



Colloqui.AT.e 2020

# New Horizons for Sustainable Architecture

# Nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile

Editors

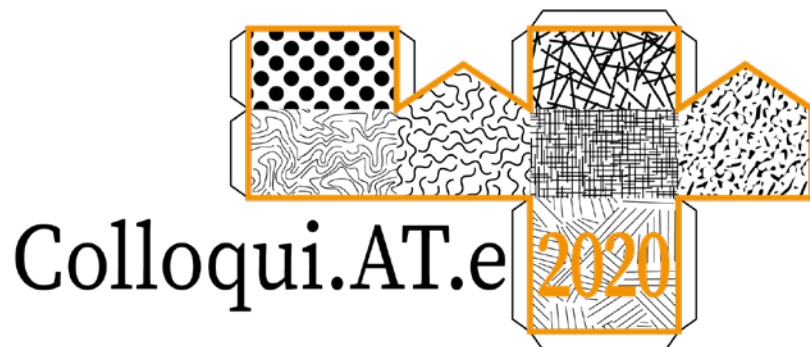
Santi Maria Cascone

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



## Una metodologia per la valutazione della sicurezza delle facciate degli edifici storici

G. Ruggiero<sup>1\*</sup>, R. Marmo<sup>2</sup>, M. Nicolella<sup>3</sup>

<sup>1\*,2,3</sup> Università degli Studi di Napoli “Federico II”, Napoli,  
giovanni.ruggiero2@unina.it, rossella.marmo@unina.it, nicolell@unina.it

### Abstract

Una cattiva gestione della manutenzione del patrimonio storico architettonico può minacciarne la conservazione e provocare eventi pericolosi per le persone. I danni riportati in seguito al crollo di elementi di facciate di edifici rendono necessario l’approfondimento dei fattori che influenzano tali fenomeni. L’obiettivo di questo articolo è la definizione di una metodologia per valutare il rischio per le persone associato alla caduta di gravi dalle facciate di edifici storici. La metodologia si basa sulla determinazione di un insieme di parametri per valutare la pericolosità degli elementi che costituiscono o sono comunque collegati alle pareti perimetrali verticali, e la vulnerabilità e l’esposizione delle persone. La combinazione di tali parametri fornisce un indicatore di prestazione per quantificare il rischio. Partendo dall’analisi dei metodi ad oggi proposti per valutare la sicurezza in diversi ambiti applicativi, l’articolo definisce i fattori di rischio ed individua i parametri che li influenzano, proponendo un indicatore sintetico per la valutazione del rischio. Tale risultato ha caratteri di originalità nell’ambito della pianificazione della manutenzione ed in particolare di quella preventiva, finalizzata alla conservazione architettonica e alla sicurezza delle persone. La metodologia ivi proposta ha lo scopo di fornire ai proprietari e ai gestori di immobili uno strumento speditivo per la prioritizzazione degli interventi di mitigazione del rischio. Tale strumento, se integrato nei contratti di gestione dei servizi di manutenzione, può consentire di definire in maniera oggettiva la necessità di eseguire interventi di manutenzione, nell’ambito di una strategia secondo condizione.

### 1. Introduzione

Alla luce dei numerosi eventi tragici dovuti al crollo di componenti di facciate di edifici nel centro storico della città di Napoli, è sembrato doveroso approfondire uno studio sulle cause che maggiormente hanno influito sul verificarsi di questi avvenimenti. Fra di esse, il degrado dei materiali da costruzione e la mancanza di una cultura della manutenzione programmata appaiono quelle più evidenti. Le problematiche che interessano le facciate sono legate alla carenza di interventi di tipo manutentivo che possono contrastare, in modo costante e continuativo, fenomeni di degrado

dovuti all'aggressività ambientale e alla crescente pressione antropica. Per tali motivi si rendono necessari strumenti di gestione della manutenzione per limitare il ricorso ad azioni sporadiche e disarticolate nel tempo e per promuovere un'idea di manutenzione come processo [1].

Gli approcci attuali alla manutenzione programmata ed alla conservazione architettonica considerano valutazioni della vita utile degli elementi costruttivi generalmente dedotta mediante analisi di laboratorio, modelli teorici dedotti da normative volontarie o dalla letteratura. Le variabili che entrano in gioco nella realtà dell'edilizia sono numerose e di complessa valutazione, per cui la stima della durabilità resta in buona parte aleatoria. Pare allora opportuno, parallelamente agli studi durabilistici, che la ricerca si orienti verso la messa a punto di indicatori di stato e verso il monitoraggio della loro evoluzione nel tempo. Un insieme di indicatori relativi alle varie parti dell'edificio può definire, mediante controlli periodici, l'andamento delle prestazioni residue nel corso del tempo [1].

Questo articolo propone una metodologia per valutare il rischio per le persone associato alla caduta di gravi dalle facciate di edifici storici. La metodologia si basa sulla determinazione di un insieme di parametri per valutare la pericolosità degli elementi che costituiscono o sono comunque collegati alle pareti perimetrali verticali e la vulnerabilità e l'esposizione delle persone. La combinazione di tali parametri fornisce un indicatore di prestazione che quantifica in maniera sintetica il rischio. Vengono discussi i tre fattori individuati come utili alla valutazione del rischio e i parametri da misurare per quantificarli.

Il ricorso ad un indicatore siffatto supporta la pianificazione dei futuri interventi di manutenzione volti a conservare il patrimonio architettonico e a soddisfare requisiti di sicurezza per le persone. Di seguito si discutono gli strumenti e i metodi ritenuti rilevanti ai fini della valutazione del rischio per le persone, ricavati dall'analisi della letteratura scientifica e delle leggi e norme di settore. La revisione della letteratura ha permesso di identificare e definire i fattori e i parametri oggetto di interesse ai fini della definizione dell'indicatore di rischio. La metrica di questi parametri e la stima dei loro pesi ai fini della determinazione del rischio mirano ad ottenere un indice che definisca in maniera oggettiva e univoca il rischio legato allo stato di conservazione delle facciate di un edificio storico.

## 2. Stato dell'arte

Il fascicolo del fabbricato si propone come strumento efficace per il controllo dello stato manutentivo di una costruzione; esso rappresenta la carta d'identità dell'edificio che fornisce indicazioni dettagliate e di sintesi sia dal punto di vista tecnico sia amministrativo. La Corte Costituzionale si è però espressa in merito all'uso del fascicolo (sentenze n. 315/2003 e 121/2010) rendendolo non obbligatorio e di fatto poco utilizzato. In Regione Campania il "Piano casa" (L. R. n. 19/2009) varato per il rilancio del settore edile, la riqualificazione del patrimonio esistente e la prevenzione del rischio sismico, all'art. 9 "Valutazione della sicurezza e fascicolo del fabbricato" prevede che l'efficacia del titolo abilitativo sia subordinata alla valutazione della sicurezza dell'intero edificio, che deve essere redatta nel rispetto del D.M. 14 gennaio 2008, Norme Tecniche per le Costruzioni, e presentata al Settore Provinciale del Genio Civile. Un altro importante strumento di gestione del costruito è il Piano di Manutenzione dell'opera. Confermando quanto introdotto dall'art. 40

del d.P.R. n. 554/99, il Regolamento 207/2010 attuativo del Codice dei contratti pubblici inserisce il Piano di Manutenzione dell'opera fra i documenti che compongono il progetto esecutivo, riconoscendo il vantaggio strategico che lo svolgimento di una regolare attività di manutenzione comporta in termini di razionalizzazione degli investimenti pubblici. Il documento deve prevedere, pianificare e programmare l'attività di manutenzione dell'opera al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il suo valore economico [2]. Il contesto di applicazione della norma e i termini di cogenza delle disposizioni in essa contenute costituiscono altrettanti limiti che hanno, ad oggi, impedito il radicarsi di una prassi virtuosa di manutenzione programmata delle nuove opere, o conservazione programmata dei beni culturali. L'obbligo di redazione del piano di manutenzione si applica infatti al solo patrimonio immobiliare di proprietà pubblica; inoltre, l'obbligo di redazione del piano non comporta automaticamente l'impegno ad attuare gli interventi previsti dal programma, né a provvedere all'aggiornamento del piano nel tempo. In assenza di una progressiva ridefinizione di interventi e cicli manutentivi basata sullo storico delle esperienze pregresse, il piano di manutenzione non può evidentemente costituire uno strumento di supporto efficace per i gestori e rischia di andare incontro ad una più o meno rapida obsolescenza.

Progressivamente la legislazione sui lavori pubblici ha recepito l'importanza delle attività manutentive sui beni culturali, inserendo l'obbligo di redazione del piano di manutenzione anche per appalti di progettazione non esecutiva e adottando nel regolamento del Codice degli appalti le stesse definizioni del Codice dei beni culturali. Le stazioni appaltanti sono tenute a redigere un documento preliminare sullo stato di conservazione del bene, valutandone la vulnerabilità, i rischi legati al suo utilizzo, i fattori di pericolosità ambientale [2].

Sul rischio, in particolare quello legato al danno alle persone, sono state proposte moltissime definizioni (Rapporto UNESCO di Varnes & IAEG (1984), OHSAS 18001: 2007, UNI EN 292-1, BS 18004: 2008, UNI EN 12100-1, D.Lgs. 81/2008 art. 2, ecc...) e sulla sua valutazione, soprattutto in campo industriale, molti metodi (FMEA, FTA, SPC, ecc...) [3]. Per le BS 18004: 2008 – “Guide to achieving effective occupational health and safety performance”, ad esempio, il rischio è inteso come: «combination of the likelihood of an occurrence of a hazardous event or exposure(s) and the severity of injury or ill health that can be caused by the event or exposure(s)», mentre per il D. Lgs. 81/2008 art. 2: “probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione”.

Particolarmente rilevante ai fini del presente articolo è la definizione fornita in [1] laddove per rischio si intende il risultato della combinazione tra pericolosità ambientale, vulnerabilità ed esposizione dell'edificio. Il rischio è la misura del livello di danneggiamento che, in base alle caratteristiche di pericolosità (climatica, idrogeologica, sismica o antropica) del sito, e delle condizioni di vulnerabilità degli elementi esposti (condizioni di degrado, resistenza alle azioni sismiche, qualità e quantità), si può verificare in un dato intervallo di tempo.

Pericolosità, vulnerabilità ed esposizione sono considerati i fattori essenziali anche secondo le Linee Guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico [4]. La pericolosità (P) è definita in termini di probabilità che un dato fenomeno naturale accada in un determinato periodo di tempo; la vulnerabilità (V) è la propensione di un qualsiasi elemento ad essere danneg-

giato a causa di un agente esterno connesso alle condizioni di pericolosità ambientale o antropica. La vulnerabilità rappresenta una caratteristica intrinseca dell'elemento esposto, direttamente dipendente dalle sue condizioni di stato. Infine l'esposizione (E) è definita come la quantità e la qualità di beni esposti ad un determinato fenomeno naturale o antropico. Oltre alle definizioni di P, V, E in [1] si individuano le condizioni che influenzano tali fattori. La sussistenza di condizioni di rischio si può valutare in base alla combinazione dei fattori P, V, E che si traducono in:

- prevedibile evoluzione dei fenomeni di degrado dell'elemento;
- prevedibile perdita di funzionalità dell'elemento;
- possibili danni ad altri elementi contigui o indirettamente interconnessi;
- potenziali danni a persone.

Gli autori non definiscono una metodologia di determinazione del rischio, né gli esempi di schede applicative di diagnosi ne propongono una quantificazione, fornendone una valutazione descrittiva.

In tale direzione vanno le schede di ispezione 2019 contenute in un documento messo a punto dall'AFI (Associazione delle Fabbricerie Italiane) [5]. Si tratta di schede di rilievo dei danni agli elementi architettonici degli edifici monumentali concepite per garantire la sicurezza delle persone. Nell'analisi dei danni le schede tengono conto del degrado degli elementi architettonici, legato a fenomeni di erosione, ossidazione, fatica per cicli di vibrazioni e cicli di sollecitazioni termiche. L'edificio monumentale viene suddiviso in una serie di "luoghi" architettonici (cuspide, timpano, ecc.) fruibili dalle persone in transito o in sosta. I luoghi a loro volta sono suddivisi in elementi (il più delle volte, elementi d'ornato) definiti "componenti". Le schede consentono di valutare lo stato di esercizio dei componenti e il loro stato di allerta attraverso formule analitiche complesse. I fattori che influenzano lo stato di esercizio sono relativi sia ai danni visibili sui componenti, sia agli effetti che questi danni possono causare alle persone e all'integrità dell'edificio. Inoltre, si considerano anche fattori che tengono conto della gestione della manutenzione dell'edificio e delle indagini ispettive già fatte. Il metodo non prende in considerazione l'esposizione, intesa come affollamento di persone, non considera esplicitamente la vulnerabilità, sebbene ponga attenzione all'analisi dei fenomeni di degrado. Il metodo proposto appare peculiare per edifici di tipo monumentale e di ardua applicabilità a contesti diversi da quello dell'AFI.

Vulnerabilità e funzionalità (intesa come vite utile) sono alla base dell'approccio proposto da Ortiz et al. [6] per la conservazione del patrimonio culturale. La vulnerabilità è ivi definita come il grado di salute del fabbricato. L'indice di vulnerabilità dipende da caratteristiche materiche (resistenza al fuoco, proprietà chimico-fisiche-meccaniche), tipologia di elemento (copertura, fondazione etc.), fattori antropologici (livello di uso etc.), parametri di sicurezza (strutturale, al fuoco, ambientale etc.). Il calcolo della vita utile dell'edificio dipende da fattori intrinseci ed estrinseci. Le proprietà intrinseche vengono misurate attraverso ispezioni visive in sito ed analisi qualitative, ad esempio questionari e interviste a portatori di interesse. Le proprietà estrinseche si raccolgono attraverso fonti esterne riguardati dati meteorologici, carichi strutturali, condizioni geologiche, affollamento etc. I due metodi prevedono una laboriosa raccolta e analisi di dati, sebbene forniscano risultati coerenti e permettano la prioritizzazione delle azioni manutentive.

La stima della vita utile e della durabilità dei componenti edilizi è un tema rilevante nell'ambito delle politiche manutentive basate sulla prevenzione del guasto. La norma UNI 11156:

2006 “Valutazione della durabilità dei componenti edilizi” definisce la durabilità come la capacità di un prodotto di mantenere livelli delle prestazioni e caratteristiche funzionali richieste nel tempo sotto l’influenza di azioni prevedibili. Alcuni metodi di stima della durabilità si basano su norme internazionali (ISO 15686 “Buildings and constructed assets - Service life planning”) e nazionali (UNI 11156). Anche dati sulla vita utile di riferimento dei componenti edilizi sono stati definiti a livello internazionale [7] e nazionale [8]. Le banche dati italiane per ciascun caso di guasto individuano elemento, materiale e tecnologia costruttiva soggetti ai meccanismi di alterazione, nonché le modalità di guasto [7]. In particolare, alcuni autori hanno implementato consistenti banche dati sulla durata dei componenti edilizi e degli impianti tecnologici (oltre 300) [8]. Molto pratiche e basate sostanzialmente su esperienza applicative sono le pubblicazioni “Guida alla manutenzione degli edifici” di Jaean Paerret del 2001 [9] e “La guida alla manutenzione e al recupero degli edifici” di Socotec del 2007 [10]. In quest’ultima l’informazione è strutturata seguendo le diverse funzioni dell’edificio. Questo approccio trasversale costituisce una metodologia molto efficace. La guida presenta, sotto forma di schede, tutte le informazioni necessarie alla manutenzione dell’edificio. Ogni scheda tratta una funzione diversa dell’edificio: strutture, facciate, coperture, sistemazione interna, rivestimenti, etc. In ciascuna scheda si trovano riuniti: i metodi di diagnostica appropriata, gli obiettivi della manutenzione, la spiegazione della patologia e dei relativi rimedi, le migliori soluzioni tecniche di recupero da utilizzare.

La revisione della letteratura conferma che i fattori principali da dover considerare per la valutazione del rischio associato alla caduta di gravi da facciate di edifici storici sono il degrado e la durata della vita dei componenti edilizi che può essere valutata come frutto dell’interazione di diversi fenomeni monitorabili e rilevabili in sito. Esistono poi fattori esterni all’edificio, quali ad esempio l’affollamento dell’area circostante, da dover tenere in considerazione, come sarà discusso nel paragrafo seguente.

### **3. Metodologia per la valutazione del rischio per le persone associato alla caduta di gravi da facciate di edifici storici**

La metodologia di valutazione del rischio implica l’utilizzo di un raster (una griglia di celle) per partizionare la facciata in elementi finiti ed associare ad ogni porzione una misura della variabile di rischio. Ad ogni cella è associato un solo valore della variabile. L’indicatore di rischio viene definito per due livelli di complessità: per singole celle di facciata e per la loro combinazione. Una volta noto l’indicatore di rischio per ogni cella, è possibile calcolare l’indicatore di rischio per l’intera facciata.

#### ***Rappresentazione raster delle facciate***

Le facciate degli edifici sono degli elementi spaziali costituiti da infiniti punti: a ciascun punto è possibile associare la misura di una variabile che descrive un fenomeno. Poiché definire il fenomeno con una funzione matematica che associ a ciascun punto dello spazio un valore è pressoché impossibile, si procede per approssimazione partizionando lo spazio in un numero finito di

regioni. Lo spazio viene così suddiviso in celle regolari, senza buchi né sovrapposizioni, per poi misurare il valore che la grandezza che esprime il fenomeno assume in ciascuna cella. La griglia di celle viene definita raster (Fig. 1). La posizione di ciascuna cella è definita da una coppia di coordinate cartesiane. Ogni cella ricopre una porzione della facciata dell'edificio. A ogni cella in un'immagine raster è assegnato un solo valore che descrive il tipo di oggetto o la condizione del fenomeno rappresentato. La singola cella viene visualizzata come un quadrato colorato: a ciascun colore è associato l'attributo che si vuole rappresentare. Si fa osservare che la rappresentazione raster ben si presta alle ipotesi alla base del presente studio, e cioè l'applicazione ad edifici storici, poiché questi hanno piccoli elementi aggettanti, per cui l'approssimazione ad una superficie piana non è troppo lontana dalla realtà.



Fig. 1. Rappresentazione esemplificativa raster della facciata di un edificio © 2019, Giovanni Ruggiero.

### ***Indicatore di rischio***

Il rischio che si intende valutare è quello di danno alle persone, in termini di infortuni o morte, a seguito del distacco e della caduta di elementi dalla facciata di un edificio. Esso può essere espresso dalla seguente funzione:

$$Rischio = f(Pericolosità, Vulnerabilità, Esposizione)$$

Dove si definiscono:

- PERICOLOSITÀ = probabilità che un determinato elemento – con caratteristiche date – della facciata di un edificio, a causa delle condizioni di aggressività ambientale e/o antropica alle

quali questa è sottoposta, si distacchi e cada, in un determinato periodo di tempo, provocando un potenziale danno, in termini di infortuni o morte, alle persone;

- VULNERABILITÀ = propensione delle persone a subire danni, in termini di infortuni o morte, in conseguenza dell’impatto con elementi distaccati e caduti dalla facciata di un edificio;
- ESPOSIZIONE = quantità di persone esposte al pericolo.

Il metodo più condiviso, in grado di semplificare la valutazione di una molteplicità di fenomeni, è quello che restituisce il rischio come prodotto di fattori. Di conseguenza l’indicatore di rischio associato ad una singola cella di coordinate (x,y) si calcola mediante la formula (1) di seguito riportata:

$$R(x,y) = P(x,y) \times V(x,y) \times E(x) \text{ con } x, y \in N(1)$$

dove:

- $R(x,y)$  = indicatore di rischio;
- $P(x,y)$  = fattore di pericolosità;
- $V(x,y)$  = fattore di vulnerabilità;
- $E(x)$  = fattore di esposizione;
- $N$  insieme delle coordinate di numeri naturali che individuano le celle sulla facciata.

La pericolosità di un elemento di facciata dipende a sua volta da fattori intrinseci ed estrinseci. I fattori intrinseci sono rappresentati da parametri che descrivono la propensione statistica, per gli elementi di facciata o loro parti, a subire distacchi e caduta in base alle loro dimensioni aggettanti, posizione e materiali costituenti l’elemento. Ad esempio gli elementi d’angolo o i cornicioni nei punti di confine (Fig. 2) hanno una propensione al distacco e alla caduta evidentemente superiore rispetto al piano della facciata, così come un balcone in calcestruzzo armato aggettante ha una propensione al distacco e alla caduta di sue parti superiore rispetto a uno stesso balcone realizzato con materiale lapideo.

I fattori estrinseci – dipendenti da condizioni di aggressività ambientale e/o antropica esterni all’elemento – sono gravità e velocità del degrado. Questi fattori possono essere descritti tramite parametri che ne misurano la propensione statistica a provocare il distacco e la caduta di elementi. In definitiva il fattore di pericolosità (P) viene calcolato mediante la formula (2):

$$P(x,y) = P_I(x,y) \times P_E(x,y) = (p_a(x,y) \times p_{po}(x,y) \times p_m(x,y)) \times (p_{gd}(x,y) \times p_{vd}(x,y)) \quad (2)$$

con:

$$\begin{aligned} P_I(x,y) &= p_a(x,y) \times p_{po}(x,y) \times p_m(x,y) \\ P_E(x,y) &= p_{gd}(x,y) \times p_{vd}(x,y) \end{aligned}$$

dove, relativamente alla cella di coordinate (x,y), si ha:

- $P(x,y)$  = fattore di pericolosità;



- $P_I(x,y)$  = fattore di pericolosità intrinseca;
- $p_a(x,y)$  = parametro di aggettanza;
- $p_{po}(x,y)$  = parametro di posizione;
- $p_m(x,y)$  = parametro materico;
- $P_E(x,y)$  = fattore di pericolosità estrinseca;
- $p_{gd}(x,y)$  = parametro gravità del degrado;
- $p_{vd}(x,y)$  = parametro velocità del degrado.



Fig. 2. Le posizioni d'angolo o di confine dei cornicioni incrementano i fenomeni di degrado. © 2019, Giovanni Ruggiero.

La vulnerabilità delle persone dipende invece dall'altezza di caduta dell'elemento – a parità di massa, gli elementi più in alto sono quelli rispetto ai quali le persone sono più vulnerabili - e dalla presenza di elementi di protezione – ad esempio dispositivi di protezione individuali quali gli elmetti o collettivi come le strutture di sicurezza realizzate a protezione degli ingressi agli edifici (Fig. 3). Questo fattore può essere descritto tramite parametri che ne misurano rispettivamente la propensione ad incrementare o ridurre la magnitudo del danno. Il parametro di altezza è funzione solo di  $y$  mentre, quello di protezione, relativo solo alle persone alla base della facciata, è funzione solo di  $x$ . In definitiva il fattore di vulnerabilità ( $V$ ) viene calcolato mediante la (3):

$$V(x,y) = p_h(y) \times p_p(x) \quad (3)$$

dove, relativamente alla cella di coordinate  $(x,y)$ , abbiamo:

- $V(x,y)$  = fattore di vulnerabilità;
- $p_h(y)$  = parametro di altezza;
- $p_p(x)$  = parametro di protezione.

L'esposizione viene invece descritta tramite un fattore che è funzione della quantità di persone esposte al pericolo. Tale parametro è solo funzione di  $(x)$  perché relativo all'affollamento alla base della facciata. Esso cresce in funzione dell'accessibilità, assumendo valori minimi in cor-



Fig. 3. La vulnerabilità delle persone dipenderà dall'altezza di caduta dell'elemento e dalla presenza di dispositivi di protezione per le persone. © 2019, Giovanni Ruggiero.

rispondenza delle zone non accessibili, intermedi in zone con accessi limitati, massimi in zone aperte al pubblico. In definitiva il fattore di esposizione ( $E$ ) viene calcolato mediante la (4):

$$E(x) = p_e(x) \quad (4)$$

dove, relativamente alla cella di coordinate  $(x,y)$ , si ha:

- $E(x)$  = fattore di esposizione;
- $p_e(x)$  = parametro di esposizione.

L'indicatore di rischio di cui si è parlato in precedenza è riferito ad ogni singola cella in cui è discretizzata la facciata dell'edificio e quindi non fornisce indicazioni sullo stato medio di rischio dell'intera facciata. Il problema è risolto con la media aritmetica degli indicatori di rischio calcolati per ogni cella, come mostrato nell'equazione (5):

$$IRF = \frac{\sum_{x,y}^n R(x,y)}{n} \quad (5)$$

dove si ha:

- $IRF$  = indicatore di rischio della facciata;
- $n$  = numero di celle che ricoprono la facciata.

È evidente che:

$$IRF \leq R_{max}$$

Obiettivo finale della valutazione del rischio è la verifica dell'accettabilità dell'indice calcolato. È compito del gestore dell'edificio definire i valori di accettabilità del rischio in base ai principi di gestione che intende adottare, sicuramente dipendenti dalla percezione del rischio e da criteri di carattere economico. Quindi, il rischio è accettabile se:

$$\begin{aligned} R(x,y) &\leq A_R \\ IRF &\leq A_{RF} \end{aligned}$$

dove:

- $A_R$  = valore di accettabilità del rischio delle singole celle di facciata;
- $A_{RF}$  = valore di accettabilità del rischio della facciata.

Con:

$$A_{RF} \leq A_R$$

Il valore di accettabilità del rischio dell'intera facciata è fissato inferiore a quello delle singole celle.

Per una facciata possono verificarsi tre scenari (Fig. 4):

1.  $R(x,y) \leq A_R$

La facciata è sicura e non è necessario calcolare IRF.

2.  $R(x,y) > A_R$  per alcune celle e  $IRF \leq A_{RF}$

La facciata non è sicura. Delle celle hanno un rischio non accettabile ma la facciata nel suo insieme ha un rischio accettabile. In questo caso è necessario intervenire localmente (ad es. con interventi di manutenzione puntuali). In queste condizioni, in attesa degli interventi sulla facciata, è chiaro che il gestore dell'immobile deve intervenire con misure temporanee idonee a ridurre il rischio. Si potrà ad esempio rendere non accessibile lo spazio antistante le zone a rischio, e quindi ridurre il valore di E, oppure realizzare dei corridoi di protezione in modo da ridurre la vulnerabilità delle persone. Anche in questo caso il metodo proposto consente di effettuare la valutazione del rischio e di determinare la misura più idonea da adottare.

3.  $R(x,y) > A_R$  per alcune celle e  $IRF > A_{RF}$

La facciata non è sicura. Sia le celle che l'intera facciata hanno valori di rischio non accettabili. In questo caso è necessario un intervento di manutenzione complessivo sull'intera facciata. Anche in questo caso il metodo supporterà il gestore dell'immobile nella scelta della misura temporanea più idonea per la riduzione del rischio.

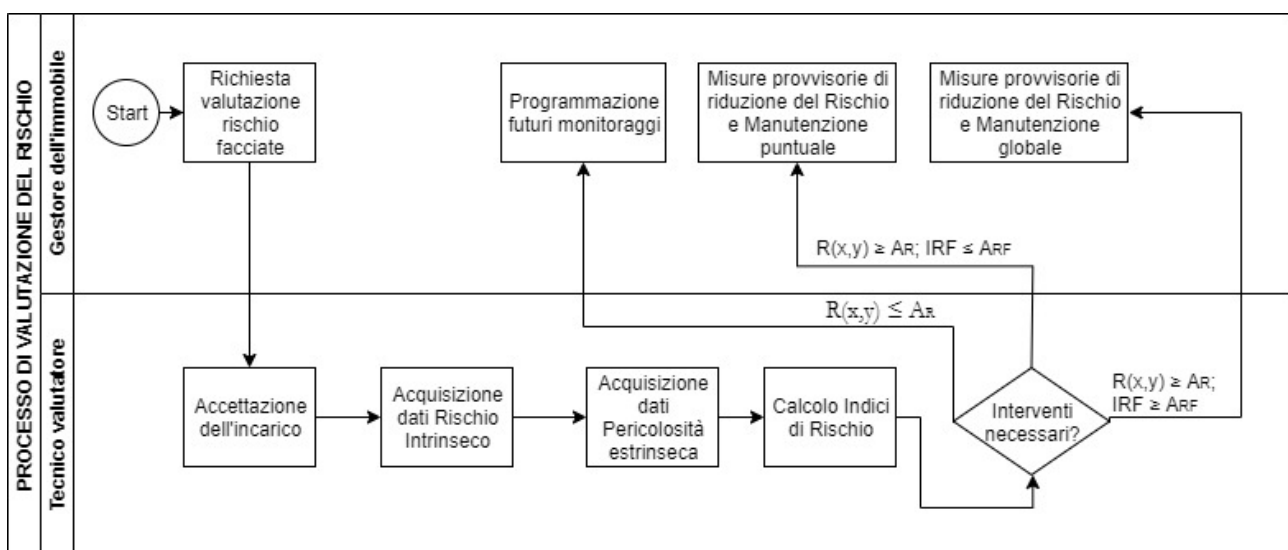


Fig. 4. Processo di valutazione del rischio e possibili scenari d'intervento. © 2019, Giovanni Ruggiero.

Riguardo all'applicazione del metodo, si fa osservare che, scelta una facciata di un edificio – o anche una sua parte –, i parametri di aggettanza, posizione e materico, il cui prodotto definisce la pericolosità intrinseca, sono valori noti e/o determinabili dal gestore dell'immobile e indipendenti dallo stato di degrado della facciata. Analogamente per i parametri che costituiscono V ed E. L'espressione del rischio può assumere anche la seguente forma:

$$R = P \times V \times E = (P_E \times P_I) \times V \times E = P_E \times P_I \times V \times E = P_E \times (P_I \times V \times E) = P_E \times R_I$$

dove  $R_I$  viene definito rischio intrinseco.

Data una facciata, una volta determinato il raster del rischio intrinseco, i successivi monitoraggi forniranno nuovi valori di pericolosità estrinseca dipendente dai parametri velocità e gravità del degrado. Nell'ipotesi in cui la facciata non subisca modifiche materiche e geometriche che indurrebbero a nuovi valori di  $R_I$ , è necessario calcolare solo  $P_E$  per valutare l'andamento di IRF nel tempo.

#### 4. Discussioni e conclusioni

Il presente articolo mette in luce che le attuali ricerche sulla valutazione del rischio correlato al degrado degli elementi di architetture storiche si focalizzano sul rischio di perdita di materia storica piuttosto che sulla sicurezza delle persone. Metodi di analisi del rischio in tale ambito comprendono la valutazione della vetustà e dello stato di conservazione degli elementi architettonici, senza giungere a stime quantitative che possano permettere operazioni di benchmarking e creazione di scorecard a supporto della sicurezza delle persone. La presente ricerca invece vuole definire una metodologia speditiva e quantitativa di valutazione del rischio legato alla caduta di gravi da facciate storiche che porti, come auspicato [1], alla messa a punto di indicatori di stato e all'analisi continua della loro evoluzione nel tempo.

Dalla revisione dei metodi di valutazione del rischio, applicati in campi diversi, sono stati dedotti i fattori di rischio e i relativi parametri di influenza. Tali fattori vengono definiti in questo articolo, così come i metodi per la valutazione del rischio di una facciata.

Futuri approfondimenti riguarderanno la validazione dei parametri individuati come rilevanti ai fini della descrizione del fenomeno oggetto di studio, condotta mediante analisi qualitative per raccogliere l'opinione degli esperti. Ai fini della valutazione dell'indicatore di rischio verrà definito un parametro di confidenza, in analogia a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) e relativa Circolare (n° 7/2019), dipendente dal tipo di indagine eseguita sulla facciata (ispezioni visive, indagini strumentali, analisi documentai, etc.). I criteri per la determinazione delle dimensioni e delle tipologie di celle e i valori di accettabilità del rischio relativo alle singole celle e all'intera facciata saranno oggetto di futuri approfondimenti. Per rendere razionale ed oggettivo il metodo di valutazione si svilupperà un'intelligenza artificiale capace di automatizzare il calcolo del parametro di pericolosità estrinseca [11, 12, 13, 14]. La validazione del metodo e lo sviluppo dell'intelligenza artificiale interesserà le facciate di edifici del centro storico Napoli, selezionati in maniera da individuare un campione significativo omogeneo per materiali da costruzione, tipologia costruttiva, epoca di costruzione, contesto sollecitativo antro-

pico e ambientale. Sulla base di questo campione di studio si svilupperà un'applicazione software per la determinazione automatica degli indicatori di rischio. Tale metodo, dapprima sviluppato e validato per il calcolo dell'indicatore di rischio per le persone, verrà in futuro esteso ad altri ambiti applicativi e ad altri scopi, ad esempio ai fini di valutare il rischio per il patrimonio culturale.

### **Riferimenti**

- [1] Cecchi R, Gasparoli P. La manutenzione programmata dei beni culturali edificati. Alinea srl, Firenze, 2011.
- [2] Borgarino MP. Dal restauro alla conservazione del patrimonio storico architettonico, Disponibile a: <https://www.researchgate.net/publication/299344701>, ultimo accesso il 29.01.2020.
- [3] Chiarini A, Vicenza M. Strumenti statistici avanzati per la gestione della qualità. FrancoAngeli, 2014.
- [4] Linee Guida per la conservazione delle architetture di interesse archeologico. In: Cecchi R. Roma Archaeologia, Interventi per la tutela e la fruizione del patrimonio archeologico, Terzo rapporto. Electa, Milano, 2011, Glossario, Allegato E
- [5] De Canio G, Canali F, Beltrame D, Cela R. Scheda per l'ispezione programmata degli elementi architettonici e strutturali. Associazione delle Fabbricerie Italiane, 2019.
- [6] Ortiz R, Macías-Bernal JM, Ortiz P. Vulnerability and buildings service life applied to preventive conservation in cultural heritage. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, Vol. 9 No. 1, 2018, 31-47.
- [7] Daniotti B, Spagnolo S.L. La banca dati sulla durabilità dei componenti edilizi. In: Sostenibilità e innovazione in edilizia, 7° convegno nazionale ISTeA, 2008.
- [8] Re Cecconi F, De Angelis E. Guasti in edilizia – ammaloramento dell'edificio, suggerimenti di ripristino e di prevenzione – banca dati dei guasti. Maggioli editore, 2008.
- [9] Paerret J. Guida alla manutenzione degli edifici, Maggioli editore, 2001.
- [10] Socotec. La guida alla manutenzione e al recupero degli edifici, Sistemi editoriali, 2007.
- [11] Billie F. Spencer Jr, Vedhus H, Yasutaka N. Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring, *Engineering* 5: 199-222, 2019.
- [12] Husein P, Joseph H. M. T, Amir M. Deep Learning for Detecting Building Defects Using Convolutional Neural Networks, *Sensors* 19 (16): 3556, 2019. doi: 10.3390 / s19163556.
- [13] Shengyuan L, Xuefeng Z. Image-Based Concrete Crack Detection Using Convolutional Neural Network and Exhaustive Search Technique, *Advances in Civil Engineering*, Volume 2019: 12, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6520620>.
- [14] Byunghyun K, Soojin C. Automated Vision-Based Detection of Cracks on Concrete Surfaces Using a Deep Learning Technique, *Sensors*, 18, 3452, 2018. doi:10.3390/s18103452.