

Comportamento sperimentale e modellazione numerica di dispositivi di isolamento sismico: l'Incidente Probatorio per i dispositivi del Progetto C.A.S.E. a L'Aquila

Si riporta la metodologia utilizzata nell'ambito dello studio condotto sulla qualità dei dispositivi di isolamento sismico utilizzati nel progetto C.A.S.E. all'Aquila a seguito dell'evento sismico del 6 aprile 2009, limitandosi ad alcune considerazioni di interesse generale. L'analisi dei risultati ha messo in evidenza alcuni aspetti del comportamento sperimentale dei dispositivi stessi e alcuni punti critici di cui tener conto nell'aggiornamento delle norme tecniche

DOI 10.12910/EAI2015-084

■ A. De Stefano

Introduzione

Il progetto C.A.S.E. in sintesi: 4600 alloggi temporanei per gli aquilani rimasti senza casa a seguito del sisma dell'aprile 2009; 183 piattaforme in calcestruzzo armato con sopra mediamente 25 alloggi ciascuna in edifici di tre piani, per la maggior parte in legno. Le piattaforme insistono su 7380 isolatori a scorrimento con superficie curva (pendoli inversi), installati su colonne in acciaio o (poche) in calcestruzzo armato. Un esempio di piattaforma è illustrato in Figura 1.

La sequenza cronologica degli eventi d'interesse è la seguente:

- 6 aprile 2009: terremoto dell'Aquila, Magnitudo $M_w=6.3$. Più di 300 vittime;
- 28 maggio 2009: il Dipartimento di Protezione Civile (in seguito DPC), in veste di committente, invita 5 industrie a partecipare a una gara per fornitura e posa di isolatori sismici. Solo tre società accettano l'invito. Una di esse sarà poi esclusa per documentazione incompleta;

- ottengono la commessa le due società rimanenti, per importi di 5,7 and 3,0 M€ rispettivamente, saliti poi a 7,1 e 4,2 M€ con delibere successive; tutti i dispositivi isolatori sono forniti ed accettati tra il 22 giugno ed il 16 dicembre 2009;
- 13 luglio 2009: un ingegnere del Servizio Tecnico Centrale (in seguito STC) avvisa il DPC che i dispositivi forniti non hanno certificato di qualificazione. Il DPC s'impegna a sottoporre i dispositivi a tutte le prove di qualificazione previste dalle Norme Tecniche italiane (NTC 2008) e ad altri test aggiuntivi. Diversi mesi dopo lo stesso ingegnere del STC dà il via

Contact person: Alessandro De Stefano
alessandro.destefano@polito.it

al procedimento penale con un esposto-denuncia al Tribunale de L'Aquila. Secondo le NTC 2008 le prove di qualificazione sono a carico delle società affidatarie ed il Direttore dei Lavori (in seguito DL) acquisisce la relativa documentazione nel dicembre 2009; tra settembre e dicembre 2009 il laboratorio EUCENTRE di Pavia certifica l'esito delle prove di accettazione su 396 dispositivi estratti dalla fornitura;

- solo il 28 ottobre 2010 il STC certifica la qualificazione per entrambe le Società.

Il Giudice per le Indagini Preliminari avvia un Incidente Probatorio nei confronti di alcuni indagati per decidere se esistano o no gli estremi per un rinvio a giudizio e il 21 luglio 2011 affida allo scrivente l'incarico di una Relazione Tecnica che fornisca supporto alle successive decisioni.

I quesiti del giudice

“Accerti il perito, esaminati gli atti in causa, acquisita la documentazione eventualmente ritenuta necessaria presso gli uffici pubblici o delle parti ed effettuate le necessarie prove tecniche avvalendosi di laboratori specializzati ed a seguito di prelievo a campione degli isolatori già installati a L'Aquila (ove necessario):

- l'esatta tipologia di isolatori forniti nelle 19 aree nelle quali sono state realizzate le abitazioni del progetto C.A.S.E. di L'Aquila;
- il materiale con il quale sono realizzati i suddetti isolatori;
- la corrispondenza (o la totale o parziale difformità) tra il materiale utilizzato per la realizzazione degli isolatori effettivamente forniti ed il materiale proposto in sede di offerta;



FIGURA 1 Una tipica piattaforma isolata C.A.S.E.

- se gli isolatori siano o meno funzionanti, idonei ed utili allo scopo per il quale sono installati e se quelli installati corrispondano a quelli oggetto di omologazione;
- se gli isolatori rispondano o meno alla normativa tecnica in vigore all'epoca delle realizzazione e del loro montaggio.”

Data la complessità dell'incarico, lo scrivente ha chiesto al Giudice, e ottenuto, l'autorizzazione ad avvalersi della collaborazione del collega Bernardino Chiaia e della Società di consulenza ARCOS. Il rapporto è stato depositato presso il Tribunale dell'Aquila l'11 luglio 2012 (De Stefano e Chiaia, 2012).

Programma di prove e verifiche ed estrazione dei saggi

La risposta ai quesiti si articola in alcuni passaggi operativi:

1. Acquisizione, studio, analisi critica e verifiche incrociate della documentazione reperita.
2. Predisposizione dei programmi di prova.
3. Estrazione dei dispositivi-campione, imballaggio e marcatura, spedizione ai laboratori selezionati.
4. Esecuzione delle prove, analisi dei risultati e redazione del rapporto di consulenza.

Conclusa, con grande attenzione e discrezione la fase 1, si definiscono i programmi di prova (fase 2), predisponendo:

- analisi fisico-chimiche per identificare e classificare i materiali costituenti;
- prove statiche e dinamiche sui dispositivi per la determinazione dei coefficienti di attrito statici e dinamici e, in generale, per verificare il buon funzionamento complessivo e la coerenza del comportamento in prova con gli esiti delle prove di qualificazione certificate.

Al fine di eseguire le prove e le verifiche programmate, alcuni dispositivi-campione di isolatori sismici sono estratti direttamente dai siti di installazione sotto le piattaforme C.A.S.E. sotto la supervisione del Perito tecnico. Alla ricerca di un compromesso tra contenimento dei costi e significatività della sperimentazione, si decide di estrarre un numero totale di 9 campioni, 3 e 6 rispettivamente per le due Società affidatarie, all'incirca rispettando le proporzioni con il numero di dispositivi installati da ciascuna Società (Figura 2).



FIGURA 2 Prelievo dei dispositivi

Caratterizzazione fisico-chimica dei materiali

Le prove hanno riguardato tre dei nove dispositivi prelevati. Le prove per la caratterizzazione degli acciai inossidabili delle superfici concave di scorrimento, eseguite presso il Laboratorio di Metallurgia del Politecnico di Torino, sono consistite in analisi chimica mediante spettrometria ad emissione ottica (OES) da cui è stato possibile ricavare la composizione chimica del materiale espresso in percentuale in peso dei componenti chimici (EN 10088, 2005).

Com'è noto, la superficie di scorrimento concava è realizzata grazie ad uno strato di acciaio inox che dovrebbe aderire alla concavità della piastra (o delle piastre). È importante verificare la correttezza e coerenza con i termini contrattuali e le Norme Tecniche dello spessore dello strato inox e dell'aderenza degli strati di acciaio inox alla retrostante superficie concava delle piastre di fissaggio dei dispositivi.

Le prove chimico fisiche per la caratterizzazione dei materiali polimerici ad alto scorrimento sono state eseguite presso il Laboratorio Materie Plastiche di Alessandria del Politecnico di Torino e sono consistite in:

- **Analisi termo-gravimetrica (TGA);** metodo di analisi termica che registra variazioni di massa di un campione sottoposto a riscaldamento con rampa di temperatura controllata. Attraverso questa tecnica si possono ottenere informazioni relative alla matrice polimerica del campione analizzato e in particolare alla sua stabilità termica, e valutare la presenza di composti altamente volatili (umidità, plastificanti, oligomeri, solventi ecc.), e / o "filler" inorganico inserito nel polimero.

- **Microscopia Elettronica a Scansione (SEM);** l'analisi al microscopio elettronico consente una caratterizzazione morfologica del campione e, in particolare, grazie all'accessorio EDS, evidenzia qualitativamente la presenza del filler nella matrice polimerica.
- **Calorimetria a scansione differenziale (DSC);** tecnica per valutare le proprietà termiche del materiale polimerico in questione, come temperatura di fusione, temperatura di cristallizzazione, percentuale di cristallinità, temperatura di transizione alla consistenza vetrosa ecc.; sono proprietà caratteristici dei vari polimeri; è quindi necessaria per ricostruire l'identità del materiale.
- **Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) in Riflettanza Attenuata Totale (ATR);** la spettroscopia infrarossa è una tecnica spettroscopica usata per caratterizzare i materiali. Permette un'analisi direttamente sul campione, senza necessità di ulteriori manipolazioni (come nel caso della tradizionale spettroscopia). Questa tecnica permette di evidenziare i gruppi funzionali presenti nella matrice polimerica, utili per l'identificazione della stessa composizione della matrice. È anche possibile identificare la presenza di qualsiasi additivo organico e di alcuni additivi inorganici.

Prove statiche e dinamiche sui dispositivi

I restanti sei isolatori estratti, rispettivamente due e quattro per le due ditte appaltatrici, sono spediti al laboratorio di analisi meccaniche Caltrans SRMD presso l'Università della California a San Diego.

Il laboratorio sperimentale

Caltrans Seismic Response Modification (SRMD)

L'impianto è stato completato ed è diventato operativo nel 1999, dopo una fase di progettazione e costruzione di due anni (Benzoni et al. 1998, Seible et al. 1998, Shortreed et al. 2000). È stato sviluppato congiuntamente dal Dipartimento dei Trasporti della California, il Dipartimento di Ingegneria Strutturale presso l'Università della California di San Diego e MTS Corporation di Eden Prairie, Minnesota (USA). L'eccezionale domanda di potenza idraulica per questo laboratorio richiede circa 19.000 litri di accumulo di olio in pressione mediante gas azoto fino a 34 MPa.

Per ragioni di sicurezza le pompe ed i 100 accumulatori si trovano in un edificio separato. Il pompaggio diretto, progettato per i test di lunga durata e servito dai serbatoi di accumulo, offre 720 e 417 litri al minuto rispettivamente a 21 e 34 MPa. Il banco di prova permette in tempo reale 6-DOF di attuazione dinamica. Una piastra mobile è azionata orizzontalmente da quattro attuatori idraulici contrastati da un telaio di reazione in cemento armato precompresso (scatola di calcestruzzo armato). La piastra scorre su quattro cuscinetti idraulici a basso attrito ancorati alla base della struttura in calcestruzzo. Essa si estende anche con quattro bracci d'acciaio a bilanciere che supportano all'estremità attuatori verticali inferiori e superiori. L'attuazione verticale principale è consentita da una struttura scatolare metallica di contrasto ancorata mediante tirabassi alla scatola in calcestruzzo armato del basamento (Figura 3). Le proprietà tecniche della macchina sono sinteticamente illustrate nella Tabella 1.

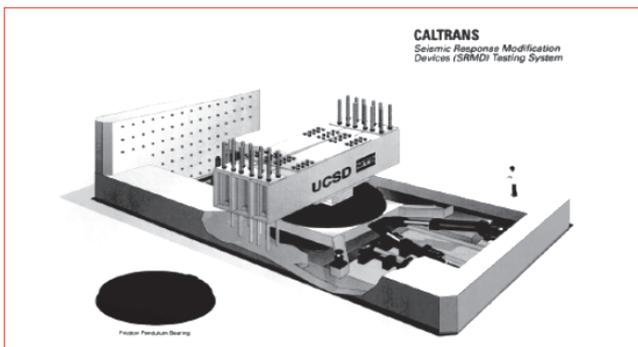


FIGURA 3 Vista prospettica di SRMD

Grandezza	Valore nominale	Accuratezza dell'applicazione	Accuratezza della misura
Forza verticale	53-400 kN	±5%	0,5% del fondo scala
Forza longitudinale	8-900 kN		1% del fondo scala
Forza laterale	4-450 kN		1% del fondo scala
Spostamento verticale	±0,127 m	±2%	1% del fondo scala
Spostamento longitudinale	±1,22 m	±2%	1% del fondo scala
Spostamento laterale	±0,61 m	±2%	1% del fondo scala
Velocità verticale	±254 mm/s	±10%	
Velocità longitudinale	±1778 mm/s	±10%	
Velocità laterale	±762 mm/s	±10%	
Rotazione relativa	±2°		

TABELLA 1 Principali caratteristiche dell'attrezzatura SRMD

Il carico verticale è imposto al campione attraverso il movimento verticale della piastra. Nel caso reale di dispositivi a scorrimento con superficie curva (pendolo inverso), il carico verticale è solo di compressione ed è realizzato mediante il sollevamento della piastra. In generale, il sistema opera in controllo di forza o spostamento, con possibili combinazioni dei due. Per il caso specifico dei dispositivi da provare, il grado di libertà verticale è gestito per il 100% in controllo di forza, mantenendo per tutti gli altri gradi di libertà il 100% di controllo di spostamento.

Programma di prova

Dopo una verifica dell'integrità degli isolatori, tre dei sei spediti a San Diego (uno e due rispettivamente per le due ditte appaltatrici) sono provati con il protocollo indicato nella Tabella 2 come "Serie 1", fedele al protocollo per prove di qualificazione secondo le NTC 2008. Lo scopo primario è la determinazione dei coefficienti di attrito statico e dinamico, per diversi valori di carico verticale e frequenza, ed il controllo della stabilità delle prestazioni dopo 10 cicli. Il protocollo "Serie 2" (Tabella 3) è stato applicato ai rimanenti tre campioni. Seguendo il protocollo Serie 2, una procedura di qualificazione come nella serie 1 ma ridotta è preceduta da una simulazione di terremoto, sulla base di un reale sisma registrato in 3D; segue quindi una storia temporale di spostamento bi-direzionale a quadrifoglio. Il carico verticale massimo ($V1 = 2820$ kN) è imposto dalla richiesta contrattuale, mentre i valori inferiori di forze verticali da utilizzare nelle prove sperimentali sotto carico costante sono scelti sulla base della stima dei carichi di servizio sui pilastri interni ($V2 = 1000$ kN) e perimetrali ($V3 = 500$ kN) con sostanziale conferma ottenuta dalle pressioni misurate in situ.

Il picco di velocità di riferimento (0,26 m/s), valore adottato per le cosiddette "prove dinamiche", è collegato attraverso una legge quasi-armonica con il periodo di progettazione della sovrastruttura isolata. Valori vari in velocità di picco, in accordo con l'NTC standard 2008, sono forniti in misura di ±30% della velocità di riferimento, mentre il limite di spostamento è 0,26 m, costante per tutte le prove.

Il test S1 della Serie 2 è la simulazione dello spostamento relativo tra le due piastre di un isolatore sotto un'eccitazione sismica. La simulazione si basa su una registrazione vera di moto sismico locale in 3D ottenuta durante il terremoto del 6 aprile 2009. Anche se il valore di PGA è relativamente

moderato rispetto all'accelerazione del sisma di progetto, il forte carattere direzionale e la grande asimmetria fanno sì che il massimo spostamento vettoriale dal punto di origine sia solo moderatamente inferiore al limite massimo di spostamento di progetto che influenza la geometria di costruzione di alcuni degli isolatori (Figura 4).

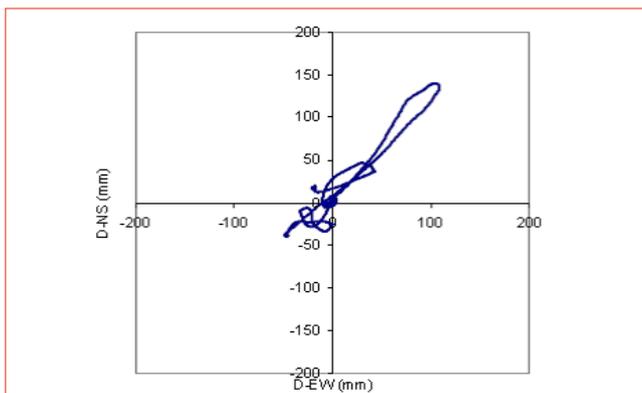


FIGURA 4 Sisma del 6 aprile 2009; traiettoria sul piano orizzontale dello spostamento vettoriale di un punto

Perplessità generali sulle norme italiane ed europee

L'esperienza delle indagini tecniche descritte ha suggerito l'idea di una sostanziale inadeguatezza delle norme che regolano le procedure di prova di accettazione e di qualificazione per isolatori sismici e, in particolare, per dispositivi a scorrimento con superficie curva. Senza entrare in profondità nei dettagli, le NTC 2008 propongono solo prove cicliche mono-direzionali: quelle statiche, ossia lente, con spostamento relativo crescente linearmente a bassissima velocità o le cosiddette "dinamiche" che comportano spostamenti relativi sinusoidali con periodo del ciclo vicino al periodo di progettazione dei dispositivi installati. La norma europea EN 15129 non differisce molto, ma permette, e suggerisce, anche test sinusoidali bidirezionali nel piano orizzontale con una composizione "a quadrifoglio" dei moti componenti (EN 15129, 2010; EN 1337, 2004).

I coefficienti di attrito uscenti dal test "a quadrifoglio" sembrano differire in qualche misura da quelli ottenuti tramite procedura sperimentale unidirezionale; la

test#	Nome test	Direzione	spost (m)	Vel (m/s)	Freq (Hz)	Forma storia di carico	Carico vert (kN)	Cicli [N]	note
Pre1	Pre-Test						3000		10 min pre-load
1	Coeff. attrito statico	long	0,20	0,0010	0,00090	triangolare	2820	3	stessa velocità prove accettazione
2	Coeff. attrito statico	long	0,20	0,0010	0,00090	triangolare	1000	3	"
3	Coeff. attrito statico	long	0,20	0,0010	0,00090	triangolare	500	3	"
4	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,2000	0,15015	seno	2820	3	Velocità di progetto
5	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,1820	0,11141	seno	2820	3	Velocità ridotta (-30%)
6	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,3380	0,20090	seno	2820	3	Velocità max (+30%)
7	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,2000	0,15015	seno	1000	3	Velocità di progetto
8	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,1820	0,11141	seno	1000	3	Velocità min (-30%)
9	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,3380	0,20090	seno	1000	3	Velocità max (+30%)
10	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,2000	0,15015	seno	500	3	Velocità di progetto
11	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,1820	0,11141	seno	500	3	Velocità ridotta (-30%)
12	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,3380	0,20090	seno	500	3	Velocità max (+30%)
13	Stabilità	long	0,20	0,2000	0,15015	seno	2820	5	
14	Stabilità	long	0,20	0,2000	0,15015	seno	2820	5	
A1	Componente di A3	long	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	3	
A2	Componente di A3	lat	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	3	
A3	Bi-Direzionale	Long+lat	0,20	0,2000	0,15015	clover leaf	2820	1	"clover leaf" (quadrifoglio)
A0	Verifica delle proprietà	Long	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	3	

TABELLA 2 SRMD, protocollo di prova "Serie 1"

test#	Nome test	Direzione	spost (m)	Vel (m/s)	Freq (Hz)	Forma storia di carico	Carico vert (kN)	Cicli [N]	note
S1	Sisma registrato	x-y-z				spostamenti relativi orizzontali e accelerazioni verticali	1000*	-	* carico verticale e massa sismica
A1	Componente di A3	long	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	3	
A2	Componente di A3	lat	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	3	
A3	Bi-Direzionale	long+lat	0,20	0,2000	0,15015	clover leaf	2820	1	"clover leaf" (quadrifoglio)
Pre1	Pre-Test						3000		10 min pre-load
1	Coeff. attrito statico	long	0,20	0,0010	0,00090	triangolo	2820	3	Stessa velocità prove accettazione
2	Coeff. attrito statico	long	0,20	0,0010	0,00090	triangolo	1000	3	"
3	Coeff. attrito statico	long	0,20	0,0010	0,00090	triangolo	500	3	"
4	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,2000	0,15015	seno	2820	3	Velocità di progetto
5	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,1820	0,11141	seno	2820	3	Velocità ridotta (-30%)
6	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,3380	0,20090	seno	2820	3	Velocità max (+30%)
7	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,2000	0,15015	seno	1000	3	Velocità di progetto
8	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,1820	0,11141	seno	1000	3	Velocità min (-30%)
9	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,3380	0,20090	sine	1000	3	Velocità max (+30%)
10	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,2000	0,15015	sine	500	3	Velocità di progetto
11	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,1820	0,11141	sine	500	3	Velocità ridotta (-30%)
12	Coeff. attrito dinamico	long	0,20	0,3380	0,20090	sine	500	3	Velocità max (+30%)
13	Stabilità	long	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	5	
14	Stabilità	long	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	5	
A0	Verifica delle proprietà	long	0,20	0,2000	0,15015	sine	2820	3	

TABELLA 3 SRMD, protocollo di prova "Serie 2"

causa è probabilmente l'effetto tribologico differente che governa il degrado delle superfici di scorrimento nei due casi. I test sinusoidali, tuttavia, sia mono sia bi-direzionali, non forniscono variazioni dinamiche del carico verticale e non rappresentano fedelmente il comportamento del dispositivo in un vero terremoto. Nel programma sperimentale "Serie 2" il primo passo del processo di prova è una simulazione sismica, che si basa su un vero record sismico 3D di una delle stazioni di misurazione durante la scossa principale di L'Aquila, stato reso disponibile per gentile concessione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

La macchina SRMD è stata programmata per imporre uno spostamento il più possibile affine alle tre componenti registrate del moto del suolo (Figura 4). La proiezione sul piano orizzontale della combinazione delle due componenti orizzontali di spostamento relativo tra le piastre di ancoraggio di un isolatore è determinata dalla differenza tra il moto quasi sinusoidale della struttura isolata ed il moto casuale multicomponente delle strutture di fondazione che trasmettono la piena azione del terremoto con un effetto filtro trascurabile.

Le macchine di prova in uso in Europa e nella maggior parte del resto del mondo (SRMD è una delle poche eccezioni) non hanno la possibilità di simulare un vero e proprio terremoto su dispositivi in scala reale. Le norme tecniche, quindi, si adattano, accettando il costo di semplificazioni grossolane non sempre adatte a garantire una sicurezza adeguata. È utile ricordare che una corretta stima del coefficiente di attrito è di fondamentale importanza, ma il coefficiente di attrito è largamente influenzato dalle condizioni operative, come la temperatura, il carico verticale ecc. Un attrito troppo elevato può causare un aumento di temperatura troppo veloce e rilevante e, di conseguenza, il deterioramento dei materiali delle superfici di scorrimento; un attrito troppo basso può ridurre la dissipazione e consentire uno spostamento troppo ampio, forse non compatibile con le dimensioni degli isolatori installati.

Il fenomeno stick-slip e il suo impatto distruttivo

Durante la campagna sperimentale a San Diego uno degli isolatori si è rotto nei primi cicli di prova secondo il protocollo "Serie 1". Si tratta di un evento non più

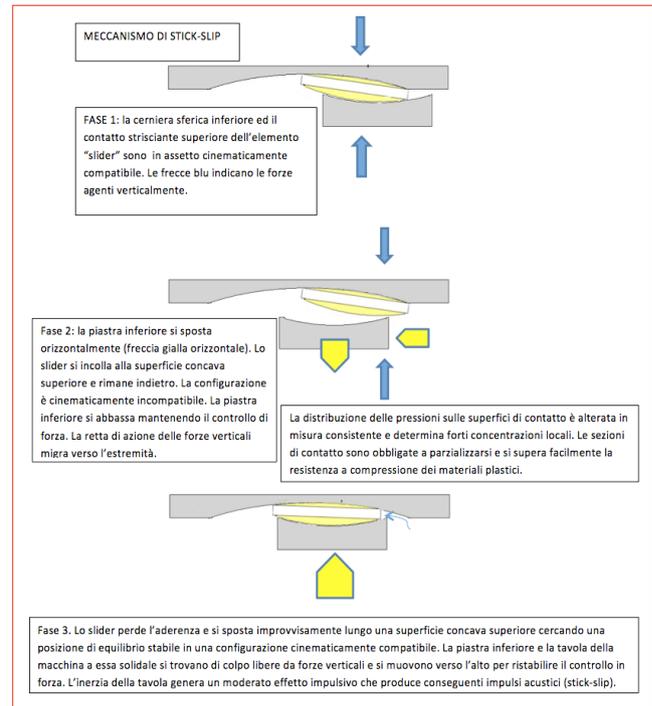


FIGURA 5 Effetto distruttivo dello *stick-slip*

segreto, avendone dato giornali e televisioni informazione al pubblico. Il dispositivo rotto era stato costruito con il materiale polimerico parzialmente diverso rispetto agli altri campioni forniti dalla stessa azienda. Ma perché l'incidente è accaduto? Un aiuto è venuto dall'esame dei diagrammi immediatamente precedenti la rottura e dalla registrazione della telecamera durante la prova. C'era evidenza di comportamento noto come *stick-slip*. Non tutti i campioni lo hanno mostrato, ma alcuni di loro sì. Durante alcune particolari condizioni di moto le superfici di scorrimento convesse e concave sembrano essere incollate insieme temporaneamente. Poi la forza tangenziale vince e si verifica uno scorrimento improvviso. Tale meccanismo può ripetersi molte volte. In realtà il fenomeno *stick-slip* può svolgere un ruolo davvero distruttivo, come mostrato in Figura 5.

Un ulteriore commento è importante: il campione rotto, come appena ricordato in precedenza, è stato confezionato con materiali polimerici parzialmente diversi rispetto agli altri campioni estratti da testare. Tuttavia

il nome commerciale era lo stesso. Ciò suggerisce una preoccupazione d'interesse generale: il marchio CE può essere equivalente ad una omologazione da parte del Servizio Tecnico Nazionale, ma richiede in precedenza la certificazione ETA (European Technical Authorization) per qualificare i materiali costitutivi. Una domanda interessante si pone a questo punto: in un contesto generale è possibile per un dispositivo tecnologico ottenere il marchio CE sulla base del suo nome commerciale e una qualifica ETA per un dato materiale costituente e quindi utilizzare il marchio CE, conservando lo stesso nome commerciale utilizzando materiali diversi?

Conclusioni

Nel 2012 si è conclusa l'indagine preliminare. Un processo è iniziato contro solo pochi tra i tanti soggetti coinvolti nella fase precedente. Il processo è ancora in corso e ciò impone la dovuta discrezione. La relazione preliminare di indagine non offre una verità giudiziaria. In ogni caso si cerca di rispondere con argomenti solidi e credibili, per quanto possibile obiettivi, alle domande del giudice. Nessun dettaglio dei risultati dell'indagine è illustrato e discusso qui, tranne quei pochi che sono importanti per il loro significato generale; sono impor-

tanti perché indicano che il problema della verifica e qualificazione di isolatori e altri dispositivi per la mitigazione sismica non è completamente risolto; qualcosa di importante manca.

La struttura SRMD è l'unica al mondo con una capacità così potente e flessibile in sei gradi di libertà. Per costruire un'altra macchina simile altrove occorrono ingenti investimenti ed elevati costi operativi e di manutenzione. Ottenere un sostegno pubblico o privato è un compito difficile, perché le attuali norme tecniche non richiedono tali prestazioni. Dall'altro lato le norme tecniche rimangono povere perché devono adattarsi alla troppo limitata disponibilità di macchine di prova adatte. Si può dire che c'è una sorta di inibizione ricorsiva. Nel caso specifico di isolatori a scorrimento con superficie curva la norma tecnica dovrebbe prestare più attenzione a rifiutare i materiali che mostrano un comportamento stick-slip, potenzialmente distruttivo se il progetto del dispositivo non è sufficientemente avveduto.

Infine, il marchio CE di qualità per un prodotto industriale deve essere in accordo con l'Autorizzazione europea rilasciato per i materiali costituenti. Non deve essere richiesto e accettato in caso di uso ambiguo del nome commerciale. ●

Alessandro De Stefano
Politecnico di Torino

abstract

Experimental performance and numerical modeling of seismic isolation devices: the procedural issue in a judicial process for the devices of the C.A.S.E. project in L'Aquila

The C.A.S.E. project was a large engineering realization, designed and built in very short time in L'Aquila after the strong earthquake of April 2009, to supply long-term provisional houses for people having lost their homes during the seismic event. Two or three-store houses were built on about 180 reinforced concrete plates supported by concrete or steel columns and base seismic isolators (about 7000 curved surface sliding devices). Due to doubts and complaints of a member of the technical staff of a supervising governmental Institution about the quality of the isolating devices with respect to the contractual agreement and the technical norms, the Court of L'Aquila started a preliminary investigation to ascertain the consistency of the complaints in view of taking decisions about the start of a criminal trial. The Author of the present paper, with the help of the Colleague Bernardino Chiaia, was in charge of the technical aspects of such preliminary investigation. This contribution shows and explains how and why the technical investigation was programmed and carried out. It is, substantially, a kind of methodological report; not any relevant detail of the results is shown and discussed here, the trial being still pending, except for few considerations of absolutely general interest. The analysis of the outcomes of the experimental campaigns, however, suggests some general comments on the nature and impact of the observable phenomena and on some critical points of the technical norms.



bibliografia

- Benzoni G., Seible F. (1998). "Design of the Caltrans Seismic Response Modification Device Test System". *Proc. of the U.S.-Italy Workshop on Seismic Protective Systems for Bridges* (Technical Report MCEER -98-0015)
- De Stefano A., Chiaia B. (2012). *Consulenza tecnica per incidente probatorio per il Tribunale di L'Aquila*. Procedimento penale n. 122/11 R.G.N.R., n. 1185/11 R.G. G.I.P., July 11, 2012
- EN 10088 (2005) *Stainless steel*, Comité Européen de Normalisation (CEN)
- EN 1337 (2004) *Structural bearings*. Comité Européen de Normalisation (CEN)
- EN 15129 (2009). *Antiseismic Devices*. Comité Européen de Normalisation (CEN)
- Medeot R. (2010). "The European Standard on Anti-Seismic Devices. Large structures and infrastructures for environmentally constrained and urbanised areas". *IABSE Venice Symposium Report*, Vol. 97, ETH, Höggerberg, Zurich
- NTC 2008 (2008). *Norme tecniche per le costruzioni*. D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008
- Seible F., Benzoni G., Post T., Mellon D. (1998). The Caltrans Seismic Response Modification Device Test System. *Proc. 5th Caltrans Seismic Research Workshop*, Sacramento, California, USA
- Shortreed S., Seible F., Filiatrault A., Benzoni G. (2000). "Characterization and Testing of the Caltrans Seismic Response Modification Device Test System". *J. Philosophical Transactions of the Royal Society of London*