

NOTE SUI COSTI DI COSTRUZIONE DI EDIFICI ISOLATI SISMICAMENTE REALIZZATI IN ITALIA E SU ALCUNI ASPETTI REALIZZATIVI *

Alessandro MARTELLI **

* Questo articolo riporta un aggiornamento della relazione “Note sui costi di costruzione di edifici isolati sismicamente realizzati in Italia e su alcuni aspetti realizzativi” presentata dall'autore al Seminario “Centenario del Terremoto e del Maremoto di Messina e Reggio Calabria: 1908-2008, un Secolo di Ingegneria Antisismica”, tenutosi a Messina il 30 ed il 31 gennaio 2009.

** *Presidente dell'associazione GLIS (GLIS – Isolamento ed altre Strategie di Progettazione Antisismica) e dell'International Seismic Safety Organization (ISSO); presidente fondatore ed attuale vicepresidente e coordinatore della Sezione Territoriale dell'Unione Europea e degli altri paesi dell'Europa Occidentale dell'Anti-Seismic Systems International Society (ASSISi); coordinatore del Task Group 5 on Seismic Isolation of Structures dell'European Association for Earthquake Engineering (EAEE-TG5); membro della Commissione IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) per la concessione dell'AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare; Collaudatore in corso d'opera di edifici protetti da sistemi antisismici; membro del Collegio dei Docenti del Dottorato di Ricerca in “Ingegneria Civile, Ambiente e Territorio, Edile e in Chimica” del Politecnico di Bari; già Direttore del Centro Ricerche di Bologna dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) (in pensione da fine novembre 2012); fino al 2011 docente di “Costruzioni in Zona Sismica” presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Ferrara*

NOTE SUI COSTI DI COSTRUZIONE

La nuova normativa sismica italiana, entrata in vigore dapprima con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, poi con sue modifiche ed integrazioni e, infine, con le nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (finalmente divenute obbligatorie, grazie alla legge sulla ricostruzione in Abruzzo), oltre ad aver liberalizzato l'uso delle moderne tecnologie antisismiche, lo ha reso economicamente più conveniente, permettendo, in particolare, nel caso di strutture isolate, di tener conto della riduzione delle forze sismiche agenti sulla sovrastruttura e sulle fondazioni, operata dal sistema d'isolamento, e di assumere, per la sovrastruttura, accelerazione costante (invece che crescente) dalla base alla sommità, coerentemente con il movimento “di corpo rigido” che essa presenta. Tenuto conto di ciò, l'isolamento sismico risulta essere una tecnica particolarmente vantaggiosa, per quanto attiene ai costi di costruzione, per edifici che presentano asimmetrie in pianta e/o in alzata. Tali asimmetrie, infatti, risultano costose e, se notevoli, assai problematiche per gli edifici fondati in modo convenzionale, soprattutto in aree significativamente sismiche (ma non solo); in particolare, le asimmetrie in pianta generano pericolosi effetti torsionali.

Ecco che allora, per contrastare gli effetti di tali asimmetrie negli edifici suddetti, occorre spesso inserire in essi elementi irrigidenti (setti), che, però, non raramente entrano in conflitto con le caratteristiche architettoniche ed aspetti funzionali; se poi le asimmetrie di rigidezza (in pianta o in alzata) sono di forte entità, occorre spesso separare gli edifici fondati convenzionalmente in più corpi di fabbrica sufficientemente simmetrici. Ciò, invece, non è usualmente necessario per costruzioni isolate, perché il movimento quasi rigido della sovrastruttura minimizza gli effetti negativi delle asimmetrie in alzata e perché un'opportuna disposizione degli isolatori elastomerici – eventualmente di diversa rigidezza (grazie a diametri diversi e/o gomme con valori diversi del modulo di elasticità tangenziale) ed uniti ad isolatori a scorrimento acciaio-teflon (Sliding Device o SD) – in genere consente di portare il centro di rigidezza del sistema d'isolamento a coincidere, o quasi, con la proiezione del baricentro della costruzione sul piano dell'isolamento (condizione per evitare le tensioni torsionali).

In effetti, le realizzazioni progettate in base alla nuova normativa sismica italiana mostrano che le semplificazioni da essa previste riducono spesso i costi di costruzione aggiuntivi dovuti al sistema d'isolamento in maniera assai più consistente di quanto le analisi teoriche indicano, a parità di zona sismica, materiale utilizzato (cemento armato, c.a., o muratura) e numero di piani, spesso addirittura annullandoli. Ciò è appunto dovuto agli effetti significativi che anche limitate asimmetrie inducono sul progetto.

A titolo d'esempio citiamo:

- la nuova sede dell'Associazione “Fratellanza Popolare - Croce d'Oro” di Grassina (Firenze), un edificio in c.a. di 3 piani con pianta “ad L” (quindi fortemente asimmetrico, vedi Figura 1 a sinistra e 1 al centro) situato in zona sismica 2, progettato dal membro del consiglio direttivo del GLIS prof. Stefano Sorace e collaudato dallo scrivente nel 2007, per il quale l'isolamento sismico (32 SD e 16 dissipatori viscosi) ha consentito un notevole risparmio;
- la Sala Civica e Sede della Croce Rossa a Gaggio Montano (Bologna), un edificio rilevante per la protezione civile molto irregolare sia in pianta che in alzata (Figura 1 a destra), costruito con la collaborazione dell'ENEA, per il quale l'isolamento sismico (33 HDRB e 4 SD) non ha comportato costi aggiuntivi, sebbene l'edificio in questione sia ubicato addirittura in zona sismica 3;

- i 4 edifici residenziali in c.a. di 5 piani fuori terra del nuovo Quartiere “San Samuele” di Cerignola (Foggia), in zona sismica 2, progettati dal membro del consiglio direttivo del GLIS ing. Alberto Dusi e da altri esperti e collaudati dallo scrivente in maggio 2009 (Figura 2), per i quali l’isolamento sismico (124 isolatori elastomerici ad alto smorzamento – *High Camping Rubber Bearing* o HDRB di tre taglie) non ha comportato costi aggiuntivi;
- il complesso costituito dalla nuova Scuola Francesco Jovine e dal Centro Professionale ed Universitario “Le Tre Torri” di San Giuliano di Puglia (Campobasso), pure in zona sismica 2, due edifici in c.a. di 3 piani supportati da un’unica piattaforma isolata (il cosiddetto *artificial groud* di origine giapponese), progettato da un gruppo di esperti coordinato dal socio fondatore del GLIS Ing. Paolo Clemente dell’ENEA e collaudato dallo scrivente e dal socio del GLIS ing. Claudio Pasquale il 2 settembre 2008, per il quale l’isolamento (61 HDRB e 12 SD) non ha comportato costi aggiuntivi e, anzi, ha semplificato notevolmente il progetto strutturale;
- la nuova scuola elementare in c.a. di 3 piani fuori terra in costruzione a Marzabotto (Bologna), in zona sismica 3, progettata con la collaborazione dell’ENEA e di cui lo scrivente è collaudatore in corso d’opera, per la quale il costo stimato dell’isolamento sismico (14 HDRB di 2 taglie ed 8 SD) è stato di 93.000 €, cioè meno del 2% del costo dell’opera completa;
- la nuova scuola di Vado, in comune di Monzuno (Bologna), progettata con fondazioni convenzionali prima che l’area fosse classificata sismica (in zona sismica 3), per la quale l’inserimento dell’isolamento sismico (di recente progettato con la collaborazione dell’ENEA) ha evitato la necessità di irrobustire l’edificio per renderlo capace di resistere alle azioni sismiche derivanti dalla nuova classificazione, con un costo aggiuntivo pari a quello che l’irrobustimento suddetto avrebbe comportato;
- i due nuovi edifici in muratura dell’ATER di Perugia in costruzione a Corciano, in zona sismica 2, per il più alto dei quali (4 piani fuori terra) l’isolamento sismico ha permesso l’innalzamento di un piano.



Figura 1: La sede dell’Associazione “Fratellanza Popolare – Croce d’Oro” di Grassano (a sinistra); le tubazioni di interfaccia del gas di tale edificio (al centro); la Sala Civica e sede della Croce Rossa di Gaggio Montano (a destra).



Figura 2: Vista dei 4 edifici residenziali isolati sismicamente del nuovo Quartiere San Samuele di Cerignola in agosto 2008 (a sinistra); piastre di protezione dei giunti strutturali mediante lamierini d’acciaio (al centro); giunti flessibili delle tubazioni d’interfaccia contenenti fluidi non pericolosi (a destra).

Inoltre, vale la pena di citare le due seguenti realizzazioni, pure collaudate dallo scrivente:

- il Centro Regionale Marche della Telecom Italia di Ancona (zona sismica 2), progettato dal membro del consiglio direttivo del GLIS ing. Gian Carlo Giuliani, costituito da 5 grandi edifici protetti da 297 HDRB di 2 taglie e completato nel 1992 (cioè prima dell’entrata in vigore di qualsiasi regola di progetto, in Italia, riguardante i sistemi antisismici), per il quale l’isolamento ha comportato un risparmio del 7% dei costi di costruzione, avendo permesso di evitare una complessa palificazione, di alleggerire la sovrastruttura (grazie alla riduzione delle azioni sismiche, considerata nel progetto) e di costruire gli edifici con notevoli asimmetrie di rigidità (corpo scale ad una sola delle estremità di ciascun edificio) e, per quello d’ingresso, forma arcuata (edificio ad arco);

- una palazzina in c.a. di 3 piani a Fabriano (Ancona), in zona sismica 2, danneggiata dal terremoto umbro-marchigiano del 1997-98 ed adeguata sismicamente sottofondando l'edificio ed inserendo 56 HDRB di due taglie nel nuovo piano interrato, completata nel 2005 (Figure 3 e 4), per la quale l'isolamento sismico ha comportato un costo del 20% inferiore rispetto a quello di un intervento convenzionale, sebbene il progetto fosse stato sviluppato prima dell'entrata in vigore della nuova normativa sismica (l'isolamento ha infatti consentito di evitare irrigidimenti della struttura, peraltro di difficile effettuazione, e la demolizione degli elementi non strutturali non danneggiati, permettendo anche di realizzare nuove fondazioni adeguate, contrariamente a quelle originarie a due pali. Figura 3).



Figura 3: Palazzina di Via Fratelli Latini a Fabriano, adeguata sismicamente con l'isolamento sismico in sottofondazione (a sinistra); realizzazione del gap durante i lavori effettuati nel 2002 (al centro); vista dal basso (dall'interno del nuovo piano interrato) del gap realizzato, a lavori completati nel 2006 (a destra).

Le caratteristiche della palazzina suddetta (ossatura portante alquanto flessibile) sono tipiche di molte altre realizzazioni simili, pure in Abruzzo: pertanto, anche in considerazione della sua convenienza economica, si confida che l'intervento di Fabriano faccia almeno lì scuola. Comunque, anche nel caso in cui i costi aggiuntivi di costruzione dovuti all'isolamento sismico non risultino totalmente compensati, resta sempre a favore di tale tecnica, oltre alla sicurezza nettamente maggiore (che dovrebbe essere l'obiettivo prioritario!), il bilancio economico complessivo, che tiene correttamente conto anche dei costi da affrontare dopo un terremoto (delocalizzazione degli abitanti, interruzione delle attività, demolizioni, asportazione e sistemazione dei detriti, riparazioni, ricostruzione, ecc.). Inoltre, occorre considerare gli effetti ambientali ed i costi energetici che le attività suddette causano alla popolazione.

ASPETTI REALIZZATIVI

È molto importante sottolineare che, nell'applicazione dell'isolamento sismico (e soprattutto nella fase costruttiva), merita particolare attenzione la corretta realizzazione:

- dei “giunti strutturali” (*gap*) fra la sovrastruttura isolata e la sottostruttura od il terreno circostante (ovvero fra due sovrastrutture adiacenti isolate indipendentemente l'una dall'altra), cioè di quegli “spazi” che sono necessari a garantire il libero movimento della sovrastruttura fino al suo spostamento trasversale massimo previsto a progetto (Figura 3);
- dei cosiddetti “elementi di interfaccia”, cioè di quei componenti e di quelle strutture che attraversano, orizzontalmente o verticalmente, il *gap* (interfaccia): passerelle d'accesso, coperture dei *gap* stessi, scale, ascensori, tubazioni di vario tipo, cavi, ecc. (Figure 1, 2 e 4).

La corretta realizzazione dei *gap* e degli elementi d'interfaccia non è affatto difficoltosa, ma l'esperienza applicativa ha evidenziato che errori (commessi soprattutto durante la costruzione) sono poi spesso assai ardui da correggere e possono comportare notevoli costi aggiuntivi inattesi. Gli elementi d'interfaccia non devono impedire il libero movimento della sovrastruttura (neppure quello verticale, seppur limitato a pochi centimetri al massimo, indotto dalla grande deformazione orizzontale degli isolatori elastomerici, vedi Figura 4). Inoltre, mentre per alcuni di tali elementi (ad esempio, per le coperture dei *gap*, vedi Figura 2) si può ammettere il danneggiamento durante un terremoto significativo (purché sia ad essi limitato), in quanto se ne accetta la successiva sostituzione, per altri è indispensabile (ad esempio per le tubazioni del gas e di altri fluidi pericolosi) od opportuno (ad esempio per quelle contenenti fluidi non pericolosi, per scale ed ascensori) mantenerne l'integrità durante il terremoto massimo di progetto (Figure 1, 2 e 4): ecco che, allora, le linee delle tubazioni (grazie alla loro geometria, ai vincoli e, soprattutto, all'utilizzazione di particolari snodi o “giunti meccanici” – *joint*) devono essere in grado di assorbire gli spostamenti di progetto (quello compatibile con la larghezza del *gap* per fluidi pericolosi) senza rompersi (Figure 1 e 2), mentre strutture d'interfaccia come scale ed ascensori devono essere vincolate o alla sola sovrastruttura o alla sola sottostruttura (ovvero al terreno circostante od alla sovrastruttura adiacente indipendentemente isolata) e presentare, all'estremità libera, i necessari valori del *gap*

orizzontale e verticale (riguardo a quest'ultimo – quando si utilizzino isolatori in gomma o che, comunque, comportino spostamenti verticali indotti dalle deformazioni orizzontali – è opportuno prevedere sempre qualche centimetro, vedi Figura 4).



Figura 4: Vista del nuovo piano interrato della palazzina di Figura 3, con gli isolatori e le linee delle tubazioni già installati (a sinistra); palazzina residenziale isolata sismicamente con HDRB a Shantou nel 1994, prima applicazione cinese di moderni sistemi d'isolamento (al centro – si noti la scala d'accesso, vincolata alla sovrastruttura, ed il gap verticale che essa presenta rispetto al terreno circostante); vista, in luglio 2008, di alcuni degli HDRB della nuova scuola Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia, e del Centro Professionale ed Universitario "Le Tre Torri", protetti dal possibile attacco di ratti mediante griglie labilmente collegate, in modo da non ostacolare la deformazione laterale durante un terremoto (a destra).

Ovviamente, poi, occorre garantire che i *gap* siano e restino completamente liberi e (per motivi sia economici che "d'immagine") è bene adottare soluzioni che, durante terremoti di lieve entità, evitino danneggiamenti delle protezioni sia dei *gap*, sia delle tubazioni non rilevanti per la sicurezza, sia delle eventuali protezioni degli isolatori (Figure 2 e 4). Quanto agli isolatori, è infatti da ricordare che, se essi sono in gomma, è bene proteggerli dalla luce durante la costruzione ed è indispensabile mantenerli protetti dal fuoco se sono esposti a tale pericolo (soprattutto se il locale ove essi sono installati è utilizzato come garage), nonché da altre possibili cause di danneggiamento (vandalismo, attacco dei ratti, vedi Figura 4). Per gli isolatori SD acciaio-teflon occorre non dimenticarsi di mantenerli ben protetti dalla polvere (sia durante la costruzione che, successivamente, quando sono in opera) e, non appena si è disarmato il piano ove essi sono stati installati, di smontare le aste che, al momento della fornitura, collegano le due piastre inferiore e superiore (pena quantomeno il loro danneggiamento, se si verifica terremoto, anche piccolo, a causa dell'impedimento dello scorrimento, quando invece gli isolari in gomma sono liberi di deformarsi lateralmente).

Molte delle suddette raccomandazioni possono sembrare superflue, ma l'esperienza realizzativa ha purtroppo dimostrato che così non è. Pertanto, occorre che sia il direttore dei lavori che il collaudatore in corso d'opera di costruzioni isolate sismicamente le tengano ben presenti e non si limitino a controllare la corretta qualifica, produzione ed installazione degli isolatori e l'adeguatezza della realizzazione degli elementi strutturali. In particolare, il certificato di collaudo potrà essere rilasciato solo dopo il completamento della costruzione e l'installazione degli elementi d'interfaccia prima menzionati.

ISTRUZIONI A CHI GESTIRÀ L'EDIFICIO E VIGILANZA SULLA CORRETTA REALIZZAZIONE

Inoltre, per garantire il mantenimento di un edificio isolato in condizioni di sicurezza durante l'intera sua vita, occorre che siano rilasciate istruzioni, a chi gestirà l'edificio, riguardanti l'ispezione, la manutenzione e la sostituzione degli isolatori sismici, delle loro protezioni, degli elementi d'interfaccia e delle protezioni dei *gap*. Di ciò la normativa sismica italiana non fa ancora cenno, ma, in accordo con il Dipartimento della Protezione Civile, il GLIS, tramite un apposito gruppo di lavoro appena costituito, inizierà a breve a definire una proposta, partendo sia dalle raccomandazioni inserite dallo scrivente e dall'ing. Claudio Pasquale nella loro relazione di collaudo della nuova scuola Francesco Jovine e del Centro Professionale ed Universitario "Le Tre Torri" di San Giuliano di Puglia, sia da quelle successivamente fornite dallo scrivente nella relazione di collaudo degli edifici isolati del Quartiere San Samuele di Cerignola.

Infine, mi preme sottolineare che, ora che l'applicazione dell'isolamento e degli altri sistemi antisismici si sta finalmente diffondendo in modo soddisfacente anche in Italia, compito del GLIS non è più soltanto promuovere nuove realizzazioni di tali sistemi, ma anche vigilare sulla loro corretta applicazione, denunciando i casi in cui all'associazione risultino sussistere inadempienze rispetto a quanto previsto dalla normativa sismica e, più in generale, dalla legge. Infatti, al di là di ogni altra pur fondamentale considerazione di carattere etico e giuridico, anche il solo danneggiamento, durante un terremoto, di una struttura dotata di sistemi antisismici che sia stato causato dall'inadeguatezza di tali sistemi o dalla loro scorretta installazione, provocherebbe enormi danni a tutto il settore (con riflessi oltremodo negativi anche sulla crescita della sicurezza sismica nel nostro paese), dando fiato ai tuttora purtroppo esistenti detrattori delle nuove tecnologie. Infatti, se si verificasse la situazione suddetta, sarebbe poi assai difficile convincere l'opinione pubblica che la causa del danneggiamento non è stata l'inadeguatezza della tecnica costruttiva utilizzata, bensì la scarsa qualità dei dispositivi installati o la loro errata applicazione.