

Borse dei Progetti di Ricerca

Titolo del Programma di Ricerca

Riparazione di murature in pietra danneggiate dal terremoto: controllo di efficacia delle iniezioni mediante indagini non distruttive

Abstract del Programma di Ricerca

I recenti eventi sismici a partire dalla sequenza sismica che ha interessato l'Umbria e le Marche (1997-98), fino al sisma in Abruzzo, hanno messo drammaticamente in evidenza le problematiche di controllo dello stato di conservazione degli edifici storici, ma anche le deficienze delle tecniche di intervento adottate nel recente passato, con danni particolarmente gravi in termini oltre che di vite umane anche di danni alle strutture, ai beni culturali ed alle infrastrutture.

Gli insuccessi, spesso legati alla scarsa informazione sui materiali e sulle tecniche costruttive degli edifici storici, ma anche all'errata scelta ed esecuzione di alcune tecniche di riparazione, hanno posto con forte evidenza la necessità di migliorare le conoscenze relative alla risposta sismica degli edifici storici e la necessità di verificare le tecniche di riparazione, la loro applicabilità e durabilità nei vari contesti tecnologico-costruttivi ed ambientali, sviluppando specifiche prassi metodologiche di controllo.

Il presente progetto si inserisce entro un filone di ricerca condotto presso il DIS - Politecnico di Milano in collaborazione con l'Università di Padova per lo studio del comportamento di murature in pietra, lo sviluppo di tecniche di intervento per la salvaguardia e la messa in sicurezza del patrimonio storico, oltre che alla calibrazione e l'applicazione di tecniche e prassi diagnostiche.

In particolare, verranno studiati i passi metodologici fondamentali per l'iniezione di strutture murarie in pietra, dallo studio preliminare delle murature, alla formulazione di specifiche miscele, al controllo delle fasi applicative di intervento, alla valutazione dell'efficacia con indagini non distruttive. Tale attività si avvarrà, oltre che di una dettagliata sperimentazione di laboratorio, soprattutto di una attività in situ con progetti pilota in alcuni centri storici Abruzzesi danneggiati dal recente sisma, coinvolgendo sia il patrimonio monumentale, che il patrimonio storico diffuso.

Parole chiave

Muratura in pietra, miscele da iniezione, indagini non distruttive, edifici storici, vulnerabilità sismica

Coordinatore Scientifico del Programma di Ricerca

SAISI (Cognome)	Antonella Elide (Nome)	Ricercatore Universitario (Qualifica)
ICAR/19 Restauro (Settore scientifico-disciplinare)	Politecnico di Milano (Università)	DIS - Dipartimento di Ingegneria Strutturale (Dipartimento)
02.23994386 (Prefisso e telefono)	02.23994220 (Numero fax)	saisi@stru.polimi.it (Indirizzo posta elettronica)

Curriculum scientifico del Coordinatore scientifico

Antonella Elide Saisi, laureata in Architettura e Dottore di Ricerca in Ingegneria Sismica presso il Politecnico di Milano, dal 2001 è ricercatore del SSD ICAR/19 - Restauro presso la I Facoltà di Architettura Milano-Leonardo, Politecnico di Milano. Dal 1995 presso la medesima Facoltà è stata Professore a Contratto dei corsi di Consolidamento degli Edifici Storici e Degrado e diagnostica dei Materiali nell'edilizia Storica.

Dall'A.A. 2004-05 tiene il corso di Consolidamento degli Edifici Storici - Indagini e diagnostica strutturale, presso la Scuola di Specializzazione in Beni Architettonici e del Paesaggio.

Dal 2005 è membro nel Collegio dei Docenti del Dottorato di Conservazione dei Beni Architettonici del Politecnico di Milano.

Ha svolto attività di studio e ricerca nell'ambito della Conservazione degli Edifici Storici, con particolare attenzione agli aspetti tecnici, quali lo sviluppo e calibrazione di tecniche di indagine non distruttive applicate alla diagnosi di edifici in muratura, la caratterizzazione dei materiali dell'edilizia storica, lo studio delle tecniche di intervento e riparazione degli edifici in muratura, la valutazione di vulnerabilità di edifici storici, l'ingegneria sismica, le indagini dinamiche di edifici storici e ponti.

Coordinatrice dell'UR del Politecnico di Milano "Analisi della risposta dinamica di edifici storici e ponti a forzanti ambientali per l'individuazione di danneggiamenti e disturbi" nel progetto Cofin 2004 "VINCES - Le vibrazioni nelle costruzioni civili: causa di danno e disturbo, strumento di indagine e valutazione", e del progetto europeo NIKER "New integrated knowledge based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake-induced risk".

Membro delle Commissioni RILEM TC-SAM (Site Assessment of Masonry Structures) e RILEM TC-MSM (Masonry Strengthening with Composite Materials).

Autore o coautore di oltre 130 pubblicazioni scientifiche.

Pubblicazioni scientifiche più significative del Coordinatore scientifico

1. Binda L., Saisi A., Application of NDTs to the diagnosis of Historic Structures, NDTCE 2009, Non-Destructive Testing in Civil Engineering – NDTCE'09, Nantes, France, 30th June- 3rd July 2009, pp. 43-69, 2009.
2. Binda L., Cardani G., Saisi A., A Classification of Structures and Masonries for the Adequate Choice of Repair, Repair Mortars for Historic Masonry, in AAVV Repair Mortars for Historic Masonry, Editor C. Groot, RILEM, pp. 20-34, 2009.
3. Gentile C., Saisi A., Gallino N., Operational Modal Analysis and FE modelling of a masonry tower, IOMAC'09 – 3rd International Operational Modal Analysis Conference, 4th-6th May 2009, pp. 499-506, 2009.
4. Binda L., Lualdi M., Saisi A., Investigation strategies for the diagnosis of historic structures: on the site tests on the Castles of Avio (Italy) and Pisece (Slovenia), Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 35, n. 6, June, pp. 555-566, 2008.
5. Saisi A., Binda L., Cantini L., Tedeschi C., Experimental study on the damaged pillars of the Noto Cathedral, Learning From Failure: Long-Term Behaviour of Heavy Masonry Structures, Series: Advances in Architecture Volume 23, Cap. 5, Witt Press Southampton, Boston, pp. 109-123, 2008.
6. Binda L., Cardani C., Saisi A., Valluzzi M.R., Munari M., Modena C., Multilevel approach to the vulnerability analysis of historic buildings in seismic areas, Part 1: Detection of parameters for vulnerability analysis through on site and laboratory investigations, IJRBM Journal of Restoration Buildings and Monuments, Vol. 13, N. 6, pp. 413-426, 2007.
7. Valluzzi M.R., Munari M., Modena C., Binda L., Cardani C., Saisi A. Multilevel approach to the vulnerability analysis of historic buildings in seismic areas, Part 2: Analytical interpretation of mechanisms for vulnerability analysis and structural improvement, IJRBM J. Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 13, N. 6, pp. 427-441, 2007.
8. Binda L., Lualdi M., Saisi A., Non-Destructive Testing Techniques Applied for Diagnostic Investigation: Syracuse Cathedral in Sicily, Italy, International Journal of Architectural Heritage, Conservation, Analysis, and Restoration, Volume 1 Issue 4, pp. 380-402, 2007.
9. Gentile C., Saisi A., Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment, Construction and Building Materials, n. 21, pp. 1311-1321, 2007.
10. Binda L., Saisi A., Tedeschi C., Chapter 3.4. Compatibility of materials used for repair of masonry buildings: research and applications, in AAVV "Fracture and Failure Natural Building Stones – Applications in the Restoration of Ancient Monuments", Athens, July 2006, Ed. Stavros K. Kourkoulis, Springer, pp. 167-182, 2006.

11. Binda L., Cardani G., Saisi A., Valluzzi M.R., Vulnerability analysis of the historical buildings in seismic area by a multilevel approach, *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*, ISSN: 1563-0854, Vol. 7(4), pp. 343-357, 2006.
12. Binda L., Saisi A., State of the Art of the Research on Historic Structures in Seismic Areas in Italy, *J. Progress in Structural Engineering and Materials (PSE)*, Bashasan, USA, Ed. John Wiley & Sons, Ltd., Vol. 7, Issue n.2, pp. 71-85, 2005.
13. Saisi A., Valluzzi M.R., Binda L., Modena C., Creep Behavior of Brick Masonry Panels Strengthened by the Bed Joints Reinforcement Technique Using CFRP Thin Strips, Creep behaviour of brick masonry panels strengthened by the bed joints reinforcement technique using CFRP thin strips, *IV International Seminar Structural Analysis of Historical Constructions (P. Laurenço, C. Modena, P. Roca Eds.)*, Padova 10th–12th November 2004, Balkema, Vol. 2, pp. 837-846, 2004.
14. Gentile C., Saisi A. Dynamic-based F.E. model updating to evaluate damage in masonry towers, *IV International Seminar Structural Analysis of Historical Constructions (P. Laurenço, C. Modena, P. Roca Eds.)*, Padova 10th –12th November 2004, Balkema, Vol. 1, pp. 439-449, 2004.
15. Binda L., Saisi A., Zanzi, L., Sonic tomography and flat jack tests as complementary investigation procedures for the stone pillars of the temple of S.Nicolo' l'Arena (Italy), *Non Destructive Testing and Evaluation International*, ed. Elsevier Science Ltd., Vol. 36, N. 4, June 2003, pp. 215-227, 2003.
16. Binda L., Saisi A., The collapse and reconstruction of the Noto Cathedral: Importance of the Investigation for the design choice, *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, Vol. 9, n. 4, 2003, pp. 415-434.
17. Binda L., Anzani A., Saisi A., Mirabella Roberti G., Structural Integrity in Historic Structures, in *AA.VV, Comprehensive Structural Integrity. Fracture of Materials from nano to macro, Volume I: Structural Integrity Assessment - Example and Case Studies*, Editors I. Milne, R.O. Ritchie, B. Karihaloo, Pergamon Elsevier Science, Oxford, Vol. 1, Cap. 1.02, pp. 25-47, 2003.
18. Binda L., Saisi A., Tiraboschi C., Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries, *Construction and Building Materials*, ed. Elsevier-Norwich, Vol. 14, n. 4, pp. 199-233, 2000; articolo scelto per essere pubblicato nella raccolta dei più significativi contributi apparsi nelle riviste del gruppo Elsevier nell'anno 2000: *Structural Engineering Compendium I, Elsevier Civil Engineering Compendium*, pp. 321-355, 2002.
19. Binda L., Saisi A., Tiraboschi C., Application of Sonic Tests to the Diagnosis of Damage and Repaired Structures, *Int. Journal Non-Destructive Testing and Evaluation (NDT&E Int.)*, ed. Elsevier Science Ltd., Oxford, Vol. 34 n. 2, pp. 123-138, 2001.
20. Binda L., Lenzi G., Saisi A., NDE of masonry structures: use of radar test for the characterisation of stone masonries, *Non Destructive Testing and Evaluation International*, ed. Elsevier Science Ltd., Oxford, Vol. 31, N. 6, November, pp. 411-419, 1998.

Elenco dei Componenti del Gruppo di Ricerca

1)	VALLUZZI (Cognome) ICAR/19 Restauro (Settore scientifico-disciplinare) 049.8275576 (Prefisso e telefono)	Maria Rosa (Nome) Università degli Studi di Padova (Università) 049.8275576 (Numero fax)	Ricercatore Universitario (Qualifica) Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento (Dipartimento) mariarosa.valluzzi@unipd.it (Indirizzo posta elettronica)
2)	BINDA (Cognome) ICAR/19 Restauro (Settore scientifico-disciplinare) 02.23994318 (Prefisso e telefono)	Luigia (Nome) Politecnico di Milano (Università) 02.23994220 (Numero fax)	Professore Ordinario (Qualifica) DIS - Dipartimento di Ingegneria Strutturale (Dipartimento) binda@stru.polimi.it (Indirizzo posta elettronica)

- | | | | |
|----|---|--|---|
| 3) | CARDANI
(Cognome)
ICAR/19 Restauro

(Settore scientifico-disciplinare)
02.23994204
(Prefisso e telefono) | Giuliana
(Nome)
Politecnico di Milano

(Università)
02.23994220
(Numero fax) | Ricercatore Universitario
(Qualifica)
DIS - Dipartimento di Ingegneria
Strutturale
(Dipartimento)
cardani@stru.polimi.it
(Indirizzo posta elettronica) |
| 4) | CONDOLEO
(Cognome)
ICAR/19 Restauro

(Settore scientifico-disciplinare)
02.23994294
(Prefisso e telefono) | Paola
(Nome)
Politecnico di Milano

(Università)
02.23994220
(Numero fax) | Ricercatore Universitario
(Qualifica)
DIS - Dipartimento di Ingegneria
Strutturale
(Dipartimento)
condoleo@stru.polimi.it
(Indirizzo posta elettronica) |
| 5) | TEDESCHI
(Cognome)
ICAR/19 Restauro

(Settore scientifico-disciplinare)
02.23994256
(Prefisso e telefono) | Cristina
(Nome)
Politecnico di Milano

(Università)
02.23994220
(Numero fax) | Ricercatore Universitario
(Qualifica)
DIS - Dipartimento di Ingegneria
Strutturale
(Dipartimento)
tedeschi@stru.polimi.it
(Indirizzo posta elettronica) |
| 6) | CANTINI
(Cognome)
ICAR/19 Restauro

(Settore scientifico-disciplinare)
02.23994363
(Prefisso e telefono) | Lorenzo
(Nome)
Politecnico di Milano

(Università)
02.23994220
(Numero fax) | Dottorando
(Qualifica)
DIS - Dipartimento di Ingegneria
Strutturale
(Dipartimento)
cantini@stru.polimi.it
(Indirizzo posta elettronica) |
| 7) | GOBBO
(Cognome)
ICAR/19 Restauro

(Settore scientifico-disciplinare)
02.23994363
(Prefisso e telefono) | Antonia
(Nome)
Politecnico di Milano

(Università)
02.23994220
(Numero fax) | Dottorando
(Qualifica)
DIS - Dipartimento di Ingegneria
Strutturale
(Dipartimento)
antonia.gobbo@tiscali.it
(Indirizzo posta elettronica) |

Obiettivi del Programma di Ricerca

Frequentemente le ricerche riguardanti le tecniche di riparazione degli elementi murari si limitano da una parte alla formulazione di un singolo materiale, dall'altra alla valutazione della sua efficienza nell'incremento di resistenza meccanica, definendo modalità empiriche di applicazione, senza sviluppare specifiche strategie di ottimizzazione e controllo dell'intervento.

Rimangono aperti diversi problemi di rilevanza pratica: le specifiche di danno a cui è indirizzata la tecnica, le caratteristiche delle strutture murarie esistenti, l'effettiva applicabilità della tecnica di riparazione, la compatibilità dei nuovi materiali con quelli esistenti, il controllo della corretta applicazione, le tecniche e la strumentazione per la diagnosi, la durabilità del nuovo materiale composito, la previsione ed i parametri rappresentativi, le strategie di manutenzione.

La ricerca si inquadra in questo contesto, con ricadute culturali ed operative immediate, per chiarire i precedenti punti nello sviluppo di prassi operative e tecniche di indagine per la riparazione della muratura tramite iniezione e controllo dell'intervento.

L'articolazione delle varie fasi prevede:

- la selezione di pannelli in edifici danneggiati in Abruzzo, ritenuti casi significativi
- la valutazione della loro iniettabilità, con prove di caratterizzazione in situ ed in laboratorio
- la formulazione di specifiche miscele da iniezione ed applicazione
- la calibrazione e l'applicazione di varie tecniche diagnostiche, tradizionali ed innovative, non distruttive (prove radar, soniche, dinamiche, ecc.), leggermente distruttive e distruttive (prove di taglio su pannelli).

La razionalizzazione dei passi operativi sfocerà nella stesura di articolate Linee Guida per la riparazione tramite iniezioni di strutture in muratura danneggiate, considerando vari livelli di approfondimento diagnostico - monumenti o tessuto storico diffuso - anche nel quadro dei parametri richiesti nelle procedure analitiche della normativa sismica.