

Laboratori Eucentre

Telaio pluripiano per prove dinamiche sperimentali su tavola vibrante di elementi non strutturali

Davide Bolognini¹, Paolo Dubini², Filippo Dacarro³ ■

Nel costante impegno dedicato allo sviluppo tecnologico dei laboratori di prova, la Fondazione è attiva su tre fronti principali: l'estensione a 6 gradi di libertà della tavola vibrante multiassiale, la realizzazione di una configurazione a doppia tavola vibrante per la simulazione sismica di effetti interpiano, la valutazione di fattibilità di un telaio pluripiano per prove dinamiche su elementi non strutturali.

I primi due fronti riguardano in modo specifico il 6D-LAB: se il primo è da ritenere praticamente concluso e permetterà d'ora in avanti di effettuare anche test dinamici triassiali, il secondo è in fase di avvio (se ne prevede il completamento nell'arco di 12 mesi) e consentirà di simulare accelerazioni e spostamenti relativi di una qualunque coppia di piani attigui di un edificio di qualunque altezza. In ogni caso entrambi i lavori sono associati ad un notevole ulteriore miglioramento della capacità dell'impianto idraulico e delle prestazioni di prova, soprattutto in ambito di *qualifica sismica di elementi non strutturali e componenti*. Questi argomenti saranno ripresi e approfonditi nei prossimi contributi.

La realizzazione di un telaio pluripiano, strettamente legato allo Shake-LAB, è invece indirizzata più verso la *valutazione della risposta sismica e la validazione di modelli numerici di elementi non strutturali* di varie tipologie. Il relativo studio di fattibilità trae ispirazione, fra le altre cose, da una serie di considerazioni sulle informazioni che un test dinamico su elementi non strutturali dovrebbe produrre per poter essere ritenuto completo ed efficace. Nel seguito, oltre a chiarire cosa intendiamo per “*informazioni complete*”, descriveremo in maggior dettaglio anche le potenzialità delle relative configurazioni di prova.

Abbiamo già più volte rimarcato come le tipologie di elementi non strutturali siano estremamente numerose e diversificate (e.g. tamponamenti, tramezze, porte, controsoffitti, comignoli, facciate, sistemi meccanici, impianti idraulici, elettrici, arredi, utensili, sistemi di riscaldamento, ventilazione, condensatori, ascensori, sistemi per uscite di sicurezza, sistemi antincendio, ...), tanto da non poterle includere tutte in un breve elenco.

Le prime evidenze di danno di elementi non strutturali provengono da osservazioni post-terremoto sul campo; esse hanno permesso di comprendere quali tipologie fossero contraddistinte da prestazioni insufficienti, ma non hanno mai fornito dati per quantificarne la risposta sismica. Le peculiari caratteristiche geometriche, meccaniche e dinamiche, inoltre, generalmente piuttosto complesse, non ne facilitano di certo lo studio attraverso approcci numerici basati su modelli ad elementi finiti, che, sistematicamente, richiedono la validazione sperimentale.

Le prove di laboratorio rivestono quindi un ruolo chiave in questo ambito; dalle prime evidenze sul campo a oggi, sono diversi i test effettuati su tavola vibrante, finalizzati nella quasi totalità dei casi allo studio della risposta sismica dei singoli elementi. Probabilmente un approccio più esaustivo per comprendere al meglio la risposta sismica di elementi non strutturali consiste nell'effettuare prove sperimentali su un edificio in scala reale che includa tali elementi, in modo da poterne cogliere e valutare anche l'interazione reciproca e quella con l'edificio stesso (Chen *et al.*, 2016; Pantoli *et al.*, 2016). Dati sperimentali ricavati da un siffatto approccio rappresenterebbero più efficacemente e compiutamente la risposta in tutte le sue possibili sfaccettature e potrebbero integrare al meglio le osservazioni post-sismiche sul campo, così come validare lo sviluppo di modelli numerici, altrimenti troppo complessi per essere considerati attendibili.

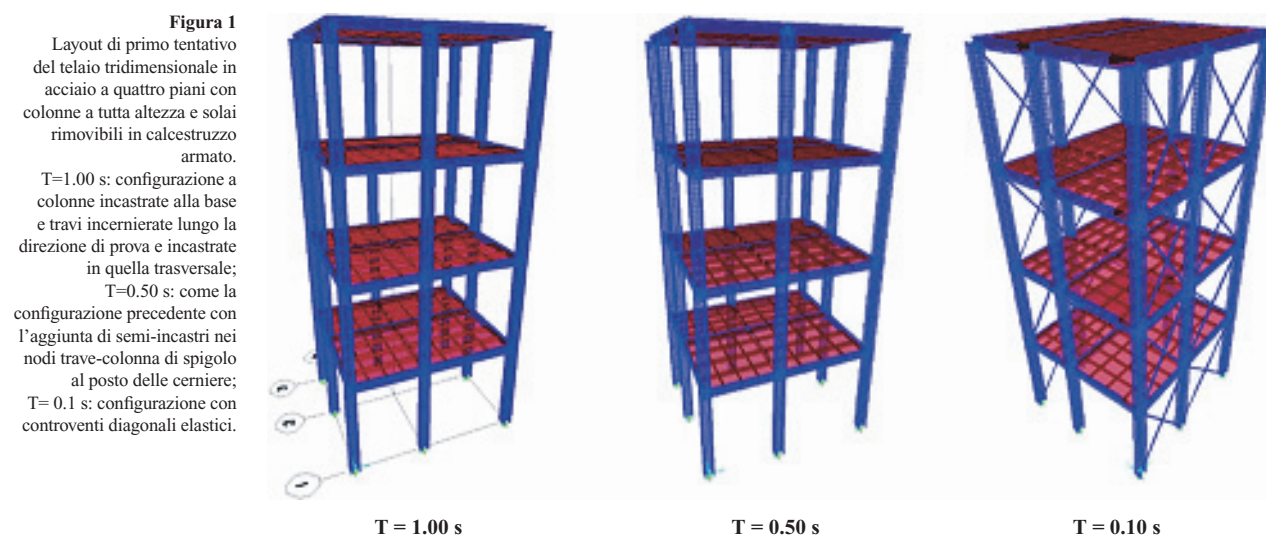
¹ Fondazione Eucentre - Dipartimento Tecniche Sperimentali, Pavia, Italia - [✉ davide.bolognini@eucentre.it](mailto:davide.bolognini@eucentre.it)

² Fondazione Eucentre - Dipartimento Tecniche Sperimentali, Pavia, Italia - [✉ paolo.dubini@eucentre.it](mailto:paolo.dubini@eucentre.it)

³ Fondazione Eucentre - Direttore Dipartimento Tecniche Sperimentali, Delegato responsabile dei Laboratori, Pavia, Italia - [✉ filippo.dacarro@eucentre.it](mailto:filippo.dacarro@eucentre.it)

La fattibilità del sopraccitato telaio è stata valutata imponendo alcuni requisiti essenziali, legati alla *modularità*, alla *flessibilità architettonica* ed alle *proprietà dinamiche*. L'obiettivo è di poter disporre di una struttura tridimensionale pluripiano riutilizzabile per più prove e modificabile con relativa facilità per adattarsi all'installazione delle più svariate tipologie di elementi non strutturali, compresi per esempio tubazioni continue su più piani, sistemi di facciata e, teoricamente, anche ascensori. Al contempo, a tale struttura si richiede di assumere configurazioni a rigidezza variabile modificando e calibrando opportunamente le caratteristiche dei vincoli interni.

Una soluzione preliminare è stata individuata dai dati ricavati da oltre 400 analisi spettrali e time-history effettuate su modelli numerici con un set di oltre 30 accelerogrammi naturali considerando un'ampia casistica di parametri. La struttura ideale è a scheletro in profili d'acciaio e solai in calcestruzzo armato. Il massimo sviluppo in pianta (4.70 x 4.00 m) è governato dalle dimensioni e dalla forometria della tavola, così come la massima altezza (circa 11 m) è funzione dello spazio disponibile. Al momento è stato studiato uno schema a otto colonne e quattro piani con altezza interpiano netta di 2.70 m, calibrando la rigidezza delle colonne, quella dei vincoli e la massa dei solai in modo da garantire tre configurazioni aventi periodo proprio $T = 0.10$ s, 0.50 s, 1.00 s (Figura 1). Come accennato, la struttura è sempre la medesima, i diversi periodi sono ottenuti agendo su alcuni collegamenti speciali a rigidezza regolabile oppure inserendo diagonali di controventamento progettate in campo elastico ed inibendo l'instabilizzazione a compressione.



Nonostante le caratteristiche principali del telaio siano fondamentalmente determinate, il lavoro di definizione dei dettagli non è ancora concluso, in quanto per assicurare una buona riuscita delle prove sperimentali è opportuno prendere in considerazione sia i possibili effetti legati al fattore di scala, sia il comportamento non lineare del telaio stesso, al fine di evitare che gli elementi non strutturali vengano assoggettati ad amplificazioni di piano estremamente elevate ed irrealistiche. Per questo motivo è stata imposta la *modularità in altezza*: oltre alla configurazione già descritta, è in fase di studio anche quella a tre piani con altezza interpiano netta di circa 3.50 m. Per quanto riguarda la risposta non lineare, invece, sono in via di definizione speciali collegamenti ad attrito che verranno inseriti nei nodi trave-colonna. Questo accorgimento permetterà di localizzare le fonti di dissipazione di energia, e quindi il danneggiamento, solo in punti specifici e ben definiti della struttura, consentendo di riutilizzare il telaio per ulteriori prove, eventualmente sostituendo i soli collegamenti ad attrito danneggiati.

A valutazioni ultimate, quindi, data una configurazione di telaio, si prevede di poter studiare svariate tipologie di elementi non strutturali con collegamenti in appoggio su pavimento, in sospensione a soffitto o ancorati a parete, andando a riprodurre le reali condizioni di installazione e sollecitazione (Figura 2). Il telaio consentirà di sottoporre a prova sia componenti sensibili all'accelerazione, sia al drift interpiano, ma soprattutto elementi che presentano criticità legate ad entrambe le tipologie di sollecitazione.

La struttura di prova prevede in totale circa 70 mq di superfici orizzontali utilizzabili, 100 mq di superfici verticali parallele alla direzione di sollecitazione e 85 mq in direzione perpendicolare, oltre alla predisposizione per un eventuale vano dedicato all'installazione di una colonna ascensore. Per quanto riguarda gli elementi in sospensione, si prevede, inoltre, di fare riferimento anche a superfici più estese di quella garantita dal solo telaio, grazie all'utilizzo di travi a sbalzo.

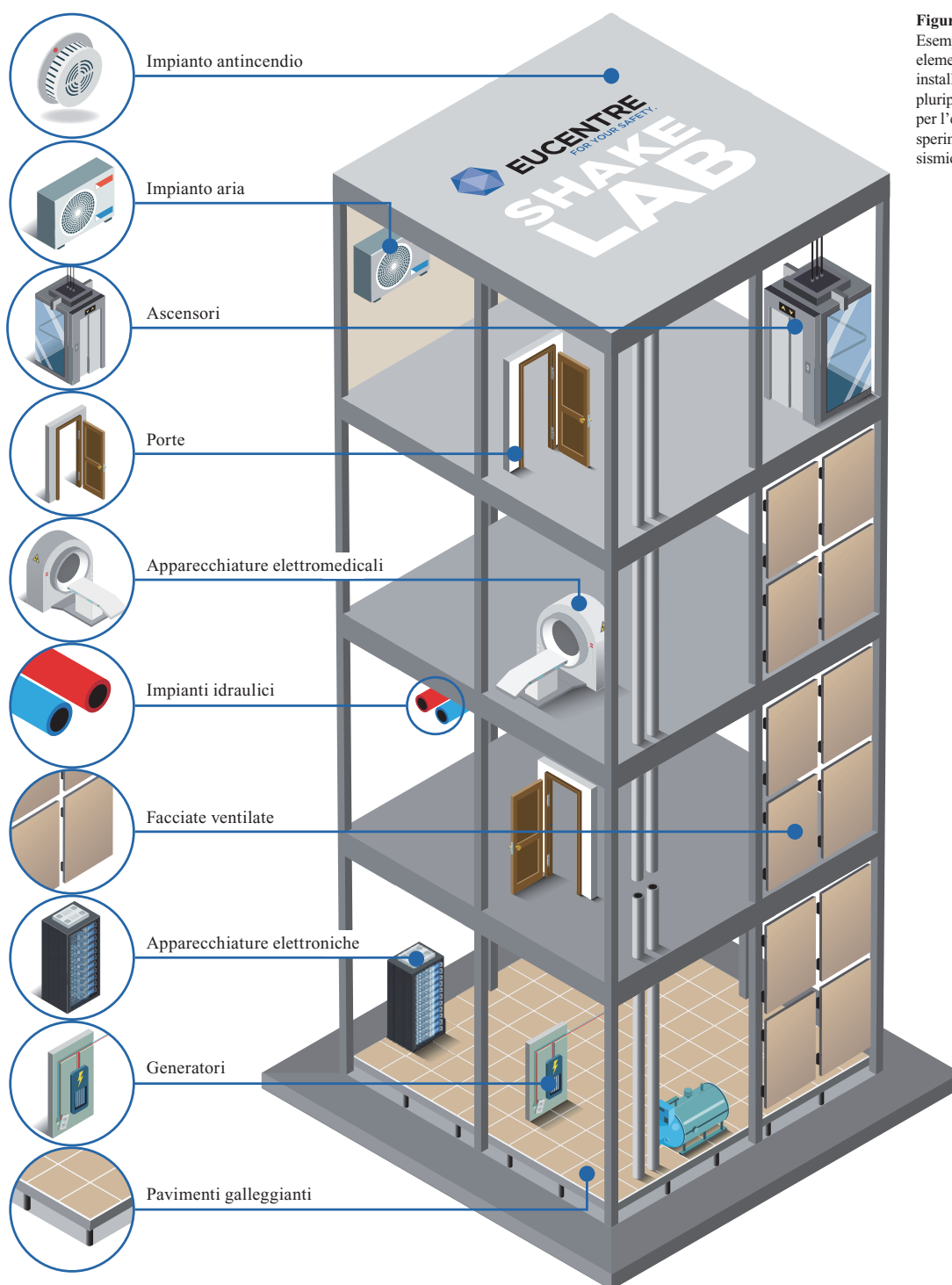


Figura 2
Esempio di tipologie di elementi non strutturali installabili sul telaio pluripiano tridimensionale per l'esecuzione di prove sperimentali dinamiche sismiche su tavola vibrante.

I potenziali risultati di prove sperimentali sismiche del tipo descritto possono riguardare:

- la determinazione della risposta sismica, allo stato limite di servizio e allo stato limite di salvaguardia della vita umana, dei singoli elementi e quindi la quantificazione della propensione al danneggiamento di questi ultimi in funzione della loro posizione sulla struttura, delle caratteristiche dell'input sismico e di quelle della struttura portante;
- la valutazione dell'interazione reciproca dei singoli elementi e del relativo danneggiamento;
- la valutazione dell'interazione fra gli elementi e la struttura, anche in termini di carico sismico che gli elementi, progettati per sopportare il solo peso proprio, potrebbero eventualmente e non volutamente attrarre su di sé;
- la determinazione della reale accelerazione ai piani, dei relativi spettri e delle amplificazioni di piano, informazioni importanti per la validazione sperimentale dei modelli semplificati proposti in letteratura in ambito di spettri di piano in accelerazione assoluta e spostamento relativo;
- la validazione sperimentale di modelli numerici ad elementi finiti precedentemente ideati e sviluppati.

Nonostante al momento le valutazioni del sistema siano limitate alla risposta elastica del telaio, è possibile già da ora fornire alcune informazioni significative sulle condizioni di prova. Per quanto riguarda l'entità delle accelerazioni applicabili alla base della struttura mediante la tavola vibrante, il limite superiore è rappresentato dalla capacità dell'impianto, che, per livelli di spostamento e velocità compatibili, è pari a 2 g per sovraccarichi di circa 60 t e 5 g per circa 30 t. Tenendo presente questa condizione, quindi, in Tabella 1 sono riportate le PGA (accelerazioni di picco al suolo) degli accelerogrammi presi in considerazione ed i corrispondenti massimi fattori di scala applicabili alle ordinate di tali accelerogrammi, espressi in funzione del periodo proprio delle tre configurazioni di telaio. In alcuni casi i valori di questi fattori di scala sono limitati dalle prestazioni degli attuatori e dell'impianto idraulico. Nei rimanenti casi, invece, il limite è rappresentato dall'ipotesi di mantenere il telaio in campo elastico e per questo motivo, al completamento delle analisi con risposta elasto-plastica del telaio, è lecito attendere valori più elevati di tali fattori di scala.

Le stesse informazioni sono rappresentate più in dettaglio nei grafici delle figure da 3 a 5, dove ai valori delle PGA sono affiancati, per ciascun periodo, quelli delle massime accelerazioni applicabili già scalate.

In termini di drift interpiano, inteso come il rapporto fra lo spostamento relativo di due piani attigui e l'altezza di piano, nella maggior parte dei casi è possibile raggiungere valori fino a 2.5% pur rimanendo in campo elastico. Valori maggiori sono attesi dalle analisi in cui si considera la risposta non lineare del telaio dipendentemente dalle caratteristiche dei già citati collegamenti dissipativi.

Tabella 1 - Riassunto delle PGA degli accelerogrammi considerati e stima delle corrispondenti massime amplificazioni applicabili alle ordinate di tali accelerogrammi in funzione delle tre configurazioni del telaio (T=0.1, 0.5, 1.0 s). Dati ricavati dalle sole analisi in campo elastico.

	Accelerogrammi	Luogo	Anno	NGA	100%	T=0.1s	T=0.5s	T=1.0s		
						PGAm _{ax} [g]				
1	CapeMenRIO270	Cape Mendocino, USA	1992	828	0.39	0.87	1.21	0.91		
2	CapeMendRIO360				0.55	1.39	0.76	1.72		
3	ChiChi_Y006-N	Chi Chi, Taiwan	1999	1182	0.35	1.05	0.90	0.52		
4	ChiChi_Y006-W				0.36	0.70	0.82	0.82		
5	ChiChi_Y028-E			1197	0.65	1.18	0.97	0.85		
6	ChiChi_Y028-N				0.82	1.61	1.03	1.05		
7	ChiChi_Y074-E			1227	0.23	0.60	1.00	1.13		
8	ChiChi_Y074-N				0.16	0.67	0.76	0.80		
9	ChiChi_TCU055-E			1495	0.24	1.08	0.78	1.12		
10	ChiChi_TCU055-N				0.20	0.20	1.00	0.81		
11	ChiChi_TCU088-E			1520	0.51	2.09	2.11	2.11		
12	ChiChi_TCU088-N				0.27	0.48	1.88	2.11		
13	Duzce_375-E			Duzce, Turchia	1999	1602	0.73	2.11	2.11	2.11
14	Duzce_375-N						0.82	1.64	1.87	2.11
15	Duzce_1062-E	1615	0.26			1.69	1.73	1.73		
16	Duzce_1062-N		0.11			0.55	1.11	1.41		
17	Duzce_BOL000	1617	0.51			1.08	0.77	0.92		
18	Duzce_BOL090		0.97			2.07	1.78	1.10		
19	Kobe_KJM000	Kobe, Giappone	1995	1106	0.82	1.31	0.93	0.72		
20	Kobe_KJM090				0.60	1.02	1.28	0.67		
21	Kobe_TAZ000			1119	0.27	0.49	0.42	0.39		
22	Kobe_TAZ090				0.69	1.04	0.75	1.01		
23	LomP_CLS000	Loma Prieta, USA	1989	753	0.64	1.54	1.07	1.93		
24	LomP_CLS090				0.48	1.39	1.13	1.18		
25	LomP_G03000			767	0.56	2.07	1.28	2.11		
26	LomP_G03090				0.56	1.40	1.95	1.82		
27	MorH_CYC195	Morgan Hill, USA	1984	451	0.71	1.78	1.82	1.43		
28	MorH_CYC285				1.30	2.08	1.85	1.61		
29	SanFer_PUL164	San Fernando, USA	1971	77	1.16	1.33	1.71	1.18		
30	SanFer_PUL254				0.35	0.60	0.35	0.58		
31	SupH_B-SUP045	Superstition Hills, USA	1987	727	0.68	2.04	1.75	2.11		
32	SupH_B-SUP135				0.89	1.96	2.10	1.60		

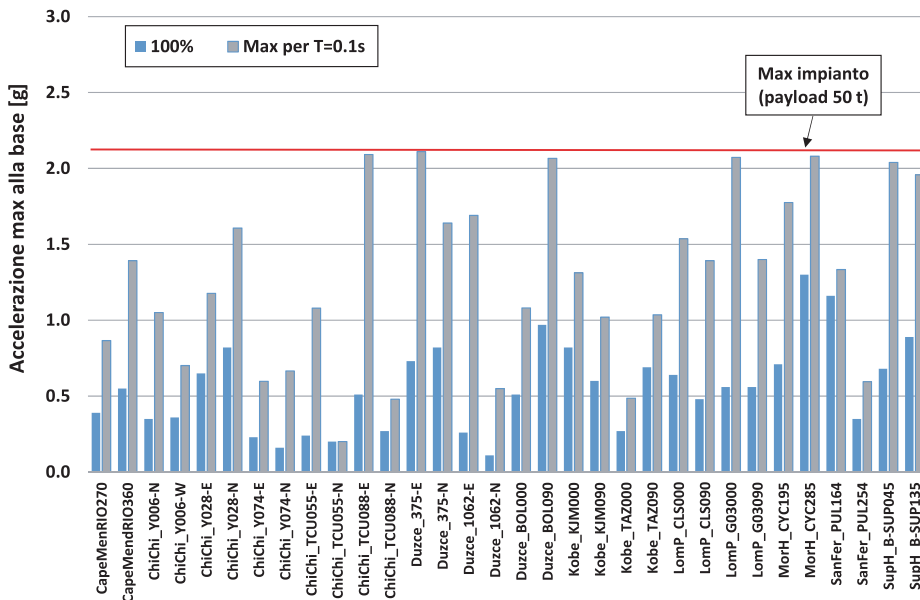


Figura 3
 Confronto fra PGA di ciascun accelerogramma considerato e massima PGA applicabile in accordo con le prestazioni del sistema (telaio + impianto idraulico) per configurazione di telaio con $T=0.10$ s.

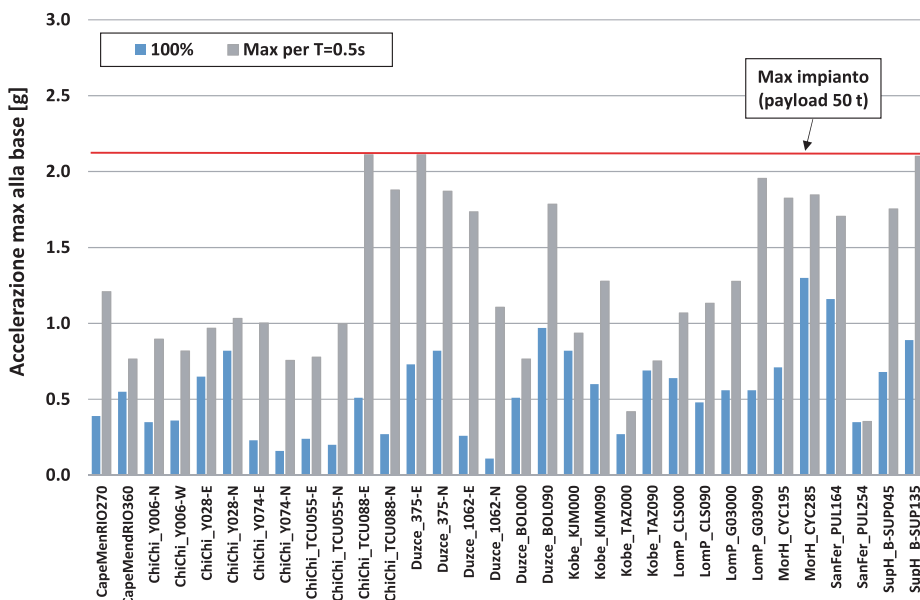


Figura 4
 Confronto fra PGA di ciascun accelerogramma considerato e massima PGA applicabile in accordo con le prestazioni del sistema (telaio + impianto idraulico) per configurazione di telaio con $T=0.50$ s.

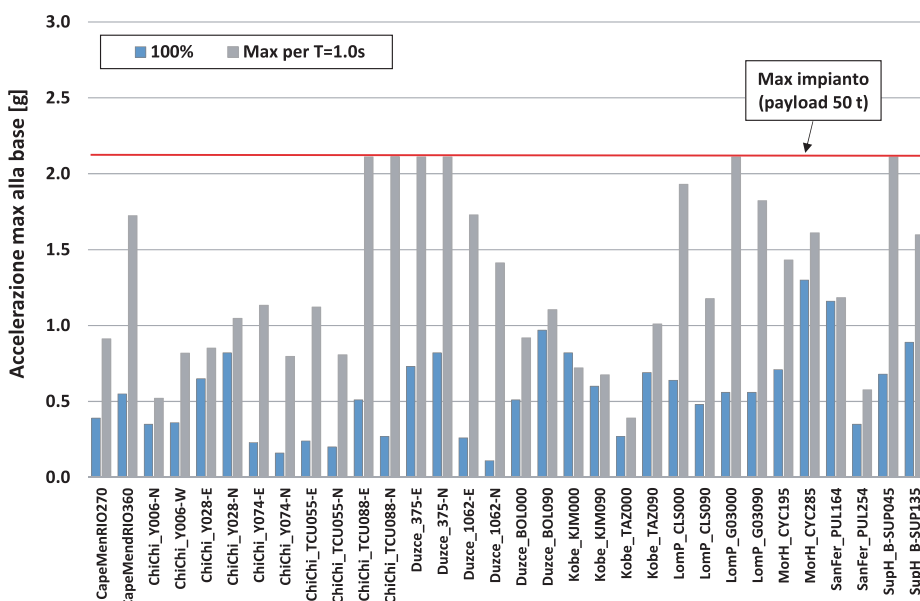


Figura 5
 Confronto fra PGA di ciascun accelerogramma considerato e massima PGA applicabile in accordo con le prestazioni del sistema (telaio + impianto idraulico) per configurazione di telaio con $T=1.00$ s.

Il telaio descritto in questa rubrica potrà essere utilizzato nell'ambito di progetti di ricerca finalizzati alla valutazione della risposta sismica di elementi non strutturali in cui si prevede di svolgere prove sperimentali con cadenza periodica coinvolgendo anche partner industriali e garantendo, attraverso costi potenzialmente contenuti, importanti progressi in ambito sismico sia sull'effettivo comportamento di tali elementi, sia sulla riduzione del rischio.

Tali progetti rappresentano un'occasione importante di collaborazione tra il mondo della ricerca e quello industriale, consentendo di dare il giusto rilievo, anche mediatico, a una tematica di fondamentale importanza strettamente correlata sia alla salvaguardia della vita umana, sia alle potenziali perdite economiche durante un evento sismico.

Per maggiori informazioni e modalità di adesione al progetto, è possibile rivolgersi direttamente alla Fondazione inviando una richiesta a info@eucentre.it utilizzando come oggetto "Telaio Pluripiano".

Bibliografia

Chen C, Pantoli E., Wang X., Astroza R., Ebrahimian H., Hutchinson T., Conte J., Restrepo J., Marin C., Walsh K., Bachman R., Hoehler M., Englekirk R., Faghihi M. (2016) - Full-Scale Structural and Nonstructural Building System Performance during Earthquakes: Part I – Specimen Description, Test Protocol, and Structural Response, *Earthquake Spectra*, V. 32, N. 2, pages 737-770.

Pantoli E., Chen C., Wang X., Astroza R., Ebrahimian H., Hutchinson T., Conte J., Restrepo J., Marin C., Walsh K., Bachman R., Hoehler M., Englekirk R., Faghihi M. (2016) - Full-Scale Structural and Nonstructural Building System Performance during Earthquakes: Part II – NCS Damages States, *Earthquake Spectra*, V. 32, N. 2, pages 771-794.