

# Borsa dei Progetti di Ricerca

## Titolo del Programma di Ricerca

Valutazione Sismica e Recupero del Patrimonio in *Adobe*

## Abstract del Programma di Ricerca

In tale progetto si propone lo studio di strutture in terra cruda, una tipologia costruttiva ampiamente diffusa in ambito europeo. In particolare, si vogliono testare due strutture a due piani, la prima finalizzata a rappresentare il comportamento della tradizionale costruzione in *adobe* (mattoni in terra cruda) mentre la seconda adibita alla valutazione dell'efficacia di differenti tecniche di rinforzo, basate sull'uso di fibre naturali. I blocchi in *adobe* sono tra i materiali più antichi e diffusi al mondo, specialmente nei Paesi in via di sviluppo, caratterizzati da un alto rischio sismico come l'America Latina, l'Africa settentrionale e meridionale, l'India, alcune regioni dell'Asia e del Sud d'Europa (De Sensi 2003, Blondet et al. 2003, Taucer e Papanikolaou 2004).

In Europa, Paesi a bassa sismicità come la Francia, la Gran Bretagna, la Svizzera e la Germania hanno registrato, negli ultimi decenni, un forte incremento nella percentuale di costruzioni in terra cruda, guidati da un profondo interesse per l'architettura eco-sostenibile. La scelta di questa tipologia costruttiva è inoltre giustificata dai bassi costi, dalla facile reperibilità dei materiali, dalla richiesta di manodopera non qualificata oltre che dalle buone caratteristiche d'isolamento termico e acustico (Memari e Kauffman 2005). L'impiego di tecniche costruttive inadeguate conduce però alla costruzione di strutture incapaci di resistere ai terremoti. Precedenti ricerche condotte in merito hanno evidenziato l'elevata vulnerabilità sismica degli edifici in *adobe*, dovuta alla scarsa resistenza a trazione del materiale e alla cattiva connessione tra gli elementi resistenti.

Dopo alcuni test condotti nelle Americhe, questo progetto è il primo programma di ricerca europeo dedicato allo studio sperimentale su tavola vibrante del comportamento sismico di strutture in terra cruda, nell'interesse dei milioni di persone che vivono in edifici in *adobe*, molti dei quali sorgono su aree a elevato rischio sismico.

In una fase successiva al completamento dei test sperimentali e sulla base dei risultati ottenuti, verrà proposta una prima bozza di linee Guida europee per la progettazione e il rinforzo di strutture in *adobe*, nuove ed esistenti, site in zone a rischio sismico.

Tale ricerca beneficerà ampiamente della collaborazione con la Pontificia Universidad Católica del Perú, presso la quale, in passato, sono stati svolti test ciclici e dinamici su costruzioni in *adobe* tipicamente peruviane.

## Parole chiave

Ecosostenibilità, materiali naturali, costruzioni in *adobe*, rinforzo sismico, fibre naturali

## Coordinatore Scientifico del Programma di Ricerca

Spacone Enrico Professore Ordinario

ICAR/09 Università degli Studi di Chieti-Pescara Progettazione strutturale e sismica

Tel: 085-4537276

fax: 085-4537255

[espacone@unich.it](mailto:espacone@unich.it)

## **Curriculum scientifico del Coordinatore scientifico**

Enrico Spacone si è laureato in Ingegneria Civile Edile (Università “La Sapienza” di Roma 1987), ha ottenuto il Master in Scienza dell’Ingegneria Civile (1990) e il Ph.D. in Ingegneria Civile presso l’Università di California, Berkeley, USA (1994). Dal 1987 al 1989 è stato Assistente e Ricercatore presso il dipartimento di ingegneria civile del Politecnico Federale di Losanna, Svizzera. Dal 1995 al 2001 è stato Professore (prima Assistente, poi Associato) alla University of Colorado, Boulder, USA e dall'1 Novembre 2001 è Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni presso l'Università "G. D'Annunzio" di Chieti-Pescara. La sua attività scientifica si rivolge ai temi della modellazione nonlineare e delle analisi nonlineari statiche e dinamiche delle strutture in cemento armato, precompresso, acciaio e acciaio-calcestruzzo. Si è interessato di non linearità materiali dell'acciaio e del calcestruzzo, nonché di problemi di scorrimento e sfilamento delle barre di acciaio e dei rinforzi strutturali in FRP. Si interessa inoltre di rinforzo di strutture con materiali innovativi e di algoritmi per prove sperimentali pseudo-dinamiche. Più recentemente, si è interessato della valutazione della vulnerabilità sismica di edifici esistenti in cemento armato ed in muratura storica. Si interessa anche dell'uso di materiali ecosostenibili alle strutture in zona sismica. Il Prof. Spacone ha prodotto numerose pubblicazioni, fra le quali oltre trenta articoli su riviste internazionali. Dal 1995 è stato responsabile scientifico di numerosi programmi di ricerca, prima negli Stati Uniti e ora in Italia. Ha preso parte ed organizzato scambi scientifici, workshops e sessioni a conferenze internazionali con Istituzioni in Europa, Oceania, Asia, e Nord America. E' Associate Editor dell'American Society of Civil Engineers (ASCE) Journal of Structural Engineering. E' revisore per diverse riviste internazionali nel campo dell'ingegneria strutturale. E' membro delle commissioni American Society of Civil Engineers per Methods of Analysis e Seismic Effects. E' membro del comitato scientifico di conferenze internazionali di ingegneria strutturale, ingegneria sismica e dinamica strutturale. E' membro del corpo docente della European School of Earthquake Engineering, Rose School, di Pavia. Fa parte del comitato organizzatore del Master in Ingegneria Antisismica (MIA) dell'Università dell'Aquila.

## **Pubblicazioni scientifiche più significative del Coordinatore scientifico**

- [1] Camata, G., Spacone, E., and Zarnic, R. (2007) “Experimental and Nonlinear Finite Element Studies of RC Beams Strengthened with FRP Plates.” *Composites: Part B*, 38, 277-288.
- [2] Marini, A., and Spacone, E. (2006) “Analysis of R/C Elements Including Shear Effects.” *ACI Structural Journal*, 103(5), 645-655.
- [3] Limkatanyu, S., and Spacone (2006). “Frame Element with Lateral Deformable Supports: Formulations and Numerical Validations.” *Computers and Structures*, 84, 942-954.
- [4] Camata, G., Spacone, E., Al Mahaidi, R., and Saouma, V. (2004). “Analysis of Test Specimens for Cohesive Near-Bond Failure of FRP-Plated Concrete.” *ASCE Journal of Composites for Construction*, 8(6), 528-538.
- [5] Thomsen, H., Spacone, E., Limkatanyu, S., and Camata, G. (2004). “Failure Mode Analyses of Reinforced Concrete Beams Strengthened in Flexure with Externally Bonded Fiber Reinforced Polymers.” *ASCE Journal of Composites for Construction*, 8(2), 123-131.
- [6] Conte, J.P., Barbato, M., and Spacone, E. (2004). “Finite Element Response Sensitivity Analysis Using Force-Based Frame Models.” *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 59, 1781-1820.
- [7] Limkatanyu, S., and Spacone, E. (2003). “Effects of Reinforcement Slippages on Nonlinear Responses of RC Frame Structures under Cyclic Loadings”. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(15), pp. 2407-2424.

- [8] Limkatanyu, S. and Spacone, E. (2002). "R/C Frame Element with Bond Interfaces. Part 1: Displacement-Based, Force-Based and Mixed Formulations." ASCE Journal of Structural Engineering, 128(3), pp. 346-355.
- [9] Limkatanyu, S. and Spacone, E. (2002). "R/C Frame Element with Bond Interfaces. Part 2: Element State Determination and Numerical Validation." ASCE Journal of Structural Engineering, 128(3), pp. 356-364.
- [10] Kwon, M., and Spacone, E. (2002). "Three Dimensional Finite Element Analyses of Reinforced Concrete Columns." Computers and Structures, 80, pp.199-212.
- [11] Aprile, A., Spacone, E., and Limkatanyu, S. (2001). "Role of Bond in Beams Strengthened with Steel and FRP Plates." ASCE Journal of Structural Engineering, 127(12), pp. 1445-1452.
- [12] Coleman, J, and Spacone, E., (2001). "Localization Issues in Nonlinear Force-Based Frame Elements." ASCE Journal of Structural Engineering, 127(11), pp. 1257-1265.
- [13] Salari, M.R., and Spacone, E. (2001). "Analysis of Steel-Concrete Composite Frames with Bond-Slip." ASCE Journal of Structural Engineering, 127(11), pp. 1243-1250.
- [14] Monti, G., and Spacone, E. (2000). "Reinforced Concrete Fiber Beam Element with Bond-Slip." ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 126, No. 6, pp. 654-661.
- [15] Kang, H.D., Willam, K., Shing, B., and Spacone, E. (2000). "Failure Analysis of R/C Columns Using a Triaxial Concrete Model." Computers and Structures, Vol. 77, No.5, pp. 423-440.
- [16] Monti, G., Filippou, F.C., and Spacone, E. (1997). "Finite Element for Anchored Bars under Cyclic Load Reversals." ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 5, pp. 614-623.
- [17] Monti, G., Filippou, F.C., and Spacone, E. (1997). "Analysis of Hysteretic Behavior of Anchored Reinforcing Bars." ACI Structural Journal, Vol. 94, No. 3, pp. 248-261.
- [18] Spacone, E., Ciampi, V., and Filippou, F.C. (1996). "Mixed Formulation of Nonlinear Beam Finite Element." Computers and Structures, Vol. 58, No. 1, pp. 71-83.
- [19] Spacone, E., Filippou, F.C., and Taucer, F.F. (1996). "Fiber Beam-Column Model for Nonlinear Analysis of R/C Frames. I: Formulation." Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 25, N. 7., pp. 711-725.
- [20] Spacone, E., Filippou, F.C., and Taucer, F.F. (1996). "Fiber Beam-Column Model for Nonlinear Analysis of R/C Frames. II: Applications." Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 25, N. 7, pp. 727-742.

## **Elenco dei Componenti del Gruppo di Ricerca**

- 1) **Enrico Spacone (Coordinatore della Ricerca)**  
 Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni  
 Dip. di Progettazione Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche  
 Università di Chieti Pescara  
[espacone@unich.it](mailto:espacone@unich.it)  
 085-4537276
  
- 2) Guido Camata – Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni  
 Dip. di Progettazione Riabilitazione e Controllo delle Strutture Architettoniche  
 Università di Chieti Pescara  
[g.camata@unich.it](mailto:g.camata@unich.it)

- 3) Alessandra Aprile – Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni  
Dipartimento di Ingegneria  
Università di Ferrara  
[prllsn@unife.it](mailto:prllsn@unife.it)
- 4) Alessandra Marini – Ricercatore di Tecnica delle Costruzioni  
DICATA  
Università di Brescia  
[alessandra.marini@ing.unibs.it](mailto:alessandra.marini@ing.unibs.it)
- 5) Paolo Riva – Professore Ordinario di Tecnica delle Costruzioni  
Dipartimento di Progettazione e Tecnologie  
Università di Bergamo  
[paolo.riva@unibg.it](mailto:paolo.riva@unibg.it)
- 6) Monia Perrone – Studentessa di dottorato  
[monia.perrone@unife.it](mailto:monia.perrone@unife.it)
- 7) Nicola Tarque – Studente di dottorato presso la Rose School di Pavia  
[starque@roseschool.it](mailto:starque@roseschool.it)

### **Obiettivi del Programma di Ricerca**

Il progetto di ricerca ha come obiettivo principale quello di valutare il comportamento sismico di strutture in adobe, con e senza rinforzo. A tale scopo, si costruiranno due strutture in adobe in accordo con le specifiche tecniche costruttive reperibili presso il centro abruzzese CedTerra, che da decenni si occupa di costruzioni in terra cruda. I modelli in adobe, opportunamente scalati, saranno testati presso il Laboratorio Nazionale di Ingegneria Civile di Lisbona (LNEC) il quale ha già confermato la propria disponibilità in merito. I materiali costituenti (mattoni e malta) che sono reperibili in situ e che pertanto incideranno in minima parte sui costi e sul tempo necessario alla preparazione dei modelli in scala, saranno analizzati con test di granulometria, composizione e limiti di Attemberg. I mattoni crudi (*adobe*) e i pannelli saranno testati a compressione, semplice e diagonale, al fine di ricavare le principali caratteristiche meccaniche di blocchi e malta.

La prima struttura in adobe sarà testata dinamicamente per osservarne il comportamento sismico mentre la seconda verrà previamente rinforzata con maglie di composito o di fibra naturale, poste su ambo i lati di ciascuna parete e connesse tra loro mediante dei legacci. Anche le proprietà di tali materiali dovranno essere note attraverso delle prove meccaniche. I risultati sperimentali saranno in seguito utilizzati per la calibrazione di modelli numerici finalizzati a simulare la risposta statica e sismica degli edifici in esame.

Tra i principali obiettivi di tale progetto vi è dunque la ricerca di una nuova tecnica di rinforzo che sia efficace nell'impedire, in caso di sisma, il collasso fragile delle strutture in adobe, aumentando così potenzialmente la sicurezza di migliaia di edifici di questo tipo in tutto il mondo. Si tratta di una soluzione innovativa, economicamente accettabile anche nelle zone più povere del mondo e applicabile con semplicissime nozioni di manodopera.

Grazie a questo progetto, sarà possibile conoscere le principali metodologie per la valutazione della sicurezza di edifici esistenti in *adobe* cui seguirà lo sviluppo delle procedure progettuali e di costruzione che al momento sono assenti nel panorama della progettazione e del recupero del

patrimonio esistente in terra cruda e la cui mancanza impedisce di intervenire in modo ecosostenibile su queste strutture costituite da materiali totalmente “naturali”.

Oltre all'importanza per la riduzione del rischio di strutture esistenti, obiettivo parallelo del progetto è quello di promuovere la diffusione in zone sismiche delle costruzioni in *adobe* nuove. Si tratta di una tipologia costruttiva ecosostenibile di lunga tradizione ma anche di grosso potenziale interesse per il futuro (come testimoniano interessantissimi progetti in corso nel nord Europa e negli Stati Uniti) che necessita di linee guida progettuali (soprattutto dal punto di vista strutturale) per poter trovare maggiore diffusione nel sud Europa.