

# GLIS *news* n° 1-95

A cura della Segreteria Tecnica del GLIS, Massimo Forni, ENEA, Via Martiri di Monte Sole 4, 40129 Bologna, Tel.: 051-6098554, fax: 051-6098639, E-mail: [forni@rin365.arcoveggio.enea.it](mailto:forni@rin365.arcoveggio.enea.it)

□ **Alessandro Martelli** ([martelli@rin365.arcoveggio.enea.it](mailto:martelli@rin365.arcoveggio.enea.it))

Resoconto dell'International Post-SMiRT Conference Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures, Santiago, Cile, 21-23 Agosto 1995.

□ **Maurizio Indirli** ([indirli@rin365.arcoveggio.enea.it](mailto:indirli@rin365.arcoveggio.enea.it))

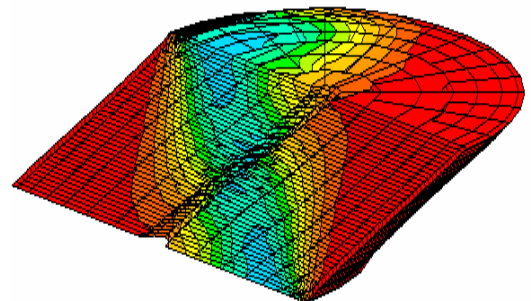
E' in fase di preparazione il Rapporto GLIS "Gli Effetti del Terremoto di Kobe del 17 Gennaio 1995", un resoconto della spedizione Italiana, organizzata dal Servizio Sismico Nazionale, nell'area del sisma a poche settimane dal disastro.



□ **Massimo Forni** ([forni@rin365.arcoveggio.enea.it](mailto:forni@rin365.arcoveggio.enea.it))

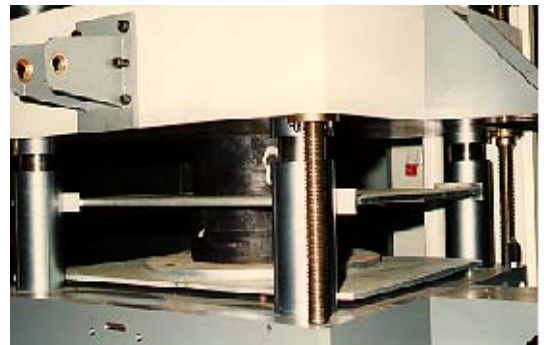
**Alberto Dusi** ([dusi@cris.enel.it](mailto:dusi@cris.enel.it))

Sviluppo di modelli agli elementi finiti di isolatori sismici: progressi e possibilità di supporto alla progettazione e di previsione dei limiti di rottura. Definizione di modelli semplificati da utilizzarsi in calcoli su strutture isolate.



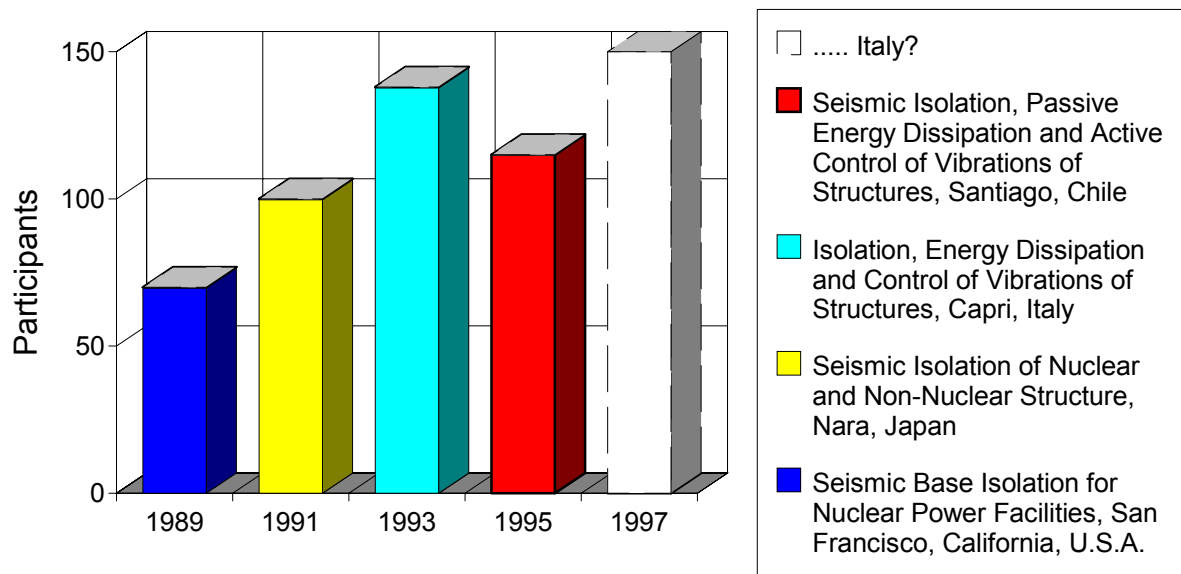
□ **Bruno Spadoni** ([spadoni@rin365.arcoveggio.enea.it](mailto:spadoni@rin365.arcoveggio.enea.it))

CAT: Creep & Aging Test machine. E' da poco operativa presso i laboratori di Montecuccolino (BO) una nuova macchina per prove di compressione (5000 kN) di lunga durata su isolatori sismici, realizzata dall'ENEA di Bologna in cooperazione con il LIN.



## Alessandro Martelli

*Resoconto dell'International Post-SMiRT Conference Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures, Santiago, Cile, 21-23 Agosto 1995.*



Il seminario è stato il quarto di una serie di "Post-SMiRT Seminars" sull'isolamento sismico ed altre tecniche antisismiche innovative, iniziata nel 1989 (vedi figura). Analogamente ai precedenti seminari, esso è stato organizzato dall'Università del Cile in collaborazione con:

- ENEA e Laboratorio di Ingegneria Nucleare (LIN) dell'Università di Bologna;
- Argonne National Laboratory (ANL) e Earthquake Engineering Research Center dell'Università della California a Berkeley (EERC-UBC) (USA);
- Commissariat à l'Energie Atomique (Francia);
- Università di Tokyo e Shimizu Corporation (Giappone);
- New Zealand Institute for Industrial Research and Development.

Il seminario è stato patrocinato dal GLIS e sponsorizzato dall'UNIDO e da numerosi enti cileni. Esso è stato presieduto dall'Ing. Alessandro Martelli dell'ENEA, coordinatore del GLIS; fra gli organizzatori era anche il Prof. Franco Cesari del LIN, consigliere del GLIS.

Hanno partecipato circa 115 esperti provenienti dai paesi maggiormente affetti dal rischio sismico e / o più interessati allo sviluppo delle metodologie trattate nel seminario (Argentina, Canada, Cile, P.R. Cina, Corea del Sud, Germania, Giappone, Inghilterra, Italia, Messico, Nuova Zelanda, Russia, Stati Uniti).

La delegazione italiana, composta da 12 esperti aderenti al GLIS ed appartenenti ad enti di ricerca (CCR di Ispra, ENEA, ENEL), università (Bologna, Pavia, Roma, Trieste), industria (ALGA) e studi professionali di Bologna e Milano, è stata fra le più numerose e rappresentative.

Il seminario era articolato in 9 sessioni, nelle quali sono stati presentati 39 lavori riguardanti principalmente l'isolamento sismico, ma anche la dissipazione passiva dell'energia ed il controllo attivo, ibrido e semiattivo. Più precisamente, i principali temi trattati sono stati:

- il comportamento degli edifici isolati in occasione dei recenti terremoti di Northridge (1994), Shantou (1994), Kobe (1995) e Shakalin (1995);
- alcuni aspetti progettuali e di manutenzione particolarmente rilevanti per il buon comportamento di edifici isolati;
- la rilevanza di una corretta determinazione dell'input sismico;
- gli aspetti relativi ai costi delle strutture isolate;
- i progressi relativi alla ricerca e sviluppo e alla normativa;

- lo stato dell'arte delle applicazioni nei settori civile e industriale;
- le future prospettive di ricerca e applicazione.

I lavori sono stati aperti da indirizzi di saluto rivolti da rappresentanti del governo e dell'università cilena, dal presidente del seminario Ing. Martelli, dall'organizzatore locale Prof. Saragoni Huerta e dall'ambasciatore italiano in Cile. Quest'ultimo è intervenuto in considerazione della qualificata partecipazione italiana e ha messo in rilievo, fra l'altro, la possibilità di definire collaborazioni fra Cile e Italia sulle tecniche oggetto del seminario.

Il programma del seminario è riportato nel seguito (i nomi dei relatori sono sottolineati).

## **WELCOME ADDRESSES**

Chairman: R. SARAGONI HUERTA (Chile)

### **SESSION 1: SOME KEY ISSUES OF SEISMIC ISOLATION AND PERFORMANCE OF SEISMICALLY ISOLATED STRUCTURES IN RECENT EARTHQUAKES**

Chairmen: A. MARTELLI (Italy) and R. SARRAZIN (Chile)

(01) Seismic Performance of the Base Isolated USC University Hospital in the 1994 Northridge Earthquake (R.L. MAYES, J.W. ASHER, S.N. HOKERE, R.D. EWING, D.R. VAN VOLKINBURG, and M.R. BUTTON, DIS, Berkeley, California - U.S.A.)

(02) Behaviour of Isolated Buildings in the 1995 Great Hanshin Earthquake and Overview of Recent Activities on Seismic Isolation in Japan (T. FUJITA, Institute of Industrial Science, University of Tokyo - JAPAN)

(03) Base Isolation: Construction - Supervision - Maintenance (G.C. GIULIANI, Studio Giuliani, Milano - ITALY)

(04) Seismic Input Modelling: a Key Issue for the Safe Implementation of Seismic Isolation (G.F. PANZA, F. VACCARI, G. COSTA, P. SUHADOCL, and D. FAEH, University of Trieste - ITALY)

(05) Evaluating the Earthquake Performance of Base Isolated Buildings Using Recorded Motions (J. DE LA LLERA and J.A. INAUDI - CHILE)

### **SESSION 2: PROGRESS IN APPLICATIONS, RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR ISOLATED CIVIL BUILDINGS. DEVELOPMENT OF DESIGN RULES (I)**

Chairmen: J. EISENBERG (Russia) and F.L. ZHOU (P.R. China)

(06) Progress in Applications and Research for Isolated Structures in Chile (M. SARRAZIN, M.O. MORONI, R. BOROSCHEK, R. ZAMORANO, J. VARGAS, and J. GARRIDO, University of Chile, Santiago - CHILE)

(07) Progress in Applications and Experimental Studies for Isolated Structures in Italy (A. MARTELLI, M. FORNI, and B. SPADONI, ENEA, Bologna; A. MARIONI, ALGA, Milano; F. BETTINALI, ENEL, Milano; C. MAZZIERI, ANSALDO-Ricerche, Genova; G. BONACINA & G. PUCCI, ISMES, Bergamo; F. CESARI and E. SOBRERO, University of Bologna - ITALY)

(08) Development and Application for Three Dimensional Isolation Floor System (Y. NITTA, M. SARUTA, K. MAEBAYASHI, Shimizu Corporation; H. KURABAYASHI, N. SONE, and D. YAGUCHI Mitsubishi Steel Manufacturing Co. Ltd - JAPAN)

(09) New Applications and R&D for Isolated Civil Buildings in the United States (J.M. KELLY, EERC-UBC, Berkeley, California - U.S.A.)

### **SESSION 3: PROGRESS IN APPLICATIONS, RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR ISOLATED CIVIL BUILDINGS. DEVELOPMENT OF DESIGN RULES (II)**

Chairmen: J.M. KELLY (USA) and Y. NITTA (Japan)

(10) New Applications, R&D and Development of Design Rules for Isolated Civil Buildings in New Zealand (W.H. ROBINSON, New Zealand Institute for Industrial R&D, Lower Hutt - NEW ZEALAND)

(11) Recent Research, Application and Development of Design Guidelines for Seismic Isolation of Civil Buildings in P.R. China (F.L. ZHOU, South China Construction University, Guangzhou - P.R. CHINA)

(12) Seismic Isolation of Buildings. New Applications and Design Rules in Russia (J.M. EINSENBURG, EERC; M.A. DASHEVSKY, TsNIISK; V.I. SMIRNOV, Research Center 'Safety of Structures', Moscow - RUSSIA)

(13) Current Base Isolation Research and Development at MRPA and Its Application to an Apartment Block in Indonesia (K.N.G. FULLER, A.H. MUHR, and T.J. POND, MRPA, Hertford - U.K.)

(14) Research Activities and Programmes on Seismic Isolation at the Joint Research Center of the European Commission (V. RENDA, A. MARTELLI, G. VERZELLETTI, and L. PAPA, JRC-Ispra of the European Commission and ENEA, Bologna - ITALY)

#### **SESSION 4: PROGRESS IN APPLICATIONS AND RESEARCH AND DEVELOPMENT FOR ENERGY DISSIPATION IN CIVIL BUILDINGS**

Chairmen: A. ARIAS (Chile) and F. CESARI (Italy)

(15) Research and Development of Passive Energy Dissipation Techniques for Civil Buildings in Italy (V. CIAMPI, University of Roma 'La Sapienza' - ITALY)

(16) Research, Development and Applications of High-Damping Rubber Dampers for Vibration Control of Buildings (Y. SUIZU, S. SUZUKI, and Y. KASAHARA, Bridgestone Corporation; S. FUJITA, Tokyo Denki University, T. FUJITA, University of Tokyo - JAPAN)

(17) Optimization Criteria for the Design and Maintenance of Structures with Energy Dissipation Device (L. ESTEVA, UNAM - MEXICO)

(18) New Applications and R&D for Energy Dissipation in Civil Buildings in the USA (I. AIKEN, EERC-UBC, Berkeley, California; presented by J.M. KELLY, EERC-UBC - U.S.A.)

#### **SESSION 5: PROGRESS IN RESEARCH AND DEVELOPMENT AND GUIDELINES DEVELOPMENT FOR ISOLATED NUCLEAR FACILITIES (I)**

Chairmen: V. BELIAYEV (Russia) and R. BOROSHEK (Chile)

(19) New R&D for Isolated Nuclear Facilities in the USA (E.L. GLUEKLER, GE Nuclear Energy, San Jose, California; presented by J.M. KELLY, EERC-UBC - U.S.A.)

(20) Recent Contributions of ANL to Base Isolation Research and Development for Nuclear Facilities (R. KULAK, ANL, Argonne, Illinois; presented by J.M. KELLY, EERC-UBC - U.S.A.)

(21) Finite-Element Models of Rubber Bearings and Guidelines Development for Isolated Nuclear Facilities in Italy (M. FORNI and A. MARTELLI, ENEA, Bologna; A. DUSI and F. BETTINALI, ENEL, Milano - ITALY)

(22) Machine Translation and Problems of International Exchange of Documentation on Seismic Isolation and Other Innovative Antiseismic Techniques (L.N. BELAIAEVA, Herten Pedagogical Institute - RUSSIA)

#### **SESSION 6: PROGRESS IN RESEARCH AND DEVELOPMENT AND GUIDELINES DEVELOPMENT FOR ISOLATED NUCLEAR FACILITIES (II)**

Chairmen: L. ESTEVA (Mexico) and K. HIRATA (Japan)

(23) Most Recent Developments of the Studies for Seismic Isolation of Nuclear Structures in Russia (V. BELIAYEV, V. VINOVOGRADOV, and V. GOOSKOV, Research Center of Capital Construction, St. Petersburg - RUSSIA)

(24) New Research, Application and Development for Isolated Nuclear Facilities in the P.R. China (D. LI, Tsinghua University; Q. TIAN and B. MA, Inst. of Mechanics, Chinese Academy of Sciences - P.R. CHINA)

(25) Application of Seismic Isolation Design in the CANDU 6 NPP - A Case Study (R.A. RICCIUTI, M. ELGOHARY, and M.A. SALEEM, AECL CANDU, Missisauga, Ontario - CANADA)

(26) Seismic Isolation for Nuclear Reactors in Korea (B. YOO, J.H. LEE, and G.H. KOO, KAERI; D.G. LEE, KAIST, National University - KOREA)

(27) Seismic Design Considerations of Base Isolated Nuclear Spent Fuel Storage Tanks (H.M. KOH, J. KIM, K.S. PARK, J.H. PARK, I.J. KWAHK, Seoul National University - KOREA)

### **SESSION 7: ISOLATION AND ENERGY DISSIPATION FOR NON-NUCLEAR INDUSTRIAL FACILITIES**

Chairmen: J.M. KELLY (USA) and W.H. ROBINSON (New Zealand)

(28) Application of Seismic Isolation to the Santiago Metro, Line 5, and Rodelillo Vina del Mar Highway Bridge (M. SARRAZIN, F. IZZO, R. VERGARA, R. SARAGONI - CHILE)

(29) Isolation and Energy Dissipation for Non-Nuclear Industrial Facilities in Italy (F. BETTINALI, ENEL, Milano; G. BONACINA, ISMES, Bergamo; A. MARTELLI, ENEA, Bologna - ITALY)

(30) Application of a Seismic Floor Isolation System to Process Computer Systems (K. GUNYASU, N. TAKAMATSU, S. FUJIMOTO, H. KONDO, Toshiba Corporation - JAPAN)

### **SESSION 8: DESIGN CODES AND DESIGN GUIDELINES FOR ISOLATED STRUCTURES**

Chairmen: K.N.G. FULLER (U.K) and M. KOSHIKA (Japan)

(31) Surface Wave Effect on Seismic Isolation: Mexico and Chile Cases (R. SARAGONI HUERTA, University of Chile, Santiago - CHILE)

(32) Development of Design Codes and Guidelines for Seismic Isolation of Structures in Europe (M. DOLCE, University of Basilicata, Potenza; A. MARIONI, ALGA, Milano - ITALY)

(33) Method of Ensuring Seismic Safety in the Technical Guidelines proposed for FBR Seismic Isolation System (K. HIRATA, CRIEPI; H. SHIBATA, Yokohama National University; T. FUJITA, University of Tokyo - JAPAN)

(34) Contribution of MRPRA to the Development of Design Guidelines for Isolated Structures (H.R. AHMADI, I.H. GREGORY, A.H. MUHR, MRPRA, Hertford - U.K.)

(35) Design Codes and Design Guidelines for Isolated Structures in the U.S.A. (E. RETANAL, Law Crandall, Inc., Northridge, California - U.S.A.)

(36) Expected Economic Benefits Deriving from Seismic Isolation (A. PARDUCCI, University of Perugia; presented by A. MARTELLI, ENEA, Bologna - ITALY)

### **SESSION 9: PROGRESS IN R&D AND APPLICATIONS FOR ACTIVE / HYBRID CONTROL OF BUILDINGS**

Chairmen: V. CIAMPI (Italy) and M.O. MORONI (Chile)

(37) European Initiative on Active Control of Civil Structures (A. BARATTA, University of Napoli, Italy; F. CASCIATI, University of Pavia; F. LOPEZ-ALMANSA, University of Catalunya, Barcellona - ITALY and SPAIN)

(38) Control Effect during Actual Earthquakes and Strong Winds of Active and Hybrid Response Control of Buildings (M. SAKAMOTO and N. KOSHIKA, Kajima Corporation - JAPAN)

(39) Research on Variable Structures Systems in the United States (J.A. INAUDI, J.C. HAYEN, EERC-UBC, Berkeley, California - U.S.A.)

### **CLOSING PANEL FOR FUTURE DIRECTIONS**

Chairman: R. SARAGONI (Chile)

Panelists: (1) A. ARIAS (Chile)  
(2) J. EISENBERG (Russia)  
(3) L. ESTEVA (Mexico)  
(4) T. FUJITA (Japan)  
(5) K.N.G. FULLER (U.K.)  
(6) J.M. KELLY (U.S.A.)  
(7) A. MARTELLI (Italy)  
(8) G.F. PANZA (Italy)  
(9) V. RENDA (EC)  
(10) W.H. ROBINSON (New Zealand)  
(11) M. SARRAZIN (Chile)  
(12) F.L. ZHOU (China)

### **CLOSING REMARKS**

R. SARAGONI HUERTA (Chile)

A. MARTELLI (Italy)

I lavori presentati e l'approfondita discussione che ne è seguita hanno confermato la completa maturità delle tecniche di isolamento alla base e gli sviluppi importanti relativi alla dissipazione passiva dell'energia. Gli edifici isolati si sono comportati egregiamente in tutti i recenti terremoti. Relativamente alle tecniche di controllo non passivo, si è convenuto che solo il controllo semiattivo offre per ora importanti prospettive di interesse per la protezione sismica.

E' stato comunicato che in Giappone il numero delle richieste di autorizzazione per la costruzione di nuovi edifici isolati è nettamente aumentato dopo il terremoto di Kobe (1995): in tale paese si prevedono ulteriori 50-60 applicazioni all'anno, a partire da quest'anno. Anche negli Stati Uniti, a seguito del terremoto di Loma Prieta (1989), e soprattutto di quello di Northridge (1994), sono in costante aumento le applicazioni sia dell'isolamento sismico che dei sistemi dissipativi per strutture sia di nuova costruzione che esistenti. In Cina è prevista una vasta e rapida crescita delle applicazioni dell'isolamento alla base delle strutture civili, anche a seguito del buon comportamento dell'edificio di Shantou durante il terremoto del 1994.

Alcuni fra gli sviluppi di maggior rilevanza più recentemente affrontati riguardano l'isolamento tridirezionale alla base (sul quale operano soprattutto i giapponesi) e l'isolamento di strutture industriali. Queste ultime afferiscono non solo al campo nucleare (per il quale sono state annunciate le decisioni di isolare un reattore VVER-600 in Russia e un PWR in Giappone), ma anche a quello convenzionale, dove, ad esempio, sono in corso ampi studi per l'isolamento delle sottostazioni e di altri componenti elettrici (Italia, Giappone, Nuova Zelanda, ecc.). Inoltre, l'ottimo comportamento,

durante il terremoto di Kobe (1995), dei computer montati su piani isolati, costituisce in Giappone un grande incentivo per estendere tali applicazioni.

Quanto alla dissipazione passiva dell'energia, sono state messe in luce le potenzialità di tale tecnica soprattutto nel settore dell'adeguamento sismico, nel quale vaste applicazioni sono in corso soprattutto negli U.S.A. a seguito dei terremoti di Loma Prieta (1989) e Northridge (1994).

Un'approfondita discussione ha riguardato gli aspetti economici, per i quali è stata sottolineata la necessità di non limitare le valutazioni ai soli costi di costruzione, ma di effettuare un corretto bilancio economico tenendo anche conto dei rischi di impresa, e di premere affinché la normativa permetta di tener conto correttamente dei vantaggi (in termini di sicurezza delle strutture) dell'isolamento e della dissipazione nella realizzazione delle strutture dotate di tali sistemi.

Nel panel conclusivo si è infine messa in evidenza l'opportunità di un quinto seminario nel 1997 a valle della conferenza SMiRT di Lione (Francia). Tale seminario, su richiesta degli organizzatori dello SMiRT, dovrebbe essere organizzato in Italia. In esso dovrebbe essere dato uno spazio maggiore, che non nei seminari precedenti, alla dissipazione passiva dell'energia, all'input sismico e al confronto fra le normative sviluppate, nei diversi paesi, per le tecniche antisismiche innovative. Dovrebbe essere comunque mantenuto anche l'obiettivo di aggiornare, in modo dettagliato, lo stato dell'arte a livello mondiale riguardante la ricerca e sviluppo e le applicazioni.

Gli atti del seminario saranno pubblicati fra breve dall'Università del Cile. Fotocopie dei lavori presentati sono comunque state distribuite ai partecipanti al seminario.

## **Maurizio Indirli**

*E' in fase di preparazione il Rapporto GLIS "Gli Effetti del Terremoto di Kobe del 17 Gennaio 1995", un resoconto della spedizione Italiana, organizzata dal Servizio Sismico Nazionale, nell'area del sisma a poche settimane dal disastro.*

L'11 marzo è rientrata dal Giappone la missione ufficiale italiana, organizzata dal Servizio Sismico del Dipartimento per i servizi tecnici nazionali della Presidenza del Consiglio dei Ministri, in collaborazione con varie università ed enti tra cui l'Enea, con lo scopo di effettuare un sopralluogo in Giappone sugli effetti del terremoto avvenuto lo scorso gennaio. Alla missione, iniziata il 4 febbraio, hanno preso parte 18 esperti provenienti dal Dipartimento Servizi Tecnici della Presidenza del Consiglio dei Ministri, dal Servizio Sismico Nazionale, dall'Ismes, dall'Enel, dal Politecnico di Milano, dal Ministero degli Interni (Vigili del Fuoco), dal Gruppo Nazionale Difesa dai Terremoti, dalla Regione Toscana, dall'Istituto Nazionale di Geofisica, dalle università di Roma, Catania, Perugia e Udine, dal Ministero degli Esteri e dal Servizio Sismico Nazionale.

Sostanzialmente la missione ha riguardato l'analisi dei seguenti aspetti: geotecnica, geologia e sismotettonica del terremoto; sistemi di monitoraggio e di allerta; comportamento di impianti, edifici, infrastrutture e servizi pubblici essenziali; gestione dell'emergenza post-terremoto. Questi obiettivi sono stati pienamente raggiunti attraverso due metodiche: contatti con varie istituzioni giapponesi e ricognizione diretta sui luoghi colpiti dal sisma. L'Enea, in particolare, ha condotto e sviluppato i collegamenti con l'Institute of Industrial Science dell'università di Tokyo, l'università di Yokohama, la Shimizu Corporation, la Matsumura-Gumi Corporation, il Ministero delle Poste e Telecomunicazioni, grazie all'impegno profuso soprattutto dall'Ambasciata d'Italia in Giappone e dal Consolato Italiano di Osaka.

E' da sottolineare come la partecipazione coordinata di pressochè tutte le istituzioni italiane competenti in materia, in appena una settimana, abbia permesso di esaminare tutti gli aspetti dell'impatto di un forte terremoto in un'area urbana molto sviluppata e densamente popolata.

Il materiale raccolto è attualmente in fase di elaborazione da parte dei componenti del gruppo. In tale ambito, verranno anche identificati gli aspetti che occorrerà approfondire in successivi sopralluoghi; fra questi sono senz'altro da considerare gli effetti sugli impianti industriali.

Una prima presentazione dei risultati si è avuta nella conferenza tenutasi a Roma presso il Servizio Sismico Nazionale lo scorso 6 aprile ed è contenuta nel rapporto preliminare ivi distribuito. Quello conclusivo è in avanzata fase di stesura. Esso sarà presto distribuito a tutti i Soci GLIS sotto l'ormai consueta forma di Rapporto GLIS, analogamente a quanto è stato fatto per il Rapporto sugli effetti del terremoto di Northridge.



*Sviluppo di modelli agli elementi finiti di isolatori sismici: progressi e possibilità di supporto alla progettazione e di previsione dei limiti di rottura. Definizione di modelli semplificati da utilizzarsi in calcoli su strutture isolate.*

Dal 1991 l'ENEA di Bologna si occupa dello sviluppo di modelli agli elementi finiti (FEM) di isolatori sismici elastomerici armati con lamine d'acciaio. Nel corso di numerose campagne sperimentali ha analizzato decine di isolatori diversi per forma, tipi di vincolo e materiali, e numerose strutture isolate [1, 2, 3]. Recentemente, lavorando in stretta cooperazione con l'ENEL-S.p.A.-CRIS di Milano nell'ambito del progetto europeo BRITE EURAM II riguardante l'ottimizzazione di isolatori sismici, sono stati raggiunti ottimi risultati utilizzando il modello iperelastico del codice ABAQUS [4, 5].

Il problema fondamentale nell'implementazione del FEM di un isolatore sismico è dato dal comportamento fortemente non lineare della gomma e dai severi parametri di progetto che richiedono grandi deformazioni a taglio sotto elevati carichi assiali. In pratica occorre un modello iperelastico in grado di descrivere il comportamento della gomma fino ad oltre il 500% di shear strain. Per ricavare i necessari parametri fisici occorre effettuare una serie di prove sperimentali su provini in gomma [6], alcune delle quali richiedono attrezzature piuttosto complesse [7]. In genere è consigliabile eseguire le prove sia su provini 'vergini' che leggermente preciclati [4, 5, 6].

Una volta ottenuti i dati relativi al modello iperelastico, nella realizzazione del FEM si deve prestare particolare attenzione alla discretizzazione: sono necessari almeno 7-8 suddivisioni sul raggio, 32 sulla circonferenza e 3 sull'asse di ciascun strato di gomma, e considerare, per ovvie ragioni di simmetria, almeno un'ampiezza di 180° del modello. I modelli, pertanto, risultano avere decine di migliaia di gradi di libertà. Per la discretizzazione della gomma è preferibile usare elementi solidi lineari (8 nodi). Le piastre possono essere modellate con elementi shell a 4 nodi per deformazioni lontane dall'instabilità geometrica dell'isolatore; avvicinandosi a tale limite, occorre usare elementi solidi a 8 nodi anche per le piastre interne, al fine di riprodurre correttamente nel modello l'altezza reale dell'isolatore. Un problema di non facile soluzione è la modellazione del vincolo a contenimento. In questo caso è necessario definire superfici di contatto che rallentano notevolmente il calcolo. Sono stati approntati dei pre-processors di ABAQUS [8, 9] in grado di generare, sulla base di pochi parametri geometrici, il complesso file di input di ABAQUS. Un calcolo statico, composto di due step (uno per l'applicazione del carico assiale ed uno per lo spostamento orizzontale) può richiedere anche alcuni giorni di CPU (su una work station RISC 6000).

I FEM sono in grado di riprodurre correttamente la curva di carico del ciclo di isteresi dell'isolatore sottoposto a prova di compressione e taglio [4, 5]. Occorre solamente prestare particolare attenzione al livello di deformazione di interesse: se si sta analizzando una prova al 100% di shear strain, occorre fornire al modello iperelastico i dati sperimentali che garantiscano la stabilità del materiale fino a quella deformazione e non oltre, altrimenti si sottostima la rigidità. Riproducendo correttamente la curva di carico del ciclo di isteresi, si calcolano correttamente le tensioni interne dell'isolatore. I FEM possono pertanto essere di grande aiuto al progettista di un isolatore sismico per analizzare gli effetti sulle tensioni interne, e quindi sui limiti di rottura, di tutti quei parametri (spessore delle piastre d'acciaio, fattore di forma, presenza e dimensioni del foro centrale, tipo di vincolo) che, avendo scarsa influenza sulla rigidità orizzontale, generalmente vengono fissati senza una loro attenta valutazione [5].

I FEM attualmente utilizzati non considerano lo smorzamento del materiale. Ciò genera spesso perplessità da parte di coloro che preferirebbero vedere riprodotto l'intero ciclo di isteresi. Il motivo per cui non si utilizza un modello di smorzamento è semplicemente dovuto al fatto che nessun codice agli elementi finiti dispone attualmente di un valido modello di smorzamento isteretico per elementi tridimensionali. La mancanza di smorzamento, come dimostrato dalle discussioni tenutesi sull'argomento al recente Seminario di Santiago, è un falso problema per i seguenti motivi:

- le prove cui sono sottoposti gli isolatori sismici sono in genere statiche, essendo gli effetti dinamici noti, piccoli e praticamente costanti per tutte le frequenze di interesse. Durante una prova statica l'eventuale rottura o instabilità dell'isolatore si manifesta senz'altro durante la fase di carico. Non è quindi necessario riprodurre la curva di scarico.,

- lo smorzamento dell'isolatore, che corrisponde praticamente a quello della gomma, viene necessariamente misurato durante le prove di qualifica e accettazione sia sui provini che sugli isolatori e quindi non è necessario calcolarlo. La sua variazione con la frequenza ha un effetto trascurabile sulla rigidità orizzontale e quindi sugli sforzi interni dell'isolatore.

La disponibilità di un corretto modello di smorzamento isteretico è invece necessaria nell'analisi di strutture isolate. In questi casi però non è possibile utilizzare alla base della struttura, modelli dettagliati di isolatori perché il numero di gradi di libertà di uno solo di loro supererebbe quello dell'intera struttura. In questi casi occorre utilizzare un elemento semplificato che riproduca il comportamento globale del singolo isolatore. L'ENEL CRIS sta lavorando all'implementazione in ABAQUS di uno USER ELEMENT a due nodi in grado di riprodurre il ciclo di isteresi di un isolatore alla frequenza di interesse. Tale elemento sarà utilizzato per analisi numeriche, nell'ambito delle attività del succitato progetto BRITE, su di una struttura isolata [10] (attualmente in fase di realizzazione) che sarà testata sulla tavola vibrante dell'ISMES nel prossimo mese di Dicembre.

In conclusione, si può affermare che i FEM di isolatori sismici sono ormai sufficientemente affidabili da poter essere utilizzati come valido supporto alla progettazione e, soprattutto, all'ottimizzazione di nuovi isolatori. L'attuale mancanza di modelli di smorzamento isteretico nei codici a elementi finiti non comporta particolari problemi per la stress-analysis dell'isolatore. Per quel che riguarda lo studio di strutture isolate invece risulta indispensabile l'implementazione di elementi semplificati che riproducano il comportamento globale dell'isolatore.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Massimo Forni, Guido Vernoni, "Determinazione di un modello iperelastico della gomma per isolatori sismici", Rapporto ENEA CT.WCG.00028

[2] Massimo Forni, "Calcoli di supporto alla progettazione di isolatori per l'isolamento sismico di trasformatori elettrici", Rapporto ENEA CT.WCG.00026

[3] Massimo Forni, Luca Grassi, "Analisi della risposta sperimentale di due edifici antisismici: confronto fra progettazione convenzionale e con isolamento alla base", Rapporto ENEA CT.WCG.00021

[4] M. Forni, A. Martelli, A. Dusi, G. Castellano, "Hyperelastic models of steel-laminated rubber bearings for seismic isolation of civil buildings and industrial plants", ABAQUS Users' Conference, Paris, France, 1995

[5] M. Forni, A. Martelli, A. Dusi, F. Bettinali, "Finite elements models of rubber bearings and guidelines development for isolated nuclear facilities in Italy", Int. Post-SMIRT Conf. Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control of Vibrations of Structures, Santiago, Chile, 1995

[6] Massimo Forni, "Guidelines for the execution of tests required for the implementation of a hyperelastic model in ABAQUS", Rapporto ENEA CT.WCG.00028

[7] Bruno Spadoni, "Realizzazione di attrezzature per l'esecuzione di prove equibiaxiali e di deformazione piana su provini in gomma", Rapporto ENEA AT.FAL.00004, 1995

[8] Massimo Forni, "PREABC: un pre-processor del codice ABAQUS per l'implementazione di modelli tridimensionali agli elementi finiti di isolatori sismici e altri componenti a geometria cilindrica", Rapporto ENEA CT.WCG.00023

[9] Alberto Dusi, "GENESIS un pre-processor per l'implementazione di modelli tridimensionali agli elementi finiti di isolatori sismici", Relazione interna ENEL-CRIS n° 4827

[10] Massimo Forni, Bruno Spadoni, Alberto Dusi, "Calcoli di supporto alla progettazione di un modello in scala ridotta di una struttura sismicamente isolata da sottoporre a prove su tavola vibrante", Rapporto ENEA ET.FAL.00001

## **Bruno Spadoni**

*CAT: Creep & Aging Test machine. E' da poco operativa presso i laboratori di Montecuccolino (BO) una nuova macchina per prove di compressione (5000 kN) di lunga durata su isolatori sismici, realizzata dall'ENEA di Bologna in cooperazione con il LIN.*

Nell'ambito delle attività sull'isolamento sismico effettuate in collaborazione tra ENEA ERG-FISS e Università di Bologna, in particolare con il Laboratorio di Ingegneria Nucleare di Montecuccolino, è stata realizzata una macchina, denominata CAT (Creep & Aging Test), progettata dall'ENEA e finanziata congiuntamente dall'ENEA e dall'Università di Bologna [1].

CAT è stata installata presso il LIN ed è utilizzata per prove statiche di caratterizzazione assiale (misura della rigidità verticale), creep e invecchiamento naturale sotto carico di isolatori sismici. Attraverso l'inserimento di una serie di piastre di interfaccia, è possibile testare contemporaneamente anche più isolatori (del diametro massimo di 850 mm) fino al raggiungimento di un ingombro massimo in altezza di 1900 mm.

L'attrezzatura in oggetto è complementare, per quanto riguarda gli scopi della sperimentazione, alla macchina SISTEM (Seismic ISolator TEst Machine) [2], anch'essa di proprietà e progettazione ENEA, che è operante, già da diversi anni, nei laboratori dell'ISMES di Bergamo. Si tratta sostanzialmente di una pressa (5000 kN) che ha però la peculiarità di mantenere costante il carico applicato anche per lunghi periodi; questo avviene in modo completamente autonomo, senza cioè tenere impegnata la centralina idraulica del laboratorio, che utilizza quasi sempre uno o più motori con potenze elevate. L'elettronica di gestione consente la programmazione di rampe e cicli di applicazione del carico in funzione del tempo.

La costanza del carico è garantita da un sistema a microprocessore che gestisce un motore passo/passo il quale movimentava il torchio generando o ripristinando la pressione nell'attuatore della pressa. La pressione viene rilevata da una cella e visualizzata in tempo reale sul display alfanumerico della consolle di comando e controllo. L'operatore imposta la pressione (cioè il carico applicato) la quale verrà mantenuta costante per il tempo necessario dal sistema e continuamente visualizzata. La pressione impostata può essere modificata dall'operatore durante la prova ed il sistema si adegua con una rampa carico/scarico/tempi. Esiste la possibilità di memorizzare, a campionamento impostabile, le varie grandezze gestite (pressione/tempi) e trasmetterle via seriale RS 232 ad un personal computer.

E' inoltre possibile installare, su di un apposito supporto applicato ai montanti di CAT, un attuatore in grado di applicare un carico orizzontale. In questo modo è possibile effettuare anche prove statiche di compressione e taglio su coppie di isolatori sovrapposti.

Cat dispone infine di due supporti ad L, montati lateralmente, che formano due penisole le quali permettono l'installazione di attuatori snelli con corsa molto grande per l'esecuzione prove equibiassiali e di deformazione piana su provini in gomma [3].

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] Bruno Spadoni, Massimo Forni, "Progettazione e costruzione di CAT (Creep & Aging Test): una macchina per prove di caratterizzazione assiale e creep di appoggi elastomerici", Rapporto ENEA CT.WCG.00030, 1995

[2] Bruno Spadoni, Massimo Forni, "Progettazione e disegno di una macchina per prove statiche e dinamiche mono-, bi- e tri-dirazionali su isolatori sismici", Rapporto ENEA CT.WCG.00006, 1991

[3] Bruno Spadoni, "Realizzazione di attrezzature per l'esecuzione di prove equibiassiali e di deformazione piana su provini in gomma", Rapporto ENEA AT.FAL.00004, 1995