

Alessandro Martelli¹ (alessandro.martelli@enea.it), Massimo Forni² (massimo.forni@enea.it)

I sistemi ed i dispositivi antisismici in Italia e nel mondo: dall'isolamento sismico della scuola Johan Heinrich Pestalozzi a Skopje negli anni '60 a quello della nuova Francesco Jovine, "la scuola più sicura d'Italia", a San Giuliano di Puglia nel 2008

Attualmente vi sono, nel mondo, già oltre 10,000 strutture, di nuova costruzione od anche esistenti, situate in oltre 30 paesi, che sono protette mediante sistemi e dispositivi di controllo passivo delle vibrazioni sismiche, cioè da sistemi d'isolamento sismico (Figura 1, Tabella 1) o di dissipazione d'energia, ovvero da dispositivi in leghe a memoria di forma (*Shape Memory Alloy Device* o SMAD) o ritegni oleodinamici di vincolo provvisorio, che entrano in funzione, irrigidendo la struttura, solo quando gli elementi da essi connessi sono soggetti a movimenti relativi rapidi, come accade durante un terremoto (*Shock Transmitter Unit* o STU). Si tratta sia di ponti e viadotti, sia di edifici di tutti i tipi (strategici, pubblici e residenziali), sia di impianti e componenti industriali (anche a rischio di incidente rilevante, nucleari e chimici), sia di opere afferenti al patrimonio culturale (edifici monumentali, musei, coperture di scavi archeologici, teche museali e singoli capolavori).

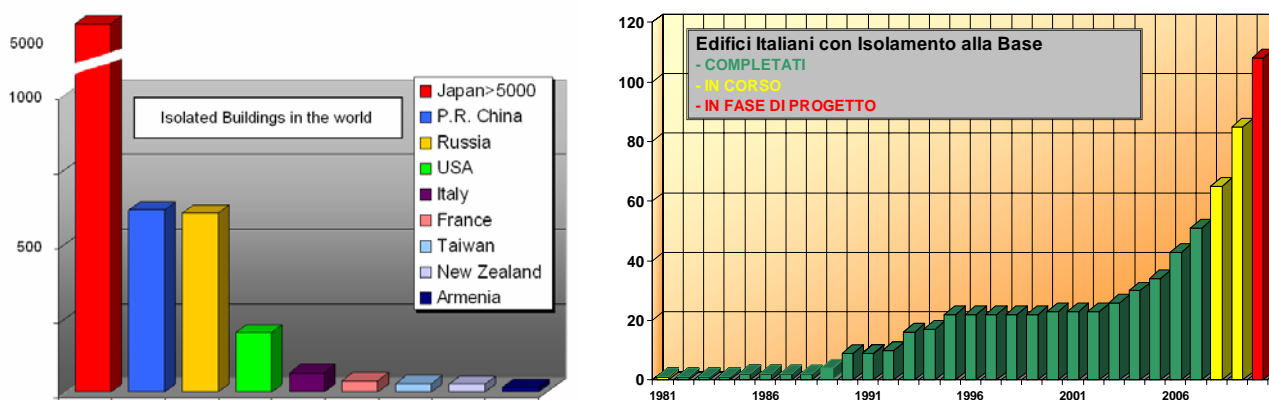


Figura 1: Numero totale degli edifici isolati sismicamente completati in ottobre 2008 nei paesi che maggiormente utilizzano i sistemi antisismici (a sinistra) e numero totale di quelli realizzati in Italia durante gli anni (a destra).

La prima moderna applicazione dei moderni sistemi antisismici fu, negli anni '60, l'isolamento sismico della scuola Johan Heinrich Pestalozzi a Skopje, costruita a seguito del violento terremoto che aveva distrutto la città nel 1963 (Figura 2). Attualmente, l'uso dei sistemi e dei dispositivi suddetti è ovunque in continua crescita e riguarda un numero sempre maggiore di paesi, ma è ovunque influenzato, in modo determinante, dalle caratteristiche della normativa applicata. Un forte impulso all'affermazione di tali sistemi e dispositivi si deve tuttora anche agli effetti di terremoti violenti, con i crolli delle strutture costruite in modo convenzionale e, al contrario, il costante ottimo comportamento di importanti opere protette con i sistemi suddetti (soprattutto, ma non solo, d'isolamento): ciò si è riscontrato principalmente in Giappone (già in numerose occasioni), ma importanti esperienze riguardano anche altri paesi (Italia, Stati Uniti d'America, Federazione Russa, Turchia e, in particolare durante il disastroso terremoto di Wenchuan del 12 maggio 2008, la Repubblica Popolare Cinese).

1 Responsabile della Sezione Prevenzione Rischi Naturali e Mitigazione Effetti dell'ENEA, Bologna;
docente di "Costruzioni in zona sismica" alla Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Ferrara;
presidente del GLIS, past president e coordinatore della Sezione Territoriale Europea dell'ASSISi e convenor
dell'EAEE-TG

2 ENEA, Segretario Generale GLIS e ASSISi

App. n°	TABELLA 1: EDIFICI SISMICAMENTE ISOLATI IN ITALIA	Edif. (tot)
1	Napoli, Quartier Generale dei Vigili del Fuoco, 1981	1
2	Napoli, Edificio "Brigata Mobile" dei Vigili del Fuoco, 1985	1 (2)
3	Ancona, Centro civico, 1989	1 (3)
4	Avezzano (AQ), Edificio della Texas Instruments, 1989	1 (4)
5	Ancona, Centro Regionale dell'attuale TELECOM Italia, 1990	5 (9)
6	Squillace (CZ), Edificio residenziale, 1992	1 (10)
7	Ancona, Centro Arruolamento Volontari della Base della Marina Militare, 1992	1 (11)
8	Augusta, Centro medico della Base della Marina Militare, 1993	1 (12)
9	Augusta (SR), Edifici residenziali della Base della Marina Militare, 1993	4 (16)
10	Messina, Centro radar per il controllo del traffico marittimo nello Stretto, 1994	1 (17)
11	Potenza, Edifici dell'Università della Basilicata, 1995	5 (22)
12	Rapolla (PZ), Edificio residenziale, 2000	1 (23)
13	Città di Castello (PG), Edifici residenziali, 2003	3 (26)
14	Napoli, Centro civico Rione Traiano (retrofit), 2004	1 (27)
15	Solarino (SR), Edifici residenziali (retrofit), 2004	2 (29)
16	Elisuperficie dell'ospedale di Varese, 2004	1 (30)
17	Udine, Ala nuova dell'ospedale Gervasutta, 2004	1 (31)
18	Scarperia (FI), Villetta, 2005	1 (32)
19	Catania, Aeroporto Fontanarossa, 2005	1 (33)
20	Morrone nel Sannio (CB), scuola (struttura portante), 2005	1 (34)
21	Pescara, Stabilimento industriale, 2005	1 (35)
22	Fabriano (AN), Edificio residenziale (retrofit con sottofondazione), 2006	1 (36)
23	Santa Venerina (CT), Villetta, 2006	1 (37)
24	Siracusa, Santuario della Madonna delle Lacrime (retrofit), 2006	1 (38)
25	Ragusa, Villetta, 2006	1 (39)
26	Montelongo (CB), Chiesa di Santa Maria in Nives, 2006	1 (40)
27	Gran Sasso, Laboratorio CNR, 2006	1 (41)
28	Caserta, Hotel Crowne Plaza (isolamento copertura), 2006	1 (42)
29	Gaggio Montano (BO), Edificio della Protezione Civile 2007	1 (43)
30	San Giuliano di Puglia (CB), Edificio residenziale, 2007	1 (44)
31	Grassina (FI), Sede dell'Associazione "Fratellanza Popolare – Croce D'Oro", 2007	1 (45)
32	Abitazione privata, Fortezza da Basso (FI), 2007	1 (46)
33	Napoli, Ospedale del Mare, 2008	2 (48)
34	Foligno (PG), Edifici del Centro della Protezione Civile (4 completati, 2 in costruz. 5 progettati)	11 (59)
35	Napoli, Centro NATO di Napoli Sud, in fase di completamento	1 (59)
36	Cerignola (FG), Edifici residenziali, in fase di completamento	4 (64)
37	San Giuliano di Puglia (CB), Scuola, 2008	2 (66)
38	Bojano (CB), Scuola, in fase di completamento	1 (67)
39	Gricignano (CE), villetta, fase di completamento	1 (68)
40	Santa Severina (SR), Edificio residenziale, in costruzione	1 (69)
41	San Giuliano di Puglia (CB), Edificio residenziale, in costruzione	1 (70)
42	Rocca di Castell'Ottieri (GR), edificio, in costruzione	1 (71)
43	Corciano (PG), Edifici in muratura, in costruzione	2 (73)
44	Marsico Vetere (PZ), Chiesa di S. Francesco d'Assisi in Villa d'Angri (copertura), in costruzione	1 (74)
45	Marsico Vetere (PZ), Chiesa di S. Francesco d'Assisi in Villa d'Angri (campanile), in costruz.	1 (75)
46	L'Aquila, Facoltà di Lettere, in costruzione	1 (76)
47	Riposto (CT), Scuola Quasimodo, (retrofit) in costruzione	1 (77)
48	Monteleone di Puglia (FG), Scuola, in costruzione	1 (78)
49	Romagnano al Monte (SA), Centro Studi e Ricerche, in costruzione	1 (79)
50	Frosinone, Ospedale, in costruzione	3 (82)
51	Spoletto (TR), Centro per la conservazione dei Beni Culturali, in costruzione	1 (83)
52	Villafranca in Lunigiana (MS), Nuove scuola media e scuola elementare, in costruzione	2 (85)
53	Galliciano (MS), Nuove scuola media e scuola elementare, in costruzione	2 (87)
54	Fivizzano (MS), Nuova scuola media, in costruzione	1 (88)

55	Mulazzo (MS), Nuova scuola materna ed elementare, 1 in costruzione e 2 progettati	3 (91)
56	Messina, Edificio di 8 piani, in costruzione	1 (92)
57	Palazzina AEPI, Imola (BO), in costruzione	1 (93)
58	Caserna VVFF, Vittoria, (RG), in costruzione	1 (94)
59	Catania, Chiesa della Beata Vergine del Carmelo, lavori appaltati	1 (95)
60	Marzabotto (BO), Scuola, in costruzione	1 (96)
61	Frosolone (IS), Villetta, progetto ultimato	1 (97)
62	Acireale (CT), Edificio residenziale, progetto ultimato	1 (98)
63	Pordenone, Ospedale, progetto ultimato	1 (99)
64	Massa Carrara, Scuola media, in fase di progetto	1 (100)
65	Campobasso, Liceo scientifico Romita (retrofit), in fase di progetto	3 (103)
66	Rieti, Scuola, in fase di progetto	1 (104)
67	Ancona, Edificio per uffici, in fase di completamento	1 (105)
68	San Gregorio (CT) (retrofit), in fase di progetto	1 (106)
60	Potenza, Ospedale San Carlo, in costruzione	1 (107)
70	Reggio Calabria, Edificio	1 (108)
71	Pontecorvo (FR), Centro Commerciale	1 (109)
72	Vado (BO), Nuova scuola, in fase di progetto	1 (110)

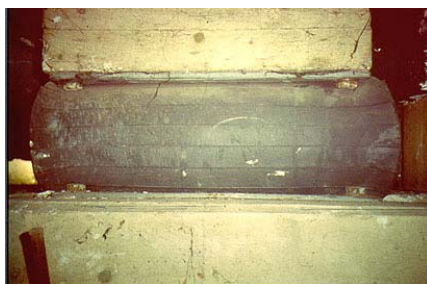


Figura 2: La scuola Johan Heinrich Pestalozzi, costruita a Skopje (Macedonia) negli anni '60 (a sinistra), vista di uno dei LDRB che costituivano sistema d'isolamento sismico originario (al centro) e vista di un nuovo HDRB appena installato nel 2007, a fianco di un LDRB non ancora sostituito (a destra).

1. Giappone

Non meraviglia, quindi, che il Giappone, in conseguenza del terremoto di *Hyogo-ken Nanbu* del 1995 ed anche grazie alla disponibilità di un'adeguata specifica normativa dal 2000 ed alla liberalizzazione dell'uso dell'isolamento sismico dal 2001, stia sempre più consolidando la sua leadership a livello mondiale, già da tempo acquisita, con gli attuali oltre 5.000 edifici isolati (in aggiunta ad altri 2.700 protetti con sistemi dissipativi e ad un buon numero di ponti e viadotti isolati). In questo paese, la tendenza è ora di isolare, da una parte, anche grattacieli e gruppi di edifici sorretti da un'unica grande struttura isolata (*artificial ground*) e, dall'altra, pure piccoli e leggeri edifici privati (di questi ultimi ve ne sono già 3.000 isolati e 2.000 protetti da dissipatori). Inoltre, sono iniziate l'utilizzazione di sistemi d'isolamento tridirezionali (3D) ed importanti applicazioni dell'isolamento sismico anche nel settore industriale (in particolare per proteggere fabbriche di semiconduttori e strutture nucleari) e per la salvaguardia del patrimonio culturale.

2. Repubblica Popolare Cinese

Al Giappone segue ora, per numero di applicazioni delle moderne tecnologie antisismiche, la Repubblica Popolare Cinese, con 650 edifici isolati e decine di edifici protetti da sistemi dissipativi (oltre a numerosi ponti e viadotti isolati); anche in questo paese le nuove applicazioni delle tecnologie suddette continuano a succedersi ad un ritmo elevato (in particolare per gli edifici residenziali, molti dei quali in muratura) e proseguono grandi realizzazioni (come quella riguardante i 50 edifici isolati del nuovo centro residenziale di Pechino). Di rilievo sono pure ora,

come in Giappone, l'uso di isolatori 3D negli edifici e quello di SMAD per la salvaguardia del patrimonio culturale, oltre all'adozione dell'isolamento sismico per la protezione degli impianti industriali, ad esempio con le prime applicazioni cinesi ai serbatoi di gas naturale liquefatto (*Liquefied Natural Gas* o LNG). Nella Repubblica Popolare Cinese, a seguito dell'ottimo comportamento, durante il terremoto di *Wenchuan* del 12 maggio 2008, non solo di due grandi edifici residenziali in cemento armato, ma anche di un edificio di ben 6 piani in muratura, è prevedibile, nel prossimo futuro, un'ancora più rapida ed estesa utilizzazione dei moderni sistemi e dispositivi antisismici.

3. Federazione Russa

I notevoli progressi nell'uso dei sistemi e dei dispositivi antisismici nella Repubblica Popolare Cinese hanno fatto recentemente retrocedere al terzo posto (per numero di strutture protette con tali sistemi e dispositivi) la Federazione Russa, dove risultano esservi attualmente circa 600 edifici isolati: qui, infatti, le nuove applicazioni delle moderne tecnologie antisismiche (che sono principalmente d'isolamento) procedono con una certa lentezza da diversi anni, sebbene ora annoverino interessanti realizzazioni e progetti, sia di adeguamento sismico (*retrofit*) di edifici monumentali che per grattacieli di nuova costruzione. Queste realizzazioni e questi progetti utilizzano finalmente sistemi d'isolamento "di tipo occidentale", nettamente più affidabili degli isolatori in cemento armato a forma di fungo rovesciato utilizzati fino a qualche anno fa nella maggior parte dei paesi dell'ex-URSS (Armenia esclusa). È da notare che, per i grattacieli russi isolati in costruzione a Sochi, si utilizzano isolatori di produzione italiana.

4. Stati Uniti d'America

Al quarto posto restano gli Stati Uniti d'America, dove l'uso dei moderni sistemi antisismici nei ponti e nei viadotti (con 600÷650 applicazioni sparse in tutto il paese) e, per la dissipazione d'energia, anche negli edifici, prosegue in modo soddisfacente, ma, a causa della normativa molto penalizzante in vigore per gli edifici isolati (nonostante l'ottimo comportamento di alcuni di essi durante il terremoto di *Northridge* del 1994), il numero di nuove realizzazioni di questo tipo resta limitato. Infatti, tali edifici continuano a risultare da 100 a 200, sebbene in gran parte molto importanti e per la metà oggetto di interventi di *retrofit*, attuati, in particolare, per edifici strategici e pubblici.

5. Italia

L'Italia, dove le applicazioni dei moderni sistemi antisismici sono iniziate nel 1975 per i ponti ed i viadotti e nel 1981 per gli edifici (4 anni prima del Giappone e degli USA), resta attualmente quinta a livello mondiale (e prima in Europa), almeno per il numero di edifici isolati già completati (Figura 1): essi risultano ora circa 70 (oltre a 20 prossimi al completamento), sia strategici o pubblici, sia residenziali, situati non solo nelle aree più sismiche (zone sismiche 1 e 2), ma anche in zona sismica 3 (ad esempio, in provincia di Bologna). Particolare attenzione è giustamente dedicata, in Italia, oltre che all'isolamento sismico dei nuovi ospedali ed edifici rilevanti per la protezione civile, a quello delle scuole, settore in cui, dopo il recente completamento della nuova Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia (vedi oltre), altre 15 realizzazioni sono già in corso.

Delle suddette applicazioni dell'isolamento sismico agli edifici la Sicilia ne vanta un numero consistente: dalle prime effettuate negli anni '90 alla Base della Marina Militare di Augusta (un centro medico e quattro palazzine residenziali) ed a Messina (centro radar per il controllo del traffico marittimo nello Stretto), al secondo *retrofit* ad essere effettuato in Italia con l'isolamento sismico (quello di due edifici residenziali dello IACP a Solarino nel 2004), alle tre realizzazioni del 2006 (villetta a Santa Venerina, centro direzionale a Ragusa e *retrofit* con l'isolamento della copertura del Santuario della Madonna delle Lacrime di Siracusa) ed a quelle attualmente in corso o previste a breve (edificio residenziale a Santa Severina, Scuola Quasimodo a Riposto, edificio di 8 piani fuori terra a Messina, Chiesa della Beata Maria Vergine del Carmelo e di Santa Maria Goretti

in San Giorgio a Catania, Chiesa di San Gregorio nuovamente a Catania, edificio residenziale ad Acireale). Sull'edificio di 8 piani fuori terra in costruzione a Messina, il più alto ad essere protetto dall'isolamento sismico in Italia, riferisce a questo Seminario l'ing. Manlio Marino.

Per gli edifici, oltre alle suddette applicazioni dell'isolamento sismico, il nostro paese ne vanta già alcune decine anche di dissipatori, SMAD, o STU. Sebbene in Italia il numero degli edifici protetti da sistemi e dispositivi antisismici sia tutto sommato ancora limitato (a causa, negli anni '90, prima dell'assenza di specifiche regole di progettazione, poi della loro inadeguatezza e di un iter approvativo inutilmente complesso ed incerto), è però da notare che, nel nostro paese, vi è stato un incremento significativo del numero degli edifici protetti da moderni sistemi antisismici completati negli ultimi anni (con i primi *retrofit* di edifici con l'isolamento) e, soprattutto, delle nuove realizzazioni in costruzione o progetto.



Figura 3: La nuova scuola Francesco Jovine ed il Centro Professionale ed Universitario "Le Tre Torri" di San Giuliano di Puglia, eretti su un'unica piastra isolata sismicamente, al momento dell'inaugurazione il 18 settembre 2008, e vista del sistema d'isolamento sismico durante la costruzione.

Ciò si deve alla nuova normativa sismica nazionale, sviluppata a seguito del crollo della scuola elementare Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia, che aveva causato la morte di 27 bambini (fra i quali tutti i più piccoli) e di una maestra, durante il terremoto del Molise e della Puglia del 31 ottobre 2002. Grazie ai 61 isolatori in gomma naturale ad alto smorzamento (*High Damping Rubber Bearing* o HDRB) ed ai 12 isolatori a scorrimento acciaio-teflon (*Sliding Device* o SD) che la proteggono, la nuova Francesco Jovine (Figura 3), collaudata dallo scrivente e dal socio del GLIS ing. Claudio Pasquale il 2 settembre 2008 e subito dopo divenuta operativa, è giustamente da considerare "la scuola più sicura d'Italia", come è stata definita sia dal Sottosegretario dott. Guido Bertolaso, capo del Dipartimento della Protezione Civile, sia, in occasione della sua inaugurazione il 18 settembre, dal Presidente del Consiglio On. Silvio Berlusconi e dal Ministro dell'Istruzione, Università e Ricerca On Mariastella Gelmini (si veda la relazione dell'ing. Paolo Clemente).

Infine, è da sottolineare che l'Italia vanta numerose importanti applicazioni di dispositivi prodotti dalle sue industrie manifatturiere in molti paesi, sia europei che extraeuropei, che essa resta leader mondiale per numero ed importanza delle applicazioni dei moderni sistemi antisismici nel settore della salvaguardia del patrimonio culturale e che è ancora quantomeno ai primi posti per quanto attiene alla protezione, con tali sistemi, dei ponti e dei viadotti (nel quale le realizzazioni italiane erano già oltre 150 all'inizio degli anni Novanta e risultano ora certamente più di 250).

6. Altri paesi

Per quanto riguarda altri paesi, l'uso dei sistemi e dei dispositivi antisismici è in forte espansione anche:

a Taiwan, dove, a metà del 2007, risultavano già completati od in costruzione 29 edifici isolati (dapprima soprattutto ospedali, ma, più recentemente, anche edifici residenziali), oltre a 20 ponti o

viadotti isolati, ed erano già 85 nel 2005 gli edifici protetti con sistemi dissipativi; in Armenia, dove, nonostante si tratti di un paese ancora in via di sviluppo e scarsamente abitato, sono già 32 gli edifici isolati (con dispositivi di produzione nazionale), sia di nuova costruzione (fino a 20 piani di altezza) che esistenti (anche in muratura, con il primo *retrofit*, quello della scuola n. 4 di Vanadzor, risalente al 2002);

in Nuova Zelanda, patria dei dispositivi d'isolamento e dissipazione che utilizzano la tecnologia del piombo, anch'essa scarsamente popolata, dove sono già stati protetti con moderni sistemi antisismici più di 30 edifici, oltre a numerosi ponti e viadotti;

in Messico, che vanta 7 edifici isolati con dispositivi a rotolamento di produzione nazionale (il primo dei quali, la scuola secondaria Legaria a Mexico City, completato già nel 1974), oltre a 25 protetti con dissipatori;

in Francia, che aveva importanti applicazioni dell'isolamento sismico già negli anni '70 (sia nel settore civile che in quello nucleare), e dove, nel territorio europeo, tale tecnica è ora utilizzata nuovamente per ulteriori impianti nucleari in costruzione (*Jules Horowitz Reactor*) o previsti (impianto ITER per la fusione) a Cadarache, mentre, nell'isola francese della Martinica, le realizzazioni in corso sono nel settore civile, con l'isolamento addirittura obbligatorio per proteggere scuole ed altri edifici pubblici.

Si noti che anche a Taiwan ed in Armenia l'inizio delle applicazioni dei sistemi e dei dispositivi antisismici si deve a terremoti violenti: quello di *Chi Chi* del 1999 (dopo il quale fu modificata, a Taiwan, la normativa nazionale, incentivando l'uso dei moderni sistemi antisismici) e quello di *Spitak* del 1988.

Importanti realizzazioni sono iniziate da alcuni anni anche in Turchia, Grecia, Portogallo, Venezuela ed a Cipro (molte delle quali con dispositivi prodotti in Italia o progetti italiani) e, più recentemente, in Argentina, Israele, India, Romania ed Iran e proseguono nella Corea del Sud, in Canada, Cile, Indonesia e Macedonia. Le applicazioni in Iran (dove un edificio è già protetto da dissipatori italiani) sono, in prospettiva, di particolare interesse, in quanto a Parand (una nuova città satellite di Tehran in costruzione) è in corso un enorme progetto, che prevede la realizzazione di centinaia di edifici residenziali isolati.

Per quanto attiene alla Corea del Sud, all'isolamento di numerosi ponti e viadotti (molti dei quali dotati di dispositivi italiani o prodotti in collaborazione con aziende italiane) e di 13 serbatoi LNG, si aggiungono attualmente un solo edificio isolato ed uno solo protetto da dissipatori, ma è prevista una rapida estensione dell'uso dei moderni sistemi antisismici anche negli edifici, a seguito del violento terremoto di *Busan-Fukaoka* del 2005 (di magnitudo $M = 7,0$), con epicentro fra la penisola coreana ed il Giappone, e di un evento più recente (2007), di magnitudo assai inferiore ($M = 4,8$), ma con epicentro all'interno del paese. In Canada sono numerose le applicazioni di sistemi dissipativi (anche di produzione nazionale), ma l'utilizzazione dell'isolamento sismico sta iniziando solo ora.

Sulla Macedonia, infine, si è già detto che questo paese vanta la prima applicazione dell'isolamento sismico moderno, a livello mondiale, quella alla scuola elementare Pestalozzi, costruita a Skopje dopo il disastroso terremoto del 1963: il sistema allora utilizzato era costituito da isolatori in gomma a basso smorzamento (*Low Damping Rubber Bearing* o LDRB) assai poco armati, donati dalla Svizzera, che, essendo ormai pure fortemente deteriorati, sono stati sostituiti da moderni HDRB nel 2007 (Figura 2).