

Il sistema d'isolamento e dissipazione alla base "BISD" Prima applicazione reale all'edificio destinato a nuova sede della Fratellanza Popolare di Grassina - Firenze

Stefano SORACE - Gloria TERENZI

1. L'ISOLAMENTO ALLA BASE E LA DISSIPAZIONE SUPPLEMENTARE DI ENERGIA QUALI STRATEGIE AVANZATE DI PROTEZIONE SISMICA DELLE STRUTTURE – IL SISTEMA "BISD"

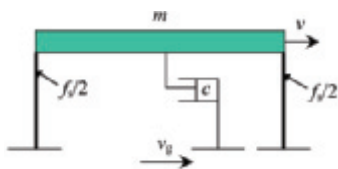


Figura 1. Oscillatore semplice smorzato.

Il ruolo dell'isolamento alla base e della dissipazione supplementare d'energia nella protezione sismica delle strutture può essere compiutamente compreso inquadrando il problema in termini di bilancio energetico, secondo la nota trattazione di Uang e Bertero (1988), qui brevemente richiamata. Con riferimento all'oscillatore semplice schematiz-

zato in Figura 1, di massa m e coefficiente di smorzamento viscoso lineare c , indicando con f_s la forza di reazione elasto-plastica complessivamente esercitata dai due ritri, tra loro uguali; con v_g lo spostamento del terreno indotto dal sisma; con v , v_t gli spostamenti relativo e assoluto del traverso ($v_t = v + v_g$); e denotando con i soprasegni costituiti da uno e due punti, rispettivamente, le derivate prima e seconda degli spostamenti rispetto al tempo, l'equazione del moto del sistema risulta la seguente:

$$m\ddot{v}_t + c\dot{v} + f_s = 0 \quad (1)$$

in cui, per quanto sopra:

$$\ddot{v}_t = \ddot{v} + \ddot{v}_g \quad (2)$$

La corrispondente equazione di bilancio energetico, per un generico spostamento attinto durante la storia di risposta, ha la forma:

$$\int_0^{\bar{v}} m \ddot{v}_t dv + \int_0^{\bar{v}} c \dot{v} dv + \int_0^{\bar{v}} f_s dv = 0 \quad (3)$$

Sostituendo $(dv_t - dv_g)$ a dv nel primo integrale, è possibile esplicitare i termini dell'energia cinetica, E_k , e dell'energia d'ingresso, E_i :

$$\int_0^{\bar{v}} m \ddot{v}_t dv + \int_0^{\bar{v}} m \ddot{v}_t (dv_t - dv_g) = \int_0^{\bar{v}_t} m \frac{dv_t}{dt} dv_t +$$

$$- \int_0^{\bar{v}_g} m \ddot{v}_t dv_g = \frac{m \bar{v}_t^2}{2} - \int_0^{\bar{v}_g} m \ddot{v}_t dv_g = E_k - E_i \quad (4)$$

Gli ulteriori due integrali che compaiono nella (3) definiscono, altresì, l'energia di dissipazione viscosa, E_ξ :

$$E_\xi = \int_0^{\bar{v}} c \dot{v} dv = \int_0^{\bar{v}} c \dot{v}^2 dt \quad (5)$$

e l'energia assorbita, E_a , a sua volta composta da due contributi, di cui il primo, E_s , rappresenta l'energia potenziale elastica, restituita al termine dell'eccitazione dinamica, ed il secondo, E_h , l'energia dissipata nel caso in cui si abbia un impegno dei ritmi in campo plastico:

$$E_a = \int_0^{\bar{v}} f_s dv = E_s + E_h = \frac{f_s^2}{2k} + E_h \quad (6)$$

Tenendo conto delle relazioni (4), (5) e (6), l'equazione di bilancio energetico risulta, dunque, così scrivibile:

$$E_k + E_\xi + E_s + E_h = E_i \quad (7)$$

All'istante conclusivo della risposta sismica, annullandosi i contributi E_k ed E_s , la (7) si riduce all'eguaglianza tra la somma dei due termini dissipativi e l'energia d'ingresso:

$$E_\xi + E_h = E_i \quad (8)$$

Trasponendo l'espressione (8) dalla trattazione dell'oscillatore elementare a quella di una struttura reale, nel caso di una progettazione condotta secondo l'impostazione tradizionale delle normative simiche, ossia "per duttilità", essendo il termine E_ξ legato alle sole caratteristiche smorzanti intrinseche del sistema, e dunque di modesta entità, l'energia d'ingresso deve essere essenzialmente bilanciata, tramite il termine E_h , attraverso l'attività plastica delle membrature costituenti. Come ben noto, ciò significa accettare un elevato danneggiamento, e conseguentemente elevati costi di riparazione, se non addirittura la demolizione e la completa ricostruzione degli edifici, a seguito di eventi sismici di intensità comparabile a quella massima prevista in sede di progetto.

Quali strategie alternative, è possibile agire innanzitutto sui termini a primo membro della (8), accrescendone fortemente l'entità mediante l'introduzione di opportune tecnologie di dissipazione supplementare all'interno della compagine strutturale. Ciò può essere ottenuto agendo su E_ξ , attraverso dispositivi a comportamento viscoso, oppure su E_h , con elementi di tipo elasto-plastico, sino ad eliminare, in entrambi i casi, la necessità di ogni contributo al termine E_h da parte della struttura (che rimane così in campo elastico), al fine di bilanciare l'energia d'ingresso E_i . È a questo concetto che, all'interno di un'ampia varietà di soluzioni applicative, risponde la maggior parte dei sistemi genericamente definiti "a controventi dissipativi" (laddove ulteriori configurazioni, quantunque di minor diffusione, sono ricavate dall'introduzione di dispositivi ad attrito, in leghe a memoria di forma, ecc.). Altrimenti, sempre allo scopo di non impegnare la struttura in campo plastico, è possibile operare direttamente sul termine E_i , riducendone considerevolmente l'entità tramite un sistema d'isolamento alla base. In questo secondo caso, comunque, il controllo degli spostamenti del piano mobile richiede di dotare il sistema di una certa capacità dissipativa, pervenendo di fatto, per qualsiasi delle soluzioni tecnologiche offerte dalla ricerca applicata e dalle industrie operanti in questo settore, a strategie miste d'isolamento e dissipazione alla base.

Focalizzando l'attenzione su queste ultime, è rilevabile come l'impiego di un solo tipo di dispositivo che riassume in sé entrambe le funzioni, come nel caso degli isolatori elastomerici armati che coprono la più ampia parte delle realizzazioni in Italia ed all'estero, trovi la sua massima efficacia per edifici regolari. Ciò è dovuto al fatto che un sistema d'isolamento così concepito "eredita" le caratteristiche geometriche della sovrastruttura e, quindi, le eventuali irregolarità di questa, possibili fonti di significativi effetti torcenti di risposta, non riuscendo a correggerle se non in parte. Al riguardo, i più recenti indirizzi progettuali sono orientati all'adozione di soluzioni miste basate sull'impiego di dispositivi elastomerici e di puri isolatori, costituiti da "slitte" in acciaio o da appoggi scorrevoli in acciaio-PTFE, le quali consentono un più agevole controllo degli effetti associati alle irregolarità strutturali. Anche in tali casi, tuttavia, gli spostamenti di progetto restano relativamente elevati (dell'ordine dei 250-300 mm per edifici isolati di dimensioni e caratteristiche correnti), a causa dei livelli di dissipazione attingibili dai dispositivi elastomerici, generalmente non superiori al 15-16% in termini di rapporto di smorzamento viscoso lineare equivalente. Ciò comporta l'assunzione di particolari accorgimenti, ed alcuni costi aggiuntivi, nell'installazione dell'impiantistica che attraversa il piano d'isolamento, così come nella realizzazione di coprigiunti, canalette ed altri elementi di finitura.

In tempi relativamente recenti sono state proposte anche altre strategie d'isolamento e dissipazione alla base facenti uso di una duplice tipologia di dispositivi, in questo caso costituiti da elementi isolatori puri e da dissipatori non coinvolti nell'assorbimento dei carichi verticali trasmessi dalla sovrastruttura (in tal senso definiti "dispositivi ausiliari"). Tali soluzioni, che presentano un nu-

mero ancora assai limitato di applicazioni agli edifici (mentre sono largamente utilizzate nelle strutture da ponte), perseguono il comune obiettivo di separare completamente le due funzioni assolte dal sistema di protezione, garantendo in tal modo maggiori gradi di libertà progettuali e prestazioni ancora superiori, soprattutto riguardo agli aspetti sopra menzionati.

A questa classe appartiene anche il sistema "BISD" (acronimo dell'espressione inglese "Base Isolation and Dissipation"), costituito dalla combinazione di appoggi scorrevoli in acciaio-PTFE e di dispositivi fluido-viscosi elastico-dissipativi a matrice siliconica, le cui proprietà meccaniche individuano le caratteristiche di rigidezza, oltre che di smorzamento, del sistema stesso. Tale tecnologia offre, in particolare, l'opportunità di determinare la posizione del centro delle rigidezze a livello del piano mobile unicamente in relazione alle proprietà elastiche dei dissipatori fluido-viscosi (che si costituiscono come insieme di "molle" con assi paralleli alle due direzioni principali in pianta), svincolandosi quindi totalmente dall'impronta geometrica della sovrastruttura. Il sistema BISD è stato per numerosi anni oggetto di studi sperimentali, analitico-numeric e progettuali da parte degli autori, svolti anche all'interno di Progetti di Ricerca internazionali, finanziati dalla Commissione Europea, e nazionali (Sorace e Terenzi 2001a,b, 2008, Sorace et al. 2008). A compimento di tali studi, il sistema ha trovato una sua prima applicazione concreta nell'edificio adibito a nuova sede dell'Associazione di Pubblica assistenza "Fratellanza Popolare" di Grassina, nel comune di Bagno a Ripoli, alle porte di Firenze, nel quale sono anche ospitati i locali, le attrezzature ed i mezzi di soccorso della sezione della Protezione Civile zonale. Tale progetto, descritto nelle sue linee essenziali nel successivo paragrafo, rappresenta altresì la prima applicazione ad edifici, in Italia ed Europa, di una tecnologia costituita dall'assemblaggio di isolatori e dissipatori alla base.

2. APPLICAZIONE DEL SISTEMA "BISD" ALLA NUOVA SEDE DELLA "FRATELLANZA POPOLARE" DI GRASSINA

L'opportunità di questa applicazione è stata suggerita dall'articolata configurazione plano-altimetrica dell'edificio, pur a fronte di una volumetria relativamente contenuta (pari a circa 5400 m³). Tale articolazione si rileva già dalla forma in pianta, di tipo ad "L" (Figura 2).

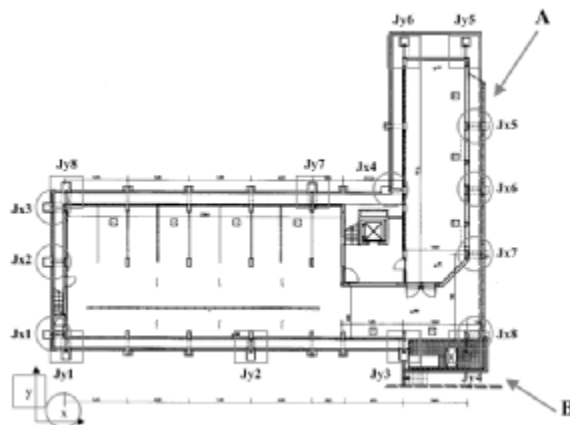


Figura 2. Pianta dell'impalcato mobile, includente la collocazione dei dispositivi fluido-viscosi, e viste d'insieme dell'edificio.

Le irregolarità geometriche in alzata riguardano, altresì, la riduzione di una campata del corpo principale nel passare dal piano seminterrato ai superiori, la presenza di una serie di sporgenze, rientranze ed ampi sbalzi al secondo e al terzo piano, nonché alcuni sfalsamenti delle quote d'impalcato a livello della copertura.

In Figura 3 è riportato il disegno del più grande dei tre tipi di isolatori utilizzati, di produzione ALGA, differenziati tra di loro per le portate sotto carichi verticali, rispettivamente pari a 600, 1000 e 1400 kN. Tali valori sono incrementati di un fattore 1,5 in presenza dell'azione sismica.

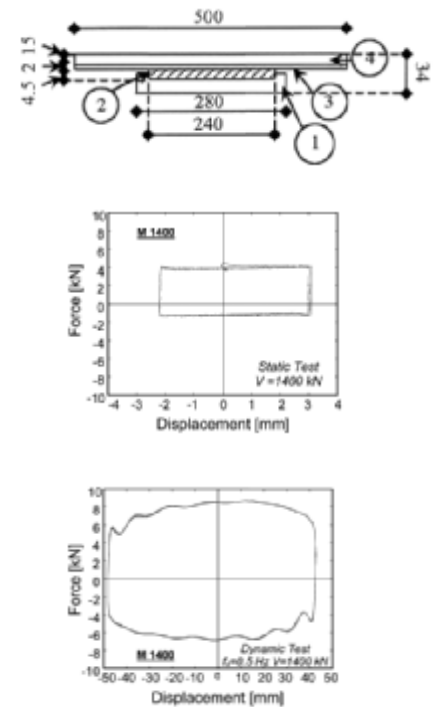


Figura 3. Sezione di un appoggio scorrevole in acciaio-PTFE installato nell'edificio e cicli statici e dinamici di risposta ottenuti dalle relative prove di qualificazione.

In totale sono stati installati 32 appoggi, posizionati alla base di ciascuno dei 31 pilastri della struttura principale, più un ulteriore apparecchio collocato al disotto della soletta in cemento armato di alloggiamento dell'impianto ascensore (attorno al cui vano non è stato necessario realizzare alcun setto o nucleo strutturale, grazie ai benefici apportati dal sistema di protezione). In Figura 3 sono anche mostrati i tipici cicli statici e dinamici di risposta ottenuti dalle prove di qualificazione degli apparecchi, condotte in ottemperanza alle disposizioni dell'OPCM 3431 (2005), in accordo alla quale il progetto è stato condotto nel 2005. Nel complesso, grazie all'accurato processo di lubrificazione dei dischi di PTFE, eseguito nel rispetto delle prescrizioni delle istruzioni CNR-10018 (1999) e del documento prEN-1337 (2003), il coefficiente di attrito è risultato sempre inferiore all'1%.

I dispositivi fluido-viscosi impiegati nel sistema BSD, prodotti dall'industria francese Jarret, appartengono alla classe degli smorzatori viscosi altamente non lineari (ossia, caratterizzati dai più bassi valori dell'esponente α che governa la dipendenza della componente di forza dissipativa dalla velocità di deformazione, in particolare compresi nell'intervallo 0,1-0,2). Inoltre, tali dispositivi sono in grado di raggiungere un completo ricentraggio al termine dell'azione sismica, grazie alla pressurizzazione del serbatoio operata in fase di produzione. In Figura 4 è riprodotta la sezione tipo di un apparecchio, unitamente ai cicli di risposta ottenuti, anche in questo caso, dalle prove di qualificazione condotte sugli elementi installati nell'edificio, in sovrapposizione ai cicli derivanti dalla corrispondente simulazione numerica.

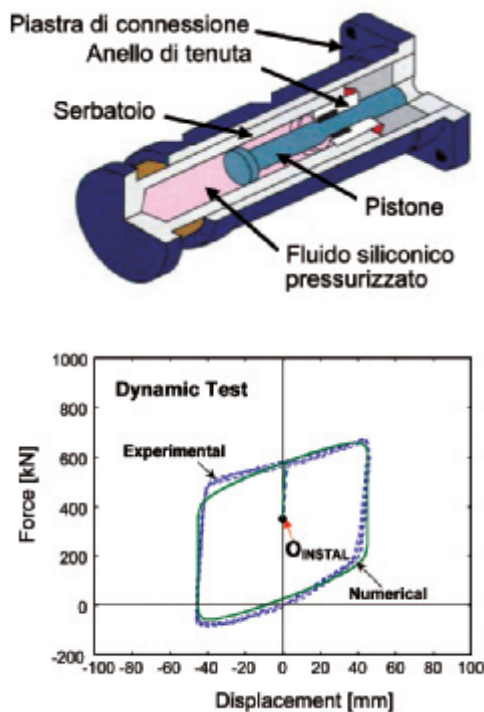


Figura 4. Sezione tipo di un dispositivo fluido-viscoso pressurizzato Jarret e cicli di risposta ottenuti dalle prove di qualificazione condotte su di un apparecchio installato nell'edificio.

La prima ipotesi di progetto è consistita nell'assunzione di un periodo fondamentale di vibrazione di 2 s in direzione y, che rappresenta l'asse di maggior rigidità della sovrastruttura. Calibrando a tal fine le caratteristiche elastiche dei dispositivi, ne è derivato un periodo di 2,2 s in direzione x. L'esigenza di minimizzare la distanza fra il baricentro della sovrastruttura ed il centro di rigidità dell'insieme dei dispositivi fluido-viscosi ha portato ad assumere otto coppie di apparecchi tutti tra loro uguali, di cui quattro orientate parallelamente all'asse x (elementi Jx1-Jx8) e quattro all'asse y (Jy1-Jy8), come indicato in Figura 2. Ciò ha condotto ad una pressoché totale sovrapposizione secondo y, e ad una distanza contenuta entro circa 90 cm, secondo x.

Il progetto è stato condotto per i due livelli dell'azione sismica imposti dall'OPCM 3431, riferiti alle verifiche allo stato limite ultimo ("evento base", caratterizzato da una probabilità di superamento del 10% in 50 anni e da un'accelerazione di picco al suolo a_b pari a 0,375 g, come risultante dal valore 0,25 g per zona 2, moltiplicato per un fattore di suolo $S = 1,25$ e per un fattore d'importanza $I = 1,2$), ed allo stato limite di danno ("evento di servizio", con probabilità di superamento del 50% in 50 anni ed accelerazione di picco al suolo pari al 40% di quella riferita all'evento base, ossia uguale a 0,15 g). In aggiunta ai suddetti, è stato deliberatamente assunto un ulteriore livello, corrispondente al "massimo evento considerato", caratterizzato da una probabilità di superamento del 2% in 50 anni e da un'accelerazione di picco al suolo pari al 150% di quella dell'evento base. Il controllo della risposta per tale terzo livello si è incentrato sull'entità dello spostamento alla base, controllandone la compatibilità con la corsa massima dei dispositivi fluido-viscosi. Ciò al fine di assicurare una piena operatività di questi, e dunque una decisiva riduzione della risposta dell'edificio, anche a fronte di un evento "estremo" per il sito.

Il progetto è stato articolato in una fase di dimensionamento preliminare, condotta secondo una procedura formulata in (Sorace e Terenzi, 2001a) ed i cui dettagli di applicazione al caso in oggetto sono discussi in (Sorace e Terenzi 2008), ed una fase di verifica finale. Quest'ultima è stata sviluppata tramite il modello agli elementi finiti rappresentato in Figura 5, realizzato mediante il programma SAP2000NL (CSI, 2005), impiegando quali azioni in ingresso cinque accelerogrammi spettro-compatibili generati in accordo alle prescrizioni dell'OPCM 3431. I dispositivi fluido-viscosi sono stati riprodotti tramite l'assemblaggio mostrato nella stessa Figura 5, in cui i numeri da 1 a 4 indicano i seguenti elementi di connessione non lineari: 1. "damper" (dissipatore viscoso); 2. "gap" (interfaccia reagente a sola compressione); 3. "hook" (interfaccia reagente a sola trazione); 4. "spring" (molla elastica a comportamento bilineare). Gli elementi 2 e 3 sono inseriti, in particolare, per simulare il fondo corsa negativo e positivo dei dispositivi. Per quanto riguarda gli appoggi scorrevoli, è stato utilizzato l'apposito elemento "friction isolator" (isolatore ad attrito) presente nella libreria del programma, caratterizzato da una legge di risposta alla Coulomb.

Il primo controllo eseguito mediante il modello strutturale di Figura 5 ha riguardato la risposta modale, rilevando l'esatto ottenimento dei ricercati valori del periodo fondamentale nelle due direzioni principali, con masse attivate pari ad oltre il 99% ed il 96% della massa totale dell'edificio, rispettivamente, secondo y ed x.

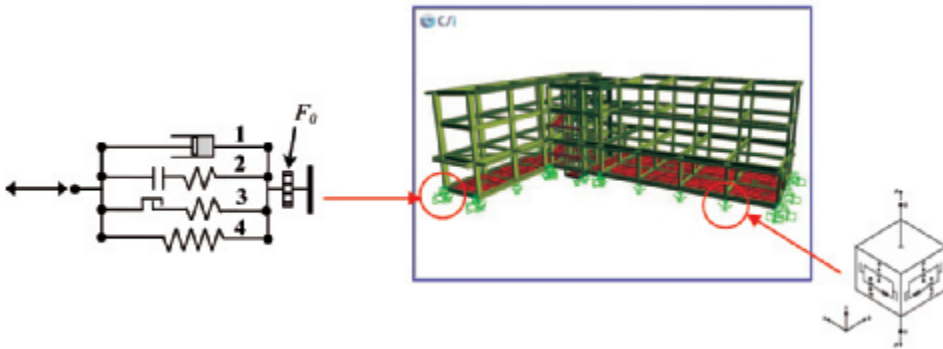


Figura 5. Modelli agli elementi finiti della struttura e dei dispositivi fluido-viscosi.

A titolo d'esempio dei risultati ottenuti in fase di verifica, in Figura 6 sono riportate le storie di spostamento dei dispositivi appartenenti allo stesso allineamento massimamente distanti in pianta, Jy1 e Jy5 (posti a circa 35 m l'uno dall'altro), ottenute dall'accelerogramma più impegnativo scalato all'ampiezza dell'evento base all'ampiezza dell'evento base di progetto.

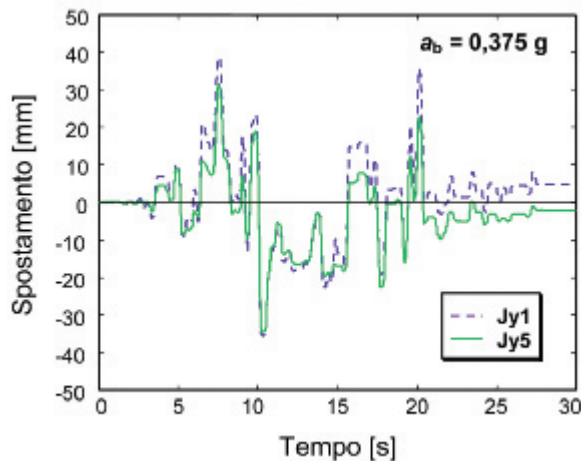


Figura 6. Storie di spostamento dei dispositivi Jy1 e Jy5 per il più impegnativo accelerogramma scalato all'ampiezza dell'evento base di progetto.

Si osservano valori massimi contenuti entro i 45 mm, a conferma dell'eccellente prestazione del sistema in termini di spostamenti alla base, e con differenze tra le due risposte non superiori a 10 mm, indice del soddisfacente contenimento dei complessivi effetti torcenti di risposta anche rispetto alla maggiore dimensione in pianta. Tale dato è confermato dalle storie del taglio alla base derivanti dalla stessa analisi, mostrate in Figura 7, in cui il primo pedice è riferito alla direzione d'ingresso del sisma, ed il secondo alla componente di risposta del taglio stesso.

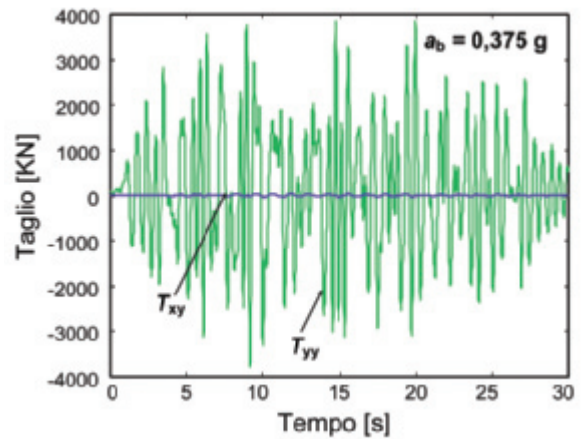
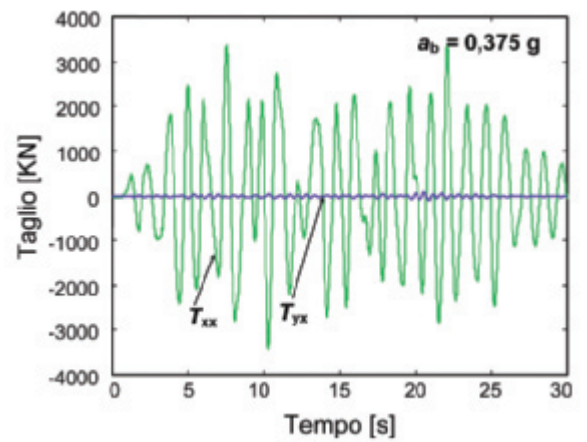


Figura 7. Storie del taglio alla base per lo stesso accelerogramma di Figura 6.

Da tali grafici si rileva, infatti, come l'entità della componente ortogonale alla direzione d'ingresso sia del tutto trascurabile rispetto a quella parallela, per entrambi gli assi. In termini di massimi di risposta si osserva, inoltre, come i picchi delle componenti parallele, T_{xx} e T_{yy} , corrispondano a valori di accelerazione di 0,151 g e 0,177 g, rispettivamente, nelle due direzioni, ossia a riduzioni nei confronti dell'accelerazione di picco al suolo pari a 2,48 e 2,12. In Figura 8 sono riprodotti i cicli di risposta del dispositivo maggiormente sollecitato (Jx1), per effetto dell'accelerogramma più impegnativo scalato all'intensità dell'evento massimo considerato, che pongono in evidenza picchi di spostamento pari a 78 mm, rispetto alla corsa disponibile di ± 100 mm, e dunque il soddisfacimento dell'obiettivo di prestazione assunto anche per tale livello dell'azione di progetto.

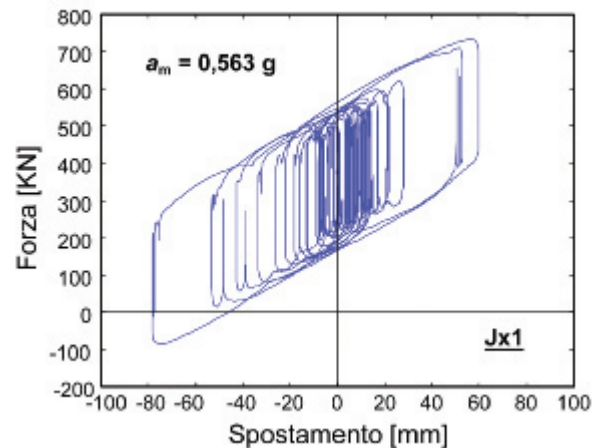


Figura 8. Cicli di risposta del dispositivo Jx1 per il più impegnativo accelerogramma scalato all'ampiezza dell'evento massimo considerato.

Tra i vari controlli supplementari operati in fase di verifica finale, è stata anche sviluppata l'analisi della risposta ad eventi "near-fault" italiani di magnitudo comparabile a quella dell'evento base di progetto. Il più severo segnale con tali caratteristiche è risultato essere la componente N-S normale alla sorgente registrata alla stazione di Calitri in occasione del terremoto del 23 novembre 1980, caratterizzata da una distanza di 8,8 km dalla proiezione superficiale della sorgente e da una magnitudo pari a 6,3. Le storie di spostamento del dispositivo Jx1 e del taglio alla base in direzione x derivanti dall'applicazione di tale componente sono graficizzate in Figura 9, mostrando valori massimi superiori di non oltre il 10% rispetto a quelli rilevati per gli accelerogrammi normativi, pur a fronte di risposte d'insieme, come atteso, decisamente diverse (dovute alla presenza di un picco positivo ed uno negativo più pronunciati, nel caso della registrazione di Calitri, in luogo dei molteplici picchi di comparabile ampiezza che caratterizzano i segnali artificiali).

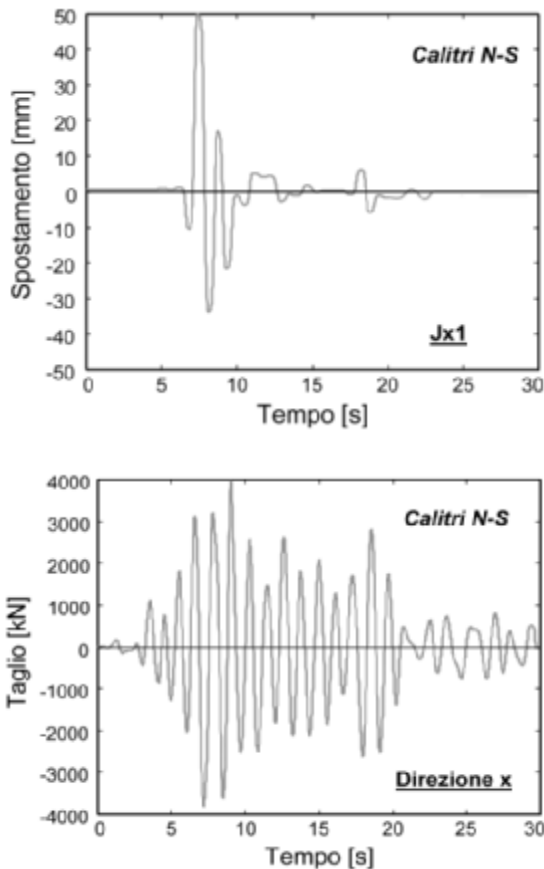


Figura 9. Storie di spostamento del dispositivo Jx1 e del taglio alla base in direzione x per la componente N-S di Calitri del 23 novembre 1980.

Il sistema fornisce, quindi, un'adeguata prestazione anche sotto registrazioni storiche italiane ottenute in condizioni di vicinanza alla sorgente. Alla luce degli esiti delle analisi di progetto, le dimensioni dei pilastri sono risultate di (70×25) cm×cm o (65×25) cm×cm, per i vari telai, e (25×25) cm×cm per il vano scale, quelle delle travi principali, parallele all'asse y, e delle travi perimetrali di (25×65) cm×cm, e quelle delle travi secondarie di (70×25) cm×cm o (55×25) cm×cm.

Nelle Figure 10-14 sono presentate alcune immagini delle fasi cantieristiche di realizzazione dell'edificio. In particolare, in Figura 10 è illustrata la posa in opera di un appoggio in acciaio-PTFE sul relativo allettamento in malta ad alta resistenza, confinato da un collare in acciaio, ed una vista dell'apparecchio situato al disotto della soletta di supporto dell'impianto ascensore.

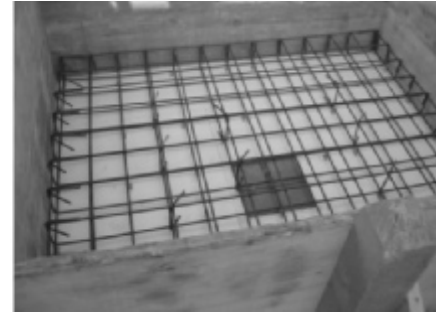
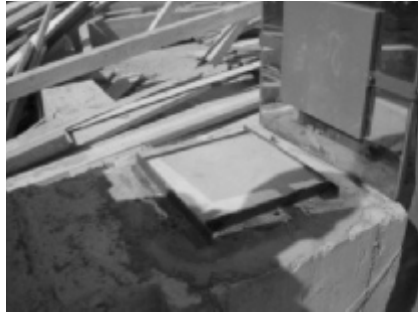


Figura 10. Posa in opera di un appoggio in acciaio-PTFE e vista dell'apparecchio collocato al disotto della soletta di supporto dell'impianto ascensore, prima del getto di questa.

In Figura 11 sono mostrati una delle sedici dime distanziatrici del piano mobile, collocate prima del montaggio delle casseformi e dell'esecuzione del getto di questo, ed il corrispondente dispositivo fluido-viscoso, posizionato dopo il completamento del solaio.

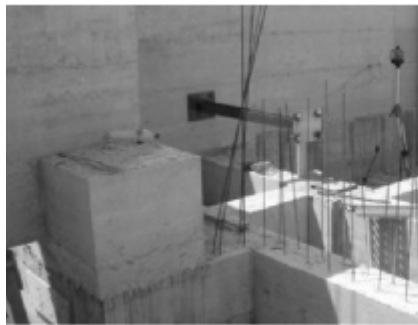


Figura 11. Alloggiamento di una dima distanziatrice e del corrispondente dispositivo fluido-viscoso.

Nelle Figure 12, 13 sono riportate immagini dello spazio di separazione tra l'estradosso della fondazione e l'impalcato mobile, e della superficie dello stesso con le armature di ripresa dei pilastri del piano interrato, che sottolineano anche visivamente il limitato "ingombro" degli elementi verticali della struttura in elevazione.



Figura 12. Spazio di separazione tra estradosso della fondazione ed impalcato mobile.

Stefano SORACE, nato a Firenze nel 1959, si è laureato nel 1985 in Ingegneria Civile, Indirizzo Strutture, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze. Nel 1990 ha ricevuto il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria delle strutture. È professore associato per il settore ICAR/09 – Tecnica delle costruzioni presso l'Università di Udine. È autore di oltre 120 pubblicazioni, di cui numerose su riviste internazionali, dedicate a varie tematiche di ricerca nei settori dell'ingegneria sismica, della riabilitazione strutturale, dell'analisi e caratterizzazione meccanica dei materiali e delle strutture. Congiuntamente alla coautrice Gloria Terenzi, nel 2001 ha ricevuto il premio "Munro Prize" per il miglior articolo pubblicato nell'anno sulla rivista *Engineering Structures* – Elsevier, e nel 2002 il premio "Outstanding Paper Award" per il miglior articolo pubblicato nell'anno sulla rivista *Structural Engineering International* – IABSE.

Gloria TEREZI, nata a Fossombrone (PU) nel 1965, si è laureata nel 1991 in Ingegneria Civile – Sezione Edile, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza". Nel 1995 ha ricevuto il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria delle strutture. È ricercatrice universitaria e professore aggregato per il settore ICAR/09 – Tecnica delle costruzioni presso l'Università di Firenze. È autrice di oltre 80 pubblicazioni, di cui numerose su riviste internazionali, dedicate a varie tematiche di ricerca nei settori dell'ingegneria sismica, con particolare riguardo alle tecnologie avanzate di protezione sismica delle strutture, e della riabilitazione strutturale. Congiuntamente al coautore Stefano Sorace, nel 2001 ha ricevuto il premio "Munro Prize" per il miglior articolo pubblicato nell'anno sulla rivista *Engineering Structures* – Elsevier, e nel 2002 il premio "Outstanding Paper Award" per il miglior articolo pubblicato nell'anno sulla rivista *Structural Engineering International* – IABSE.



Figura 13. Superficie dell'impalcato mobile.

In Figura 14, infine, sono presentate alcune viste dei dettagli d'installazione dell'impiantistica attraversante il piano d'isolamento, tutti realizzati mediante connessioni e snodi di corrente produzione, grazie ai valori assai limitati degli spostamenti alla base sopra ricordati.

RIFERIMENTI

- CNR 10018 (1999). Apparecchi di appoggio per le costruzioni. Istruzioni per l'impiego. Centro Nazionale delle Ricerche, Roma.
- CSI (2005). *SAP2000NL. Structural Analysis Programs* –

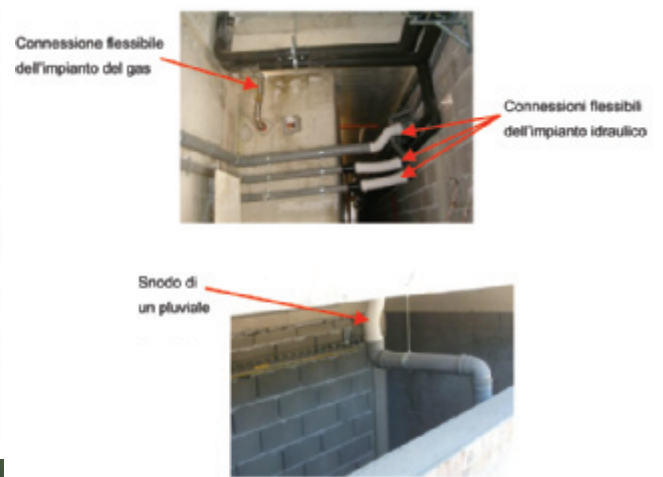


Figura 14. Dettagli impiantistici in corrispondenza dell'attraversamento dell'impalcato mobile.

Theoretical and Users Manual. Version No. 10.02, Computers & Structures Inc., Berkeley, CA.

OPCM/3431 (2005). Ulteriori modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". *Gazzetta Ufficiale N. 107 del 10/5/2005*, Ministero dei Lavori Pubblici, Roma.

PREN 1337 (2003). *Structural bearings*. Final draft. ECS – European Committee for Standardization, Bruxelles.

SORACE, S., TEREZI, G. (2001a). Non-linear dynamic modeling and design procedure of FV spring-dampers for base isolation. *Engineering Structures*, Elsevier, Oxford, Vol. 23, 1556-1567.

SORACE, S., TEREZI, G. (2001b). Non-linear dynamic design procedure of FV spring-dampers for base isolation – Frame building applications. *Engineering Structures*, Elsevier, Oxford, Vol. 23, 1568-1576.

SORACE, S., TEREZI, G. (2008). Analysis and demonstrative application of a base isolation/supplemental damping technology. *Earthquake Spectra*, EERI, Oakland, Vol. 24, 775-793.

SORACE, S., TEREZI, G., MAGONETTE, G., MOLINA, F. J. (2008). Experimental investigation on a base isolation system incorporating steel-Teflon sliders and pressurized fluid viscous spring dampers. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Wiley, New York, Vol. 37, 225-242.

UANG, C. M., BERTELO, V. V. (1988). Use of energy as a design criterion in earthquake-resistant design. *Report No. UCB-EERC 88/18*, University of California at Berkeley, Berkeley, CA.