

Colloqui.AT.e 2020

# New Horizons for Sustainable Architecture

# Nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile

Editors

Santi Maria Cascone

Giuseppe Margani

Vincenzo Sapienza







**NEW HORIZONS  
FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE  
NUOVI ORIZZONTI  
PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE**

Editors

Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza

*10 dicembre 2020*

*Virtual meeting*

*Organizing Institution: University of Catania*

I curatori, l'editore, gli organizzatori ed il Comitato Scientifico non possono essere ritenuti responsabili né per il contenuto, né per le opinioni espresse all'interno degli articoli.

Gli articoli pubblicati, i cui contenuti sono stati dichiarati originali dagli autori stessi, sono stati sottoposti ad un processo di *double-blind peer review*.

Negli articoli l'asterisco accanto al cognome di un autore indica il referente al quale indirizzare la corrispondenza.

The editors, the publisher, the organizers and the Scientific Committee cannot be held responsible either for the content or for the opinions expressed in the articles.

Published articles, whose contents have been declared original by the authors themselves, have been subjected to a double-blind peer review process.

In the articles, the asterisk next to the surname of an author indicates the contact person to whom correspondence should be addressed.

Il volume è a cura di / The volume was edited by:

*Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza*

EdicomEdizioni  
Monfalcone (Gorizia)  
tel. 0481/484488  
fax 0481/485721  
info@edicomedizioni.com  
www.edicomedizioni.com  
www.edicomstore.it

© Copyright EdicomEdizioni

Vietata la riproduzione anche parziale di testi, disegni e foto se non espressamente autorizzata. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

The reproduction, even partial, of texts, drawings and photos is forbidden unless expressly authorized. All rights are reserved by law and international conventions.

ISBN 978-88-96386-94-1

Prima edizione dicembre 2020 / First edition December 2020

# Contents

## Indice

INTRODUCTION	18
INTRODUZIONE	20

### A – CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION

#### HISTORY OF CONSTRUCTION

NOTE SULLE COSTRUZIONI PREFABBRICATE TEMPORANEE ITALIANE DEGLI ANNI TRENTA E QUARANTA <b>L. Greco</b>	24
INDUSTRIALIZZAZIONE “SU MISURA”: LE SCUOLE-PILOTA DI LUIGI PELLEGRIN (1967-1975) <b>I. Giannetti</b>	35
DAL TELAIO AL PANNELLO (1940-1950). SPERIMENTAZIONE NELL’EDILIZIA RESIDENZIALE PREFABBRICATA SOVIETICA <b>A. Bertolazzi, U. Turrini, G. Croatto, G. Dorigatti, F. Chinellato, L. Petriccione</b>	48
STAZIONI E FERROVIE COME <i>WORLD HERITAGE SITES</i> . IL PROGETTO DI CONOSCENZA E RECUPERO DELLA PRIMA STAZIONE BAYARD A NAPOLI <b>P. Cucco</b>	62
L’ATTUALITÀ DEL MOTTO “DOV’ERA E COM’ERA”. LA RICOSTRUZIONE SOSTENIBILE DI MONUMENTI E CENTRI STORICI COME STRATEGIA DI COESIONE SOCIALE E TRASFERIMENTO DI VALORI STORICO-CULTURALI <b>F. Ribera, P. Cucco</b>	75
LA SICILIA E LA SCUOLA ITALIANA DI INGEGNERIA: PONTI E GRANDI STRUTTURE (1830-1980) <b>F. Cammarata</b>	86
EVOLUZIONE DEI LINGUAGGI ARCHITETTONICI TRA ’800 E ’900 NELLE CENTRALI IDROELETTRICHE DELLA VAL CELLINA <b>L. Petriccione, F. Chinellato, G. Croatto, U. Turrini, A. Bertolazzi</b>	104
IL SISMA E IL PATRIMONIO STORICO CULTURALE. IL CASO DELLA CHIESA DEL SANTUARIO DELLA MADONNA DELL’AMBRO <b>G. Di Mari, E. Garda, C. Montenovo, A. Renzulli</b>	120
PER IL RILIEVO E LO STUDIO DI MURATURE NEL CENTRO ITALIA POST TERREMOTO, IL CASO DELLA VALLE DEL TRONTO <b>C. Braucher</b>	136
IL CINEMA-TEATRO DI TORVISCOSA: TIPOLOGIA, MATERIALI, TECNICHE E STATO DI CONSERVAZIONE <b>M.V. Santi, S. Vallan, A. Frangipane</b>	151
PROMENADE SU VIA SÃO BENTO A SAN PAOLO, BRASILE: UNA RIFLESSIONE SUL PATRIMONIO CULTURALE <b>R.H. Vieira Santos</b>	164

QUALITÀ EDILIZIA DEGLI ANNI '60: LE CASE GESCAL DI COSENZA <b>A. Campolongo, V. Guagliardi</b>	176
LE COPERTURE LIGNEE DELLA CATTEDRALE DI PALERMO. CONOSCENZA E VALORIZZAZIONE COMPATIBILE <b>C. Vinci, D. Giardina</b>	189
IL RIUSO DEI MATERIALI BELLICI IN ARCHITETTURA. LE PIERCED STEEL PLANK <b>A. Pagliuca, D. Gallo, P. P. Trausi</b>	201
RILEGGERE L'ESPERIENZA INA-CASA: UN NUCLEO EDILIZIO NEL QUARTIERE NESIMA A CATANIA <b>A. Moschella, A. Salemi, A. Lo Faro, A.A. Mondello, A. Roccasalva</b>	211
<b>TOOLS AND METHODS FOR KNOWLEDGE AND GRAPHIC REPRESENTATION</b>	
ARCHIVI DIGITALI GEOREFERENZIATI: ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DELLO SVILUPPO DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE A BOLOGNA NELLA SECONDA METÀ DEL NOVECENTO <b>A. C. Benedetti, C. Costantino, R. Gulli</b>	225
STRUMENTI BIM PER L'ANALISI TERMICA DEL PATRIMONIO EDIFICATO ESISTENTE <b>R. Agliata, R. Macchiaroli, L. Mollo</b>	241
EXTENDED REALITY (XR) AND ARCHITECTURAL DESIGN PROCESS <b>S. Ahmadzadeh Bazzaz, A. Fioravanti</b>	252
<b>CONSTRUCTION TECHNIQUES AND PERFORMANCE IN EXISTING BUILDINGS</b>	
GLI ISTITUTI DI ELETTRONICA, AUTOMATICA, GEOFISICA E ARTE MINERARIA DELLA FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELLA "SAPIENZA" – STRATEGIE PER UN INTERVENTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA <b>M. Pugnaletto, C. Paolini</b>	262
STORIA DELL'EDILIZIA BOLOGNESE TRA LE DUE GUERRE, 1920-1940 <b>C. Costantino, A.C. Benedetti, G. Predari</b>	277
VINCENZO SINATRA E L'ARTE DEL COSTRUIRE CON LE PIETRE SACRE <b>C. Fianchin</b>	292
AN ENERGY-RESILIENT METHODOLOGY IN CLIMATE CHANGING CHALLENGE FOR HISTORIC DISTRICTS. THE CASE OF A MEDITERRANEAN HISTORIC CENTER <b>E. Cantatore, F. Fatiguso</b>	306
LA BIBLIOTECA TECNICO-SCIENTIFICA NEL CAMPUS DI FISCIANO DELL'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO DI NICOLA PAGLIARA <b>C. Sicignano</b>	326
UNA PUNTEGGIATA DI PIETRA IN SIMBIOSI CON IL PAESAGGIO RURALE E URBANO IN SICILIA. ABBEVERatoi, FONTANE, LAVatoi PUBBLICI E CISTERNE NELLA TRADIZIONE COSTRUTTIVA <b>T. Campisi, A. D'Amore, M. Saeli</b>	336
TAMPONATURE PORTATE IN ELEMENTI PREFABBRICATI IN OFFICINA <b>R. Leone, F. Minutoli</b>	350
CENTRI URBANI E VULNERABILITÀ SISMICA. IL CENTRO STORICO DI CATANIA <b>G. Lombardo</b>	368

CINA ITALIA, METODOLOGIE DIFFERENTI DI COSTRUIRE CON LA TERRA CRUDA <b>A. Guida, G. Bernardo, G. Pacente</b>	384
LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ COME STRATEGIA PER LA RICOSTRUZIONE POSTSISMICA DEL CENTRO ITALIA. IL CASO STUDIO DEL CENTRO STORICO DI CALDAROLA <b>L. Bernabei, G. Mochi, G. Predari</b>	398
<b>SUSTAINABLE RETROFITTING OF MODERN AND PRE-MODERN HERITAGE</b>	
IL RECUPERO SOSTENIBILE DEL MODERNO: UN FUTURO POSSIBILE PER IL GRATTACIELO RAI DI TORINO <b>E. Chiffi, G. Di Mari, E. Garda, A. Renzulli</b>	411
RIGENERAZIONE BIOCLIMATICA ED AMBIENTALE DEGLI SPAZI APERTI DEL VILLAGGIO SAN LUCA (MS) <b>B. Gherri, V. Maranhao, D. Poletti</b>	428
INTEGRATED AND SUSTAINABLE RENOVATION OF RC FRAMED BUILDINGS THROUGH A NEW TIMBER-BASED ENVELOPE TECHNOLOGY <b>G. Margani, G. Evola, C. Tardo, E.M. Marino</b>	445
PENSIERO <i>LOW TECH</i> /AZIONE <i>LOW COST</i> . UN PROGETTO IN AUTOCOSTRUZIONE PER GLI SPAZI DELLA SCUOLA DI ARCHITETTURA DI CAGLIARI <b>C. Atzeni, S. Cadoni, A. Dessi, F. Marras</b>	457
PONTI TERMICI NELL'EDILIZIA STORICA IN AMBIENTE MEDITERRANEO: VALUTAZIONI E PROPOSTE DI INTERVENTO <b>A. Lo Faro, G. Evola, A. Salemi, V. Costantino</b>	470
UNA METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DELLE FACCIATE DEGLI EDIFICI STORICI <b>G. Ruggiero, R. Marmo, M. Nicoletta</b>	488
PATRIMONIO LIQUIDO: STRATEGIE PROGETTUALI PER LA SOSTENIBILITÀ FUTURA DELLE SALINE DI SANTA POLA <b>S. D'Urso, S. Leanza</b>	500
THERMAL IMPROVEMENTS OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY AN INNOVATIVE PRECAST CONCRETE PANEL SYSTEM <b>S. Martiradonna, F. Fatiguso, I. Lombillo</b>	517
UN APPROCCIO SOSTENIBILE ALLA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO DI EDILIZIA PUBBLICA RESIDENZIALE: ANALISI ENERGETICA SPERIMENTALE E NUMERICA ED ANALISI ARCHITETTONICA <b>F. Rosso, A. Peduzzi, L. Diana, S. Cascone, C. Cecere</b>	529
LA CONOSCENZA DEL MATERIALE E DELL'OPERA PER UNA GESTIONE E UN RECUPERO SOSTENIBILE DEI MANUFATTI LAPIDEI: METODO E APPLICAZIONE SULL'INVOLUCRO DI MARMO DELLA CASA DELLE ARMI DI LUIGI MORETTI <b>M. Ferrero, G. Arena, J. Navarro Navarro, F. Rosso, N. Vannucchi</b>	548
PROTO-BIOCLIMATICA E MOVIMENTO MODERNO: SOLUZIONI FRANGISOLE IN ITALIA 1945-1965 <b>C. Mele, C. Franchini</b>	566
LA RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA DEGLI EDIFICI SCOLASTICI ESISTENTI: UNA METODOLOGIA AHP-BASED PER IL SUPPORTO DECISIONALE <b>E. Sicignano, P. Fiore, C. Falce, G. Donnarumma, E. D'Andria</b>	582

## **MANAGEMENT AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF BUILDING HERITAGE**

MODELLI INFORMATIVI PER IL SUPPORTO ALLA DECISIONE NELL'AMBITO DEL MIGLIORAMENTO ENERGETICO DEI PATRIMONI EDILIZI UNIVERSITARI <b>C. Cecchini, M. Morandotti</b>	595
RIGENERARE LE AREE INDUSTRIALI DISMESSE <b>M.P. Gatti, G. Cacciaguerra, A. Lorenzi</b>	609
STRATEGIE PER IL RECUPERO, LA GESTIONE E LA VALORIZZAZIONE DEI SITI ARCHEOLOGICI: IL CASO DELL'ANFITEATRO FLAVIO DI POZZUOLI <b>R. Castelluccio, A. Prota, G. Viotto, V. Vitiello</b>	620
RIFUNZIONALIZZAZIONE DEL PATRIMONIO CULTURALE PUBBLICO: IL CASO DEGLI OSPEDALI STORICI <b>L. Diana, F. Polverino</b>	634
CATALOGO DIGITALE E GESTIONE SMART DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE DISMESSO IN BASILICATA <b>A. Guida, V.D. Porcari, A. Lanzolla</b>	653

## **B – CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE**

### **SUSTAINABILITY IN PRODUCT, DESIGN AND PROCESS INNOVATION**

IMITARE PER COSTRUIRE: DALLA NATURA ALLA BIOMIMETICA <b>G. Ausiello, M. Compagnone, F. Sommese</b>	666
I PANNELLI IN SCHIUMA DI ALLUMINIO NELLE ARCHITETTURE SOSTENIBILI <b>G. Ausiello, M. Compagnone, F. Sommese</b>	680
JOINTECH: TECNOLOGIA PER COSTRUZIONI IN LEGNO MULTIPIANO <b>S.M. Cascone, A. Siragusa, G. Russo, N. Tomasello</b>	697
L'AGRICOLTURA VA IN CITTÀ. NUOVE FRONTIERE DELLA SOSTENIBILITÀ ALIMENTARE <b>G. Di Mari, E. Garda, C. Longo, A. Renzulli</b>	712
COSTRUIRE SOSTENIBILE: IL CASO STUDIO DEL COMPLESSO "VILLE LE DUE QUERCE" <b>D. Besana, G. Casubolo, M. Mastrangelo</b>	727
VALUTAZIONE COMPARATIVA DELLE PRESTAZIONI MECCANICHE DI MALTE CONFEZIONATE CON INERTI DA RICICLO <b>M. Nicoella, C. Scognamillo, F. Vitale</b>	742
SLICE INNOVATIVE COMPONENTS FOR SMART BUILDING ENVELOPES <b>A. Astuti, F. Giusa, A. Monteleone, G. Rodonò, V. Sapienza, M. Voica</b>	757
LA FILIERA DEGLI ISOLANTI TERMICI SINTETICI VERSO LA CIRCOLARITÀ E L'INFORMATIZZAZIONE <b>A. Cernaro, O. Fiandaca</b>	771
PROGETTARE LA CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO DI UMIDITÀ PER MIGLIORARE COMFORT INDOOR E SOSTENIBILITÀ – UN CASO STUDIO <b>S. Zanon, R. Albatici</b>	790



BIM 7D: LA DIMENSIONE DELLA SOSTENIBILITÀ NEI SISTEMI BIM IN OTTICA DI HEALTHY BUILDINGS A. D'Amico, E. Currà, M. Angelosanti, G. Colò	804
NUOVI STRUMENTI, NUOVE FORME: UNA STRUTTURA VERDE SU UN GRATTACIELO DI MADRID G.D'Angelo, M.Fumo	825
L'ECONOMIA CIRCOLARE E L'INDUSTRIA 4.0 PER LA SICUREZZA DEI LAVORATORI. UN NUOVO PRODOTTO MULTIFUNZIONALE M. Rotilio, P. De Berardinis	834
PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DI ARCHITETTURE PER LA ZOOTECNIA: L'ALLEVAMENTO DEI BOVINI DA CARNE D. Bosia, L. Savio, F. Thiebat	848
ANALISI DELL'ISOLA DI CALORE URBANA E DEI SUOI EFFETTI SULLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E DI COMFORT DEGLI EDIFICI. CASO DI STUDIO DELLA CITTÀ DI BARI F. Iannone, R. Casale	860
GREEN ROOF SYSTEMS: CHARACTERIZATION OF A LABORATORY TESTING METHOD FOR ASSESSING GROWING MEDIA THERMAL CONDUCTIVITY S. Cascone, A. Gagliano, R. Rapisarda, G. Sciuto	874
 <b>DIGITIZATION, ROBOTICS AND INDUSTRIALIZATION FOR SUSTAINABLE BUILDINGS</b>	
I COMPOSITI PULTRUSI: NUOVE FRONTIERE PER L'INGEGNERIA S.M. Cascone, C. Lagona, N. Tomasello	887
APPROCCIO COMPUTAZIONALE ALLA PROGETTAZIONE: DIGITALIZZAZIONE DEI PROCESSI INFORMATIVI PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE V. Giannakopoulos, S. Garagnani, A. Fotopoulou, A. Ferrante	901
DIGITAL ASSET MANAGEMENT ENABLING TECHNOLOGIES: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS L. Rampini, N. Moretti, F. Re Cecconi, M.C. Dejacó	919
 <b>LOW-COST AND LOW-CARBON ARCHITECTURE</b>	
LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DI SCUOLE DELL'INFANZIA <i>CARBON ZERO</i> IN ITALIA F. Bazzocchi, C. Ciacci, V. Di Naso	932
POTENZIALE DI RISCALDAMENTO GLOBALE PER LE FASI DI COSTRUZIONE E GESTIONE DELLE SCUOLE DELL'INFANZIA <i>CARBON ZERO</i> IN ITALIA C. Ciacci, V. Di Naso	950
MATERIALI NATURALI PER L'ISOLAMENTO TERMICO DEGLI EDIFICI S.M. Cascone, N. Tomasello, M. Vitale	964
RIDUZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE NEGLI EDIFICI ESISTENTI ATTRAVERSO L'USO DI COPERTURE A VERDE PENSILE L. Guardigli, E. Volpe, P. Buttol, P. Sposato	974
IL DEFICIT ABITATIVO IN ARGENTINA: UN APPROCCIO SISTEMICO ATTRAVERSO LA FILIERA DEL LEGNO P. Piantanida, C. Pilar, A. Vottari	992

UNA PROPOSTA SOSTENIBILE E <i>LOW-COST</i> PER IL <i>SOCIAL HOUSING</i> <b>L. Secchiari</b>	1006
ANALYSIS OF BUILDING ENVELOPE RETROFIT STRATEGIES FOR LOW-RISE HIGH-DENSITY RESIDENTIAL HOUSING STOCK IN FOUR INDIAN CLIMATE CONTEXTS <b>A. Sengupta, A.G. Mainini, G. Iannaccone</b>	1018
<b>METHODS AND TECHNIQUES FOR BUILDING MANAGEMENT AND MONITORING</b>	
AUDIT OF THE COOLING ENERGY PERFORMANCE OF AN OFFICE BUILDING RETROFITTED WITH THERMALLY ACTIVATED BUILDING SYSTEMS (TABS) <b>R. Laera, F. Iannone, I. Martínez Pérez, R. Tejedor López, L. de Pereda Fernández, R. Tendero Caballero</b>	1033
DEMOLIRE O RIQUALIFICARE? <i>LIFE CYCLE COST ANALYSIS</i> E PIANO DI MANUTENZIONE PER IL CASO DI STUDIO <i>PRO-GET-ONE</i> <b>M.A. Bragadin, M. D'Alesio, A. Ferrante</b>	1051
INFLUENZA DI MODELLI DI GESTIONE PER IL FUNZIONAMENTO DI SISTEMI OSCURANTI INTERNI SUL CONSUMO ENERGETICO E IL COMFORT LUMINOSO <b>N. Callegaro, S. Pontillo, R. Albatici</b>	1068
UN PROTOCOLLO DI INDAGINE PER LA GESTIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE. LA TERMOGRAFIA A SUPPORTO DELLA DIAGNOSTICA <b>C. Marchionni, M. Rotilio, P. De Berardinis</b>	1084
MODELLAZIONE NUMERICA DEL PONTE TERMICO TRA PARETE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO E SOLAIO DI INTERPIANO <b>T. Basiricò, A. Cottone</b>	1098
LA SOSTENIBILITÀ COME <i>DRIVER</i> DI PROCESSO PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO UNIVERSITARIO <b>I. Garofolo, C.A. Stival, N. Strazza</b>	1110
FINALITÀ DELL'APPLICAZIONE DEL MOTION MAGNIFICATION AI MODELLI HBIM <b>M. Angelosanti</b>	1130
<b>UNCONVENTIONAL SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS AND TECHNIQUES</b>	
LIFE CYCLE ASSESSMENT DI UN EDIFICIO SCOLASTICO PROGETTATO SECONDO IL PASSIVE HOUSE STANDARD <b>E. Tomasi Morgano, F. Nocera, G. Mangiafico</b>	1145
“C'ERA UNA VOLTA”: PROCESSO COSTRUTTIVO SOSTENIBILE PER LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA DI STRUTTURE TEMPORANEE VOLTATE E MODULARI IN MATERIALE RICICLABILE BIO-BASED <b>M. Bonci, C. Mazzoli, D. Prati</b>	1156
PIÙ LEGGERO DEL BAFFO DI UN GATTO. IL GRAFENE: STORIA DI UN MATERIALE INNOVATIVO <b>G. Di Mari, E. Garda, A. Renzulli, M. Sgro</b>	1173
LA MEMORIA COME MATERIALE DEL PROGETTO DELLA SOSTENIBILITÀ <b>S. D'Urso</b>	1189
SUL VANTAGGIO DEI SISTEMI COSTRUTTIVI MASSIVI IN TERRA BATTUTA PER I PAESI DEL MEDITERRANEO <b>R. Caponetto, G. Giuffrida, F. Nocera</b>	1209

HEMP: PAST, PRESENT, FUTURE FOR A SUSTAINABLE ARCHITECTURE <b>T. Firrone, C. Bustinto</b>	1226
EFFETTO DELLE FIBRE DI BASALTO SULLA RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA TERRA CRUDA <b>M. La Noce, M. Bosco, G. Sciuto</b>	1241
LA SPERIMENTAZIONE TECNO-TIPOLOGICA NEL PROGETTO DI UN SISTEMA PREFABBRICATO MODULARE AD USO DIREZIONALE: UN CASO STUDIO A L'AQUILA <b>F. Cavalieri, L. Capannolo, G. Di Giovanni, P. De Berardinis</b>	1256
ANALISI ENERGETICA DINAMICA E STRUTTURALE DI MODULI RICETTIVI IN XLAM <b>F.A. Russo, G. Cocuzza Avellino, M. Detommaso, C. Borgia, F. Nocera, N. Impollonia</b>	1268
SHAKE TABLE TESTS ON FULL-SCALE CONFINED STONE WALLS <b>M. Brocato, D. Caraccio, D. Cascone, L. Jonard, F. Lo Iacono, M. Liuzzo, G. Navarra, M. Oliva, K. Rahmouni, J. Skinazi, G. Tesoriere, S. Tumbarello</b>	1280
MALTE CEMENTIZIE A BASE DI GRAFENE: PROCESSO PRODUTTIVO E PROPRIETÀ <b>S. Polverino, F. Bonaccorso, A. Brencich, A.E. del Rio Castillo, L. Marasco, R. Morbiducci</b>	1294

## **C – BUILDING AND DESIGN TECHNIQUES**

### **SUSTAINABILITY PRINCIPLES AND PRACTICES FOR BUILDING REUSE AND RENOVATION**

DALLO STUDIO ARCHEOLOGICO DELLE MALTE STORICHE ALLA PROGETTAZIONE DELLE MALTE DA RESTAURO. CASE STUDY: LE TERME ACHILLIANE DI CATANIA <b>S.M. Cascone, G.A. Longhitano, L. Longhitano, N. Tomasello</b>	1310
NUOVE TECNOLOGIE PROGETTUALI PER IL RIUSO E LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILI DI AMBIENTI IPOGEI DI VALORE CULTURALE <b>E. Quagliarini, G. Bernardini, M. Lucesoli, B. Gregorini, M. D’Orazio</b>	1326
APPROCCI PROBABILISTICI ALLA VALUTAZIONE DEI COSTI GLOBALI DI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DI EDIFICI <b>G. Maracchini, E. Di Giuseppe, F. Stazi, M. D’Orazio</b>	1338
ELEMENTI DI RIFLESSIONE TEORICO-PRATICA PER LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILE <b>E. Conte</b>	1355
STRATEGIE DI DENSIFICAZIONE PER LA RIQUALIFICAZIONE SOSTENIBILE DELLE CITTÀ. IL CASO DEL QUARTIERE KALLITHEA AD ATENE <b>A. Ferrante, A. Fotopoulou, C. Mazzoli</b>	1368
STUDIO DELLA METODOLOGIA PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO TECNICO-ECONOMICO NEGLI INVESTIMENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA: IL PROGETTO EENVEST <b>G. Salvalai, G. Paoletti, M.M Sesana, A. Andaloro</b>	1386
RECUPERO E RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA DELLE SCUOLE DEL REGNO A ROMA: STRATEGIE DI INTERVENTO ENERGETICO SOSTENIBILE <b>E. Currà, M. Russo, L. Severi, E. Habib, M. Morganti, S. Grignaffini</b>	1398
VALUTAZIONE DI STRATEGIE DI INTERVENTO PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DI INVOLUCRI EDILIZI TRASPARENTI <b>S. Colajanni e A. Schifano, E.A. Altopiano</b>	1414

ANALISI STORICO-ARCHITETTONICA E RIUSO SOSTENIBILE DEI CONVENTI CAPPUCCINI DELL'ANTICA PROVINCIA RELIGIOSA DI BASILICATA-SALERNO <b>L. Gargano, G. Donnarumma</b>	1431
RECUPERO FUNZIONALE DI PAVIMENTAZIONI IN CALCESTRUZZO MEDIANTE TRATTAMENTO SUPERFICIALE CON POLIUREA E FINITURA ACRILICA: PROVE DI LABORATORIO E TEST APPLICATIVO <b>F. Manzone, S. Errico, E. Portigliatti, D. Vasquez</b>	1442
GLI INTONACI TRADIZIONALI: UNA SOSTITUZIONE (POCO) SOSTENIBILE <b>A. Lo Faro, A. Mondello, A. Moschella, A. Salemi</b>	1451
UN PROGETTO DI RIGENERAZIONE BIM-BASED: L'ESPERIENZA DI ELISIR – ENERGY, LIFESTYLED & SEISMIC INNOVATION FOR REGENERATED BUILDINGS <b>L.C. Tagliabue, A.L.C. Ciribini</b>	1465

## **TOOLS FOR BUILDING DESIGN AND MANAGEMENT**

METODOLOGIA PER LO SVILUPPO DI UN SISTEMA DI SUPPORTO DECISIONALE PER LA RIQUALIFICAZIONE SISMICA ED ENERGETICA DI EDIFICI A STRUTTURA INTELAIATA <b>A. Artino, R. Caponetto, G. Evola, G. Margani, E.M. Marino</b>	1483
DAL DETTAGLIO COSTRUTTIVO ALL'ANALISI DEL PONTE TERMICO ATTRAVERSO IL BIM <b>G. Desogus, A. Sanna, M. Soddu, E. Quaquero</b>	1496
THE DESIGN CRITERIA SYSTEM (DCS): A MULTICRITERIA EVALUATION MODEL TO IMPLEMENT ADAPTIVE REUSE STRATEGIES IN ABANDONED INDUSTRIAL CONTEXTS <b>C. Vizzarri, F. Fatiguso</b>	1508
PROGETTAZIONE E VERIFICA DEL SISTEMA DI ESODO CON STRUMENTI ALTERNATIVI: LA REALTÀ VIRTUALE IMMERSIVA <b>R. Vancetti, E. Cereda</b>	1526
VERSO LA NORMALIZZAZIONE DEL MATERIALE TERRA CRUDA IN ITALIA <b>M. Achenza, A. Agus</b>	1535

## **INTEGRATED DESIGN**

INNOVATION FOR INCLUSION: THE 3D PRINTING TECHNOLOGY TO ENJOY THE CULTURAL HERITAGE <b>F. Auricchio, A. Greco, G. Alaimo, V. Giacometti, S. Marconi, V. Mauri</b>	1549
UN BIVACCO DI MONTAGNA PER GLI APPENNINI <b>P. De Berardinis, G. Di Giovanni, M. Paolucci</b>	1563
UN <i>FRAMEWORK</i> MULTISCALARE PER L'AUMENTO DI RESILIENZA E SOSTENIBILITÀ NELLE AREE URBANE: METODO E APPLICAZIONE AD UNO SCENARIO ESPLORATIVO AL 2050 <b>S. Mannucci, F. Rosso, A. Peduzzi, C. Cecere, M. Ferrero</b>	1579
RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA E SOSTENIBILE DI EDIFICI ESISTENTI CON ESOSCHELETRI A GUSCIO PREFABBRICATI: IL CASO STUDIO ADESA <b>J. Zanni, S. Cademartori, A. Marini, A. Belleri, E. Giuriani, P. Riva, B. Angi, G. Franchini, A.L. Marchetti, P. Odorizzi, G. Luitprandi</b>	1596

LA VENTILAZIONE URBANA NELLA CITTÀ COMPATTA MEDITERRANEA: UNA METODOLOGIA OPERATIVA MULTIDISCIPLINARE PER MIGLIORARE LA SOSTENIBILITÀ E LA RESILIENZA DELLE AREE URBANE <b>O. Palusci, C. Cecere</b>	1609
UNA CONCEZIONE UNITARIA PER UN COSTRUIRE SOSTENIBILE <b>P. Fiamma</b>	1628
SENSIBLE NETWORKED FAÇADE UNIT FOR A HEALTHY AND COMFORTABLE ENVIRONMENT <b>T. Poli, A. G. Mainini, A. Speroni, J.D. Blanco Cadena, F. Re Cecconi, S. Rinaldi, P. Bellagente, L. Tagliabue, A. Ciribini</b>	1643
LA “SOSTENIBILITÀ PAESAGGISTICA” NELL’ERA GLOBALE: L’OPERA DI FERNANDO MENIS TRA ARCHITETTURA E PAESAGGIO <b>S. Calvagna</b>	1654
<b>ARCHITECTURE FOR EMERGENCIES</b>	
MAM: UN MODULO ABITATIVO TEMPORANEO PERSONALIZZABILE E AUTOCOSTRUIBILE <b>S. De Gregorio, P. De Berardinis, P. Rossi</b>	1668
PROGETTAZIONE SOSTENIBILE DI UN MODULO ABITATIVO PER L’EMERGENZA <b>G. Sciuto</b>	1681
COOLING ISLANDS: MICROARCHITETTURE PER IL BENESSERE DELLE UTENZE DEBOLI DURANTE LE ONDATE DI CALORE IN AMBITO MEDITERRANEO <b>R. Corrao, A.R. Cataldo, G. L. Danesi</b>	1696
ARCHITETTURE ADATTIVE MEDIANTE UN NUOVO MODULO TENSEGRALE PIEGHEVOLE DI TIPO T4 <b>G. Ruscica, A. Micheletti</b>	1714
<b>PARTICIPATORY PROCESSES (DESIGN AND CONSTRUCTION)</b>	
APPROCCIO <i>USER-ORIENTED</i> PER IL RINNOVAMENTO ENERGETICO: L’ANALISI ETNOGRAFICA APPLICATA AI PROGETTI DI RIQUALIFICAZIONE <b>D. Prati, S. Spiazzi, G. Cerinšek, A. Ferrante</b>	1724
I QUADERNI DEL LUMASSÌN. CRONACHE DI CANTIERE <b>A. Renzulli, R. Mazelli, A. Bocco</b>	1743
BENI CULTURALI COME BENI COMUNI: MODELLI DI GESTIONE PARTECIPATA PER UNA EFFICACE VALORIZZAZIONE <b>M.R. Pinto, S. De Medici</b>	1759
VALUING HERITAGE FROM A COMMUNITY-BASED PERSPECTIVE. SOME REFLECTIONS FOR THE MAKING OF THE ECOMUSEUMS IN SICILY, IT <b>G. Pappalardo</b>	1776

# COMMITTEES

## Ar.Tec. Council

Riccardo Gulli – President  
Marco D’Orazio – Vice-president  
Rossano Albatici – Board member

Santi Maria Cascone – Board member  
Fabio Fatiguso – Board member  
Manuela Grecchi – Board member

## Scientific committee

Rossano Albatici  
Frida Bazzocchi  
Carlo Caldera  
Rosa Caponetto  
Santi Maria Cascone  
Rossella Corrao  
Giorgio Croatto  
Marco D’orazio  
Enrico Dassori

Enrico De Angelis  
Pierluigi De Berardinis  
Flavia Fascia  
Fabio Fatiguso  
Annarita Ferrante  
Marina Fumo  
Ilaria Garofolo  
Maria Paola Gatti  
Manuela Grecchi

Antonella Guida  
Riccardo Gulli  
Tullia Iori  
Raffaella Lione  
Grazia Lombardo  
Angelo Lucchini  
Giuseppe Margani  
Marco Morandotti  
Renato Morganti  
Stefania Mornati

Angela Moschella  
Placido Munafò  
Tiziana Poli  
Francesco Polverino  
Enrico Quagliarini  
Angelo Salemi  
Vincenzo Sapienza  
Gaetano Sciuto  
Enrico Sicignano  
Gabriele Tagliaventi

## Organizing committee

Steering committee  
Santi Maria Cascone  
Giuseppe Margani  
Vincenzo Sapienza

Professional conference organizer  
Antonio Artino  
Stefano Cascone  
Gianluca Rodonò

# SUPPORTERS

## Patrons



## Sponsors



Associazione Nazionale Costruttori Edili di Catania



Fondazione dell'Ordine  
degli Ingegneri della Provincia di Catania



**I.G.C. S.r.l.**



Ordine Ingegneri della Provincia di Catania

**Prince Tourist S.r.l.**

**S.C.S. Costruzioni Edili S.r.l.**



**VICA S.r.l.**



## Friends



**Città Metropolitana di Catania**



Comune di Catania



Ordine Architetti Pianificatori Paesaggisti  
Conservatori Provincia di Catania



REGIONE SICILIA

Dipartimento dell'istruzione  
e della formazione professionale



REGIONE SICILIA

Assessorato regionale  
delle infrastrutture e della mobilità



REGIONE SICILIA

Assessorato regionale dell'Energia  
e dei Servizi di Pubblica Utilità

## Introduction

In the last century, the progress of science and technology was certainly rapid and exhilarating giving rise to a significant improvement in the conditions of human life. However, this remarkable progress has also determined significant negative effects: environmentally, the Earth's equilibrium has been progressively threatened; economically, there has been an unfair distribution of world wealth; and socially, for the widespread application of controversial consumer models.

These issues began to raise alarms and promote timid counteractions by small sensitive social groups who were often left isolated and muted by pessimism. Notwithstanding, especially recently, a much deeper and more comprehensive awareness has arisen bringing forth plenty of outpourings of sensitivity and demands for environmental welfare and the fundamental rights of man. This enormous collective sharing has contributed to the spreading of the important principle of sustainability, environmentally, socially and economically.

Faced with billions in poverty, and now more than ever, millions of fugitives, new frontiers of research are needed even in architecture which take into account the requirements of the economically and socially disadvantaged as well as a drastic reduction in environmental impact.

All of this does not mean reneging on Industry 4.0 but interpreting it as a catalyst for development and innovation to increase both the efficiency of businesses and citizens' services by means of a model of responsible development combining healthy competitiveness, sustainability and quality of life.

Within this context, the idea of a circular economy has a wider definition as does that of the resilience of an environment constructed against natural disasters; these research areas intertwine and are enriched by studying innovative materials and technologies as well as the history of construction. Sustainable architecture therefore becomes a field of experimentation to deal with the environmental, social and economic emergencies of our times.

The new horizons of engineering and architecture ought to be inspired by sustainability in support of more fairly distributed building, affordable and rigorously respectful of the planet and the individual. The Colloqui.AT.e 2020 Conference – New Horizons for Sustainable Architecture – was an opportunity to deepen the topics related to these issues, offering an opportunity for discussion for researchers and designers in the field of Building Engineering and Architecture. The event, which this year involved almost 300 participants, is promoted annually by Ar.Tec., a non-profit association set up by scholars of architecture and building techniques, with the aim of increasing awareness within the sector in the scientific community and among entrepreneurs and manufacturers.

Colloqui.AT.e 2020, which initially was intended to take place in Catania from 17<sup>th</sup> to 20<sup>th</sup> June 2020, was postponed to 10<sup>th</sup> December 2020, in remote mode, due to the limitations imposed

by the current pandemic emergency. The call for abstract was opened in November 2019 and collected 149 papers, divided into three topics, each of them subdivided into five thematic areas

#### A\_ CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION:

1. History of construction
2. Tools and methods for knowledge and graphic representation
3. Construction techniques and performance in existing buildings
4. Sustainable retrofitting of modern and pre-modern heritage
5. Management and economic development of building heritage

#### B\_ CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE

1. Sustainability in product, design and process innovation
2. Digitization, robotics and industrialization for sustainable buildings
3. Low-cost and low-carbon architecture
4. Methods and techniques for building management and monitoring
5. Unconventional sustainable building materials and technique

#### C\_ BUILDING AND DESIGN TECHNIQUES:

1. Sustainability principles and practices for building reuse and renovation
2. Tools for building design and management
3. Integrated design
4. Architecture for emergencies
5. Participatory processes (design and construction)

The papers were sent to at least two independent experts, selected among the scientific committee, for double-blind peer review. We take the opportunity to thank all the reviewers, who contributed to raising the quality level of the conference proceedings, with careful and accurate comments and suggestions. The papers were finally revised by the editors and by the Publisher.

We would also like to thank everyone who contributed to the success of the event, namely the Ar.Tec. board, the patrons, the sponsors, the organizing committee and all the participants.

Catania, December 2020

*Santi Maria Cascone  
Giuseppe Margani  
Vincenzo Sapienza*

## Introduzione

Nell'ultimo secolo il progresso della scienza e della tecnologia è stato senza dubbio rapido ed a tratti entusiasmante, determinando un notevole miglioramento delle condizioni di vita dell'uomo. Questa eccezionale tendenza alla crescita ha tuttavia prodotto rilevanti effetti negativi, sia a livello ambientale, arrivando progressivamente a minacciare l'equilibrio stesso del pianeta Terra, sia a livello economico, contribuendo ad un'iniqua distribuzione della ricchezza mondiale, sia a livello sociale, per lo svilupparsi di forme di antagonismo e di eversione.

La problematica ambientale e gli squilibri socio-economici hanno cominciato col destare allarmi parziali e promuovere timidi tentativi, affidati alla sensibilità di piccoli gruppi sociali, che spesso sono rimasti isolati e tacciati di catastrofismo. Tuttavia, soprattutto di recente, è emersa una consapevolezza molto più vasta e profonda, che ha determinato ampie manifestazioni di sensibilità e di rivendicazione della salvaguardia ambientale e dei diritti fondamentali dell'uomo. Questa condivisione collettiva ha contribuito a diffondere l'importante principio della *sostenibilità*, che opportunamente include istanze sia ambientali, che sociali ed economiche.

A fronte di miliardi di indigenti e, oggi più che mai, di milioni di migranti, occorrono nuove frontiere di ricerca che, anche in architettura, offrano una risposta alle esigenze delle fasce economicamente e socialmente più svantaggiate, oltre ad assicurare una riduzione significativa degli impatti sull'ambiente.

Tutto ciò non porta a rinnegare i principi dell'Industria 4.0, piuttosto induce a interpretare quest'ultima come motore di sviluppo per innovare e rendere efficienti sia i processi interni alle imprese, sia i servizi offerti ai cittadini; il tutto attraverso l'attuazione di un modello di sviluppo responsabile fatto di sana competitività, sostenibilità e qualità della vita.

In tale contesto, il tema dell'economia circolare assume una declinazione più ampia, come più ampio diviene quello della resilienza dell'ambiente costruito alle catastrofi naturali; questi ambiti di ricerca si intrecciano e si arricchiscono con lo studio di materiali e tecnologie innovative e con la storia della costruzione. L'architettura diventa quindi campo di sperimentazione per offrire risposte alle istanze connesse alla emergenza ambientale, sociale ed economica, propria del nostro tempo.

I nuovi orizzonti dell'ingegneria e dell'architettura dovranno pertanto ispirarsi a principi di sostenibilità, a sostegno di un'edilizia alla portata di tutti e rigorosamente rispettosa del pianeta e dell'individuo. Il Convegno Colloqui.AT.e 2020 – *New Horizons for Sustainable Architecture*, è stata una occasione per approfondire gli argomenti correlati a tali tematiche, offrendo un luogo di discussione ai ricercatori e agli operatori della progettazione, della costruzione e della produzione nell'ambito dell'Ingegneria Edile e dell'Architettura. La manifestazione, che ha visto il coinvolgimento di quasi 300 studiosi, si svolge in seno alle attività programmate annualmente dall'Ar.

Tec., un'associazione senza scopo di lucro fondata per iniziativa di studiosi dell'architettura e delle tecniche dell'edilizia, con il fine di curare la diffusione delle conoscenze di settore presso le comunità scientifiche e le realtà imprenditoriali e produttive in esso impegnate.

Colloqui.AT.e 2020, che inizialmente doveva svolgersi a Catania dal 17 al 20 giugno 2020, è stato posticipato al 10 dicembre 2020, in modalità a distanza, a causa delle limitazioni imposte dall'emergenza pandemica in corso. La call for abstract è stata aperta nel novembre 2019 e ha raccolto 149 contributi, ripartiti in tre *topic*, ciascuno dei quali suddiviso, a sua volta, in cinque aree tematiche.

#### A\_CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION:

1. Storia della costruzione
2. Strumenti e metodi per la conoscenza e la rappresentazione
3. Tecniche costruttive e prestazioni negli edifici esistenti
4. Recupero sostenibile del patrimonio moderno e pre-moderno
5. Gestione e valorizzazione economica del patrimonio costruito

#### B\_CONSTRUCTION AND BUILDING PERFORMANCE

1. Sostenibilità nell'innovazione di prodotto, di progetto e di processo
2. Digitalizzazione, robotica, industrializzazione a servizio della sostenibilità
3. Edilizia low-carbon e low-budget
4. Metodi e tecniche per il controllo e il monitoraggio prestazionale degli edifici
5. Materiali e tecniche costruttive non convenzionali

#### C\_BUILDING AND DESIGN TECHNOLOGIES:

1. Principi e pratiche di sostenibilità per il riuso e la riqualificazione
2. Strumenti per la progettazione e gestione degli edifici
3. Progettazione integrata
4. Architetture per le emergenze
5. Processi partecipativi (di progetto e di costruzione)

Ciascun contributo è stato sottoposto ad una procedura di revisione anonima da parte di almeno due esperti del comitato scientifico. Si coglie l'occasione per ringraziare tutti i revisori, che hanno contribuito ad innalzare il livello qualitativo dei lavori del convegno, con commenti e suggerimenti attenti e puntuali. I contributi sono stati infine vagliati dai curatori del volume e dall'Editore.

Un ulteriore ringraziamento va indirizzato a tutti coloro che hanno contribuito alla riuscita dell'evento, ossia al direttivo dell'Ar.Tec., gli enti patrocinatori, agli sponsor, al comitato organizzatore e a tutti i partecipanti.

Catania, dicembre 2020

*Santi Maria Cascone  
Giuseppe Margani  
Vincenzo Sapienza*



## **A – CONSTRUCTION HISTORY AND PRESERVATION**



## **Il sisma e il patrimonio storico culturale. Il caso della Chiesa del Santuario della Madonna dell'Ambro**

**G. Di Mari<sup>1\*</sup>, E. Garda<sup>2\*</sup>, C. Montenovo<sup>3\*</sup>, A. Renzulli<sup>4\*\*</sup>**

<sup>1\*</sup> Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica –DISEG, Torino, giuliana.dimari@studenti.polito.it

<sup>2\*</sup> Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica –DISEG, Torino, emilia.garda@polito.it

<sup>3\*</sup> Politecnico di Torino, Torino, claudia.montenovo@studenti.polito.it

<sup>4\*\*</sup> Università di Roma La Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale –DICEA, Roma, alessandra.renzulli@uniroma1.it

### **Abstract**

L'Italia ha un patrimonio artistico, culturale e paesaggistico smisurato. Si pone quindi il problema della salvaguardia di tali ricchezze non solo dall'usura del tempo e degli agenti atmosferici, ma soprattutto da eventi non ordinari, come i terremoti, che hanno lasciato profonde ferite sul nostro territorio. Nel paper proposto si vuole approfondire proprio il tema degli interventi da poter effettuare su di una particolare categoria di edifici storici, quelli religiosi e nello specifico sulle chiese in muratura. Bisogna considerare infatti che nella maggior parte dei casi è molto complesso quantificare con un valore definito il livello di sicurezza, come è invece possibile fare per gli edifici nuovi. Inoltre, si ha bisogno di interfacciarsi al problema con un approccio di tipo multidisciplinare poiché è evidente che non si può valutare la sicurezza di un manufatto se non si conosce il sostrato su cui si poggia, non si può proteggerlo se non si conoscono i materiali utilizzati e come è stato costruito, ma si ha prima bisogno di ricerca storica e documentale per capire quali siano stati i sistemi di produzione che l'hanno determinato e come funziona la società che li ha prodotti. Si introduce così un discorso via via sempre più ampio, che andrà a toccare diverse discipline. Ogni specialista darà la sua parte di risposta, ma la valutazione vera, quella finale, che porta alla scelta della strumentazione e della metodologia d'azione deve scaturire dall'interazione tra i diversi profili disciplinari. Contestualmente, va ricordato, che ogni intervento costituisce un caso a sé per l'eterogeneità delle situazioni esistenti e per l'infinita casistica dei fenomeni di degrado e dissesto che possono verificarsi. Per questo motivo, oltre alla dissertazione di carattere generale sull'argomento sopra esposto, si è deciso di portare un esempio pratico ovvero l'intervento di restauro conservativo e miglioramento sismico della Chiesa del Santuario della Madonna dell'Ambro (FE).



## 1. Edifici di culto storici e il sisma

Gli eventi tellurici verificatisi in Italia negli ultimi anni hanno confermato le criticità del comportamento sismico degli edifici murari a carattere storico, in particolare delle chiese. Generalmente queste costruzioni sono classificate come beni culturali e vengono tutelate dalle Soprintendenze. Per questo motivo qualsiasi tipo di intervento deve essere guidato dal principio dell'interdisciplinarietà: i progetti strutturali non possono essere scissi dalla parte architettonica, storica e artistica.

### *Sicurezza sismica*

Dopo ogni terremoto si torna a discutere sulla sicurezza sismica delle costruzioni. Il discorso si complica quando si prendono in considerazione gli edifici storici realizzati in muratura. Bisogna comunque partire da un assunto: la sicurezza delle costruzioni è un concetto probabilistico e i limiti imposti a una costruzione "sicura" sono convenzionali. Inoltre, va ribadito e accettato che la sicurezza assoluta non è perseguibile e che pertanto il tema da proporre alla collettività è l'aumento della sicurezza e la contemporanea riduzione del rischio rispetto alla condizione attuale. [1] Ingegneristicamente, la sicurezza è un rapporto tra la resistenza di un edificio e le azioni che lo possono sollecitare. Tale rapporto deve essere maggiore di uno: la resistenza, con gli adeguati coefficienti di sicurezza legati alla conoscenza meccanica del materiale, deve essere maggiore delle azioni. Nel caso dei manufatti architettonici appartenenti al patrimonio culturale esistono oggettive difficoltà a definire procedure di verifica dei requisiti di sicurezza analoghe a quelle applicate per gli edifici ordinari, in quanto la loro varietà tipologica e singolarità costruttiva (anche dovuta alle trasformazioni subite nel corso della storia dell'edificio e allo stato di conservazione) non consentono di indicare una strategia univoca e affidabile di modellazione e analisi. In queste valutazioni spesso si riscontrano incertezze in merito al modello di comportamento, ai parametri che lo definiscono e alla conoscenza degli elementi costitutivi materici. Infatti, tali costruzioni non sono state progettate utilizzando i principi della meccanica dei materiali e delle strutture, bensì con un approccio basato sull'intuizione e l'osservazione, utilizzando i principi dell'equilibrio dei corpi rigidi e sperimentando il comportamento delle costruzioni già realizzate; tutto ciò ha progressivamente portato ad affinare criteri esecutivi e di proporzionalmente geometrico, configurabili come regole dell'arte. Pertanto, la sicurezza di un vecchio edificio non è definibile con un solo valore, ma è il risultato di una valutazione necessariamente più complessa, che coinvolge l'esperienza di chi la valuta. Imprescindibile rimane il calcolo dei livelli di accelerazione al suolo corrispondenti al raggiungimento di ciascun stato limite previsto per la tipologia strutturale dell'edificio, sia nella situazione precedente che in quella successiva all'eventuale intervento. Infatti, confrontando questi valori con quelli dell'accelerazione del suolo attesa nel sito fornisce una misura del livello di sicurezza sismica del manufatto a valle dell'intervento. Nonostante i beni culturali non si prestino alle prescrizioni di modellazione e verifica indicate per gli edifici ordinari, è necessario procedere ad una valutazione del comportamento sismico complessivo del manufatto con i modelli ritenuti più opportuni dal progettista. La capacità della struttura, valutata attraverso metodi sia quantitativi che qualitativi, deve essere confrontata con l'azione sismica modulata in funzione di ragionevoli livelli di protezione sismica.

## ***Interventi***

Anche se è oggettivamente difficile determinare criteri di sicurezza e obblighi di intervento, è necessario definire procedure che portino a un miglioramento diffuso della sicurezza. Per quanto attiene gli interventi sui beni tutelati, l'articolo 29 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio al comma 5 dispone che il Ministero definisca, anche con il concorso delle regioni e con la collaborazione delle Università e degli Istituti di Ricerca competenti, linee di indirizzo, norme tecniche, criteri e modelli di intervento in materia di conservazione dei beni culturali. Attualmente, oltre alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, sono state emanate le Linee guida per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale del 2010 e le Linee di indirizzo metodologiche e tecniche per la ricostruzione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 24 agosto 2016 e seguenti. Le categorie di intervento sulle strutture esistenti possono essere di tre tipi: interventi di adeguamento sismico atti a conseguire i livelli di sicurezza previsti dalle stesse norme tecniche; interventi di miglioramento sismico atti ad aumentare la sicurezza strutturale esistente, pur senza necessariamente raggiungere i livelli richiesti dalla norma; riparazioni o interventi locali che interessino elementi isolati e che comunque comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti. Per i beni culturali tutelati è necessario attenersi a interventi di miglioramento, a riparazioni o a interventi locali. Sul concetto di miglioramento si sono diffusi numerosi pregiudizi che puntualmente si ripresentano a ogni evento sismico: il miglioramento produrrebbe interventi non sufficienti ai fini della sicurezza, al contrario dell'operazione di adeguamento. L'esperienza, maturata osservando gli effetti dei recenti terremoti, e le ricerche svolte hanno dimostrato invece che una corretta progettazione ed esecuzione d'interventi tipicamente inquadrati nel processo di miglioramento (es. inserimento di catene, collegamenti o ammorsamenti tra pareti, eliminazione di discontinuità murarie, irrigidimento ed efficiente collegamento dei solai di legno alle pareti) ha prodotto risultati assolutamente positivi in termini di prevenzione dei maggiori effetti di crollo e anche di contenimento del danno, in un'ottica di riparabilità ed economicità auspicata sia sul piano tecnico-scientifico sia sul piano normativo. [2] Mentre interventi volti ad adeguare edifici storici, spesso basati su soluzioni che comportano modifiche significative del loro comportamento strutturale, si sono rivelati talvolta incongrui, se non dannosi in presenza di un nuovo sisma. L'approccio al miglioramento dunque non è solo un accorgimento normativo messo in atto per evitare interventi troppo invasivi, tali da compromettere il rispetto di fondamentali richieste di conservazione, ma è il modo più appropriato di operare normalmente dal punto di vista della meccanica delle strutture ed è in grado di garantire prestazioni strutturali che, considerato anche l'elevato livello d'incertezza, possono essere non sostanzialmente diverse da quelle formalmente attese con interventi inquadrabili nell'ambito dell'adeguamento. Infatti l'obiettivo di qualsiasi intervento deve essere: garantire la sicurezza dell'edificio preservando oltre che il bene materiale anche il funzionamento strutturale e operando inevitabilmente con scelte di compromesso. Oggi è possibile riportare gli interventi, che investono le strutture murarie esistenti allo scopo di migliorarne le prestazioni statiche, nell'alveo della disciplina del Restauro Architettonico. [3] Infatti si presta molta attenzione alla compatibilità fisica e meccanico-strutturale delle preesistenze storiche con gli apporti costruttivi prodotti dall'attività di manutenzione, restauro, riuso, adeguamento delle prestazioni statiche e funzionali del patrimonio architettonico.

### *Miglioramento sismico*

Prima di qualsiasi analisi o progetto è necessario avere un accurato grado di conoscenza del manufatto. Risulta importante conoscere le caratteristiche originarie dell'edificio, i parametri di resistenza meccanica dei materiali, le modifiche intercorse nel tempo dovute ai fenomeni di danneggiamento derivanti dalle trasformazioni antropiche, all'invecchiamento dei materiali e agli eventi calamitosi. Il grado di comprensione storico-architettonica acquisito rappresenta un presupposto fondamentale sia ai fini di un'attendibile valutazione dell'attuale sicurezza sismica sia per la scelta di criteri idonei di intervento conservativi. [4] Successivamente il progettista eseguirà l'analisi sia del danno, con l'individuazione e l'interpretazione dei meccanismi attivati, sia delle carenze e delle vulnerabilità dell'edificio. Le chiese sono la tipologia strutturale che meglio si presta all'individuazione di porzioni strutturali (macro-elementi) contraddistinte da un comportamento sismico autonomo e di conseguenza consentono di individuare un numero di meccanismi di collasso dai quali risalire alla risposta sismica globale del manufatto. Infatti, l'analisi dei danni causati dai principali eventi sismici italiani, ha evidenziato come il quadro di danno possa inquadrarsi secondo fenomenologie ricorrenti e che di conseguenza i rispettivi meccanismi di collasso possono raggrupparsi in un numero ridotto di cinematismi. [5] Si procede poi con la verifica dell'edificio allo stato di fatto per i carichi (statici e dinamici) del progetto, in modo tale da poter confrontare questi risultati con quelli ottenuti a progetto finito. Dopo queste analisi, si inizierà con la fase di progettazione vera e propria. Inizialmente i vari tecnici dovranno cercare una strategia d'azione congrua con il tipo di immobile e con le prescrizioni normative. Poi si passerà al progetto dell'intervento di miglioramento. Infine si eseguirà la verifica dell'edificio allo stato di progetto, ovvero dopo l'intervento. Va tenuto conto del fatto che, per migliorare la risposta alle azioni sismiche, la struttura deve possedere un comportamento duttile, in grado cioè di assorbire quell'energia che il moto del terreno le trasmette. Infatti, se l'azione del sisma spinge la struttura a realizzare la sua adattabilità plastica, grandi quantità di energia vengono assorbite dall'edificio attraverso i cicli di isteresi. Da queste considerazioni scaturisce un principio fondamentale della strategia progettuale delle costruzioni in zona sismica: per resistere a sismi di elevata intensità, senza che crolli totalmente o parzialmente, le strutture devono poter disporre di elevate risorse deformative oltre il proprio limite elastico. In altri termini la struttura non crollerà, ma avrà una deformazione plastica crescente con l'aumentare dell'intensità del moto imposto. Per raggiungere tali effetti negli edifici in muratura è necessaria una particolare cura nelle connessioni fra pareti contigue e fra orizzontamenti e muri d'ambito tra tutti gli elementi, cioè bisogna favorire un comportamento di tipo scatolare. [6] Qualsiasi operazione prevista dovrà fare ricorso possibilmente all'utilizzo della muratura e delle tecniche e materiali della tradizione costruttiva locale. Infatti, da numerose osservazioni si è giunti alla conclusione che un uso generalizzato e diffuso di tecnologie molto diverse da quelle tradizionali, come il cemento armato, ha portato in alcuni casi a non presidiare efficacemente gli edifici storici e a favorire l'insorgenza di danni, mentre l'applicazione di soluzioni tecniche, più compatibili con la compagine muraria, ha migliorato la risposta sotto sisma. Rinforzi strutturali come catene metalliche, cordoli e presidi murari sono tecniche di miglioramento sismico più semplici da verificare e, perché ritenuti non particolarmente invasivi, adatti a soddisfare

le esigenze figurative e, nello stesso tempo sufficienti a presidiare le strutture. La scelta di queste tecniche non preclude la possibilità d'ipotizzare, in fase progettuale, l'introduzione di tecnologie altamente innovative come materiali compositi e leghe a memoria di forma. Queste soluzioni si stanno sempre più rivelando possibili alternative di presidio, poiché pur basandosi su logiche strutturali profondamente diverse dal costruito in muratura, riescono, in certe condizioni a essere impiegate con un accettabile grado di reversibilità, in modo poco invasivo e con notevole flessibilità applicativa. In qualsiasi caso si deve cercare di rispettare il più possibile la concezione strutturale delle chiese e di rendere riconoscibile il nuovo intervento. Infatti, il progetto strutturale deve dialogare con l'immagine architettonica e deve seguire i principi della distinguibilità e del rispetto per l'autenticità delle strutture antiche.

## **2. Il caso studio: la Chiesa del Santuario della Madonna dell'Ambro**

Il caso studio scelto descrive l'intervento di restauro conservativo e miglioramento sismico della Chiesa del Santuario della Madonna dell'Ambro, situato nel comune di Montefortino (FE) nelle Marche meridionali. La motivazione di tale scelta è stata dettata dal fatto che, gli interventi attuati al fine di salvaguardare questo patrimonio religioso-culturale, sono stati celeri ed efficaci e hanno previsto anche il coinvolgimento delle maestranze locali. Inoltre, è stata fatta con la volontà di far conoscere e rilanciare una realtà, dove un tessuto umano legato alla sfera del culto sta cercando di superare gli eventi catastrofici verificatisi, con sinergia di interventi e con il coinvolgimento di risorse finanziarie pubbliche e private presenti nel territorio. Si cercherà quindi di ripercorrere tutte le fasi del progetto a partire da quelle iniziali di conoscenza del fabbricato e della sua storia.

### ***Localizzazione***

Il santuario della Madonna dell'Ambro è situato in un fondovalle a 683 m s.l.m., a sei chilometri circa dall'abitato principale di Montefortino (FE), a cui territorialmente appartiene. L'intero comune è classificato in zona sismica 2, con valori di accelerazione massima su roccia di 0.25 g. L'immobile risulta sottoposto a vincolo di tutela paesaggistica dal Ministero dei Beni Culturali-Soprintendenza Archeologica, Belle Arti e Paesaggio delle Marche. Si trova nel pieno della catena dei Sibillini, massiccio montuoso dell'Appennino umbro-marchigiano, che ospita l'omonimo Parco Nazionale. Costituito da rocce calcaree e calcareo-marnose del Mesozoico-basso Terziario, il gruppo dei Sibillini può essere considerato come una formazione geologica relativamente giovane con alcune faglie ancora oggi attive. L'intero territorio, per quanto appartato e aspro, funge da luogo di transito fin dall'antichità tra medio Adriatico e Tirreno e per questo è ricco di storia, come si evince dai resti archeologici e monumentali presenti. Non mancano le suggestioni popolari nate sulle cime dei Monti Sibillini. Il complesso mondo di leggende e miti nasce intorno a due luoghi principali: la grotta della Sibilla e il lago di Pilato. Questi racconti furono poi assimilati dalla cultura cristiana nei primi secoli della sua espansione e rielaborati. Forse proprio per contrastare il persistente culto pagano sono sorti così molti edifici religiosi in luoghi remoti e solitari. [7]



Fig. 1. Il santuario della Madonna dell'Ambro a Montefortino © 2019, C. Montenovo.

### *Descrizione*

Fanno parte del complesso del Santuario: la Chiesa con annesso campanile, il Convento sul lato sud che si sviluppa su quattro piani fuori terra, un ulteriore corpo sul lato nord a due piani che accoglie al piano terra i confessionali. La Chiesa è a unica navata con volte a botte e otto cappelle laterali sempre voltate. Le ultime due cappelle sono utilizzate come cantoria e per l'accesso al Convento. Il presbiterio è sopraelevato rispetto alla quota della navata. Da due accessi laterali si entra prima nella Cappella della Madonna e poi nell'abside a pianta semicircolare. La facciata principale sul fronte est presenta un portico a cinque arcate in cortina di laterizio a giunto chiuso e colonne in travertino, un unico finestrone sopra il portone d'ingresso e un cornicione a dentelli in mattoni. Il campanile è a pianta quadrata, semplicemente addossato al muro portante della Chiesa, e si eleva per quattro piani. Termina con la cella campanaria composta da quattro finestroni ad arco, sormontata da un tamburo ottagonale in mattoni.

### *Storia*

Ai fini di una corretta individuazione del sistema resistente e del suo stato di sollecitazione è importante la ricostruzione dell'intera storia costruttiva del bene culturale tutelato, ossia del processo di costruzione e delle successive modificazioni nel tempo del manufatto. In particolare, si andrà ad evidenziare la successione realizzativa delle diverse porzioni di fabbrica, al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale, sia in pianta che in alzato. Si tramanda che l'origine del santuario della Madonna dell'Ambro risalga a un evento prodigioso avvenuto nell'anno Mille: la guarigione di una pastorella sordomuta del posto in seguito all'apparizione della Madonna. Da qui l'appellativo "La piccola Lourdes dei Sibillini". Tuttavia non esistono scritti comprovanti il miracolo. L'unico reperto è una pergamena del 1073 che attesta la presenza in quelle zone di una chiesa dedicata alla Vergine. [8] Della primitiva costruzione però non ci sono dati reperibili. Nel 1503 il comune di Montefortino, a cui spettava la giurisdizione del Santuario dopo l'abbandono dei monaci Benedettini, decretò la ricostruzione ex novo dell'edificio. Questi lavori furono eseguiti solo in minima parte a partire dal 1595 con la costruzione di una Cappella, quella attuale, a

forma quadrangolare (4,45x5,35 m) in cui è riposto il simulacro della Vergine. Solamente nel 1601 si arriva a formulare un progetto definitivo per i lavori di costruzione del nuovo sito religioso. L'opera venne affidata a un famoso architetto, Ventura Venturi, che insieme al padre Lattanzio ha lavorato per conto della S. Casa di Loreto. La chiesa fu concepita a una sola navata con sei cappelle laterali, disposta in modo tale che la cappella preesistente sorgesse nell'abside e formasse una zona di culto a sé stante a cui si accedeva tramite due porte aperte ai lati dell'altare maggiore. Un'ampia finestra ricavata sopra l'altare dava luce alla cappella e allo stesso tempo rendeva visibile la statua della Madonna da ogni punto di vista. L'esterno doveva essere austero, in corrispondenza con il luogo circostante. Si notano molto i richiami all'architettura della S. Casa. Fino al 1905 non abbiamo tracce di attività edilizia, se non alcune opere di manutenzione e restauro secondarie. Nel 1906 per volere del sindaco di Montefortino, Antonio Serafini, è stato eretto il conventino attiguo all'edificio principale. Nel 1933 il rettore P. Luigi da Monterado si rivolge all'architetto Giuseppe Breccia per abbellire la facciata, considerata umile e disadorna. L'opera però fu interrotta dopo l'erezione del pronao, per mancanza di fondi. Fu ripresa nel 1936 con il completamento del porticato e con la costruzione del campanile, iniziata nel 1935 e completata nel 1938. La ristrutturazione della sezione superiore della facciata, al di sopra del porticato, non fu attuata. Secondo un disegno era previsto un avancorpo di stile classicheggiante con una vasta arcata al centro, coronato da un timpano triangolare giustapposto alla parete dell'antica facciata. Un successivo rettore P. Sebastiano Domenichini intraprese numerosi lavori di abbellimento e sistemazione degli interni nel conventino e fuori. Ripristinò il nuovo pavimento in marmo della chiesa e delle cappelle laterali. Rinnovò la scalinata esterna con una pavimentazione di tipo mosaico, fatta di pietre locali e cemento, con alzata in travertino. [9]

Nel 1959 provvide al ripristino del tetto e alla ripulitura della volta. Inoltre prolungò il conventino. Nel 1965 fu costruita la Penitenzieria, una sala (22x4x4 m) a fianco della parete nord del Santuario contigua al campanile. Nel 1974 seguirono i lavori di completamento o meglio di ripristino della facciata. Al contrario di quanto inizialmente previsto la facciata fu liberata dalla tribuna eseguita nel 1936. A suo posto furono prolungate, con adattamenti, le due porzioni di tetto a spioventi, ricoperte con coppi. La parete frontale superiore fu liberata dall'intonaco con l'intento di recuperare l'originario e scabro fondo di pietre e laterizi a vista. Stesso trattamento fu riservato ai muri della sezione inferiore della torre campanaria, così da creare un unico corpo armonico. Nel 1980 si stabilì di scalcinare dai vecchi intonaci anche l'abside per rimettere in luce l'originale fisionomia con pietre a vista. Attualmente il complesso è gestito sotto la guida di P. Gianfranco Priori dai Padri Cappuccini.

### *Tesori dell'arte*

Nel caso di edifici tutelati esiste un rapporto obbligato e ineludibile tra interventi all'edificio e interventi alle decorazioni murarie. In questi casi quindi bisogna valutare preventivamente se e quali possano essere le conseguenze negative sulle decorazioni e per fare ciò è necessario conoscere il valore delle opere presenti. Per questo si procederà a una breve descrizione del patrimonio artistico presente all'interno della chiesa, dalla scultura alla pit-

tura. Partendo dalla Cappella, dove spicca anzitutto la statua della Vergine con il Bambino, trasportata nella chiesa nel 1562. L'intero gruppo misura un metro e venti di altezza e pesa 250 kg. Non ci sono informazioni riguardanti i committenti e l'artista che l'ha realizzata. Per questo motivo sono state avanzate numerose ipotesi sulla provenienza e sulla datazione. Le contraddizioni iniziali si riferiscono al materiale: alcuni sostengono sia di terracotta, altri di marmo o di pietra. Gli ultimi accertamenti hanno confermato la prima ipotesi. Per quanto concerne l'artista, un importante studioso del Santuario, Giuseppe Santarelli, ha affermato che potesse appartenere alla scuola abruzzese dell'ultimo periodo del secolo XV o dei primissimi anni del secolo XVI. [10] L'intero gruppo presenta infatti delle forme composte e levigate di gusto rinascimentale, in cui si ravvisano però ancora residui stilistici arcaici, soprattutto nei tratti fisionomici. Sempre nella Cappella si trova il ciclo mariano realizzato a olio su muro da Martino Bonfini da Patrignone (AP) nel 1610-1611. L'artista ha fatto parte dell'ambiente pittorico ascolano che sul finire del secolo XVI e agli inizi del secolo XVII è stato abbastanza fervido per la presenza di Cola dell'Amatrice, Pietro Gaia e Simone de Magistris. Il Bonfini ha ripartito lo spazio in sei ampie sezioni raffigurando nella parte sinistra, sotto la Presentazione di Maria al Tempio e sopra lo Sposalizio; nella parte destra, in basso la Circoncisione e sopra la Visitazione; nella parete di fronte la nicchia, in alto il Riposo della S. Famiglia e infine sulla volta l'Assunzione. Nei riquadri laterali ha dipinto dodici Sibille recanti scritte profetiche, delle quali le quattro più in basso a dimensione quasi naturale (Cumana, Eritrea, Ellespontica e Agrippa). Sotto le Sibille sono raffigurati quattro profeti (Mosè, Salomone, Geremia e David). Questo sincretismo religioso si ritrova anche in dipinti illustri come quelli della Cappella Sistina, del Perugino, del Ghirlandaio o del Pinturicchio, ma qui assume un significato particolare per tutto il mondo di leggende che gravitano attorno alla Sibilla. Storicamente queste donne erano considerate delle profetesse che fornivano responsi e facevano predizioni, ma in forma oscura e ambivalente. Nell'era cristiana i Padri della Chiesa le hanno considerate come annunciatrici della nascita del Salvatore. Quindi le Sibille sono entrate a pieno titolo nella cultura della nuova fede. Il racconto figurativo esprime la concezione teologica secondo la quale la Rivelazione si manifesta non solo attraverso personaggi biblici, ma anche per mezzo delle profetesse pagane, coinvolgendo l'intera storia dell'umanità. Rispetto la navata principale del Santuario, la decorazione della volta e i due grandi affreschi che si trovano sulla controfacciata e sulla parete dell'altare maggiore sono state realizzate intorno al 1928 da Virgilio Parodidella scuola vaticana. L'intera volta è suddivisa in quattro campate da arconi decorati a motivi floreali su fondo a foglia oro. Ogni campata presenta sfondo azzurro cielo con stelline a rilievo dorate e viene divisa a spicchi da finte decorazioni architettoniche. Nella fascia del basamento il Parodi ha raffigurato otto figure femminili bibliche in trono, alternate con riquadri a motivi floreali. Nell'affresco sopra l'altare maggiore l'autore riproduce la scena dell'apparizione della Vergine alla pastorella. L'altra pittura sulla parete opposta mostra la "Regina della Pace" nella veste della Madonna dell'Ambro. Le cappelle laterali presentano affreschi, tempere e olio su muro di svariate epoche. Nel complesso, l'interno della chiesa, facendo astrazione delle pitture e delle decorazioni novecentesche, rivela uno stile tardo-rinascimentale.



Fig. 2. Il patrimonio artistico della chiesa del santuario della Madonna dell'Ambro © 2019, C. Montenovo.

### *Materiali da costruzione*

Di particolare interesse risulta essere anche il rilievo materico costruttivo, che permettere di individuare completamente l'organismo resistente della fabbrica, andando anche a considerare la qualità e lo stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi. Attualmente l'intera struttura portante della chiesa dell'Ambro risulta essere in muratura priva di intonaco di rivestimento, rimosso nel 1974 dalla facciata e nel 1980 dall'abside, e realizzata con pietre sbazzate calcaree di fiume e malta di calce. In alcuni elementi particolari quali angolate, architravi e cornici sono stati inseriti mattoni. Per quanto riguarda le coperture, quelle della Chiesa e del Convento si differenziano da quelle della Penitenzieria. Le prime sono realizzate in legno e laterizio, le altre in latero-cemento. Il campanile presenta tre solai in latero-cemento del tipo varese e un ultimo in voltine di mattoni e profili in acciaio. La volta della navata è in muratura con mattoni posti a coltello, dallo spessore di 15 cm. La copertura poggia direttamente su questi mattoni. Anche le volte laterali sono in mattoni. Da alcune indagini, svolte post-sisma sui setti trasversali, si è scoperto la presenza di due corpi murari non ammortati tra loro: entrambi in pietra, uno a conci regolari, l'altro in pietrame grossolano, quindi probabilmente appartenenti a epoche differenti.



Fig. 3. Dettagli della tipologia costruttiva della Chiesa del Santuario ©2018, G. Alessandrini.

### **3. Gli interventi sul caso studio**

Il terremoto del 2016 ha provocato ingenti danni all'edificio. Questo evento ha spinto la Cassa di Risparmio di Fermo a finanziare tutti gli interventi necessari per la valutazione delle condizioni dell'edificio, commissionando il progetto a due professionisti locali e in particolare all'arch. Giu-



lia Alessandrini per la parte architettonica e all'ing. Diego Damen per la parte strutturale, professionisti del luogo. In corso d'opera si sono avvalsi anche della consulenza tecnica e scientifica del Prof. Ing. Luigino Dezi dell'Università Politecnica delle Marche, e dell'assistenza della ditta Mapei. Grazie a questi interventi, la struttura è ritornata agli antichi fasti in 303 giorni di lavoro. Le azioni intraprese, oltre a tutelare il carattere storico del sito, hanno permesso la sua messa in sicurezza, in modo tale da garantire la ripresa spirituale ed economica di queste zone. Al termine di tutti gli interventi, la verifica finale allo stato di progetto ha evidenziato un raddoppio del valore del coefficiente di vulnerabilità, che da 0.4 è arrivato a 0.8. Non è stato raggiunto al valore massimo per volontà dei tecnici, in quanto il progetto è stato inquadrato come miglioramento sismico.

### *Terremoti e danneggiamenti*

Il territorio che stiamo analizzando è stato storicamente caratterizzato da numerosi terremoti molto forti, alcuni dei quali sono avvenuti all'interno di sequenze complesse. L'ultima delle sequenze sismiche risale al 2016 e ha provocato i danni maggiori all'edificio preso in esame. La prima forte scossa si è avuta il 24 agosto con una magnitudo di 6.0 e epicentro situato lungo la Valle del Tronto, tra i comuni di Accumuli (RI) e Arquata del Tronto (AP). Due potenti repliche sono avvenute il 26 ottobre con epicentri al confine umbro-marchigiano, tra i comuni della provincia di Macerata di Visso, Ussita e Castelsantangelo sul Nera (la prima scossa alle 19:11 con magnitudo 5.4 e la seconda alle 21:18 con magnitudo 5.9). Il 30 ottobre 2016 è stata registrata la scossa più forte di magnitudo 6.5 con epicentro tra i comuni di Norcia e Preci, in provincia di Perugia. Quest'ultimo è stato l'evento più distruttivo avvenuto in Italia dopo quello di magnitudo 6.9 del 1980 dell'Irpinia. La sequenza si è sviluppata in un'area dell'Appennino settentrionale compresa tra quella del 2009 dell'Aquila a sud e quella del 1997 dell'Umbria-Marche a nord. Tutta la zona colpita è caratterizzata da sistemi di faglia attivi, uno di questi è quello del Monte Vettore, a pochi chilometri dal Santuario. Il 24 Agosto si è attivato un segmento del complesso di faglie lungo circa 40 km, la porzione a nord dell'epicentro è rimasta sempre più attiva rispetto al resto. Per questo motivo, in seguito all'evento del 26 ottobre, si è azionata una seconda parte del sistema, più a nord, lunga ulteriori 15 km ancora oggi produttiva. Con l'ultima scossa anche il segmento meridionale, per tutta la sua lunghezza, è stato riattivato e ha preso a produrre repliche. Il movimento delle faglie durante le sequenze è stato il medesimo: distensivo, orientato in senso SSE-NNW. Il piano di rottura del terremoto del 30 ottobre si è propagato verso la superficie e ha prodotto una vistosa fagliazione sul terreno lungo il Sistema di faglia Vettore-Bove. Si è potuta mappare una rottura in superficie che si estende con continuità per un minimo di 15 km tra Castelluccio di Norcia e Ussita. [11] Fin dalla prima scossa il Santuario ha riportato sia consistenti danni alle strutture murarie, come la volta della navata e l'abside, sia lesioni all'apparato decorativo. Successivamente sono state redatte, secondo la normativa, la Scheda di rilievo speditivo del danno sul patrimonio culturale per eventi sismici –Chiesa” e “Scheda di Secondo Livello per il rilievo del danno MOD. A-DC –Chiese” dai tecnici del MIBACT e l'edificio è stato dichiarato inagibile. Il 30 ottobre però si è verificato un nuovo sisma che ha peggiorato ulteriormente il quadro fessurativo. Dalla Fig.4 si può riscontrare l'evoluzione dei danneggiamenti, soprattutto sulla volta: dopo il 24 Agosto le zone danneggiate inizialmente circoscritte al centro della navata, con l'ultimo evento sismico, si sono estese per tutta la sua lunghezza. Dal quadro fessurativo finale si evince che sulla volta si è

innescato un meccanismo a tre cerniere dovuto all'allontanamento delle reni, che ha provocato lesioni sia all'intradosso che all'estradosso. La chiave della volta e degli arconi si è abbassata di circa 10-12 cm, comportando consistenti cadute dell'apparato decorativo e lo sfilamento di alcuni conci degli arconi. Dato il livello di danneggiamento si è infiltrata acqua piovana che ha alterato cromaticamente gli ornamenti. Nelle cappelle laterali sono state riscontrate lesioni per distacco per la mancanza di ammortatura nella maggior parte dei setti tra una cappella e l'altra, mentre i muri perimetrali non hanno riportato danni probabilmente per la una potenza di 1 m e l'assenza di bucaure che indeboliscono il comportamento scatolare. Neppure la Cappella è stata danneggiata, contrariamente alla controfacciata e all'altare che hanno presentato lesioni proprio nelle zone interessate dalle pitture del Parodi, dove quindi si sono verificate cadute di colore e importanti sollevamenti dei bordi. La causa di tali danni risiede nella presenza di aperture in entrambe le pareti. L'abside inoltre ha riportato fratture sia interne su tutta la lunghezza della calotta, sia esterne all'attacco con il muro della chiesa. Come precedentemente accennato, anche le decorazioni murarie hanno subito danni di diversa entità. Gli esperti si sono trovati di fronte a distacchi tra struttura muraria e intonaco di supporto, cadute e sollevamenti del film pittorico e parti decoese tra intonaco e intonachino.

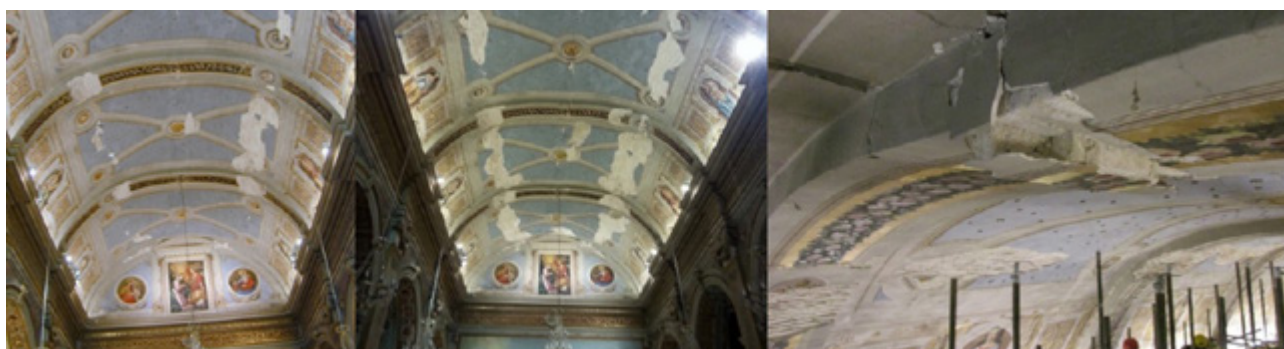


Fig. 4. Evoluzione dei danneggiamenti alla volta a seguito del sisma del 24 Agosto e del 30 Ottobre ©2018, G. Alessandrini.

### ***Gli interventi sulla struttura***

Gli interventi di restauro effettuati sono stati i seguenti:

- Sollevamento e consolidamento della volta della navata principale al fine di ripristinare il profilo originario e la funzionalità dell'elemento strutturale;
- Consolidamento delle volte in mattoni e pareti perimetrali e collegamento dei corpi murari non ammortati delle cappelle laterali;
- Inserimento di tiranti metallici e cerchiatura di aperture con profili in acciaio delle pareti dell'altare maggiore e della facciata principale;
- Ripresa di lesioni e ammortatura di elementi distaccati o non collegati con sistema cuci-scuci delle murature portanti attraverso l'inserimento di tiranti metallici;
- Sostituzione degli elementi strutturali degradati delle coperture e miglioramento all'azione del sisma mediante inserimento di cordolature sommitali in acciaio inox e calcestruzzo di calce

idraulica e inerti attraverso l'inserimento delle controventature metalliche;

- consolidamento della calotta in mattoni e ripresa di lesioni e cerchiatura della scatola muraria dell'abside;
- ripresa di lesioni ed inserimento di tiranti metallici del campanile;
- consolidamento e integrazione delle parti mancanti dell'apparato decorativo.

Gli interventi sono stati valutati ed eseguiti in modo che non ci fosse alcuna variazione di sagoma o di volume dell'edificio e quindi sono stati effettuati nel pieno rispetto dello stato del luogo.

### ***La messa in sicurezza delle volte e dell'abside***

Per evitare possibili aggravamenti dello stato di danno è stato messo appunto il progetto di messa in sicurezza delle volte e dell'abside. I tecnici hanno deciso di puntellare con una struttura metallica a tubo-giunto la volta in muratura, mentre con una struttura lignea la parte absidale esterna. Tutta questa operazione è stata realizzata tenendo conto del futuro progetto di miglioramento sismico, dato che su ogni piedritto della puntellatura è stato aggiunto un martinetto regolabile utilizzato per il successivo sollevamento della volta e per sostenere i carichi della copertura. Per proteggere l'apparato decorativo da questo intervento sono state usate doppie fasce in compensato multistrato e tessuto non tessuto. Inoltre si è pensato di usare la puntellatura stessa come ponteggio per interventi e supervisioni successive. Come previsto da normativa, la Soprintendenza ha dovuto fornire tutte le autorizzazioni necessarie e ogni intervento è stato supervisionato dal funzionario di riferimento. Sono stati quindi prontamente allestiti 16 km quadrati di impalcature e, per permettere al cantiere di essere sempre in opera, nonostante il clima montano, è stata realizzata anche una copertura provvisoria. Per quanto concerne la navata, i progettisti hanno deciso di sollevarla e consolidarla al fine di ripristinare la sua funzione strutturale: per riportarla nella configurazione originaria si è operato gradualmente tramite la spinta controllata dei martinetti che hanno provocato incrementi millimetrici. Successivamente hanno scarnito i giunti murari e pulito i residui di malta, in modo tale da poter procedere al consolidamento vero e proprio. Per questo intervento si è valutata una soluzione leggera e innovativa all'estradosso della volta: una rete in fibra di basalto e malta bicomponente a base di calce idraulica naturale ed eco-pozzolana fibrorinforzata. Il sistema ha previsto una prima stesura della malta bicomponente, la posa in opera della rete, un secondo strato di malta e l'inserimento di connettori strutturali in fibre unidirezionali in basalto (fiocchi) di diverse dimensioni, che hanno permesso una connessione efficace tra il supporto stesso e la rete. L'inserimento di tiranti metallici in corrispondenza dell'imposta della volta, ancorati alle murature mediante capochiave (a piastra), ha permesso di contrastare la spinta della volta stessa e ha favorito il comportamento d'insieme del fabbricato, in quanto ha conferito un elevato grado di connessione tra le murature ortogonali e ha fornito un efficace vincolo contro il ribaltamento fuori piano dei pannelli murari. In aggiunta, per aumentare la stabilità, è stato deciso di realizzare frenelli in muratura ad una testa, questi agiscono sulla volta sottostante come dei diaframmi murari estradossoali che hanno permesso sia di realizzare una struttura sufficientemente rigida in grado di assorbire la flessione dell'arco, sia di ripartire i carichi in modo omogeneo. Le cappelle laterali sono state interessate dal consolidamento sia delle volte che delle pareti perimetrali sommitali e da interventi per il collegamento dei paramenti non

ammorsati nei setti trasversali del piano terra. Prima di qualunque operazione, dato il grave quadro fessurativo, sulle pareti perimetrali si è deciso di riprendere le lesioni e gli ammorsamenti degli elementi distaccati o non collegati con il metodo cuci-scuci, in muratura mista di mattoni, pietrame e malta di calce idraulica naturale. La tecnica utilizzata è un tipo di intervento tradizionale che avviene attraverso il ripristino della continuità muraria con la rimozione degli elementi lapidei lesionati e la realizzazione di una nuova tessitura con nuovi elementi, senza però spezzare la funzione statica della muratura nel corso dell'applicazione stessa. Si devono comunque usare materiali simili a quelli originari per forma, dimensioni, rigidità e resistenza, collegando i nuovi elementi alla muratura esistente con adeguate ammorsature nel piano del paramento murario. Si è poi proceduto al consolidamento della volta della navata con la medesima tecnica esposta sopra. Il collegamento dei paramenti non ammorsati nei setti trasversali è avvenuto mediante cuciture a secco eseguite con l'inserimento di barre elicoidali con diametro di 10 mm, iniezioni di calce idraulica naturale e inserimento di tiranti metallici. Come precedentemente detto, le aperture sulla parete dell'altare maggiore e sulla controfacciata hanno limitato la capacità portante della struttura e per questo motivo si è eseguito un intervento di cerchiatura mediante profili di acciaio a scomparsa. Inoltre, anche sulla parte superiore della parete d'altare, sono state risanate le lesioni con la tecnica cuci-scuci. Per incrementare il comportamento scatolare e monolitico del fabbricato sono stati inseriti poi dei tiranti su entrambe le pareti. Per le coperture invece sono stati recuperati e consolidati gli elementi lignei presenti, in quanto capaci di limitare le masse nella parte più alta dell'edificio e di garantire un'elasticità simile a quella della compagine muraria sottostante. Quando non è stato più possibile procedere, con il funzionario della Soprintendenza, si è deciso di sostituire gli elementi non reimpiegabili. Sulla copertura della navata, oltre al restauro della copertura in coppi, si è deciso di costruire dei controventi piatti in acciaio opportunamente collegati ai cordoli in sommità. In corrispondenza del colmo si è realizzato un betoncino alleggerito costituito da argilla espansa e calce idraulica naturale. Per il manto di copertura in laterizio, dapprima sono stati rimossi i coppi, successivamente è stata realizzata una rasatura di malta di calce e una membrana impermeabilizzante di tipo bituminoso ardesiato e in ultimo si è ricostituito il manto usando elementi esistenti non lesionati integrati con elementi nuovi. Nelle restanti parti della chiesa, oltre alla solita operazione di restauro-integrazione della copertura in coppi e legno, sono stati realizzati dei cordoli in muratura armata e controventi piatti in acciaio. I cordoli in sommità alla muratura sono stati una soluzione efficace per collegare le pareti in una parte in cui la muratura era meno coesa a causa del limitato livello di compressione e per migliorare l'interazione con la copertura. Questi si sarebbero potuti realizzare in muratura armata, in acciaio, in calcestruzzo armato (solo se di altezza limitata), per evitare eccessivi appesantimenti e irrigidimenti, risultati dannosi in quanto producono elevate sollecitazioni tangenziali tra cordolo e muratura con conseguenti scorrimenti e disgregazione di quest'ultima. Per ovviare a questo problema, pur mantenendo tutte le caratteristiche, invece del calcestruzzo è stata usata una malta di cemento e calce, che si è impermeabilizzata bene onde evitare la corrosione da acque meteoriche. Di fondamentale importanza è stato favorire il comportamento scatolare del manufatto collegando in maniera continua gli elementi strutturali. Si sono realizzati infatti: cordoli sui muri perimetrali in conglomerato di calce idraulica naturale NHL e acciaio inox nervato; cordoli sui setti interni longitudinali e trasversali in muratura armata mista di pietre e laterizi, betoncino di calce idraulica naturale NHL e acciaio inox nervato; controventi di falda in profili di acciaio disposti a

Croce di Sant'Andrea nelle cappelline laterali; controventi di falda in profili di acciaio\piatti nella facciata principale che collegano la zona di gronda con la zona di colmo. [12] Anche l'abside è stata sottoposta a interventi: per prima cosa si è rinforzata la muratura e si sono ridotte le carenze di collegamento tra gli elementi, mediante la tecnica cuci-scuci, poi si è consolidato il catino in mattoni con malta bicomponente e rete in fibra di basalto. Si è deciso inoltre di realizzare una cerchiatura esterna in carbonio, al di sotto della linea di gronda. Questo tipo di presidio può garantire un efficace collegamento tra murature ortogonali nel caso di edifici di dimensioni ridotte, dove i tratti rettilinei della cerchiatura non sono troppo estesi, o quando vengono realizzati ancoraggi in corrispondenza dei martelli murari. È necessario evitare l'insorgere di concentrazioni di tensioni in corrispondenza degli spigoli delle murature, ad esempio con opportuni elementi di ripartizione; nel caso si usino fasce in materiale composito, si deve procedere allo smusso degli spigoli. La Soprintendenza ha stabilito, per integrare l'intervento con la muratura circostante, di eseguire una velatura cromatica d'invecchiamento con tecnica pittorica a pennello.



Fig. 5. La messa in sicurezza dell'abside e la puntellatura della volta ©2018, G. Alessandrini.

### ***Gli interventi sull'apparato decorativo***

Chiaramente anche tutte le decorazioni sono state recuperate in modo tale da preservare il loro carattere storico e artistico.

Tra i tanti restauratori è stato presente anche Sauro Cecchi di Falerone, professionista nel recupero di affreschi e opere d'arte. Si è proceduto alla rimozione, alla catalogazione e al riposizionamento di tutte le opere d'arte trasportabili. Per le altre si è provveduto a un consolidamento iniziale per riempire i distacchi tra intonaco e struttura muraria, per ristabilire l'adesione dello strato decorativo. Successivamente, solo dopo aver pulito e disinfestato da eventuali efflorescenze tutte le opere, si è passati al restauro vero e proprio.

## **4. Questione sociale**

Il terremoto è molto più che lo scuotimento della terra, è un fenomeno complesso: quando colpisce un territorio abitato, da evento naturale assume la connotazione di evento sociale. I danni

che causa non interessano solo il patrimonio edilizio, ma la totalità delle strutture sociali. [13] La storia di tutte le ricostruzioni in Italia potrebbe essere divisa in due: da una parte gli interventi che sono riusciti a rispettare le comunità, dall'altra quelli che le hanno sviliate. L'esempio-modello è del Friuli, che in poco più di 15 anni, rialzandosi dal sisma del 1976, dai suoi 189 mila sfollati, dalle 965 vittime, è riuscito a completare la ricostruzione delle abitazioni distrutte e dei loro borghi limitrofi. In quel caso la decisione è stata quella di ricostruire prima le fabbriche, poi le case e per ultimo le chiese e i monumenti. [14] Dovendo la gerarchia di intervento rispettare la vocazione del territorio ed essendo il Friuli una regione incentrata sull'industria, per andare avanti, l'attenzione si è rivolta innanzitutto agli interventi sulle fabbriche.

Diversa risulta essere la questione nelle Marche, dove l'economia del territorio montano si fonda in larga parte su un turismo giornaliero e di media-lunga permanenza, turismo che ha ragione di essere proprio in funzione della presenza e del valore dei beni storici e artistici. Per tale ragione, i beni culturali sono un elemento fondamentale per il rilancio dell'economia di queste zone e l'intervenire sugli edifici di interesse storico e artistico equivale a investire in maniera efficace affinché si torni a essere quanto prima produttivi. Sarebbe sbagliato, infatti, pensare a una semplice ricostruzione fisica, senza ipotizzare la ricostruzione di un modello sociale ed economico. Si ha la necessità di fornire alle persone gli strumenti giusti per tornare a occupare, a riconquistare i loro spazi in modo tale da dare a paesi e borghi un nuovo futuro. È doveroso sottolineare poi il fatto che questi piccoli paesi montani erano già inclini all'essere abbandonati e il terremoto non ha fatto altro che accelerare questo fenomeno, isolando maggiormente le poche persone che ancora lo abitano. Proprio per questo si ha bisogno di rivendicare il "diritto alla città che esprime l'aspirazione delle comunità a condividere quella ricchezza collettiva che è fatta di edifici, di monumenti, di attività lavorative". [15]

Tutto ciò si traduce, con il caso proposto, nella ricostruzione di centri per l'aggregazione che costituiscono anche la storia di intere popolazioni e generazioni. Le chiese in particolare non sono semplicemente la dimora di Dio, ma spazio della comunità che passa indistintamente dal sacro al laico. La chiesa diventa spazio pubblico, centro culturale, polo di aggregazione, punto di riferimento obbligatorio e insieme naturale, e soprattutto elemento identitario sociale, culturale e politico cittadino. Tali considerazioni sono sicuramente alla base della scelta della Cassa di Risparmio di Fermo di finanziare il cantiere di recupero del Santuario dell'Ambro, a tal punto che il presidente Ing. Amedeo Grilli ha destinato tutto il budget per i festeggiamenti dei 160 anni della fondazione in questo progetto. Il Santuario sembra assumere ancora oggi un importante ruolo di attrazione culturale e spirituale, oltre ad alimentare un indotto economico legato all'accoglienza di pellegrini e visitatori e alla vendita di prodotti tipici. L'obiettivo di tale progetto dunque è partito dalla volontà di far continuare la storia millenaria dell'Ambro e render noto a tutti che questa parte dell'Italia centrale è sempre pronta alla rinascita. Gli interventi messi in atto sono stati celeri ed efficaci e sono riusciti a coinvolgere anche le maestranze locali, testimonianza del fatto che un tessuto umano legato alla fede sta cercando di superare gli eventi catastrofici con una sinergia di interventi e con il coinvolgimento di risorse finanziarie sia pubbliche che private presenti nel territorio. Prima del sisma il Santuario era visitato annualmente da 300 mila persone e oggi si sta cercando di tornare agli antichi fasti. Dopo la riapertura della chiesa, avvenuta in occasione della

Santa Messa di Natale nel 2018, sono stati previsti dei lavori di consolidamento e ristrutturazione del convento annesso all'edificio principale. Tali lavori rientrano nel progetto #masterplanterremoto promosso dalla Cassa di Risparmio di Ascoli Piceno. L'obiettivo è quello di rendere usufruibile il prima possibile la struttura ricettiva soprattutto in vista del periodo estivo, in modo da offrire un'adeguata ospitalità a tutti coloro che ricercano accoglienza o che promuovono eventi e iniziative culturali, ricreative e spirituali che siano. [16] Gli interventi mirano alla riparazione delle lesioni provocate dal terremoto del 2016, all'adeguamento funzionale interno con il consolidamento dei solai, oltre alla manutenzione della parte impiantistica. Questo progetto dimostra quindi l'esigenza del recupero del patrimonio culturale, non solo ai fini della salvaguardia di un passato che influisce ancora sul presente, ma come motore per il futuro di una comunità che è stata messa a dura prova ed è riuscita ancora una volta a risollevarsi.

### **Riferimenti bibliografici**

- [1] <https://www.teknoring.com/news/urbanistica/rischio-sismico-dei-centri-storici-italiani-alcune-riflessioni/>
- [2] Donatelli A. *Terremoto e Architettura storica, prevenire l'emergenza*. Gangemi, Roma, 2010.
- [3] Nifosi G. Tommasi E. *I beni culturali e l'ambiente*. Giuseppe Laterza e figli, Roma, 2010.
- [4] Sandali A, et al. *La valutazione della capacità sismica delle chiese in muratura alla luce delle indicazioni normative: considerazioni con riferimento ad un caso reale*. Atti del XVII Anidis, Pistoia, 17-21 settembre 2017.
- [5] Cangi G. *Analisi strutturale per il recupero antisismico, calcolo dei cinematismi per edifici in muratura secondo le note NTC*. Tipografia del genio civile, Roma, 2010.
- [6] Mezzina M. *Fondamenti di tecnica delle costruzioni*. Citta studi Edizione, Novara, 2013.
- [7] Santarelli G. *La leggenda dei Monti Sibillini*. Voce del Santuario Madonna dell'Ambro, Montefortino, 1974.
- [8] Santarelli G. *Il Santuario della Madonna dell'Ambro*. Voce del Santuario Madonna dell'Ambro, Montefortino, 1981.
- [9] Ugolini C. *Il Santuario della Madonna dell'Ambro*. Voce del Santuario Madonna dell'Ambro, Montefortino, 1972.
- [10] Avarucci G. *Il Santuario dell'Ambro e l'area dei Sibillini*. Edizioni di studia picena, Ancona, 2002
- [11] Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia. *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*. Roma, 2016.
- [12] Alessandrini G. *Intervento di restauro conservativo e miglioramento sismico Chiesa del Santuario Madonna dell'Ambro*. Documenti di progetto: relazione generale, stralcio piano di fabbricazione, documentazione catastale. Montefortino, 2018.
- [13] Chiappanuvoli A. *La previsione del terremoto è una questione culturale e politica*. Internazionale online, 24 marzo 2017.
- [14] Sironi F. *L'Italia dei paesi sempre in fondo al cratere*. Espresso 14: 20-22, 2019.
- [15] Settis S. *Architettura e democrazia. Paesaggio, città, diritti civili*. Giulio Einaudi editore, Torino, 2017.
- [16] <http://www.fondazioneclarisap.it/masterplanterremoto-madonna-dellambro-si-concluderanno-entro-e-state-i-lavori-di-ristrutturazione-dei-locali-per-accoglienza-pellegrini/>

