Morfologia e Configurazione Strutturale nell'Impiego di Sistemi Antisismici Innovativi

Marco Mezzi
Dipartimento Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Perugia, Via G.Duranti 93, Perugia

Keywords: Configurazione, Morfologia, Architettura, Innovazione, Dispositivi

ABSTRACT:
I nuovi metodi di progettazione antisismica tendenti ad elevare la sicurezza sismica degli edifici portano in conto la capacità dissipativa del sistema strutturale e gli effetti delle deformazioni laterali. Mentre queste considerazioni interessano sia la configurazione morfologica che quella strutturale degli edifici, esse finora non hanno influenzato significativamente i concetti fondamentali che guidano la progettazione architettonica. La mancanza di linee guida chiarificatrici sulla architettura antisismica diventa peraltro ancora più pronunciata quando si adottano i nuovi concetti di protezione sismica e le relative tecnologie innovative. La ricerca è orientata ad analizzare la relazione tra morfologia architettonica, configurazione strutturale e comportamento sismico degli edifici, nelle situazioni in cui vengano impiegati sistemi innovativi di protezione sismica quali l'isolamento alla base ed i controventi dissipativi. Lo studio è in corso di sviluppo nell'ambito delle attività di ricerca della Linea 7 del progetto DPC-ReLUIS.

1 INTRODUZIONE

I nuovi metodi di progettazione delle costruzioni in zona sismica prevedono che, ai fini del miglioramento della sicurezza sismica degli edifici, si portino in conto la risposta in spostamento e la capacità del sistema di dissipare energia.

I criteri fondamentali di caratterizzazione degli edifici, tradizionalmente noti ai fini della loro resistenza agli eventi sismici, sono la regolarità morfologica e costruttiva, caratterizzata dalla presenza di percorsi omogenei e continui, in grado di sostenere e convogliare le azioni indotte dal sisma, e l'uso corretto dei materiali, che renda gli elementi strutturali capaci di sostenere adeguatamente le sollecitazioni dovute alle azioni orizzontali. Questi criteri derivano dal principio basilare di progetto nei confronti delle azioni eccezionali per cui la capacità della struttura è assicurata sostanzialmente dalla sua tenacità globale, che deriva da quella di ciascun componente, e che assicura la massima dissipazione di energia quando tutti gli elementi assicurino la collaborazione.

Anche l'osservazione degli effetti prodotti dai terremoti hanno confermato come la maggior parte dei danneggiamenti e dei collassi siano da attribuire a configurazioni irregolari che, peraltro, possono essere considerato il risultato della attuale prassi progettuale in cui il progetto architettonico viene sviluppato prima di quello strutturale. Infatti, la concezione architettonica, intesa come definizione degli aspetti formali, estetici e di layout, condiziona il sistema strutturale sismo-resistente, in quanto il dimensionamento strutturale di un sistema già morfologicamente definito risulterà in un sistema meno affidabile. La questione riguarda pertanto in modo esplicito le relazioni esistenti tra la progettazione architettonica e quella strutturale (Parducci, 2001).

Il concetto di morfologia architettonica sismoresistente risponde alla definizione fornita da Arnold (Arnold, 1982) con il significato di una morfologia che comprenda non soltanto la forma e le dimensioni dell'edificio, ma anche la natura, la "regolarità", e, soprattutto, la articolazione, intesa come quantità e disposizione, degli elementi strutturali e non strutturali, dove il termine "regolarità" non significa necessariamente ricerca di soluzioni simmetriche e ripetitive, limitate da un regime vincolante di regole, ma di soluzioni che ottimizzino il comportamento sismico degli edifici in armonia con le innovazioni tecnologiche disponibili.

L'analisi delle relazioni tra la morfologia, la soluzione strutturale, e la risposta sismica degli edifici dotati di sistemi innovativi di protezione sismica, porta a definire nuovi criteri di base nella concezione architettonica delle costruzioni.

L'isolamento, lo smorzamento, la dissipazione di energia, sono in grado di esaltare le prestazioni dell'edificio, cosicché certe caratteristiche morfologiche, solitamente considerate inappropriate, possono divenire subordinate. Allo stesso tempo, nuovi principi di progettazione, assenti o negati nella concezione tradizionale, devono essere presi in considerazione. Queste considerazioni, che interessano allo stesso modo la configurazione strutturale delle costruzioni e la loro morfologia architettonica, di fatto non sono conosciute tra la comunità dei progettisti architettonici e non possono influenzarne i comportamenti progettuali.

In questo lavoro si discutono i principi concettuali riguardanti la configurazione e la morfologia degli edifici dotati di sistemi avanzati di protezione antisismici, dopo aver ricordato quelli tipici della progettazione convenzionale.

2 REGOLE MORFOLOGICHE TRADIZIONALI

Le dimensioni assolute, la compattezza, la simmetria, la regolarità costituiscono i parametri morfologici tradizionali che definiscono i principi classici della ingegneria sismica.

Il parametro fondamentale di controllo della configurazione, collegato peraltro al comportamento sismico delle strutture, è rappresentato dalle dimensioni dell'edificio. Fin dall'inizio degli studi sul comportamento sismico degli edifici, la forma è stata individuata come un parametro fondamentale nel controllo della risposta. In un primo tempo si è fatto riferimento alle dimensioni globali degli edifici, per cui nelle prime prescrizioni per gli edifici in zona sismica si ritrovano limitazioni sulle dimensioni degli edifici. In Italia le prime linee guida per edifici in zona sismica vennero redatte circa un secolo fa, nel 1909, dopo il catastrofico terremoto di Messina del 1908. Esse contenevano prescrizioni di tipo qualitativo, centrando l'attenzione su tre aspetti che ancor oggi sono ritenuti fondamentali: l'influenza del suolo di fondazione, l'importanza dei dettagli costruttivi, le dimensioni degli edifici, con forti limitazioni sull'altezza (10 metri o due livelli, uno soltanto per gli edifici in pietra) assolutamente inderogabili per edifici caratterizzati da specifici fattori di rischio (scuole, ospedali, caserme). Ovviamente le limitazioni erano congruenti con i sistemi costruttivi in uso a quell'epoca, rappresentati da muratura di laterizi o pietra naturale. In seguito, con la comparsa di materiali di gran lunga più resistenti, si comprese che l'altezza non rappresentava, di per se, un fattore negativo per la risposta sismica degli edifici (Arnold, 1982): infatti l'altezza fa incrementare il periodo di oscillazione dell'edificio spostandolo nel campo dove le amplificazioni dell'azione sismica sono più basse; al contrario, quello che deve essere controllato è il rapporto altezza/larghezza, cioè il fattore di forma, perché può influenzare il ribaltamento dell'edificio ed il sovraccarico assiale degli elementi più esterni.

I principi di simmetria e di compattezza hanno avuto la loro importanza con la finalità di evitare distribuzioni irregolari delle forze indotte dal terremoto, nell'ambito dell'obiettivo ottimale della progettazione sismica secondo il quale tutte le membrature strutturali dovrebbero contribuire alla resistenza ed alla dissipazione dell'energia (Arnold, 1982). Evitando la dispersione (diffusione) nella distribuzione delle masse, delle resistenze e delle rigidezze si possono eliminare le grandi eccentricità (tra centri di massa e di rigidezza) e limitare gli effetti torsionali. Le prescrizioni di simmetria e di compattezza riguardano non soltanto la configurazione strutturale, ma influenzano grandemente la morfologia architettonica e possono imporre vincoli significativi sulla forma dell'edificio, che dovrebbe essere "semplice" sia in pianta che in elevazione (Figura 1), intendendo per "semplicità" l'assenza di concavità (Arnold, 1982) Esempi di schemi complessi sono invece riportati in Figura 2.

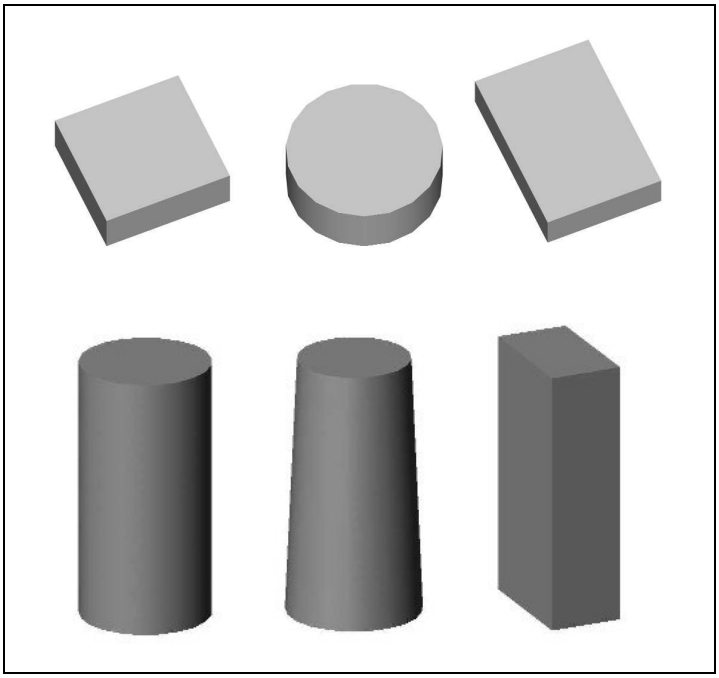

Figura 1. Schemi "semplici" di forme in pianta (in alto) ed in elevazione (in basso)

Anche i principi di uniformità e di regolarità hanno come obiettivo l'eliminazione di zone critiche in cui la concentrazione di tensioni o l'elevata domanda di duttilità potrebbe causare un collasso prematuro. In verità, questi principi, imponendo limiti significativi alla variazione di forma, di massa, di rigidezza, di resistenza, sia in pianta che lungo l'altezza dell'edificio, di fatto introducono altri vincoli severi sulla configurazione e di conseguenza guidano anche la progettazione morfologica. C'è da dire che talvolta essi possono essere in contrasto con alcune visioni della architettura moderna: un caso emblematico è rappresentato dalla configurazione di piano flessibile

(Figura 3), che è stata, ed ancora è, ampiamente utilizzata dagli architetti in quanto corrisponde ad uno dei principi guida della architettura moderna, ovvero il "piano pilotis", uno dei cinque punti fondamentali presentati da Le Corbusier nel suo libro "Vers une architecture" fin dal 1923.

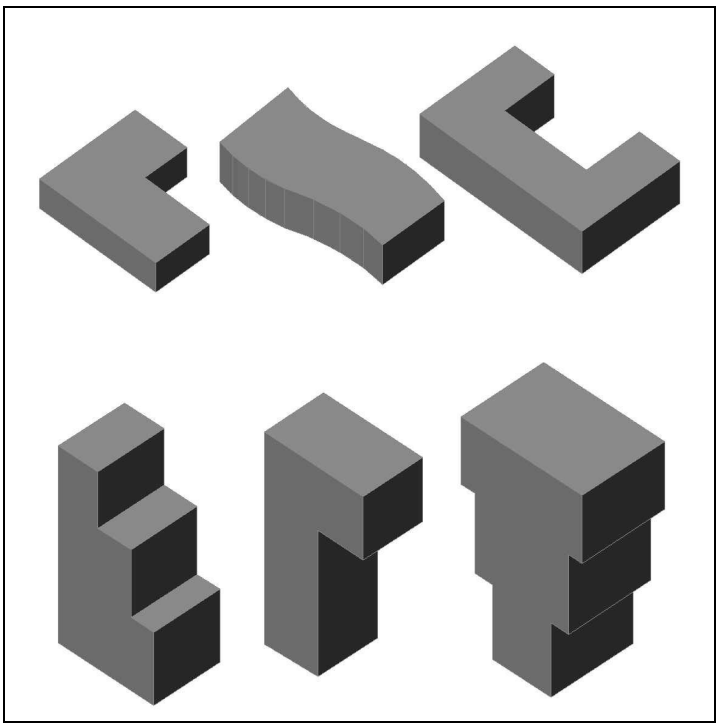

Figura 2. Schemi "complessi" di forme in pianta (in alto) ed in elevazione (in basso)

Figura 3. Configurazione "complessa" per anomalia nel comportamento strutturale (Villa Savoye a Poissy, Le Corbusier)

3 MORFOLOGIA, TECNOLOGIA, SOLUZIONE STRUTTURALE

Gli aspetti di configurazione legati alla tecnologia sono fondamentalmente correlati al materiale della struttura. Le caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale possono determinare, o influenzare fortemente, la configurazione dell'edificio. Infatti, l'utilizzo ottimale del materiale, da un punto di vista economico e meccanico, richiede forme specifiche per gli elementi strutturali e per il loro assemblaggio: per esempio, il controventamento è necessario, per resistere alle azioni laterali, nei telai di acciaio caratterizzati da elementi snelli.

In alcuni casi della storia delle costruzioni il materiale e la morfologia appaiono come un'unica cosa e possono essere confusi: questo è il caso delle piramidi costruite nell'ambito di diverse civiltà, pur in epoche e contesti diversi (Figura 4). Lo stesso accade nelle applicazioni ordinarie di edifici in muratura ed in pietra, nei quali la configurazione globale dipende dalla configurazione degli elementi strutturali, le pareti, che dipende a sua volta dal materiale.

Talvolta la soluzione strutturale è essa stessa a determinare la morfologia, come avviene nel caso degli archi e delle volte: gli acquedotti romani e le cupole del rinascimento italiano ne sono un valido esempio (Figura 5). In genere però, la soluzione strutturale influenza solo lievemente la configurazione finale, senza assolutamente determinarla. La soluzione strutturale può essere definita come un parametro di "secondo livello" che può essere determinante soltanto quando è associata ad una scelta architettonica di rendere evidente l'aspetto strutturale. Al contrario, in alcune soluzioni architettoniche, la struttura risulta asservita alla morfologia, la quale viene scelta soltanto sulla base di considerazioni estetiche ed espressive (Figura 6).

Figura 4. Piramidi maya a Cancun (in alto); zigurat ad Ur (in basso)

Figura 5. Acquedotto romano a Segovia (in alto); Cupola di S.Pietro a Roma (in basso)

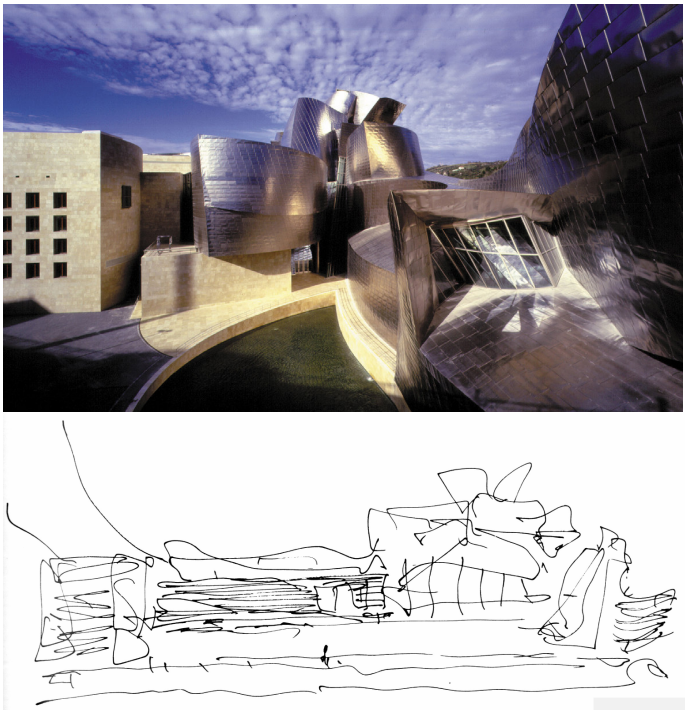

Figura 6. Museo Guggenheim a Bilbao, design Frank Gehry

4 FORMA E PRESTAZIONE DEI SISTEMI

Si è già parlato di forma a proposito dei principi di configurazione antisismica tradizionale, ma nel caso in cui i nuovi sistemi di protezione sismica vengono inseriti nelle costruzioni per migliorarne le prestazioni sismiche, è necessario applicare concetti più complessi riguardanti la forma dell'edificio.

La forma non è più un fattore assoluto che influenza direttamente l'efficacia della risposta sismica, ma essa va posta in relazione con la presenza e la posizione dei dispositivi. Due principi guidano in questo caso la morfologia dell'edificio dotato di sistemi di protezione innovativi.

Il primo principio consiste nel fatto che la forma deve essere tale da ottimizzare la prestazione del sistema di protezione sismica e criteri specifici devono essere individuati per ciascun sistema. Nell'isolamento alla base, per esempio, i principi della centrifugazione delle rigidezze del sistema di isolamento e della concentrazione perimetrale dei carichi verticali hanno mostrato di ottimizzare il comportamento dei dispositivi e la risposta dell'edificio (Mezzi, 2003). L'applicazione di nuovi criteri può perfino condurre a forme globali assolutamente nuove come mostrato nella Figura 7, dove è riportata la rappresentazione 3D dell'edificio principale del Centro della Protezione Civile per l'Italia Centrale, correntemente in costruzione a Foligno (Perugia) (Parducci, 2001).

Il secondo principio riguardante la forma, consiste nel fatto che i sistemi innovativi possono consentire il superamento dei tradizionali vincoli di forma degli edifici in zona sismica connessi alla simmetria, compattezza e regolarità della costruzione, considerando l'effetto di insieme della forma globale dell'edificio, delle discontinuità, della posizione dei dispositivi. Questi fattori interagiscono e determinano il reale comportamento dell'edificio: per esempio, edifici con forme complesse ed irregolari in pianta possono avere una risposta "regolarizzata", mitigando fortemente gli effetti torsionali, se viene predisposto un sistema di isolamento caratterizzato dalla assenza di eccentricità tra i centri di massa e di rigidezza e da una buona centrifugazione delle rigidezze e delle dissipazioni.

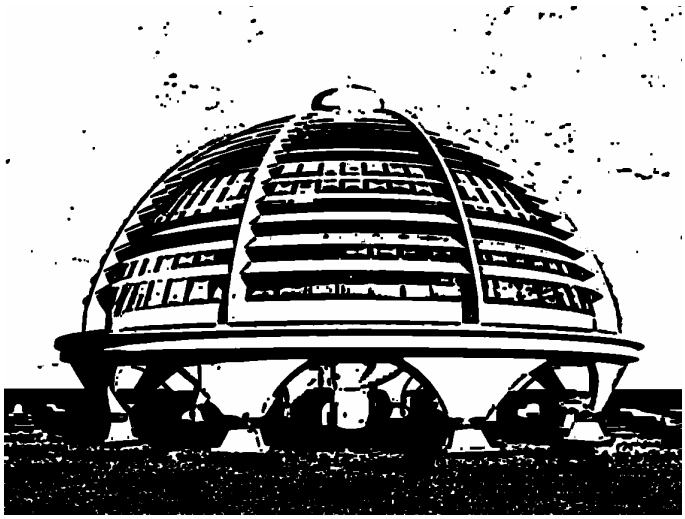

Figura 7. Forma ed ottimizzazione della prestazione (Centro della Protezione Civile di Foligno, progetto A.Parducci e G.Tommesani)

5 NUOVI PRINCIPI DI CONFIGURAZIONE

Nel caso in cui nella costruzione vengano impiegati sistemi di protezione innovativi ed avanzati, quali l'isolamento sismico, i sistemi dissipativi, i sistemi attivi o ibridi, nuovi principi concettuali devono essere introdotti nella progettazione [Mezzi et al., 2004]. Questi principi sono riassunti nelle parole chiave:

- deformazione;
- movimento;
- discontinuità;
- visibilità dei dispositivi;
- forma;
- comfort degli occupanti.

5.1 *Deformazione*

Il principio di deformabilità della costruzione può essere descritto come la capacità di sviluppare elevati spostamenti locali in modo tale da consentire le deformazioni di dispositivi dissipativi inseriti nell'ambito della griglia strutturale (Figura 8). Controventi dissipativi verticali possono essere inseriti nella intelaiatura e possono dissipare energia in associazione agli spostamenti relativi tra livelli di piano consecutivi. Controventamenti orizzontali possono essere dotati di smorzatori in grado di dissipare energia grazie alle deformazioni nel piano orizzontale degli orizzontamenti controventati. In entrambi i casi, i grandi spostamenti tra nodi adiacenti assicurano una significativa dissipazione di energia e quindi una riduzione della risposta.

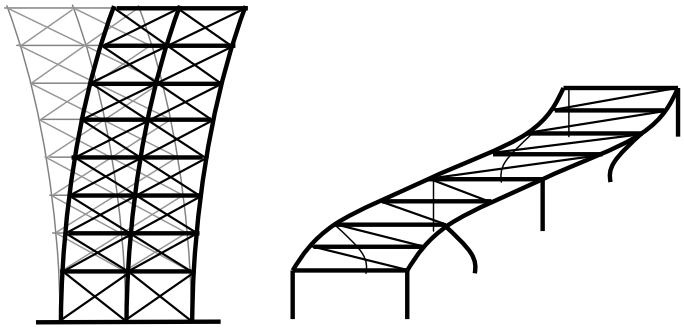

Figura 8. Capacità di deformazione verticale ed orizzontale

5.2 *Movimento*

Un'altra prestazione che è in grado di contribuire ad una significativa dissipazione di energia, consiste nella capacità di una costruzione di sostenere movimenti, cioè di cambiare nel tempo la sua posizione nello spazio. Tale concetto contraddice uno dei quattro classici principi vitruviani, la "firmitas", che esprime la solidità della costruzione, rigidamente connessa ad un suolo stabile. Il movimento può interessare l'intera struttura oppure soltanto una porzione. Esso provoca deformazioni su dispositivi che, montati tra l'edificio ed il terreno o tra porzioni diverse che subiscono movimenti relativi, sono in grado di dissipare energia e ridurre la risposta laterale. La Figura 9 mostra alcune situazioni tipiche di movimento in edifici equipaggiati con dispositivi innovativi: movimento laterale di edifici isolati alla base; movimento dei blocchi dei piani sospesi in un edificio sospeso; movimento dei livelli di piano in un sistema di piani flottanti.

5.3 *Discontinuità*

Il principio di discontinuità è connesso a quello di movimento e può effettivamente rappresentare una sfida progettuale dal punto di vista architettonico. Una volta che si sia accettato il principio del movimento della intera costruzione o di parti di essa, occorre necessariamente abbandonare il concetto di continuità dell'edificio verso l'esterno, con il terreno, ed al suo interno, tra le sue porzioni (Figura 10). Il movimento può essere consentito soltanto se è presente una soluzione di continuità che può realizzarsi in vari modi: l'intero edificio è disconnesso dal suolo, come nell'isolamento alla base; porzioni mobili dell'edificio separate da porzioni fisse connesse rigidamente al suolo, come negli edifici sospesi con blocchi di piani flottanti; porzioni complete di edificio separate tra loro per beneficiare degli spostamenti relativi; elementi strutturali localmente separati dalla struttura principale, come avviene nel caso di solai appesi o flottanti.

5.4 *Visibilità*

La riduzione della risposta sismica non dipende dalle deformazioni né dagli spostamenti di cui abbiamo parlato finora. Essa dipende dal movimento di speciali dispositivi dissipativi o di isolamento che funzionano in associazione a quelle deformazioni ed a quei spostamenti. La presenza di dispositivi introduce un altro tema specifico nella progettazione architettonica di edifici dotati di questi sistemi avanzati di protezione sismica. Il nuovo tema riguarda la visibilità dei dispositivi che appaiono, e generalmente sono, dei meccanismi - come nel caso di dissipatori viscosi, ad attrito o plastici - o delle vere e proprie macchine, come nel caso dei sistemi attivi o ibridi. Può anche accadere che i dispositivi siano costituiti da materiali speciali, inusuali nelle costruzioni, come nel caso degli isolatori in gomma laminata.

In alcune situazioni i dispositivi sono nascosti e l'edificio appare esternamente come un edificio ordinario. In altri casi i dispositivi sono stati messi in vista (Figura 11) divenendo un segno espressivo della costruzione. In altri casi (Figura 12Figura 11) gli elementi sono stati addirittura evidenziati sottolineando la loro presenza di presidio nei confronti degli attacchi sismici.

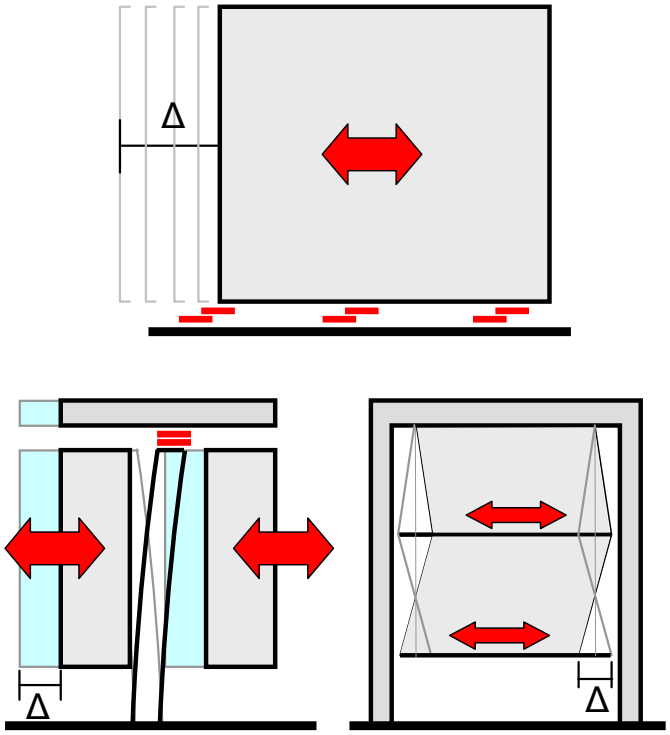

Figura 9. Capacità di movimento

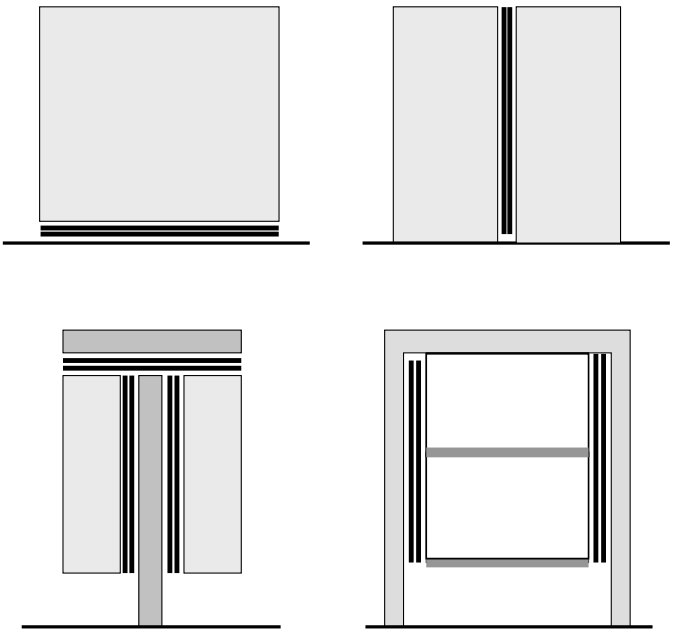

Figura 10. La discontinuità

Figura 11. Visibilità dei dispositivi: Vista globale e di dettaglio della Union House di Auckland (Nuova Zelanda)

Figura 12. Visibilità dei dispositivi: Vista globale e di dettaglio della scuola Jovine di Potenza (Italia)

5.5 *Comfort*

Una diversa classe di problemi può derivare dalle particolari prestazioni degli edifici dotati di sistemi di protezione innovativi ed è connessa alla loro prestazioni dinamiche connesse alla deformabilità ed alla capacità di movimento. La capacità di sostenere spostamenti, anche rilevanti, che deve essere assicurata in occasione di un attacco sismico, costituisce una caratteristica fondamentale della costruzione e potrebbe creare problemi durante le ordinarie condizioni di servizio sotto l'azione dei carichi frequenti. I forti terremoti che inducono il movimento degli edifici sono eventi rari, caratterizzati da una durata breve, pertanto il moto è da considerarsi ammissibile e, comunque, valori piuttosto ampi dei limiti di accettabilità del moto stesso possono essere assunti nelle verifiche. Ma gli edifici flessibili e dotati di mobilità devono essere verificati, per il comfort degli occupanti, anche sotto l'azione dei carichi di servizio che sono frequenti, che possono avere una lunga durata, che possono provocare gli stessi movimenti, anche se di ampiezza ridotta.

A questo fine possono essere applicati i criteri di controllo del comfort e del panico, che sono generalmente ben definiti nelle normative, sia nazionali che internazionali, e si basano sul controllo di parametri cinematici della risposta.

Anche se gli effetti ricordati devono essere controllati, questo non rappresenta un vero e proprio problema, capace di creare difficoltà alla applicazione dei sistemi innovativi, infatti la presenza di dispositivi dissipativi o di isolamento e, a maggior ragione, di sistemi di controllo attivo o ibrido per il controllo delle vibrazioni, generalmente assicura un effetto positivo sulla dinamica della costruzione, riducendo l'impatto che le vibrazioni hanno sugli occupanti.

6 LA CLASSE DELLE CONFIGURAZIONI "SOSPESE"

L'applicazione dei sistemi di protezione sismica avanzati e la loro relazione con la configurazione della costruzione presenta due filoni di applicazioni progettuali. Il primo consiste nella possibilità di assicurare prestazioni sismiche adeguate a configura-

zioni che altrimenti sarebbero incompatibili, consentendo l'adeguamento di configurazioni inopportune (Mezzi and Parducci, 2005; Mezzi, 2006). Il secondo riguarda la possibilità di sviluppare nuove configurazioni rese possibili, o necessarie, dalle nuove prestazioni.

Proprio quest'ultima opzione è illustrata nel presente capitolo, facendo riferimento ad una classe di configurazioni caratterizzate dalla presenza di sistemi di sospensione. Sono stati studiati vari schemi strutturali con queste caratteristiche: "edifici sospesi" (bell buildings), "piani flottanti" (floating floors), "edifici a ponte" (bridge buildings).

"Bell buildings"

Alcuni anni fa venne sviluppata una ricerca (Mezzi et al., 1994) sulla configurazione di edifici sospesi, con la finalità di analizzare il comportamento sismico, definire i criteri di progetto, progettare dispositivi dissipativi speciali, individuare un sistema costruttivo prefabbricato e l'industrializzazione della sua produzione. Furono confrontate varie configurazioni globali, illustrate in Figura 13, che si differenziavano nei sistemi di connessione tra le componenti strutturali. Nello schema A la connessione di sommità è rigida, nello schema B la connessione è incernierata, nello schema C la sospensione è realizzata con una travatura basculante. In totale sono stati confrontati sei schemi, considerando una configurazione di riferimento (B0) con connessioni laterali rigide e due varianti degli schemi base: nella variante B1 la connessione laterale superiore è assente, nella variante C1 viene considerata rigida la connessione sommitale.

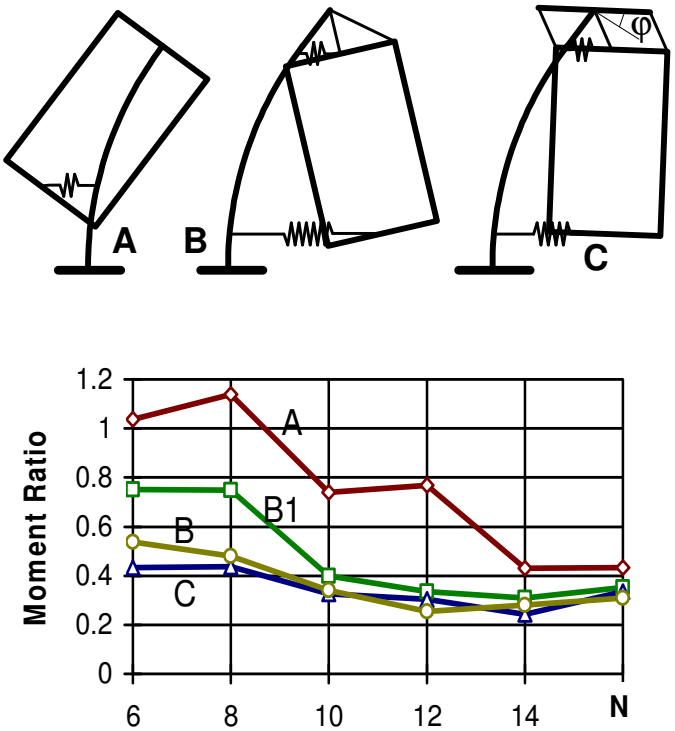

Figura 13. Schemi e confronto prestazionale di edifici sospesi [Mezzi et al., 1994]

Il grafico in basso nella Figura 13 mostra l'aliquota di momento flettente alla base del nucleo, rispetto a quello della configurazione rigida convenzionale, calcolato per le varie configurazioni al variare del numero di piani dell'edificio. Gli schemi B e C mostrano riduzioni della risposta dello stesso ordine, ma il secondo è da considerare preferibile in quanto permette anche la riduzione delle rotazioni del blocco dei piani sospesi e delle sovratensioni sui tiranti di sospensione associate alle oscillazioni laterali.

Floating floors

Un'altra classe di configurazioni sospese è rappresentata dalla sospensione degli orizzonatementi ad una struttura verticale monolitica e può essere applicata per la soluzione strutturale di quei temi architettonici che prevedono una struttura intelaiata regolare come sostegno e contenitore di una distribuzione libera di solai che occupano solo parzialmente l'edificio con forme irregolari e diverse alle varie quote. La Future University di Hakodate in Giappone, progettata da Riken Yamamoto, rappresenta un buon esempio di tale disposizione. La Figura 14 mostra due viste, una esterna ed una interna, dell'edificio dalle quali si evince l'articolazione degli spazi.

Lo studio di questa classe di soluzioni è stato affrontato in una tesi (Ottaviano, 2002), nell'ambito della quale sono state considerate varie soluzioni che differivano nel sistema dissipativo adotatto per limitare le forze orizzontali trasmesse alla struttura principale.

Figura 14. Vista esterna (sopra) ed interna (sotto) della Future University di Hakodate in Giappone (Riken Yamamoto)

La Figura 15 mostra le tre soluzioni esaminate: piani sospesi collegati lateralmente con dispositivi elasto-plastici (SP); piani sospesi controventati con dispositivi viscosi (SV); piani isolati (IF). Gli schemi hanno luci di 12 m ed altezze di interpiano di 5 m, la massa di piano è di circa 1 t/m^2. Due diverse soluzioni sono state ipotizzate per la struttura principale: pilastri liberi cielo-terra e pilastri intelaiati con travi a livello dei solai.

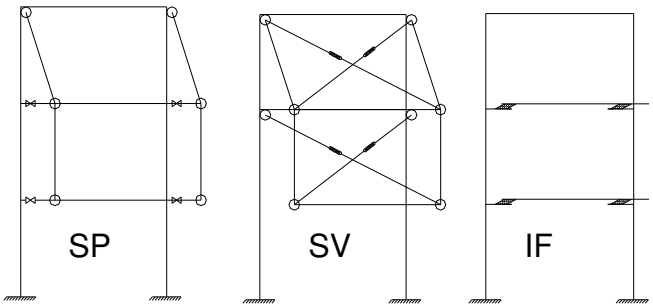

Figura 15. Schemi elementari delle sospensioni di piano

Le analisi dinamiche eseguite utilizzando quattro accelerogrammi, spettrocompatibili con lo spettro B di (Eurocode, 2003) e con PGA di 0.35 g, mostrano l'efficacia delle soluzioni isolate e dissipate. La Tabella 1 mostra il rapporto della forza di taglio, V, e del momento flettente, M, alla base dei pilastri (valori medi delle quattro risposte dinamiche) rispetto ai valori della soluzione di riferimento (REF) convenzionale, ovvero con schema intelaiato continuo,per le diverse soluzioni. Il taglio ed il momento possono essere ridotti a circa un terzo del loro valore, con una efficacia della riduzione che è praticamente simile per le varie soluzioni.

Tabella 1. Rapporti delle sollecitazioni alla base dei montanti

PILASTRI LIBERE			PILASTRI A TELAIO		
Schema	V/V_{REF}	M/M_{REF}	Schema	V/V_{REF}	M/M_{REF}
IF	0.33	0.35	IF	0.31	0.32
SP	0.37	0.36	SP	0.37	0.38
SV	0.32	0.35	SV	0.30	0.33

Lo studio è stato esteso prendendo in considerazione sia schemi tri-dimensionali semplificati, sia disposizioni più complesse, come illustrato in Figura 16. L'ultimo modello simula una struttura reale con piani di forma irregolare e pilastri liberi sull'intera altezza. La Tabella 2 riporta i risultati ottenuti per l'ultimo schema più complesso. Sono riportati i rapporti delle sollecitazioni alla base dei montanti (tagli, VX e VY, e momenti, MX ed MY) e sul traverso di sommità (taglio, VB, e momento, MB) rispetto a quelli dello schema convenzionale di riferimento. I fattori di riduzione variano in un campo compreso tra 0.231 e 0.419 per i montanti, praticamente raddoppiando la capacità della configurazione avanzata, rispetto a quella convenzionale.

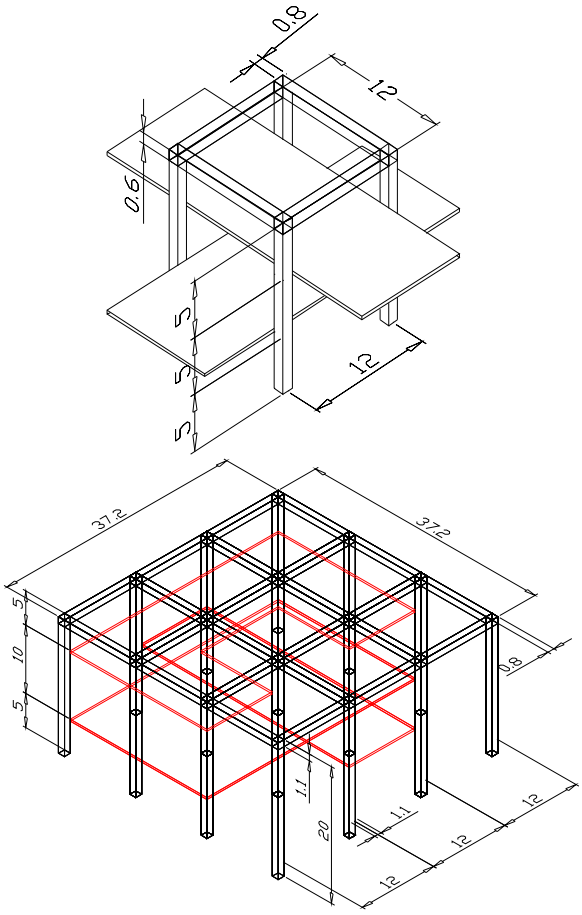

Figura 16. Schemi generali del modello 3D semplificato (sopra) e 3D complesso (sotto)

Tabella 2. Rapporti delle sollecitazioni dei pilastri alla base e delle travi dell'ultimo livello rispetto allo schema di riferimento

	PILASTRI				TRAVI	
Schema	VX	VY	MY	MX	VB	MB
IF	0.345	0.321	0.321	0.415	0.514	0.441
SP	0.392	0.230	0.290	0.419	0.509	0.434
SV	0.307	0.240	0.290	0.379	0.562	0.430

"Bridge buildings"

Uno dei temi della architettura contemporanea è rappresenatto dai cosiddetti "bridge buildings", nei quali la forma globale riproduce l'aperura tipica dei ponti: due esempi noti e rilevanti di questo tipo di edifici sono riportati nella Figura 17. Talora il "vuoto" dell'edifici a ponte può essere "riempito" con un blocco sospeso dei piani ottenendo uno schema che possiamo definire "edificio sospeso a ponte", come in Figura 18.

In questi casi, le connessioni laterali tra i piani e la struttura principale possono essere realizzati con dispositivi dissipativi che limitano la forza trasmessa e dissipano energia. Alcune valutazioni analitiche sono state svolte su modelli piani semplici, come quelli riportati nella Figura 19, per controllare l'efficienza degli schemi dissipativi avanzati. Il modello riproduce il comportamento laterale di un edificio "sottile" o di uno spessore unitario di un edificio più "spesso". Vari livelli di soglia plastica sono stati considerati per i dispositivi di connessione. Sono

state anche individuate delle distribuzioni ottimizzate delle soglie lungo l'altezza, generalmente caratterizzate da valori più bassi ai piani inferiori.

Figura 17. "Bridge building": Grand Arche de la Défense, Paris (progetto Johan Otto von Spreckelsen), a sinistra; Umeda Sky Building, Osaka (progetto Hiroschi Hara), a destra

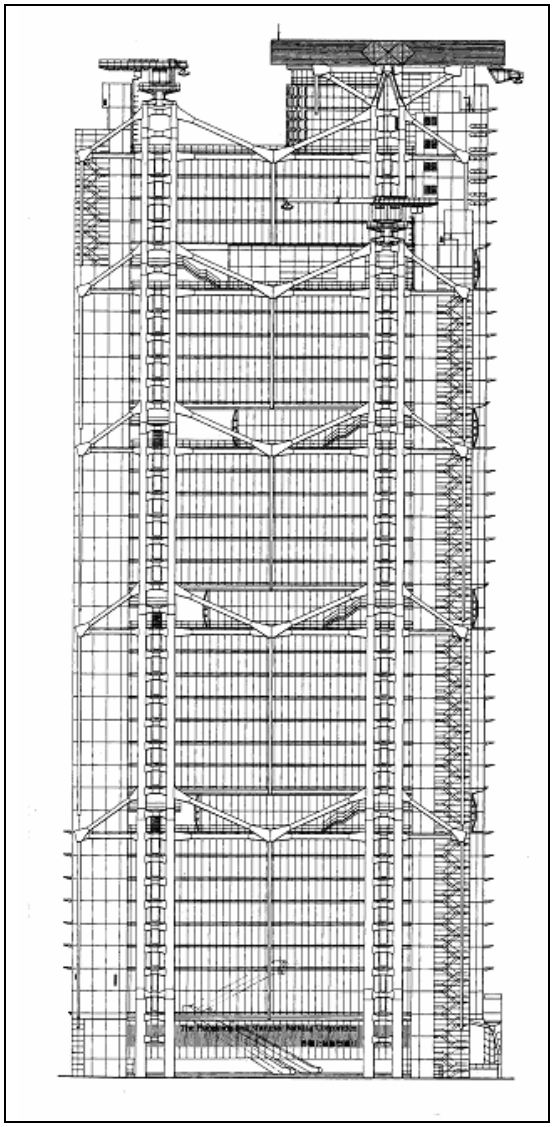

Figura 18. "Bridge building": Hong Kong and Shanghai Bank Building, Hong Kong (progetto Norman Foster)

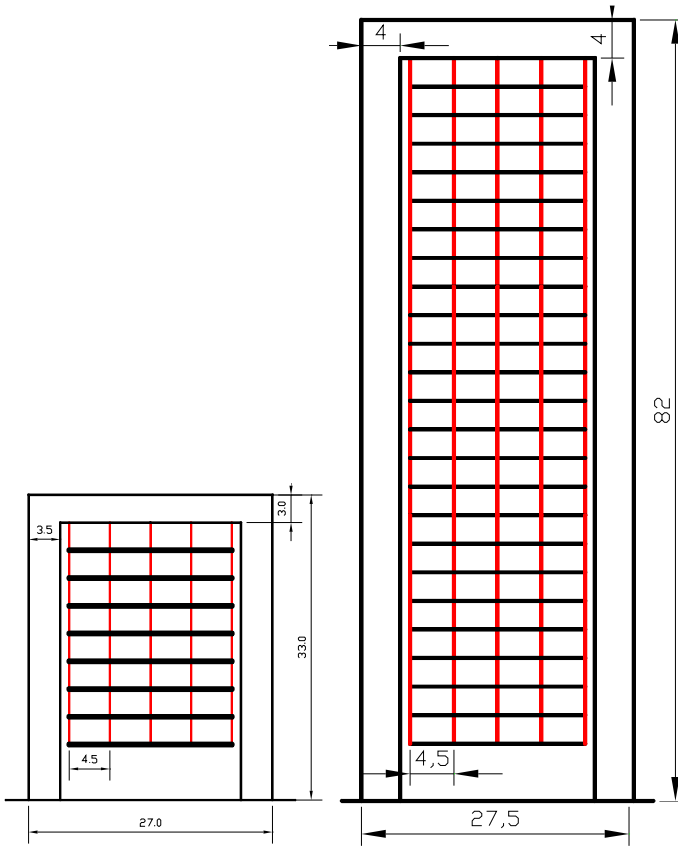

Figura 19. (c) Modelli di "bridge building": edificio basso (sinistra) ed edificio alto (a destra)

La Figura 21 riporta il taglio lungo l'altezza dei montanti per diverse caratteristiche dei dispositivi. Si osserva che una distribuzione ottimizzata riduce il taglio alla base di circa il 40%. Lo schema si mostra ancora più efficiente incrementando l'altezza: triplicando il numero di piani sospesi (Figura 19), le sollecitazioni di taglio e momento alla base rimangono invariate, come appare dal grafico del taglio alla base rispetto alla soglia plastica dei dissipatori, riportato in Figura 21. In questo caso, un ulteriore miglioramento della risposta strutturale può essere ottenuto disponendo delle travature ad un terzo e due terzi dell'altezza per intelaiare i montanti.

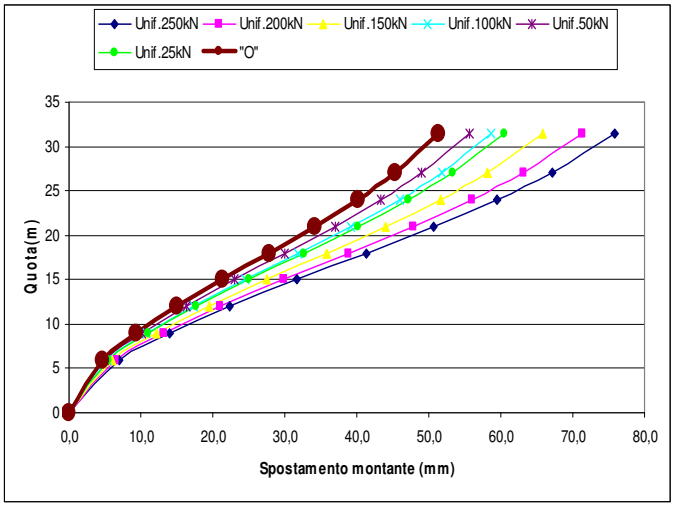

Figura 20. Taglio lungo i montanti

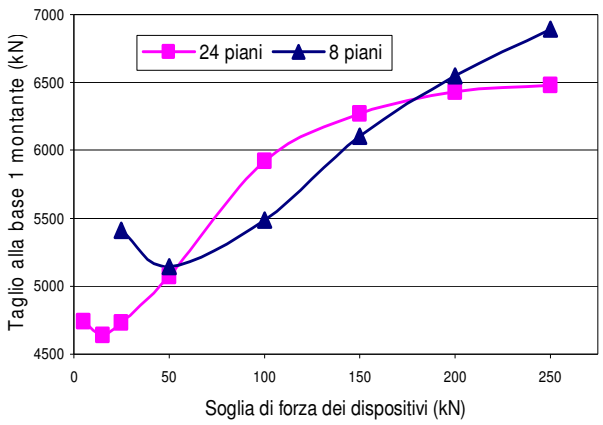

Figura 21. Taglio alla base per due configurazioni

7 CONCLUSIONI

L'isolamento, lo smorzamento, la dissipazione di energia, il controllo attivo ed ibrido possono innalzare significativamente le prestazioni sismiche delle costruzioni.

Una corretta progettazione, che tenga conto delle caratteristiche di questi sistemi di protezione, richiede la definizione e l'accettazione di nuovi principi fondamentali nella correlazione tra la morfologia architettonica e la configurazione strutturale.

I criteri tradizionali divengono subordinati rispetto ai nuovi principi guida che devono essere impiegati. Quest'ultimi sono riassumibili nei concetti di flessibilità, discontinuità, movimento, inserimento dei dispositivi, forma ottimizzata, comfort.

Sono stati proposti alcuni criteri per l'applicazione di questi principi agli edifici nuovi, in particolare facendo riferimento ad una particolare classe di configurazioni rappresentata dagli schemi strutturali sospesi.

RINGRAZIAMENTI

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto DPC-ReLUIS 2005-2008, Linea di ricerca n. 7 "Tecnologie per l'isolamento ed il controllo di strutture ed infrastrutture".

BIBLIOGRAFIA

Arnold, C., Reitherman, R., 1982. *Building Configuration and Seismic Design*. John Wiley, New York.

Eurocodice 8, 2004. *Design of structures for earthquake resistance*. CEN European Committee for Standardisation. Bruxelles, Belgio.

Mezzi, M., Parducci, A., Marioni, A., 1994. Aseismic Suspended Buildings Based on Energy Dissipation. *Proc. 10th ECEE*. Balkema, Rotterdam.

Mezzi, M., 2003. Optimum Structural Configurations of Seismic Isolated Buildings. *2nd Int.Spec.Conf on The Conceptual Approach to Structural Design*. Milan, Italy.

Mezzi, M., Parducci, A., Verducci, P., 2004. Architectural and Structural Configurations of Buildings with Innovative A-seismic Systems. *13th WCEE*. Vancouver, Canada.

Mezzi, M., Parducci, A., 2005. Preservation of Existing Soft-First-Story Configurations by Improving the Seismic Performance. *3rd Int.Spec.Conf on The Conceptual Approach to Structural Design*. Singapore.

Mezzi, M., 2006. Enhancing the Seismic Performance of Existing "Pilotis" Configurations. *IABSE Conference "Responding to Tomorrow's Challenges in Structural Engineering"*. Budapest.

Ottaviano, L., 2002. Configurazione architettonica e prestazione sismica: applicazione di sistemi innovative per la protezione degli edifici (in italiano). *Graduation Thesis, University of Perugia*. Perugia, Italy.

Parducci, A., 1999. Seismic Isolation: Why, Where, When - Design options for ordinary buildings: the Italian experience. *International Post-Smirt Conference Seminar Isolation, Energy Dissipation and Control of Vibration of Structures*. Cheju, Korea.

Parducci, A., 2001. Seismic Isolation and Architectural Configuration. *Special Conference on the Conceptual Design of Structures*. Singapore.