EFFETTI



- **Incremento del PERIODO (T) fondamentale di oscillazione, rispetto al periodo predominante dei terremoti**
- **Incremento dello SPOSTAMENTO ORIZZONTALE (10-35cm) della sovrastruttura**
- **Aumento dello SMORZAMENTO (ξ)**

Sensibile riduzione delle FORZE di progetto da applicare alla sovrastruttura nel caso di configurazione a base isolata

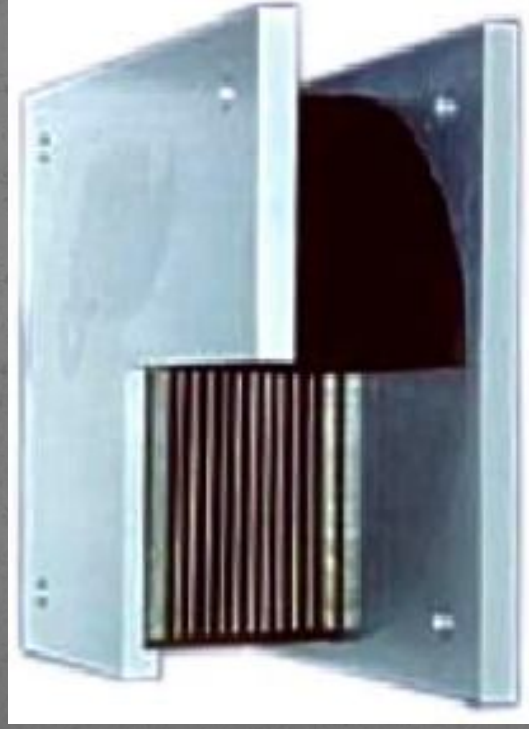
SISTEMA DI ISOLAMENTO – PROPRIETA' E LIMITAZIONI

- Sostegno carichi gravitazionali con elevata rigidezza in direzione verticale
- Bassa rigidezza in direzione orizzontale, con il fine di incrementare il periodo
 - Dissipazione di energia
 - Capacità ricentrante (recupero posizione iniziale al termine del sisma)
 - Vincolo laterale nei confronti dei carichi di servizio (vento)
 - Durabilità elevata
- Limitazioni: terreno rigido e struttura rigida (< 3 piani).



CLASSIFICAZIONE

ELASTOMERICI



- **Alternanza di strati di elastomero (s=8-20mm) e lamierini di acciaio (s=2-3mm)**
- **Piastre di estremità**
- **Mescole con $G=0.4-1.4$ MPa $\xi=2-20\%$**

A SCORRIMENTO



- **Acciaio-teflon (interfaccia di scorrimento)**

ISOLAMENTO SISMICO – APPLICAZIONI

Paese	Numero complessivo di strutture protette da sistemi di isolamento di base
GIAPPONE	circa 6600
R.P. CINESE	circa 2600
FEDERAZIONE RUSSA	circa 550
U.S.A.	circa 500
ITALIA	circa 400

L'Armenia resta il secondo paese al mondo, dopo il Giappone e prima della Nuova Zelanda, per numero delle applicazioni dei sistemi antisismici rapportato a quello degli abitanti.



ISOLAMENTO SISMICO – APPLICAZIONI



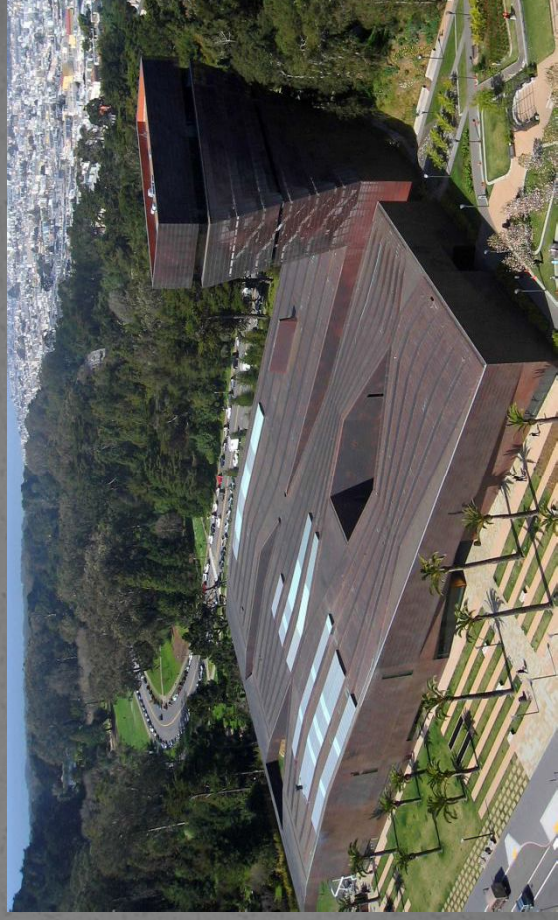
Centro direzionale Elite Plaza



Complesso residenziale Ouri Yard



Hearst Mining Memorial Building



De Young Museum, San Francisco



20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"



ISOLAMENTO SISMICO – APPLICAZIONI



Bronzi di Riace (RC)



Centrale nucleare di Cruas, Francia



Edificio Telecom (AN)



Ospedale Gervasutta a Udine



20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

Dora Foti: “Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali”

ISOLAMENTO SISMICO - VALUTAZIONE COSTI

L'incremento dei costi di un edificio isolato alla base rispetto ad un edificio a base fissa è pari a circa il 15%.
Tale incremento dei costi viene compensato da:

- 1) **Possibilità di realizzare edifici di forma particolare e con notevoli asimmetrie**
- 2) **Evitare pericolosi effetti torsionali dovuti alla presenza di asimmetrie**
- 3) **Possibilità di assumere un'accelerazione costante nella sovrastruttura ⇒ semplificazioni nella progettazione**



ISOLAMENTO SISMICO - VALUTAZIONE COSTI

Inoltre:

- **Il divario tra** i costi di realizzazione di un edificio a base fissa e di un edificio isolato alla base diminuisce con l'aumentare delle irregolarità, **in quanto nel caso della configurazione a base isolata è possibile ottimizzare il comportamento dinamico della struttura.**
- **Riduzione dei costi** relativi a manutenzione e riparazione **dopo un sisma**
- **In zone maggiormente sismiche (zona 1 e 2)** il divario tra i costi si riduce maggiormente o addirittura si azzerava.

IN AGGIUNTA:

La funzionalità della struttura è garantita durante e dopo il sisma, requisito indispensabile per edifici strategici (ospedali e centri della protezione civile, ecc..)



DISSIPATORI DI ENERGIA

Si introducono nella struttura speciali dispositivi incorporati in (o collegati a) controventi rigidi, quasi sempre in acciaio, che connettono due piani della struttura solitamente consecutivi.

Lo spostamento di interpiano prodotto dal sisma attiva i meccanismi di dissipazione di energia prima che gli spostamenti relativi possano produrre danni significativi sugli elementi strutturali.

→ L'energia in entrata viene dissipata nei dispositivi, mentre la struttura convenzionale ha solo funzione di sostegno dei carichi.

→ Sono inseriti dove sono massimi gli spostamenti differenziali.

DISSIPATORI DI ENERGIA

CLASSIFICATION

ENERGY DISSIPATING SYSTEMS

Metallic systems

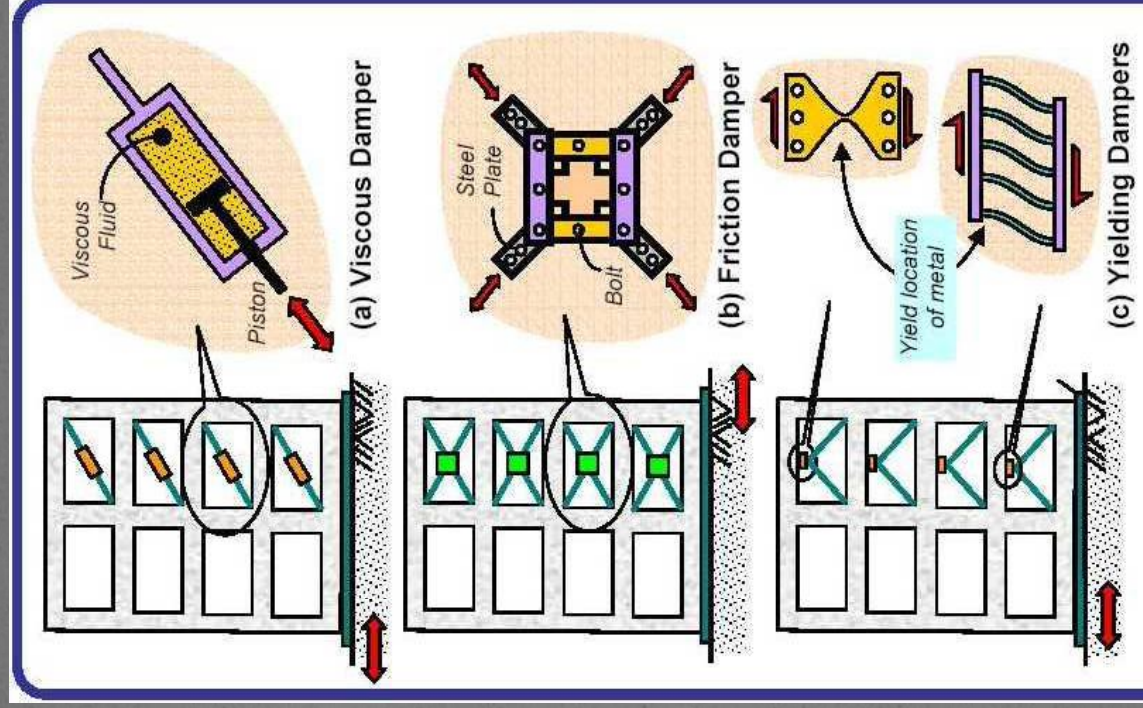
- yielding steel systems
- lead extrusion devices
- Shape Memory Alloys (SMAs)

Friction systems

Viscoelastic (VE) dissipators



INSTALLAZIONE DEI DISSIPATORI DI ENERGIA



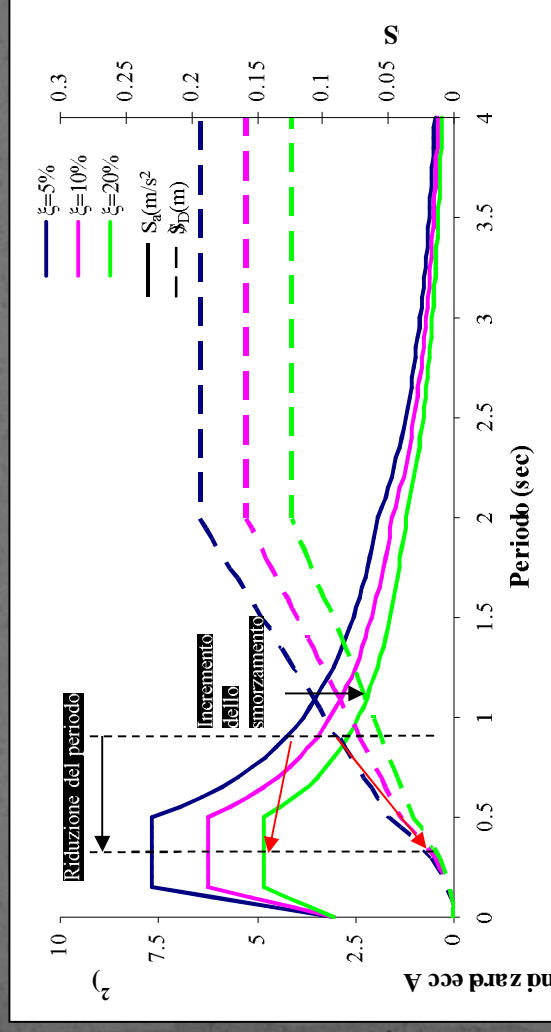
VANTAGGI DEI DISSIPATORI DI ENERGIA

- Sono utili per assorbire l'energia di qualsiasi tipo: terremoti, vento, macchinari vibranti, flussi di fluidi, onde marine, veicoli, ecc.
- Stesse tecniche di progetto degli edifici convenzionali.
- Basso costo unitario.
- Efficienti per edifici bassi e alti, terreno soffice o rigido.
- Maggiore facilità di intervento (di riparazione) rispetto agli edifici isolati e mantenimento della funzionalità ed operatività delle costruzioni anche dopo sismi violenti.
- Non occorre introdurre una discontinuità strutturale, nè separazione da costruzioni adiacenti (o terreno) con riduzione della convenienza economica.



COMPORAMENTO DEI DISSIPATORI DI ENERGIA

Facendo riferimento agli spettri di risposta elastici delle accelerazioni e degli spostamenti, il comportamento di una struttura dotata di dispositivi dissipativi, può essere interpretato osservando che l'introduzione del sistema di dissipazione può produrre un aumento



dello smorzamento e, se il sistema determina un irrigidimento della struttura, una riduzione del periodo e un aumento della resistenza complessiva. Ciò determina una sensibile riduzione degli spostamenti complessivi (v. spettro degli spostamenti) e, conseguentemente, degli spostamenti interplanetari, anche se a costo di un possibile aumento delle accelerazioni ai piani sulla struttura (spettro delle accelerazioni). Ne è un esempio il caso esposto in figura, nel quale la struttura originaria ha un periodo elevato, così da ricadere nel ramo calante delle curve spettrali di accelerazione.

SVANTAGGI DEI DISSIPATORI DI ENERGIA

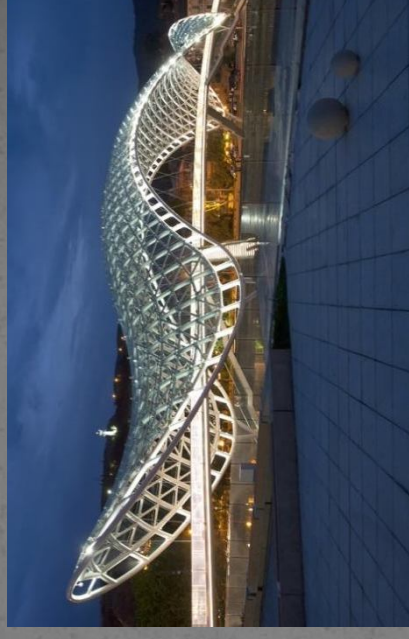
- Sono meno efficaci dell'isolamento perché l'energia sismica entra inalterata nella struttura.
- Per attivarsi e funzionare occorre che la struttura si deformi.
- Installazione di numerosi elementi ingombranti e spesso antiestetici, come i controventi e i dissipatori stessi.
- L'aumento della dissipazione di energia è associato anche ad un aumento della rigidezza. I due effetti combinati determinano una drastica riduzione degli spostamenti interpiano, con conseguente riduzione dei danni agli elementi strutturali e non, ma possono anche causare un aumento delle forze orizzontali, e quindi un maggior impegno delle fondazioni, in particolare di quelle immediatamente sottostanti le maglie strutturali rafforzate. Nel contempo i pilastri interagenti direttamente con i controventi, a fronte di una drastica riduzione delle sollecitazioni flettenti e taglianti, subiscono un incremento delle sollecitazioni assiali.



DISSIPATORI DI ENERGIA– APPLICAZIONI



Hildebrand Hall
University of Berkeley, California



The Bridge of Peace
Tbilisi, Georgia



Union House
Auckland, New Zealand



20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

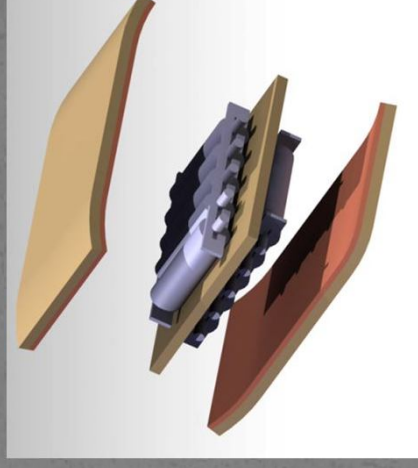
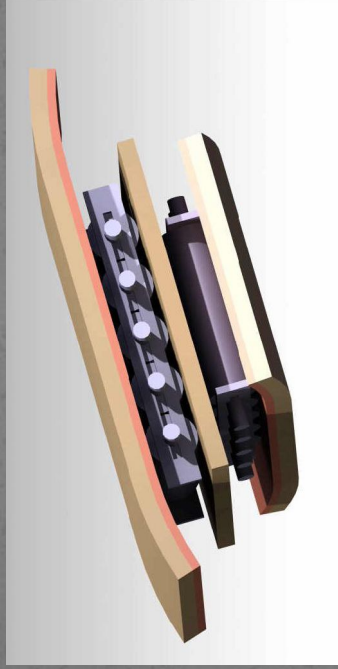
Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"



ISOLATORE A ROTOLAMENTO: RLRB

E' costituito da strati di gomma su cui rotolano cilindri in acciaio

Rendering preliminare dell'RLRB con i cilindri che rotolano secondo due direzioni perpendicolari



IMPOSTAZIONE ANALITICA DEL MODELLO TEORICO.

- Analisi statica del dispositivo: **strato in gomma e singolo cilindro in acciaio**
- Analisi dinamica: **individuazione dei parametri fondamentali della caratterizzazione**

CARATTERISTICHE DEL DISPOSITIVO RLRB

SCONNESSIONE FRA LA BASE E LA SOVRASTRUTTURA
PER MEZZO DI CILINDRI CHE RUOTANO SU GOMMA
VULCANIZZATA A PIASTRE METALLICHE

DISACCOUPIAMENTO DEL
MOTO E RIDUZIONE
DELL'ACCELERAZIONE

DISSIPAZIONE DI ENERGIA
ATTRAVERSO IL CONTATTO
ACCIAIO-GOMMA

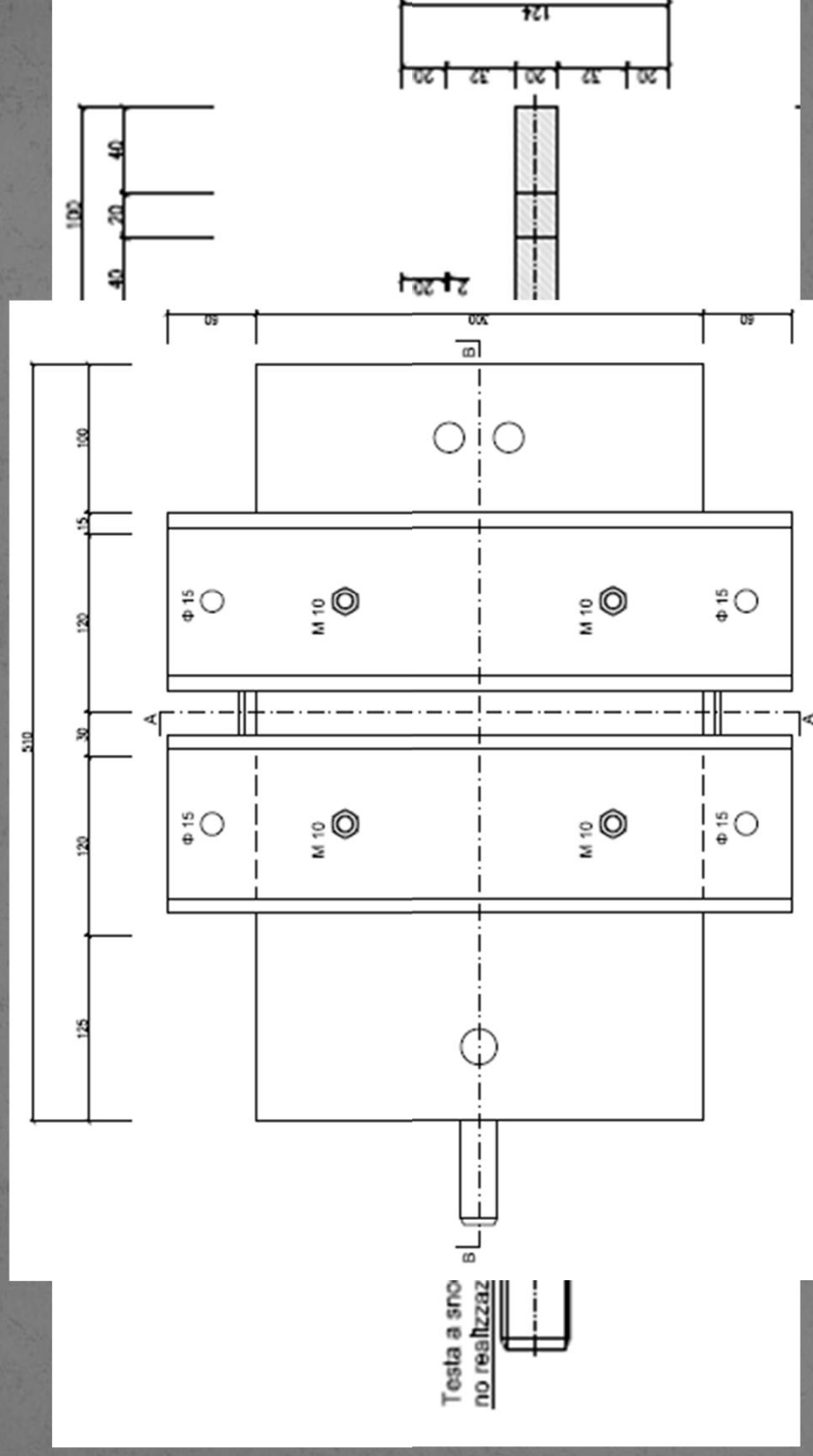
FASE DI PROGETTAZIONE PRELIMINARE DEL PROTOTIPO

In riferimento alla modellazione del dispositivo di isolamento, l'analisi statica ha permesso di rilevare evidenti problematiche nella cinematica delle piastre e dei cilindri; pertanto, conseguentemente, si è ipotizzato un miglioramento del comportamento del dispositivo attraverso una attività di riprogettazione nella quale si è previsto di mantenere la superficie delle piastre piana e di conferire una curvatura alla gomma nelle zone di estremità.

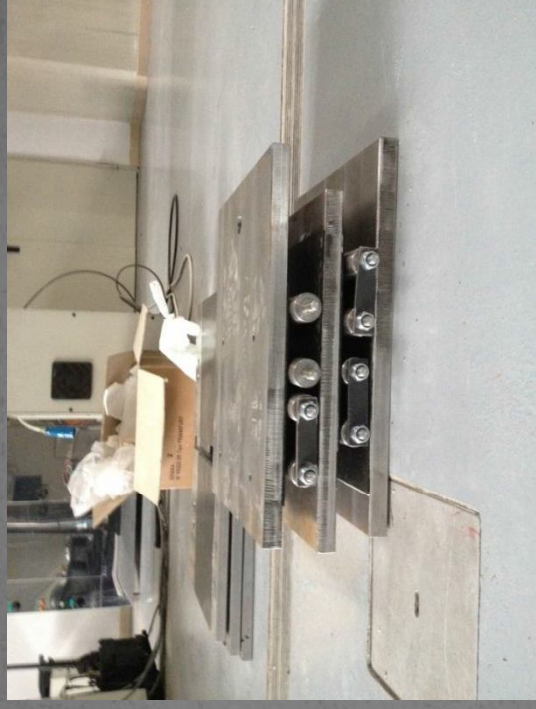
Tale caratteristica della gomma, con un opportuno modulo di elasticità, potrà consentire il ri-centramento della struttura.



FASE DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEL PROTOTIPO



FASE REALIZZATIVA DEL PROTOTIPO

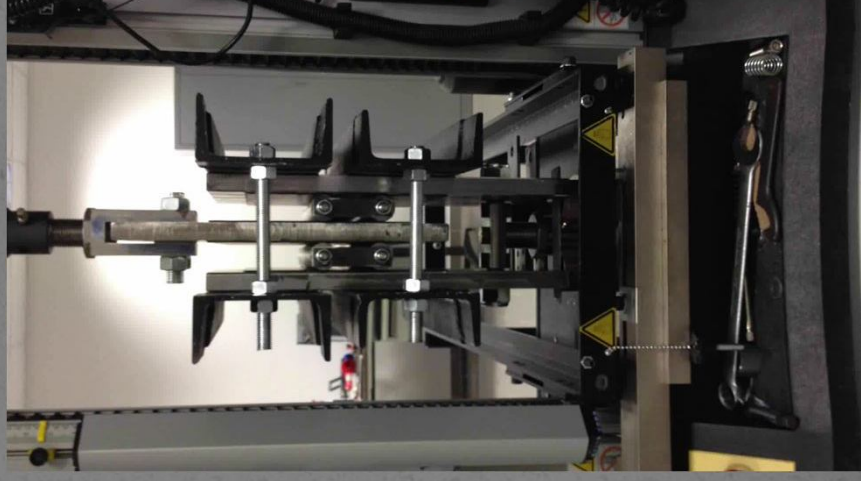
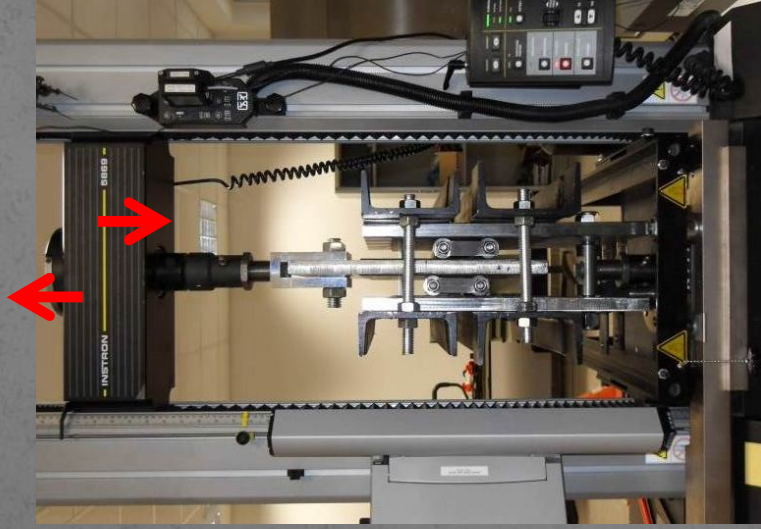


20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari
Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"

PROVE DI LABORATORIO

Le prove di caratterizzazione sono state effettuate con la macchina di prova *Instron 5869*.

La macchina di prova è del tipo elettromeccanico (capacità 50 kN) per prove cicliche a bassa frequenza.



RISULTATI DELLE PROVE

Di confronto tra i due sistemi si è ottenuta attraverso le prove effettuate con diversi valori di pre-carico verticale dimostra che il dispositivo sottoposto a prova si sono utilizzati il quadruplo dispositivo di isolamento.

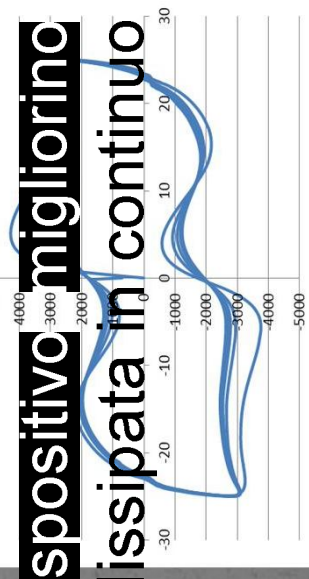
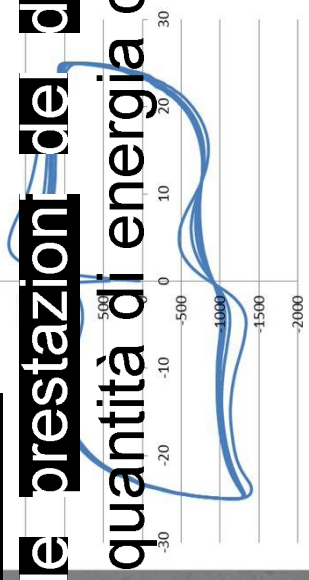
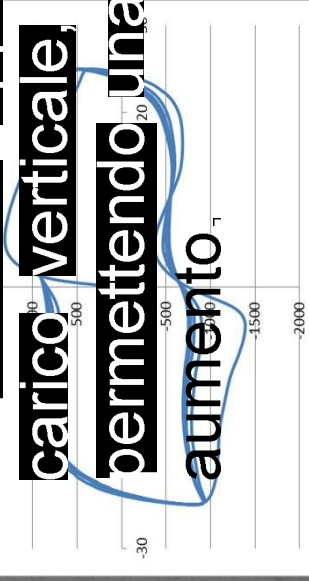
Il grafico compreso, all'interno del diagramma, funge infatti, da rappresentazione quantitativa di energia che viene dissipata tra le due zone di contatto tra i cilindri in acciaio e strato in

gomma vulcanizzata

Normal preload = 2 tons

Normal preload = 3 tons

È possibile apprezzare, inoltre, come, all'aumentare del carico verticale, le prestazioni del dispositivo migliorino permettendo una quantità di energia dissipata in continuo aumento.



ANALISI DEL TELAIO DI PROVA

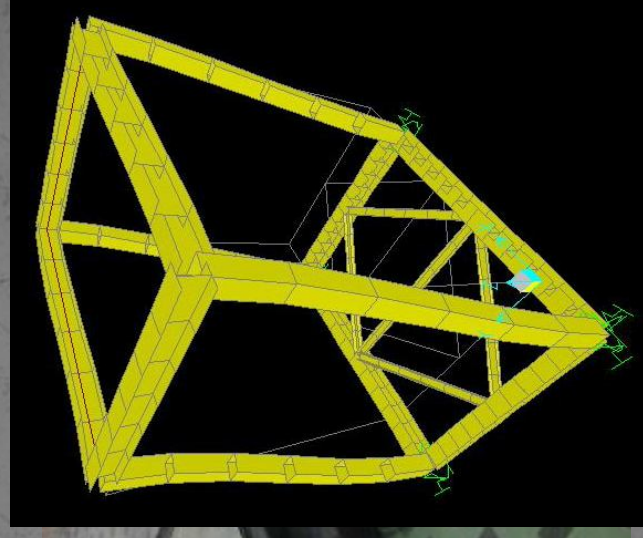
Saranno effettuate prove di laboratorio su tavola vibrante presso l'Università Federico II di Napoli, montando i dispositivi alla base del telaio in acciaio in figura.



TELAIO DI PROVA



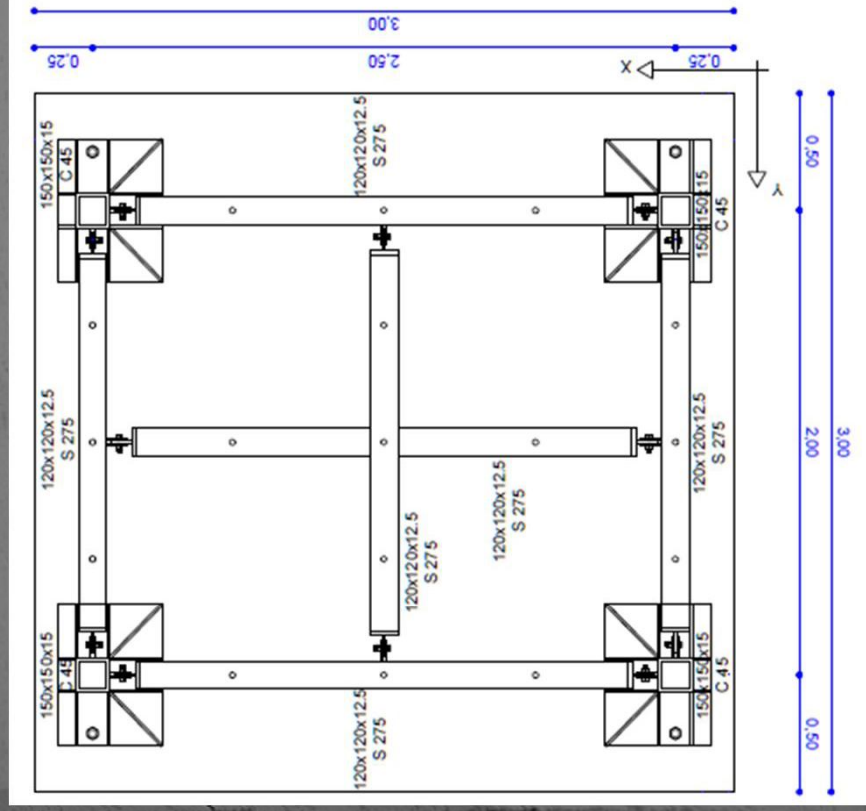
**MTAVOLA VIBRANTE
TELAIO DI PROVA**



4° MODO DI VIBRARE

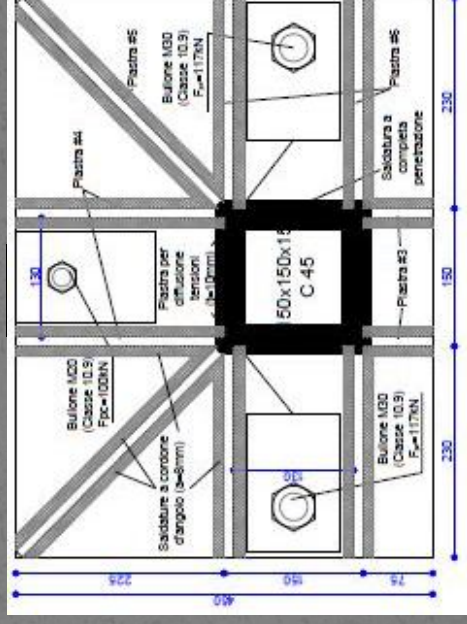
ANALISI DEL TELAIO DI PROVA

PROVE SU TAVOLA VIBRANTE



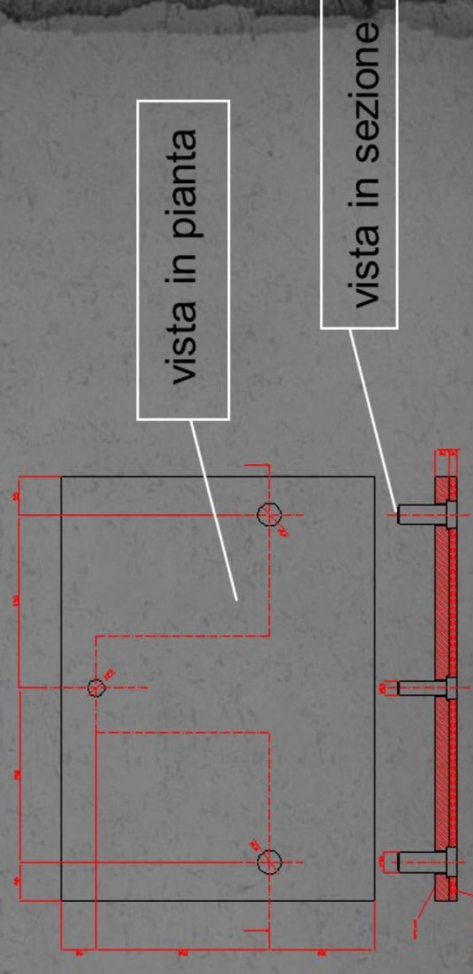
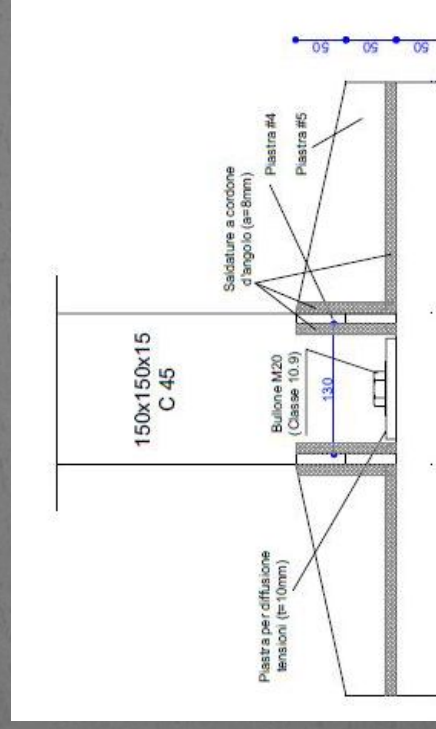
**PIASTRI COLLEGATI ALLA TAVOLA
VIBRANTE CON PIASTRE DI BASE
610 x 450 mm**

**PIASTRA ALLA TESTA DI OGNI
BULLONE PER DIFFONDERE
TENSIONI 10 x 150 mm (sp. 10)**



SVILUPPI FUTURI

1. **PROGETTAZIONE DEI COLLEGAMENTI TRA ISOLATORI RLRB SVILUPPATI E PIASTRA DI BASE DELLA STRUTTURA DI PROVA**
2. **CONFRONTO DELLA STRUTTURA SOLATA CON IL TELAJO DI PROVA A NON PROTEZIONE dell'isolatore RLRB, poi collegata**
3. **CONFRONTO DEL SISTEMA DP ISOLAMENTO PROPOSTO RLRB CON GLI ALTRI SISTEMI DI ISOLAMENTO REALIZZATI**



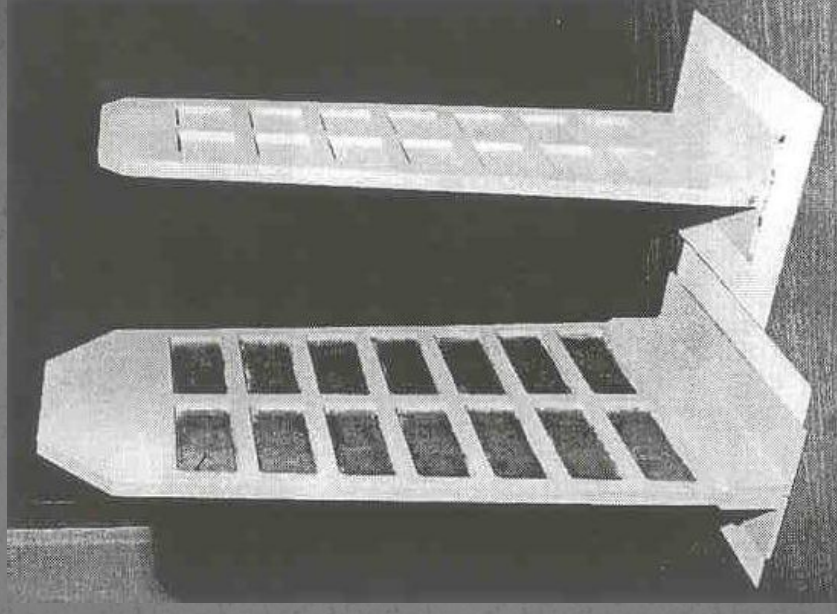
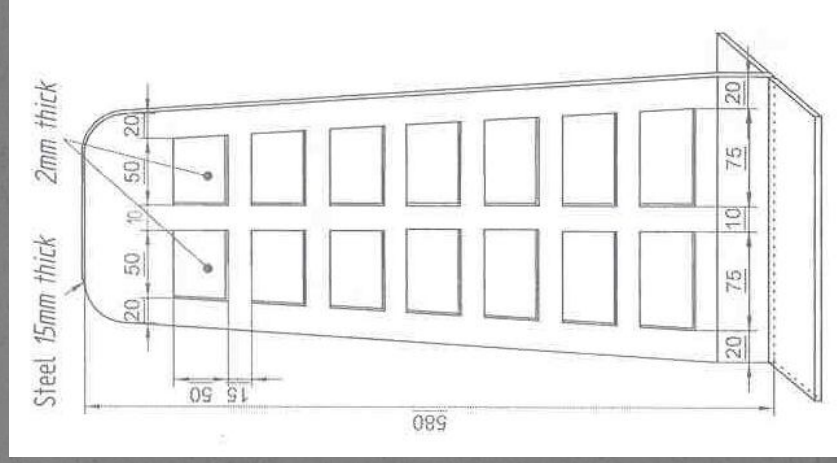
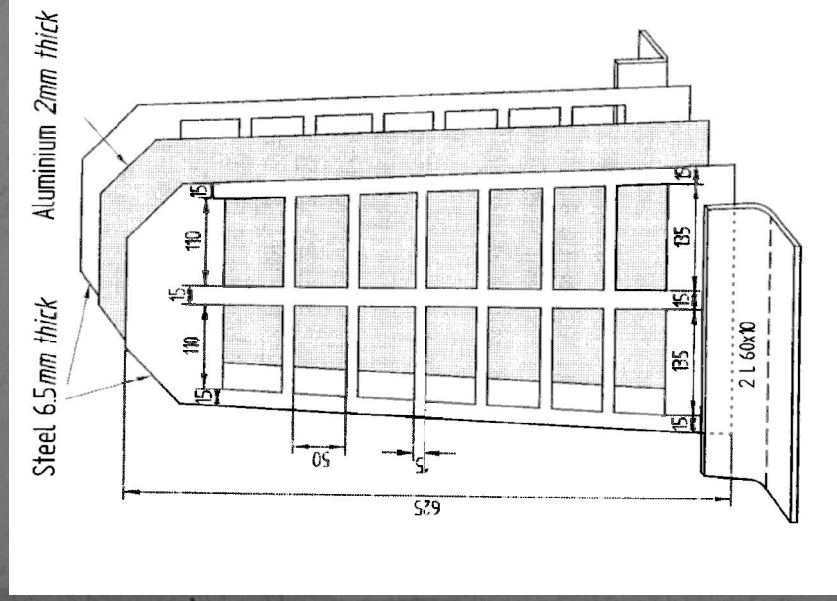
CONCLUSIONI

- I **test preliminari** **hanno restituito** informazioni utili sul **comportamento di dispositivi** di isolamento sismico di edifici e monumenti.
- Elevata capacità di smorzamento **attraverso l'utilizzo di gomma vulcanizzata**.
- Riduzione delle tensioni nello strato in gomma **attraverso una estensione dell'area di contatto permessa dall'utilizzo di elementi**
- **Possibilità di ricentraggio naturale del carico applicato**.
- Miglioramento del comportamento del dispositivo **attraverso l'aumento dello spessore della gomma e del diametro dei cilindri in acciaio**.



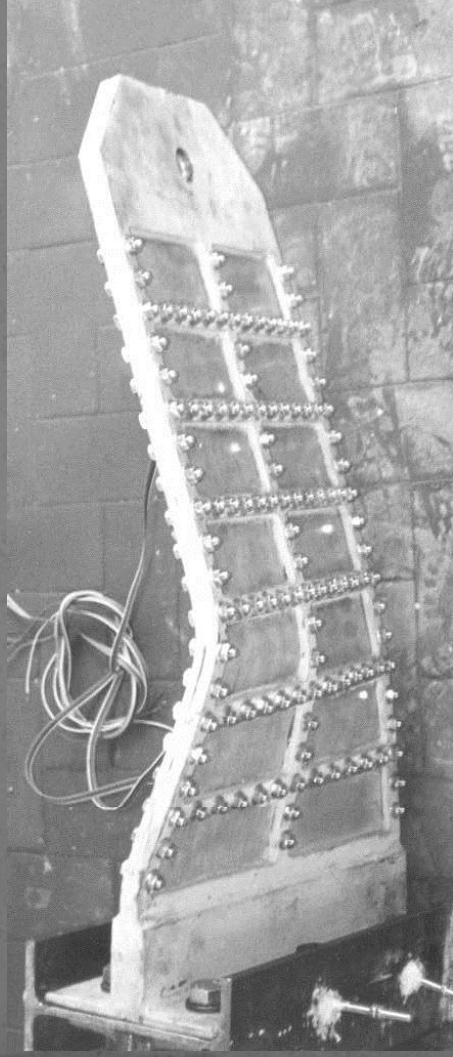
DISSIPATORE ALLUMINIO-ACCIAIO (AL SHEAR-LINK)

Geometria dei pannelli

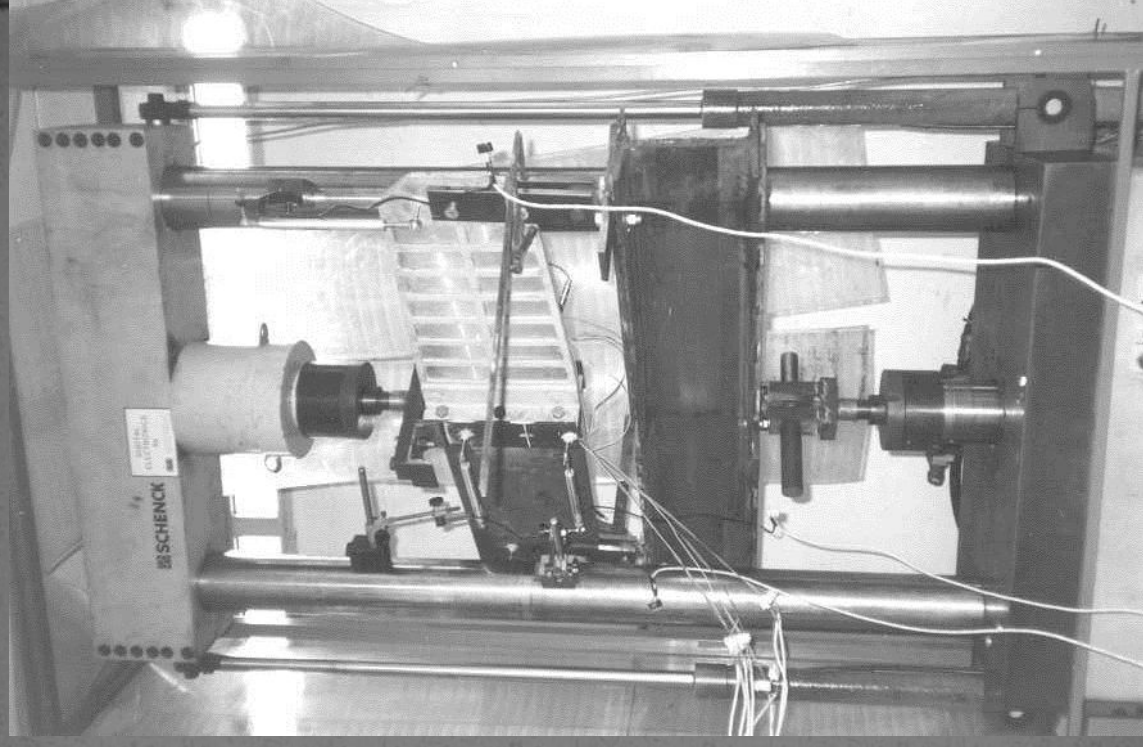


DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- PROVE DI CARATTERIZZAZIONE

- Laboratorio M. Salvati, BARI



Pannelli in alluminio bullonati



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

◆ LNEC

Schema e dimensioni principali del telaio protetto
con il pannello dissipativo

Direzione
sisma 



20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

◆ LNEC

Test set-up per i pannelli in alluminio bullonati



20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

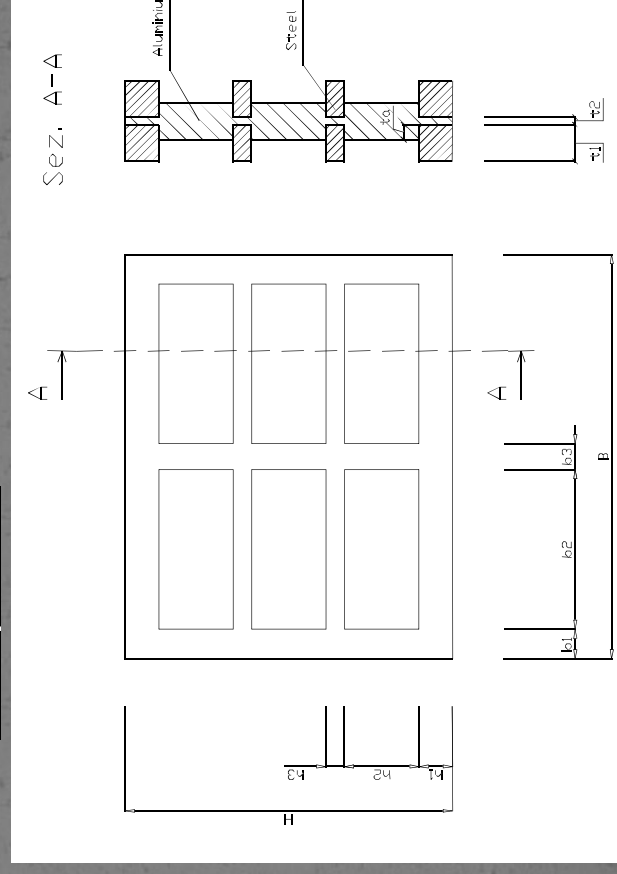
Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK – NUOVO DISSIPATORE

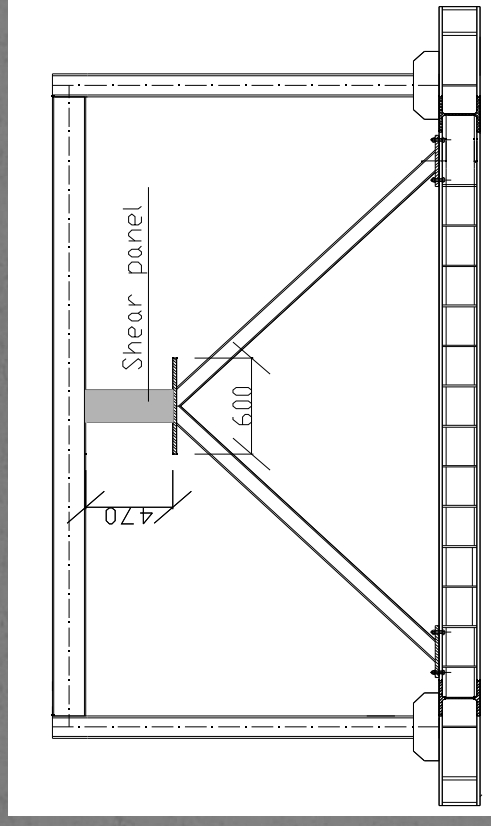
- Il dissipatore è costituito da un piatto centrale in alluminio e due laterali in acciaio
- I piatti in acciaio conferiscono al pannello la necessaria rigidità e resistenza; l'alluminio è il materiale che dissipa energia
- I piatti di acciaio presentano delle aperture da cui emerge per alcuni mm il piatto centrale in per evitare fenomeni di slittamento fra i tre elementi che costituiscono il dissipatore

Bozza dello schema del dissipatore



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

Parametri geometrici del dispositivo al shear-link



- **Dimensioni e caratteristiche in forma parametrica ottimizzata utilizzando il software Ansys.**
- **Le dimensioni globali sono state fissate in base allo spazio lasciato libero nel telaio tra la trave superiore e i diagonali.**
- **Il pannello è stato modellato come fisso alla base e capace di muoversi solo in direzione orizzontale in sommità.**
- **I materiali hanno una curva caratteristica bilineare con incrudimento isotropico.**

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

La progettazione si è basata su una procedura di ottimizzazione in grado di stabilire i valori delle dimensioni geometriche dei pannelli che producono la massima energia di dissipazione.

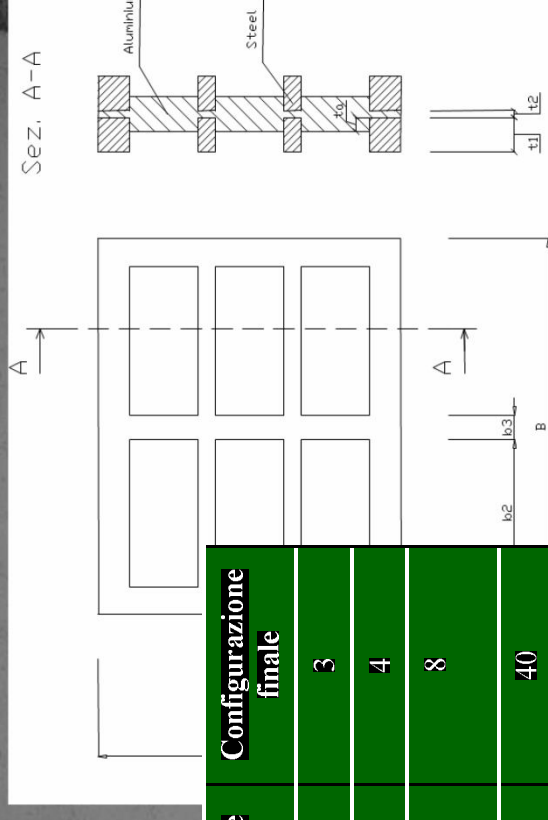
L'ottimizzazione consiste dei seguenti step:

- A) Individuazione della funzione obiettivo che deve essere massimizzata (massima energia di dissipazione nell'alluminio);
- B) Dichiarazione dei parametri che definiscono la geometria del dispositivo;
- C) Definizione dei campi di variabilità dei parametri, per escludere soluzioni non realistiche;
- D) Individuazione delle funzioni di vincolo.



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

- Alluminio serie 1000
- Acciaio S235
- Forza max orizz. 20 kN

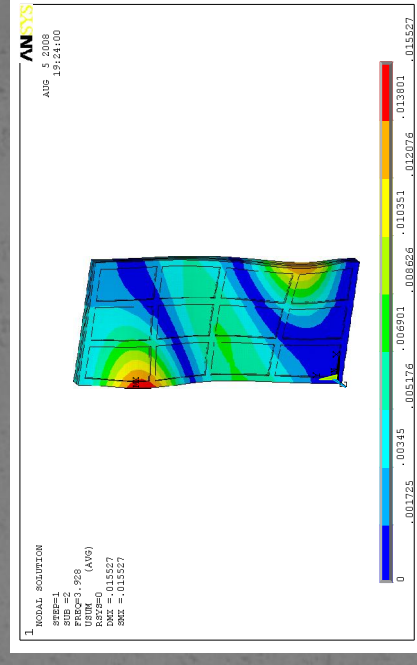
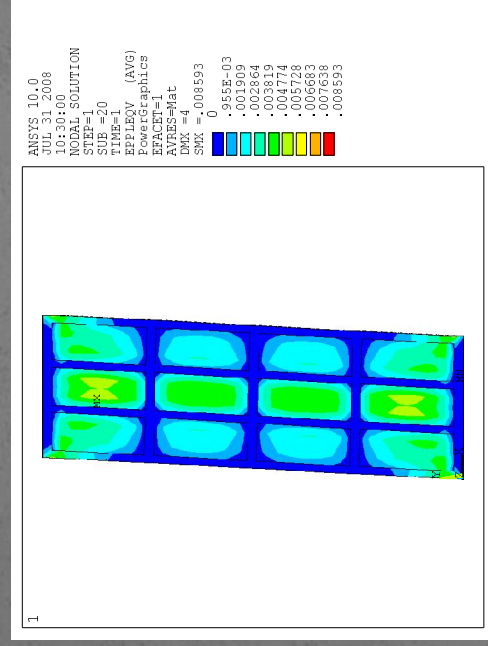


Parametri Geometrici	Campo di variabilità	Configurazione ottimale	Configurazione finale
n_x Finestre orizzontali	2-6	3	3
n_y Finestre verticali	1-4	4	4
b_1 Larghezza dell'irrigidimento in acciaio laterale [mm]	5-10	9.5	8
b_2 Larghezza della finestra in alluminio [mm]	30-200	46.4	40
b_3 Larghezza dell'irrigidimento in acciaio interno [mm]	5-10	8.4	8
h_1 Altezza dell'irrigidimento esterno in acciaio [mm]	5-10	9.8	10
h_2 Altezza della finestra in alluminio [mm]	30-200	110.8	100
h_3 Altezza dell'irrigidimento in acciaio interno [mm]	5-10	10.9	10
t_1 Spessore del piatto in acciaio [mm]	1-4	1	1
t_2 Spessore del piatto in alluminio [mm]	1-4	2.5	3
t_a Sporgenza del piatto in alluminio [mm]	1-4	2.7	3

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

La configurazione che qualitativamente mostra i migliori risultati (una distribuzione più uniforme della deformazione plastica) è il caso 3x4.

La plasticizzazione principalmente si concentra nelle aperture della piastra centrale di alluminio.



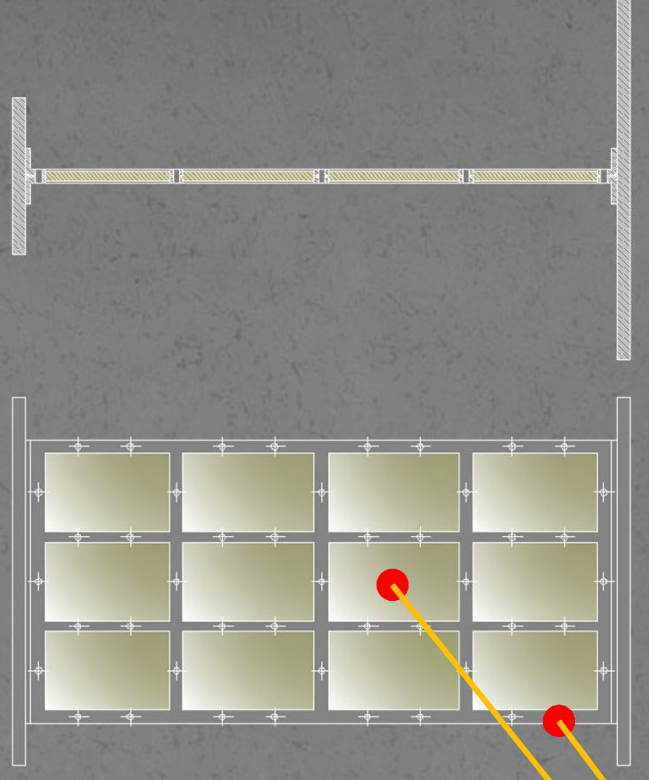
L'instabilità del dispositivo alluminio-acciaio avviene quando lo spostamento in sommità = 3.928 mm ⇒ il dispositivo può garantire un ampio campo plastico e un'elevata capacità di dissipazione di energia.

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

- **Dispositivo da 20 kN**
- **Dispositivo da 40 kN**
- **Dispositivo da 80 kN**
- **Dispositivo da 100 kN**

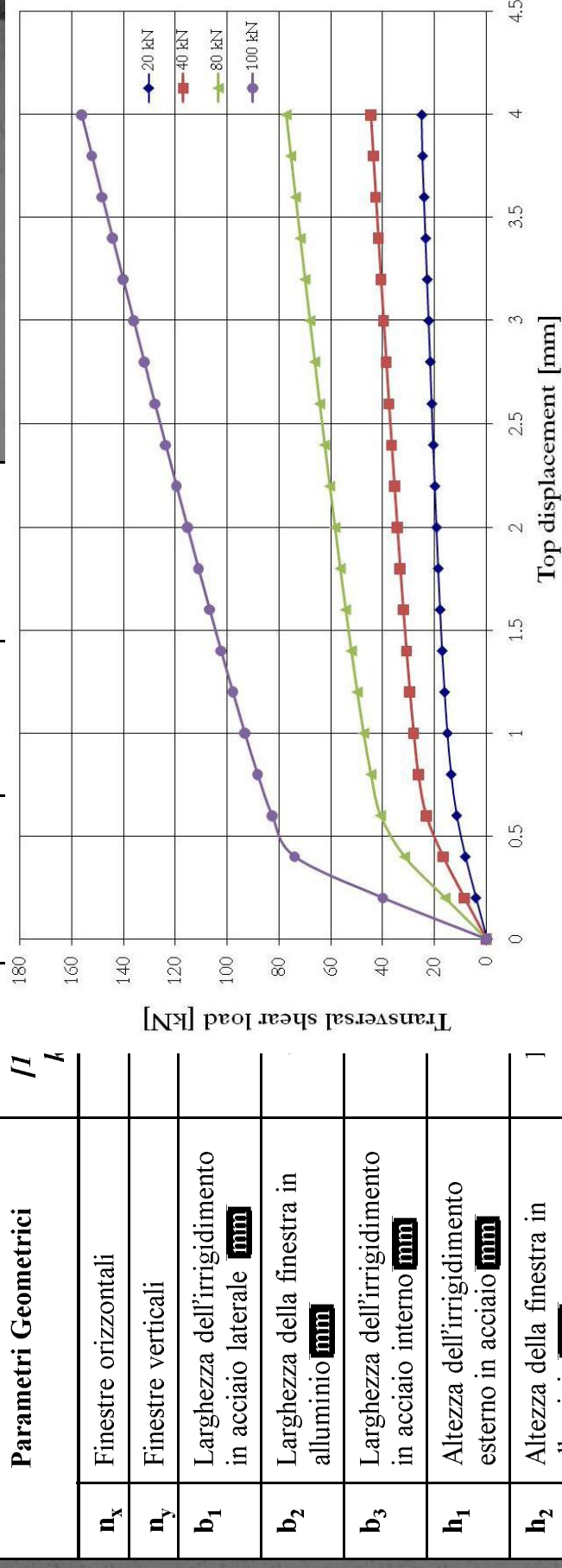
Alluminio Serie 1000

Acciaio S235



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

	20 kN	40 kN	80 kN	100 kN
--	-------	-------	-------	--------

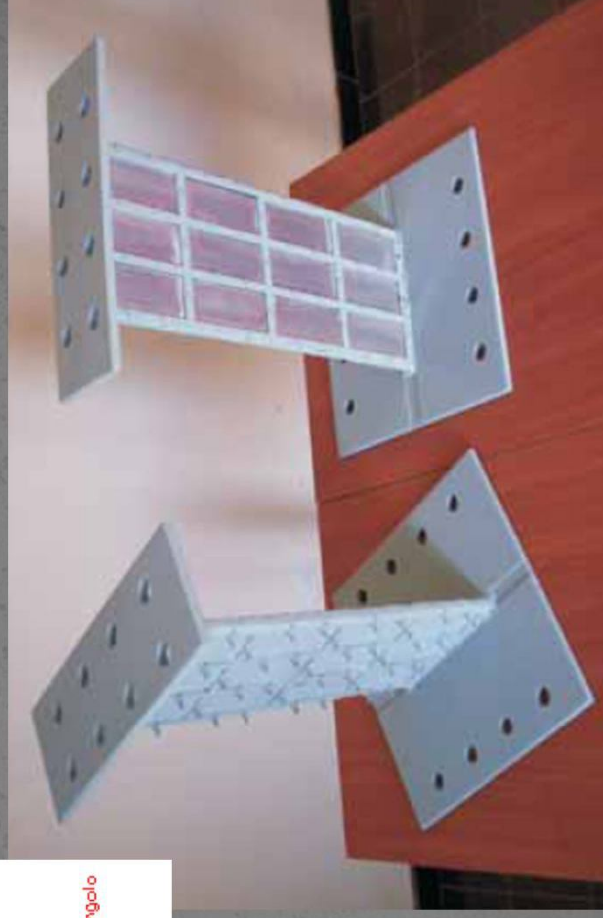
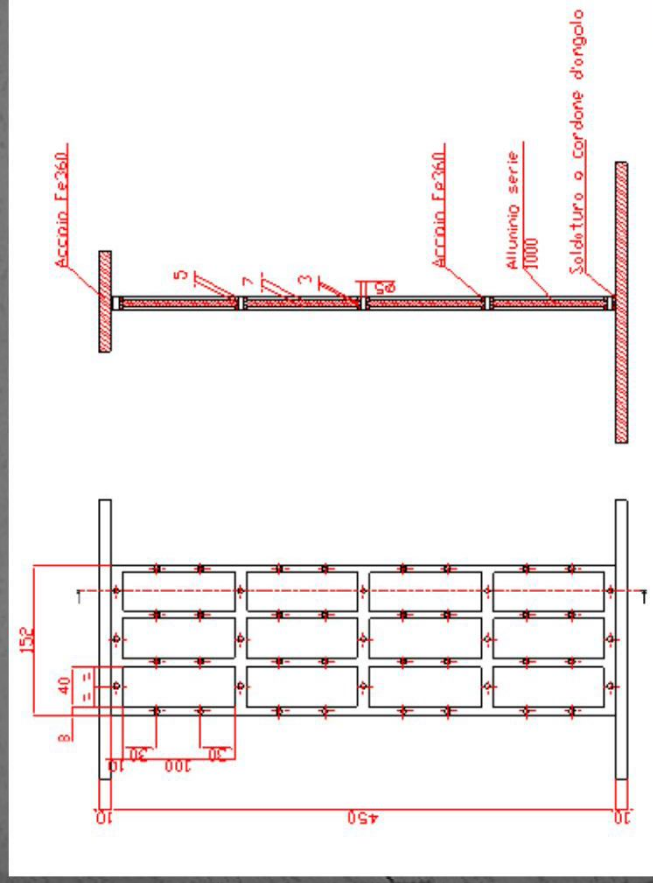


Parametri Geometrici	I/k
n_x	1
n_y	1
b_1	10
b_2	15
b_3	3
h_1	4
h_2	1
h_3	3
t_1	3
t_2	3
t_a	2



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

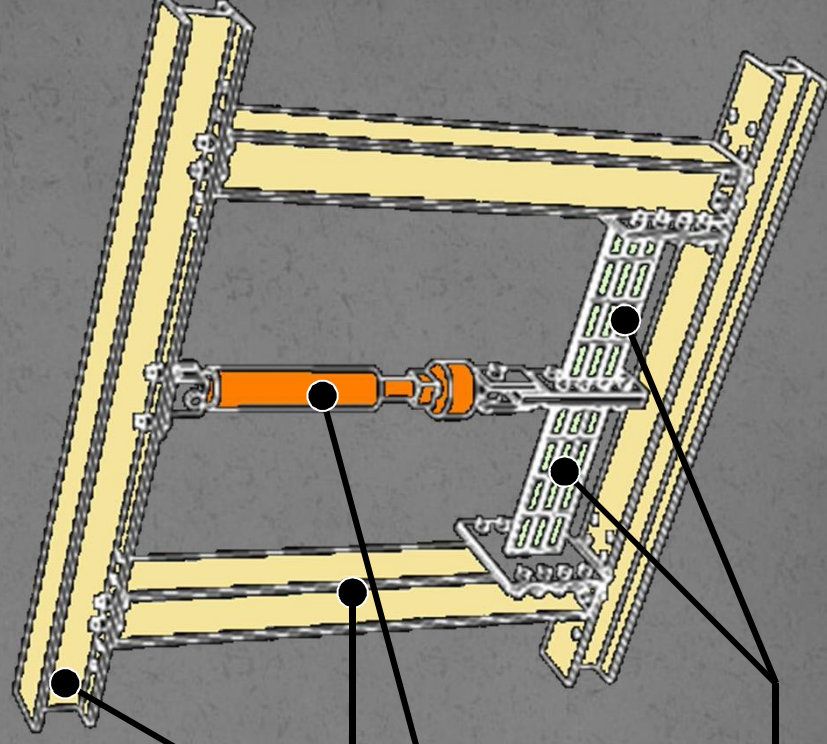
- Dispositivo da 20 kN



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

CARATTERIZZAZIONE DEI DISPOSITIVI

- MODALITA' DI PROVA -



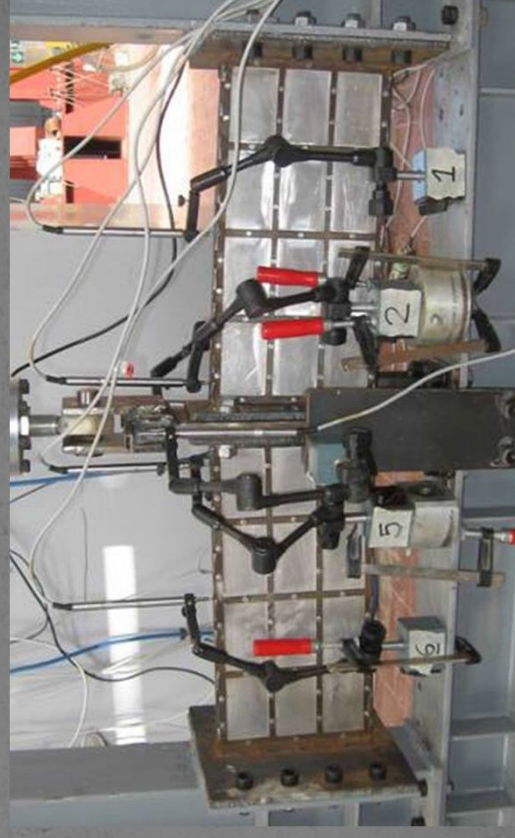
Profili HEB 140 (S235)

Martinetto idraulico da 100 kN

Dispositivi da testare



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO



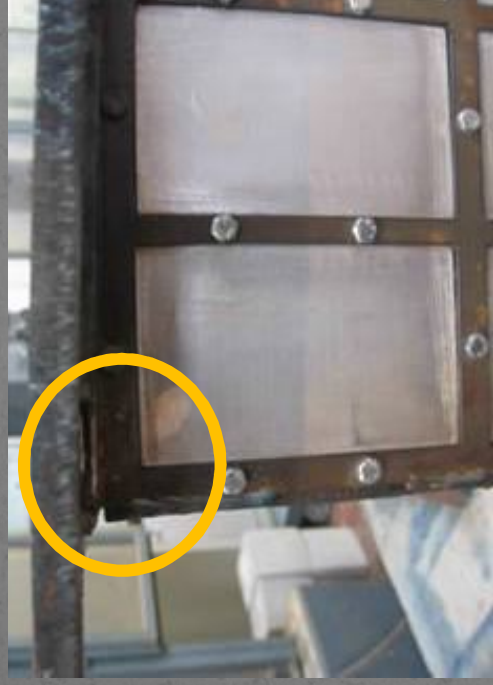
20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

ANALISI DEI RISULTATI

1- Deformazione dei lembi predisposti per la saldatura



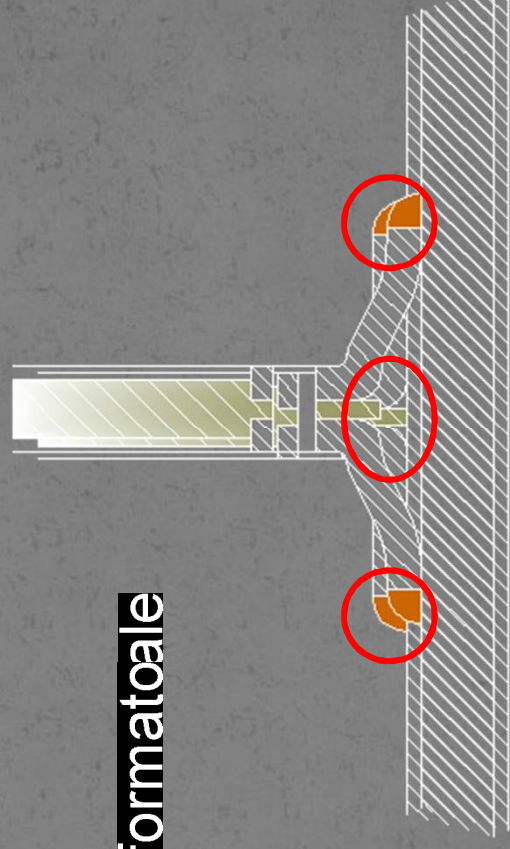
2- Slittamento tra i piatti e la lastra in alluminio

3- Deformabilità del telaio di prova

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

- Dispositivi in grado di fornire ampi cicli isteretici
- Connessione poco rigida tra pannello e piastra di collegamento

Stato deformatoale



DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

PROVE SU TAVOLA VIBRANTE

- Esito positivo nelle prove su tavola vibrante eseguite nel Laboratorio di Ingegneria Strutturale dell'università della Basilicata a Potenza

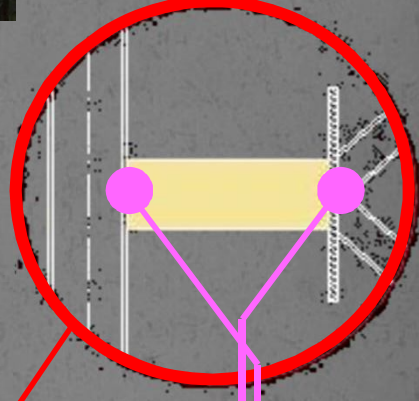
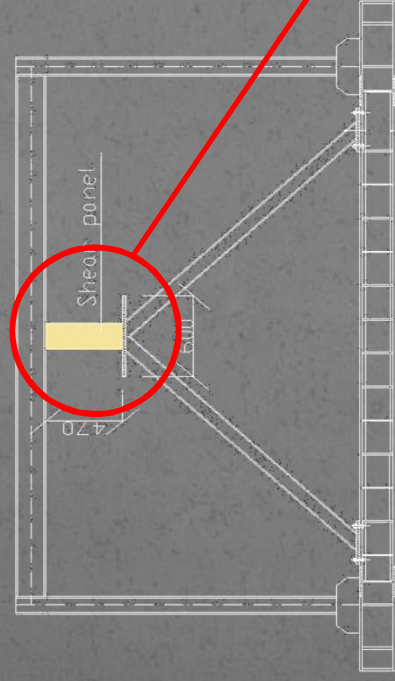


Sisma	Telaio nudo		Telaio protetto	
	massimo spostamento di piano [mm]		massimo spostamento di piano [mm]	
	1° piano	2° piano	1° floor	2° floor
000055xa	18,77	40,95	1,486	2,28
000055ya	19,28	41,85	0,99	1,59
0000182xa	10,48	23,67	2,7	4,075
0000182ya	9,935	21,23	1,465	2,28
0000290xa	16,69	36,13	0,85	1,32
0000290ya	21,56	46,53	2,9	4,58
0001231ya	16,53	36,48	1	1,58

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO

SCHEMA DI MONTAGGIO

Controvento eccentrico con
schema a V rovescia

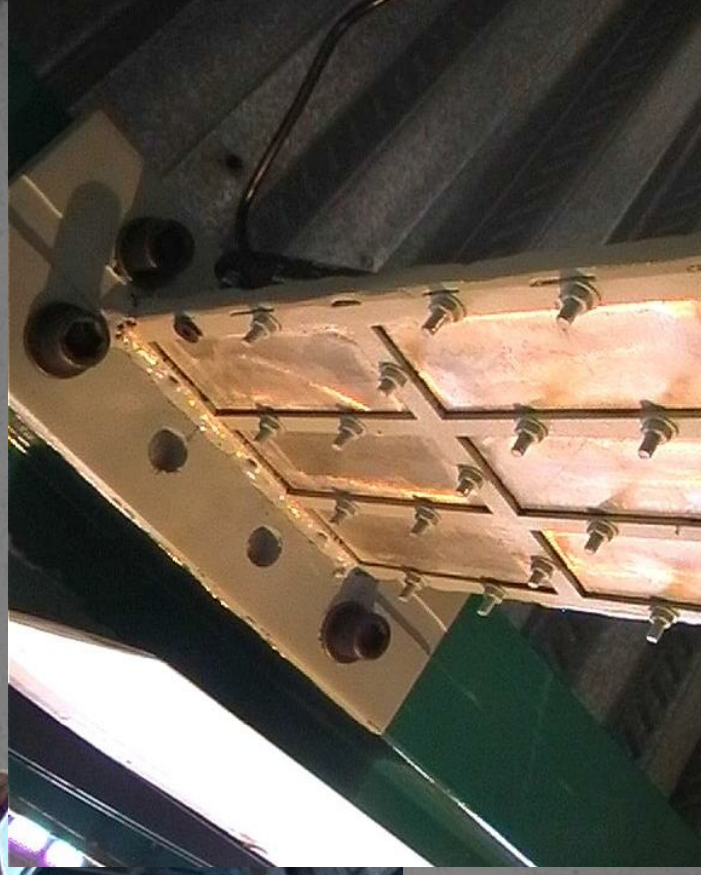


Doppio pendolo in sommità

DISSIPATORE AL SHEAR-LINK -- NUOVO DISPOSITIVO



INSERIRE FILMATO

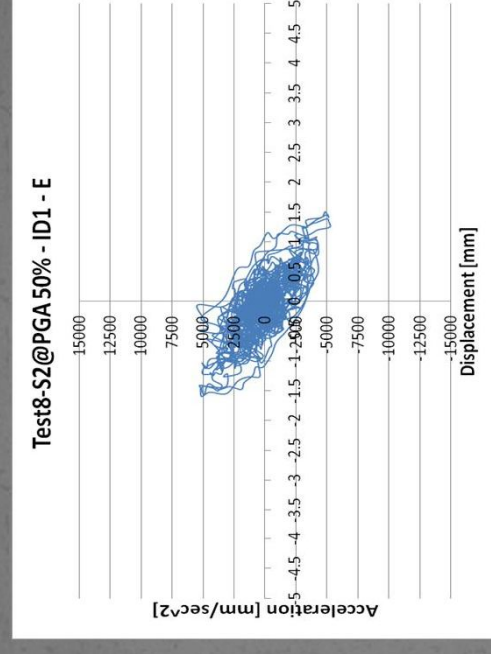
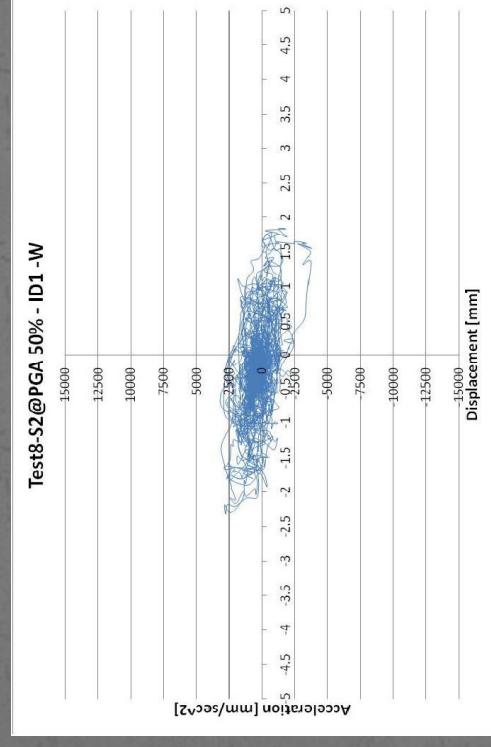


20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"



CICLO ISTERETICO DEI DISSIPATORI AL PRIMO PIANO



Pannello lato Ovest

- Occorre migliorare i particolari all'incastro in quanto prestazioni del pannello stesso.

Pannello lato Est

costruttivi del pannello in questo incide molto sulle prestazioni del pannello stesso.

- Durante le prove su tavola vibrante uno dei pannelli ha manifestato dei problemi all'incastro diminuendo l'efficacia della protezione.

GRAZIE
PER L'ATTENZIONE!

20 settembre 2013 – Zona Industriale - Sammichele di Bari

Dora Foti: "Dispositivi metallici per la protezione sismica di strutture civili ed industriali"

