



# XVII Convegno ANIDIS

## L'INGEGNERIA SISMICA IN ITALIA

PISTOIA, 17-21 Settembre 2017



UNIVERSITÀ DI PISA



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE



ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI PISTOIA



PISA  
UNIVERSITY  
PRESS

Associazione nazionale italiana di ingegneria sismica

Atti del XVII convegno ANIDIS "L'ingegneria sismica in Italia" : Pistoia, 17-21 settembre 2017 / a cura di Franco Braga, Walter Salvatore, Andrea Vignoli ; con la collaborazione di Andrea Borghini ... [et al.]. - Pisa : Pisa university press, 2017

624.1762 (22)

I. Braga, Franco II. Salvatore, Walter III. Vignoli, Andrea IV. Borghini, Andrea 1. Costruzioni antisismiche - Congressi

CIP a cura del Sistema bibliotecario dell'Università di Pisa

**UPI**

**UNIVERSITY  
PRESS ITALIANE**

Membro del Coordinamento  
delle University Press Italiane

© Copyright 2017 by Pisa University Press srl  
Società con socio unico Università di Pisa  
Capitale Sociale € 20.000,00 i.v. - Partita IVA 02047370503  
Sede legale: Lungarno Pacinotti 43/44 - 56126 Pisa  
Tel. + 39 050 2212056 - Fax + 39 050 2212945  
press@unipi.it  
www.pisauniversitypress.it

ISBN 978-886741-8541  
ISSN 2532-120X

impaginazione: Ellissi

L'Editore resta a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare, per le eventuali omissioni o richieste di soggetti o enti che possano vantare dimostrati diritti sulle immagini riprodotte.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi - Centro Licenze e Autorizzazione per le Riproduzioni Editoriali - Corso di Porta Romana, 108 - 20122 Milano - Tel. (+39) 02 89280804 - E-mail: info@clearedi.org - Sito web: www.clearedi.org



**Atti del**  
**XVII CONVEGNO ANIDIS “L’Ingegneria Sismica in Italia”**

**A cura di**  
**Franco Braga, Walter Salvatore, Andrea Vignoli**  
**Con la collaborazione di**  
**Andrea Borghini, Sonia Boschi, Silvia Caprili, Francesco Morelli**

**Un evento organizzato in collaborazione da**



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE



**Pistoia, 17-21 Settembre 2017**

**PISA**  
UNIVERSITY  
PRESS

## COMITATO D'ONORE

- Dott. Ing. M. Sessa, Presidente del Consiglio Superiore dei LL.PP.
- Dott. A. Borrelli, Capo del Dipartimento di Protezione Civile
- Dott. E. Rossi, Presidente della Regione Toscana
- Prof. Ing. G. Manfredi, Presidente Conferenza dei Rettori delle Università Italiane
- Prof. L. Dei, Rettore dell'Università di Firenze
- Prof. P.M. Mancarella, Rettore dell'Università di Pisa
- Dott. Arch. M.L. Conti, Provveditore alle OO.PP. Toscana, Marche e Umbria
- Dott.ssa F. Fratoni, Assessore Ambiente e Difesa del Suolo, Regione Toscana
- Dott. A. Tomasi, Sindaco della Città di Pistoia
- Dott. R. Vanni, Presidente della Provincia di Pistoia
- Dott. Ing. A. Zambrano, Presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri
- Dott. Arch. G. Capocchin, Presidente del Consiglio Nazionale degli Architetti
- Dott. F. Peduto, Presidente del Consiglio Nazionale dei Geologi

## COMITATO SCIENTIFICO

- Franco Braga, Sapienza Università di Roma, Presidente
- Stefano Bennati, Università di Pisa
- Luigi Biolzi, Politecnico di Milano
- Antonio Borri, Università degli Studi di Perugia
- Alberto Burghignoli, Sapienza Università di Roma
- Luigi Callisto, Sapienza Università di Roma
- Michele Calvi, IUSS-Pavia
- Giovanni Cardinale, Consigliere CNI
- Carlo Andrea Castiglioni, Politecnico di Milano
- Ario Ceccotti, IUAV Venezia
- Edoardo Cosenza, Università degli Studi di Napoli Federico II
- Andrea Dall'Asta, Università di Camerino
- Antonello De Luca, Università degli Studi di Napoli Federico II
- Guido De Roeck, University of Leuven
- Mauro Dolce, Dipartimento di Protezione Civile
- Ahmed Elghazouli, Imperial College London
- Maurizio Ferrini, Direttivo ANIDIS
- Giuseppe Andrea Ferro, Politecnico di Torino
- Andrè Filiatrault, University at Buffalo
- Massimo Fragiaco, Università degli Studi dell'Aquila
- Franco Gallori, Regione Toscana
- Rosario Gigliotti, Sapienza Università di Roma
- Iunio Iervolino, Università degli Studi di Napoli Federico II
- Sergio Lagomarsino, Università degli Studi di Genova
- Raffaele Landolfo, Università degli Studi di Napoli Federico II
- Domenico Liberatore, Sapienza Università di Roma
- Massimo Losa, Università di Pisa
- Massimiliano Lucchesi, Università degli Studi di Firenze

- Guido Magenes, Università di Pavia
- Angelo Masi, Università degli Studi della Basilicata
- Mauro Mezzina, Politecnico di Bari
- Claudio Modena, Università degli Studi di Padova
- Giorgio Monti, Sapienza Università di Roma
- Camillo Nuti, Università degli Studi Roma III
- Antonio Occhiuzzi, Direttore ITC, CNR
- Stefano Pampanin, Sapienza Università di Roma
- Maurizio Papia, Università di Palermo
- Maria Rosaria Pecce, Università degli Studi del Sannio
- Maurizio Piazza, Università degli studi di Trento
- Vincenzo Piluso, Università degli Studi di Salerno
- Kyriazis Pitilakis, Aristotle University of Thessaloniki
- Andrea Prota, Università degli Studi di Napoli Federico II
- Emanuele Renzi, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
- Walter Salvatore, Università di Pisa
- Marco Savoia, Università di Bologna
- Giuseppe Scarpelli, Università Politecnica delle Marche
- Luigi Sorrentino, Sapienza Università di Roma,
- Enrico Spacone, Università degli Studi G. D'Annunzio Chieti-Pescara
- Paolo Spinelli, Università degli Studi di Firenze
- Antonio Tralli, Università degli Studi di Ferrara
- Dimitrios Vamvatsikos, National Technical University of Athens
- Ivo Vanzi, Università degli Studi G. D'Annunzio, Chieti-Pescara
- Andrea Vignoli, Università degli Studi di Firenze
- Riccardo Zandonini, Università degli Studi di Trento

## **COMITATO ORGANIZZATORE**

- Walter Salvatore, Università di Pisa (Presidente)
- Andrea Vignoli, Università degli Studi di Firenze (Presidente)
- Mirko Bianconi, Presidente Ordine degli Ingegneri di Pistoia
- Alessandro Baldi, Ordine degli Ingegneri di Pistoia
- Micheli Betti, Università degli Studi di Firenze
- Andrea Borghini, Università degli Studi di Firenze
- Sonia Boschi, Università degli Studi di Firenze
- Silvia Caprili, Università di Pisa
- Anna De Falco, Università di Pisa
- Gloria Terenzi, Università degli Studi di Firenze
- Johann Antonio Facciorusso, Università degli Studi di Firenze
- Francesco Morelli, Università di Pisa
- Nicola Mussini, Università di Pisa
- Nunziante Squeglia, Università di Pisa
- Marco Faggella, Sapienza Università di Roma
- Andrea Melani, Ordine degli Ingegneri di Pistoia
- Massimiliano Begliomini, Ordine degli Ingegneri di Pistoia

## **COMITATO ORGANIZZATORE DEI SEMINARI DI AGGIORNAMENTO PROFESSIONALE**

- Alessandro Baldi, Ordine Ingegneri di Pistoia
- Mirko Bianconi, Presidente Ordine degli Ingegneri di Pistoia
- Marco Bartoloni, Presidente Federazione Ordine Ingegneri della Toscana
- Walter Salvatore, Università di Pisa
- Francesco Morelli, Università di Pisa
- Silvia Caprili, Università di Pisa
- Francesco Venturi, Ordine degli Ingegneri di Pistoia
- Andrea Melani, Ordine degli Ingegneri di Pistoia

## SPONSOR:

### CISI

Costruttori Italiani Scaffalature Industriali



### AISEM

Associazione Italiana Sistemi di Sollevamento, Elevazione e Movimentazione



ASSOCIAZIONE ITALIANA SISTEMI DI SOLLEVAMENTO, ELEVAZIONE E MOVIMENTAZIONE

### AMIMA

Federazione delle Associazioni Nazionali dell'Industria Meccanica Varia ed Affine



### ANCE Toscana



### CEMES S.p.A



### CMSA

Società Cooperativa Muratori Sterratori ed Affini



### Edil CAM Sistemi S.r.l.



### Fibre Net S.r.l.



### Gruppo PITTINI



### INGENIO



### PAVER Costruzioni S.p.A.



### Rothoblaas S.r.l.



**SISMIC**

Associazione tecnica per la promozione  
degli acciai sismici per cemento armato



**Stahlbau Pichler**



STAHLBAU  
PICHLER

**TECNISOFT**



Strumenti solidi come i vostri progetti



**CON IL PATROCINIO DI:**

Comune di Pistoia



Consiglio Nazionale degli Ingegneri



Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici



EMERGENS – associazione di volontariato di protezione civile



Fondazione Cassa di Risparmio di Pistoia e Pescia



FONDAZIONE  
CASSA DI RISPARMIO  
DI PISTOIA E PESCIA

Fondazione Promozione Acciaio



Pistoia Capitale della Cultura 2017



PISTOIA  
TOSCANA  
Capitale Italiana  
della Cultura 2017

Regione Toscana

REGIONE  
TOSCANA



## **PRESENTAZIONE DEL CONVEGNO**

I recenti eventi sismici del Centro Italia, Agosto-Ottobre 2016, hanno messo ancora una volta in evidenza l'estrema fragilità del patrimonio immobiliare italiano, ed in particolare dei centri storici che racchiudono spesso un'eredità culturale di valore inestimabile. La drammaticità degli eventi che si sono succeduti negli ultimi mesi e, ancor prima, negli ultimi decenni, ha dato ulteriore impulso ai già notevoli sforzi del mondo scientifico italiano nel portare avanti numerose iniziative a livello scientifico, tecnico e normativo. In particolare, sono ormai completate la stesura delle nuove Norme tecniche per le Costruzioni, della relativa Circolare Esplicativa e del Documento di Applicazione Nazionale degli Eurocodici, nonché delle Linee guida per la Classificazione del Rischio Sismico delle Costruzioni

Il XVII Convegno ANIDIS "L'Ingegneria Sismica in Italia" si propone come momento di confronto critico tra ricercatori, tecnici e operatori del settore delle costruzioni al fine di favorire ulteriormente la crescita scientifica del Paese nel campo della progettazione antisismica delle costruzioni e della riduzione del rischio sismico. Proprio al fine di costituire un utile momento di confronto tecnico e culturale tra mondo scientifico e professionale, al Convegno sono stati affiancati tre corsi di aggiornamento per professionisti, organizzati di concerto con gli Ordini degli Ingegneri della Toscana, su temi di grande attualità e tenuti dai maggiori esperti nazionali del settore.

Franco Braga  
Walter Salvatore  
Andrea Vignoli



# INDICE

## KEYNOTE LECTURES

Capacity design in geotechnical engineering Luigi Callisto .....	KL-2
Performance-Based Seismic Design In Real Life: The Good, The Bad And The Ugly Dimitrios Vamvatsikos.....	KL-17
Seismic Performance of Structural Members Incorporating Recycled Rubber Materials Ahmed Elghazouli .....	KL-25

## SESSIONI GENERALI

### DINAMICA DEI TERRENI E GEOTECNICA SISMICA

Effects of site-induced non-synchronism and soil non linearity in the seismic response of bridges founded on piles Maria Chiara Capatti, Giuseppe Tropeano, Michele Morici, Sandro Carbonari, Francesca Dezi, Graziano Leoni, Francesco Silvestri.....	SG02-2
The role of seismic input properties on the performance of bridge piers on cylindrical caisson foundations Domenico Gaudio, Sebastiano Rampello .....	SG02-13
Geotechnical design of retaining micropile walls for an underground parking on a sloping area Stefano Renzi, Letizia Scirè, Johann Facciorusso, Claudia Madiati .....	SG02-24
On the influence of pile discretization in single pile kinematic analysis using a boundary element method (BEM) based approach Stefano Stacul, Nunziante Squeglia.....	SG02-34
Analysis of r.c. single pile lateral response considering the influence of tension stiffening Stefano Stacul, Nunziante Squeglia.....	SG02-45
Local Seismic Response of Castelnuovo hill (AQ-Italy) with 2D models Vidan Ilic, Emanuele Del Monte, Alessandro Ghinelli, Sonia Boschi, Federica Durante, Giorgio Pipponzi, Marco Nocentini, Marco Tallini .....	SG02-56
Validation of a 3D model for dynamic soil-structure-interaction of pile foundations by means of in situ tests Maria Chiara Capatti, Sandro Carbonari, Francesca Dezi, Fabrizio Gara, Graziano Leoni, Michele Morici.....	SG02-68

An Analytical Formulation for the Kinematic Interaction Analysis of Inclined Single Piles Sandro Carbonari, Michele Morici, Francesca Dezi, Graziano Leoni .....	SG02-78
An experimental and numerical model for wave propagation studies in sandy soil Lorella Montrasio, Michele Placido, Antonio Gatto, Martina Bertorelli .....	SG02-87
3 level seismic microzoning studies to urban planning and construction design Vittorio D'Intinosante, Massimo Baglione, Pierangelo Fabbroni, Giuseppe Naso .....	SG02-95
Soil Damping Ratio Estimation by Logarithmic Decrement Method in Resonant Column Tests Johann Facciorusso, Claudia Madaï .....	SG02-105
Soil-Structure Interaction Effects on the Seismic Behavior of Reinforced Concrete Moment Resisting Frames Romeo Tomeo, Antonio Bilotta, Dimitris Pitilakis, Emidio Nigro .....	SG02-114
Urban-scale soil-structure interaction effects for risk assessment: the case of Thessaloniki city, Greece Anna Karatzetzou, Evi Riga, Kyriazis Pitilakis .....	SG02-125

## VULNERABILITÀ E RISCHIO SISMICO

The method I.OPà.CLE for the formulation and calculation of structural operational efficiency indices for the assessment of emergency limit conditions Mauro Dolce, Elena Speranza, Flavio Bocchi, Chiara Conte .....	SG03-2
Structural operational efficiency indices for the assessment of Emergency Limit Condition (I.OPà.CLE): experimental results Mauro Dolce, Elena Speranza, Flavio Bocchi, Chiara Conte .....	SG03-14
Expeditious assessment of seismic vulnerability of existing buildings from a statistic sample of school buildings, property of the Comune di Firenze Pietro Croce, Maria Luisa Beconcini, Paolo Formichi, Paolo Cioni, Filippo Landi, Caterina Mochi, Roberto Castelluccio .....	SG03-25
Evaluation of the seismic hazard of common typologies of buildings in the municipality of Patti (Messina) Piero Colajanni, Antonino Recupero, Nino Spinella .....	SG03-36
Building Features of Accumoli and Amatrice in a Pre-Earthquake Survey Fabio Fumagalli, Domenico Liberatore, Giorgio Monti, Luigi Sorrentino .....	SG03-44
Seismic vulnerability assessment of the village of Alzano, in the Salto Valley, as a first and unavoidable step for its revitalization by using local natural resources and advanced tech- nologies Sabrina Taffarel, Francesca da Porto, Cesare Silvi, Claudio Modena .....	SG03-55
On the effects of seismic sequences on masonry structures Giovanni Rinaldin, Claudio Amadio, Salvatore Noé .....	SG03-66
Analysis of the damage of ordinary buildings in the historic centre of Norcia struck by the 2016 Italian earthquake Antonio Borri, Romina Sisti, Andrea Prota, Marco Di Ludovico, Sandro Costantini, Marco Barluzzi, Alessandro De Maria, Elisabetta Aisa, Alessio Bragetti, Francesco Savi, Gianluca Fagotti, Luciano Baldi .....	SG03-77
Historical quakeproof building systems in Italy: constructional skill and normative experimen- tation. Notes for a critical comparison Caterina Mele, Paolo Piantanida .....	SG03-88

Performance Decay of Masonry Walls Subjected to In-plane Loads Ileana Corbi, Ottavia Corbi, Francesca Tropeano .....	SG03-95
Evaluation of In-Plane Rocking-Sliding Failure Modes of Multi-Storey Masonry Walls for Quick Analysis at Urban Scale Luca Umberto Argiento, Claudia Casapulla, Elena Speranza .....	SG03-102
Simulating shear-compression mechanical behavior of historical masonry panels: sensitivity of 3D numerical models to input parameters Amedeo Gregori, Michele Angiolilli .....	SG03-111
Limit analysis of polygonal-shaped masonry elements: the case study of bay windows in Boston's Back Bay. Riccardo Barsotti, Stefano Bennati, Claudio Tirabasso .....	SG03-122
Seismic vulnerability of unreinforced masonry walls: Linear and nonlinear, static and dynamic procedures compared Samuele Fontani, Luca Salvatori, Maurizio Orlando, Paolo Spinelli .....	SG03-130
Unreinforced Masonry Churches in New Zealand: towards an holistic framework for the identification of optimal seismic retrofit intervention Francisco Galvez, Stacy Vallis, Sonia Giovinazzi, Shannon Abeling, Jason Ingham .....	SG03-141
Modelling, analysis and safety verifications of existing masonry buildings: seismic assessment and design of strengthening interventions Sergio Lagomarsino .....	SG03-152
Nonlinear static procedure for the seismic assessment of unreinforced masonry buildings: definition of the limit states criteria Salvatore Marino, Serena Cattari, Sergio Lagomarsino .....	SG03-166
Proposal of floor spectra for the verification of non-structural elements and local mechanisms in URM buildings Stefania Degli Abbatì, Serena Cattari, Sergio Lagomarsino .....	SG03-177
Interpretative guidance on the design of timber buildings according to the Italian Building Code Maurizio Follesa, Marco Pio Lauriola, Luca Gori, Dario Pierucci, Chiara Ricci, Teresa Rotiroti, Francesca Scarselli .....	SG03-188
Simplified Approaches for the Seismic Risk Rating of Reinforced Concrete Buildings and the Selection of Retrofit Strategies Sonia Giovinazzi, Stefano Pampanin .....	SG03-198
Seismic damage assessment of r.c. strategic buildings: a case study Claudio Valente, Luigia Zuccarino, Alice Di Primio, Antonella Arquilla, Daniele Spina .....	SG03-210
Affidabilistic assessment of the seismic vulnerability of an existing RC building Amedeo Gregori, Michele Angiolilli .....	SG03-221
The effect of stiffness variation in elevation on maximum IDR for existing RC buildings Maria Polese, Marco Gaetani d' Aragona, Edoardo Cosenza, Andrea Prota .....	SG03-232
Seismic vulnerability analysis for reinforced concrete structures through simplified and detailed approaches Sonia Boschi, Andrea Borghini, Alberto Ciavattone, Giovanni Schiatti, Andrea Vignoli .....	SG03-243
Seismic performance of masonry infilled RC frames designed for gravity loads Gianni Blasi, Daniele Perrone, Maria Antonietta Aiello .....	SG03-252

<b>Rigid floor assumption in nonlinear static analysis of reinforced concrete existing buildings</b>	
Sergio Ruggieri, Francesco Porco, Domenico Raffaele, Giuseppina Uva .....	SG03-262
<b>Mechanical characterization of a polyurethane-cement hybrid foam to be used for seismic protection of nonstructural components</b>	
Orsola Coppola, Ernesto Di Maio, Gennaro Magliulo .....	SG03-273
<b>Seismic Vulnerability Assessment of Three Nave Churches in Alife-Caiazzo Diocese</b>	
M. Guadagnuolo, A.Tafuro, V.Corlito, G. De Matteis.....	SG03-282
<b>Assessment of Seismic Vulnerability at Territorial Scale: The Case Study of Caltabellotta (AG)</b>	
Piero Colajanni, Matteo Accardi, Calogero Cucchiara, Giuseppe Di Gesaro, Giovanni Minafò.....	SG03-292
<b>Advancements in Seismic Vulnerability Assessment Methodologies for RC Buildings at Territorial Scale</b>	
Fabio Romano, Maria Zucconi, Stefania Imperatore, Barbara Ferracuti .....	SG03-303
<b>Correlation between ground motion parameters and structural response of code conforming and existing RC buildings</b>	
Andrea Digrisolo, Vincenzo Manfredi, Angelo Masi.....	SG03-314
<b>Emilian fortified buildings: the relationships between the morphological and structural characteristics and the mechanisms of damage.</b>	
Giulia Grassi Leonardi.....	SG03-325
<b>Estimation of the seismic structural capacity of masonry buildings through simplified procedures</b>	
Sonia Boschi, Alberto Ciavattone, Andrea Vignoli .....	SG03-335
<b>Da.D.O – A web-based tool for analyzing and comparing post-earthquake damage database relevant to national seismic events since 1976.</b>	
Mauro Dolce, Elena Speranza, Francesco Giordano, Barbara Borzi, Flavio Bocchi, Chiara Conte, Antonella Di Meo, Marta Faravelli, Venanzio Pascale.....	SG03-347
<b>Implications of Different Damage Definitions on the Empirical Seismic Vulnerability of Masonry Buildings</b>	
Annalisa Rosti, Maria Rota, Andrea Penna .....	SG03-358
<b>Seismic Vulnerability Assessment of complex buildings/aggregated buildings in historical centers: first level methods</b>	
Luisa Berto, Paolo Faccio, Anna Saetta, Diego Talledo, Isabella Zamboni.....	SG03-369
<b>A class-oriented large scale comparison with postearthquake damage for Abruzzi region</b>	
Carlo Del Gaudio, Paolo Ricci, Gerardo Mario Verderame .....	SG03-380
<b>Fast procedure for seismic risk assessment of r.c. buildings</b>	
Alessandro Fulco, Marco Mezzi, Fabrizio Comodini .....	SG03-392
<b>Sensitivity analysis of seismic behaviour of masonry aggregates</b>	
Chiara Bernardini, Sonia Boschi, Martin Empelmann, Andrea Vignoli.....	SG03-403
<b>Seismic vulnerability of RC frame building classes: sensitivity of the probability of exceeding the Life Safety limit state to structural detailing and mechanical properties of the materials</b>	
Roberto Gentile, Leonardo Fondi, Stefano Pampanin.....	SG03-415
<b>Seismic risk of the non-structural architectural elements of a new hospital. Application of a seismic performance analysis and verification methodology.</b>	
Carlo Beltrami, Rossella Pignatelli, Roberto Ceccarelli .....	SG03-427

<b>Influence of stiffness loss of masonry infilled r.c. frames in the calculation of the structural operational index (IOPS)</b>	
Claudio Valente, Luigia Zuccarino, Francesca Di Piero, Daniele Spina, Federico Mori .....	SG03-438
<b>Fragility assessment of non-structural components undergoing earthquake induced rocking motion</b>	
Andrea Chiozzi, Marco Nale, Antonio Tralli .....	SG03-449
<b>Cyclic behaviour evaluation of T-Joints for the seismic assessment of piping systems</b>	
Gianni Blasi, Giuseppe Maddaloni, Maria Antonietta Aiello, Maria Rosaria Pecce.....	SG03-459
<b>The museum complex in a high seismic area: structural analysis and vulnerability assessment of artistic assets. The case study of “S. Maria delle Monache (Isernia)”</b>	
Luisa Berto, Claudio Mazzotti, Valentina Rinaldini, Irene Rocca, Anna Saetta, Marco Savoia.....	SG03-469
<b>Seismic demand and capacity assessment of suspended ceiling systems</b>	
Sara Brandolese, Laura Fiorin, Roberto Scotta .....	SG03-480
<b>Reliability of the SMAV procedure applied to unreinforced masonry buildings: the case study of Sanremo city hall</b>	
Serena Cattari, Daniele Sivori, Daria Ottonelli, Stefania Degli Abbati, Daniele Spina, Gianluca Acunzo, Noemi Fiorini, Gabriele Ferretti, Roberto De Ferrari .....	SG03-492
<b>A numerical study on the seismic behavior of unreinforced masonry buildings with flexible diaphragms</b>	
Michele Betti, Luciano Galano, Sonia Boschi, Andrea Vignoli .....	SG03-503
<b>Assessment of the loading capacity of masonry buildings under horizontal loads: the case study of the Mercato delle Vettovaglie in Livorno</b>	
Riccardo Barsotti, Stefano Bennati .....	SG03-519
<b>Influence of the modelling approach in the dynamic analysis of masonry towers</b>	
Massimiliano Lucchesi, Barbara Pintucchi, Nicola Zani .....	SG03-530
<b>Effects of damage on the dynamic modal properties of masonry towers</b>	
Gianni Bartoli, Michele Betti, Barbara Pintucchi.....	SG03-540
<b>Numerical and experimental analysis of a masonry chimney</b>	
Francesco Nicchi, Emanuele del Monte, Andrea Borghini, Sonia Boschi, Alessandro Brunetti, Paolo Mazzanti .....	SG03-549
<b>A critical investigation on typological and structural characteristics of residential buildings in Umbria for their quick seismic risk classification</b>	
Antonella D’Alessandro, Filippo Ubertini, Gabriele Comanducci, Andrea Meoni, Alessandro Almadori, Annibale Luigi Materazzi .....	SG03-561
<b>The MaChro Form: a new automatic tool for the survey and seismic vulnerability assessment of churches</b>	
G. De Matteis, G. Brando, G. Cianchino, V. Corlito, E. Criber .....	SG03-568
<b>Rapid Seismic Vulnerability Assessment of Churches of Citeriore Abruzzi by means of MaChro Form</b>	
G. Brando, G. Cianchino, V. Corlito, E. Criber, G. De Matteis.....	SG03-580

## CRITERI E METODI DI PROGETTO ED ANALISI STRUTTURALE

<b>Why a probability of exceedance of 10% in 50 years? A New approach to seismic design</b>	
Marco Fasan, Claudio Amadio, Fabio Romanelli, Salvatore Noè, Cristina Rossi .....	SG04-2

Comparative analysis of benchmark case studies for assessing the reliability of software packages targeted to the seismic assessment of URM buildings Serena Cattari, Daniela Camilletti, Guido Magenes, Carlo Filippo Manzini, Paolo Morandi, Enrico Spacone, Guido Camata, Corrado Marano, Ivo Calì, Bartolomeo Pantò, Francesco Cannizzaro, Giuseppe Occhipinti, Bruno Calderoni, Antonio De Luca, Emilia Angela Cordasco, Giuseppe Brandonisio, Antonio Sandoli, Claudia Casapulla, Francesco Portioli, Gianmarco De Felice, Marialaura Malena, Guendalina Lasciarrea .....	SG04-14
Comparison between seismic performance of different design philosophies by means of loss assessment analysis Marco Bovo, Gian Marco Bucci, Marco Savoia .....	SG04-27
Seismic Design of Non-Structural Elements using Building Information Modelling Daniele Perrone, Andre Filiatrault .....	SG04-37
Building Information Modeling as support for seismic design Rosanna Napolitano, Antonio Salzano, Domenico Asprone, Edoardo Cosenza .....	SG04-46
Damping reduction factor in seismic engineering using a stochastic approach Rita Greco, Alessandra Fiore, Bruno Briseghella.....	SG04-56
An equivalent shear-shear torsional beam model for seismic analysis of multistore tower buildings Martina Sciomenta, Angelo Luongo.....	SG04-65
Strongback system to enhance the building seismic response of framed Structures Vittoria Laghi, Michele Palermo, Giada Gasparini, Stefano Silvestri, Tomaso Trombetti .....	SG04-72
A new discrete macro-node (DMN) for the nonlinear modelling of the reinforced concrete beam/column joints Bartolomeo Pantò, Salvatore Caddemi, Ivo Calì, Enrico Spacone.....	SG04-82
Simulation of concrete crack development in seismic assessment of existing gravity dams Anna De Falco, Matteo Mori, Giacomo Sevieri, Nicola Zani.....	SG04-92

## COSTRUZIONI IN CEMENTO ARMATO

Experimental and numerical study of the cyclic behavior of exterior RC beamcolumn joints made with recycled concrete Flora Faleschini, Paolo Bragolusi, Lorenzo Hofer .....	SG05-2
R/C flat slab-column connections under lateral loading Massimo Lapi, Brisid Isufi, Maurizio Orlando, Antonio Ramos.....	SG05-11
The influence of floor joists on the lateral stiffness of R.C. buildings Rosario Montuori, Elide Nastri, Vincenzo Piluso .....	SG05-20
Modelling Uncertainties in NLFEM Simulation of Cyclically Loaded R.C. Shear Walls Giuseppe Mancini, Gabriele Bertagnoli, Dario La Mazza, Diego Gino .....	SG05-31
Critical analysis of the empirical relations for the evaluation of the ultimate plastic rotation of R.C. columns under cyclic loadings Rosa Fusco, Rosario Montuori, Elide Nastri, Vincenzo Piluso.....	SG05-41
Boundary elements of thin reinforced concrete wall vulnerable to out-of-plane instability: experimental results and numerical modelling Angelica Rosso, Lisandro A. Jiménez-Roa, João Pacheco de Almeida, Katrin Beyer.....	SG05-51



Dual-phase steel reinforcing bars for RC buildings in seismic prone areas: selection and production	Silvia Caprili, Walter Salvatore, Renzo Valentini, Cristiano Ascanio .....	SG05-62
Reinforced Concrete structures with Dual-Phase steel reinforcing bars	Silvia Caprili, Nicola Mussini, Walter Salvatore, Renzo Valentini, Cristiano Ascanio .....	SG05-73
Buckling implementation in PARC_CL2.1 for the response prediction of steel bars subjected to cyclic loading	Beatrice Belletti, Francesca Vecchi, Andrea Donninotti .....	SG05-81
Analytical and Numerical Methods for the Evaluation of Critical Conditions in Longitudinal Bars of RC Columns	Giovanni Minafò, Giuseppe Campione .....	SG05-92
Cyclic bar model with bond-slip for non linear analysis of existing RC structures	Francesca Mattei, Rosario Gigliotti, Silvia Caprili, Walter Salvatore .....	SG05-103
Pitting corrosion effects on the seismic behaviour of existing R.C. buildings	Stefania Imperatore, Maria Zucconi, Barbara Ferracuti .....	SG05-114
Design and realization of a reinforced concrete building at Accra (Ghana), called One Airport Square, with complex geometric façades and spatial truss system, placed on seismic isolator devices	Fabio Camorani, Luciano Gasparini, Antonello Gasperi .....	SG05-125

## COSTRUZIONI IN MURATURA E MURATURA ARMATA

Influence of normal stress on the seismic response of masonry structures	Giovanni Rinaldin, Marco Fasan, Claudio Amadio .....	SG06-2
Fiber-based modeling of masonry cross sections subjected to axial loading and biaxial bending	Fulvio Parisi, Elia Acconcia .....	SG06-12
Implementing and Applying a Continuum Bed Joint Shearing Model for Masonry Structures	Beatrice Belletti, Michele Longo, Max A.N. Hendriksb, Jan G. Rots .....	SG06-20
Reliability of Equivalent-Frame Models for Masonry Walls with Irregular Openings	Rossella Siano, Guido Camata, Vincenzo Sepe, Enrico Spacone .....	SG06-31
The effectiveness of strut model of the spandrel panels in masonry buildings under seismic forces	Bruno Calderonia, Emilia Angela Cordasco, Gaetana Pacella, Christian Musella, Antonio Sandoli .....	SG06-39
Modelling of masonry walls with geometric irregularities: open problems	Bruno Calderoni, Emilia Angela Cordasco, Christian Musella, Antonio Sandoli .....	SG06-52
Model uncertainties in seismic analysis of existing masonry buildings: the Equivalent-Frame Model within the Structural Element Models approach	Anna De Falco, Giulia Guidetti, Matteo Mori, Giacomo Sevieri .....	SG06-63
Rocking response of masonry columns: experimental study and numerical simulation	Sara Loda, Valentino Bolis, Marco Preti .....	SG06-74
Dynamic collapse testing of a full-scale URM cavity-wall structure	Umberto Tomassetti, António A. Correic, Ana Marques, Francesco Graziotti, Andrea Penna, Guido Magenes .....	SG06-83
Shaking table tests of URM walls subjected to two-way bending out-of-plane seismic excitation	Umberto Tomassetti, Francesco Graziotti, Luca Grottoli, Stefano Dainotti, Andrea Penna, Guido Magenes .....	SG06-94

Material characterization for the shaking-table test of the scaled prototype of a stone masonry building aggregate Gabriele Guerrini, Ilaria Senaldi, Simone Scherini, Simone Morganti, Guido Magenes, Katrin Beyer, Andrea Penna.....	SG06-105
Shaking-table test of a half-scaled natural stone masonry building aggregate with flexible diaphragms Ilaria Senaldi, Gabriele Guerrini, Francesco Graziotti, Martina Caruso, Francesca Di Santo, Paolo Comini, Guido Magenes, Katrin Beyer, Andrea Penna.....	SG06-116
A Cyclic Macroelement for Dynamic Analysis of Unreinforced Masonry Structures Giovanni Rinaldin, Claudio Amadio .....	SG06-127

## COSTRUZIONI IN ACCIAIO E MISTE ACCIAIO-CALCESTRUZZO

Seismic performance of structural systems equipped with buckling-restrained Braces Enrico Tubaldi, Fabio Freddi, Alessandro Zona, Andrea Dall'Asta.....	SG07-2
Nonlinear dynamic analysis of Italian code-conforming one-storey steel buildings for seismic risk assessment Fabrizio Scozzese, Giusy Terracciano, Alessandro Zona, Gaetano Della Corte, Andrea Dall'Asta, Raffaele Landolfo.....	SG07-10
Cyclic inelastic tests on built-up steel columns including base-plate Connections Gaetano Della Corte, Raffaele Landolfo .....	SG07-18
Numerical modelling of the monotonic behaviour of hybrid steel-concrete shear walls Francesco Morelli, Nicola Mussini, Walter Salvatore.....	SG07-27
Precast slab and double-slab R.C. wall in steel structures Roberta Mallardo, Pietro Filipuzzi .....	SG07-36
A semi-analytical model for the cyclic behavior of shear link in eccentrically braced frames structures Silvia Caprili, Nicola Mussini, Walter Salvatore.....	SG07-44
Effectiveness of the capacity design regulations for eccentrically braced frames structures Silvia Caprili, Nicola Mussini, Walter Salvatore.....	SG07-52
Seismic Design of Automated Rack Supported Warehouses Silvia Caprili, Francesco Morelli, Walter Salvatore, Agnese Natali, Francesco V. Lippi, Valentina Falleni .....	SG07-62
Down-Aisle Seismic Behavior of Pallet-Rack Systems: Experimental Tests and Numerical Analyses Daniele Comparini, Lorenzo Bertocci, Luca Salvatori, Maurizio Orlando, Giovanni Lavacchini, Paolo Spinelli .....	SG07-71
Effects of pinching in the hysteresis loop of rack connections Federico Gusella, Maurizio Orlando, Andrea Vignoli.....	SG07-82
Performance based assessment of an industrial steel structure with scaled and unscaled ground motions Raffaele Laguardia, Francesco Morelli, Marco Faggella, Andrea Piscini, Rosario Gigliotti, Walter Salvatore, Franco Braga .....	SG07-92
The New Guidelines of Italian High Council of Public Works for industrial steel racks in seismic areas: the state of work F. Braga, C. A. Castiglioni, G. Fabbri, F. V. Lippi, E. Renzi, W. Salvatore .....	SG07-100
High bay warehouses in seismic areas: general design problems and applications Francesco Vittorio Lippi, Walter Salvatore .....	SG07-111

## COSTRUZIONI IN LEGNO

Mechanical behaviour of inclined screws in timber-concrete composite system Franco Moar, Flavio Nebiolo, Simone Vanzo, Amedeo Gregori, Beatrice Berardinucci.....	SG08-2
Numerical analysis of timber log-haus walls with steel dovetail reinforcements under in-plane seismic loads Chiara Bedon, Massimo Fragiaco.....	SG08-9
Assessment of the seismic safety of post-and-beam timber buildings braced with nailed shear walls: pushover analysis based on equivalent diagonal springs Natalino Gattesco, Ingrid Boem.....	SG08-20
The role of the diaphragm stiffness on the distribution of the seismic action among the shear walls in crosslam massive wooden buildings Giovanni Metelli, Francesca Feroldi, Federica Germano, Ezio Giuriani.....	SG08-31
On seismic design of structures with CLT walls Gabriele Tamagnone, Massimo Fragiaco.....	SG08-42
Design of a “mass-timber” building with different seismic bracing technologies Giulio Fini, Luca Pozza, Cristiano Loss, Thomas Tannert.....	SG08-52
TRE3 project: a hybrid timber-frame wall system for emergency housing facilities Lorenzo Franzoni, Matteo Izzi, Albino Angeli, Ester Sinito, Daniele Casagrande, Gaia Pasetto, Andrea Polastri.....	SG08-63

## COSTRUZIONI PREFABBRICATE

Estimation of seismic fragility curves for precast RC industrial buildings from damage observational data from the 2012 Emilia earthquake Nicola Buratti, Fabio Minghini, Elena Ongaretto, Marco Savoia, Nerio Tullini.....	SG09-2
Design and experimental verification of wet-joints between precast beams and columns for the construction of seismically resistant pipe rack structures Marco Breccolotti, Bruno Pasqualini, Massimo Federico Bonfiglia, Valerio Colone, Annibale Luigi Mate, Mauro Tommasini.....	SG09-13
Seismic retrofit strategies for friction beam-to-column connections of industrial RC precast structures Maddalena Cimmino, Gennaro Magliulo, Maria Gabriella Castellano, Antonio Occhiuzzi.....	SG09-23
Analysis of a tile-beam connection for precast industrial buildings and its influence on the global seismic response of the structure Giovanni Menichini, Emanuele Del Monte, Cesare Falsini, Gianni Bartoli, Sonia Boschi, Andrea Vignoli.....	SG09-35

## PONTI, INFRASTRUTTURE, RETI TECNICHE ED IMPIANTI

Development of equivalent structural models for the coupled analysis of the dynamic soil-structure interaction Davide Noè Gorini, Luigi Callisto.....	SG11-2
Nonlinear Response of Bridge Piers Founded on Inclined Pile Groups Michele Morici, Sandro Carbonari, Fabrizio Gara, Francesca Dezi, Graziano Leoni.....	SG11-12

Simplified polynomial formulation for the calculation of the Moment-Curvature diagram of RC rectangular sections Roberto Gentile, Domenico Raffaele, Giuseppina Uva.....	SG11-19
Effects of spread and local geometrical irregularities on the horizontal carrying capacity of masonry arches Laura Severini, Nicola Cavalagli, Paolo Zampieri, Nicolò Simoncello, Vittorio Gusella, Carlo Pellegrino.....	SG11-27
Influence of soil thrust on seismic capacity of masonry arch bridges Paolo Zampieri, Lorenzo Hofer, Nicolò Simoncello, Carlo Pellegrino.....	SG11-34
Seismic behaviour of stone arch bridges in Sicily Nunzio Scibilia, Angelo Savio Calabrese.....	SG11-42
Influence of the arch thickness discontinuities on the seismic capacity of masonry bridges Nicolò Simoncello, Carlo Pellegrino.....	SG11-53
Protection of Critical Infrastructure in the event of Earthquakes: CIPCast-ES Sonia Giovinazzi, Antonio Di Pietro, Matteo Mei, Maurizio Pollino, Vittorio Rosato.....	SG11-61
Response prediction of multistory RC walls using static and dynamic nonlinear analysis and PARC_CL2.0 crack model Beatrice Belletti, Francesca Vecchi.....	SG11-71
PRIAMUS: A new tool for the probabilistic risk assessment with Monte Carlo simulations of Process Plants under Seismic Loading Daniele Corritore, Silvia Alessandri, Renato Giannini, Fabrizio Paolacci.....	SG11-83
Assessment and retrofitting of a metal silo for granular solids to be installed in seismic zone Filippo Lodi, Fabio Minghini, Nerio Tullini.....	SG11-94
Static and dynamic studies of a three span arch ancient masonry bridge of railway line Canicattì-Gela-Comiso Elio Lo Giudice, Gian Luigi Di Marco, Roberta Mantione, Valentina Carlisi.....	SG11-105
A Profitability analysis for assessing the optimal seismic retrofit strategy for production processes susceptible to business interruption Lorenzo Hofer, Mariano Angelo Zanini, Flora Faleschini, Carlo Pellegrino.....	SG11-114

## SPERIMENTAZIONE, DIAGNOSTICA E MONITORAGGIO DI STRUTTURE ED INFRASTRUTTURE

Model identification of damping in railway beam bridges Michele Colandrea, Vincenzo Gattulli, Egidio Lofrano, Achille Paolone, Francesco Potenza.....	SG12-2
Ambient vibration testing of an historic masonry structure Mariella Diaferio, Dora Foti, Nicola Ivan Giannoccaro, Salvador Ivorra.....	SG12-10
Equivalent modal parameters in monitored buildings during the recent Italian seismic events Rosario Ceravolo, Giulia De Lucia, Emiliano Matta, Antonino Quattrone, Luca Zanotti Fragonara.....	SG12-21
Experimental setup for the execution of quasi-static cyclic tests on ceilings Laura Fiorin, Sara Brandolese, Roberto Scotta.....	SG12-31
Study of the Dynamic Behavior of Isolated Seismic Mass for the Creation of a 6 Degree of Freestanding Table Lorenzo Fanale, Giovanni Rinaldin, Massimo Fragiaco, Rocco Alaggio, Elena Antonacci.....	SG12-42

Identification of Infill Panels' stiffness in Frame Structures through Inverse Analysis	
Michele Tondi, Marco Bovo, Elisa Bassoli, Loris Vincenzi, Marco Savoia .....	SG12-50
Experimental comparison of in-plane mechanical response of glazed curtain walls	
Carolina Aiello, Nicola Caterino, Giuseppe Maddaloni, Antonio Bonati, Antonio Occhiuzzi .....	SG12-59
Assessment of concrete strength in existing structures according to the EC8-3 procedure	
Massimo Federico Bonfigli, Annibale Luigi Materazzi, Marco Breccolotti .....	SG12-69
Abacus of the masonry types of the Toscana Region	
Sonia Boschi, Saverio Giordano, Nicola Signorini, Andrea Vignoli.....	SG12-79
Critical Analysis About National And International Experimental Campaigns On Spandrels Executed During Last Years	
Bruno Caderoni, Emilia Angela Cordasco, Gaetana Pacella, Paolo Simoniello .....	SG12-90
Laboratory Calibration and In Situ Application of Test Methods to Assess Masonry Shear Characteristics through Flat Jack (FJ-SCT Method)	
Dario Foppoli, Alessandro Armanasco.....	SG12-104
Experimental assessment of the seismic performance of full-scale curtain wall systems	
Antonio Bonati, Giovanni Cavanna, Annalisa Franco, Giuseppe Maddaloni, Antonio Occhiuzzi.....	SG12-115
Numerical Interpretation of Experimental Tests on Masonry Spandrels	
Raffaele Amorosi, Luca Salvatori, Sonia Boschi, Paolo Spinelli, Andrea Vignoli .....	SG12-124
Smart technologies for integrated seismic risk management in industrial plants	
Mariano Ciucci, Alessandra Marino .....	SG12-138
The role of dynamic monitoring for seismic assessment of monumental heritage buildings: an application to Palazzo dei Consoli in Gubbio	
Nicola Cavalagli, Alban Kita, Filippo Ubertini.....	SG12-144
The role of environmental effects in the structural health monitoring: the case study of the Ficarolo Tower in Rovigo, Italy	
Elisa Bassoli, Marianna Forghieri, Marco Bovo, Claudio Mazzotti, Loris Vincenzi.....	SG12-154
Traffic effects on historical artefacts	
Claudio Alessandri, Andrea Fabbri, Vincenzo Mallardo .....	SG12-163
Far-field earthquake-induced damage detection in a monumental bell-tower after Central Italy seismic sequence (2016) through vibration-based SHM	
Filippo Ubertini, Nicola Cavalagli, Alban Kita.....	SG12-174
Numerical and experimental analyses to evaluate the effect of soil and nonstructural elements on the modal parameters of reinforced concrete structures	
Felice C. Ponzio, Gianluca Auletta, Rocco Ditommaso, Chiara Iacovino, Antonella Nigro, Carmela D'Anzi, Maria Vincenza Costanzo .....	SG12-185

## MIGLIORAMENTO, ADEGUAMENTO SISMICO DELLE COSTRUZIONI

Seismic Improvement Of Monumental Historic Buildings Using Horizontal Steel Bracing Systems; Case Studies, Comparative Evaluations With Alternative Systems	
Fabio Camorani, Fabrizio Rossi, Rocco Gabellieri.....	SG13-2
Forming New Steel-Framed Openings in Load-Bearing Masonry Walls: Design Methods and Nonlinear Finite Element Simulations	
Lorenzo Billi, Francesco Laudicina, Luca Salvatori, Maurizio Orlando, Paolo Spinelli.....	SG13-11

Cyclic response in shear and design criterion of brick-cement mortar masonry shear-walls retrofitted with steel grids Mattia Zizi, Francesco Campitiello, Gianfranco De Matteis.....	SG13-22
Working on existing buildings: seismic retrofit with application of CAM® System Marianna Leonori, Alessandro Vari.....	SG13-33
Influence of beam-column joints behaviour on seismic response of R.C. existing buildings Federico Gusella, Andrea Borghini, Sonia Boschi, Andrea Vignoli.....	SG13-45
Experimental behavior of damaged RC beam-column joints retrofitted with FRP composites Flora Faleschini, Jaime Gonzalez-Libreros, Mariano Angelo Zanini, Paolo Zampieri, Carlo Pellegrino .....	SG13-55
Cyclic Response of R/C Beam-Column Joints Strengthened with Steel FRP/FRCM Composite Materials Alessandro De Vita, Ciro Faella, Annalisa Napoli, Roberto Realfonzo.....	SG13-63
Axial compressive behavior of FRP/Steel-confined concrete with preload Francesco Cannella, Liborio Cavaleri, Calogero Cucchiara, Marco Filippo Ferrotto, Maurizio Papia.....	SG13-74
Evaluation of the mechanical properties of the concrete columns confined with FRP and FRCM systems in compression Marinella Fossetti, Gioacchino Alotta, Francesco Basone, Giuseppe D'Arenzo, Giuseppe Macalusa, Alfio Francesco Siciliano.....	SG13-85
Shear strength model with variable inclination of concrete stress field for r.c. beams strengthened by composite textile Piero Colajanni, Lidia La Mendola, Salvatore Pagnotta, Antonino Recupero, Nino Spinella.....	SG13-96
Bond behaviour of steel FRP/FRCM systems on concrete substrates: an experimental investigation Francesco Ascione, Marco Lamberti, Annalisa Napoli, Roberto Realfonzo.....	SG13-106
Experimental Characterization of FRCM Systems for Conservative and Strengthening Intervention on Monumental Real Estate Heritage Amedeo Gregori, Gabriele Marchini, Daniele Martini, Michele Angiolilli.....	SG13-116
Experimental and numerical study on the behaviour of masonry vaults subjected to horizontal loads: evaluation of the effectiveness of fiber reinforced mortar Natalino Gattesco, Ingrid Boem.....	SG13-127
Full Scale Tests on Hollow Brick Masonry Walls Repaired with Steel Fiber Reinforced Mortar Coating Sara S. Lucchini, Luca Facconi, Fausto Minelli, Giovanni A. Plizzaria.....	SG13-138
Numerical Study of a Full Scale Hollow Brick Masonry Building Strengthened with Steel Fiber Reinforced Mortar Coating Sara S. Lucchini, Luca Facconi, Fausto Minelli, Giovanni A. Plizzari.....	SG13-145
Seismic Strengthening with Damping Devices and Performance Evaluation Marco Cossu, Alessandro Vittorini Orgeas, Devis Sonda.....	SG13-154
Non-linear time history analyses of unreinforced masonry building with in-plane stiffened timber floors Roberto Scotta, Davide Trutalli, Luca Marchi, Luca Pozza, Michele Mirra.....	SG13-163
Strategies and modeling methods for the reduction of the seismic vulnerability of historical industrial buildings with wide timber roofs Natalino Gattesco, Ingrid Boem.....	SG13-174



In-plane strengthening of traditional timber floors by means of CLT panels: experimental tests and numerical analysis Alessandra Gubana, Massimo Melotto.....	SG13-185
Seismic protection of existing r.c. buildings with post-tensioned timber walls Antonio Sandoli, Mirko Pinto, Stefano Pampanin, Bruno Calderoni .....	SG13-196
CLT used as seismic strengthener for existing masonry walls Luca Pozza, Francesca Evangelista, Roberto Scotta .....	SG13-210
Interventions aimed at reducing the excessive deformability of timber floors: strengthening and stiffening techniques according to the new Italian code (NTC) Gianni Schiro, Ermes Rizzi, Maurizio Piazza .....	SG13-221
Restoration and seismic improvement of some construction aggregates in the historic center of L'Aquila Giandomenico Cifani, Cinzia Cicolani, Alberto Lemme .....	SG13-232
Restoration, strengthening and seismic improvement design of the Duomo of Pienza Stefano Podestà, Anna Brignola, Chiara Luchini, Francesca Porta, Fiorenza Romei .....	SG13-243
Effectiveness of the techniques used to strengthen the masonry buildings in the historic centre of Norcia (Italy) Antonio Borri, Romina Sisti, Andrea Prota, Marco Di Ludovico, Sandro Costantini, Marco Barluzzi, Alessandro De Maria, Elisabetta Aisa, Alessio Bragetti, Francesco Savi, Gianluca Fagotti, Luciano Baldi.....	SG13-253
Status of the ongoing reconstruction process in L'Aquila eight years after the quake: a general overview Antonio Mannella, Marco di Ludovico, Antonio Sabino, Andrea Prota, Mauro Dolce, Gaetano Manfredi.....	SG13-267
Historical artistic renovation and seismic improvement: securing and implementation of a new system supporting the pulpit of Donatello's bronze Passion of the Basilica of San Lorenzo in Florence Alberto Lemme, Antonio Mignemi, Carmenzo Miozzi, Mattia Mercante, Maria Donata Mazzoni.....	SG13-280
Seismic and vibration protection of the statue "Pietà Rondanini" by Michelangelo Devis Sonda, Alfredo Cigada, Giuseppe Cicaldo, Alessandro Goppion, Andrea Vittorio Pollini, Diego Aisa.....	SG13-287

## PROTEZIONE PASSIVA, SEMI-ATTIVA E ATTIVA DI STRUTTURE ED IMPIANTI

Seismic Performance of Structures Isolated with FPS for Different Soil Conditions considering Intermediate Isolation Degrees Paolo Castaldo, Marianela Ripani, Paula Folino.....	SG14-2
Seismic Reliability of Yielding Base-Isolated Structures Paolo Castaldo, Bruno Palazzo, Gaetano Alfano, Mario Francesco Palumbo .....	SG14-13
Assessment of the seismic response of Multi-Stage Concave Surface Slider devices Marco Furinghetti, Alberto Pavese, Claudio Marchi.....	SG14-24
The local ground-motion amplification and the behaviour of the seismic isolated buildings at L'Aquila downtown Antonio Mannella, Luca Macerola, Antonio Martinelli, Antonio Sabino, Marco Tallini .....	SG14-34
Improved response-spectrum analysis of base isolated buildings: Elastic versus inelastic response spectra Dario De Domenico, Giuseppe Ricciardi .....	SG14-45

<b>Anti-Seismic Devices: Dynamic Testing Protocols and Testing Facilities Development</b>	
Samuele Infanti, Silvio De Toni, Aikaterini E. Pigouni .....	SG14-55
<b>A simplified method to predict torsional effects on seismic isolated buildings</b>	
Raffaele Laguardia, Carmen Morrone, Marco Faggella, Rosario Gigliotti.....	SG14-63
<b>Experimental and Numerical Study of Two-Story Post-Tensioned Seismic Resisting CLT Wall with External Hysteretic Energy Dissipaters</b>	
Milena Massari, Marco Savoia, Andre R. Barbosa .....	SG14-72
<b>Metallic yielding devices for seismic vibration control: the role of the analytical models</b>	
Iolanda Nuzzo, Nicola Caterino, Giorgio Serino.....	SG14-83
<b>Passive vibration control systems combining base isolation with tuned inerter damper: optimal design for different soil conditions</b>	
Dario De Domenico, Giuseppe Ricciardi, Nicola Impollonia.....	SG14-91
<b>Design of dissipative connections between roof elements for seismic improvement of precast buildings</b>	
Lorenzo De Stefani, Carolina Baruffi, Roberto Scotta, Renato Vitaliani.....	SG14-99
<b>Optimal design of dissipative braces for seismic retrofitting through a multiperformance procedure</b>	
Franco Braga, Rosario Gigliotti, Raffaele Laguardia.....	SG14-108
<b>On the dynamic response of rolling-ball rubber-layer isolation systems</b>	
Alessandra Fiore, Giuseppe Carlo Marano, Maria Gabriella Natale.....	SG14-117

## **SESSIONI SPECIALI**

### LINEE GUIDA PER LA CERTIFICAZIONE SISMICA DEGLI EDIFICI

<b>Cost analysis and damage-vulnerability of interventions post earthquake. Proposal for a general methodology of intervention following a seismic event</b>	
Maurizio Ferrini, Alberto Lemme, Carmenzo Miozzi.....	SS01-2
<b>Development of a macroseismic model for the seismic risk classification of existing buildings</b>	
Franco Braga, Francesco Morelli, Cinzia Picchi, Walter Salvatore .....	SS01-13
<b>Procedure for the evaluation of the expected annual loss of existing unreinforced masonry buildings</b>	
Daria Ottonelli, Serena Cattari, Sergio Lagomarsino.....	SS01-23
<b>Seismic risk of masonry buildings: comparison of methods</b>	
Mariateresa Guadagnuolo, Marianna Aurilio, Giuseppe Faella .....	SS01-34
<b>Evaluation of seismic retrofit techniques via a multicriteria approach accounting for Italian tax incentives</b>	
Nicola Caterino, Edoardo Cosenza.....	SS01-44
<b>Guidelines for Seismic Risk Classification of Constructions: procedures and example applications</b>	
Francesco Morelli, Agnese Natali, Emanuele Renzi, Walter Salvatore.....	SS01-54



A probabilistic framework for the estimation of direct and business interruption losses for the seismic risk classification of industrial productive processes Mariano Angelo Zanini, Lorenzo Hofer .....	SS01-65
--	---------

## SISMA CENTRO ITALIA 2016: DANNI A EDIFICI SCOLASTICI

Schools, public and strategic buildings: from prevention to seismic Improvement Alberto Lemme, Carmenzo Miozzi .....	SS02-2
Central Italy earthquakes 2016: reconnaissance of modern clay masonry buildings and considerations about the seismic classification of buildings Flavio Mosele .....	SS02-13
Seismic risk reduction strategies applied to school buildings: a case study Angelo Masi, Giuseppe Santarsiero, Giuseppe Ventura .....	SS02-22
Performance of a school hosted within a historical complex affected by the 2016 seismic sequence Luigi Sorrentino, Marco Pepe, Domenico Liberatore, Patrizia Trovalusci .....	SS02-32
Vulnerability and seismic response of school buildings: lessons from the 2016 Central Italy event Chiara Calderini, Serena Cattari, Sergio Lagomarsino, Stefano Podestà, Lorenzo Scandolo, Daniele Sivori .....	SS02-43
The contribution of ReLUISto to the activities supporting the 2016 central Italy seismic emergency M. Di Ludovico, C. Moroni, D. Abruzzese, A. Borri, B. Calderoni, S. Caprili, A. Dall'Asta, F. da Porto, G. De Martino, G. de Matteis, B. Ferracuti, S. Lagomarsino, G. Magenes, A. Mannella, A. Marini, A. Masi, C. Mazzotti, C. Nuti, A. Santoro, L. Sorrentino, E. Spacone, G.M. Verderame, A. Prota, M. Dolce, G. Manfredi .....	SS02-56
Post-earthquake survey, analysis and retrofitting scenario of school buildings Elvis Cescatti, Filippo Lorenzoni, Elisa Saler, Enrico Faccin, Marco Volpe, Fabio P. Marchesini, Francesca da Porto, Claudio Modena .....	SS02-69
School buildings damaged by the 2016 Central Italy Earthquake: Institutes Manzoni-Colbuccaro in Corridonia (MC) and "Sacro Cuore" in Montelupone (MC) G. De Matteis, P. Bencivenga, A. Petrone .....	SS02-80
School buildings damaged by the 2016 Central Italy Earthquake: Institutes Oblate Sacra Famiglia in Cerreto di Spoleto (PG) and Tucci in Acquasanta Terme (AP) G. De Matteis, P. Bencivenga, A. Petrone .....	SS02-91

## SISMA CENTRO ITALIA 2016: DANNI A EDIFICI DI CULTO E MONUMENTALI

Campi Alto di Norcia and its churches: first draft of the damages observation due to the earthquake of 2016 Giuliana Cardani .....	SS03-02
First Analyses and Observations on the Assessed Damage to the Cultural Heritage of the Marche Region after the Central Italy Earthquake Sandro Carbonari, Alessandro Catanzaro, Valerio D'Agostino, Andrea Dall'Asta, Luigino Dezi, Fabrizio Gara, Graziano Leoni, Michele Morici, Andrea Prota, Alessandro Zona .....	SS03-13

The absence of emergency intervention: evolution of damage in churches after Center Italy earthquakes Stefano Podestà, Lorenzo Scandolo .....	SS03-23
Statistical Analysis of the Structural Damage to Churches affected by the 2016-17 Central Italy Earthquake Sequence Claudia Casapulla, Piera Salzano, Antonio Sandoli, Luca Umberto Argiento, Francesca Ceroni, Bruno Calderoni, Andrea Prota ...	SS03-34
Macroscale damage assessment of URM churches after the 2016 earthquake sequence in Centre of Italy Elvis Cescatti, Sabrina Taffarel, Angelo Leggio, Francesca da Porto, Claudio Modena .....	SS03-46
Preliminary analysis of the effects of Centro-Italia earthquake on one nave Churches Gianfranco De Matteis, Mattia Zizi, Valentina Corlito .....	SS03-56
Application of an Innovative Global Damage Index to Unreinforced Masonry Churches Damaged by the 2016-2017 Central Italy Seismic Sequence Alessandra Marotta, Domenico Liberatore, Luigi Sorrentino .....	SS03-67
Considerations on procedures implemented after the 1997 earthquake in the Marche Region: new contributions to the masonry consolidation Enrica Petrucci.....	SS03-76
Analysis of the Collapse mechanisms of three churches in Valnerina struck by the 2016 Italian Earthquake Antonio Borri, Romina Sisti, Giulio Castori, Marco Corradi, Alessandro De Maria .....	SS03-87
Integrated Digital Survey for the Knowledge of the Seismic Damage and to Secure a Building. The Church of Santa Maria in Via in Camerino (MC) Alessandra Meschini, Ramona Feriozzi .....	SS03-98
Post-earthquake dynamic monitoring of Basilica of St. Nicholas of Tolentino Donato Sabia, Takayoshi Aoki, Daniele Costanzo, Renato Lancellotta, Antonino Quattrone.....	SS03-109
Temporary interventions for the safety of cultural heritage buildings after the October 30th 2016 seismic event: the Norcia case Stefano Podestà, Anna Brignola, Lorenzo Scandolo, Chiara Luchini, Francesca Porta, Fiorenza Romei.....	SS03-116

## VALORIZATION OF INNOVATIVE ANTI-SEISMIC DEVICES

Seismic Behavior of an Industrial Steel Structure Retrofitted with Steel Self-Centering Devices (SSCD) Francesco Morelli, Andrea Piscini, Walter Salvatore, Agnese Natali .....	SS04-2
Seismic retrofit of industrial structures with inverted V bracings: influence of the seismic vertical component Francesco Morelli, Nicola Mussini, Agnese Natali, Walter Salvatore, .....	SS04-12
Innovative Dissipative Connection For Steel Braced Frames: U-Connection José Henriques, Luís Calado, Carlo A. Castiglioni, Hervé Degée .....	SS04-22
Numerical parametric investigation of replaceable shear links Mariana Zimbru, Mario D'Aniello, Aurel Stratan, Raffaele Landolfo, Dan Dubină .....	SS04-31
Behaviour factor estimation procedure for Steel MRF Systems Carlo Andrea Castiglioni, Amin Alavi, Giovanni Brambilla Alper Kanyilmaz .....	SS04-45

Seismic Design with FUSEIS Beam Links	
Marius Pinkawa, Helen Bartsch, Benno Hoffmeister, Simon Schaffrath, Markus Feldmann.....	SS04-52
Design and response of free from damage MRFs	
Mariana Zimbru, Mario D'Aniello, Raffaele Landolfo .....	SS04-60

## NUMERICAL APPROACHES FOR THE SEISMIC RISK ASSESSMENT OF HERITAGE STRUCTURES

Numerical analysis of the medieval Civic Tower of L'Aquila to prevent seismic pounding effects	
Marco Dessalvi, Maria Cristina Porcu, and Manuel Saba.....	SS05-02
Robust seismic fragility curves for masonry towers and their Bayesian updating using experimental data	
Gianni Bartoli, Michele Betti, Antonino Maria Marra, Silvia Monchetti .....	SS05-13
An approach to discriminate between local and global modes in the framework of seismic risk assessment of historical structures	
D. Brigante, C. Rainieri, G.Fabbrocino .....	SS05-21
Dynamic behavior assessment of ancient columns through experimental Analyses	
Luigi Petti, Francesco Sicignano, Domenico Greco .....	SS05-32
Controversies in Seismic Assessment of Global Performance of Historical Buildings	
Luigi Sorrentino, Daniele Busoli, Domenico Liberatore .....	SS05-40
Diagnostic analysis and assessment of the structural deficiencies of monumental buildings subject to seismic actions	
Natalino Gattesco, Ingrid Boem, Laura Gratton.....	SS05-51
Simplified Seismic Vulnerability of Several Basilica-Type Churches	
Michele Betti, Sonia Boschi, Andrea Vignoli, Tommaso Bettarini .....	SS05-63
The Vasari's Cupola of the Basilica dell'Umiltà in Pistoia. Studies, surveys, and one year structural monitoring results	
Gianni Bartoli, Michele Betti, Filippo Casarin, Valerio Tesi.....	SS05-75
Seismic vulnerability of historic masonry buildings: the case of Villa La Magia in Quarrata (PT)	
Martina Cianchini, Martina Palloni, Michele Betti, Maurizio Orlando .....	SS05-83
Seismic safety evaluation of museum – ARCUS project: the St. James Charterhouse in Capri	
Stefano Podestà, Lorenzo Scandolo .....	SS05-91
Seismic evaluation of pombalino buildings	
Pier Francesco Giordano, António Sousa Gago, João José Azevedo, Marco Savoia.....	SS05-102

## TECNOLOGIE AVANZATE DI PROTEZIONE SISMICA METODI DI PROGETTO ED ASPETTI NORMATIVI

Methods for a preliminary seismic design of a visco-elastic connection between two simple oscillators	
Vincenzo Gattullia, Francesco Potenza .....	SS06-2

Dynamic Behaviour in Compression and Shear of Low Shape Factor Rubber Blocks Cilento F., Vitale R., Spizzuoco M., Serino G., Muhr A.H. ....	SS06-10
Analysis of the Experimental Behaviour of Low Shape Factor Isolation Rubber Bearings by Shaking Table Investigation Cilento F., Vitale R., Spizzuoco M., Serino G., Muhr A.H. ....	SS06-21
Deformation-induced anisotropy due to the Mullins effect in the biaxial response of HDNR bearings Laura Ragni, Enrico Tubaldi, Andrea Dall’Asta, Hamid Ahmadi, Alan Muhr .....	SS06-31
Response of Curved Surface Sliders under bidirectional displacement orbits Virginio Quaglini, Emanuele Gandelli, Paolo Dubini .....	SS06-41
Total displacement of Curved Surface Sliders during an earthquake: effect of coexisting non-seismic actions Virginio Quaglini, Paolo Dubini, Emanuele Gandelli .....	SS06-52
Reliability of Base-Isolation Systems for In-Plan Irregular R.C. Framed Structures Subjected to Pulse-Type and Non-Pulse-Type Near-Fault Earthquakes Fabio Mazza, Luca Verta .....	SS06-62
Seismic reliability assessment of equivalent perfectly elastoplastic baseisolated structures Paolo Castaldo, Bruno Palazzo, Tatiana Ferrentino .....	SS06-74
Standard requirements for the recentring capability of curved surface sliders Felice Carlo Ponso, Antonio Di Cesare, Gianmarco Leccese, Domenico Nigro .....	SS06-85
Seismic Retrofit of Elevated Water Tanks: Comparative Analysis of Different Strategies Gloria Terenzi, Stefano Sorace, Paolo Spinelli, Elena Rossi.....	SS06-93
Seismic Performance Evaluation and Improvement of a R/C Industrial Building Stefano Sorace, Gloria Terenzi, Anna Frangipane.....	SS06-104
Seismic Vulnerability Analysis and Energy Dissipation-Based Retrofit Interventions on a School Building Lorenzo Vergari, Iacopo Costoli, Gloria Terenzi, Paolo Spinelli .....	SS06-114
Exploiting Rocking of Columns to Enhance Seismic Dissipation of RC Industrial Structures Nicola Caterino, Mariacristina Spizzuoco.....	SS06-126
Applicative solutions for the seismic improvement of a hospital building with the use of viscous dampers Stefano Silvestri, Claudia Giunchi, Vittoria Laghi, Samuele Mazza, Michele Palermo .....	SS06-133
Effects of Beam-Column Joint Shear Modelling on the Nonlinear Static Analysis of R.C. Framed Structures Retrofitted with Damped Braces Fabio Mazza .....	SS06-144
Reliability of systems equipped with viscous dampers accounting for the damper property variability Andrea Dall’Asta, Fabrizio Scozzese, Laura Ragnib, Enrico Tubaldic.....	SS06-155
A Direct Procedure for The Seismic Design of Frame Structures with Added Viscous Dampers Stefano Silvestri, Claudia Giunchi, Michele Palermo, Tomaso Trombetti.....	SS06-166
Experimental testing on U-shaped steel devices for the application of dissipative bracing systems for post-tensioned timber framed buildings Antonio Di Cesare, Felice Carlo Ponso, Nicla Lamarucciola, Domenico Nigro.....	SS06-178

Setup of a Time-Convolution Control Algorithm Designed for Reducing Magnification Effects  
in Structures Under Earthquakes  
Ileana Corbi, Ottavia Corbi, Francesca Tropeano .....SS06-189

Influence of Irregular Masonry Infills on the Nonlinear Dynamic Response of Base-Isolated  
R.C. Framed Structures Subjected to Near-Fault Earthquakes  
Fabio Mazza, Mirko Mazza, Alfonso Vulcano .....SS06-196

## LIFE CYCLE THINKING: INGEGNERIA SISMICA E SOSTENIBILITÀ

Seismic and thermal rehabilitation of existing RC buildings through an integrated approach: an  
application case study  
Angelo Masi, Vincenzo Manfredi, Antonio D'Angola, Alessandro Laguardia .....SS07-2

Development and characterization of a system for the seismic and energy retrofit of existing  
buildings  
Valentina Pertile, Lorenzo De Stefani, Roberto Scotta .....SS07-12

Seismic retrofit of existing masonry building combined with energy saving Interventions  
Antonio Mannella, Mariangela De Vita, Antonio Sabino .....SS07-21

Sustainability of seismic-resisting structures made with UHP-FRCC  
Alessandro P. Fantilli, Tomoya Nishiwaki, Bernardino Chiaia .....SS07-30

“Life Cycle Thinking” applied to the repair actions of a school damaged in the 2016 Central  
Italy earthquake  
Simone Labò, Andrea Belleri, Chiara Passoni, Alessandra Marini, Sonia Longo, Maurizio Cellura .....SS07-37

Life Cycle Thinking and Performance Based Design for the renovation of the existing building  
stock  
Chiara Passoni, Simone Labò, Alessandra Marini, Andrea Belleri, Paolo Riva .....SS07-45

Probabilistic approach to Life Cycle Analysis of structures including earthquake effects: first  
discussion on a case study  
Chiara Piccardo, Chiara Calderini, Simone Caffè, Alessio Argentoni .....SS07-55

Design of a reversible steel joint for resilient and sustainable structures  
Margherita Pongiglione, Chiara Calderini, Mario D'Aniello, Raffaele Landolfo .....SS07-63

An integrated approach to assess the influence of seismic risk into energy retrofit optimization  
procedures  
Umberto Vitiello, Costantino Menna, Gerardo Maria Mauro, Domenico Asprone, Fabrizio Ascione, Nicola Bianco,  
Andrea Prota, Giuseppe Peter Vanoli .....SS07-71

## MODELLI COMPUTAZIONALI E STRATEGIE DI VALUTAZIONE DELLA PERFORMANCE SISMICA NEL PIANO E FUORI PIANO DEI PANNELLI

A semi-empirical stress-strain model for equivalent strut fiber-section modeling of infilled  
frames  
Fabio Di Trapani, Liborio Cavaleri, Gabriele Bertagnoli, Diego Gino .....SS08-2

Simplified numerical modelling for hollow clay-masonry infills in RC frames under in-plane  
seismic loads  
Maria Teresa De Risi, Carlo Del Gaudio, Paolo Ricci, Gerardo Mario Verderame .....SS08-13

Evaluation of the Seismic Vulnerability of Infill Frame Structures Bartolomeo Pantò, Ivo Calì, Paulo B. Lourenço .....	SS08-24
Evaluation of seismic response of R.C. building and considerations on in plan and out of plan capacity of infill in brick Marco Bosio, Michele Bressanelli, Andrea Belleri, Alessandra Marini, Flavio Mosele.....	SS08-33
Combined In-Plane and Out-Of-Plane seismic effects on masonry infills in RC Frames Marco Donà, Massimiliano Minotto, Elisa Saler Giovanni Tecchio and Francesca da Porto,.....	SS08-42
Out-of-plane seismic assessment of URM infills accounting for in-plane/out of-plane interaction in a non-linear static framework Paolo Ricci, Mariano Di Domenico, Gerardo M. Verderame.....	SS08-53
Experimental assessment of the out-of-plane seismic response of URM infill Walls Paolo Ricci, Mariano Di Domenico, Gerardo M. Verderame.....	SS08-64
Out-of-plane seismic behaviour of an innovative infill with sliding joints through dynamic tests on shaking table Riccardo R. Milanese, Paolo Morandi, Carlo F. Manzini, Guido Magenes.....	SS08-74
The seismic performance assessment of internal partitions Antonio Bonati, Orsola Coppola, Antonio Occhiuzzi .....	SS08-85
Comparative Application of Nonlinear Static Analysis Methods for Seismic Assessment of Masonry Infilled RC Frames Carmine Lima, Enzo Martinelli, Ciro Faella.....	SS08-94
Irregular Opening Layouts in Unreinforced Masonry Walls: Equivalent Frame and Finite Element Simulations Claudio Pagani, Luca Salvatori, Maurizio Orlando, Paolo Spinelli .....	SS08-105
A IDA based Framework for the Assessment of Seismic Fragility of Infilled Frames with and without prior Seismic Damage Fabio Di Trapani, Marzia Malavisi, Gabriele Bertagnoli, Vincenzo Ilario Carbone.....	SS08-115
Drift-based fragility functions for hollow clay masonry infills in RC buildings under in-plane seismic actions Carlo Del Gaudio, Maria Teresa De Risi, Paolo Ricci, Gerardo Mario Verderame .....	SS08-126
Seismic analysis of a multi-story RC frame with infills partitioned by sliding Joints Marco Preti, Valentino Bolis.....	SS08-138
In-Plane Seismic Performance of RC Structures with Masonry Infills Irregularly Distributed in Elevation Andrea Rossi, Paolo Morandi, Luca Albanesi, Guido Magenes .....	SS08-147
Appraisal of the contribution of infill panels in regional vulnerability analyses of existing RC buildings in Puglia Maria Antonietta Aiello, Pier Luigi Ciampoli, Andrea Fiore, Daniele Perrone, Giuseppina Uva.....	SS08-158
In-Plane Seismic Response of Masonry Walls through a Hybrid Continuum-Discrete Multiscale Model Luca Salvatori, Paolo Spinelli .....	SS08-169

## COMPORTAMENTO, DANNEGGIAMENTO E INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI MONUMENTALI ECCLESIASTICI COLPITI DA SISMA

- Incremental Static and Dynamic Analyses of the Out-of-Plane Response of a Masonry Church damaged by 2016-2017 Central Italy Earthquakes  
Claudia Casapulla, Linda Giresini, Luca Umberto Argiento, Sergio Lagomarsino .....SS09-2
- Assessment of seismic capacity of masonry churches according to Code indications: some remarks on a real case  
Antonio Sandoli, Giuseppe Brandonisio, Luciano Mazzocca Bruno Calderoni .....SS09-13
- Convergences and Divergences between seismic analysis with damage and FEM: the case study of Novi bell tower  
Claudio Gallia, Nicola Lolli, Fabio Lugli.....SS09-24
- Seismic capacity of triumphal arches in masonry churches  
Giuseppe Brandonisio, Elena Mele, Antonello De Luca.....SS09-35

## PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONI E COMPORTAMENTO DI STRUTTURE ISOLATE SISMICAMENTE A 40 ANNI DALLE PRIME APPLICAZIONI

- Additional upper storey as a way for retrofit: intermediate seismic isolation for existing masonry buildings  
Diana Faiella, Francesco Verrone, Bruno Calderoni e Elena Mele .....SS10-2
- Experimental tests of elastomeric isolators: influence of vertical load V and of secondary shape factor  
Giuseppe Brandonisio, Felice Ponso, Elena Mele, Antonello De Luca S2.....SS10-13
- Evolution in Italy in the last decades of the design of buildings with base isolation system  
Giuseppe Brandonisio, Francesca Esposito, Antonello De Luca .....SS10-22
- The isolation at the top for the seismic upgrading of existing housing: the buildings of Moretti's Olympic Village  
Giuseppe Brandonisio, Francesca Esposito, Luca Lanini, Antonello De Luca.....SS10-33

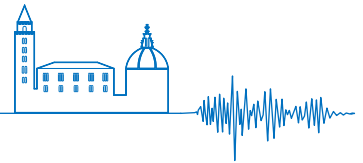
## NATURAL RISK MITIGATION AND PROTECTION OF THE CULTURAL HERITAGE-ELARCH EURO-LATIN AMERICA PARTNERSHIP RESEARCHES

- Seismic assessment of masonry churches in Matera landscape  
Michelangelo Laterza, Michele D'Amato, Daniela Diaz .....SS11-2
- A study of local collapse mechanisms of an ancient church in Matera  
Michelangelo Laterza, Michele D'Amato, Vito Michele Casamassima, Michele Signorelli .....SS11-12
- Seismic vulnerability of old Italian fortifications  
Michelangelo Laterza, Michele D'Amato, Edgar Laguna.....SS11-23
- Considerations on Bridge-pier design: Past versus Future practices  
Alonso Pizarro, Caterina Samela, Silvano Fortunato Dal Sasso, Mauro Fiorentino, Oscar Link, and Salvatore Manfreda.....SS11-32
- Fatigue behavior of ancient masonry arch bridges: residual service life evaluation using stress-life curves method  
Michelangelo Laterza, Michele D'Amato, Vito Michele Casamassima.....SS11-36



Types of Dwellings and Spatial Distribution of the Indigenous Communities of Wayuu of the Guajira Willington Gonzalez, Ruggero Ermini, Salvatore Manfreda .....	SS11-47
Losses, safety, and functionality of the hospitals in Lima in case of an Earthquake Nicola Liguori, Nicola Tarque, Sandra Santa-Cruz, Enrico Spacone.....	SS11-55
Seismic vulnerability of an existing RC building: comparison between Italian and Mexican design codes Michelangelo Laterza, Michele D'Amato, Guillermo Martinez, Octavio Méndez, Vito Michele Casamassima, Michele Signorelli, Edgar Laguna.....	SS11-65
Seismic analysis methods of ancient masonry churches in Matera Michelangelo Laterza, Michele D'Amato, Daniela Díaz, Marcella Chietera .....	SS11-76
Qualitative structural analysis in the evolution of various conservation interventions of a historical construction Alfredo Cali, Ângela do Valle, Poliana Dias de Moraes .....	SS11-86
A comparative study between the Italian and Mexican Design Code for seismic assessment of old RC buildings Michelangelo Laterza, Michele D'Amato, Guillermo Martinez, Nancy Ortega Vito Michele Casamassima, Michele Signorelli .....	SS11-97
Parametric seismic analysis on masonry bell towers Antonio Formisano, Roberto Vituat, Gabriele Milani and Vasilis Sarhosis .....	SS11-108
Cultural heritage constructions in the Neapolitan area: seismic vulnerability and risk maps of a set of masonry churches Antonio Formisano .....	SS11-117
Ethics, patrimony and research. Questions about European concepts to Brazilian objects Thays Tonin, Angela P. Colonna.....	SS11-128
Seismic risk of hospital buildings in Italy: remarks on recent activities and risk reduction policies Giuseppe Santarsiero, Angelo Masi, Luigi Di Sarno, Sonia Giovinazzi, Giuseppe Ventura .....	SS11-137





## Seismic Vulnerability Assessment of complex buildings/aggregated buildings in historical centers: first level methods

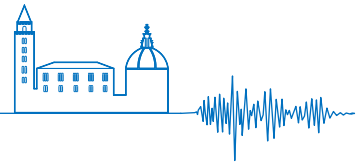
Luisa Berto<sup>a</sup>, Paolo Faccio<sup>a</sup>, Anna Saetta<sup>a</sup>, Diego Talledo<sup>a</sup>, Isabella Zamboni<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Dipartimento di Architettura Costruzione Conservazione, Università IUAV di Venezia, Dorsoduro, 31123 Venezia*

*Keywords: seismic assessment, aggregated buildings, vulnerability matrices, simplified methods, qualitative-quantitative approaches*

### ABSTRACT

The aim of this paper is to propose a simplified method for seismic vulnerability assessment of complex buildings as well as of aggregated buildings in historical centers. This approach is based on the *LVI* method proposed in the code D.P.C.M.2011 combined with some suitable forms/data sheets. In detail, at historical center level (*LVO*), two different forms are proposed, which do not require on-site survey. Then the first vulnerability matrix *A1* is created which allows to highlight the most critical situations in the analyzed territory and establish priorities for the further phases of evaluation. These phases require the adoption of a further form, at level *LVO*<sup>\*</sup>, and the creation of the more detailed vulnerability matrix *A2*. *A2*-matrix aims to identify the most vulnerable aggregates for which are necessary detailed analyses (at *LVI* level) and the planning of future interventions. Finally the *B*-matrix is defined through the compilation of some *LVI*-forms, concerning both the aggregated building and the masonry techniques. The information given by the matrix *B* can be used to modify the evaluation of safety index performed with a simplified mechanical model, obtained on the base of *LVI*-Palace method (D.P.C.M.2011) and modified due to the effects induced by interacting adjacent buildings.



# Valutazione di vulnerabilità sismica di edifici complessi/in aggregato: metodi di primo livello

Luisa Berto<sup>a</sup>, Paolo Faccio<sup>a</sup>, Anna Saetta<sup>a</sup>, Diego Talledo<sup>a</sup>, Isabella Zamboni<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Dipartimento di Architettura Costruzione Conservazione, Università IUAV di Venezia, Dorsoduro, 31123 Venezia

*Keywords: vulnerabilità sismica, edifici in aggregato, matrici di vulnerabilità, metodo speditivo*

## ABSTRACT

In questo lavoro si propone un metodo speditivo per la valutazione di vulnerabilità sismica dei centri storici e degli aggregati che li costituiscono. Tale valutazione si rifà al metodo *LVI*, come definito nel D.P.C.M.2011, e all'utilizzo di opportuni strumenti schedografici. In particolare, a scala di centro storico, si sono introdotte schede *LVO* (che non richiedono sopralluoghi in-situ) mediante le quali si costruisce una matrice-A1 che consente di redigere una prima graduatoria di vulnerabilità degli aggregati. Tale graduatoria consente di stabilire l'ordine con cui eseguire le successive analisi in-situ, attraverso l'utilizzo di un'ulteriore scheda, di livello *LVO\**, e la costruzione di una seconda matrice di vulnerabilità-A2 volta ad identificare gli aggregati maggiormente vulnerabili, per i quali risulta prioritario eseguire approfondimenti di analisi a livello *LVI*. A tale livello si sono quindi definite opportune schede, che richiedono un sopralluogo all'interno di ogni singolo edificio dell'aggregato, e che consentono di costruire una matrice più dettagliata-B che può essere utilizzata per combinare le informazioni "qualitative" in essa contenute con valutazioni "quantitative" derivanti dall'applicazione di metodi semplificati. In tal senso, nel presente lavoro, si propone un metodo di livello *LVI* (*LVI\**) per valutare l'indice di sicurezza di ciascun edificio dell'aggregato, formulato sulla base del metodo proposto nel D.P.C.M.2011.

## 1 INTRODUZIONE

Il problema della valutazione di vulnerabilità sismica di edifici appartenenti ad aggregati (denominati anche Complessi Architettonici-CA, Brogiolo 1988), nonché di edifici complessi, è ad oggi argomento di grande interesse ed attualità per la comunità scientifica e nazionale, anche in seguito all'effetto dei recenti eventi sismici che hanno interessato il nostro territorio.

Tenuto conto della vasta diffusione di tale tipologia nei centri storici italiani, dell'elevata vulnerabilità che la caratterizza e della notevole complessità intrinseca al processo di valutazione di vulnerabilità dovuta alla presenza di diversi edifici/corpi di fabbrica, (definiti anche *Unità Strutturali Omogenee*, ReLuis 2010) e alla loro interazione, si rende necessario mettere a punto una metodologia speditiva atta a consentire una valutazione di vulnerabilità sismica a livello territoriale dei centri storici e degli aggregati che li costituiscono.

In tale ambito, in questo lavoro viene presentata una procedura che abbinata una valutazione quantitativa, che consente il calcolo di un indice di sicurezza sismica relativo al

singolo corpo di fabbrica dell'aggregato, a considerazioni qualitative basate sull'utilizzo di matrici di vulnerabilità, di diverso livello, che evidenziano i principali fattori di vulnerabilità e di presidio e forniscono coefficienti per la correzione dell'indice di sicurezza. Il metodo quantitativo proposto per il calcolo dell'indice di sicurezza (rapporto capacità/domanda) è basato sul metodo *LVI* per edifici (D.P.C.M. 2011, metodo per "*Palazzi, ville e altre strutture con pareti di spina e orizzontamenti intermedi*" nel seguito denominato *LVI-Palazzi*), opportunamente modificato per tenere conto della presenza di edifici adiacenti. L'idea di abbinare un metodo quantitativo per il calcolo del rapporto capacità/domanda ad uno qualitativo per la valutazione di vulnerabilità è anche all'origine della procedura RE.SIS.TO (Chinni et al. 2013), basata sull'utilizzo delle schede GNDT di II livello (Regione Toscana 2003, GNDT 2010) ed utilizzabile per edifici singoli. La procedura di analisi di Benedetti e Petrini (1984) da cui derivano le schede GNDT, è stata integrata da parametri rappresentativi dell'interazione fra le unità strutturali di aggregato nei lavori di Formisano et al. (2009, 2011).

La metodologia così sviluppata, attraverso le matrici di vulnerabilità, si propone di pervenire ad una procedura qualitativo-quantitativa atta a valutare un indice di vulnerabilità sismica speditivo, e uniforme per la tipologia costruttiva in esame. Il fine, in accordo al senso di una valutazione di livello *LVI*, è di supportare le amministrazioni o i proprietari nell'operare le scelte strategiche necessarie per la definizione di una graduatoria di priorità per le fasi successive di analisi. Tali fasi consistono nello svolgimento di studi di vulnerabilità completi e nella progettazione di eventuali interventi di miglioramento-adequamento sismico. La procedura richiede la collaborazione di esperti di diverse discipline: ingegneri strutturisti, architetti, storici e archeologi delle architetture. In particolare, la necessità di mettere a punto strumenti di analisi transdisciplinari tra tecnici ed archeologi, consente di ottimizzare la fase di raccolta ed interpretazione dei dati per una più efficace comprensione del costruito storico, evidenziandone le principali vulnerabilità, gli elementi di presidio e le intrinseche qualità che ne aumentano le capacità resistenti (e.g. Brogiolo 2010, Boato e Lagomarsino 2011, Brogiolo e Faccio 2011, Faccio 2015). Il risultato di tale processo è pervenire alla definizione di modelli interpretativi il più possibile verosimili che consentano analisi affidabili, se pur semplificate, del comportamento dell'edificato storico in presenza di azioni sismiche.

La metodologia qualitativo-quantitativa proposta prevede livelli di speditività via via decrescenti, tenendo conto della necessità di procedere in economia di risorse. Risulta implicito che, tra gli oneri non trascurabili da affrontare per chi si occupa di prevenzione, il rilievo occupa un ruolo primario. Per tale ragione esso non è previsto ai livelli di valutazione preliminari. Impensabile, infatti, imporre l'esecuzione su larga scala a scopi preventivi. I risultati delle valutazioni maggiormente speditive si rivolgono alle Amministrazioni Comunali, cui è demandata la prevenzione, e potrebbero affiancare o integrare le informazioni conoscitive, relative al costruito, allegate al Piano di Emergenza Comunale.

L'obiettivo è, quindi, di acquisire una maggiore conoscenza degli aggregati presenti su un determinato territorio (e.g. in termini di numero, consistenza, tecniche costruttive adottate, potenziali vulnerabilità e presidi) fungendo, inoltre, da supporto alla pianificazione delle indagini di approfondimento e degli eventuali interventi da eseguire sui diversi corpi di fabbrica.

Quale caso applicativo, in questo lavoro viene presentato lo studio su un aggregato appartenente al centro storico di Civita di Bagnoregio (VT). Si tratta del risultato di una ricerca iniziata nell'ambito del progetto ReLuis linea muratura 2009-2013, che ha anche consentito lo sviluppo di una tesi di dottorato (Campanini, 2015), ed attualmente in corso nell'ambito del progetto ReLuis 2014-2018.

## 2 PROCEDURA DI VALUTAZIONE DI VULNERABILITÀ DEGLI AGGREGATI

Per giungere ad una valutazione di vulnerabilità di edifici appartenenti ad aggregati siti in centri storici, che sia equivalente alla valutazione di livello *LVI* proposta nel D.P.C.M. 2011 per edifici singoli, è necessario mettere a punto una fase preliminare di analisi che abbinata ad una valutazione quantitativa eseguita con metodi semplificati una serie di considerazioni e valutazioni qualitative. Nello specifico, la metodologia proposta in questo lavoro è indirizzata a guidare tale processo di analisi, con particolare riferimento alla raccolta, integrazione e sistematizzazione delle informazioni mediante l'introduzione di schede di raccolta dati e la definizione di matrici di vulnerabilità. Le prime applicazioni di un approccio integrato ai problemi relativi allo studio di vulnerabilità dei centri storici sono riportate in Giuffrè 1993, Giuffrè e Carocci 1999.

Alla scala di centro storico si sono introdotte schede di livello *LVO*, una per l'intero centro storico ed una per i diversi aggregati, attraverso le quali si definisce una matrice a scala di centro storico (Matrice A1 - *LVO*) che consente di redigere una prima graduatoria di vulnerabilità degli aggregati, utile per stabilire l'ordine con cui iniziare ad approfondire le analisi.

Successivamente, si definisce una scheda di livello *LVO\** per gli aggregati attraverso la quale si può costruire una seconda matrice di vulnerabilità, denominata A2, a valle della quale si identificano i CA maggiormente vulnerabili per i quali si prevede prioritariamente la necessità di una verifica di livello *LVI*, analoga a quella riportata nel D.P.C.M. 2011. A tale scopo si utilizzano opportune schede *LVI* - edificio che, a differenza delle precedenti, necessitano di un sopralluogo all'interno dei singoli edifici costituenti l'aggregato. Con le informazioni raccolte si può quindi definire una matrice più dettagliata (Matrice B) a scala di aggregato che può essere utilizzata per combinare le informazioni "qualitative" in essa contenute con

valutazioni “quantitative” ottenute applicando metodi di valutazione di diverso grado di approssimazione. Da sottolineare come, a livello *LVI*, sia possibile pervenire ad una valutazione di vulnerabilità dei singoli edifici appartenenti all’aggregato utilizzando, ad esempio, un metodo di calcolo formulato a partire dal suddetto metodo *LVI-Palazzi* opportunamente modificato per tenere conto della presenza di edifici adiacenti (metodo denominato *LVI\**) e successivamente ulteriormente corretto mediante la matrice *B* di vulnerabilità, al fine di valutare un indice di sicurezza sismica modificato per ogni edificio  $i_k$ -esimo appartenente all’aggregato  $k$ -esimo e denominato:  $I_{s,mod}^{i_k}$ .

Sempre a livello *LVI*, si può inoltre definire un indice di sicurezza per l’intero aggregato ( $I_{s,mod}^k$ ) calcolabile o in forma semplificata considerando l’aggregato come un unico “edificio complesso”, e correggendo il valore dell’indice mediante la matrice *B* di vulnerabilità, ovvero come il minimo tra tutti i valori di  $I_{s,mod}^k$  calcolati per i singoli edifici appartenenti all’aggregato.

La procedura proposta è schematicamente rappresentata nel flow-chart di Figura 1.

Le schede e le relative matrici previste sono elencate nel seguito, distinte per livello di valutazione della vulnerabilità sismica *LVO*, *LVO\** e *LVI*:

- Scheda Centro Storico – *LVO*
- Scheda Aggregato – *LVO*
- MATRICE A1 – *LVO* che sintetizza i risultati ottenuti dalle “Schede Aggregato – *LVO*” compilate per l’intero centro storico;
- Scheda Aggregato – *LVO\**
- Scheda Tecnica Muraria (TM) – *LVO\**
- MATRICE A2 – *LVO\** che sintetizza i risultati ottenuti dalle “Schede Aggregato-*LVO\**” e dalle “Schede Tecniche Murarie-*LVO\**” compilate per l’intero centro storico;
- Scheda Edificio – *LVI*
- Scheda Tecnica Muraria – *LVI*
- MATRICE B – *LVI* che sintetizza i risultati ottenuti dalle “Schede Edificio – *LVI*” e dalle “Schede Tecniche Murarie – *LVI*” compilate per l’intero aggregato.

Al fine di descrivere tale procedura nel dettaglio, nei paragrafi successivi si fa riferimento al caso studio di Civita di Bagnoregio (VT), ed in particolare all’aggregato CA n. 13, evidenziato in rosso in Figura 2.

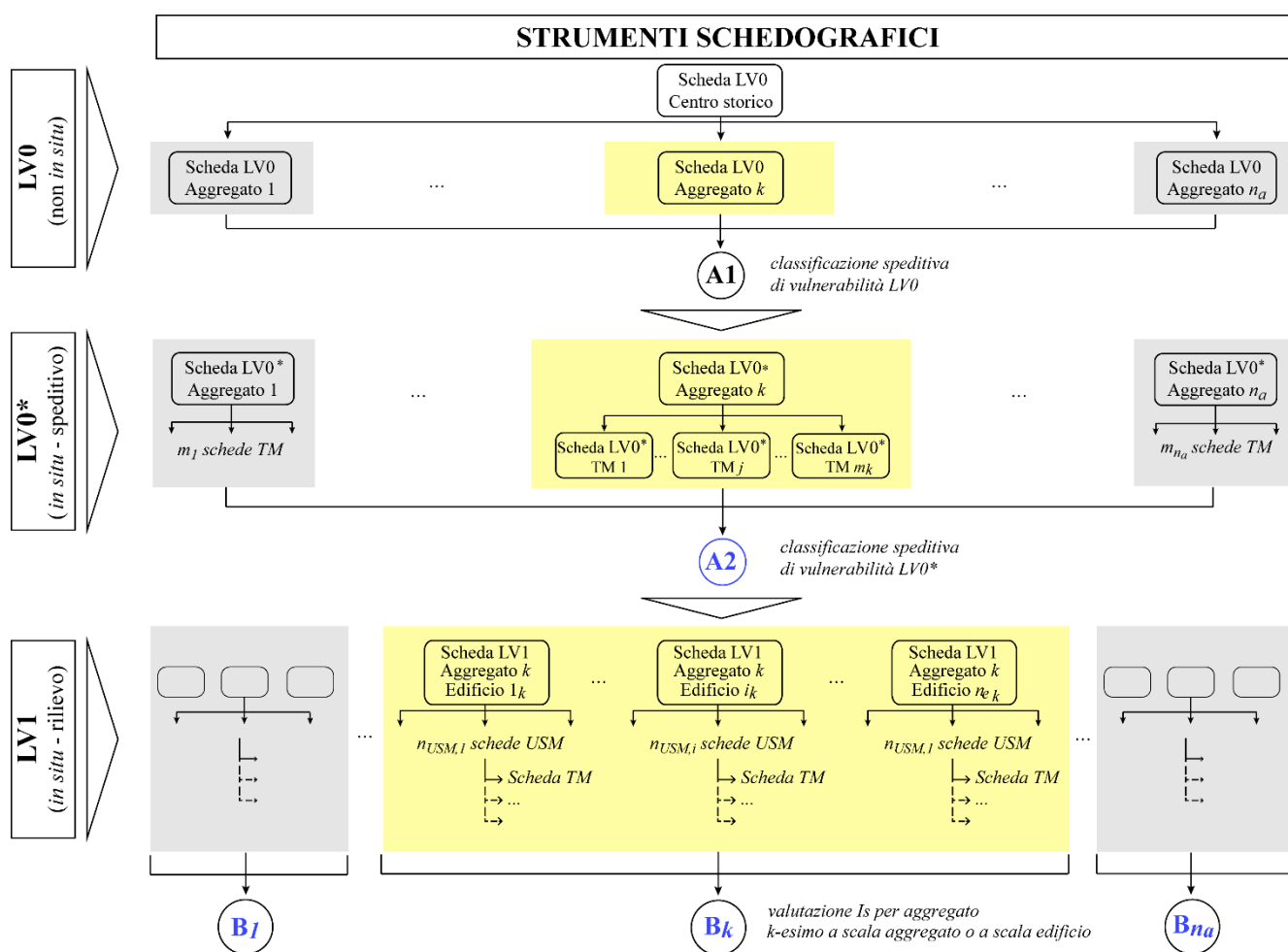


Figura 1. Flow-chart della procedura proposta.



Figura 2. Civita di Bagnoregio: CA n. 13 (in rosso).

### 3 LIVELLI DI VALUTAZIONE A SCALA CENTRO STORICO $L_{V0}$ E $L_{V0}^*$

Con riferimento alle valutazioni di vulnerabilità che si possono eseguire a livello di centro storico, nel caso di presenza di più di un fattore di rischio, quali ad esempio: rischio sismico, rischio meteo-idro-geologico, rischio da degrado ambientale, etc., le analisi descritte nel seguito dovranno essere ripetute per ogni hazard considerato.

A titolo di esempio, relativamente al caso studio di Civita di Bagnoregio, si fa riferimento al caso di hazard sismico e in Figura 3 è mostrato un estratto della “Scheda aggregato- $L_{V0}$ ” riferita al CA n. 13, mentre in Figura 4 un estratto della matrice A1 del centro storico relativo allo stesso aggregato. Ogni colonna della matrice A1 riporta, per ogni aggregato (CA), la valutazione di alcuni parametri significativi relativi alla localizzazione dell’aggregato rispetto ad aree soggette a diversi livelli di pericolosità sismica, alla presenza di trasformazioni e alla forma attuale. Per quanto riguarda la forma, sono stati considerati parametri correlati alla regolarità in pianta (compattezza, forma, simmetria rispetto a una o due direzioni) ed il giudizio di vulnerabilità conseguente risulta “BASSO” nel caso di regolarità in pianta e “MEDIO” o “ALTO” quanto più la forma tende ad essere irregolare. Attualmente, sono in corso di definizione regole di attribuzione di tali giudizi, anche in logica fuzzy, basati su valori quantitativi che potrebbero essere facilmente calcolabili da routine automatiche con riferimento ad una griglia quadrangolare di supporto.

A titolo di esempio, indicando con  $A_{griglia}$  e  $A_{aggregato}$  rispettivamente l’area della griglia di supporto (linea blu in Figura 3c) e dell’aggregato (linea magenta in Figura 3c), si può definire l’indice di compattezza come:

$$i_{COMP} = A_{aggregato} / A_{griglia} \quad (1)$$

Questo livello di valutazione, da effettuarsi su tutto il centro storico, si basa su dati indiretti che

suggeriscono la presenza di vulnerabilità dell’edificato (e.g. trasformazioni, rifusioni, ripartizioni) reperibili attraverso una ricerca storica (e.g. informazioni d’archivio, catastali, bibliografiche e iconografiche), senza la necessità di recarsi sul posto.

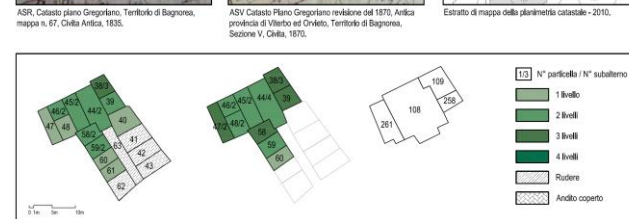
Successivamente, sulla base della matrice A1, si redige una prima classificazione speditiva di vulnerabilità identificando così l’ordine con cui eseguire gli approfondimenti di analisi previsti al livello successivo,  $L_{V0}^*$ . Tale secondo livello di analisi è ancora a scala di centro storico ma, a differenza del precedente, prevede un sopralluogo da parte di personale tecnico qualificato, e non comporta la necessità di entrare nei singoli corpi di fabbrica ed eseguire un rilievo geometrico.

SCHEDA AGGREGATO	$L_{V0}$	$L_{V0}^*$	$L_{V1}$	CIVITA DI BAGNOREGIO	CA n. 13
------------------	----------	------------	----------	----------------------	----------

LOCALIZZAZIONE E DENOMINAZIONE		LOCALIZZAZIONE AGGREGATO RISPETTO AD AREE SOGGETTE A PERICOLOSITA'	
		CA n. 13	<b>Medio</b>
Fattori geomorfologici	MEDIO		
Dati da strumenti di monitoraggio	MEDIO		MEDIO
Opere di stabilizzazione	-		

(a)

TRASFORMAZIONI	Fonti: <input type="checkbox"/> Archivistiche <input type="checkbox"/> Iconografiche <input type="checkbox"/> Catastali <input type="checkbox"/> Bibliografiche
<small>ASR, Catasto piano Gregoriano, Territorio di Bagnoregio, mappa n. 67, Città Antica, 1835.</small>	<small>ASV Catasto Piano Gregoriano revisione del 1870, Anella provinciale di Viterbo ed Ostia, Territorio di Bagnoregio, Sezione V, Città, 1870.</small>



	Datazione	Tipo fonte	N° particelle	N° particelle a rudere	% variazione n° piani	Variazione significativa di superficie
PERIODO I	1835	catastale	17	5		
PERIODO II	1870	catastale	10	-	+1 (4/10); +2 (1/10)	si
PERIODO III	2010	catastale	4	-	?	si

(b)

STATO DI FATTO: VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' PER FORMA E GEOMETRIA			
	Indice di compattezza	Indice di simmetria	Indice di forma
CA n. 13	BASSO	BASSO	BASSO
	BASSO		

(c)

Figura 3. Estratto di scheda  $L_{V0}$ -aggregato per il caso studio: (a) localizzazione rispetto alle aree soggette a pericolosità; (b) trasformazioni; (c) forma.

L <sub>V0</sub> - MATRICE A1				
CA	PARAMETRI INDICATORI DI VULNERABILITA'			VULNERABILITA' SISMICA COMPLESSIVA
	Localizzazione aggregato rispetto alle aree soggette a pericolosità	Trasformazioni	Forma e geometria attuali	
1				
...				
13	MEDIO	ALTO	BASSO	MEDIO
...				
23				

Figura 4. Estratto matrice A1 per il caso studio (CA n. 13).



Le schede che si devono compilare in tale fase (*Scheda aggregato – LV0\**), una per ogni aggregato sulla base della lista precedentemente redatta, riportano le principali vulnerabilità intrinseche per l'aggregato (quali ad esempio il numero di fasi costruttive, quadri fessurativi diffusi, discontinuità in altezza e sfalsamento dei solai tra edifici vicini, forma in pianta, presenza di fori pontai allineati, etc.), e di eventuali presidi efficaci. Un estratto di “Scheda Aggregato – LV0\*” è riportato in Figura 5.

In tale fase è previsto che si effettuino anche una analisi macro-stratigrafica preliminare atta ad individuare, oltre agli edifici componenti l'aggregato e i loro rapporti costruttivi, le tecniche murarie omogenee per l'aggregato, redigendo apposite schede (*Scheda TM – LV0\**).

SCHEDA AGGREGATO	LV0	LV0*	LV1	CIVITA' DI BAGNOREGIO	CA n. 13
RICOGNIZIONE FOTOGRAFICA DEI PROSPETTI ESTERNI					
ANALISI ARCHEOLOGICA SPEDITIVA DEGLI ELEVATI					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Discontinuità macrostratigrafica tra CF</li> <li>N° CF</li> <li>N° provvisorio fasi costruttive</li> <li>N° Fase</li> <li>Campioni di muratura</li> <li>Disomogeneità muraria</li> <li>Rapporti stratigrafici tra CF</li> <li>contemporaneità</li> <li>posteriorità - addossamento</li> <li>posteriorità - ammassamento</li> <li>angolata</li> <li>n.d.</li> </ul>					
PRESIDI					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Presidi in muratura (contraforti, scarpe, archi di sbadacchio)</li> <li>Capochiave di catena</li> <li>Cerchiature</li> </ul>					
VULNERABILITA'					
<ul style="list-style-type: none"> <li>N° livelli per CF</li> <li>Andito coperto</li> <li>Differenze di altezza tra CF</li> <li>Sfalsamento piani tra CF</li> <li>Rudere</li> <li>Stato di abbandono</li> <li>Elementi eterogenei</li> <li>Maschi murari</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Logge, alliane</li> <li>Aperture vicine ai muri di spina</li> <li>Allineamento di fori pontai aperti</li> <li>Indici di riduzione di sezione (cavodi, carne fumate, tamponamenti)</li> <li>Aperture al piano terra</li> <li>Stima della percentuale di aperture al piano terra per prospetto</li> <li>Sopraelevazioni e ricostruzioni</li> <li>Quadro fessurativo diffuso</li> <li>Evidenti fuori piombo</li> <li>Presidi inefficienti</li> </ul>					

Figura 5. Estratto scheda aggregato-LV0\* aggregato CA 13.

A partire da queste schede si costruisce una matrice di vulnerabilità A2 in cui, per ogni aggregato, si esprime un giudizio qualitativo (ALTO, MEDIO, BASSO) sulla diffusione / efficacia di ogni singolo parametro considerato, in analogia con l'approccio riportato in D.P.C.M. 2011, modello LV1 per *Chiese, luoghi di culto ed altre strutture con grandi aule, senza orizzontamenti intermedi*.

In Figura 6 si riporta un estratto della matrice A2, compilato per il CA n. 13. Al fine di consentire una valutazione quantitativa della vulnerabilità complessiva dell'aggregato si è scelto di associare ad ogni giudizio di vulnerabilità un corrispondente valore numerico. Si può quindi definire un indice di vulnerabilità dell'intero aggregato,  $i_{v,LV0^*}$ , secondo la seguente proposta che tiene conto anche dell'effetto benefico dovuto ad eventuali presidi antisismici efficaci:

$$i_{v,LV0^*} = \frac{\sum_{i=1}^{n_v} \rho_i v_i + \rho_{TM} v_{TM} + \sum_{i=1}^{n_p} \rho_i v_i}{\sum_{i=1}^{n_v} \rho_i} \quad (2)$$

dove  $v_i$  rappresenta l'indice di vulnerabilità dell' $i$ -esimo parametro,  $\rho_i$  il corrispondente peso,  $n_v$  ed  $n_p$  sono rispettivamente il numero di parametri di vulnerabilità e presidio considerati. Il pedice TM indica il parametro relativo alla tecnica muraria che, se non di buona qualità, costituisce un indicatore di vulnerabilità.

Nel presente lavoro si sono identificati 20 parametri di vulnerabilità ( $n_v$ ) e 3 di presidi ( $n_p$ ), inoltre è stato assunto, in questa fase, peso uguale e pari a 1 per tutti i parametri considerati. I valori numerici proposti per gli indici di vulnerabilità  $v_i$  sono riportati in Tabella 1. In caso di assenza di una determinata vulnerabilità, il corrispondente indice  $v_i$  è assunto pari a 0.

Sulla base della matrice A2 è quindi possibile eseguire una nuova classificazione di vulnerabilità, identificando l'ordine con cui iniziare ad effettuare le verifiche a livello LV1.

Tabella 1. Indici di vulnerabilità e pesi assunti per i diversi parametri considerati.

	$i$	$\rho_i$	$v_i$		
			BASSO	MEDIO	ALTO
Vulnerabilità	1	...	0.2	0.5	1.0
	$n_v$				
Qualità muraria	TM	1	0.5	0.2	0
	1				
Presidi	...	1	-0.2	-0.5	-1.0
	$n_p$				

LV0* - MATRICE A2																											
CA	PARAMETRI INDICATORI DI VULNERABILITA' E DEI PRESIDI ANTISISMICI																				TM	Presidi		VALUTAZIONE VULNERABILITA' SISMICA COMPLESSIVA			
	Vulnerabilità																										
1																											
13	ALTO	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	BASSO	MEDIO	BASSO	BASSO	-	-	MEDIO	-	MEDIO	BASSO	BASSO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO	MEDIO	BASSO	-	-			0.42
23																											

Figura 6: Estratto matrice di vulnerabilità A2-LV0\* per l'aggregato CA n. 13.

La tipologia di esperti compilatori richiesta in questa fase è costituita da: archeologi dell'architettura con formazione in materia di indagini qualitative di vulnerabilità; architetti con formazione in materia di analisi stratigrafica degli elevati e indagini qualitative di vulnerabilità.

#### 4 LIVELLI DI VALUTAZIONE A SCALA DI AGGREGATO/EDIFICIO IN AGGREGATO LVI

Per quanto riguarda il livello LVI, che si inquadra a scala aggregato e a scala di edificio appartenente all'aggregato, si rende necessario un sopralluogo all'interno di ciascun edificio del CA, con la realizzazione dei rilievi di carattere multidisciplinare necessari per l'approfondimento della conoscenza. Le informazioni vengono raccolte in opportune schede, "Schede Edificio – LVI" (compilate per ogni edificio del CA) che sono la base per la definizione della matrice B dell'aggregato. Questa matrice contiene le informazioni "qualitative" da combinare ad una valutazione "quantitativa" ottenuta con metodi di livello LVI.

##### 4.1 Schede Edificio LVI e matrice B

La messa a punto delle schede edificio LVI, attualmente ancora in fase di completamento, fa riferimento alle schede edificio GNDT 2010 con le successive revisioni, ed ai lavori di Formisano et al. (2009, 2011), che hanno introdotto ulteriori parametri di vulnerabilità specifici dell'edificio appartenente ad un aggregato, quali l'interazione in altezza con gli edifici adiacenti; la posizione planimetrica dell'edificio nell'aggregato; la presenza e il numero di solai sfalsati e la presenza di eterogeneità tipologiche o strutturali fra edifici adiacenti, differenze di percentuale tra bucatore in facciata.

Tra le analisi di carattere multidisciplinare previste nel percorso di conoscenza per il livello LVI, l'attività specifica dell'archeologo si esplica nell'esecuzione dell'analisi stratigrafica degli elevati (identificazione delle Unità Stratigrafiche

Murarie omogenee e dei rapporti costruttivi) e nello studio delle murature. In quest'ultimo ambito vengono redatte, per ogni edificio, le schede di Tecnica Muraria (TM) che sono alla base della valutazione delle caratteristiche meccaniche della muratura. Oltre a queste vengono anche compilate due schede "madri", cui la scheda TM si riferisce, rappresentate da:

- SCHEDA CORPO DI FABBRICA, che identifica il corpo di fabbrica, le Unità Stratigrafiche Murarie di ciascuna parete ed i campioni su cui compilare le schede TM;
- SCHEDA USM, relativa ad ogni Unità Stratigrafica Muraria che identifica i singoli campioni per i quali si compila la scheda TM.

A titolo di esempio, in Figura 7 è riportato un estratto della scheda "corpo di fabbrica" per l'edificio 13.1 dell'aggregato CA n. 13, in Figura 8 un estratto della scheda relativa all'USM 1009 mentre in Figura 9 la scheda TM compilata per il campione n.4 dell'USM 1009.

Quest'ultima propone una selezione di voci relative alle caratteristiche di una muratura osservabili durante un esame visivo, quindi sempre macroscopico. In accordo con quanto espresso nelle normative, tali caratteristiche risultano indispensabili non solo per decretare l'appartenenza della tecnica muraria ad una specifica tipologia, (Tabella C8A.2.1, Circolare-2009) e desumerne le sue caratteristiche meccaniche in assenza di indagini strumentali di approfondimento, ma anche per consentire la messa a punto di abachi/almanacchi delle diverse tipologie murarie presenti, nel corso del tempo, nell'area in esame (D.P.C.M. 2011). Essa potrà fungere, in un secondo momento, anche da guida per la pianificazione di eventuali prove sperimentali (in situ o in laboratorio).

La scheda TM, concepita in associazione ad un'analisi stratigrafica dell'aggregato oggetto di studio, si presta alla documentazione di paramenti e angolate, spesso costruiti con differenti apparecchiature pur facendo parte della stessa fase costruttiva.

SCHEDA CORPO DI FABBRICA LV0 LV0* LV1		CIVITA DI BAGNOREGIO	AGGREGATO/CA: 13 EDIFICIO/CF: 1
SCHEDE DI UNITA' STRATIGRAFICA MURARIA (significantive)	Prospetto esterno nord:	USM 1002, 1003	
	Prospetto esterno ovest:	USM 1009, 1010, 1011, 1012	
	Prospetto esterno sud:	USM 1016, 1017	
SCHEDE DEI CAMPIONI DI TECNICA MURARIA	Prospetto esterno nord:	CAMPIONI 01, 02, 08	
	Prospetto esterno ovest:	CAMPIONI 03, 04, 05, 09, 10	
	Prospetto esterno sud:	CAMPIONI 06, 07	

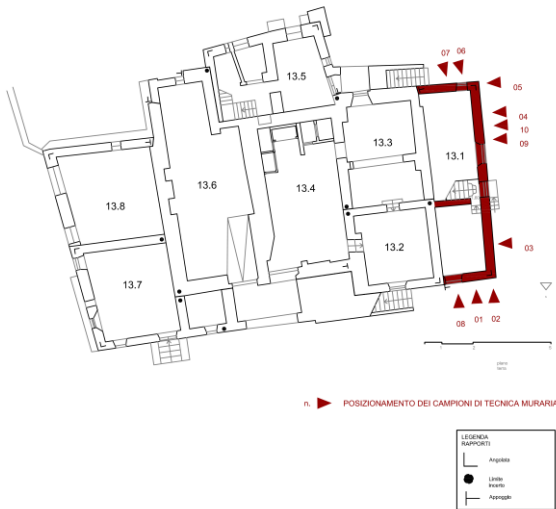


Figura 7: Estratto scheda "corpo di fabbrica" per l'edificio 13.1 del CA n. 13.

SCHEDA USM LV0 LV0* LV1		CIVITA DI BAGNOREGIO	USM 1009
AGGREGATO (CA): 13 EDIFICIO (CF): 1		Prospetto: <input type="checkbox"/> nord <input type="checkbox"/> sud <input type="checkbox"/> ovest <input type="checkbox"/> est <input type="checkbox"/> interno <input type="checkbox"/> esterno	
ESTENSIONE	<input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input checked="" type="checkbox"/> < 30%		
QUOTA	Livello 0		
RAPPORTI STRATIGRAFICI	Si appoggia a:	-	
	Anteriore a:	USR 1014, 1015, USM 1012	
	Contemporanea a:	1007, 1002, 1016, 1010???	
TECNICA MURARIA	Numero campione:	TM 04, 05	
	Analoga a:	TM 05, 02, 19; TM 04: 12, 29 13.1 - USM 1002; 13.7 - USM 1054; 13.2 - 1091; 13.3 - USM 1020	
DATAZIONE	Relativa	Fase III	
	Assoluta	ELEMENI DATANTI <input checked="" type="checkbox"/> analisi stratigrafica <input checked="" type="checkbox"/> tecnica muraria	
	Ipotetica	<input type="checkbox"/> elementi architettonici	
OSSERVAZIONI / INTERPRETAZIONI			

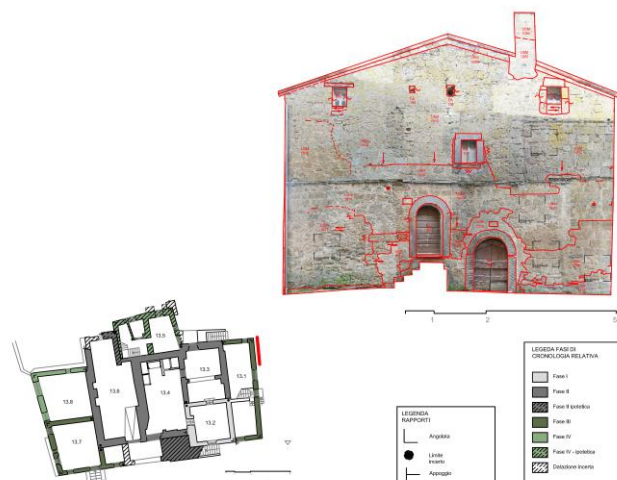


Figura 8: Estratto scheda USM per l'USM 1009 del corpo di fabbrica 13.1 dell'aggregato CA n. 13.

Nonostante la scelta di rappresentare un campione murario 1m x 1m, le caratteristiche

morfometriche registrabili si riferiscono, preferibilmente, all'intera USM di riferimento.

Tutte le informazioni raccolte attraverso le schede di Livello LV1 permettono di costruire la Matrice B (una per ogni aggregato, le cui righe rappresentano i singoli edifici). Tale matrice, ad oggi ancora in fase di elaborazione, è schematicamente rappresentata in Figura 10.

SCHEDA TECNICA MURARIA LV0 LV0* LV1		CIVITA DI BAGNOREGIO	N. Campione: 4
Prospetto: <input type="checkbox"/> nord <input type="checkbox"/> sud <input type="checkbox"/> ovest <input type="checkbox"/> est <input type="checkbox"/> interno <input type="checkbox"/> esterno		<input type="checkbox"/> paramento <input type="checkbox"/> angolata	
Diffusione della muratura campione sul prospetto: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input checked="" type="checkbox"/> < 30%			
MATERIALI	CARATTERISTICHE	DIMENSIONI	
<b>BLOCCO</b>	Litologia: <input type="checkbox"/> nassurali raccolta <input type="checkbox"/> a spacco <input type="checkbox"/> sbazzatura <input checked="" type="checkbox"/> squadatura Inghimbrici di Orivieto - Bagnoregio Finitura superficiale: <input type="checkbox"/> lisciatina Isciatura Colore: rosso, marrone chiaro, con scorie nere	Blocco (b x h): - Blocco maggiore: 48 x 27 cm - Blocco minore: 21 x 10 cm - Blocco ricorrente: 42 x 29,5 cm	
<b>GIUNTO</b>	Descrizione malta: malta di calce aerea e materiali a comportamento pozzolanico, con calcinari Morfologia e finitura superficiale: <input checked="" type="checkbox"/> a filo <input type="checkbox"/> rientrante <input type="checkbox"/> liscio <input type="checkbox"/> liscio a scivolo <input type="checkbox"/> rifluente <input checked="" type="checkbox"/> degradato <input type="checkbox"/> silato <input type="checkbox"/> coloriture Legante: <input checked="" type="checkbox"/> calce aerea <input type="checkbox"/> con calcinari <input type="checkbox"/> calce idraulica <input type="checkbox"/> cemento Aggregati e/o additivi (osservazione macroscopica): <input type="checkbox"/> sabbia fine (< 0,5 mm) <input type="checkbox"/> sabbia grossolana <input type="checkbox"/> ghiaia (> 2 mm) <input type="checkbox"/> pietre frantumate Colore legante: marrone chiaro Colore aggregati e/o additivi: bianco, nero, marrone Consistenza impasto: <input type="checkbox"/> decesso <input type="checkbox"/> molto friabile <input checked="" type="checkbox"/> friabile <input type="checkbox"/> tenace	Spessore orizzontale: - Spessore maggiore: 40 mm - Spessore minore: 5 mm - Spessore ricorrente: 10 mm; 20 mm Spessore verticale: - Spessore maggiore: 30 mm - Spessore minore: 30 mm - Spessore ricorrente: 5 mm; 15 mm	
<b>TESSITURA</b>	<input type="checkbox"/> senza corsi <input type="checkbox"/> a corsi sub-orizzontali <input type="checkbox"/> a corsi sub-orizzontali paralleli <input checked="" type="checkbox"/> a corsi orizzontali <input type="checkbox"/> a 45° <input type="checkbox"/> a spina pesce <input type="checkbox"/> di testa e di fascia <input type="checkbox"/> prevalentemente di testa <input type="checkbox"/> prevalentemente di fascia <input type="checkbox"/> a collaio <input type="checkbox"/> in foglio <input type="checkbox"/> a ricorsi <input checked="" type="checkbox"/> presenza di zeppe <input type="checkbox"/> corsi di ripianamento <input type="checkbox"/> Staiamento dei giunti: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input type="checkbox"/> < 30%		
<b>INTONACO</b>	Natura e stesura: <input type="checkbox"/> di calce <input type="checkbox"/> marmorino <input type="checkbox"/> di cemento <input type="checkbox"/> strato uniforme <input type="checkbox"/> a rasoasso <input type="checkbox"/> pluristrato Colore: -		
<b>SEZIONE</b>	Composizione nucleo: <input type="checkbox"/> piena / 1 paramento <input type="checkbox"/> semi sacco / 2 paramenti <input type="checkbox"/> sacco / 3 paramenti <input type="checkbox"/> radiciamenti <input checked="" type="checkbox"/> n.r. <input type="checkbox"/> paramenti accostati <input type="checkbox"/> elementi di punta / armosamento debole <input type="checkbox"/> elementi di fascia (diatoni) / buon ammosamento <input checked="" type="checkbox"/> n.r.		Spessore totale: 0,60 m Spessore del nucleo: xx m
<b>DEGRADO</b>	<input type="checkbox"/> Disgregazione: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input type="checkbox"/> < 30% <input type="checkbox"/> Mancanza: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input type="checkbox"/> < 30% <input checked="" type="checkbox"/> Erosione: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input type="checkbox"/> < 30% <input type="checkbox"/> Polverizzazione: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input type="checkbox"/> < 30% <input type="checkbox"/> Fratturazione: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input type="checkbox"/> < 30% <input type="checkbox"/> Vegetazione: <input type="checkbox"/> > 70% <input type="checkbox"/> < 70% e > 30% <input type="checkbox"/> < 30%		
<b>INTERVENTI PREGRESSI</b>	<input type="checkbox"/> Iniezione di miscele di leganti <input type="checkbox"/> Rifacimento giunti <input type="checkbox"/> Stesura parziale di intonaco di cemento <input type="checkbox"/> Intonaco armato <input type="checkbox"/> Rifacimento giunti in cemento <input type="checkbox"/> Elementi di presidio		
<b>OSSERVAZIONI</b>	-		

Figura 9: Estratto scheda TM-LV1 per il campione 4-USM 1009 del corpo di fabbrica 13.1 del CA n. 13.

LV1 - MATRICE B									
CF	PARAMETRI INDICATORI DI VULNERABILITA' E DEI PRESIDI ANTISISMICI								COEFFICIENTE CORRETTIVO INDICE DI SICUREZZA
	Vulnerabilità			TM			Presidi		
	Vuln. 1	Vuln. ...	Vuln. n <sub>v</sub>	TM 1	TM ...	TM n <sub>TM</sub>	Pres. 1	Pres. ...	Pres. n <sub>p</sub>
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									

Figura 10: Schema della matrice di vulnerabilità B-LV1 per l'aggregato CA n. 13.

La matrice B può essere utilizzata a differenti livelli, come già anticipato nel paragrafo 2:

- a livello di riga (singolo edificio): correggere l'indice di sicurezza calcolato per ogni edificio (attraverso metodi di livello LV1, e.g. paragrafo 4.2) appartenente all'aggregato



attraverso il parametro che si ottiene dalla riga corrispondente della matrice;

- a livello di matrice (intero aggregato): correggere l'indice di sicurezza calcolato per l'intero aggregato (ottenuto sempre mediante metodi di livello *LVI*) attraverso il coefficiente che si ottiene dalla composizione dei parametri correttivi di tutte le righe della matrice;

L'obiettivo è quindi quello di valutare coefficienti amplificativi o riduttivi che correggano il valore dell'indice di sicurezza ottenuto da metodi *LVI* di diverso livello di accuratezza permettendo così di ottenere un indice di sicurezza "modificato" per ogni edificio appartenente all'aggregato, ovvero per ogni aggregato.

#### 4.2 Metodo *LVI* per edifici in aggregato

Come noto, il modello *LVI-Palazzi* consiste in una verifica a taglio ai diversi piani dell'edificio secondo le due direzioni principali. In base a tale metodo si procede a valutare per ogni piano e per ogni direzione la resistenza a taglio dell'edificio allo Stato limite di Salvaguardia della Vita ( $F_{SLV}$ ) e la corrispondente azione sismica espressa in termini di ordinata spettrale ( $S_{e,SLV}$ ), valutata con riferimento al periodo proprio fondamentale della struttura  $T_1$ , e di accelerazione su suolo rigido  $a_{SLV}$ . Le principali relazioni, esplicitate a titolo di esempio per la direzione  $x$  e il piano  $i$ -esimo, sono riassunte nel seguito:

$$F_{SLV,x_i} = \frac{\mu_{xi} \xi_{xi} \zeta_{xi} A_{xi} \tau_{di}}{\kappa_i \beta_{xi}} \quad (3)$$

$$S_{e,SLV} = \frac{q F_{SLV}}{e^* M} \quad (4)$$

$$a_{SLV,x_i} = \begin{cases} \frac{S_{e,SLV,x_i}}{SF_0} & T_B \leq T_1 \leq T_C \\ \frac{S_{e,SLV,x_i}}{SF_0} \frac{T_1}{T_C} & T_C \leq T_1 \leq T_D \end{cases} \quad (5)$$

dove:

- $\kappa_i$  è il rapporto tra la risultante delle forze sismiche al piano  $i$ -esimo e la forza sismica totale;  $\beta_{xi}$  è un coefficiente di irregolarità in pianta al piano  $i$ -esimo associato alle eventuali eccentricità presenti;  $\mu_{xi}$  è un coefficiente che considera l'omogeneità di rigidezza e resistenza dei maschi murari;  $\xi_{xi}$  è un coefficiente legato al tipo di rottura prevista in prevalenza nei maschi murari dell' $i$ -esimo piano ( $\xi_{xi}=1$  nel caso di collasso per taglio,  $\xi_{xi}=0.8$  nel caso di presso-flessione);  $\zeta_x$  è un

coefficiente legato alla resistenza delle fasce murarie di piano (uguale a 1 nel caso di fasce resistenti, compreso tra 0.8 e 1 nel caso di fasce deboli). Per la valutazione accurata di tali coefficienti si rimanda al D.P.C.M. 2011.

- $A_{xi}$  rappresenta l'area resistente a taglio dei muri dell' $i$ -esimo piano, posti secondo la direzione  $x$
- $\tau_{di}$  è il valore di calcolo della resistenza a taglio per fessurazione diagonale della muratura nei maschi murari del piano  $i$ -esimo valutata secondo la relazione:

$$\tau_{di} = \tau_{0d} \sqrt{1 + \frac{\sigma_{0i}}{1.5 \tau_{0d}}} \quad (6)$$

in cui  $\sigma_{0d}$  è la tensione verticale media sulla superficie resistente dei muri all' $i$ -esimo piano e  $\tau_{0d}$  è la resistenza a taglio di calcolo della muratura (valutato tenendo conto del fattore di confidenza FC). Nella valutazione di  $\tau_{0d}$  si possono utilizzare le informazioni contenute nelle schede di Tecnica Muraria relative alle murature in questione per procedere, come sopra accennato, ad una migliore definizione dei parametri meccanici di riferimento;

- $q$  è il fattore di struttura, per la cui valutazione si rimanda a NTC08,
- $e^* M$  è la massa partecipante valutata con riferimento primo modo di vibrare.

Quando si vuole procedere ad una valutazione di sicurezza con metodi semplificati per edifici appartenenti ad aggregati si può applicare il metodo *LVI-Palazzi* secondo diversi approcci. Si può applicare il metodo *LVI* nella sua formulazione originale alla singola unità ipotizzata come isolata (*LVI edificio singolo*). In tal caso si assume la massa  $M$  pari alla massa della singola unità  $M_{edificio-singolo}$ , non tenendo conto in alcun modo della presenza di edifici adiacenti. Nel caso in cui lo si applichi all'intero aggregato/edificio complesso (*LVI globale*), si assume la massa  $M$  pari alla massa dell'intero complesso/aggregato. Le maggiori criticità in questo caso sono: l'assunzione dell'ipotesi di piano rigido nell'intero complesso; la valutazione del taglio resistente  $\tau_{di}$  in funzione della tensione verticale media sulla superficie resistente dei muri, che nel caso dell'intero aggregato può essere poco rappresentativa e non cautelativa per le singole unità; la possibile presenza di edifici di altezza diversa (caratterizzati da periodi fondamentali diversi).

Si è quindi proposto un modello *LVI\** da applicare alla singola unità strutturale, che considera, seppur in modo approssimato, la

presenza degli edifici adiacenti coinvolti nel moto sismico, mediante l'introduzione di una massa equivalente  $M_{eq}$ . Tale massa viene determinata a partire dalla massa dell'intera parte dell'aggregato interessata al moto in funzione delle rigidezze delle unità strutturali coinvolte, nell'ottica di rispettare una distribuzione della forza sismica in base alla rigidezza. Tale assunzione è supportata dalla stessa DPCM 2011 che al capitolo 5.3.3 permette di procedere alla scomposizione della struttura in singole parti (macroelementi), rispettando la ripartizione della forza sismica in base alle diverse rigidezze purché venga garantito l'equilibrio nei riguardi della totalità delle azioni orizzontali.

Il modello  $LVI^*$  proposto si basa sul modello  $LVI-Palazzi$ , sopra descritto, in cui per analizzare la singola unità strutturale (unità  $k$ -esima), invece di considerare soltanto la propria massa, si introduce una massa equivalente per ciascuna direzione. Tale massa, per maschi non particolarmente snelli, può essere espressa in forma semplificata secondo la seguente relazione, scritta a titolo di esempio per la direzione  $x$ :

$$M_{eq,x} = M_{tot} \frac{G_k \overline{A_{k,x}}}{\sum_{j=1}^n G_j \overline{A_{j,x}}} \quad (7)$$

Dove  $M_{tot}$  è la massa totale dell'unità  $k$ -esima in esame e degli edifici adiacenti coinvolti;  $G_k$  è il modulo di taglio dei muri dell'unità  $k$ -esima posti secondo la direzione  $x$ ;  $\overline{A_{k,x}} = \sum_{i=1}^{N_k} A_{k,xi} / N_k$  è il valore medio dell'area di piano delle murature dell'unità  $k$ -esima nella direzione considerata;  $A_{k,xi}$  è l'area resistente a taglio dei muri dell' $i$ -esimo piano dell'unità  $k$ -esima posti secondo la direzione  $x$ ;  $N_k$  è il numero di piani dell'unità  $k$ -esima;  $n$  è il numero di unità adiacenti coinvolte nel moto dell'unità  $k$ -esima.

Secondo tale approccio la massa totale coinvolta nel moto si ripartisce in funzione della diversa rigidezza tagliante delle unità strutturali interessate al moto stesso. Nell'ipotesi semplificativa di altezza media costante dei maschi murari questo si traduce nel diverso prodotto ( $G A$ ) dei muri presenti nelle unità considerate in ciascuna direzione. Dalla (7) è evidente come, nel caso in cui si possa assumere la stessa tipologia di muratura per le diverse unità strutturali coinvolte, ovvero moduli  $G$  simili, la ripartizione venga effettuata con riferimento alle sole aree valutate in pianta.

Si osserva inoltre come, nel caso in cui  $M_{tot}$  sia proporzionale all'area dei muri presenti (caso limite rappresentativo della situazione in cui si abbiano solai leggeri, per il quale nel calcolo

della massa risulta prevalente il contributo dovuto al peso proprio della muratura),  $A_{j,x} \cong A_{j,y}$  e ci sia omogeneità di materiale (con densità di massa pari a  $m$ ) tra le diverse unità strutturali, ed assumendo spessore costante, ci si riconduce al caso classico di edificio singolo:

$$\begin{aligned} M_{eq,x} &= M_{tot} \frac{G_k \overline{A_{k,x}}}{\sum_{j=1}^n G_j \overline{A_{j,x}}} = \\ &= m \sum_{j=1}^n \left( \overline{A_{j,x}} + \overline{A_{j,y}} \right) \frac{\overline{A_{k,x}}}{\sum_{j=1}^n \overline{A_{j,x}}} = 2m \overline{A_{k,x}} = M_k \end{aligned} \quad (8)$$

Un aspetto fondamentale è rappresentato dall'individuazione degli edifici adiacenti coinvolti nel moto. Tale operazione deve essere fatta in funzione della direzione del sisma, della posizione della specifica unità strutturale considerata, della configurazione geometrico-costruttiva dell'aggregato e della presenza o meno di un piano rigido tra le unità coinvolte, o comunque della presenza di eventuali azioni di spinta di un'unità nei confronti di quella adiacente. Ad esempio, nel caso di aggregato in linea, le due situazioni edificio di testata ovvero edificio posto all'interno, devono essere trattate diversamente poiché, in funzione del grado di ammorsamento con gli edifici adiacenti e della direzione del sisma, potrebbe essere necessario considerare entrambe le situazioni *isolato* e *modificato*, ovvero soltanto una delle due. Risulta quindi fondamentale l'identificazione sia delle fasi di trasformazione che il complesso ha subito, sia dei rapporti costruttivi tra le parti.

Il modello proposto può essere esteso per considerare anche il contributo legato alla rigidezza flessionale dei maschi murari nella valutazione della massa equivalente  $M_{eq}$ : una trattazione semplificata per includere questo contributo è in corso di affinamento. Analogamente è possibile definire una correzione del coefficiente  $\beta$  che tenga conto di eccentricità che derivano da edifici adiacenti.

## 5 CONCLUSIONI

La procedura descritta in questo lavoro ha l'obiettivo di pervenire ad una stima della vulnerabilità sismica di edifici in aggregato che abbini metodi semplificati, a carattere speditivo, e basati su un numero limitato di parametri geometrici e meccanici, a valutazioni che utilizzano dati qualitativi (interrogazione visiva, lettura dei caratteri costruttivi, rilievo critico e stratigrafico, etc.) condotte da esperti di diverse

discipline ed effettuate a diverso livello di approfondimento.

A tale scopo si sono introdotti strumenti schedografici sia a livello di centro storico, che di aggregato e di corpo di fabbrica, atti a consentire la costruzione di “matrici di vulnerabilità”. A seconda del livello di analisi tali matrici hanno l’obiettivo di indirizzare le scelte strategiche necessarie per la definizione di una graduatoria di priorità dei diversi aggregati del centro storico sui quali eseguire le fasi successive di analisi (matrici A1 ed A2), ovvero fornire coefficienti correttivi da applicare agli indici di sicurezza sismica calcolabili con i modelli meccanici semplificati (matrice B). Infatti, anche in accordo a quanto riportato nel D.P.C.M. 2011, la valutazione della sicurezza sismica può essere condotta con riferimento a metodi semplificati che siano tuttavia in grado di stimare l’indice di sicurezza sismica con un sufficiente grado di attendibilità. In questo lavoro è stato quindi proposto un metodo di livello LVI (denominato LVI\*) per valutare l’indice di sicurezza di ciascun edificio dell’aggregato, formulato sulla base del metodo LVI-Palazzi proposto nel D.P.C.M.2011 e opportunamente modificato per tenere conto dell’interazione con gli altri corpi di fabbrica appartenenti allo stesso aggregato. All’indice di sicurezza così calcolato si applicano successivamente i coefficienti correttivi desunti dalle matrici di vulnerabilità sopra descritte (Matrici B) per ottenere alla fine un indice di sicurezza sismica modificato e corretto,  $I_{s,mod}^k$  per ogni edificio  $i_k$ -esimo appartenente all’aggregato  $k$ -esimo in esame.

È anche possibile, sempre a livello LVI, calcolare un indice di sicurezza di aggregato  $I_{s,mod}^k$ , o applicando direttamente il metodo LVI-Palazzi all’aggregato considerato come un unico “edificio complesso”, e correggendo il valore dell’indice mediante la matrice B, ovvero calcolandolo come il minimo tra tutti i valori degli indici  $I_{s,mod}^k$  calcolati per i singoli edifici appartenenti all’aggregato. Tale procedura, in una sua prima applicazione, potrebbe utilizzare la formulazione proposta in RE.SIS.TO (Chinni et al. 2013), per la valutazione del coefficiente  $C_{RID}$ , tenendo conto, oltre ai parametri delle schede GNDT II livello (Regione Toscana 2003, GNDT 2010), anche quelli introdotti per gli aggregati. Successivamente tale coefficiente  $C_{RID}$  si potrebbe applicare all’indice di sicurezza calcolato secondo la procedura proposta in 4.2.

## 6 RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Consorzio ReLUIIS per il supporto economico e scientifico ricevuto nell’ambito del progetto ReLuis 2014-2018.

## REFERENCES

- Benedetti, D., Petrini, V., 1984. Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: proposte di un metodo di valutazione, *L’Industria delle Costruzioni*, **149**, 66-74.
- Boato, A., Lagomarsino, S. 2011, Stratigrafia e statica, *Archeologia dell’Architettura*, **XV**, 47-53.
- Brogio, G.P., 1988. *Archeologia dell’edilizia storica*, ed. New Press, Como
- Brogio, G.P., 2010. Procedure di documentazione e processi interpretativi dell’edilizia storica alla luce delle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, *Archeologia dell’Architettura*, **XIII**, 9-14.
- Brogio, G.P., Faccio, P. 2011. Stratigrafia e prevenzione, *Archeologia dell’Architettura*, **XV**, 55-63.
- Campanini, G., 2015. *Civita di Bagnoregio. Studi per la vulnerabilità sismica degli edifici in aggregato*, tesi di dottorato in Conservazione dei Beni Architettonici, XXVII ciclo, Politecnico di Milano, Dip. di Arch. e Pianificazione
- Chinni, C., Mazzotti, C., Savoia, M., Perri, G., 2013, RE.SIS.TO®: una metodologia speditiva per la valutazione di vulnerabilità sismica di edifici in muratura e calcestruzzo armato, *XV convegno ANIDIS*, Padova 30 giugno-4 luglio 2013
- Circolare 2009. n. 617 del 2 febbraio 2009. *Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008*, G.U. 26-2-2009, N. 47 - suppl.ord. N. 27.
- DPCM 09/02/2011, *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008*.
- Faccio, P. (a cura di), 2015. II. *ARCHEOLOGIA vs ARCHITETTURA*, Atti della Summer School 2011 (Castello di Stenico, 4-8 luglio 2011), *Archeologia dell’Architettura*, **XIX** (2014), 66-108.
- Formisano, A., Florio, G., Landolfo, R., Mazzolani, F.M., 2009. Vulnerabilità sismica di un aggregato in muratura in Sessa Aurunca (CE). *XIII convegno ANIDIS*, Bologna 28 giugno - 2 luglio 2009.
- Formisano, A., Florio, G., Landolfo, R., Mazzolani, F.M., 2011. *Un metodo per la valutazione su larga scala della vulnerabilità sismica agli aggregati storici*, Stadata.
- Giuffrè, A. (a cura di) 1993. *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia: codice di pratica per gli interventi antisismici nel centro storico*, Editori Laterza, Roma-Bari.
- Giuffrè, A., Carocci, C.F., 1999. *Codice di Pratica per la sicurezza e la conservazione del centro storico di Palermo*, Editori Laterza, Roma-Bari.
- Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, 2010. *Schede di 1° e 2° livello di vulnerabilità e di rilevamento del danno (edifici in c.a. e muratura)*.
- Regione Toscana, 2003. *Manuale per la compilazione della scheda GNDT/CNR di II livello versione modificata della Regione Toscana*, DG delle Politiche Territoriali ad Ambientali, Settore: Servizio Sismico Regionale.
- ReLUIIS, 2010. *Linee Guida per il rilievo, l’analisi ed il progetto di interventi di riparazione e consolidamento sismico di edifici in muratura in aggregato*. (Versione 3).