

# INDAGINE SUL COMPORTAMENTO NON LINEARE DEL NUOVO SISTEMA FLESSIBILE A GIUNTI MULTIPLI DISSIPATIVI "FLEXIBLE HIGH-DAMPING MULTI-JOINT SYSTEM (FHDMJ)"

**Bruno Palazzo, Luigi Petti, Nicola Galotto, Antonio Citro**

Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Salerno

## SOMMARIO

Nel lavoro si esamina il comportamento sismico di una nuova tipologia strutturale, denominata *Flexible High-Damping Multi-Joint System (FHDMJ)* recentemente concepita allo scopo di combinare insieme la strategia dell'Isolamento Sismico con quella della Dissipazione Supplementare di energia. La nuova tipologia, consiste nell'introdurre, in una tradizionale struttura intelaiata, un certo numero di giunti orizzontali capaci di scorrimento elasto-dissipativo. L'analisi svolta in campo non lineare, indica che il sistema in oggetto, rispetto ai corrispondenti sistemi isolati alla base, presenta il vantaggio di poter assorbire eccitazioni di forte intensità con minore impegno deformativo degli organi di isolamento, minore ampiezza degli spostamenti assoluti e minore danneggiamento sismico potendo ricorrere integralmente alla dissipazione extrastrutturale.

## SUMMARY

A new structural system called Flexible High-Damping Multi-Joint System (FHDMJ), conceived to mitigate seismic effects, is presented and analyzed in non linear range. The new typology has been created combining Passive Energy Dissipation strategy with the Isolation concept in order to obtain a new hybrid system capable of achieving better performances, extending the application range of both approaches. Seismic response of an example of the new system, in comparison with the one of a Base isolated solution, has been tested using non linear analysis in the time domain.

## 1. INTRODUZIONE

Un vasto settore dell'ingegneria sismica sta da tempo esplorando strategie e sistemi non convenzionali di protezione sismica caratterizzati dalla presenza di nuovi materiali e dispositivi ad alto contenuto tecnologico. Si pensi ad esempio alle tecniche di isolamento sismico dove sono impiegati isolatori in elastomero laminato, ai numerosi dispositivi di

dissipazione supplementare di energia, ai sensori ed agli attuatori di futuro impiego nel controllo attivo delle vibrazioni. I nuovi approcci finiranno anche per comportare radicali modifiche alle tipologie strutturali tradizionali.

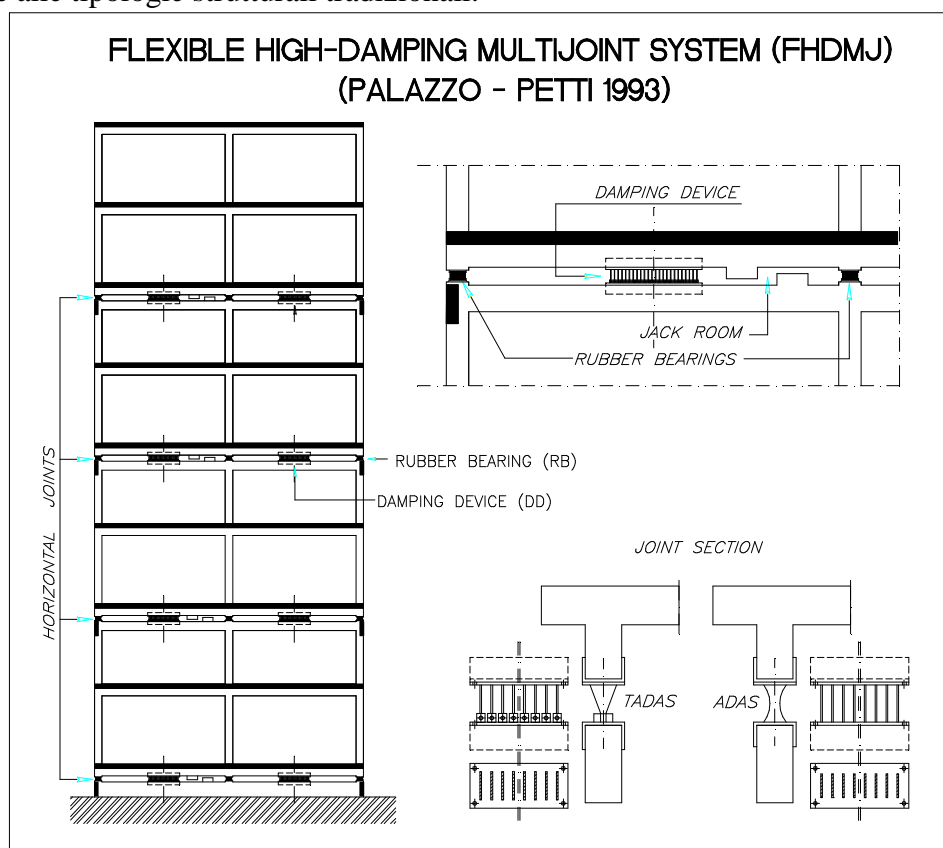


Fig. 1

Nell'ambito di una esplorazione di nuove possibilità tipologiche, due degli autori della presente comunicazione hanno avanzato la proposta di una nuova tipologia denominata Sistema Flessibile a Giunti Multipli Dissipativi (Flexible High-Damping Multi-Joint System FHDMJ) [7,8], avente alla base una nuova concezione strutturale.

Il sistema, ancora in fase sperimentale, nasce dalla combinazione del concetto di isolamento sismico con quello di dissipazione extrastrutturale di energia. L'introduzione in una struttura di più livelli di isolamento [6] e la possibilità di utilizzare gli scorrimenti orizzontali di tali livelli per dissipare rilevanti quantità di energia in organi speciali, senza coinvolgere la deformazione degli elementi strutturali, ha portato alla concezione della tipologia strutturale schematicamente rappresentata in fig. 1.

L'analisi del comportamento sismico del nuovo sistema prevede le seguenti fasi aventi carattere esplorativo: 1) sperimentazione numerica di modelli lineari equivalenti per approfondire la dinamica del nuovo sistema; 2) individuazione delle problematiche costruttive e tecnologiche; 3) analisi del comportamento sismico mediante modelli non lineari; 4) valutazione della sensibilità del sistema nei confronti di eccitazioni dinamiche dovute al vento; 5) individuazione di metodologie progettuali ed elaborazione di linee guida per la progettazione. Nella presente comunicazione, dopo aver richiamato brevemente gli aspetti principali del nuovo sistema, si riferisce sui primi risultati ottenuti dall'analisi di modelli non lineari.

## 2. PRINCIPI DI COMPORTAMENTO

E' noto che, nelle strutture isolate alla base, l'adozione di un grado di isolamento sismico

sufficientemente elevato, definito da [6], comporta per la sovrastruttura, una significativa riduzione della risposta mentre, al livello del piano di isolamento un incremento degli spostamenti di base relativi al suolo. In particolare, la chiamata in causa della deformazione della sovrastruttura è legata al contributo dei modi di vibrazione superiori al primo. Tali modi partecipano molto limitatamente alla risposta qualora il grado d'isolamento sia sufficientemente alto [4], [5].

I limiti di deformazione degli organi di isolamento definiscono il limite superiore all'isolabilità delle costruzioni [9]. Particolari eccitazioni, con forte contenuto in frequenza in un campo prossimo alla frequenza fondamentale di vibrazione del sistema isolato, possono dar luogo ad un eccesso di spostamento alla base con conseguente collasso del sistema. Partendo da tali constatazioni, il nuovo sistema si propone di frazionare la deformazione degli organi d'isolamento in più livelli.

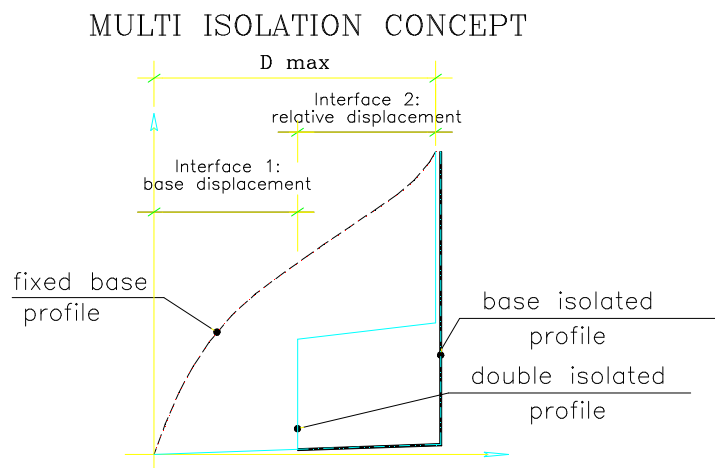


Fig. 2

Nella fig. 2 è mostrato qualitativamente il principio dell'isolamento multiplo attraverso una comparazione dei profili deformativi di tre sistemi: sistema con più giunti elasto-dissipativi (FHDMJ), sistema isolato alla base (B.I.S.) e sistema fisso alla base.

Si intuisce qualitativamente il principio di funzionamento: per un assegnato spostamento di progetto, ricavabile dallo spettro di risposta, a parità di caratteristiche dinamiche principali (periodo proprio e fattore di smorzamento), i dispositivi di isolamento della struttura multi-isolata subiscono una deformazione minore rispetto a quella del sistema isolato alla base essendo paragonabili gli spostamenti alla sommità. Inoltre, nel caso di isolamento multiplo, la chiamata in causa della deformazione delle parti sovrastrutturali avviene generalmente ad opera della partecipazione al moto dei modi di vibrazione superiori al numero delle giunzioni (fig. 3).

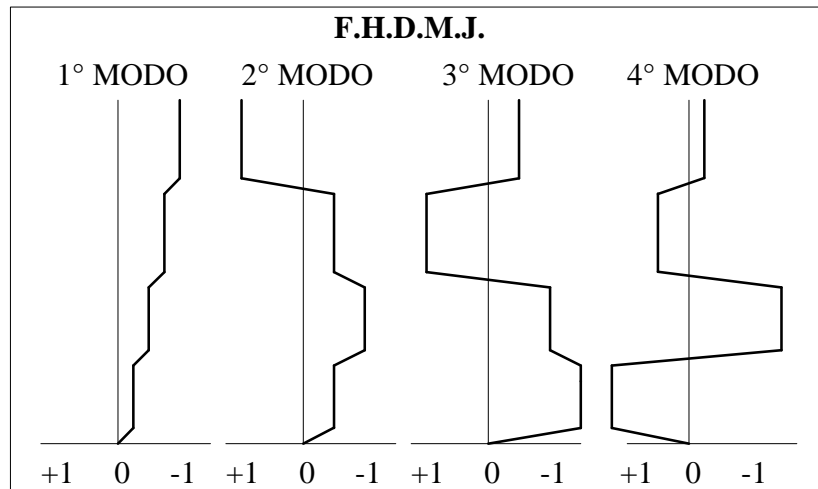


Fig. 3

In anni recenti, è stato osservato che il controllo della risposta sismica di una generica struttura può essere vantaggiosamente attuato attraverso l'utilizzo di dispositivi extrastrutturali per la dissipazione di energia, essendo la dissipazione di energia da parte della struttura portante sempre accompagnata da un inevitabile danneggiamento della stessa. L'efficacia di tale nuova strategia è quindi legata alla capacità del sistema di attivare la dissipazione extrastrutturale in anticipo rispetto a quella della struttura portante. In tal modo si massimizza la parte di energia dissipata dai dissipatori, organi ottimizzati per assolvere questa funzione, alleggerendo l'impegno richiesto alla struttura portante.

Nei sistemi tradizionali, dotati di dissipatori, risulta oltremodo difficile utilizzare in maniera completa le capacità dissipative di tali organi senza coinvolgere in parte la maglia strutturale meccanicamente disposta con essi in parallelo.

Qualora invece, gli organi di dissipazione si dispongano in parallelo ad elementi flessibili come gli isolatori, è possibile massimizzare le capacità dissipative degli stessi potendo avvalersi delle elevate deformazioni sopportabili dagli organi di isolamento. Tale tipologia consente di dimensionare il sistema in modo da concentrare totalmente la dissipazione di energia in organi non strutturali.

### 3. IL NUOVO SISTEMA A GIUNTI MULTIPLI DISSIPATIVI

La nuova tipologia, rappresentata nella fig. 1, consiste nell'introdurre, in una tradizionale struttura intelaiata un certo numero di giunti orizzontali, capaci di mutuo scorrimento orizzontale elasto-dissipativo. In tal modo, lungo l'elevazione, la costruzione viene suddivisa verticalmente in diversi corpi giuntati capaci di movimento relativo. I piani di scorrimento sono realizzati, ad esempio, mediante organi di appoggio in elastomero-laminato, del tipo impiegato per l'isolamento sismico, posti in corrispondenza di ciascuna colonna. In tal modo si realizza una sorta di interruzione della continuità verticale dell'organismo strutturale che va ad interessare, come si vedrà, anche gli elementi non strutturali. Sotto ciascun giunto il sistema prevede il ripristino del comportamento a telaio mediante raddoppio delle travi di piano.

All'interno del giunto vengono disposti gli organi di dissipazione che sono quindi azionati passivamente dagli spostamenti relativi tra le facce del giunto. In tal modo i dissipatori sono meccanicamente svincolati dall'organismo strutturale e dagli elementi non strutturali mentre sono disposti in parallelo con organi elastomerici dotati di bassa rigidità tagliante.

FORCE-DEFORMATION RELATIONSHIP OF THE  
High-Damping Horizontal Joint (HDHJ)

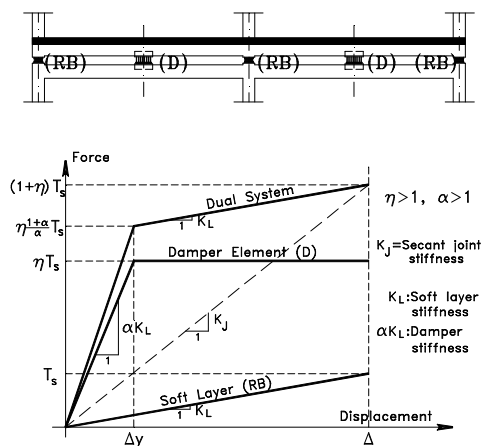


Fig. 4

Il legame costitutivo dei giunti orizzontali, legato alle caratteristiche degli organi meccanici impiegati, in grado di raggiungere spostamenti relativi molto ampi, può essere del tipo rappresentato in fig. 4.

L'interruzione della continuità verticale delle strutture e degli elementi non strutturali in corrispondenza dei piani di scorrimento, consente di limitare il danneggiamento sismico della costruzione e dell'organismo strutturale dissipando energia senza causare danno.

Infatti, la concentrazione in più giunti extra-strutturali di una elevata deformabilità laterale riduce l'impegno deformativo dell'organismo strutturale internamente ai corpi giuntati. Ciò dipende dalle caratteristiche di rigidezza tagliante delle giunzioni in rapporto alle analoghe rigidezze di piano.

L'organizzazione dei piani di scorrimento lungo l'elevazione dipende dalle caratteristiche geometriche della costruzione; in molti casi si può considerare opportuna un'organizzazione di giunti speciali ogni tre impalcati così come rappresentato in fig. 1.

Per le chiusure perimetrali, la possibilità di scorrimento orizzontale in corrispondenza dei giunti, può essere garantita dalla presenza di articolazioni delle chiusure a cavallo della giunzione. Dal punto di vista architettonico, il giunto meccanico dissipativo così introdotto può essere contenuto nell'intercapedine formata dal solaio soprastante e da una controsoffittatura sottostante. I corpi scale possono essere organizzati completamente giuntati dalla struttura principale.

E' opportuno verificare il sistema, sotto l'azione del vento in modo che il movimento dei blocchi non influenzi negativamente il comfort degli occupanti limitando la massima accelerazione del piano più alto.

#### 4. ANALISI NON LINEARE COMPARATA

Al fine di valutare il comportamento sismico del nuovo sistema in campo non lineare sono state eseguite analisi numeriche comparate di alcuni esempi utilizzando il programma di calcolo DRAIN-2DX (Dynamic Response Analysis of Inelastic Two-Dimensional structure.) [10]. L'analisi svolta ha esaminato in forma comparata la risposta dei modelli rappresentati nella fig.5 rappresentativi della soluzione isolata alla base (Caso B) e di quella a giunti

multipli (Caso C) derivanti dalla struttura fissa alla base (Caso A) dimensionata secondo l'Eurocodice 8. Le soluzioni B) e C) presentano le stesse membrature strutturali del caso A). Per i blocchi strutturali tra i giunti si è assunto un comportamento di tipo elasto plastico con smorzamento del 3%, mentre per i giunti si è considerato un comportamento di tipo bilineare incrudente come quello rappresentato in fig. 4.

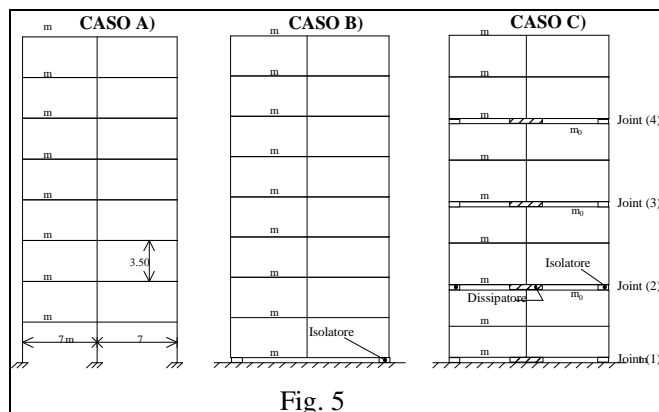


Fig. 5

L'analisi dei modelli è stata condotta per diversi valori dei parametri di progetto. Le rigidezze competenti ai singoli livelli strutturali nonché le rigidezze iniziali  $K_i$  da assegnare ai giunti sono state riportate in Tabella 1. Fissate le rigidezze iniziali dei giunti, si ottiene (fig.6) l'andamento del periodo fondamentale di vibrazione del nuovo sistema. Tale diagramma è stato ricavato ipotizzando una distribuzione di rigidezze iniziale lineare in altezza.

La procedura DRAIN-2DX utilizza quale matrice degli smorzamenti, una combinazione lineare della matrice delle masse e della matrice delle rigidezze alla Rayleigh. La sperimentazione numerica è stata condotta considerando eccitazioni sismiche simulate [2] in accordo con lo spettro di risposta elastico fornito dall'EC8 [3], per la zona A (siti con terreni rigidi) e per una accelerazione di picco al suolo pari a 0.35g.

Per confrontare il danneggiamento dei sistemi sottoposti alle eccitazioni descritte, si è adottato un funzionale di danneggiamento strutturale; in particolare si è fatto riferimento a quello di Park-Ang [11],[12] basato sulla combinazione lineare della duttilità cinematica  $\mu_s$  ed isteretica  $\mu_h$  domandate, date da:

$$\mu_{P.A.} = \mu_s + \beta(\mu_h - 1) \quad \text{con} \quad \mu_s = \frac{x_{\max}}{x_y} \quad \mu_h = \frac{E_h}{F_y x_y} + 1$$

dove  $x_{\max}$  e  $x_y$  rappresentano rispettivamente lo spostamento massimo e lo spostamento al limite elastico, mentre  $E_h$  indica l'energia isteretica ed  $F_y$  la resistenza limite elastica.

Livelli	RIGIDEZZA TAGLIANTE [kg/cm]		
	Fixed Base Caso A	Base Isolated Caso B	F.H.D.M.J. Caso C
Giunto 1		18710	$K_1$
1	4724128	4724128	4724128
2	4724128	4724128	4724128
Giunto 2			$K_2$
3	829574	829574	829574
4	829574	829574	829574

<i>Giunto 3</i>			$K_3$
5	240895	240895	240895
6	240895	240895	240895
<i>Giunto 4</i>			$K_4$
7	100506	100506	100506
8	100506	100506	100506

Inoltre, per meglio valutare il margine di sicurezza rispetto al collasso, si è normalizzato tale parametro, in modo da assumere valore nullo in assenza di escursioni plastiche e valore unitario in condizioni di collasso [1].

$$D_{P.A.} = \frac{\mu_s + \beta(\mu_h - 1)}{\mu_{u,mon}}$$

dove  $\mu_{u,mon}$  è il valore attinto al collasso dalla duttilità cinematica in condizioni di carico monotono.

## 5. ANALISI DEI RISULTATI

Si riportano di seguito alcuni risultati scelti tra i più significativi ottenuti dalle elaborazioni svolte. Nella fig. 7, sono comparativamente rappresentate le risposte dei modelli in esame in termini di spostamento dell'ultimo impalcato. Nella fig. 8 sono riportati gli spostamenti relativi dei giunti. Il confronto tra il comportamento dei modelli B) e C) indica chiaramente che l'impegno deformativo degli organi d'isolamento, nel sistema multi-isolato, risulta fortemente ridotto rispetto al caso isolato alla base. E' possibile osservare inoltre dalle figg. 7 ed 8 la presenza di un maggiore smorzamento nel caso del sistema C). Nella fig. 9 si riporta l'andamento degli spostamenti relativi massimi subiti dai giunti in funzione del periodo fondamentale di vibrazione dei modelli esaminati. Nella fig. 10 si confrontano le energie in ingresso nella struttura relativamente ai casi B) C). Tale grafico mette in evidenza la riduzione dell'impegno strutturale, in termini di energia assorbita e dissipata, del nuovo sistema rispetto al sistema isolato alla base. In fig. 11 sono riportate le aliquote energetiche competenti alle singole parti del sistema multi-isolato. Si può osservare come la quasi totalità dell'energia in ingresso al sistema si concentra essenzialmente nelle giunzioni, mentre l'organismo strutturale non assorbe quantità significative di energia.

Nelle figg. 12 e 13 è rappresentato l'andamento dell'indice di danno della struttura e dei singoli giunti rispetto al rapporto  $\gamma$  (rigidezza del ramo incrudente/rigidezza iniziale) del legame costitutivo dei giunti. In particolare, le elaborazioni riferite al sistema isolato alla base sono state condotte per un valore di  $\gamma$  pari a 0.33. Dall'analisi di tale figura si osserva che il nuovo sistema presenta un danno strutturale crescente all'aumentare del parametro  $\gamma$  ma comunque inferiore al danno strutturale relativo al sistema dotato di isolamento alla base. Dall'esame della fig. 13, si evince l'andamento decrescente del danno riferito ai giunti al crescere di  $\gamma$ .

## 6. CONCLUSIONI

Nel lavoro si sono presentati alcuni risultati preliminari di un'indagine sul comportamento non lineare di una nuova tipologia a giunti multipli dissipativi della quale si sta esplorando il comportamento. L'analisi svolta indica che il nuovo sistema, comparativamente alle strutture dotate di isolamento alla base, presenta aspetti interessanti:

- Il nuovo sistema presenta un ridotto impegno deformativo degli organi d'isolamento in quanto gli spostamenti relativi sono ripartiti in più giunti;
- L'impegno della struttura, in termini di energia assorbita e dissipata, è fortemente ridotto rispetto al caso d'isolamento alla base.
- Nei casi esaminati, il livello di danneggiamento sismico della sovrastruttura, misurato con il metodo dell'indice di danno, è risultato inferiore a quello dei corrispondenti sistemi isolati alla base.

I risultati ottenuti dalle presenti analisi incoraggiano la continuazione di ulteriori studi sulla nuova tipologia.

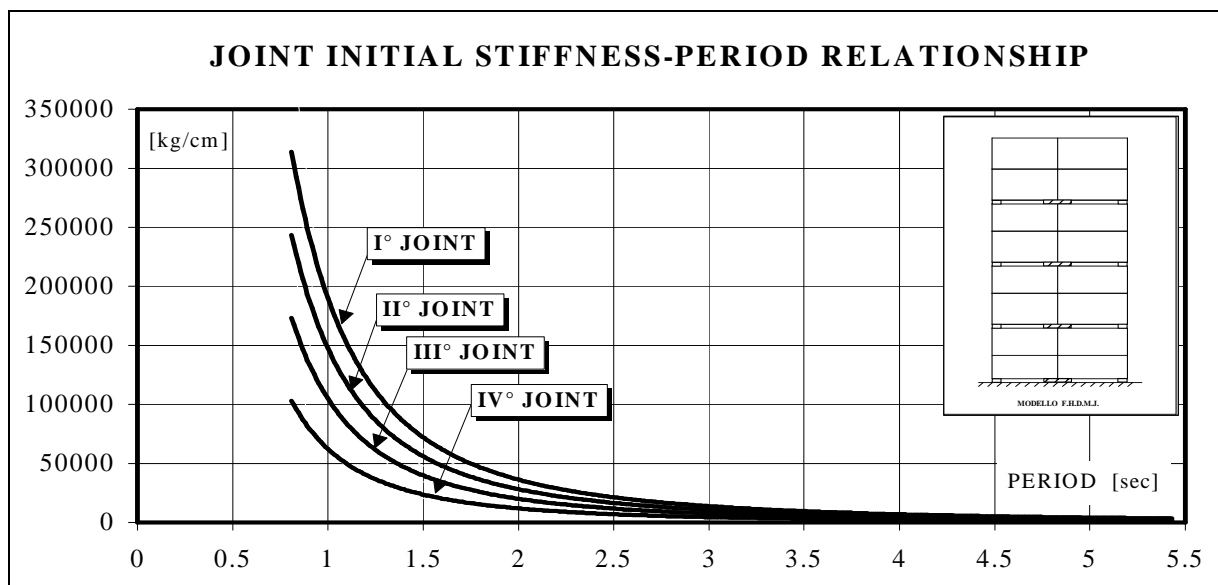


Fig. 6

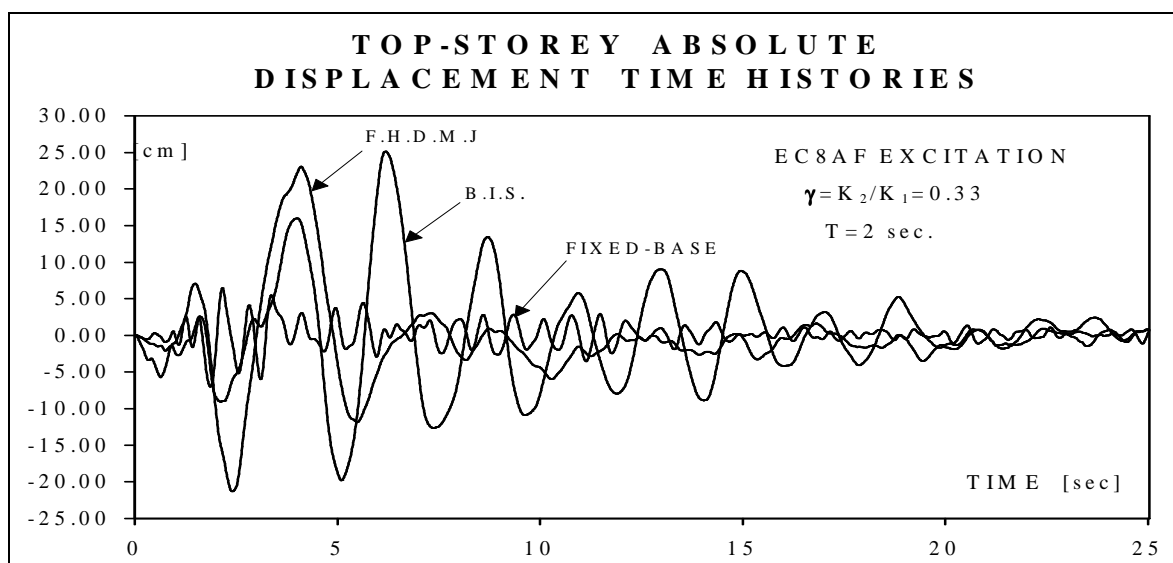




Fig. 7

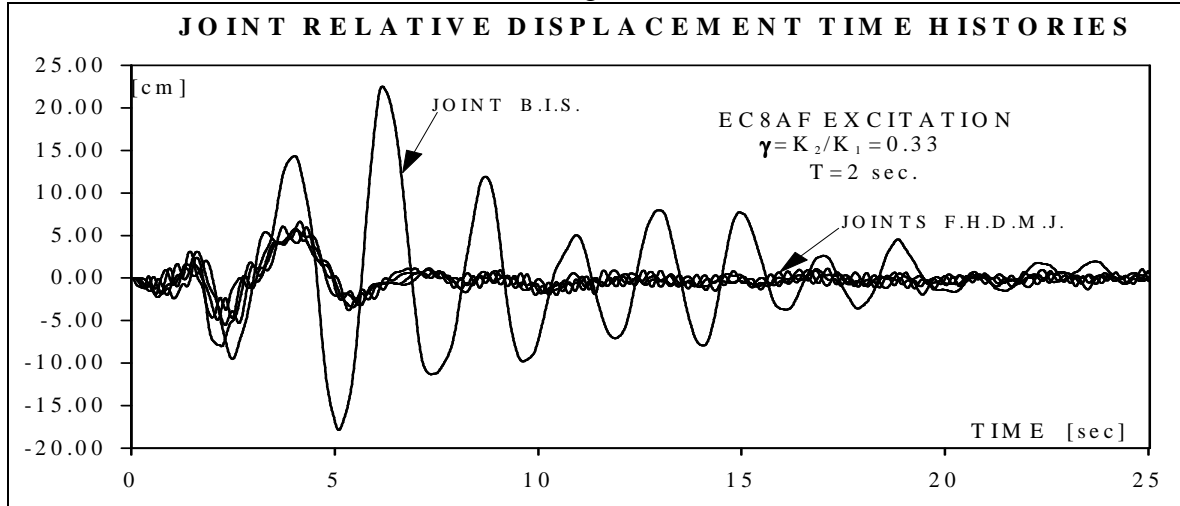


Fig. 8

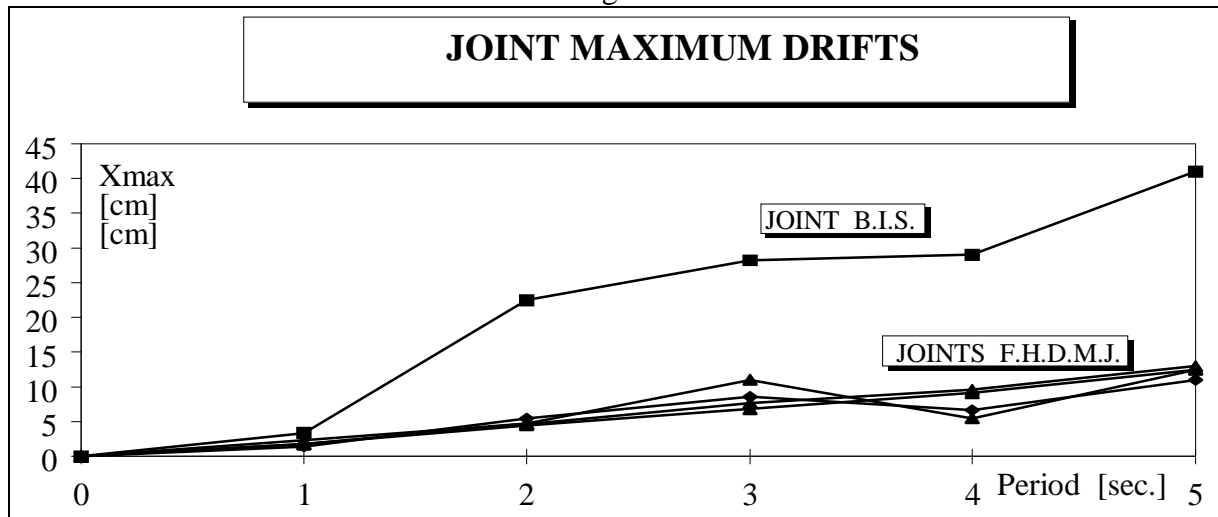


Fig. 9

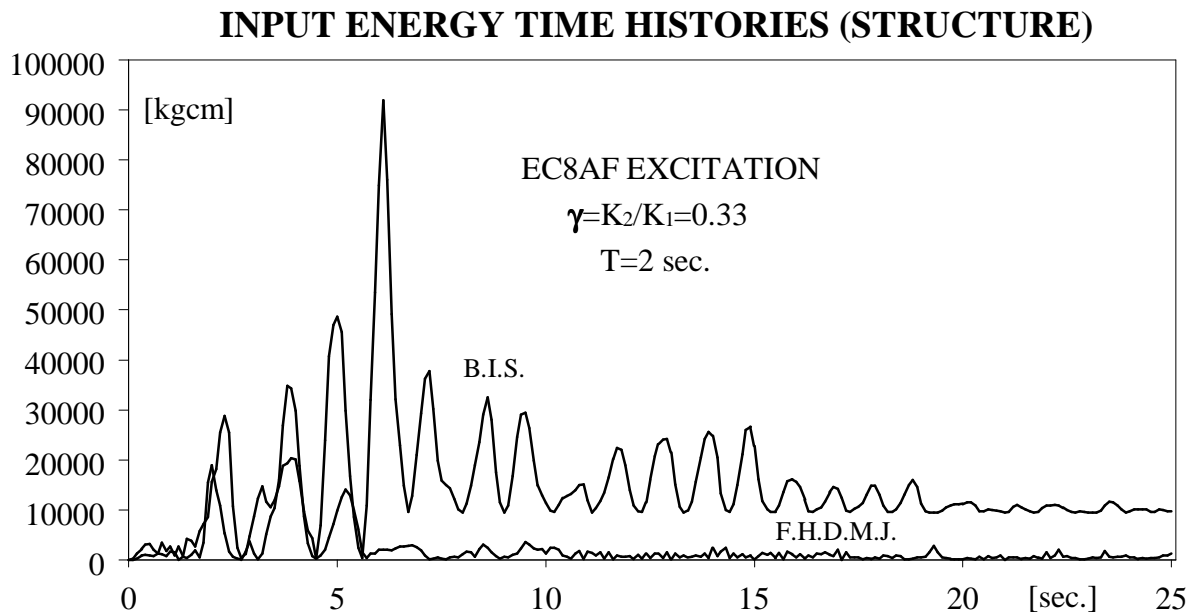


Fig. 10

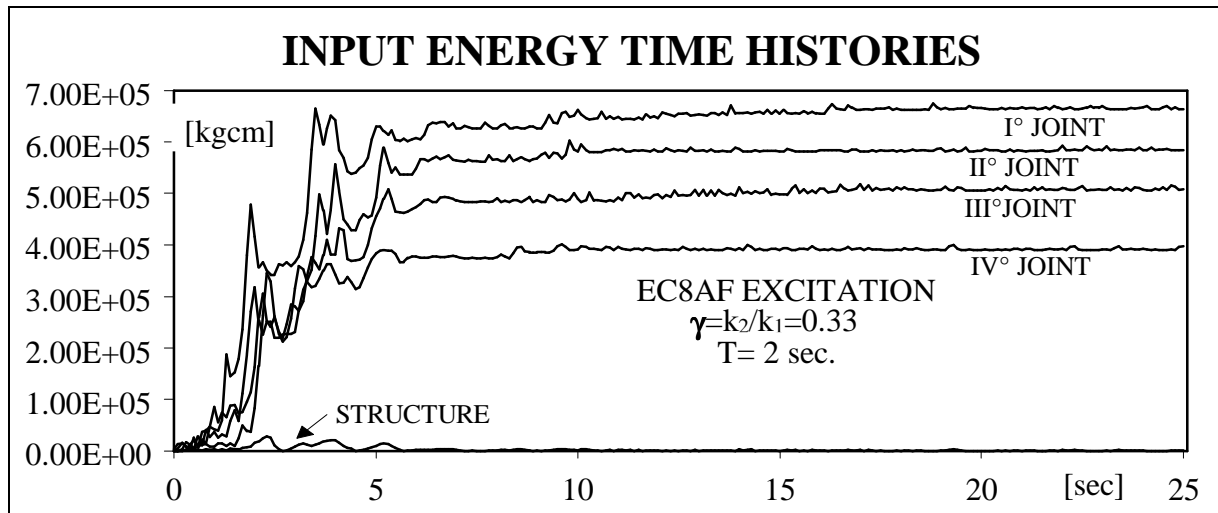


Fig. 11

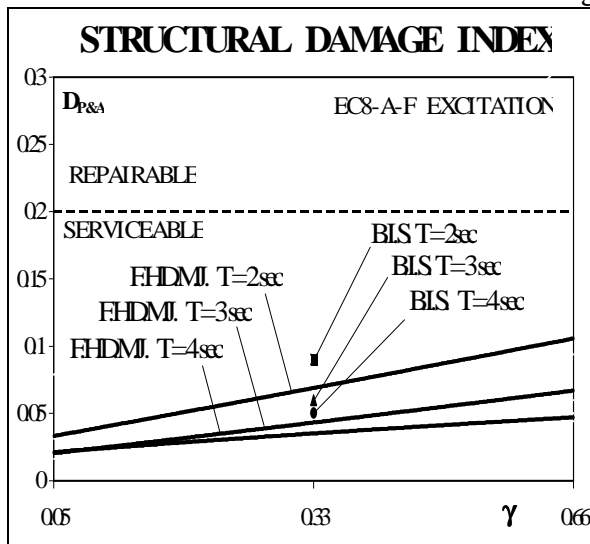


Fig.12

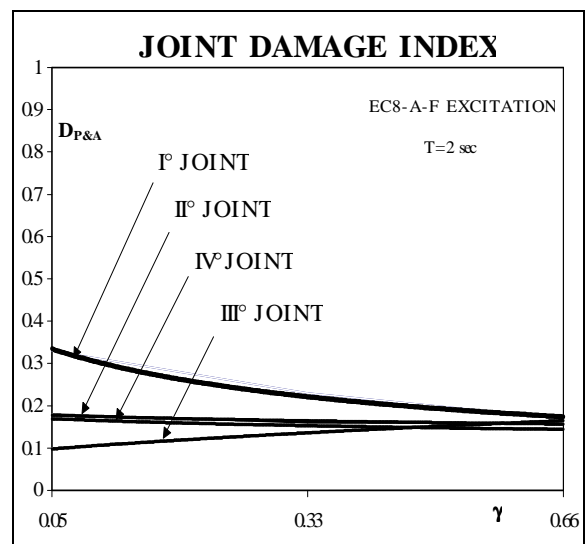


Fig. 13

## RIFERIMENTI

- [1] E. COSENZA, G. MANFREDI, R. RAMASCO, "An evolution of the use of damage functionals in earthquake-resistant design", Proceedings of IXECEC, Moscow, Sept., vol.9, 303-312, 1990.
- [2] D.GASPARINI, "SIMQUE: Program for artificial motion generation", User Manual-Mit, Cambridge (MASS), 1976.
- [3] EC8 EUROCODICE 8 ,Strutture in zone sismiche - progetto, Commissione della Comunità Europea, maggio 1988.
- [4] M. KELLY, "Linear theory and design " Earthquake Spectra ,vol. 6 n° 2 ,1990.
- [5] B. PALAZZO, "Seismic Behaviour of base Isolated Buildings", Proc. of the Int. Meeting on Earthquake Protection of Buildings, Ancona, 1991.
- [6] B. PALAZZO, I. IERMANO, "Isolamento sismico delle costruzioni mediante piani di scorrimento multipli " , Ingegneria Sismica n° 2, 1993.
- [7] B. PALAZZO, L. PETTI, "Innovative system for earthquake-resistant buildings: The Flexible High-Damping Multi-Joint System (F.H.D.M.J.)", Proceedings of the 2nd

Int. Conference on Earthquake Resistant Construction and Design ERCAD, Berlin, June 15-17, 1994.

- [8] B. PALAZZO, L. PETTI, “ Una nuova tipologia ibrida per la mitigazione degli effetti sismici: Il Sistema Flessibile a Giunti Multipli Dissipativi, Flexible High-Damping Multi-Joint System (F.H.D.M.J.)”, *Ingegneria Sismica* N.1 , 1994.
- [9] B. PALAZZO, L. PETTI, “Risposta dei Sistemi Isolati alla Base ad Eccitazioni di tipo Stocastico”, 7° Convegno ANIDIS - Siena, Settembre 1995.
- [10] V. PRAKASH, G.H. POWELL, F.C. FILIPPOU, “DRAIN-2DX ”, Base Program User Guide, Department of civil engineering, University of California Berkeley, California, December 1992.
- [11] Y. J. PARK, A. H. ANG, "Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, vol. 111, n°4, 722-739, 1985.
- [12] Y. J. PARK, H. S. A. ANG, Y. K.WEN, "Damage limiting aseismic design of buildings", *Earthquake Spectra*, vol.3, n°1, 1-26, 1987.