



## RAPPORTO DI PROVA

Numero:

**6372/RP/19**

Data del rilascio:

**09-07-2019**

Richiedente:

**Favima S.r.l.**

**Via San Leonardo trav. Via Migliaro, 120  
84131 Salerno**

*Denominazione Commerciale del Prodotto/Campione sottoposto a prova:*

**Sistema costruttivo di contro-parete esterna di  
isolamento termoacustico realizzata con pannelli di  
tamponatura in fibrocemento fissati su una  
sottostruttura costituita da montanti verticali e trasversi  
orizzontali in acciaio, denominato "ISOLAREFLEX"**

*Prova/e eseguita/e:*

**Prove di caratterizzazione sismica:**

- prova ciclica quasi statica
  
  
- prova ciclica dinamica

*Riferimento normativo*

**FEMA 461 - Interim Testing  
Protocols for Determining the  
Seismic Performance  
Characteristics of Structural and  
Nonstructural Components (2007)  
ICC ES AC156 - Acceptance  
Criteria for seismic certification by  
shake-table testing of nonstructural  
components and systems (2010)**

### 1. Descrizione del campione sottoposto a prove

Il campione sottoposto a prova è costituito da un sistema costruttivo di contro-parete esterna di isolamento termoacustico realizzata con pannelli di tamponatura in fibrocemento fissati su una sottostruttura costituita da montanti verticali e trasversi orizzontali in acciaio, denominato "ISOLAREFLEX".

Il campione in esame (Figura 1) ha dimensioni di 2800 mm (larghezza) x 3200 mm (altezza) ed è realizzato con montanti ad interasse di 700 mm a cui sono collegati trasversi con interasse di 400 mm (Figura 2). A tale sottostruttura metallica sono poi collegati mediante tasselli di fissaggio i pannelli in fibrocemento (Figura 3).

La superficie dei pannelli viene completata con rasante, armatura e primer (Figura 4).

Le caratteristiche dei componenti del campione pervenuto e sottoposto a prova, dichiarate e fornite dal richiedente sotto la propria responsabilità, sono riportate in Tabella 1.

**Tabella 1: Descrizione dei componenti del campione sottoposto a prova**

<b>Pannello</b>	
Nome:	pannello in fibrocemento;
Spessore utilizzato:	12,5 mm;
Natura e aspetto:	pannelli a base di cemento alleggerito fibrorinforzato, con filtri in perline di polistirene e rete di rinforzo in fibra di vetro su entrambe le facce; I pannelli hanno le seguenti dimensioni: 1200 x 2400 x 12,5 mm;
Legante principale:	cemento;
Denominazione commerciale:	lastra Isolareflex;
Produttore:	Favima S.r.l.
<b>Profilati metallici</b>	
Nome:	montanti verticali costituiti da guide a scatto ad U spessore 8/10 di dimensioni 28 x 40 mm, posizionati ad interasse di 700 mm;
Materiale:	acciaio con rivestimento in zinco magnesio, ad alta resistenza alla corrosione;
Spessore utilizzato:	0,8 mm;
Produttore:	Favima S.r.l.
<b>Profilati metallici</b>	
Nome:	trasversi orizzontali costituiti da Profili a C dim. 15 x 48 mm, posizionati ad interasse di 400 mm;
Materiale:	acciaio con rivestimento in zinco magnesio, ad alta resistenza alla corrosione;
Spessore utilizzato:	0,6 mm;
Produttore:	Favima S.r.l.
<b>Fissaggi</b>	
Dimensioni:	tasselli di ancoraggio in nylon ad alta resistenza M8 x 71 mm; viti doppio filetto M8x120 mm; dadi esagonali M8 x 8 mm; rondelle a fascia M8 x 22 mm; rondelle a fascia larga M8 x 30 mm; rondelle Grower M8 x 14,8 mm; raccordi per barre filettate M8 x 13/24 mm;
Materiale:	Acciaio zincato
Produttore:	Berner S.p.a.

<b>Rasante</b>	
Nome:	rasante a base minerale;
Spessore utilizzato:	< 1,2 mm;
Tipologia materiale:	cemento, sabbie fini selezionate, leganti idraulici e sintetici, speciali additivi;
Massa volumica:	1650 kg/m <sup>3</sup> ;
Denominazione commerciale:	malta GB 831 1.2;
Produttore:	Boero Bartolomeo S.p.a.
<b>Armatura</b>	
Nome:	rete in fibra di vetro;
Misura delle maglie:	4 x 4 mm;
Grammatura:	155 g/m <sup>2</sup> ;
Produttore:	Favima S.r.l.
<b>Primer</b>	
Nome:	fondo/fissativo;
Natura, aspetto:	fondo pigmentato a base di resine acriliche;
Tipologia Materiale:	resine Acriliche;
Quantità d'impiego:	4-6 m <sup>2</sup> / kg per mano;
Denominazione commerciale:	fondo pigmentato Isolareflex;
Produttore:	Favima S.r.l.

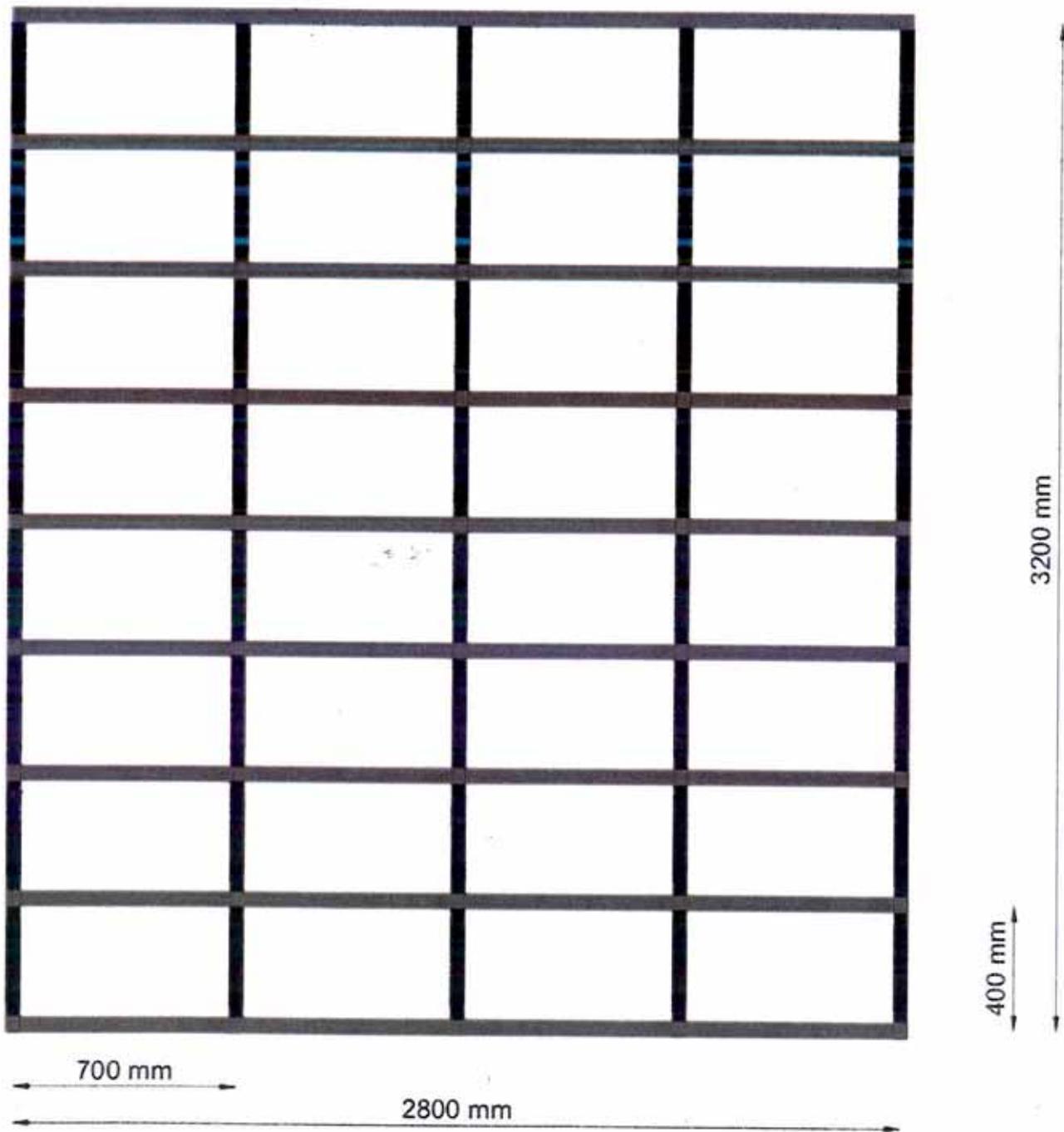


Figura 1: Schema della sottostruttura del campione costituita da montanti (in nero) e traversi (in grigio)

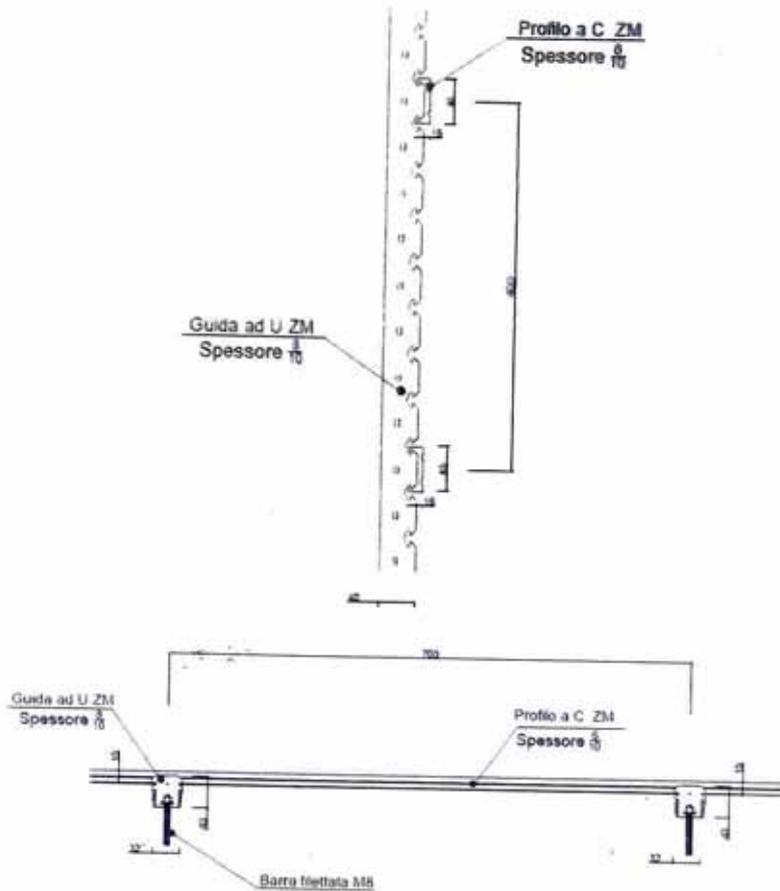


Figura 2: Sezione verticale e Sezione orizzontale del montante verticale e traverso orizzontale della sottostruttura del campione pervenuto e sottoposto a prova (dimensioni nominali dichiarate, espresse in mm)



Figura 3: Fase di montaggio dei pannelli alla sottostruttura metallica

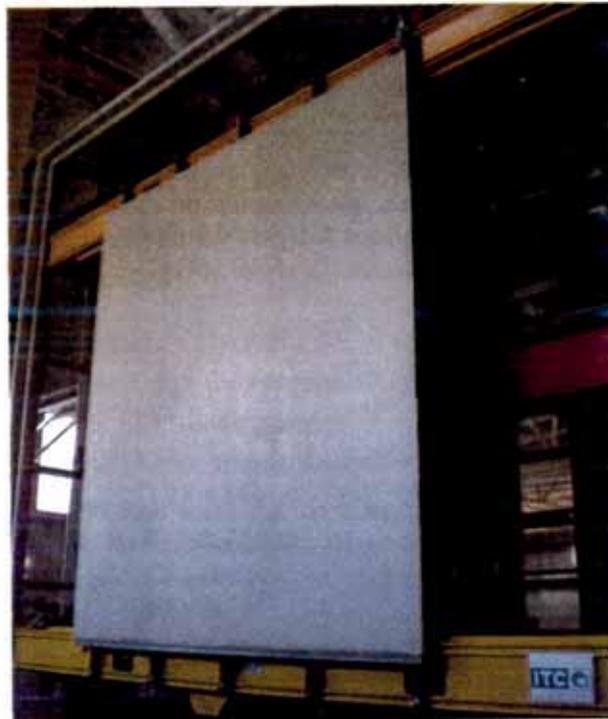


Figura 4: Vista del campione ultimato

## 2. Campionamento e procedura di preparazione del campione

Il Richiedente ha identificato i componenti del campione e condotto il campionamento sotto la propria responsabilità. Il campione è stato assemblato presso i Laboratori di ITC-CNR dallo stesso Richiedente. La procedura di preparazione del campione è stata condotta conformemente a quanto richiesto dai tecnici di ITC-CNR che si sono occupati della progettazione della prova.

## 3. Modalità di prova

Il programma di prove è stato così articolato:

- *1 prova ciclica quasi statica nel piano del pannello*, in accordo allo standard americano FEMA 461;
- *1 prova ciclica quasi statica fuori dal piano del pannello*, in accordo al medesimo standard americano FEMA 461;
- *4 prove dinamiche* con accelerogramma ottenuto in accordo alle prescrizioni dell' AC156 (ICC-ES).

Per l'esecuzione delle *prove cicliche quasi statiche* è stato utilizzato il protocollo di carico Americano, previsto dalle FEMA 461.

Il protocollo di carico fornito dalle FEMA 461 consente di valutare le caratteristiche di componenti non strutturali, quando soggetti ad azioni cicliche quasi statiche. In particolare questa tipologia di prova consente di identificare gli *stati rilevanti di danneggiamento*, i *parametri di domanda sismica* (nel caso specifico delle tamponature, il parametro di domanda sismica è lo spostamento di interpiano, *drift*) e di stabilire la relazione tra il livello di danneggiamento e la domanda associata.

La storia di carico consiste in due cicli della stessa ampiezza ripetuti per ogni step di spostamento crescente, e deve rispettare le seguenti condizioni:

- l'ampiezza dello spostamento minimo deve essere sufficientemente più piccola dell'ampiezza a cui si osserva il primo danneggiamento del componente;
- l'ampiezza dello spostamento massimo deve corrispondere allo spostamento in corrispondenza del quale si ipotizzi che abbiamo inizio il più severo livello di danneggiamento del component;
- il numero di step (o di incrementi) nella storia di carico deve essere almeno pari a 10;

- l'ampiezza  $a_{i+1}$  dello step  $i+1$  (non di ogni ciclo, dal momento che ogni step ha due cicli) è data dalla seguente formula:

$$a_{i+1} = 1.39a_i$$

Questa equazione è stata calibrata in modo da rappresentare la risposta di un sistema ad un solo grado di libertà (massa-molla) quando soggetto ad un set di accelerogrammi spettro-compatibili con uno spettro di progetto da Eurocodice 8 (EN 1998:1:2005) su suolo di tipo B e con una accelerazione di picco su suolo rigido di 0.35g.

Gli incrementi di spostamento che compongono la storia di carico devono essere sufficientemente piccoli di modo che:

- gli effetti dinamici siano trascurabili;
- i valori dei parametri di deformazione, in corrispondenza dei quali si osserva l'inizio dei vari stati di danneggiamento, sia chiaramente identificabile;
- gli effetti termici dovuti all'incrudimento siano trascurabili
- la richiesta di energia sia ragionevole.

Gli incrementi di spostamento devono essere sufficientemente grandi da fare in modo che:

- la durata del test non sia eccessiva;
- l'effetto di creep sia trascurabile;
- il numero di cicli a cui è sottoposto il componente all'inizio di un stato di danneggiamento significativo sia dello stesso ordine di grandezza di quello a cui è soggetto un componente reale in un edificio soggetto a terremoto. Particolare cura deve essere posta per evitare fenomeni di fatica.

Seguendo le indicazioni delle FEMA 461, per il sistema Isolareflex si propone il protocollo di carico in controllo di spostamento riportato in Figura 5. Esso è caratterizzato da:

- spostamento iniziale=2.3 mm (drift=0.07%);
- spostamento massimo= 94 mm (drift=2.94%);
- numero di step=12;
- velocità attuatore: 0.5 mm/sec fino allo step n°5 (spostamento in sommità 9 mm);  
1.0 mm/sec dallo step n°6 allo step n°12
- durata complessiva prova: 45 minuti.

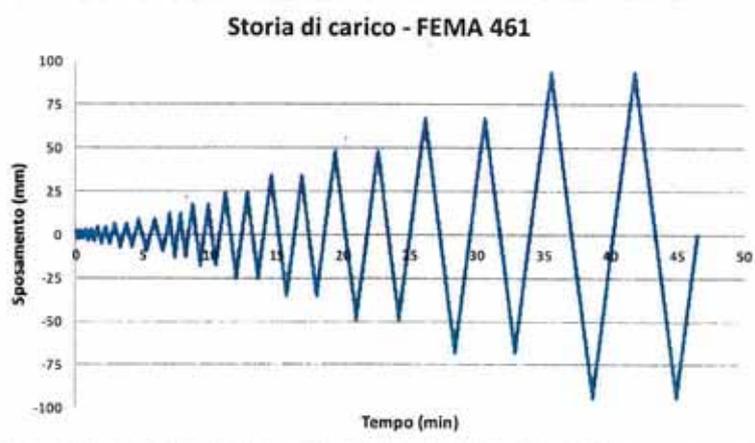


Figura 5: Protocollo di carico in accordo a FEMA 461

Le prove dinamiche sono state condotte utilizzando il protocollo di carico previsto dai Criteri di Accettazione americani - AC 156 "Acceptance Criteria for seismic qualification by shake-table testing of nonstructural components and systems".

secondo quanto stabilito dall'AC156, l'input viene fornito alla macchina sismica per mezzo di accelerogrammi rappresentativi di terremoti target che agiscono simultaneamente lungo le due direzioni orizzontali del piano, x e y. Le storie di accelerazione nelle due direzioni sono ottenute in maniera tale da essere spettro-compatibili con il Required Response Spectrum (RRS) previsto dall'AC156.

Lo spettro di risposta richiesto (RRS) è riportato in Figura 6, sia per la componente orizzontale che per la componente verticale. Esso è definito utilizzando un valore dello smorzamento pari al 5% dello smorzamento critico.

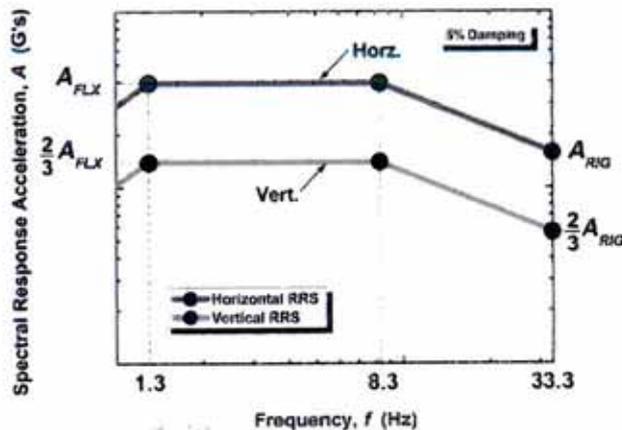


Figura 6. Required Response Spectrum da AC156

I valori di  $A_{FLX}$  e  $A_{RIG}$  sono così definiti:

$$A_{FLX} = \max \left( S_{DS} \left( 1 + 2 \frac{z}{h} \right); 1.6 S_{DS} \right);$$

$$A_{RIG} = 0.4 S_{DS} \left( 1 + 2 \frac{z}{h} \right);$$

dove:

- $z/h$  è il fattore di altezza e tiene conto della quota di installazione del componente all'interno della struttura e varia da zero, a livello della fondazione, ad 1, a livello dell'ultimo impalcato. Esso rappresenta un valore di amplificazione della forza che tiene conto dell'amplificazione dinamica che si ha all'aumentare della quota;
- $S_{DS}$  è il fattore di accelerazione spettrale che dipende dal sito di riferimento e dalle condizioni di suolo. Nell'International Building Code, esso è definito come

$$S_{DS} = \frac{2}{3} F_A \cdot S_s$$

dove  $F_A$  è un coefficiente di suolo dipendente dal sito e  $S_s$  è l'accelerazione spettrale a bassi periodi relativa al "maximum considered earthquake" definito dall'International Building Code.

In questo caso è stato assunto un valore di 1.00 g

Per la scelta degli accelerogrammi spettro-compatibili si utilizza la seguente procedura:

1. Si individua un accelerogramma di base (Figura 7), che abbia le seguenti caratteristiche (come richiesto da AC156):
  - a. I segnali devono essere eccitazioni casuali a banda larga non stazionaria con contenuto in frequenza nel range 1.3 Hz - 33 Hz;
  - b. La composizione dei segnali sono eccitazioni casuali con frequenze multiple, le cui ampiezze sono modificate manualmente o automaticamente in base alle bande delle frequenze multiple;
  - c. È utilizzata una risoluzione con ampiezza di banda pari ad un sesto per ottava;

- d. La durata totale dell'input sismico è di 30 secondi, con carattere non stazionario essendo caratterizzato da un segnale di input innesco - strong motion - disinnesco di 5 sec, 20 sec e 5 sec rispettivamente;
- e. La durata dell'input contiene almeno 20 secondi di strong motion;

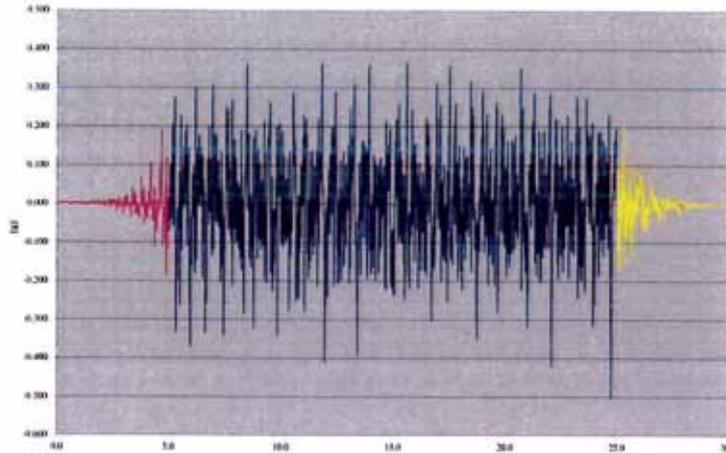


Figura 7: Esempio di accelerogramma di base

- 2. L'accelerogramma di base viene modificato mediante l'utilizzo del software RSP Match di modo che esso sia spettro compatibile con lo spettro di risposta richiesto (RRS). L'AC156 prescrive per il TRS un valore minimo ed uno massimo, che sono rispettivamente l'RRS e il suo incremento del 30% nel range di frequenza che va da 1.3 Hz a 33.3 Hz. È inoltre specificato che l'accelerazione di picco della tavola vibrante debba essere almeno pari al 90% di  $A_{RIG}$ .

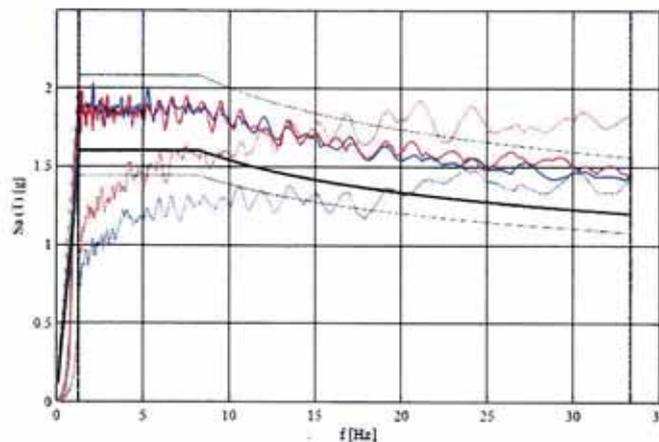


Figura 8: Spettri in accelerazione prima e dopo l'operazione di matching: in nero il RRS, le curve tratteggiate rappresentano i limiti inferiore (90% RRS) ed il limite superiore (130% RRS).

Eseguendo una doppia integrazione degli accelerogrammi è possibile ottenere l'andamento delle velocità e degli spostamenti. A partire dal profilo di spostamenti è possibile capire se gli accelerogrammi sono riproducibili dalla macchina sismica. Qualora ciò non fosse possibile è necessario eseguire l'operazione specificata al punto 3.

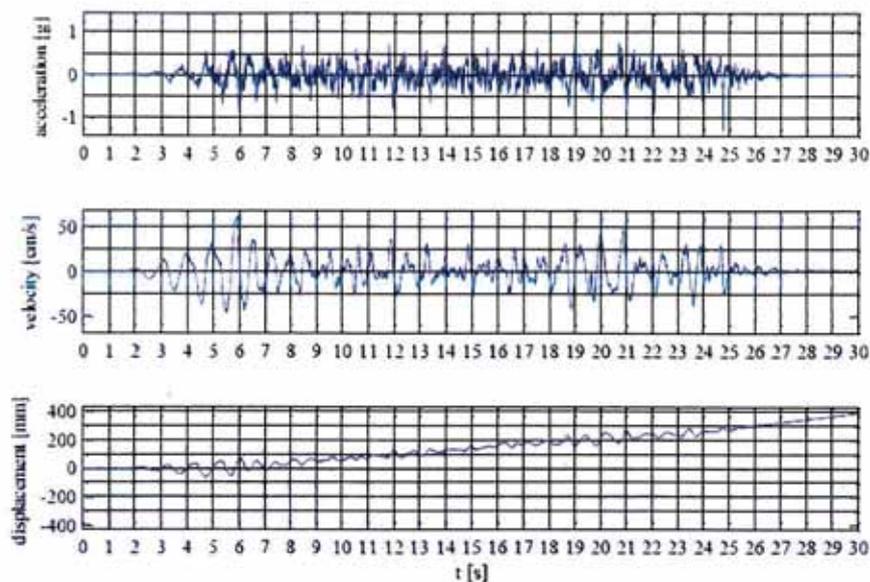
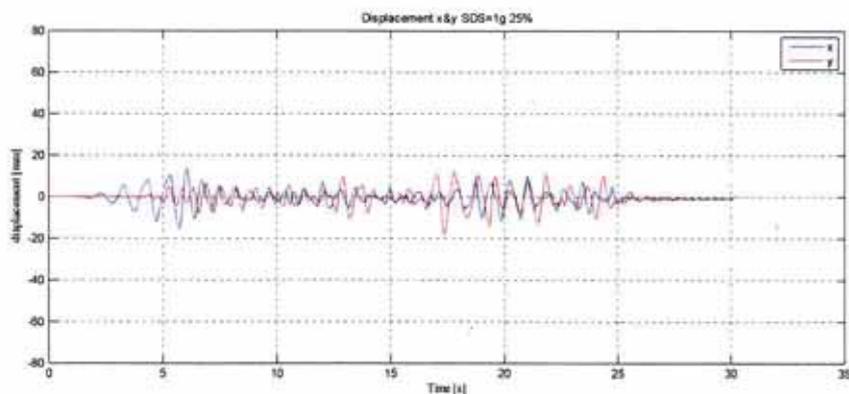


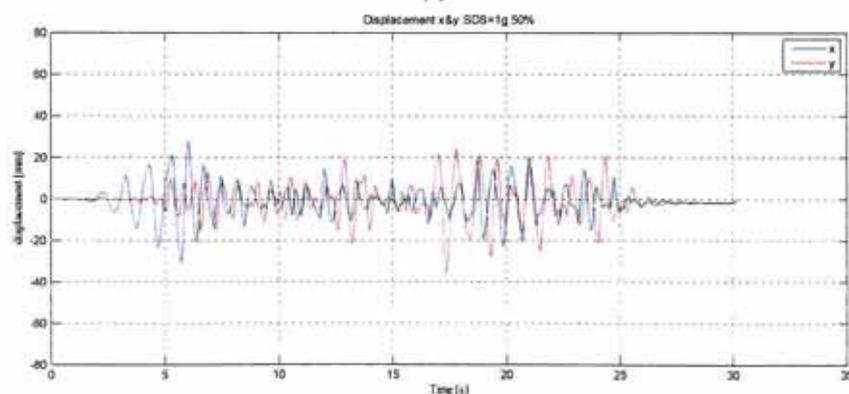
Figura 9: Storie temporali in termini di accelerazione, velocità, spostamento

- Il record ottenuto al punto 2 viene filtrato con un filtro passa-banda per aderire ai limiti della macchina vibrante. Questa operazione consente di eliminare le oscillazioni a frequenza elevata, non riproducibili dalla macchina e in modo da ridurre sia la velocità che lo spostamento massimo della macchina sismica.

storie di spostamento ottenute mediante la suddetta procedura ed applicate al sistema sono riportate in Figura 10. Anche per il protocollo proposto dall'AC 156, le storie di spostamento sono state applicate con ampiezza scente: 25% (Figura 10a), 50% (Figura 10b), 75% (Figura 10c) e 100% (Figura 10d). Gli spostamenti sono stati applicati alla trave sismica contemporaneamente nelle due direzioni.

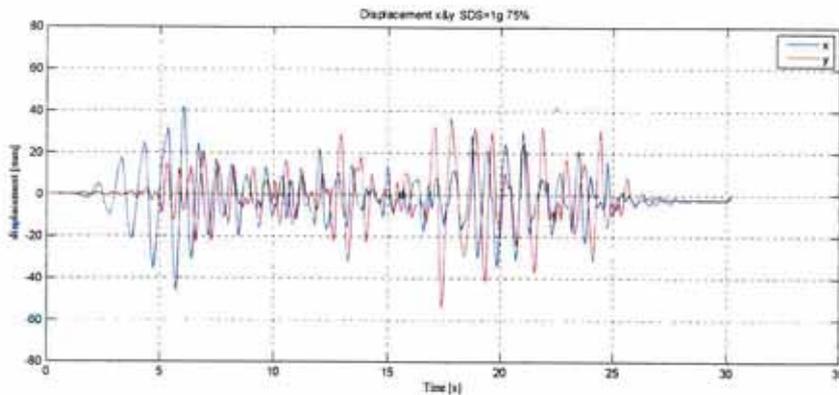


(a)

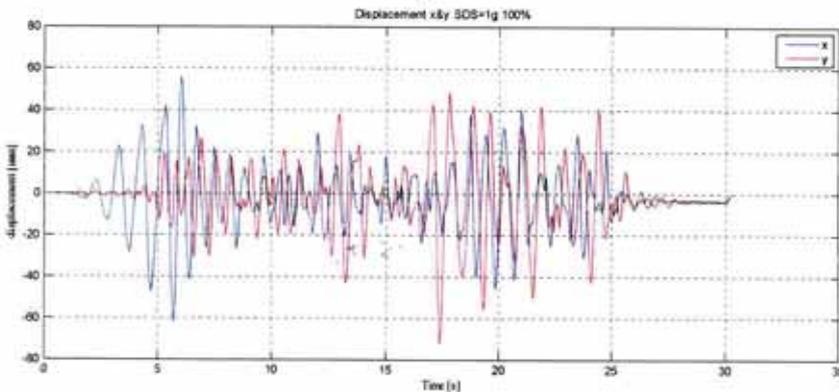


(b)

01.10  
00  
00  
0001  
5:55  
8450  
5497



(c)



(d)

**Figura 10: Profili di spostamento in direzione x (blu) e y (rosso) per prove dinamiche in accordo ad AC156, amplificato al (a) 25%, (b) 50%, (c) 75% e (d) 100%.**

### Apparecchiatura di prova

L'apparecchiatura di prova, utilizzata per condurre il test dinamico sul campione, si trova presso l'Istituto per le Tecnologie della Costruzione (ITC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) a San Giuliano Milanese (MI).

**Descrizione:** Sull'apparecchiatura è possibile installare facciate in vera grandezza fino a 5600 mm di larghezza e 8000 mm di altezza. Queste possono essere montate alla struttura intelaiata in acciaio in corrispondenza dei diversi livelli: una trave fissa alla base e due travi mobili al secondo e terzo livello (Figura 11).

Le travi sono dotate di canaline di ancoraggio, al fine di poter installare varie tipologie di sistemi di facciata, pannelli e partizioni. Le travi mobili sono connesse ad un sistema di attuatori idraulici controllati dinamicamente. Un sistema di sollevamento meccanico delle travi permette di ottenere diverse altezze di interpiano. Gli spostamenti in piano della facciata sono prodotti da un attuatore idraulico a doppio stelo, posizionato su ogni trave mobile, con una capacità di carico di 200 kN e uno spostamento massimo di  $\pm 85$  mm. Gli spostamenti fuori dal piano sono ottenuti da due attuatori a doppio stelo (per ogni trave) con una capacità di carico di 100 kN e uno spostamento massimo di  $\pm 85$  mm (Figura 11). I due attuatori possono lavorare in controfase per ottenere spostamenti fuori dal piano (2-3 livello) fino a  $\pm 170$  mm. È prevista la possibilità di impartire spostamenti dinamici ad alte frequenze. Gli attuatori sono interfacciati con un sistema di controllo che permette di applicare le storie e le ampiezze di spostamento, le frequenze ed il numero di cicli desiderati.

Inoltre, l'apparecchiatura è composta da:

**Struttura di supporto in acciaio:** sufficientemente rigida da contrastare le azioni indotte dalle travi mobili.

**Travi mobili:** n. 2 travi in acciaio supportate su vincoli a basso attrito, controllate da un sistema di attuatori idraulici (Travi T2 in Figura 11).

**Sistema di sollevamento travi:** connesso alle travi mobili per permettere diverse altezze di interpiano.

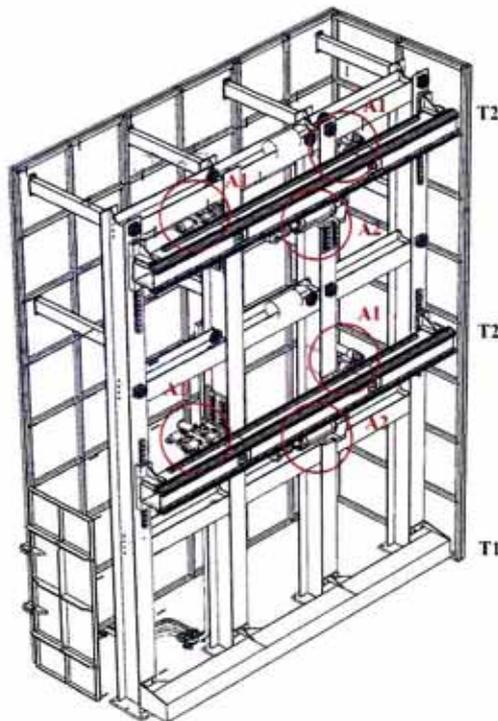
80110  
5,00  
/00  
10001  
05:35  
28450  
05497

*tema di attuatori idraulici controllato:*

- N. 2 attuatori di tipo A2 (spostamenti nel piano): cilindro idraulico  $\varnothing 157 \times \varnothing 110$  massima forza statica di 200 kN, corsa utile totale di 170 mm, frequenza fino a 30 Hz.
- N. 4 attuatori di tipo A1 (spostamenti fuori piano): cilindro idraulico  $\varnothing 102 \times \varnothing 063$  massima forza statica di 100 kN, corsa utile totale di 170 mm, frequenza fino a 30 Hz.

*tema di controllo e acquisizione dati:*

- Trasduttori di forza e spostamento:
  - Su attuatori di tipo A2: n.1 cella di carico montata sullo stelo, portata massima 200 kN; n.1 trasduttore di spostamento magnetostrittivo, accuratezza 0,2%.
  - Su attuatori di tipo A1: n.1 cella di carico montata sul cilindro, portata massima 100 kN; n.1 trasduttore di spostamento magnetostrittivo, accuratezza 0,2%.
- Dispositivo di acquisizione dati e controllo.
- Software di gestione e controllo.



**Figura 11: Rappresentazione schematica dell'apparecchiatura di prova**  
(T1 – trave fissa, T2- trave mobile, A1- attuatori fuori piano, A2- attuatori nel piano).

**Setup di prova**

L'esecuzione delle prove descritte qui di seguito, i montanti del sistema Isolareflex sono stati collegati ad una struttura costituita da 5 profili tubolari in acciaio S25JR (Figura 12) di lunghezza 3900 mm e sezione di dimensioni 60 x 60 x 4 mm. Tali profili sono collegati alle travi dell'apparecchiatura utilizzata per l'esecuzione delle prove sismiche, in modo da simulare un elemento di tamponatura, a cui il sistema di contro-parete esterna Isolareflex è attaccato. Il setup di prova così realizzato segue i movimenti della struttura primaria, simulata dal movimento dell'apparecchiatura sismica descritta al §4, trasferendoli direttamente al sistema oggetto di studio.

A 80120  
16,00  
C1/00  
IC10001  
D: 05-95  
8028450  
4805497





DA BOLLO  
 €16,00  
 1/00  
 WIC10001  
 TO: 05:55  
 CRDZ8450  
 14805497

2: Setup di prova con profili tubolari per il collegamento del sistema Isolareflex all'apparecchiatura di prova

### Risultati ottenuti

Le prove quasi statiche e dinamiche sono riportate in termini di livello di danneggiamento atteso durante i test.

Le prove cicliche quasi statiche nel piano e fuori dal piano del pannello mostrano che il campione non evidenzia danni per nessun livello di spostamento della trave superiore della macchina: fino a rapporti di spostamenti piano (IDR=interstory drift ratio) pari al 2.94% dell'altezza del provino (3.2 m, assimilabile ad altezza di un edificio per civile abitazione) non sono riscontrabili danneggiamenti.

Il campione, sottoposto successivamente a storie di spostamento in condizioni dinamiche, con livelli di intensità moderata (Figura 10) fino a 60 mm (IDR=1.8%), sia nel piano che fuori dal piano del pannello, non evidenzia danni.

### Osservazioni

Durante le prove cicliche quasi statiche e dinamiche, è stato possibile osservare uno scorrimento in orizzontale dei pannelli all'interno delle guide verticali (montanti) a cui sono collegati, consentendo il disaccoppiamento del moto trasversale da quello della struttura primaria.



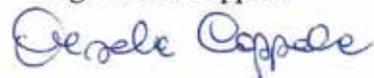
Figura 13: Particolare dello scorrimento del traverso alla base del campione rispetto al montante, evidenziato durante le prove quasi statiche e dinamiche.

#### Limitazioni

Questo RP non rappresenta né una valutazione di idoneità all'impiego né un certificato di costanza di prestazione del prodotto. I risultati ottenuti si riferiscono unicamente ai campioni sottoposti a prova.

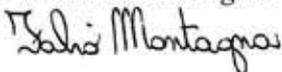
**Responsabile della Prova**

*Ing. Orsola Coppola*



**Operatore**

*Per. ind. Fabio Montagna*



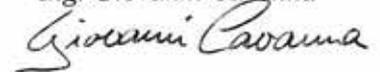
**Responsabile dell'Unità di Ricerca**

*Ing. Antonio Bonati*



**Responsabile del Laboratorio**

*Ing. Giovanni Cavanna*



**Direttore**

*Prof. ing. Antonio Occhiuzzi*

