

APPLICAZIONI DI ISOLAMENTO SISMICO: OSPEDALI DI UDINE, LISBONA, E NAPOLI

Ing. Maria Gabriella Castellano¹, Prof. Edoardo Cosenza², Ing. Luigi Di Sarno³,
Prof. Luís Guerreiro⁴, Ing. Giuseppe Lupoi⁵

ABSTRACT

L'isolamento sismico, a differenza dell'approccio progettuale tradizionale dell'ingegneria sismica basato sul concetto di danno controllato (ottenuto attraverso il rispetto della gerarchia delle resistenze), consente non solo di evitare il collasso delle strutture e quindi la perdita di vite umane, ma anche di garantire la funzionalità delle strutture stesse, anche a fronte di un sisma di forte intensità. Grazie a questa peculiarità il suo utilizzo è particolarmente vantaggioso per tutte le strutture la cui funzionalità post-sisma è di importanza strategica per le operazioni di soccorso, come gli ospedali. I benefici relativi alle prestazioni strutturali di edifici ospedalieri isolati alla base furono confermati dall'ottimo comportamento dell'Ospedale universitario USC (University of Southern California) durante il terremoto di Northridge (Los Angeles) del 1994.

In Italia ed in Europa l'applicazione dell'isolamento sismico a strutture ospedaliere di grandi dimensioni è più recente che negli USA o in Giappone. L'ospedale "Gervasutta" di Udine è stato recentemente completato, e l'Ospedale "Da Luz" di Lisbona, dotato di un sistema di isolamento che lo protegge sia dal sisma che dalle vibrazioni della sottostante metropolitana, è in via di completamento. L'Ospedale del Mare, nella zona periferica orientale di Napoli, costituito da un edificio con significative irregolarità in pianta ed elevazione, è invece attualmente in costruzione. La FIP Industriale ha prodotto per questi tre ospedali un totale di 694 isolatori elastomerici ad alto smorzamento (smorzamento viscoso equivalente pari al 10 o 15 %), di diametro compreso tra 400 e 900 mm. In accordo alle normative in vigore e/o alle richieste specifiche dei capitolati, numerosi isolatori sono stati sottoposti a prove sperimentali di qualifica e/o accettazione.

Keywords: Isolamento Sismico, Terremoto, Isolatori elastomerici, Sicurezza, Ospedali

¹ Ufficio Ricerca e Sviluppo, FIP Industriale S.p.A.; e-mail: maria.gabriella.castellano@fip-group.it

² Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni, Dipartimento di Analisi e Progettazione Strutturale (DAPS), Università degli Studi "Federico II" di Napoli; e-mail: cosenza@unina.it

³ Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni, Dipartimento di Ingegneria, Università del Sannio, Benevento; e-mail: disarno@unina.it

⁴ Assistant Professor, DECivil-Instituto Superior Técnico, Lisbona, Portogallo; e-mail:luisg@civil.ist.utl.pt

⁵ Studio Speri Società di Ingegneria s.r.l., Roma; e-mail: lupoi@studiosperi.it

INTRODUZIONE

L'isolamento sismico consiste nell'inserimento nella struttura di opportuni dispositivi - detti isolatori - che grazie alla loro ridotta rigidezza orizzontale ne modificano le caratteristiche dinamiche, in particolare aumentandone il periodo proprio, riducendo così fortemente l'energia trasmessa dal terremoto alla struttura (energia di ingresso). Negli edifici gli isolatori sono inseriti alla base, subito sopra le fondazioni o talora, in presenza di piani interrati, subito sotto il solaio del piano terra (per questo si parla anche di isolamento alla base). La struttura al di sopra degli isolatori si comporta essenzialmente come un corpo rigido, e quindi sia gli spostamenti di interpiano che le accelerazioni sono fortemente ridotti rispetto a quelli di un edificio tradizionale. Grazie a questo comportamento, con l'isolamento sismico è possibile non solo evitare il collasso degli edifici (obiettivo fondamentale di qualsiasi strategia di ingegneria sismica, finalizzato ad evitare la perdita di vite umane), ma anche evitare qualsiasi danno agli elementi sia strutturali che non strutturali, ed anche alle apparecchiature contenute, garantendo così la piena funzionalità degli edifici. Grazie a questa peculiarità, l'utilizzo dell'isolamento sismico è particolarmente vantaggioso per tutte le strutture la cui funzionalità post-sisma è di importanza strategica per le operazioni di soccorso, come gli ospedali, i centri di protezione civile, le caserme, ecc.

Focus

Sicurezza sismica per gli ospedali vuol dire non solo proteggere le vite degli occupanti, ma anche garantire la funzionalità anche subito dopo un terremoto disastroso. A questo scopo la tecnologia dell'isolamento sismico è insostituibile.

I moderni dispositivi di isolamento sismico sono applicati fin dagli anni settanta, sia in ponti e viadotti che in edifici. Negli edifici sono utilizzati soprattutto gli isolatori elastomerici, ad alto smorzamento o con nucleo in piombo [Castellano, 2004]. Le prime applicazioni ad edifici furono per lo più in Nuova Zelanda e negli USA, mentre in Italia inizialmente l'isolamento sismico si diffuse soprattutto nel settore dei ponti e viadotti.

Fin dal 1994 (terremoto di Northridge) alcune strutture dotate di isolamento sismico furono soggette a terremoti, anche di notevole intensità. L'osservazione del comportamento sismico reale di queste strutture - molte delle quali erano dotate di un sistema di monitoraggio - confermò l'efficacia dell'isolamento sismico non solo nel preservare le strutture dal danneggiamento, ma anche nel mantenerne pienamente la funzionalità durante e dopo il sisma, grazie all'integrità di tutti i componenti interni. Un caso emblematico è quello dell'ospedale universitario USC (University of Southern California), situato a circa 36 km dall'epicentro del terremoto di Northridge, nella zona di Los Angeles, del 17 gennaio 1994, che ebbe magnitudo 6,8 della scala Richter, danneggiò 5564 edifici e ne distrusse 184, oltre a provocare il crollo di alcuni ponti, con conseguenti enormi problemi di viabilità [Clark *et al.*, 1994]. Inaugurato nel 1991, esso è il primo ospedale sismicamente isolato del mondo; la struttura (ad 8 piani, con telai in acciaio, di cui quelli perimetrali

controventati) è fortemente irregolare sia in pianta che in alzato, a causa di esigenze funzionali. Per minimizzare la risposta torsionale, fu scelto un sistema di isolamento sismico costituito da 68 isolatori elastomerici con nucleo in piombo sotto le colonne perimetrali ed 81 isolatori elastomerici a basso smorzamento sotto le colonne interne. Il periodo proprio della struttura isolata è di 2,3 s, in corrispondenza dello spostamento di progetto (260 mm). Le misurazioni effettuate durante il terremoto evidenziarono un ottimo comportamento della struttura, nonostante il sisma subito fosse di intensità inferiore a quello di progetto, e quindi lo spostamento degli isolatori fosse molto inferiore a quello di progetto (40 mm), e di conseguenza il comportamento globale risultasse più rigido. Nonostante un certo effetto di amplificazione locale agli ultimi piani, legato all'irregolarità in alzato, l'accelerazione misurata all'ultimo piano fu circa la metà (0,2g) di quella misurata al terreno in corrispondenza delle fondazioni (0,37 g). Interessante è il confronto di queste registrazioni con quelle effettuate sull'Olive View Hospital, un altro edificio ospedaliero della stessa zona con struttura molto simile, ma non isolato alla base: in questo ospedale l'accelerazione misurata al tetto fu quasi 3 volte superiore a quella misurata in fondazione. A causa di queste elevate accelerazioni, l'Olive View Hospital, pur non subendo danni strutturali significativi, subì danni importanti alle apparecchiature interne, che ne limitarono la funzionalità per alcuni giorni. Invece l'ospedale USC, grazie all'isolamento alla base, rimase completamente operativo durante e dopo il sisma, senza alcun danno né alla struttura né alle apparecchiature [Clark *et al.*, 1994].

L'osservazione del comportamento degli edifici isolati durante i terremoti di Northridge del 1994 e di Kobe (Giappone) del 1995 ebbe come effetto, soprattutto in Giappone, un notevole incremento delle realizzazioni di edifici isolati alla base. Per quanto riguarda in particolare gli ospedali, nel 2002 già si contavano nel mondo più di 20 ospedali isolati alla base già realizzati, in Giappone, USA, India, Nuova Zelanda, Taiwan, Cile [Boroschek e Retamales, 2002], e molti altri progettati. Per quanto riguarda l'Italia, nonostante una notevole attenzione alla problematica della protezione sismica degli ospedali [Nutti *et al.*, 1999], fino a pochi anni fa erano stati realizzati solo due piccoli centri medici della Marina Militare ad Ancona ed Augusta. Negli ultimi anni invece sono stati realizzati, o sono in costruzione, strutture ospedaliere di grandi dimensioni, come l'Ospedale "Gervasutta" di Udine e l'Ospedale del Mare di Napoli. Le caratteristiche principali dell'isolamento sismico di questi due ospedali, e dell'Ospedale "Da Luz" di Lisbona, che utilizzano isolatori elastomerici prodotti dalla FIP Industriale, sono brevemente descritte nel seguito.

Obiettivo

Dopo USA e Giappone, negli ultimi anni anche in Europa sono stati costruiti alcuni ospedali sismicamente isolati. L'articolo ne descrive tre, due in Italia ed uno in Portogallo, a titolo di esempio.

L'OSPEDALE "GERVASUTTA" DI UDINE

La scelta di isolare sismicamente l'ospedale "Gervasutta" discende dall'input progettuale di assicurarne la totale funzionalità a seguito dell'evento sismico di tipo "raro" (cioè un evento sismico che abbia una probabilità di accadimento del 2% in cinquanta anni, caratterizzato da $PGA=0,35g$). Il progetto preliminare dell'intervento, completato nella primavera 2001, ottenne parere consultivo favorevole da parte dei competenti Organi regionali nel settembre del medesimo anno; la progettazione definitiva fu approvata nel novembre 2001, mentre il progetto esecutivo, completo di tutte le approvazioni di Legge da parte dei soggetti aventi titolo (Comune, V.V.F., Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Commissione Provinciale dei Servizi Tecnici, ecc.) fu completato entro il Giugno 2002. Si noti in particolare che all'epoca era necessaria l'approvazione da parte del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici di tutti i progetti di strutture con isolamento sismico. In buona sostanza, grazie ad un'ottimale collaborazione fra tutti gli Enti interessati, in meno di un anno si è passati dalla progettazione preliminare alla produzione degli elaborati per la gara d'appalto, corredati di tutte le prescritte autorizzazioni. I lavori di cantiere sono iniziati nel maggio 2003 e sono in via di ultimazione (FIG. 1). L'edificio di circa 40.000 mc, destinato a 98 posti letto, è parte del progetto di ampliamento dell'ospedale esistente.

Gli isolatori utilizzati sono del tipo elastomerico armato ad alta dissipazione, con coefficiente di smorzamento viscoso equivalente pari al 10 %. Le dimensioni, il numero e la disposizione dei singoli isolatori sono definiti in modo da ottenere un periodo proprio della struttura isolata di circa 2 sec, e la minima distanza tra il centro di rigidità alla traslazione degli isolatori e la proiezione sul piano degli isolatori del centro di gravità dell'intero edificio, così da ridurre il più possibile l'insorgere di effetti rotazionali sulla risposta dinamica della struttura isolata. Sono stati utilizzati in totale 52 isolatori, di tre diversi diametri, 600, 700 ed 800 mm, progettati rispettivamente per un carico verticale massimo di 2500, 3800 e 4300 kN e per uno spostamento di 180 mm (corrispondente ad una deformazione di taglio dell'elastomero pari al 150%). Il sistema di isolamento è stato localizzato immediatamente al di sotto del solaio del 1° livello, che è irrigidito con un grigliato di travi in altezza, ed i singoli isolatori sono posti in corrispondenza delle strutture verticali (pilastri e setti) (FIG. 2). Particolare attenzione è stata posta già in fase progettuale agli impianti, affinché possano consentire lo spostamento relativo tra sovrastruttura isolata ed elementi fissati al terreno. In particolare i cavi elettrici sono più lunghi di almeno $x\sqrt{2}$ ove x è lo spostamento orizzontale di progetto; le tubazioni contenenti i fluidi sono dotati invece di appositi elementi di giunzione, in grado di sopportare l'accelerazione massima di progetto e le deformazioni indotte dallo spostamento dei corpi di fabbrica senza danneggiamenti, in modo da garantire anche sotto sisma la sicurezza nella distribuzione dei fluidi.



FIG. 1. Il nuovo edificio dell'Ospedale Gervasutta di Udine



FIG. 2. Isolatori installati nell'Ospedale di Udine.

L'OSPEDALE "DA LUZ" DI LISBONA

Si tratta di un complesso ospedaliero privato, costruito dalla società "Espírito Santo Unidades de Saúde e apoio à 3ª idade, S.A.", costituito da due strutture indipendenti, una destinata ad ospedale vero e proprio (FIG.3), e l'altra ad appartamenti per anziani (FIG.4), entrambe in c.a. [Prazeres Ferreira, 2006].



FIG. 3. L'Ospedale "Da Luz" di Lisbona: edificio ospedaliero.



FIG. 4. L'Ospedale "Da Luz" di Lisbona: edificio residenziale per anziani.

L'ospedale ha una base quasi quadrata, di 110m x 110m, di 6 piani, con due blocchi rettangolari di 3 piani (23m x 100m) disposti alle due estremità della base. Gli isolatori sono installati al di sotto del livello -1 (FIG. 5), con qualche eccezione locale (ad esempio in corrispondenza degli ascensori). I 195 isolatori sono di 3 diverse tipologie, di diametro compreso tra 400 e 900 mm, e con due tipi di miscela elastomerica diversi (modulo di taglio $G=0,8$ MPa, smorzamento $\xi=10$ %, e $G=1,4$ MPa, $\xi=15$ %). L'edificio adibito a residenza per anziani ha una base rettangolare (55m x 17,5m) di 4 piani, con due blocchi rettangolari di 3 piani sui lati corti della base. In questo edificio gli isolatori sono disposti subito sopra le fondazioni (FIG. 6). I 120 isolatori anche in questo caso hanno diametro

compreso tra 400 e 900 mm, ma sono tutti realizzati con la mescola più dura ($G=1,4$ MPa, $\xi=15$ %). Le FIGG. 7 ed 8 mostrano alcuni degli isolatori durante l'installazione ed al completamento della struttura. Per entrambe le strutture il periodo proprio è circa 2,5 s. Lo spostamento orizzontale di progetto degli isolatori è risultato essere pari a 180 mm (incluso il coefficiente "di affidabilità" pari ad 1,2 prescritto dall'EC8). E' interessante notare che in questo caso gli isolatori svolgono non solo la funzione dell'isolamento sismico, ma anche quella di isolare gli edifici dalle vibrazioni indotte dalla metropolitana che passa proprio sotto di essi, ed in futuro anche dal traffico veicolare in una galleria autostradale di prossima costruzione [Guerreiro *et al.*, 2005; Prazeres Ferreira, 2006]. Di conseguenza la rigidità verticale è relativamente bassa, mentre solitamente gli isolatori sismici sono progettati per avere rigidità verticale molto elevata. Sugli isolatori in scala reale (una coppia per ciascuna delle 7 tipologie utilizzate) sono state effettuate numerose prove per verificare sia la rigidità verticale che quella orizzontale, oltre che lo smorzamento.

I lavori strutturali, iniziati nel dicembre 2003, si sono conclusi nell'aprile 2005.

Si tratta della prima applicazione dell'isolamento sismico in un edificio in Portogallo.

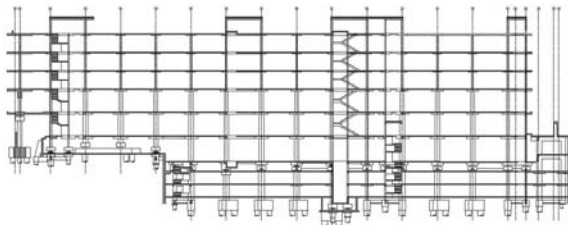


FIG. 5. Sezione longitudinale dell'edificio ospedaliero.

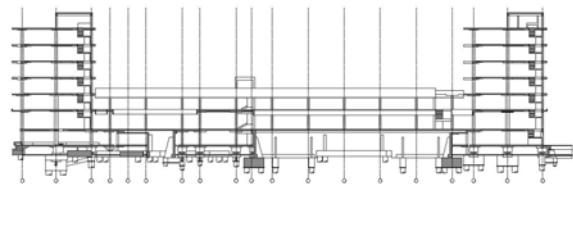


FIG. 6. Sezione longitudinale dell'edificio residenziale per anziani.



FIG. 7. Isolatori sismici durante l'installazione.



FIG. 8. Isolatori sismici installati.

L'OSPEDALE DEL MARE DI NAPOLI

L'Ospedale del Mare è situato a Ponticelli, nella zona periferica orientale di Napoli. Si tratta di un ospedale di notevoli dimensioni, da 500 posti letto, con 15 sale operatorie e due sale parto. E' il primo caso in Italia di appalto in regime di "concessione-project finance" nel settore dell'edilizia ospedaliera.

La struttura è notevolmente irregolare sia in pianta che in elevazione: ci sono due corpi di fabbrica ad L, uno di 8 piani (altezza di 29 m) e l'altro di 3 piani (altezza di 13 m), disposti a formare un quadrato di 144 m di lato (FIGG. 9 e 10).

Il sistema strutturale è quello del telaio spaziale in c.a.. La progettazione è stata eseguita sulla base della nuova normativa sismica (OPCM 3431). Il sito è caratterizzato da $a_g=0,25$ g, suolo B; il coefficiente d'importanza è 1,4; per la sovrastruttura è stato assunto un coefficiente di struttura pari ad 1,5.

Il sistema di isolamento scelto consiste in 327 isolatori di tre diverse tipologie, rispettivamente 122 isolatori di diametro 600 mm, 108 isolatori di diametro 650 mm, e 97 isolatori di diametro 800 mm, con rigidità orizzontale compresa tra 1,51 e 4,89 kN/mm, e fattore di forma primario sempre superiore a 24. Le mescole elastomeriche utilizzate sono due, entrambe con smorzamento viscoso equivalente pari al 15 %: con modulo $G=0,8$ MPa per gli isolatori di diametro 600mm, con modulo $G=1,4$ MPa per gli isolatori più grandi. Lo spostamento di progetto è 204 mm, incluso il coefficiente "di affidabilità" pari ad 1,2 richiesto dall'OPCM 3431, in analogia all'Eurocodice 8, per la progettazione degli isolatori.

Il posizionamento delle tre tipologie di isolatori come al solito è legato sia al carico verticale in corrispondenza di ciascun pilastro, sia alla necessità di limitare gli effetti torsionali, mediante un'opportuna distribuzione delle rigidità degli isolatori.

Nonostante la struttura a base fissa fosse già relativamente flessibile (periodo proprio di 1,22 s), le analisi (analisi modali con spettro di risposta) allo SLU e SLD hanno dimostrato i benefici dell'isolamento alla base [Di Sarno *et al.*, 2006]. I primi tre periodi della struttura isolata sono compresi tra 2,32 e 2,74 s, molto vicini al periodo obiettivo che era di 2,5 s.

E' stato stimato che l'uso dell'isolamento sismico ha consentito un risparmio del 40% sulle armature della sovrastruttura.

Come previsto dall'OPCM 3431, sugli isolatori sono in corso di effettuazione prove sia di qualificazione che di accettazione. In particolare, le prove di qualificazione sono effettuate su isolatori in scala 1:2, poiché le grandi dimensioni degli isolatori non consentivano l'effettuazione delle prove dinamiche sugli isolatori in scala reale. Le prove di accettazione sono effettuate sul 20 % degli isolatori installati (FIGG. 12 e 13).

I lavori sono cominciati il 30 marzo 2006; l'ospedale dovrà essere perfettamente funzionante il 1° marzo 2009.

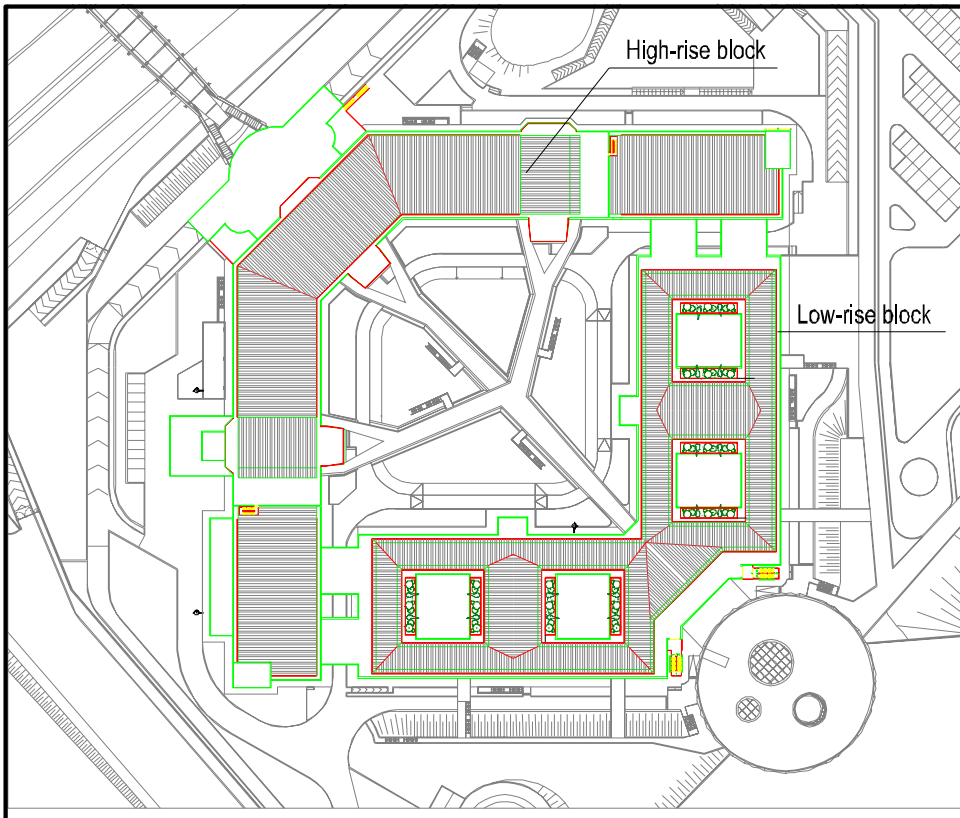


FIG. 9. Pianta (Ospedale del Mare, Napoli).

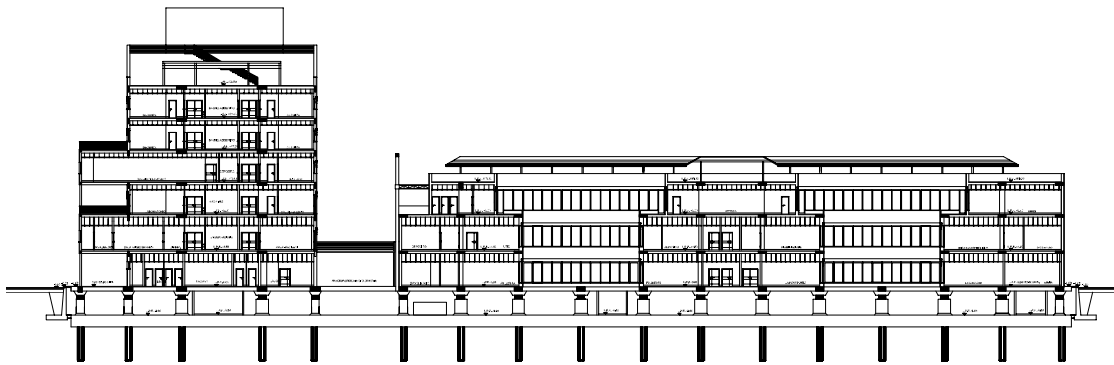


FIG. 10. Sezione trasversale (Ospedale del Mare, Napoli).



FIG. 11. Isolatori sismici durante l'installazione (Ospedale del Mare, Napoli).



FIG. 12. Prova di determinazione del modulo statico di taglio G su una coppia di isolatori di diametro 650 mm.

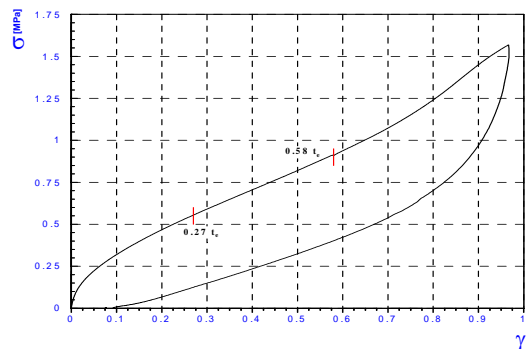


FIG. 13. Risultati della prova di determinazione del modulo statico di taglio G su una coppia di isolatori di diametro 800 mm.

CONCLUSIONI

L'articolo presenta tre recenti esempi di ospedali sismicamente isolati, due in Italia ed uno in Portogallo. In questi casi si tratta di strutture di nuova costruzione. E' tuttavia importante notare che la tecnologia dell'isolamento sismico o della dissipazione di energia (ad esempio mediante inserimento di controventi dissipativi in strutture intelaiate) possono essere vantaggiosamente usate anche per l'adeguamento sismico di strutture ospedaliere esistenti.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori sono particolarmente grati a tutti coloro che hanno collaborato a vario titolo alla progettazione e realizzazione delle opere sopra descritte, ed hanno fornito le informazioni e le immagini riportate in questo articolo. Si citano in particolare l'arch. Alberto Cavallari ed il geom. Roberto Rizzuto di ASTALDI SpA.

BIBLIOGRAFIA

- Boroshek, R., Retamales, R. (2002), "Base isolation in hospitals", Seminar on design of health facilities to resist natural hazards, Barbados, September 30-October 1, 2002
- Castellano, M.G. (2004), "Cade? Non cade! Criteri, materiali e strategie in zona sismica", Atti di *Constructa 2004*.
- Clark, P.W., Higashino, M., Kelly, J.M. (1994), "Response of seismically isolated buildings in the January 17, 1994 Northridge earthquake", Relazione su invito al seminario *I sistemi di protezione sismica non convenzionali*, Ancona
- Di Sarno, L., De Risi, B., Mascolo, C. (2006), "Application of base isolation to a large hospital building", *Proceedings of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (1st ECEES)*, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Paper No. 48.
- Guerreiro, L., Prazeres Ferreira, J., Colato, G.P., Castellano, M.G., Baldo, P (2005), "Base isolation for seismic protection – The new hospital in Lisbon", *Proceedings of IABSE Symposium on Structures and Extreme Events*, Lisbon, Portugal, September 14-16, 2005
- Lupoi, G., Castellano, M.G. (2005), "Sanità di base", *Quaderni di CO2-Costruzioni Due-Tecnica e tecnologia di cantiere*, Settembre 2005 – Anno VIII
- Nuti, C., Ferrini, M., Vanzi, I. (Editors) (1999), Atti del Seminario *Progettazione e adeguamento degli ospedali in zona sismica*, Firenze, 21-22 ottobre 1999
- Prazeres Ferreira, J. (2006), "Hospital da Luz – Um edifício com isolamento sísmico de base", *Engenharia e vida*, anno III, N. 25