



# Progettare in zona sismica nel terzo millennio: le moderne tecnologie

Le moderne tecnologie antisismiche sono ormai largamente diffuse, sia in nuove costruzioni sia in quelle esistenti, come evidenziato nelle più recenti conferenze internazionali, e l'ottimo comportamento degli edifici isolati alla base è oramai stato verificato durante numerosi eventi sismici. I dispositivi attualmente utilizzati sono altamente affidabili, soprattutto gli elastomerici, ma la corretta applicazione delle moderne tecnologie deve essere garantita con criteri normativi adeguati e controlli affidabili

DOI 10.12910/EAI2015-080

■ A. Martelli

## Introduzione

Sono ormai da tempo disponibili moderne tecnologie in grado di assicurare una protezione sismica adeguata a tutte le tipologie di costruzioni, sia nuove che esistenti. Esse si basano o sull'approccio tradizionale, che consiste nel rendere la struttura sufficientemente robusta, in modo tale che essa possa resistere al massimo terremoto atteso durante la sua vita nella zona in cui sorge, o sull'uso di dispositivi antisismici (AS), che riducono drasticamente le azioni sismiche trasmesse dal terreno alla struttura, o su una combinazione delle due tecniche summenzionate. Questa relazione riguarda principalmente i dispositivi AS di tipo passivo (ve ne sono anche di tipo attivo, semiattivo od ibrido, ma con applicazioni assai meno numerose) e riassume brevemente sia le informazioni fornite all'*ASSISi 13<sup>th</sup> World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures*, svoltasi a Sendai (Giappone) dal 24 al 26 settembre 2013, sia quelle ricevute successivamente dallo scrivente (Martelli et al., 2014a). Altre relazioni presentate a questo convegno trattano dell'uso dell'approccio

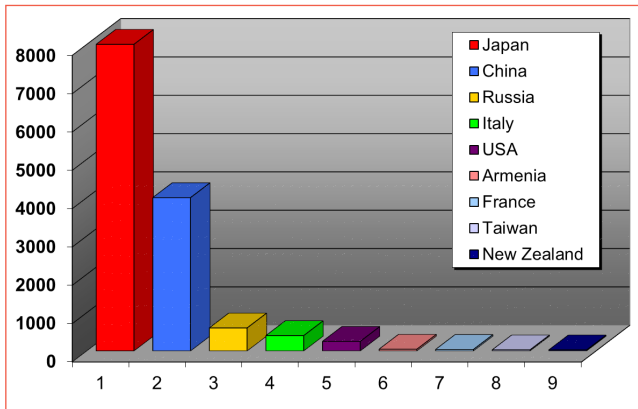
tradizionale prima citato, oltre che delle più recenti applicazioni italiane, giapponesi, cinesi e statunitensi dei dispositivi AS. Dati più aggiornati sull'applicazione dei sistemi AS nei diversi paesi saranno rese disponibili all'*ASSISi 14<sup>th</sup> World Conference*, che si terrà a San Diego (California, USA) dal 7 all'11 settembre 2015.

Si ricorda che la conferenza di Sendai è stata il 13° evento dell'*Anti-Seismic Systems International Society (ASSISi)* e che essa si è svolta congiuntamente al *20<sup>th</sup> Anniversary International Symposium* della *Japan Society of Seismic Isolation (JSSI)*, associazione che è stata l'organizzatore locale (JSSI, 2013). Il GLIS (GLIS – Isolamento ed altre Strategie di Progettazione Antisismica), che, come il JSSI, è *corporate member* dell'*ASSISi*, ha coorganizzato l'evento: lo scrivente era membro del Comitato Scientifico (nella sua duplice veste di Presidente del GLIS e Presidente Fondatore ed attuale Vicepresidente dell'*ASSISi*), nonché *key-note lecturer* e relatore su invito per l'Italia (Martelli et al., 2014a).

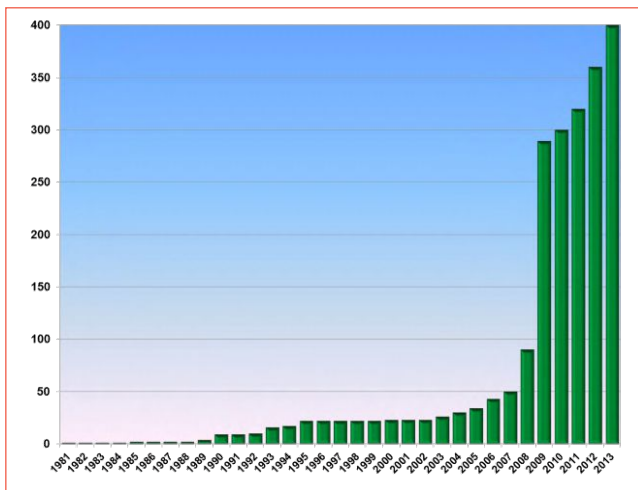
## Applicazioni dei sistemi antisismici

In settembre 2013 si contavano già, a livello mondiale, oltre 23.000 strutture protette da sistemi AS di tipo pas-

Contact person: Alessandro Martelli  
martesso1@gmail.com



**FIGURA 1** Numero degli edifici isolati sismicamente nei paesi più attivi (dati di settembre 2013)



**FIGURA 2** Numero complessivo di edifici italiani isolati sismicamente dal 1981 a settembre 2013

sivo, come quelli di isolamento sismico o di dissipazione dell'energia, ovvero da dispositivi in leghe a memoria di forma od oleodinamici di vincolo provvisorio. Tali strutture sono situate in oltre 30 paesi (Figura 1 e Tabella 1) e riguardano sia nuove costruzioni che interventi di adeguamento sismico (*retrofit*) su opere esistenti, di tutte le tipologie (Martelli et al., 2013 & 2014a,b): ponti e viadotti, edifici civili ed industriali, patrimonio culturale ed impianti e componenti industriali, inclusi alcuni nucleari e chimici a rischio di incidente rilevante (*High Risk – HR*).

PAESE	ISOLAMENTO SISMICO				DISSIPAZIONE D'ENERGIA E ALTRI SISTEMI			
	Grandi edifici	Case	Ponti e viadotti	Strutture industriali	Grandi edifici	Case	Ponti e viadotti	Strutture industriali
Giappone	3.000	5.000	>1.000 (?)	alcune	1.000	>5.000	n.n.	n.n.
Cina	4.000		400	50	500		200	50
Russia	600	0	>100	0?	8	0	>100	0 (?)
USA	≈250		centinaia	alcune	centinaia		n.n.	n.n.
Italia	>400 (?)		decine (?)	3	decine (?)		>300 (?)	0
Taiwan	>29	n.n.	>20	n.n.	>85	n.n.	n.n.	n.n.
Armenia	43	2	≈10	0	3	0	0	0
Nuova Zelanda	15 (?)	0 (?)	3 (?)	2 (?)	2 (?)	0 (?)	1 (?)	2 (?)
Turchia	18	0	11	2	2	0	0	0
Altri paesi	decine (?)		n.n.	decine	decine (?)		n.n.	n.n.
<b>Totali</b>	<b>&gt;14.000</b>		<b>&gt;&gt;1.500</b>	<b>≈80</b>	<b>&gt;&gt;6.500</b>		<b>&gt;&gt;600</b>	<b>&gt;50</b>

**TABELLA 1** Applicazioni attuali dei sistemi antisismici (dati resi disponibili alla Conferenza di Sendai del 2013 e, per la Turchia, forniti allo scrivente successivamente). [n.n. = dato non noto; (?) = dato incerto o da precisare meglio]

I materiali utilizzati nella realizzazione degli edifici così protetti sono di tutti i tipi: cemento armato (c.a.), acciaio e persino legno (JSSI, 2013; Martelli et al., 2013 & 2014a,b). Come mostrano la Figura 1 e la Tabella 1, il Giappone (Figure 3, 4, 14 e 15) resta il paese leader per quanto attiene al numero complessivo dei sistemi AS, con un perdurante consistente aumento di tale numero (a metà del 2011 gli edifici isolati giapponesi erano circa 6.600, incluse circa 4.000 case, e quelli protetti da sistemi dissipativi circa 3.000, incluse circa 2.000 case). Però, nella Repubblica Popolare (R. P.) Cinese (Figure 5 e 16-18), l'utilizzazione dei suddetti sistemi sta crescendo ancora più rapidamente che non in Giappone, soprattutto per quanto attiene all'isolamento sismico (a metà del 2011 gli edifici isolati cinesi erano circa 2.500 e quelli protetti da dissipatori od altri dispositivi circa 450). Giappone e R.P. Cinese sono seguiti dagli USA (Figura 6), dalla Federazione Russa (Figura 7) e dall'Italia (Figure 2 e 8-13). Come mostrano le figure succitate, l'uso dei sistemi AS nell'edilizia civile già comprende non solo le strutture strategiche (centri di protezione civile, ospedali ecc.) e pubbliche (scuole, chiese, musei, centri commerciali, alberghi, aeroporti ecc.), ma anche edifici residenziali e persino molte piccole case private. Ovunque il numero di tali applicazioni è in aumento, sebbene esso sia fortemente influenzato dalle "lezioni" apprese a seguito di terremoti violenti e, in ciascun paese, dalla disponibilità e dalle caratteristiche della normativa sismica utilizzata.

La maggior parte dei sistemi d'isolamento sismico fanno uso di dispositivi elastomerici (*Rubber Bearing – RB*), come quelli in gomma naturale ad alto smorzamento (*High Damping natural Rubber Bearing – HDRB*), in neoprene (*Neoprene Bearing – NB*), con nuclei interni in piombo (*Lead Rubber Bearing – LRB*), o (specialmente in Giappone) a basso smorzamento (*Low Damping Rubber Bearing – LDRB*) in parallelo a dissipatori di vario tipo: isteretici (*Elastic-Plastic Damper – EPD*), viscosi ecc. Nelle applicazioni agli edifici, sovente, assieme ai RB, sono utilizzati isolatori a scorrimento a superficie piana acciaio-Teflon (*Sliding Device – SD*), per sostenere le parti leggere degli edifici stessi senza irrigidire inutilmente il sistema d'isolamento (cosa che lo renderebbe meno efficace) e (se i suddetti edifici sono significativamente asimmetrici nel piano orizzontale) per minimizzare gli effetti torsionali (quelli dovuti alle asimmetrie in direzione verticale sono ridotti drasticamente dal moto "quasi di corpo rigido" della sovrastruttura isolata).

Un'altra tipologia di isolatori, che è stata utilizzata in Italia dopo il terremoto in *Abruzzo* del 2009, è costituita dai cosiddetti isolatori "a pendolo scorrevole" (*Curved Surface Slider – CSS*),

derivanti dal *Friction Pendulum (FPS)* americano (Figura 13) e dal successivo *Seismic Isolation Pendulum (SIP)* tedesco. Infine, trovano importanti applicazioni anche isolatori "a rotolamento" (*Rolling Bearing – RoB*), in particolare i cosiddetti *Ball Bearing (BB)* e *Sphere Bearing (SB)*: essi sono molto efficaci e trovano numerose applicazioni (più di 200 nel 2013) per la protezione di edifici in Giappone, ma non in paesi come l'Italia, per il loro costo elevato (però, anche in Italia, isolatori SB ed altri RoB sono già stati utilizzati per proteggere alcuni capolavori, teche museali e costose apparecchiature, incluse quelle di sale operatorie ospedaliere).



**FIGURA 3** Edificio di 87,4 m a Tokyo, isolato nel 2000 con 30 LDRB e 99 dissipatori EPD  
Fonte: Martelli et al., 2013



**FIGURA 4** Vista laterale del complesso di 21 edifici di 6-14 piani, tutti costruiti su un'unica piastra di "artificial ground" isolata a Sagami-hara (Tokyo) con 48 LRB, 103 SD e 83 BB (Martelli et al., 2014a). Si è trattato della prima applicazione giapponese di "artificial ground"



**FIGURA 5** Uno dei complessi di edifici residenziali isolati sismicamente nella R.P. Cinese, realizzato nella parte sudoccidentale del paese e costituito da 82 edifici di 4-16 piani tutti isolati singolarmente (area totale = 210.000 m<sup>2</sup>); molti edifici isolati cinesi sono residenziali e, fra questi, numerosi sono quelli in muratura, anche di notevole altezza  
Fonte: Martelli et al., 2014a



**FIGURA 6** La City Hall di San Francisco (California, USA), distrutta dal sisma del 1906, ricostruita nel 1912, nuovamente danneggiata dal terremoto di Loma Prieta del 1989 ed adeguata nel 2000 con 530 LRB e 62 SD  
Fonte: Martelli et al., 2013



**FIGURA 7** L'Hayat (Sea Plaza) Hotel, un edificio di 28-piani in c.a. isolato sismicamente (con 2 piani interrati), alto 93,6 m e con area totale di 40.000 m<sup>2</sup>, costruito a Sochi (Federazione Russa) ed alcuni dei 193 HDRB, fabbricati in Italia, che costituiscono il sistema di isolamento  
Fonte: Martelli et al., 2014a



**FIGURA 10** Esempio di recente riparazione di un edificio italiano con l'isolamento sismico: il complesso edilizio di Via dei Tigli 6-8-10 a Pianola (L'Aquila) ed uno dei 42 HDRB che, assieme a 67 SD, costituiscono il sistema d'isolamento (progetto del compianto socio del GLIS Ing. Giuseppe Mancinelli e del membro del consiglio direttivo dell'associazione Ing. Daniele Corsetti; certificato di collaudo in corso d'opera rilasciato dallo scrivente in maggio 2014



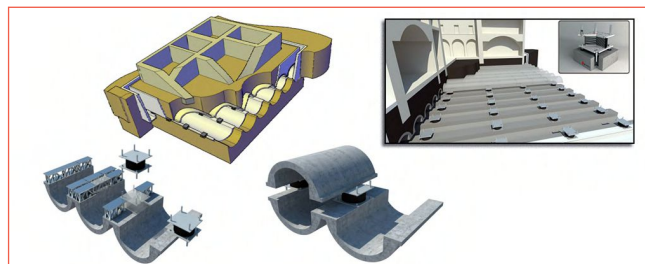
**FIGURA 8** L'edificio principale del nuovo Centro della Protezione Civile di Foligno (ex zona sismica 1), isolato con 10 HDRB e collaudato dallo scrivente nel 2011



**FIGURA 11** Esempio di recente applicazione italiana dell'isolamento sismico a scopo preventivo: il nuovo edificio di 7 piani fuori terra di Via Spadafora a Messina (ex zona sismica 1), protetto da 22 LRB e 2 SD installati alla sommità del cantinato (progetto del sistema d'isolamento dei soci del GLIS Ingg. Manlio Marino ed Alberto Dusi; certificato di collaudo in corso d'opera rilasciato dallo scrivente e dall'Ing. Giovanni Caminiti di Messina a luglio 2014)



**FIGURA 9** Il nuovo edificio B del Liceo Scientifico Romita a Campobasso (ex zona sismica 2), ricostruito con l'isolamento sismico (12 HDRB e 10 SD) dopo la demolizione degli edifici A e B nel 2010 (essi si erano dimostrati insicuri a seguito di prove sui materiali costruttivi effettuate dall'ENEA nel 2003; l'edificio è stato collaudato dallo scrivente nel 2013  
Fonte: Martelli et al., 2014a



**FIGURA 12** Sistema brevettato dall'ENEA e dal Politecnico di Torino per l'adeguamento sismico con l'isolamento di edifici monumentali, attuato inserendo lateralmente tubi di grande diametro (ove alloggiare gli isolatori) sotto le fondazioni, per rispettare (come anche per il museo di Figura 15) i requisiti del restauro  
Fonte: Clemente et al., 2011; Martelli et al., 2014°



**FIGURA 13** Uno dei tre serbatoi della Società Polimeri Europa del Gruppo ENI situati a Priolo, che furono adeguati sismicamente mediante isolatori statunitensi FPS negli anni 2005-2008, ed un FPS durante e dopo la sua installazione; questa è l'unica applicazione italiana dell'isolamento ad impianti e componenti chimici RIR nota allo scrivente (prima del sisma in Abruzzo del 2009 gli risultava anche l'unica applicazione in Italia di isolatori CSS)  
Fonte: Martelli et al., 2014a



**FIGURA 14** La Hachinohe City Hall (10 piani), nei pressi di Sendai, isolata sismicamente con LRB (a sinistra) ed il MT Building (18 piani) a Sendai, isolato sismicamente con RB e SD (a destra); entrambi gli edifici hanno resistito indenni al terremoto di Tohoku del 2011  
Fonte: JSSI, 2013; Martelli et al., 2014a

### Conferme dell'efficacia dell'isolamento sismico

A conoscenza dell'autore, tutte le strutture protette da RB che erano situate in aree colpite da violenti terremoti si sono comportate egregiamente (si vedano, ad esempio, le Figure 14-18), nonostante l'entità di tali terremoti fosse stata frequentemente sottostimata (Martelli et al., 2014a; JSSI, 2013; Zhou et al., 2013).

Le ultime importanti conferme dell'efficacia dell'isolamento si sono avute in occasione del terremoto di Lushan, che ha colpito nuovamente il Sichuan, nella R. P. Cinese, il 20 aprile 2013 (Zhou et al., 2013 e Figure 16-18). Tale terremoto, di magnitudo  $M = 7,0$  e con profondità ipocentrale di 13 km, si è infatti verificato in un'area che era già stata interessata dall'evento di Wenchuan del 2008 (la distanza fra i due epicentri è stata di 150 km) ed è stato caratterizzato da valori massimi dell'accelerazione orizzontale del terreno (*Peak Ground Acceleration* o *PGA*) che hanno raggiunto 0,4-0,6 g, contro quello di progetto di 0,3 g (si noti, per questo sisma, oltre alla perdurante inadeguatezza del suddetto valore di progetto della *PGA*, nonostante l'esperienza del 2008, il fatto che il nuovo evento si è verificato solo 5 anni dopo quello di Wenchuan, mentre quest'ultimo era stato preceduto da un sisma di magnitudo comparabile quasi 80 anni prima).



**FIGURA 15** Il National Western Art (Le Corbusier) Museum (4 piani) di Tokyo, adeguato con l'inserimento di HDRB in soффondazione nel 1999; durante il terremoto di Tohoku del 2011 l'isolamento ridusse i valori della *PGA* nelle due direzioni orizzontali da 0,19 e 0,27 g a 0,08 e 0,10 g alla sommità  
Fonte: JSSI, 2013; Martelli et al., 2014a

Il terremoto di Lushan ha causato circa 200 morti ed il ferimento di 250.000 persone; sono crollati o sono stati lesionati circa 40.000 edifici (cioè circa il 75% di quelli presenti nell'area interessata dall'evento). Le costruzioni fortemente lesionate a Lushan annoverarono numerosi edifici strategici e pubblici, anche costruiti o ricostruiti dopo l'evento di Wenchuan, inclusi ospedali e scuole. Però, ove era utilizzato, l'isolamento sismico risulta aver dato ottima prova di sé.

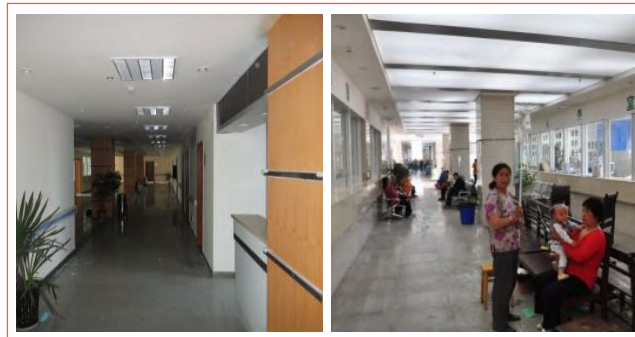


**FIGURA 16** Vista (prima del terremoto del 20 aprile 2013) dell'ospedale della contea di Lushan, costituito da un edificio isolato sismicamente (quello frontale, nella foto) e due fondati convenzionalmente (quelli laterali) ed uno degli 83 LRB che costituiscono il sistema d'isolamento dell'edificio isolato  
Fonte: Zhou et al., 2013; Martelli et al., 2014a

Particolarmente interessanti sono, a Lushan, due casi di strutture in c.a.: quello dell'ospedale della contea (7 piani fuori terra ed 1 interrato), costituito da due corpi di fabbrica fondati convenzionalmente ed uno con isolamento sismico alla base (Figure 16-18), e quello di due scuole elementari, l'una fondata convenzionalmente e l'altra isolata sismicamente, ambedue strumentate. La Figura 17 mostra che i due edifici dell'ospedale fondati convenzionalmente hanno subito danni sia strutturali che ai tramezzi, al tetto ed alle apparecchiature contenute, risultando inutilizzabili dopo il terremoto.



**FIGURA 17** Danni causati dal terremoto di Lushan del 2013 agli interni dei due edifici fondati convenzionalmente dell'ospedale di Figura 16  
Fonte: Zhou et al., 2013; Martelli et al., 2014a



**FIGURA 18** Assenza di danni, dopo il terremoto di Lushan del 2013, alle strutture portanti dell'edificio isolato sismicamente dell'ospedale di Figura 16  
Fonte: Zhou et al., 2013; Martelli et al., 2014a

Quello isolato, invece (Figura 18), è stato l'unico della contea a restare totalmente indenne ed operativo: ciò ha permesso di curarvi migliaia di feriti (Zhou et al, 2013; Martelli et al., 2014).

Analogo è stato l'effetto dell'isolamento sismico sulle due scuole elementari summenzionate (Figura 19): mentre quella fondata convenzionalmente ha visto il valore della PGA di 0,2 g amplificato, alla sommità, a 0,72 g, per quella isolata il valore della PGA è risultato invece ridotto da 0,2 g a 0,12 g (Figura 20). L'efficacia dell'isolamento sismico è risultata quindi quantificabile in un fattore riduttivo dell'accelerazione massima alla sommità pari 6 (Zhou et al, 2013; Martelli et al., 2014a).



**FIGURA 19** Scuola isolata sismicamente a Lushan, rimasta indenne dopo il terremoto del 2013  
Fonte: Zhou et al., 2013

## Considerazioni conclusive

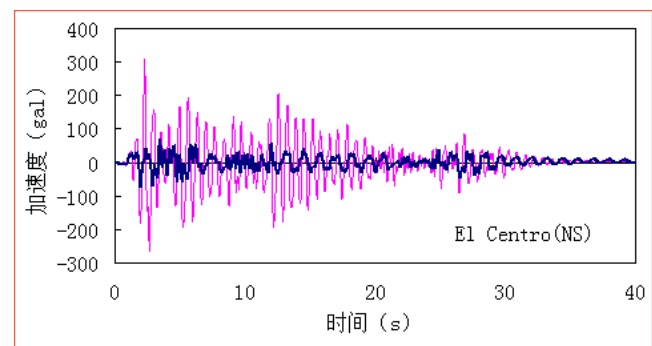
L'isolamento sismico e gli altri sistemi antisismici (AS) sono già stati largamente utilizzati in più di 30 paesi (inclusa l'Italia) e la loro applicazione continua a crescere, sia per proteggere nuove costruzioni che per adeguare sismicamente strutture esistenti. Le caratteristiche delle norme sismiche utilizzate e le "lezioni" apprese a seguito di terremoti violenti hanno giocato un ruolo fondamentale per l'affermazione delle suddette tecnologie. Il Giappone resta il paese leader per quanto attiene al numero di applicazioni, sia dell'isolamento che della dissipazione di energia. Già nel 2013, però, la R.P. Cinese (dove l'adozione dei sistemi AS era in forte crescita dopo il terremoto di *Wenchuan* del 2008) si stava avvicinando al Giappone, quanto a tale utilizzazione.

A Giappone e R.P. Cinese seguono nell'ordine, per numero complessivo di strutture protette da sistemi AS, la Federazione Russa, gli USA e l'Italia (Martelli et al., 2014a). Applicazioni sussistono anche in Algeria, Armenia, Argentina e Cile, a Cipro, in Francia (in particolare nell'isola d'oltremare della Martinica), Grecia, India, Indonesia, Iran, Israele, Nuova Zelanda, Portogallo, Romania e Spagna, a Taiwan, in Turchia ed in altri paesi

ancora. Si noti che, almeno nel 2013, Armenia e Nuova Zelanda erano, rispettivamente, dopo il Giappone, il secondo ed il terzo paese, a livello mondiale, quanto a numero di edifici isolati sismicamente per abitante (JSSI, 2013; Martelli et al., 2014a).

L'Italia (dove i contributi del GLIS e dell'ENEA sono stati di fondamentale importanza per l'affermazione dei sistemi AS) è il paese *leader*, a livello europeo, per quanto attiene all'applicazione dell'isolamento e della dissipazione di energia agli edifici ed ai ponti e viadotti ed ha consolidato questo ruolo soprattutto dopo il terremoto in *Abruzzo* del 2009 (solo all'Aquila i nuovi edifici isolati, dopo tale sisma, risultano allo scrivente essere oltre un centinaio, sia di nuova costruzione che riguardanti *retrofit* di edifici esistenti). L'Italia è anche paese *leader*, a livello mondiale, per quanto attiene all'uso dei sistemi AS per la protezione del patrimonio culturale (Martelli et al., 2014b) ed ha sviluppato importanti progetti in questo settore (Figura 12). Dispositivi AS prodotti in Italia sono stati utilizzati anche in altri paesi, ad esempio a Cipro, nella Federazione Russa, nonché in Indonesia, Iran, Grecia, Portogallo, Spagna, Turchia ecc. (Martelli et al., 2014a).

L'isolamento sismico è ora riconosciuto, a livello internazionale, essere una tecnica particolarmente efficace per la protezione degli edifici strategici (come, ad esempio, i centri della protezione civile e gli ospedali – si vedano, ad esempio, le Figure 8 e 16), perché ne assicurano la totale integrità ed il corretto



**FIGURA 20** Riduzione dell'accelerazione alla sommità della scuola di Figura 19, operata dall'isolamento sismico durante il terremoto di Lushan del 2013  
Fonte: Zhou et al., 2013

funzionamento dopo il terremoto, e per quella degli edifici pubblici (scuole – Figure 9 e 19 –, chiese, centri commerciali ecc.), perché, oltre a garantire l'integrità non solo degli elementi strutturali, ma anche di quelli non strutturali e dei contenuti, gli elevati valori del periodo di vibrazione della sovrastruttura isolata rallentano molto le vibrazioni sismiche, minimizzando così il panico.

Alcune normative sismiche (come, ad esempio, quelle adottate in Italia, in Armenia e nella R.P. Cinese) permettono di tener conto, parzialmente, della drastica riduzione delle azioni sismiche operata dall'isolamento, alleggerendo la sovrastruttura isolata: l'uso di tali normative rende l'isolamento sismico una tecnica attraente anche per la protezione degli edifici residenziali (Figure 4, 5, 10 e 11), perché il costo di costruzione aggiuntivo dovuto all'inserimento degli isolatori è almeno parzialmente compensato dal minor costo della sovrastruttura isolata (Martelli et al., 2014a). In generale, poi, una consistente riduzione del costo aggiuntivo dovuto all'isolamento si ha, negli edifici, in presenza di rilevanti asimmetrie degli stessi.

**Per aumentare realmente in modo consistente la protezione sismica delle nostre comunità è fortemen-**

**te auspicabile, dunque, un'utilizzazione più estesa possibile dell'isolamento sismico; questo obiettivo è particolarmente rilevante in Italia, perché oltre il 70% dell'edificato italiano attuale non è in grado di resistere ai terremoti che potrebbero colpirlo e perché tale edificato include molte scuole, molti ospedali, molti altri edifici strategici e pubblici ed anche numerosi impianti chimici HR (Martelli et al., 2014a). In paesi come l'Italia ed altri che utilizzino normative sismiche simili a quella italiana, occorre, però, dedicare estrema attenzione alla corretta applicazione dei sistemi AS, in particolare di quelli d'isolamento sismico, affinché questi sistemi risultino effettivamente "salva vita" e non rendano, invece, l'opera meno sicura di una convenzionale (Martelli et al., 2014a). In particolare, quanto agli isolatori, occorre sceglierli, progettarli, qualificarli, produrli, verificarli, installarli, proteggerli ed ispezionarli in modo adeguato, assicurandosi anche che le loro caratteristiche previste a progetto restino inalterate durante l'intera vita della costruzione. ●**

**Alessandro Martelli**

Presidente GLIS (Isolamento sismico e altre strategie di progettazione antisismica)  
e Vicepresidente ASSISi (Anti-Seismic System International Society)

abstract

### Designing in seismic areas in the third millennium: modern technologies

*Modern technologies are now available which enable an adequate seismic protection of both new and existing constructions. They are based on both the traditional approach, which consists in making the structure sufficiently strong as to withstand the expected earthquake, or on the use of anti-seismic (AS) devices, which drastically decrease the seismic actions transmitted by the ground to the structure, or on a combination of both aforesaid techniques. This paper mainly concerns the worldwide use of the passive AS devices, especially based on the information provided at the ASSISi 13th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures, which took place in Sendai (Japan) on September 24-26, 2013. Other papers presented at this conference deal with the use of the traditional approach. More updated information on the application of the AS systems became available at the ASSISi 14th World Conference, held in San Diego (California, USA) on September 7-11, 2015.*

*In 2013, according to the data made available the Sendai conference and to subsequent information, more than 23,000 structures in the world had already been protected by passive AS techniques, such as seismic isolation (SI) or energy dissipation systems, shape memory alloy devices, or shock transmitter units. They are located in more than 30 countries and concern both new constructions and retrofits of existing structures of all kinds: bridges and viaducts, civil and industrial buildings, cultural heritage and industrial components and installations, including some High Risk nuclear and chemical plants and components. Buildings are made of all types of materials: reinforced*



concrete, steel and even wood. Japan is the leading country for the overall number of applications of the AS systems (more than 15,000); for building protection, it is followed by the Peoples' Republic of China, the USA, the Russian Federation and Italy. The use of the AS systems and devices in a civil context already includes not only the strategic structures (civil defence centres, hospitals, etc.) and the public ones (schools, churches, museums, commercial centres, hotels, airports, etc.), but also residential buildings and (especially in Japan) even many small and light private houses. Everywhere, the number of such applications is increasing, although it is strongly influenced by earthquake lessons and, in each country, by the availability and features of the design rules used. Most SI systems rely on the use of rubber bearings (RBs), such as the High Damping natural Rubber Bearings (HDRBs), Neoprene Bearings (NBs), Lead Rubber Bearings (LRBs), or (especially in Japan) Low Damping Rubber Bearings (LDRBs) in parallel with dampers; in buildings, some plane surfaces steel-Teflon (PTFE) Sliding Devices (SDs) are frequently added to the RBs to support their light parts without unnecessarily stiffening the SI system (which would make it less effective) and (if they are significantly asymmetric in the horizontal plane) to minimize the torsion effects (the effects of the vertical asymmetries are drastically reduced by the quasi "rigid body motion" of the seismically isolated superstructure). Another type of isolators, which has been used in Italy after the 2009 Abruzzo earthquake, is the so called Curved Surface Slider (CSS), which derived from the US Friction Pendulum (FPS) and the subsequent German Seismic Isolation Pendulum (SIP). Finally, rolling isolators (in particular Ball Bearings, BBs, and Sphere Bearings) are also applied: they are very effective and find numerous applications (more than 200 in 2013) to protect buildings in Japan, but not in Italy, because there they have been judged to be too expensive (however, they have already been used, even in Italy, to protect precious masterpieces and other contents of museums, as well as costly equipment, including that of operating-rooms in hospitals). It shall be stressed that, to the knowledge of the author, all structures protected by RBs that were located in areas hit by even severe earthquakes so far exhibited an excellent behavior, in spite of the fact that the violence of such earthquakes was frequently underestimated.

### bibliografia

- Clemente P., De Stefano A., Renna S. (2011). "Application of seismic isolation in the retrofit of historical buildings". *Proc. 12<sup>th</sup> World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures – 12WCSI* (Sochi, Russian Federation, 20-23 September)
- JSSI (2013). Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures, Proc. on electronic key ASSISi 13<sup>th</sup> World Conference (13WCSI) & JSSI 20<sup>th</sup> Anniversary International Symposium (Sendai, Japan, 24-26 September)
- Martelli A., Forni M., Panza G. (2013). "Features, recent application and conditions for the correct use of seismic isolation systems", in: *Seismic Control Systems: Design and Performance Assessment*, 1-16, Wit Press
- Martelli A., Clemente P., De Stefano A., Forni M., Salvatori A. (2014a). "Recent development and application of seismic isolation and energy dissipation and conditions for their correct use", Theme lecture, *Proc. 2<sup>nd</sup> European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, (Istanbul, Turkey, 24-29 August), in: *Perspectives on European Engineering and Seismology*, 1, 449-488, Springer
- Martelli A., Clemente P., De Stefano A. (2014b). "How to ensure seismic safety of schools, hospitals, museums and other strategic or public structures if the existing buildings are monumental or simply old", *Proc. 2<sup>nd</sup> International Conference on Protection of Historical Constructions – PROHITECH'14* (Antalya, Turkey, 7-9 May), 431-437, Boğaziçi University Publishing
- Zhou F.L., Tan P., Heisa W.L.H., Xian X.L. (2013). "Lu Shan earthquake M7.0 on 2013.4.20 and recent development on seismic isolation, energy dissipation & structural control in China", Key-note lecture, *Seismic isolation, energy dissipation and active vibration control of structures, Proc. on electronic key ASSISi 13<sup>th</sup> World Conference (13WCSI) & JSSI 20<sup>th</sup> Anniversary International Symposium* (Sendai, Japan, 24-26 September)