

Viene infine affrontato il ruolo dei test in laboratorio e l'auspicabile ricorso a sistemi di monitoraggio avanzati, intesi come strumenti di conoscenza capaci di diffondere una maggiore consapevolezza nei confronti del rischio.

Il progetto SISMI è improntato al dialogo tra le differenti discipline che necessariamente collaborano a una nuova *cultura del rischio*, intesa come interazione tra sicurezza delle strutture, continuità di significati storici e culturali e prospettive socio-economiche, conformando in questo modo la resilienza delle comunità locali.

Lucina Caravaggi è professore ordinario di Architettura del Paesaggio del DIAP-Dipartimento Architettura e Progetto, Sapienza Università di Roma e membro del Collegio del Dottorato di Ricerca in Paesaggio e Ambiente. Tra le sue ultime pubblicazioni: L. Caravaggi, O. Carpenzano, *Roma in movimento. Pontili per collegare territori sconnessi*, Quodlibet, Macerata 2019.

ISBN 978-88-229-0557-4



9 788822 905574

euro 32,00

PROGETTO SISMI-DTC LAZIO
CONOSCENZE E INNOVAZIONI PER LA RICOSTRUZIONE E IL
MIGLIORAMENTO SISMICO DEI CENTRI STORICI DEL LAZIO

QS

a cura di Lucina Caravaggi

PROGETTO SISMI-DTC LAZIO

CONOSCENZE E INNOVAZIONI PER LA RICOSTRUZIONE E IL MIGLIORAMENTO SISMICO DEI CENTRI STORICI DEL LAZIO

a cura di **Lucina Caravaggi**

QUODLIBET STUDIO CITTA' E PAESAGGIO

Negli ultimi cinquant'anni in Italia gli eventi sismici con magnitudo maggiore o uguale a 5.8 sono stati 18, otto dei quali con caratteri catastrofici. Il sisma che ha colpito il Centro Italia nel 2016 ha dimostrato ancora una volta che gli effetti dei terremoti sono particolarmente drammatici nelle *aree interne* del paese, già segnate da processi di spopolamento e abbandono. Su questo sfondo, il progetto SISMI-Tecnologie per il miglioramento della Sicurezza e la ricostruzione dei centri Storici in area sisMIca – promosso dalla Regione Lazio all'interno del Centro di Eccellenza DTC Lazio – muove dalle esperienze che molti laboratori universitari e centri di ricerca del Lazio hanno avviato a supporto della ricostruzione ma, nello stesso tempo, propone una riflessione mirata al *governo del rischio*, all'avvio cioè di campagne di interventi diffusi di prevenzione e miglioramento sismico. In questa direzione il progetto SISMI propone in primo luogo una rassegna di modi e strumenti avanzati per la conoscenza condivisa dei centri storici finalizzata a valutarne il grado di vulnerabilità, riferita sia alle strutture costruite che alle fragilità socio-economiche; a questo segue la disamina dei diversi strumenti necessari alla valutazione dei livelli pericolosità sismica locale. In secondo luogo si propone una disamina critica delle differenti possibilità di miglioramento sismico, e la sperimentazione in corso in merito a tecnologie e materiali innovativi.

Quodlibet Studio

Città e paesaggio. Album

Progetto SISMI-DTC Lazio

Conoscenze e
innovazioni per la
ricostruzione e il
miglioramento sismico
dei centri storici
del Lazio

a cura di
Lucina Caravaggi

Prima edizione: xxxx 2020
© 2020 Quodlibet srl
via Giuseppe e Bartolomeo Mozzi, 23
62100 Macerata
www.quodlibet.it
Stampa: xxxxxxxxxxxx
ISBN 978-88-229-0557-4

Quodlibet Studio. Città e paesaggio
Collana a cura di Manuel Orazi

Comitato scientifico:
Sara Marini (Università Iuav di Venezia)
Gabriele Mastrigli (Università degli Studi di Camerino)
Stefano Catucci (Sapienza Università di Roma)
Luca Emanuelli (Università degli Studi di Ferrara)

Progetto grafico dell'interno: 46xy
Progetto grafico della copertina: Francesco Nicoletti

Volume realizzato con il contributo del
DiAP Dipartimento di Architettura e Progetto
Sapienza Università di Roma

GRUPPI DI RICERCA

I numeri in apice indicano l'ente/dipartimento/istituto di appartenenza
(vedi elenco)

I. VULNERABILITÀ SISMICA

Responsabile: Heleni Profyriou⁹

La Carta del Rischio per i centri storici.

Conoscenza e gestione del patrimonio storico applicate a due centri laziali

Responsabile: Donatella Fiorani³

Gruppo di ricerca: Carlo Cacace²⁴, Maria Elena Corrado²⁴, Antonella Negri²³, Maria Letizia Mancinelli²³, Marta Acierno³, Silvia Cutarelli³, Adalgisa Donatelli³, Annarita Martello³

Sistema di conoscenze dirette e indirette per la rappresentazione 3D dell'edificato storico. Il caso studio di Cornillo Nuovo

Responsabile: Daniela Esposito³

Gruppo di ricerca: Marco Canciani¹⁷, Daniela Concas³, Fabrizio De Cesaris³, Antonio Mirandola³, Mauro Saccone¹⁷, Giulia Catalani³, Francesca Romana Calandrelli³, Daniela Cotugno³.

Conoscenza dei sistemi costruttivi locali per interventi di conservazione, miglioramento e messa in sicurezza di centri storici e singoli edifici a rischio sismico. Il caso studio di Leonessa

Responsabile: Michele Zampilli¹⁷

Gruppo di ricerca: Marianna Larovere¹⁷, Lea Fanny Pani¹⁷, Marco Canciani¹⁷, Mauro Saccone¹⁷, Marco D'Angelico¹⁷

La resilienza territoriale: condizioni di partenza e progetti di innovazione per le aree interne del Lazio e Profili di vulnerabilità territoriale

Responsabile: Cristina Imbroglini¹

Gruppo di ricerca: Ettore Guerriero¹

La resilienza comunitaria: cornice concettuale e strumenti di misura

Responsabile: Marino Bonaiuto²

Gruppo di ricerca: Silvia Ariccio²

L'architettura per ricominciare

Responsabile: Orazio Carpenzano¹

Gruppo di ricerca: Fabio Balducci¹

PlaceMaker. Ricostruzione dell'identità urbana nei luoghi colpiti dal sisma e Letteratura scientifica internazionale sui temi del sisma. Nota sintetica

Responsabile: Paola Brunori¹⁷, Heleni Profyriou⁹, Marichela Sepe¹⁰

2. PERICOLOSITÀ SISMICA

Responsabile: Luigi Callisto⁵

Definizione delle azioni sismiche di base

Responsabile: Salomon Hailemikael¹⁶, Guido Martini¹⁶, Salvatore Paolini¹⁶

Modellazione numerica tridimensionale della risposta sismica dell'abitato di Amatrice

Responsabile: Massimiliano Moscatelli¹¹

Gruppo di ricerca: Iolanda Gaudiosi¹¹, Roberto Razzano¹¹, Giuseppe Lanzo⁵, Luigi Callisto⁵

Modellazione numerica bidimensionale della risposta sismica nel comune di Accumoli

Responsabile: Gabriele Scarascia Mugnozza⁷

Gruppo di ricerca: Patrizia Caprari⁷, Gian Marco Marmoni⁷, Guido Martini¹⁶, Salvatore Martino⁷, Stefano Rivellino⁷

Scenari di rischio dell'interazione tra spostamenti indotti da fenomeni franosi e rete viaria

Responsabile: Gabriele Scarascia Mugnozza⁷

Gruppo di ricerca: Patrizia Caprari⁷, Carlo Esposito⁷, M. Ferrarotti, Gian Marco Marmoni⁷, Guido Martini¹⁶, Salvatore Martino⁷

3. METODOLOGIE PER IL MIGLIORAMENTO SISMICO

Responsabile: Franco Bontempi⁵, Gianmarco de Felice¹⁸

Metodologia per la definizione degli interventi alla scala territoriale e urbana

Responsabile: Luigi Sorrentino⁵

Gruppo di ricerca: Silvia Perobelli, Alessandra Marotta

Metodologia per la definizione degli interventi a livello di aggregato edilizio e del singolo edificio

Responsabile: Maura Imbimbo²⁰, Daniela Addressi⁵, Marialaura Malena¹⁸

Gruppo di ricerca: Marco Canciani¹⁷, Valentina Cima²⁰, Cristina Gatta⁵, Francesca Gobbin¹⁸, Ernesto Grande²⁵, Assunta Pelliccio²¹, Marco Saccucci²⁰, Marialuigia Sangirardi¹⁸

Metodologia e criteri di intervento a livello di aggregato edilizio

Responsabile: Gianmarco de Felice¹⁸

Gruppo di ricerca: Marialuigia Sangirardi¹⁸, Francesca Gobbin¹⁸

Metodologia e criteri di intervento alla scala di oggetti in musei, luoghi di culto, edifici strategici

Responsabile: Gerardo De Canio¹⁶

Gruppo di ricerca: Ivan Roselli¹⁶, Vincenzo Fioriti¹⁶, Sara Forliti¹⁶, Angelo Tati¹⁶

4. METODOLOGIE INNOVATIVE E SMART MATERIALS PER IL RIPRISTINO, IL RESTAURO E IL RECUPERO

Responsabile: Maria Laura Santarelli⁶

Conoscenza e comparazione ante e post-sisma attraverso elaborazioni da telerilevamento e GIS

Responsabile: Lorenza Fiumi¹⁵

Gruppo di ricerca: Dario Gallo¹⁵, Cinzia Crenca¹⁵, Carlo Meoni¹⁵

Valutazione della vulnerabilità sismica attraverso l'integrazione di tecniche tradizionali e sistemi BIM

Responsabile: Elena Gigliarelli¹²

Gruppo di ricerca: Luciano Cessari¹², Giovanni Cangì¹², Filippo Calcerano¹², Letizia Martinelli¹², Leo Lorenzi¹², Luigi Caligiuri¹², Sara Aoun¹²

Smart materials per l'efficiamento e il ripristino delle superfici storiche

Responsabile: Maria Laura Santarelli⁶

Gruppo di ricerca: Gabriella Bretti¹⁴, Roberto Natalini¹⁴, Barbara de Filippo¹⁴, Maurizio Ceseri¹⁴, Mohammad Sharbaf⁶, Andrea Brotzu⁶, Stefano Natali⁶

Il legno come smart material nei manufatti soggetti a trauma sismico

Responsabile: Manuela Romagnoli⁸

Gruppo di ricerca: Francesco Marini⁸, Florian Zikeli⁸, Rosaria Caira⁸, Swati Tamantini⁸

Smart materials per la conservazione affidabile ed il ripristino delle proprietà di manufatti metallici e lapidei artificiali

Responsabile: Gabriella Di Carlo¹³

Gruppo di ricerca: Camilla Tennenini¹³, Maria Paola Staccioli¹³, Luca Tortora²², Maria Laura Santarelli⁶

Materiali compositi innovativi per il miglioramento sismico del patrimonio edilizio

Responsabile: Maura Imbimbo²⁰, Sonia Marfia¹⁸, Stefano De Santis¹⁸

Gruppo di ricerca: Martina Stavole²⁰, Ernesto Grande²⁵, Gianmarco de Felice¹⁸, Francesca Roscini¹⁸

5. TEST DI VERIFICA SISMICA SU TECNOLOGIE E MATERIALI

Responsabile: Gerardo De Canio¹⁶

Analisi delle caratteristiche delle murature di alcuni centri storici del cratere sismico del Lazio finalizzata ai test di verifica

Responsabile: Domenico Liberatore⁵

Gruppo di ricerca: Omar AlShawa, Silvia Perobelli, Luigi Sorrentino⁵

Risultati dei test di verifica sperimentali

Responsabile: Gerardo De Canio¹⁶

Gruppo di ricerca: Alessandro Colucci¹⁶, Vincenzo Fioriti¹⁶, Sara Forliti¹⁶, Ivan Roselli¹⁶, Alessandro Picca¹⁶, Angelo Tati¹⁶

6. MONITORAGGIO STRUTTURALE SOSTENIBILE

Responsabile: Achille Paolone⁵

Monitoraggio dinamico. Il caso del Tempio di Minerva Medica in Roma

Responsabile: Achille Paolone⁵, Ivan Roselli¹⁶, Silvia Santini¹⁷

Gruppo di ricerca: Carlo Baggio¹⁷, Jacopo Ciambella⁵, Alessandro Colucci¹⁶, Gerardo De Canio¹⁶, Vincenzo Fioriti¹⁶, Ivan Roselli¹⁶, Angelo Tati¹⁶, Sara Forliti¹⁶, Valerio Sabbatini¹⁷, Fernando Saitta¹⁶, Silvia Santini¹⁷, Claudio Sebastiani¹⁷

Monitoraggio strutturale con sensori di deformazione a base grafene

Responsabile: Alessio Tamburrano⁴

Gruppo di ricerca: Irene Bellagamba⁴, Jacopo Ciambella⁵

UNIVERSITÀ, DIPARTIMENTI E ISTITUTI DI RICERCA

Sapienza, Università di Roma (RM1)

¹DiAP - Dipartimento di Architettura e Progetto

²CIRPA - Centro Interuniversitario di Ricerca in Psicologia Ambientale

³DSDRA - Dipartimento di Storia Disegno e Restauro dell'Architettura

⁴CNIS-DIAEE - Centro di Ricerca per le Nanotecnologie Applicate all'Ingegneria (Dipartimento di Ingegneria

Astronautica, Elettrica ed Energetica)

⁵DISG - Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica

⁶CISTEC-DICMA - Centro di ricerca in Scienza e tecnica per la conservazione del patrimonio storico architettonico (Dipartimento Ingegneria Chimica Materiali Ambiente)

⁷DST- Dipartimento di Scienze della Terra

Università della Tuscia

⁸Dipartimento per l'Innovazione dei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali DIBAF - WOODINCULT

CNR

⁹DSU - Dipartimento Scienze Umane e Sociali, Patrimonio Culturale

¹⁰ISMed - Istituto di Studi sul Mediterraneo

¹¹IGAG - Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria

¹²ISPC - Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale

¹³SMN - Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati

¹⁴IAC - Istituto per le Applicazioni del Calcolo "M. Picone"

¹⁵INM - Istituto Ingegneria del Mare

ENEA

¹⁶SSPT - Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali

Università degli Studi Roma Tre (RM3)

¹⁷Dipartimento di Architettura

¹⁸Dipartimento di Ingegneria

¹⁹Dipartimento di Scienze

Università di Cassino

²⁰DICEM - Dipartimento di Ingegneria Civile e Meccanica

²¹DLF - Dipartimento di Lettere e Filosofia

²²INFN, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Istituti del MiBACT

²³Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione

²⁴Istituto Centrale per il Restauro

Università degli Studi Guglielmo Marconi

²⁵Dipartimento di Ingegneria della Sostenibilità, Università degli Studi Guglielmo Marconi



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Indice

- 10** La Regione Lazio al fianco del Progetto SISMI-DTC Lazio
Paolo Orneli, Claudio Di Bernardino
- 12** Il DTC Lazio, nel territorio e per il territorio
Maria Sabrina Sarto
- 14** Progetto SISMI-DTC Lazio. Conoscenze e innovazioni per la ricostruzione e il miglioramento sismico dei centri storici del Lazio
Lucina Caravaggi
- 27** English abstract
- Parte prima**
Vulnerabilità sismica
- 34** Introduzione
Heleni Porfyriou
- 38** La *Carta del Rischio* per i centri storici. Conoscenza e gestione del patrimonio storico applicate a due centri laziali
Donatella Fiorani, Annarita Martello, Silvia Cutarelli, Adalgisa Donatelli
- 44** Sistema di conoscenze dirette e indirette per la rappresentazione 3D dell'edificato storico. Il caso studio di Cornillo Nuovo
Daniela Esposito, Marco Canciani, Daniela Concas, Fabrizio De Cesaris, Antonio Mirandola, Mauro Saccone
- 52** Conoscenza dei sistemi costruttivi locali per interventi di conservazione, miglioramento e messa in sicurezza di centri storici e singoli edifici a rischio sismico. Il caso studio di Leonessa
Michele Zampilli, Marianna Larovere, Lea Fanny Pani
- 60** La resilienza territoriale. Condizioni di partenza e progetti di innovazione per le aree interne del Lazio
Cristina Imbroglini
- 68** Profili di vulnerabilità territoriale
Ettore Guerriero
- 78** La resilienza comunitaria. Cornice concettuale e strumenti di misura
Marino Bonaiuto, Silvia Ariccio
- 86** L'architettura per ricominciare
Orazio Carpenzano, Fabio Balducci

- 94** PlaceMaker: Ricostruzione dell'identità urbana nei luoghi colpiti dal sisma
Marichela Sepe
- 98** Letteratura scientifica internazionale sui temi del sisma. Nota sintetica
Paola Brunori
- 100** English abstracts

Parte seconda
Pericolosità sismica

- 106** Introduzione
Luigi Callisto
- 110** Definizione delle azioni sismiche di base
Salomon Hailemikael, Guido Martini, Salvatore Paolini
- 114** Modellazione numerica tridimensionale della risposta sismica dell'abitato di Amatrice
Massimiliano Moscatelli, Iolanda Gaudiosi, Roberto Razzano, Giuseppe Lanzo, Luigi Callisto
- 120** Modellazione numerica bidimensionale della risposta sismica nel comune di Accumoli
Patrizia Caprari, Gian Marco Marmoni, Guido Martini, Salvatore Martino, Stefano Rivellino, Gabriele Scarascia Mugnozza
- 126** Scenari di rischio dell'interazione tra spostamenti indotti da fenomeni franosi e rete viaria
Patrizia Caprari, Carlo Esposito, M. Ferrarotti, Gian Marco Marmoni, Guido Martini, Salvatore Martino, Gabriele Scarascia Mugnozza
- 132** English abstracts

Parte terza
Metodologie per il miglioramento sismico

- 136** Introduzione
Gianmarco de Felice
- 140** Metodologia per la definizione degli interventi alla scala territoriale e urbana
Luigi Sorrentino, Silvia Perobelli, Alessandra Marotta
- 148** Metodologia per la definizione degli interventi a livello di aggregato edilizio e del singolo edificio
Daniela Addessi, Maura Imbimbo, Marialaura Malena, Marco Canciani, Valentina Cima, Cristina Gatta, Francesca Gobbin, Ernesto Grande, Assunta Pelliccio, Marco Saccucci, Marialuigia Sangirardi

- 156** Metodologia e criteri di intervento a livello di aggregato edilizio
Gianmarco de Felice, Francesca Gobbin, Marialuigia Sangirardi
- 162** Metodologia e criteri di intervento alla scala di oggetti in musei, luoghi di culto, edifici strategici
Gerardo De Canio, Ivan Rosselli, Vincenzo Fioriti, Sara Forliti, Angelo Tati
- 170** English abstracts

Parte quarta

Metodologie innovative e smart materials per il ripristino, il restauro e il recupero

- 176** Introduzione
Maria Laura Santarelli
- 180** Conoscenza e comparazione ante e post-sisma attraverso elaborazioni da telerilevamento e GIS
Lorenza Fiumi, Dario Gallo, Cinzia Crenca
- 186** Valutazione della vulnerabilità sismica attraverso l'integrazione di tecniche tradizionali e sistemi BIM
Elena Gigliarelli, Luciano Cessari, Filippo Calcerano, Letizia Martinelli
- 194** *Smart materials* per l'efficientamento e il ripristino delle superfici storiche
Gabriella Bretti, Roberto Natalini, Barbara de Filippo, Maurizio Ceseri, Maria Laura Santarelli, Mohammad Sharbaf, Andrea Brotzu, Stefano Natali
- 198** Il legno come *smart material* nei manufatti soggetti a trauma sismico
Manuela Romagnoli, Francesco Marini
- 204** *Smart materials* per la conservazione affidabile ed il ripristino delle proprietà di manufatti metallici e lapidei artificiali
Gabriella Di Carlo, Camilla Tennenini, Maria Paola Staccioli, Luca Tortora, Maria Laura Santarelli
- 208** Materiali compositi innovativi per il miglioramento sismico del patrimonio edilizio
Stefano De Santis, Maura Imbimbo, Sonia Marfia, Gianmarco de Felice, Ernesto Grande, Martina Stavole
- 214** English abstracts

Parte quinta
est di verifica sismica su tecnologie e materiali

- 220** Introduzione
Gerardo De Canio
- 224** Analisi delle caratteristiche delle murature di alcuni centri storici del cratere sismico del Lazio finalizzata ai test di verifica
Domenico Liberatore, Omar AlShawa, Silvia Perobelli, Luigi Sorrentino
- 232** Risultati dei test di verifica sperimentali
Gerardo De Canio, Alessandro Colucci, Vincenzo Fioriti, Sara Forliti, Ivan Roselli, Alessandro Picca, Angelo Tati
- 238** English abstracts

Parte sesta
Monitoraggio strutturale sostenibile

- 242** Introduzione
Jacopo Ciambella, Vincenzo Gattulli, Egidio Lofrano, Achille Paolone
- 246** Monitoraggio dinamico. Il caso del Tempio di Minerva Medica in Roma
Jacopo Ciambella, Achille Paolone, Carlo Baggio, Alessandro Colucci, Gerardo De Canio, Vincenzo Fioriti, Ivan Roselli, Sara Forliti, Angelo Tati, Valerio Sabbatini, Fernando Saitta, Silvia Santini, Claudio Sebastiani
- 254** Monitoraggio strutturale con sensori di deformazione a base grafene
Alessio Tamburrano, Irene Bellagamba, Jacopo Ciambella
- 262** English abstracts