

L'isolamento sismico nelle NTC-2018

Paolo Clemente, Giovanni Bongiovanni, Giacomo Buffarini, Fernando Saitta

ENEA Centro Ricerche Casaccia, Roma

INTRODUZIONE

Anche le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC-2018) prevedono la possibilità di utilizzare l'isolamento sismico per ridurre la risposta sismica orizzontale di una struttura, incrementando il periodo fondamentale della costruzione per portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta oppure limitando la massima forza orizzontale trasmessa. In entrambe le strategie, che possono essere utilizzate anche in combinazione, le prestazioni dell'isolamento possono essere migliorate attraverso la dissipazione nel sistema di isolamento di una consistente aliquota dell'energia meccanica trasmessa dal terreno alla costruzione.

Le NTC-2018 si riferiscono sia al progetto di nuove costruzioni che all'adeguamento di quelle esistenti, nelle quali "un sistema d'isolamento sismico sia posto al di sotto della costruzione medesima, o sotto una sua porzione rilevante, allo scopo di migliorarne la risposta nei confronti delle azioni sismiche orizzontali".

Al tema sono dedicati il capitolo 7.10, per quel che riguarda gli aspetti di progettazione e esecuzione, nel quale in realtà non si riscontrano molte differenze rispetto alle norme precedenti, e il capitolo 11.9 relativo ai dispositivi, per i quali le innovazioni, invece, sono significative.

L'isolamento sismico non è ancora diffuso adeguatamente e anche la sua introduzione nelle norme tecniche italiane è relativamente recente, pertanto si ritiene utile un breve excursus storico. Successivamente si riportano le principali modifiche introdotte nelle NTC-2018 rispetto alle precedenti.

L'ISOLAMENTO SISMICO NELLE NORME TECNICHE

L'Italia è stata uno dei primi paesi a utilizzare l'isolamento sismico, soprattutto nel campo dei ponti, ed è attualmente il quinto paese al mondo per applicazioni di sistemi di isolamento sismico, dopo Giappone, Cina, Russia e USA. Nonostante ciò, fino al 2003 è mancata nel nostro paese una normativa specifica e questa è senz'altro la principale causa dell'uso molto limitato di questa tecnologia fino a quel momento. Infatti, proprio per la mancanza di una normativa dedicata, i progetti che prevedevano l'isolamento sismico dovevano essere approvati da una commissione speciale del ministero dei lavori pubblici (oggi ministero delle infrastrutture).

Il primo riferimento tecnico, le *Linee guida per progettazione, esecuzione e collaudo di strutture*

isolate dal sisma, apparve nel 1998 ma, non avendo forza di legge, l'obbligo dell'approvazione da parte del ministero rimase, con le conseguenti lungaggini.

Come spesso è accaduto, è stato un evento sismico, quello di San Giuliano di Puglia del 31 ottobre 2002 (magnitudo 5.4), che scosse l'opinione pubblica soprattutto per il crollo della scuola Francesco Jovine e la morte di 27 bambini e la loro maestra, ad accelerare il processo di revisione delle norme, che sfociò nell'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. La nuova normativa sismica, ispirandosi all'Eurocodice 8, introdusse aspetti innovativi quali l'obbligo del metodo semiprobabilistico agli stati limite anche per le costruzioni in zona sismica e la possibilità di utilizzare sistemi di isolamento sismico e di dissipazione di energia senza sottoporli ad approvazioni ministeriali.

Purtroppo, all'emanazione della OPCM 3274/2003 seguì un periodo di confusione, nel quale coesistevano diverse normative, che durò fino al luglio 2009 quando, a seguito di un altro evento sismico, il terremoto dell'Aquila del 6 aprile 2009, le NTC-2008 (D.M. Infrastrutture del 14 gennaio 2008) divennero le uniche norme tecniche vigenti.

Sin dal 2003, la presenza di una normativa dedicata aveva incoraggiato l'uso dell'isolamento sismico, soprattutto per strutture strategiche e di particolare rilevanza, come scuole e ospedali, per le quali sono richiesti livelli di sicurezza maggiori, che non possono essere raggiunti con le tecniche tradizionali. Per gli edifici ordinari, invece, per i quali sono richiesti livelli di sicurezza inferiori, l'adozione dell'isolamento sismico ha trovato inizialmente ostacoli nei costi conseguenti. Al riguardo va ricordato che le norme italiane consentono di progettare la sovrastruttura con le azioni sismiche effettive, molto minori di quelle relative agli edifici a base fissa; di conseguenza, il maggior costo in fondazione può essere bilanciato, con una buona progettazione, dal minor costo in elevazione.

Affidando la sicurezza dell'intera struttura a pochi dispositivi, le norme richiedono che questi siano progettati con un livello di sicurezza maggiore. Pertanto, le NTC prevedono, come ben noto, due stati limite ultimi:

- lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV), relativo alla sovrastruttura, cui corrisponde un evento sismico con probabilità di superamento del 10% nella vita di riferimento V_R ;
- lo stato limite di collasso (SLC), relativo ai dispositivi di isolamento, cui corrisponde un evento sismico con probabilità di superamento del 5% nella vita di riferimento.

I CONCETTI ESSENZIALI E LE MODIFICHE INTRODOTTE DALLE NTC-2018

Nel progettare un sistema di isolamento sismico va tenuto conto che i dispositivi esplicano innanzitutto la funzione di sostegno dei carichi verticali; devono poi avere una bassa rigidezza in direzione orizzontale, garantire la dissipazione di energia, il ricentraggio del sistema e un vincolo laterale, con adeguata rigidezza, sotto carichi orizzontali di servizio (non sismici).

La sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere in campo sostanzialmente elastico,

garantendo l'assenza di danni significativi in occasione del terremoto di progetto. Per questo la struttura può essere progettata con riferimento ai particolari costruttivi richiesti per le costruzioni in "zone a sismicità molto bassa", con deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto per le strutture a comportamento dissipativo (§ 7.4.6) e per le strutture da ponte (§ 7.9.6). Secondo le NTC-2018 sono tali quelle zone caratterizzate, allo SLV, da $a_g S \leq 0.075g$. In precedenza le norme facevano riferimento alla zona 4, caratterizzata da $a_g \leq 0.05g$, quindi definita sulla base della sola pericolosità di base riferita al suolo rigido, senza tener conto dell'amplificazione sismica locale.

Si ribadisce che al sistema d'isolamento, per il ruolo critico che esso svolge, è richiesta un'affidabilità superiore. Tale affidabilità si ritiene conseguita se il sistema d'isolamento è progettato e verificato sperimentalmente secondo quanto stabilito nel § 11.9.

Modellazione e analisi strutturale (§ 7.10.5)

Uno degli aspetti più importanti riguarda la variabilità nel tempo delle caratteristiche meccaniche dei dispositivi di isolamento. Le NTC-2018 prescrivono di adottare, nelle analisi di progetto, quelle più sfavorevoli che si possono verificare durante il periodo di riferimento V_R considerato, mentre le precedenti norme facevano riferimento alla vita utile. Si devono, pertanto, eseguire più analisi per ciascuno stato limite da verificare, attribuendo ai parametri del modello i valori estremi più sfavorevoli ai fini della valutazione delle grandezze da verificare e coerenti con l'entità delle deformazioni subite dai dispositivi. Nel caso in cui i valori estremi (massimo oppure minimo) differiscano di non più del 20% dal valor medio, si potranno adottare i valori medi delle proprietà meccaniche del sistema di isolamento. Le norme precedenti limitavano tale possibilità alle costruzioni di classe d'uso I e II.

Per quanto riguarda la modellazione, le NTC-2018 ribadiscono che la sovrastruttura e la sottostruttura devono essere modellate come sistemi a comportamento elastico lineare aventi rigidezza corrispondente al comportamento strutturale non dissipativo. Il sistema di isolamento può essere modellato, in relazione alle sue caratteristiche meccaniche, come avente comportamento visco-elastico lineare oppure con legame costitutivo non lineare. La deformabilità verticale degli isolatori dovrà essere messa in conto quando il rapporto tra la rigidezza verticale del sistema di isolamento K_v e la rigidezza equivalente orizzontale K_{esi} è inferiore a 800. Inoltre, se ritenuta rilevante ai fini della risposta sismica della struttura isolata, è opportuno tenere in conto l'eventuale interazione terreno-struttura (§ 7.9.3.1).

Le tipologie di analisi previste sono quelle dell'analisi lineare statica, l'analisi lineare dinamica e l'analisi non lineare dinamica; non può essere usata l'analisi statica non lineare. Per l'analisi dinamica, qualora il sistema di isolamento non sia immediatamente al di sopra delle fondazioni, il modello deve comprendere sia la sovrastruttura sia la sottostruttura, a meno che (e questa è una specificazione aggiuntiva delle NTC-2018) la sottostruttura non sia assimilabile ad una struttura scatolare rigida, ossia abbia rigidezza rispetto alle azioni orizzontali significativamente maggiore di quella della struttura ad essa sovrastante (§ 7.2.1).

Verifiche (§ 7.10.6)

Secondo le nuove NTC-2018, per i dispositivi di isolamento e/o dissipazione, nelle costruzioni particolarmente esposte all'azione del vento e per i ponti in generale, vanno condotte anche le verifiche statiche allo SLU con riferimento alle combinazioni inerenti le azioni variabili orizzontali.

Con riferimento alle verifiche della sottostruttura allo SLV, nell'ipotesi che questa possa essere considerata infinitamente rigida (ossia con periodo proprio < 0.05 s), le forze d'inerzia direttamente applicate ad essa possono essere assunte pari al prodotto delle masse della sottostruttura per l'accelerazione del terreno $a_g S$, ossia portando in conto anche l'amplificazione locale, non considerata nelle precedenti norme. Le azioni sismiche vanno combinate secondo le solite regole: $E_x + 0.3 \cdot E_y + 0.3 \cdot E_z$ e simili.

Per la valutazione della domanda allo SLV sugli elementi strutturali della sovrastruttura e della sottostruttura e sul terreno si ammette, nel caso di analisi lineare, un fattore di comportamento $q \leq 1.5$ nel caso degli edifici e $q = 1$ nel caso dei ponti e si adottano le regole di combinazione descritte al § 2.5.3. Le norme precedenti, invece, esprimevano diversamente tale possibilità, consentendo per la sola sovrastruttura di ridurre gli effetti dell'azione sismica del fattore $q = 1.5$, indipendentemente dal tipo di analisi.

Le NTC-2018 ribadiscono che nelle condizioni di massima sollecitazione le parti dei dispositivi non impegnate nella funzione dissipativa devono rimanere in campo elastico con un coefficiente di sicurezza ≥ 1.5 e che, nelle costruzioni di classe d'uso IV, le eventuali connessioni, strutturali e non, particolarmente quelle degli impianti, fra la struttura isolata e il terreno o le parti di strutture non isolate devono assorbire gli spostamenti relativi previsti dal calcolo, senza danni.

Inoltre, al fine di evitare il martellamento tra diverse parti tra loro contigue, vale quanto riportato in generale al § 7.2.1, nella sezione "Distanza tra costruzioni contigue", e per i ponti al § 7.9.5.2, dove si fa riferimento agli spostamenti allo SLV; a vantaggio di sicurezza, tenuto conto anche della gravità delle conseguenze di un eventuale martellamento, si potrebbe far riferimento agli spostamenti allo SLC.

I dispositivi del sistema d'isolamento devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti d_2 , valutati per un terremoto riferito allo SLC. Disposizioni aggiuntive vengono fornite per gli appoggi mobili (§§ 7.9.5.3.2 e 7.2.1), e per i dispositivi di fine corsa (§ 7.9.5.3.3).

Non sono previste modifiche per gli aspetti costruttivi, la manutenzione e la sostituibilità. Per il collaudo, sono confermate le raccomandazioni circa il controllo della posa in opera dei dispositivi, nel rispetto delle tolleranze e delle modalità di posa prescritte dal progetto, e la verifica della completa separazione tra sottostruttura e sovrastruttura e tra quest'ultima ed altre strutture adiacenti, con il rigoroso rispetto delle distanze di separazione previste in progetto.

Intervento di miglioramento (§ 8.4.2)

Come è noto, tra le innovazioni di maggiore interesse delle NTC-2018 c'è la possibilità che, per una costruzione esistente, il fattore di sicurezza ζ_E , pari al rapporto tra l'accelerazione di picco al suolo

che determina il raggiungimento dello SLV e l'accelerazione di picco al suolo che la norma indica, per lo stesso stato limite, nello specifico sito in cui si trova la costruzione, sia minore di 1. Ciò non vale, però, per interventi che prevedano l'impiego di sistemi di isolamento; in tali casi, per la verifica del sistema di isolamento, si deve avere almeno $\zeta_E = 1.0$. Tale prescrizione è coerente con quanto detto circa l'affidabilità superiore richiesta al sistema di isolamento.

Dispositivi antisismici e di controllo di vibrazioni (§ 11.9)

La NTC-2018 definiscono dispositivi antisismici e di controllo delle vibrazioni quegli elementi che contribuiscono a modificare la risposta sismica, o in generale dinamica, di una struttura, ad esempio incrementandone il periodo fondamentale, modificando la forma dei modi di vibrare fondamentali, incrementando la dissipazione di energia, limitando la forza trasmessa alla struttura e/o introducendo vincoli permanenti o temporanei che migliorano la risposta sismica o dinamica. Le novità rispetto alle norme precedenti, sono l'introduzione dei termini "dispositivi di controllo delle vibrazioni" e di "risposta dinamica" che generalizza quella sismica.

Le NTC-2018 ribadiscono che tutti i dispositivi devono avere una vita di servizio maggiore di 10 anni, specificando "nel campo di temperatura di riferimento indicato nelle specifiche tecniche applicabili a ciascun dispositivo (in assenza di indicazioni il campo di temperatura di riferimento deve essere almeno compreso fra $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$)", e che vanno previsti piani di manutenzione e di sostituzione allo scadere della vita di servizio, senza significativi effetti sull'uso delle strutture in cui sono installati.

Nei casi in cui si applica la norma europea armonizzata UNI EN 15129 le grandezze di riferimento ivi citate vanno desunte da quanto prescritto nelle stesse NTC-2018; in particolare si intende per d_{bd} lo spostamento valutato per un terremoto riferito allo SLV, e per $\gamma_x \cdot d_{bd}$ lo spostamento valutato per un terremoto riferito allo SLC (d_{bd} e γ_x sono i simboli utilizzati nella UNI EN 15129 rispettivamente per lo spostamento di progetto di un dispositivo e per il fattore di amplificazione).

I dispositivi si distinguono in dispositivi di isolamento propriamente detti (elastomerici e a scorrimento), dispositivi dipendenti dalla velocità (a comportamento viscoso), dispositivi dipendenti dallo spostamento (lineari e non lineari) e dispositivi di vincolo temporaneo (a fusibile e dinamici).

Per quanto attiene l'identificazione e la qualificazione, i dispositivi antisismici, che rientrano tra i materiali e prodotti per i quali è disponibile, per l'uso strutturale previsto, una norma europea armonizzata (punto A) del § 11.1), devono essere conformi alla norma europea armonizzata UNI EN 15129 e recare la Marcatura CE. Si applica il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione previsto nella suddetta norma europea armonizzata per le applicazioni critiche.

Nel caso di dispositivi antisismici non ricadenti, o non completamente ricadenti, nel campo di applicazione della norma europea armonizzata UNI EN 15129, si applica il caso C) del §11.1: il fabbricante dovrà pervenire alla Marcatura CE sulla base della pertinente "Valutazione Tecnica Europea" (ETA), oppure dovrà ottenere un "Certificato di Valutazione Tecnica" rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, previa istruttoria del Servizio Tecnico

Centrale, anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ove disponibili. Inoltre, ogni fornitura deve essere accompagnata da un manuale contenente le specifiche tecniche per la posa in opera e la manutenzione. Le procedure di qualificazione hanno lo scopo di dimostrare che il dispositivo è in grado di mantenere la propria funzionalità nelle condizioni d'uso previste durante tutta la vita di progetto.

Per le prove di accettazione, le NTC-2018 definiscono numero di dispositivi da sottoporre a prove e relative modalità di prova per ciascuna tipologia di dispositivi.

CONSIDERAZIONI

L'isolamento sismico è oramai una tecnologia matura per diventare il sistema di protezione sismica più diffuso e affidabile, non soltanto per le strutture strategiche o di particolare rilevanza, e le norme italiane sono all'avanguardia per favorirne un'applicazione su larga scala. Come detto in introduzione, le NTC-2018 non introducono significative novità per la progettazione di sistemi di isolamento sismico ma accolgono le innovazioni introdotte a livello europeo sulla qualificazione dei materiali e dei dispositivi. Su questo tema, ci saranno certamente delle evoluzioni nel futuro.

In conclusione, si forniscono spunti di riflessione su due aspetti.

Si è detto che le NTC-2018 definiscono zone a sismicità molto bassa quelle caratterizzate allo SLV da $a_g S \leq 0.075g$, mentre in precedenza le norme facevano riferimento alla zona 4, caratterizzata da $a_g \leq 0.05g$. Il parametro $a_g S$ tiene conto dell'amplificazione locale e, pertanto, la definizione di area a sismicità molto bassa viene di fatto sostituita con quella di "sito a sismicità molto bassa".

In realtà, il parametro $a_g S$ non è riferito alla superficie, bensì al piano di posa delle fondazioni. Di conseguenza, due edifici vicini, aventi diversi piani di posa delle fondazioni, possono trovarsi in situazioni di pericolosità sismica diverse. Si tratta di un'innovazione importante. Anzi, si evidenzia che a_g e $a_g S$ sono relativi allo scuotimento, rispettivamente al bedrock e al piano di posa delle fondazioni, ma non tengono conto degli effetti sulla struttura. Al riguardo, il parametro $a_g S \cdot F_0$ è certamente più rappresentativo, includendo il fattore F_0 che quantifica l'amplificazione spettrale massima e varia da sito a sito e, per un assegnato sito, varia in funzione di a_g (nell'Eurocodice, invece, è assunto costante e pari a 2.5).

In figura 1, sono riportati i valori di F_0 sui punti della maglia del territorio italiano nei quali sono definiti i parametri di pericolosità sismica, in funzione dei rispettivi a_g valutati per $P_{VR} = 10\%$ in 50 anni. Come può vedersi, F_0 assume valori mediamente maggiori proprio per bassi valori di a_g .

Tenendo conto di ciò, un insieme sito-struttura potrebbe essere considerato a sismicità molto bassa se $a_g S \cdot F_0$ risulta inferiore a un valore limite assegnato (ad esempio $\leq 0.20g$). Proseguendo, però, nella logica di tener conto della struttura, sembrerebbe logico riferirsi, almeno per gli edifici isolati sismicamente, all'ordinata spettrale S_e in corrispondenza del periodo fondamentale di vibrazione T di questa e, quindi, consentire la deroga, per le strutture in c.a., a quanto previsto per le strutture a comportamento dissipativo (§ 7.4.6) e per le strutture da ponte (§ 7.9.6), laddove

risulti $S_e(T)$ minore di un assegnato valore (ad esempio $\leq 0.20g$). Il criterio, con opportuni adattamenti, potrebbe essere esteso a qualsiasi insieme sito-struttura.

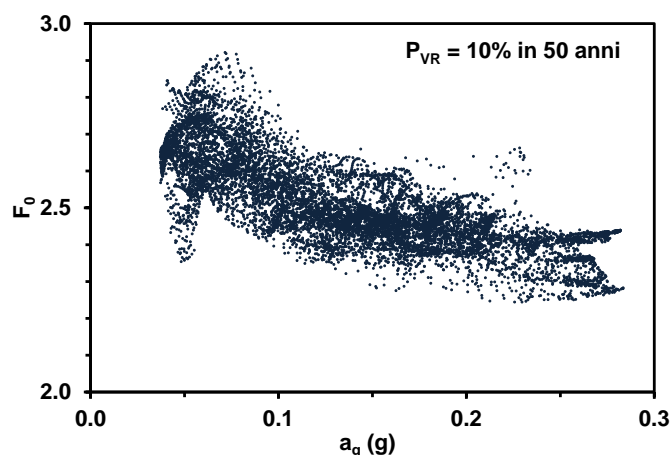


Figura 1 – Coppie di valori F_0 - a_g per $P_{VR} = 10\%$ in 50 anni

Il secondo aspetto sul quale ci si vuole soffermare è la vita di servizio dei dispositivi. L'OPCM 3274/2003 (§ 10.9) prescriveva che nei documenti di progetto fosse specificata la durata della vita della struttura, che comunque non doveva risultare minore di 60 anni. Già le NTC-2008, invece, prevedevano che "tutti i dispositivi devono avere una vita di servizio maggiore di 10 anni".

Ovviamente, ciò non vuol dire che i dispositivi debbano essere sostituiti ogni 10 anni, ma si tratta comunque di un valore non compatibile con quello della vita nominale di un edificio, pari ad almeno 50 anni, e che potrebbe scoraggiare l'uso dell'isolamento sismico sia nella progettazione di nuovi edifici che nell'adeguamento sismico di quelli esistenti. È un aspetto da approfondire nel futuro, anche facendo tesoro dell'esperienza che nel frattempo sarà maturata sugli edifici isolati già realizzati.

Infatti, diverse costruzioni con isolamento sismico e dotate di reti di monitoraggio accelerometrico sono state soggette negli ultimi anni a terremoti, anche in Italia. Le registrazioni ottenute hanno permesso di caratterizzare il comportamento sismico reale delle strutture e del sistema di isolamento a vari livelli di input sismico. La diffusione del monitoraggio sismico è indispensabile per migliorare la conoscenza sull'isolamento sismico e, quindi, la qualità dei dispositivi e le relative norme tecniche.

BIBLIOGRAFIA

- Clemente P. (2014). "Le norme tecniche per le costruzioni in zona sismica". In Forni M. (ed), *Il terremoto a scuola, Cap. 4*, 105-127, 21mo SECOLO s.r.l., Milano, ISBN 978-88-87731-53-8.
- Clemente P. (2016). "Prevenzione del rischio sismico: che cosa fare?". *INGENIO*, n. 45, <http://www.ingenio-web.it> (on line 04.09.2016).
- Clemente P. (2017). "Seismic isolation: past, present and the importance of SHM for the future". *J. of Civil Structural Health Monitoring*, Springer, Vol. 7, No. 2, 217-231, DOI 10.1007/s13349-017-0219-6 (on line 18 March 2017).

- Clemente P., Bongiovanni G., Benzoni G. (2017). "Monitoring of seismic isolated buildings: state of the art and results under high and low energy inputs". *Proc. New Zealand Society for Earthquake Annual Conf. and 15th World Conf. on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibration Control of Structures* (NZSEE2017 and 15WCSI, Wellington, Apr 27-29).
- Clemente P., Bongiovanni G., Buffarini G. and Saitta F. (2016). "Experimental analysis of base isolated buildings under low magnitude vibrations". *Int. J. of Earthquake and Impact Engineering*, Vol. 1, No. 1-2, 199-223, Inderscience Publishers, DOI: [10.1504/IJIE.2016.10000961](https://doi.org/10.1504/IJIE.2016.10000961).
- Clemente P., Bongiovanni G., Buffarini G., Saitta F. (2017a). "Criteri di progettazione antisismica: è giunto il momento di ripensarli". *INGENIO*, n. 51, <http://www.ingenio-web.it>, (on line 22.02.2017).
- Clemente P., Bongiovanni G., Buffarini G., Saitta F. (2017b). "Anagrafe e classificazione del costruito: non c'è più tempo da perdere". *INGENIO*, n. 55, <http://www.ingenio-web.it>, (on line 18.07.2017).
- Clemente P., Bongiovanni G., Buffarini G., Saitta F. (2018). "Valutazione e interventi sugli edifici esistenti: c'è ancora molto da chiarire". *INGENIO*, <https://www.ingenio-web.it> (on line 15 Jan 2018).
- Clemente P., Buffarini G. (2010). "Base isolation: design and optimization criteria". *J. of Seismic Isolation and Protection Systems*, 1-1(2010), 17-40, Mathematical Science Publisher, DOI [10.2140/siaps.2010.1.17](https://doi.org/10.2140/siaps.2010.1.17).
- Clemente P., Martelli A. (2017). "Anti-seismic systems: Worldwide application and conditions for their correct use". *Proc. 16th World Conf. on Earth. Eng.* (16WCEE, Santiago, Chile, Jan 9-13), Keynote lecture, IAEE & ACHISINA.
- Clemente P., Martelli A. (2018). "Seismically isolated buildings in Italy: State-of-the-art review and applications". *Int. J. Soil Dynamics and Earth. Eng.*, Elsevier Science Ltd, PII: S0267-7261(17)30889-8, DOI 10.1016/j.soildyn.2017.12.029 (on line 15 Jan 2018).