

# **I centri minori... da problema a risorsa**

Strategie sostenibili per la valorizzazione del patrimonio edilizio, paesaggistico e culturale nelle aree interne

## **Small towns... from problem to resource**

Sustainable strategies for the valorization of building, landscape and cultural heritage in inland areas

**A cura di / edited by  
Pierfrancesco Fiore  
Emanuela D'Andria**



Nuova serie di architettura  
**FRANCOANGELI**



Il presente volume è pubblicato in open access, ossia il file dell'intero lavoro è liberamente scaricabile dalla piattaforma **FrancoAngeli Open Access** (<http://bit.ly/francoangeli-oa>).

**FrancoAngeli Open Access** è la piattaforma per pubblicare articoli e monografie, rispettando gli standard etici e qualitativi e la messa a disposizione dei contenuti ad accesso aperto. Oltre a garantire il deposito nei maggiori archivi e repository internazionali OA, la sua integrazione con tutto il ricco catalogo di riviste e collane FrancoAngeli massimizza la visibilità, favorisce facilità di ricerca per l'utente e possibilità di impatto per l'autore.

Per saperne di più:

[http://www.francoangeli.it/come\\_pubblicare/pubblicare\\_19.asp](http://www.francoangeli.it/come_pubblicare/pubblicare_19.asp)

I lettori che desiderano informarsi sui libri e le riviste da noi pubblicati possono consultare il nostro sito Internet: [www.francoangeli.it](http://www.francoangeli.it) e iscriversi nella home page al servizio "Informatemi" per ricevere via e-mail le segnalazioni delle novità.

# **I centri minori... da problema a risorsa**

Strategie sostenibili per la valorizzazione del patrimonio  
edilizio, paesaggistico e culturale nelle aree interne

# **Small towns... from problem to resource**

Sustainable strategies for the valorization of building,  
landscape and cultural heritage in inland areas

**A cura di / edited by  
Pierfrancesco Fiore  
Emanuela D'Andria**

Nuova serie di architettura  
**FRANCOANGELI**

The editors, the publisher, the Organizing Committee, the Scientific Committee and the Honorary Scientific Committee cannot be held responsible either for the contents or for the opinions expressed within the articles.  
The published papers, whose contents were declared original by the authors themselves, were subjected to a *double blind peer review process*.

*Double blind peer review process*

Scholars have been invited to submit researches on theoretical and methodological aspects related to the valorization of small towns in inland areas, and to show real applications and experiences carried out on this topic. Based on double blind peer review, abstracts have been accepted, conditionally accepted or rejected. After this selection, the authors of accepted and conditionally accepted abstracts have been invited to submit the full papers. These have been also double blind peer reviewed and selected for the oral session and publication in the Conference Proceedings by professors and experts of different topics and subjects.

Thanks for cooperation:

*Giacomo Di Ruocco, Giuseppe Donnarumma, Carmelo Falce and Anna Landi*

All the texts and images have been provided by the authors.

*Cover image: Emanuela D'Andria*

ISBN 9788891798428

Copyright © 2019 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.

This work, and each part thereof, is protected by copyright law and is published in this digital version under the license *Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International* (CC BY-NC-ND 4.0)

*By downloading this work, the User accepts all the conditions of the license agreement for the work as stated and set out on the website*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

## CONFERENCE CHAIR

**Pierfrancesco Fiore**, University of Salerno, Italy

## HONORARY CHAIR

**Enrico Sicignano**, University of Salerno, Italy

## HONORARY SCIENTIFIC COMMITTEE

**Edward Allen**, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, USA

**Aldo de Marco**, University of Salerno, Italy

**Domenico De Masi**, University of Rome “La Sapienza”, Italy

**Riccardo Gulli**, University of Bologna – Ar.Tec President, Italy

**Kevin Harrington**, Illinois Institute of Technology – Chicago, USA

**John Ochsendorf**, Massachusetts Institute of Technology – Cambridge, USA

**Paolo Portoghesi**, University of Rome “La Sapienza”, Italy

**Amerigo Restucci**, ICOMOS, Italy

**Vito Teti**, University of Calabria, Italy

**Yang XiuJing**, China Academy of Art - Hangzhou, China

## INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

**Salvatore Barba**, University of Salerno, Italy

**Alessandra Battisti**, University of Rome “La Sapienza”, Italy

**Begoña Blandón González**, Universidad de Sevilla, Spain

**Xavier Casanovas**, Universitat Politècnica de Catalunya, Spain

**Francesca Castanò**, University of Campania “Luigi Vanvitelli”, Italy

**Agostino Catalano**, University of Molise, Italy

**Luca Cerchiai**, University of Salerno, Italy

**Stefano Chiarenza**, San Raffaele Roma Open University, Italy

**Francesco Colace**, University of Salerno, Italy

**Vincenzo Cristallo**, University of Rome “La Sapienza”, Italy

**Giorgio Croatto**, University of Padova, Italy

**Marco D’Orazio**, Polytechnic University of Marche, Italy

**Enrico Dassori**, University of Genova, Italy

**Stefano De Luca**, University of Salerno, Italy

**Gianluigi De Mare**, University of Salerno, Italy

**Antonio De Rossi**, Polytechnic University of Turin, Italy

**Flavia Fascia**, University of Naples “Federico II”, Italy

**Isidoro Fasolino**, University of Salerno, Italy

**Fabio Fatiguso**, Polytechnic University of Bari, Italy

**Pierfrancesco Fiore**, University of Salerno, Italy

**Fabiana Forte**, University of Campania “Luigi Vanvitelli”, Italy

**Anna Frangipane**, University of Udine, Italy

**Marina Fumo**, University of Naples “Federico II”, Italy

**Maria Paola Gatti**, University of Udine, Italy

**Adriana Galderisi**, University of Campania “Luigi Vanvitelli”, Italy

**Roberto Gerundo**, University of Salerno, Italy

**Antonella Guida**, University of Basilicata, Italy

**Domenico Guida**, University of Salerno, Italy

**Rochus Hinkel**, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Germany

**Saija Hollmen**, Aalto University - Helsinki, Finland

**David Howarth**, University of Sheffield, UK

**Katherine A. Liapi**, University of Patras, Greece

**Raffaella Lione**, University of Messina, Italy

**Vincenzo Loia**, University of Salerno, Italy

**Luigi Maffei**, University of Campania “Luigi Vanvitelli”, Italy

**Alessandro Melis**, University of Portsmouth, UK

**Barbara Messina**, University of Salerno, Italy

**Renata Morbiducci**, University of Genova, Italy

**Renato Morganti**, University of L’Aquila, Italy

**Florian Nepravishta**, Polytechnic University of Tirana, Albania

**Antonio Nesticò**, University of Salerno, Italy

**Antonello Pagliuca**, University of Basilicata, Italy

**Maurizio Pagotto**, Université de Strasbourg,  
France

**Luis Palmero Iglesias**, Universitat Politècnica de  
València, Spain

**Luigi Petti**, ICORP - International Committee on  
Risk Preparedness (ICOMOS)

**Renata Picone**, University of Naples “Federico II”,  
Italy

**Maria Rita Pinto**, University of Naples “Federico  
II”, Italy

**Mario Pisani**, University of Campania “Luigi  
Vanvitelli”, Italy

**Piergiuseppe Pontrandolfi**, University of  
Basilicata, Italy

**Giancarlo Priori**, University of Naples "Federico  
II", Italy

**Federica Ribera**, University of Salerno, Italy

**Maria Giovanna Riitano**, University of Salerno,  
Italy

**Gianvittorio Rizzano**, University of Salerno, Italy

**Michelangelo Russo**, University of Naples

“Federico II”, Italy

**Enrico Sicignano**, University of Salerno, Italy

**Simona Talenti**, University of Salerno, Italy

**Roberto Vanacore**, University of Salerno, Italy

**Giacomo Viccione**, University of Salerno, Italy

#### **CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE**

**Pierfrancesco Fiore**, University of Salerno, Italy  
(Coordinator)

**Giuseppe Donnarumma**, University of Salerno,  
Italy

**Emanuela D’Andria**, University of Salerno, Italy

**Vincenzo Naddeo**, University of Salerno, Italy

**Giacomo Di Ruocco**, University of Salerno, Italy

**Antonella Trotta**, University of Salerno, Italy

#### **CONFERENCE SUPPORT STAFF**

Carmelo Falce, Anna Landi, Francesca Vitacca,  
Cristina Abate, Alfredo De Maio, Antonio Lamberti,  
Chiara Scafuri, Mariangela Viceconte, Carla Di  
Agresti, Ivan Scarfato, Carmen Caliano, Oriana  
Capuano, Maddalena Palumbo, Annarita Teodosio,  
Rossella Del Regno.

## Indice

### Index

|                                               |      |    |
|-----------------------------------------------|------|----|
| <b>Presentazione</b> , di Pierfrancesco Fiore | pag. | 17 |
| <b>Presentation</b> , by Pierfrancesco Fiore  | »    | 20 |
| <b>Prefazione</b> , di Enrico Sicignano       | »    | 23 |
| <b>Foreword</b> , by Enrico Sicignano         | »    | 25 |
| <b>Postfazione</b> , di Riccardo Gulli        | »    | 27 |
| <b>Afterword</b> , by Riccardo Gulli          | »    | 28 |

### Topic 1

#### Le cause e le conseguenze dello spopolamento | The causes and consequences of depopulation

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| <b>Rischio sismico ed idrogeologico come ulteriori cause dello spopolamento del Subappennino Dauno, area interna della Puglia</b> , di <i>Gabriele Ajò</i>                                                                                                                                                                                                                    | » | 31  |
| <b>Terremoti, abbandono, rigenerazione nelle aree interne italiane. Il caso di Aquilonia nell'Appennino Campano</b> , di <i>Raffaele Amore, Katia Fabbicatti</i>                                                                                                                                                                                                              | » | 41  |
| <b>Architettura e progetto per la ricostruzione delle aree interne delle piccole regioni. Una strategia di sviluppo</b> , di <i>Chiara Barbieri, Valentino Canturi, Felicita Ciani, Vincenzo Cogliano, Angela Colucci, Giuseppina Cusano, Bianca Del Visco, Eugenio Ienco, Nicoletta Iuliano, Clelia Maisto, Livia Russo, Maria Scalisi, Onofrio Villani, Giovanni Zucchi</i> | » | 53  |
| <b>Le cause dello spopolamento delle aree terremotate nelle Marche</b> , di <i>Carlo Birrozzi, Annalisa Conforti, Caterina Cocchi</i>                                                                                                                                                                                                                                         | » | 63  |
| <b>I borghi abbandonati dell'Irpinia: un'eredità dimenticata</b> , di <i>Michele Carluccio, Rossella Del Regno, Antonella Roselli</i>                                                                                                                                                                                                                                         | » | 73  |
| <b>Dinamiche di contrazione nelle città italiane di piccole dimensioni e il loro impatto sui paesaggi tradizionali. Il caso dell'Appennino parmense</b> , di <i>Barbara Caselli</i>                                                                                                                                                                                           | » | 81  |
| <b>Forgotten cities: analysis of the problems and challenges of small towns in Brazil</b> , by <i>Ricardo Moretti, Eleusina Freitas, Emanuel Cavalcanti</i>                                                                                                                                                                                                                   | » | 91  |
| <b>Il conflitto bellico e la perdita di identità nei centri delle diocesi abruzzesi</b> , di <i>Michela Pirro</i>                                                                                                                                                                                                                                                             | » | 101 |

## Topic 2

### La conoscenza dei luoghi per lo sviluppo del territorio | The knowledge of places for the development of the territory

|                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| <b>Le colline argillose dell'Appennino centrale: un territorio fragile</b> , di <i>Ottavia Aristone, Lucia Serafini</i>                                                                                                                                                        | pag. | 113 |
| <b>XXth century rural villages in Italy, Portugal and Spain. Knowledge and valorisation</b> , by <i>Tiziana Basiricò, Rui Braz Afonso</i>                                                                                                                                      | »    | 123 |
| <b>Il cammino del Volto Santo: una strategia sostenibile di sviluppo territoriale</b> , di <i>Stefano Bertocci, Silvia La Placa, Marco Ricciarini</i>                                                                                                                          | »    | 135 |
| <b>Paesaggio, insediamento e stile di vita</b> , di <i>Barbara Bogoni, Rui Braz Afonso</i>                                                                                                                                                                                     | »    | 143 |
| <b>Centri minori: metodi per la conoscenza e la consapevole valorizzazione</b> , di <i>Giulia Brunori, Michele Magazzù</i>                                                                                                                                                     | »    | 153 |
| <b>Il disegno dei borghi gemelli in abbandono tra spazio fisico e virtuale</b> , di <i>Giovanni Caffio</i>                                                                                                                                                                     | »    | 163 |
| <b>An unused type: the housing of Mezzadri in agriculture</b> , by <i>Daniele Calisi</i>                                                                                                                                                                                       | »    | 173 |
| <b>The great story of a small village. The Ruviano case study</b> , by <i>Francesca Castanò</i>                                                                                                                                                                                | »    | 183 |
| <b>Una metodologia per la conoscenza dei piccoli centri storici: analisi del borgo di San Giovanni in Galdo in Molise per l'identificazione tecnologica delle epoche costruttive e il ripristino secondo criteri di sostenibilità ambientale</b> , di <i>Agostino Catalano</i> | »    | 193 |
| <b>La conoscenza come risorsa. I centri minori dell'Adriatico centrale</b> , di <i>Stefano Cecamore</i>                                                                                                                                                                        | »    | 203 |
| <b>Le culture dell'abitare tradizionale per un riuso dei paesi della Calabria</b> , di <i>Rosario Chimirri, Merel Meijer</i>                                                                                                                                                   | »    | 215 |
| <b>Spazio alla riflessione urbana. Vedute che trasformano la città di Calvillo, Aguascalientes, in un riferimento storico, turistico e culturale</b> , di <i>Fabiola Colmenero Fonseca, María Iliana Briseño Ramírez</i>                                                       | »    | 225 |
| <b>Il sistema fortificato irpino: alle origini degli insediamenti abitativi medievali</b> , di <i>Giovanni Coppola</i>                                                                                                                                                         | »    | 235 |
| <b>Valori del patrimonio culturale e sfide dei paesaggi di soglia storici in piccoli insediamenti della Sierra di Aracena. Il caso di Valdelarco</b> , di <i>Ana Coronado Sánchez</i>                                                                                          | »    | 255 |
| <b>La vulnerabilità dei centri storici minori montani: il ruolo dell'evoluzione del comfort</b> , di <i>Valerio Da Canal</i>                                                                                                                                                   | »    | 265 |
| <b>Analisi e riflessioni sui centri minori in Irpinia: il caso studio di Pietrastornina</b> , di <i>Giuseppe De Pascale, Pierfrancesco Fiore</i>                                                                                                                               | »    | 273 |
| <b>Semplice lineare complesso: il disegno degli elementi dell'architettura minore di montagna</b> , di <i>Andrea Donelli</i>                                                                                                                                                   | »    | 285 |



|                                                                                                                                                                                                                                                     |      |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| <b>Symbiosis between architecture and nature. Traditional industrial architecture in small municipalities: hydraulic mills of the “Valle del Esgueva”,</b> by <i>Arancha Espinosa, M. Rosario del Caz Enjuto</i>                                    | pag. | 295 |
| <b>Verso la valorizzazione e la conservazione del Castello di Sant’Angelo nel territorio dell’Aquila fino al 1927,</b> di <i>Flavia Festuccia</i>                                                                                                   | »    | 305 |
| <b>La conoscenza del patrimonio culturale attraverso l’uso della tecnologia: obiettivi e metodologie,</b> di <i>Chiara Frigieri, Pietro Gasparri</i>                                                                                                | »    | 317 |
| <b>La conoscenza multidisciplinare e multiscale per la rigenerazione dei centri storici minori,</b> di <i>Maria Paola Gatti, Giorgio Cacciaguerra</i>                                                                                               | »    | 327 |
| <b>Strumenti per la tutela del patrimonio rurale di malghe e cascine della Valle Trompia (Brescia, Italia),</b> di <i>Andrea Ghirardi, Barbara Badiani, Barbara Scala, Cristina Boniotti</i>                                                        | »    | 335 |
| <b>Patrimonio – storia – recupero e valorizzazione: l’Abbazia di Santa Maria de Olearia come caso studio,</b> di <i>Chiara Lambert, Marielva Torino, Giovanni Ercolino, Vincenzo Gheroldi, Sara Marazzani, Felice Perciante</i>                     | »    | 345 |
| <b>Strategia per la rigenerazione dei piccoli centri urbani: proposta per il borgo di Mondonico,</b> di <i>Laura Elisabetta Malighetti, Angela Colucci</i>                                                                                          | »    | 363 |
| <b>Borghi rurali di Sicilia: architettura fra tradizione e razionalismo,</b> di <i>Luigi Savio Margagliotta</i>                                                                                                                                     | »    | 373 |
| <b>Il patrimonio culturale dei centri storici minori. Le castella della Valleriana,</b> di <i>Alessandro Merlo, Gaia Lavoratti</i>                                                                                                                  | »    | 383 |
| <b>Rappresentare lo spazio urbano per valorizzare i centri minori della Costiera Amalfitana,</b> di <i>Barbara Messina, Stefano Chiarenza</i>                                                                                                       | »    | 393 |
| <b>Conoscere per conservare: l’ipogeo di Palazzo Perrotta a Succivo,</b> di <i>Luigi Mollo, Rosa Agliata, Marco Vigliotti, Raffaella Lione, Fabio Minutoli, Luis Palmero Iglesias</i>                                                               | »    | 403 |
| <b>Nuovi “fenomeni costruttivi” per i borghi rurali del Mezzogiorno italiano: il caso del Borgo Pianelle (Matera),</b> di <i>Antonello Pagliuca, Donato Gallo, Pier Pasquale Trausi</i>                                                             | »    | 413 |
| <b>Un archivio virtuale per comprendere e comunicare la complessità dei luoghi,</b> di <i>Ivana Passamani, Stefano Fasolini, Nicola Ghidinelli, Andrea Pasini</i>                                                                                   | »    | 423 |
| <b>Il patrimonio fortificato dell’Irpinia: un modello per lo sviluppo culturale e turistico del territorio,</b> di <i>Flavio Petroccione</i>                                                                                                        | »    | 433 |
| <b>Identità locale e sviluppo locale: metodi di conoscenza nei luoghi danneggiati dal sisma,</b> di <i>Enrica Petrucci</i>                                                                                                                          | »    | 441 |
| <b>Laboratori di “Collaborative Knowledge”: sperimentazioni itineranti per il recupero e la manutenzione dell’ambiente costruito,</b> di <i>Maria Rita Pinto, Daniela Bosia, Serena Viola, Stefania De Medici, Katia Fabbricatti, Lorenzo Savio</i> | »    | 451 |
| <b>Specificità delle aree storiche nella definizione della pianificazione urbana. Il caso studio di Forenza (PZ),</b> di <i>Piergiuseppe Pontrandolfi, Antonello Azzato</i>                                                                         | »    | 459 |

|                                                                                                                                                                                                    |      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| <b>The “rural houses” in Torviscosa (Udine, Italy): from construction to abandonment,</b> by <i>Maria Vittoria Santi, Anna Frangipane, Giovanna Saveria Laiola</i>                                 | pag. | 469 |
| <b>La tutela delle evidenze monumentali nella redazione dei piani urbanistici comunali per le piccole città: il caso di Pietrelcina (BN),</b> di <i>Salvatore Scognamillo, Claudio Scognamillo</i> | »    | 479 |
| <b>Il borgo medievale di “Castello” a Gragnano (Napoli; Italia): una storia fuori dal tempo,</b> di <i>Claudia Sicignano</i>                                                                       | »    | 487 |
| <b>Le tenute della Valdichiana tra oblio e abbandono,</b> di <i>Simona Talenti, Annarita Teodosio</i>                                                                                              | »    | 495 |
| <b>Between tradition and history: the valorisation of Picciano, a small town in the province of Pescara,</b> by <i>Pasquale Tunzi</i>                                                              | »    | 503 |
| <b>Architettura vernacolare e culture sismiche locali in Toscana,</b> di <i>Denise Ulivieri, Stefania Landi</i>                                                                                    | »    | 513 |
| <b>La ricostruzione postbellica di Cassino: dalla pianificazione urbanistica alla definizione di opere singolari,</b> di <i>Marcello Zordan, Franco Fragnoli</i>                                   | »    | 523 |

### Topic 3 Strategie, proposte metodologiche e progetti | Strategies, methodological proposals and designs

|                                                                                                                                                                                                                                                       |   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| <b>Monterusciello Agro-City Landscape Project: strategie per una nuova relazione tra il costruito e l’ambiente,</b> di <i>Paolo Alfano, Alessandra Como, Albina Cuomo, Domenico Guida, Luisa Smeragliuolo Perrotta, Lucia Terralavoro, Carlo Vece</i> | » | 535 |
| <b>Anatomia delle rovine. Riscritture nella Valle di Belice,</b> di <i>Manuela Antoniciello</i>                                                                                                                                                       | » | 547 |
| <b>A Context Aware Approach to enhance urban areas,</b> by <i>Felice Argenio, Francesco Colace, Fabio Clarizia, Marco Lombardi, Angelo Lorusso, Francesco Pascale, Domenico Santaniello</i>                                                           | » | 559 |
| <b>Dalla conoscenza all’azione: metodo e modello per la rivitalizzazione di centri urbani minori,</b> di <i>Barbara Barboni, Elisa Roncaccia</i>                                                                                                      | » | 571 |
| <b>Il sistema dei borghi Irpini come nodi identitari nei corridoi ecologici fluviali,</b> di <i>Luca Battista, Emanuela D’Andria</i>                                                                                                                  | » | 579 |
| <b>Challenges of the planning of small towns in relation to wind power farms. Study in Macau. RN. Brazil,</b> by <i>Dulce Bentes, Ricardo Moretti</i>                                                                                                 | » | 591 |
| <b>Accessibilità e valorizzazione degli antichi e piccoli centri in Abruzzo,</b> di <i>Mariangela Bitondi</i>                                                                                                                                         | » | 597 |
| <b>Universality in the analysis of urban systems, from problem to resource. Impairments and parities,</b> by <i>Rui Braz Afonso, Jaime Magalhães Júnior</i>                                                                                           | » | 605 |
| <b>A methodological instrument for urban design in small towns. An experience for the valorization of Belmonte, Portugal,</b> by <i>Rui Braz Afonso, Rafael Sousa Santos</i>                                                                          | » | 611 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| <b>Migrant dispersal as a strategy to tackle depopulation: a critical examination</b> , by <i>Philip Brown</i>                                                                                                                                                            | pag. | 621 |
| <b>The Value of small Towns to the Economy and the cultural heritage of Europe</b> , by <i>Valerie Carter</i>                                                                                                                                                             | »    | 629 |
| <b>Rasiglia: la valorizzazione di un piccolo borgo protoindustriale</b> , di <i>M. Elena Castore</i>                                                                                                                                                                      | »    | 639 |
| <b>“Urbino per Bene”: un progetto partecipato e sostenibile per la salvaguardia e conservazione del centro storico</b> , di <i>Alessandra Cattaneo, Laura Baratin</i>                                                                                                     | »    | 649 |
| <b>I centri minori della Lunigiana tra conoscenza e rigenerazione</b> , di <i>Eleonora Chiofalo, Enrico Bascherini, Olimpia Niglio</i>                                                                                                                                    | »    | 659 |
| <b>Sviluppo del paesaggio nel Parco Nazionale del Cilento: i centri minori dell’area del Monte Stella tra economia rurale e turismo</b> , di <i>Maria Grazia Cianci, Francesca Paola Mondelli</i>                                                                         | »    | 669 |
| <b>Rilievo e valorizzazione dei centri storici: gamification e Structure From Motion</b> , di <i>Michela Cigola, Teresa Della Corte, Francesco Fontanella, Arturo Gallozzi, Silvia Gargaro, Mario Molinara, Ramona Quattrini, Luca J. Senatore, Rodolfo Maria Strollo</i> | »    | 679 |
| <b>The innovative regeneration project of the “Golfo dell’Isola” in Liguria</b> , by <i>Enrico Dassori, Renata Morbiducci, Clara Vite</i>                                                                                                                                 | »    | 687 |
| <b>Functional adaptation and structural improvement of Palazzo Dell’Erario in the rehabilitation completion of the old town of Gesualdo (Avellino, Campania, Italy)</b> , by <i>Fabio De Guglielmo</i>                                                                    | »    | 697 |
| <b>Developing friendly environments with aging people to offset depopulation in rural areas</b> , by <i>M. Rosario del Caz Enjuto</i>                                                                                                                                     | »    | 707 |
| <b>Il design urbano per i centri minori. Il caso studio di Cassano Irpino</b> , di <i>Felice De Silva</i>                                                                                                                                                                 | »    | 717 |
| <b>Dalla Calabria all’UNICEF</b> , di <i>Anna Di Giusto</i>                                                                                                                                                                                                               | »    | 727 |
| <b>Aree interne smart e strategie di sviluppo territoriale</b> , di <i>Donato Di Ludovico, Luana Di Lodovico, Federico Eugeni</i>                                                                                                                                         | »    | 737 |
| <b>Itinerari della Magna Graecia. La “Passeggiata di Parmenide” attraverso la “Via del Sale”: dalla polis di Elea al Monte Sacro “Gelbison”</b> , di <i>Giacomo Di Ruocco, Pierfrancesco Fiore, Emanuela D’Andria, Roberta Melella</i>                                    | »    | 749 |
| <b>Le greenways come opportunità per il turismo a bassa emissione di carbonio: la Via Silente nel Parco Nazionale del Cilento, il Vallo di Diano e i Monti Alburni</b> , di <i>Giacomo Di Ruocco, Catello Grimaldi, Irina Di Ruocco, Mario Passannanti</i>                | »    | 761 |
| <b>Un approccio integrato per la valutazione degli interventi sugli edifici scolastici nel consorzio tra centri minori</b> , di <i>Giuseppe Donnarumma, Pierfrancesco Fiore, Carmelo Falce</i>                                                                            | »    | 771 |
| <b>La rigenerazione dei centri storici dell’entroterra. Strategie per la Valle dell’Irno</b> , di <i>Isidoro Fasolino, Pierfrancesco Fiore, Maddalena Palumbo, Francesca Coppola</i>                                                                                      | »    | 779 |

|                                                                                                                                                                                                                                                     |      |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|
| <b>La rivitalizzazione dei centri urbani nelle aree interne attraverso le infrastrutture a mobilità lenta</b> , di <i>Isidoro Fasolino, Francesca Coppola, Michele Grimaldi</i>                                                                     | pag. | 789 |
| <b>Analisi e proposte per il recupero e la valorizzazione di centri storici minori abbandonati. Il caso studio di Craco (Basilicata, Italia meridionale)</b> , di <i>Settimio Ferlisi, Pierfrancesco Fiore, Mariangela Viceconte</i>                | »    | 797 |
| <b>Centri minori italiani: punti di forza e debolezza delle strategie in corso per rivitalizzare un fragile patrimonio</b> , di <i>Adriana Galderisi, Giada Limongi</i>                                                                             | »    | 807 |
| <b>Risk and sustainability in minor historical centers and small towns through the integrated religious tourist routes in the Campania region. Sacred places experience marketing</b> , by <i>Lorenzo Gargano</i>                                   | »    | 817 |
| <b>Sewing a small town: una scuola estiva di architettura per nuove strategie di riuso e valorizzazione</b> , di <i>Cinzia Gavello</i>                                                                                                              | »    | 827 |
| <b>La pianificazione urbanistica nelle aree interne: alcuni casi studio in regione Campania</b> , di <i>Roberto Gerundo, Alessandra Marra</i>                                                                                                       | »    | 837 |
| <b>Multiscale analysis of minor historical centres and planning of urban regeneration interventions through the integration of Heritage BIM and GIS tools and platforms</b> , by <i>Elena Gigliarelli, Raffaele Pontrandolfi, Filippo Calcerano</i> | »    | 847 |
| <b>Paesi, ruralità, natura: una strategia per la rivitalizzazione dell'area interna del Matese</b> , di <i>Antonella Golino, Rossano Pazzagli</i>                                                                                                   | »    | 859 |
| <b>Cave e borghi: strategie per il recupero</b> , di <i>Catello Grimaldi, Carmelo Falce</i>                                                                                                                                                         | »    | 867 |
| <b>Uno spatial decision support system per la conoscenza e valorizzazione dell'itinerario religioso dei Padri Virginiani</b> , di <i>Michele Grimaldi, Pierfrancesco Fiore, Emanuela D'Andria, Anna Landi</i>                                       | »    | 879 |
| <b>Il riuso della vecchia filanda per uno spazio-biblioteca</b> , di <i>Valentina Guagliardi</i>                                                                                                                                                    | »    | 887 |
| <b>Rete di centri minori. Temi e progetti nel territorio di Tindari</b> , di <i>Renzo Lecardane, Paola La Scala</i>                                                                                                                                 | »    | 897 |
| <b>Una rete di borghi lungo la Via Francigena del Sud per la valorizzazione del territorio: il caso di Riardo nell'Alto Casertano</b> , di <i>Enrica Leccisi, Laura Ponzo</i>                                                                       | »    | 909 |
| <b>Strategie per la valorizzazione delle città-paese nelle aree interne della Sicilia</b> , di <i>Antonino Margagliotta</i>                                                                                                                         | »    | 919 |
| <b>Strategie di rigenerazione dell'area interna del Vallo di Diano: il caso studio di S. Arsenio</b> , di <i>Rossella Marmo, Adriana Luciano, Francesco Polverino</i>                                                                               | »    | 929 |
| <b>Infrastrutture e processo per i centri minori</b> , di <i>Calogero Marzullo</i>                                                                                                                                                                  | »    | 939 |
| <b>Abitare sopra: il valore del suolo nel territorio del Vallo di Diano</b> , di <i>Giuseppe Mastrangelo, Niccolò Suraci</i>                                                                                                                        | »    | 947 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |      |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| <b>Cantieri Scuola in contesti rurali come strumento di attivazione di comunità</b> , di <i>Gianfranca Mastroianni, Marina Fumo, Gabriella Saudella, Amelia Maris</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                         | pag. | 957  |
| <b>“Eterna rinascita”. Il difficile sviluppo dell’identità urbana tra distruzione, ricostruzione e nuovi schemi formali. Il caso di Argenta (Ferrara, Italia)</b> , di <i>Andreina Milan, Enrico Pietrogrande</i>                                                                                                                                                                                                                                             | »    | 965  |
| <b>Against urban dislocation: towards a Community Shared Culture and a hyper-connected territory</b> , by <i>Mickeal Milocco Borlini</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | »    | 975  |
| <b>Generative Programs for urban regeneration in historical settlements: lessons from the traditional building system in Calabria, Italy</b> , by <i>Guglielmo Minervino</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                  | »    | 985  |
| <b>The ancient town of Prusac – by valorisation towards sustainability</b> , by <i>Adnan Miralem</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | »    | 997  |
| <b>Dai luoghi abbandonati agli insediamenti sostenibili: riutilizzo di edifici e materiali esistenti con il coinvolgimento degli abitanti di un piccolo borgo in Sardegna</b> , di <i>Antonello Monsù Scolaro, Manuela Demurtas</i>                                                                                                                                                                                                                           | »    | 1005 |
| <b>Arte pubblica nei centri minori</b> , di <i>Maurizio Pagotto</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | »    | 1015 |
| <b>El Palmar: la trasformazione di un vecchio villaggio di pescatori in una rinomata località turistica gastronomica sulla costa di Valencia (Spagna)</b> , di <i>Luis Manuel Palmero Iglesias, Graziella Bernardo</i>                                                                                                                                                                                                                                        | »    | 1025 |
| <b>Il paesaggio come tema didattico-esperienziale per ri-abitare i piccoli centri del parco nazionale del Cilento. Una proposta per Sant’Arsenio</b> , di <i>Pasquale Persico, Roberto Vanacore</i>                                                                                                                                                                                                                                                           | »    | 1033 |
| <b>Borghi storici in Campania, tra abbandono, restauro e opportunità di risignificazione</b> , di <i>Renata Picone</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | »    | 1039 |
| <b>Tornare alle piccole città: il futuro è una terra smart</b> , di <i>Pier Paolo Piscopo</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | »    | 1049 |
| <b>Centri storici accoglienti. Strumenti e strategie per un possibile ritorno</b> , di <i>Sonia Pistidda</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | »    | 1053 |
| <b>Accoglienza dei migranti, sviluppo e rigenerazione dei centri minori. Proposte per l’area interna del Mercure-Alto Sinni-Val Sarmento nella regione Basilicata</b> , di <i>Piergiuseppe Pontrandolfi, Angela Anna Petrigliano</i>                                                                                                                                                                                                                          | »    | 1063 |
| <b>Patrimoni nascosti: nuove tecnologie per la narrazione di luoghi difficili da raggiungere</b> , di <i>Maria Elisabetta Ruggiero, Ruggero Torti</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | »    | 1075 |
| <b>Bamboo as reinforcement for structural elements: a 35-year-old case study</b> , by <i>Andrés Salas Montoya, Jorge Andres Robledo Posada, Fernando Torres Corrales</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | »    | 1085 |
| <b>An Innovative Teaching Module Inside VVITA Project – Sustainable And Inclusive Development Of Strategies To Vitalize Villages Through Innovative Architecture Technologies</b> , by <i>Vincenzo Sapienza, Chiara Bertolin, Ivo Calio, Simona Calvagna, Luca Finocchiaro, Antonio Gagliano, Mihaela Hărmănescu, Elena Cristina Mândrescu, Giuseppe Margani, Marina Mihăilă, Adrian Moleavin, Andra Panait, Gianluca Rodonò, Markus Schwai, Marius Voica</i> | »    | 1095 |
| <b>Tecniche di costruzione a secco per il riuso sostenibile</b> , di <i>Lorenzo Secchiari</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | »    | 1105 |

|                                                                                                                                                                                                |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| <b>Itinerari pluritematici: dai siti archeologici di Pompei ed Ercolano ai presidi protoindustriali del Ducato Amalfitano</b> , di <i>Enrico Sicignano, Giacomo Di Ruocco, Irina Di Ruocco</i> | pag. | 1117 |
| <b>Tentativi di ripopolamento e conservazione del patrimonio costruito. Lettura critica di alcune esperienze</b> , di <i>Benedetta Silva</i>                                                   | »    | 1125 |
| <b>Il secondo rinascimento di Urbino. De Carlo e un modello organico per il recupero dei centri storici</b> , di <i>Francesco Tosetto, Marco De Nobili</i>                                     | »    | 1135 |
| <b>La sfida delle aree interne e il ruolo dell'architettura</b> , di <i>Benedetta Verderosa</i>                                                                                                | »    | 1145 |
| <b>Conceptual proposals for the development of Cinque Terre National Park as a result of interactive learning</b> , by <i>Nadia Yeksarova, Vladimir Yeksarov, Anatoly Yeksarev</i>             | »    | 1153 |

#### Topic 4 Recupero e riuso sostenibili del patrimonio edilizio esistente | Sustainable recovery and reuse of built heritage

|                                                                                                                                                                                                         |   |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|
| <b>Heritage preservation: challenges and perspective</b> , by <i>Alessandro Baratta, Ileana Corbi, Ottavia Corbi, Livia De Andreis, Luciano Marchetti, Domenico Greco, Luigi Petti</i>                  | » | 1161 |
| <b>Recovering of abandoned towns. A sustainable strategy for construction and demolition waste management</b> , by <i>Begoña Blandón, Reyes Rodriguez</i>                                               | » | 1167 |
| <b>“Radici di Pietra”. Architettura e tradizione in una valle del nord-est</b> , di <i>Angelo Bertolazzi, Francesco Chinellato, Giorgio Croatto, Livio Petriccione, Giovanni Santi, Umberto Turrini</i> | » | 1177 |
| <b>Restauro di un antico mulino in Nocera Umbra</b> , di <i>Francesco Broglia</i>                                                                                                                       | » | 1187 |
| <b>Riabitare il patrimonio edilizio dei centri storici come strategia di retrofit energetico – un caso studio</b> , di <i>Elena Cantatore, Fabio Fatiguso</i>                                           | » | 1193 |
| <b>Da relitto urbano a risorsa sociale. Restauro sostenibile del patrimonio costruito a Navelli (AQ)</b> , di <i>Eva Coïsson, Barbara Gherri, Angela Desideri</i>                                       | » | 1203 |
| <b>Venzone, piccola città murata, distrutta e ricostruita</b> , di <i>Aldo de Marco</i>                                                                                                                 | » | 1213 |
| <b>The recovery of heritage as a contribution to contemporary culture</b> , by <i>Ubaldo García Torrente, Marisol García Torrente</i>                                                                   | » | 1219 |
| <b>Rischi e benefici dell'isolamento interno come misura per il rinnovamento energetico degli edifici storici</b> , di <i>Andrea Gianangeli, Gianluca Maracchini, Elisa Di Giuseppe, Marco D'Orazio</i> | » | 1229 |
| <b>Architettura rurale dei borghi, soluzioni per la valorizzazione e il recupero funzionale. Borgo Taccone</b> , di <i>Antonella Guida, Vito Domenico Porcari, Giulio Pacente</i>                       | » | 1239 |
| <b>Guidelines for the environmental sustainability and the energy efficiency of Arquata del Tronto</b> , by <i>Giuseppe Losco, Andrea Pierleoni, Elisa Roncaccia</i>                                    | » | 1249 |
| <b>From paleolithic to anthropocene. A new life for Montepoggiolo</b> , by <i>Alessandro Marata</i>                                                                                                     | » | 1259 |

|                                                                                                                                                                                                                          |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|
| <b>Skilled instruments for the reconstruction of the rural landscape after the 2012 Emilia-Romagna earthquake</b> , by <i>Manlio Montuori</i>                                                                            | pag. | 1267 |
| <b>Compatibilità e sostenibilità degli interventi di retrofit energetico su edifici tutelati</b> , di <i>Maurizio Nicoletta, Claudio Scognamiglio, Federica Vitale</i>                                                   | »    | 1277 |
| <b>Studio del restauro di Palazzo Pontillo, mezzo per rivalorizzare Chianalea, “La piccola Venezia del Sud”</b> , di <i>Silvia Pontillo, Francisco Gonzalez Yunta, Esther Moreno Fernandez, Alberto Sepulcre Aguilar</i> | »    | 1287 |
| <b>Riuso tecnologico e urbano di Zungoli</b> , di <i>Camilla Sansone</i>                                                                                                                                                 | »    | 1299 |
| <b>Il progetto di architettura tra riuso e rinnovo urbano nelle città del Mediterraneo</b> , di <i>Adriana Sarro</i>                                                                                                     | »    | 1309 |
| <b>Ristrutturazione e riuso di una masseria a Ragusa, Italia</b> , di <i>Gaetano Sciuto, Stefano Cascone</i>                                                                                                             | »    | 1317 |
| <b>Abandonment places. The resilience of small towns in Irpinia</b> , by <i>Clara Verazzo, Giulia Molinaro</i>                                                                                                           | »    | 1327 |
| <b>Sulla strada degli Jazzi. Riuso e valorizzazione di un’architettura Cilentana</b> , di <i>Luigi Veronese, Mariarosaria Villani, Ersilia Fiore</i>                                                                     | »    | 1337 |
| <b>Hydropower generation from drainpipes. An analysis for small buildings</b> , by <i>Giacomo Viccione, Federica Pasquarelli, Walter Zamboni, Raffaele Raimo</i>                                                         | »    | 1345 |

## Topic 5 Questioni estimative e valutative | Appraisal and economic evaluation issues

|                                                                                                                                                                                                                                           |   |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------|
| <b>Rivitalizzazione delle aree interne e marginali: un approccio di valutazione multidimensionale di supporto per l’elaborazione di strategie di sviluppo</b> , di <i>Lucia Della Spina</i>                                               | » | 1355 |
| <b>Small towns in Irpinia: socio-economic dynamics and real estate market</b> , by <i>Fabiana Forte, Luigi Maffei, Pierfrancesco De Paola</i>                                                                                             | » | 1365 |
| <b>La riduzione della vulnerabilità sismica nei tessuti urbani storici. Un approccio valutativo-progettuale</b> , di <i>Salvatore Giuffrida, Caterina Carocci, Chiara Circo, Margherita Giuffrè, Maria Rosa Trovato, Vittoria Ventura</i> | » | 1375 |
| <b>Dinamiche di insediamento e patrimonio territoriale a rischio. Il caso della sottoregione di Albenga</b> , di <i>Giampiero Lombardini</i>                                                                                              |   | 1385 |
| <b>Centri minori e strategie di valorizzazione</b> , di <i>Antonio Nesticò, Emanuela D’Andria, Pierfrancesco Fiore</i>                                                                                                                    | » | 1397 |
| <b>Recupero e valorizzazione di centri storici minori. Un modello per la valutazione del rischio di investimento. Il caso studio di Aterrana</b> , di <i>Antonio Nesticò, Maria Macchiaroli, Gabriella Maselli</i>                        | » | 1405 |

|                                                                                                                                                                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Multi-scalar analysis system for prioritising intervention of historical heritage: the case of Pahuatlán de Valle, Puebla, Mexico,</b> by <i>Jaime Antonio Parra Aldave, Ignacio Lombillo Vozmediano, Cecilia Ribalaygua Batalla</i> | pag. 1415 |
| <b>Multi-scale, multi-generational and inter-temporal strategic governance in national parks integrated management programs: The National Park of Cilento, Vallo di Diano and Alburni,</b> by <i>Pasquale Persico, Maria Cerreta</i>    | » 1425    |
| <b>Residential tourism in small towns. An appraisal study about tourist dynamics,</b> by <i>Francesca Salvo, Tullio Romita, Manuela De Ruggiero, Daniela Tavano</i>                                                                     | » 1433    |
| <b>Modello multi-attributo per la valutazione del riuso sostenibile di abitazioni tradizionali nelle Alpi Carniche,</b> di <i>Carlo Antonio Stival, Raul Berto, Paolo Rosato</i>                                                        | » 1443    |



# *Compatibilità e sostenibilità degli interventi di retrofit energetico su edifici tutelati*

*Compatibility and sustainability of energy retrofit interventions on listed buildings*

*di Maurizio Nicoletta\*, Claudio Scognamillo\*, Federica Vitale\**

**Keywords:** compatibility, energy retrofit, sustainability, reuse

**Topic:** 4. Recupero e riuso sostenibili del patrimonio edilizio esistente | Sustainable recovery and reuse of built heritage

## **Abstract**

Reuse interventions on historical and architectural heritage have to satisfy, simultaneously, the requirements connected to the new function and have to assure the maintenance of the formal and aesthetic integrity of the building. It is usual to notice the difficulty in the use of technical solutions which are frequently employed, but often in contrast with the criteria of “compatibility”, introduced in the art.3 of D.P.R. 380/01 for Restoration and conservative renovation.

Referring in particular to the needs of energy retrofit established by the current laws (D.Lgs 192/05) and primary in the reuse processes of listed buildings, the research assumes the adoption of different techniques for the improvement of thermal and humidity performances of the building envelope, analyses the compatibility of these solutions with the preservation of the historical heritage and underlines the environmental effects and the sustainability of the intervention.

## **1. Introduzione**

La rimodulazione degli obiettivi sanciti dall’Unione Europea in termini di sviluppo sostenibile pone l’accento sull’esigenza di riqualificare in termini energetici il patrimonio edilizio esistente.

Le pareti perimetrali, da questo punto di vista, rappresentano un elemento tecnico le cui caratteristiche estetiche non sempre sono compatibili con le attuali più diffuse tecnologie di intervento. Accade, infatti, che spesso per operazioni di retrofit energetico su edifici tutelati, non si possa ad esempio ricorrere ai diffusi, ed efficaci, sistemi di isolamento termico cosiddetto “a cappotto” (ETICS - *External Thermal Insulation Composite Systems*). Per tali casi può essere una buona soluzione quella di ricorrere all’intonaco termoisolante, che opportunamente progettato e formulato può garantire da un lato l’ottimizzazione delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio esistente e dall’altro l’altrettanto importante mantenimento dei caratteri peculiari dell’edilizia tutelata.

In questo contesto, con riferimento alla progettazione degli intonaci termoisolanti, la ricerca in oggetto si è proposta di evidenziare le relazioni tra i diversi parametri microstrutturali e le prestazioni termo-igrometriche specifiche delle alcune tra le diverse formulazioni: la conducibilità termica ed i fenomeni di trasporto liquido-gassosi, connessi fra loro ed incisivi rispettivamente sul comportamento termico e di durabilità dei componenti edilizi, sono fortemente dipendenti dalla distribuzione della massa all’interno del volume del solido, solo parzialmente misurabile tramite il concetto di porosità.

L’analisi ha indagato, muovendo da questi presupposti, l’incidenza delle scelte macroscopiche operabili sui componenti della malta, leganti ed aggregati, sul profilo microstrutturale del prodotto ed ha sperimentato - per una malta confezionata con aggregati di riciclo dalla produzione dei blocchi di calcestruzzo cellulare - la variazione delle caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche in funzione della percentuale in peso di inerte leggero, valutando la potenziale applicazione del prodotto come malta da murature e/o termoisolante.

\* University of Naples Federico II, Italy, maurizio.nicoletta@unina.it, claudio.scognamillo@unina.it, federica.vitale@unina.it

## 2. Gli obiettivi di sostenibilità dell'Unione Europea

L'attività di coordinamento delle politiche economiche degli stati membri è esplicata dall'Unione Europea mediante il delineamento di obiettivi generali ai quali gli indirizzi nazionali devono uniformarsi. Gli ambiziosi propositi di sostenibilità, attesa la complessità della tematica, richiedono interventi afferenti a diverse categorie, interconnessi e difficilmente realizzabili in orizzonti temporali brevi. Il concetto di strategia diviene, pertanto, quello di dinamica guida alla quale orientare la pianificazione e la programmazione nazionali nel breve termine affinché – con una fase di verifica *in itinere* – sia possibile valutare ciclicamente l'effettività delle azioni, apportando correzioni in ragione dei traguardi del lungo periodo, come schematizzato nel ciclo di *Deming*.

La strategia Europa 2020 – adottata il 17 Giugno 2010 – ha sintetizzato i propositi decennali di cinque macroaree tematiche tramite le tre formule di *smart*, *sustainable* ed *inclusive growths*, rispettivamente rappresentative della connessione tra istruzione e promozione della ricerca scientifica, ambiente e comparto sociale (Mayer, 2018).

In particolare, per la *sustainable growth*, selezionato come anno di riferimento il 1990, si intendono fissati per il 2020 tre obiettivi mutuamente legati:

1. riduzione, nella misura minima del 20%, delle emissioni di gas serra, nel seguito GHG;
2. aumento, nella misura minima del 20%, dell'impiego di fonti rinnovabili per la produzione di energia destinata a consumi finali;
3. incremento, nella misura minima del 20%, dell'efficienza energetica.

Il *trend* tracciato a partire dal 2008 e per il quadriennio 2013-2016 evidenzia che a livello europeo l'obiettivo di taglio delle emissioni di GHG è stato performato già nel 2016 con un *delta* negativo rispetto all'anno di riferimento del 22,4%, senza computazione dell'apporto inquinante connesso al consumo di suolo (Mayer, 2018).

La validità delle politiche adottate, prospettata dalle verifiche *in itinere*, ha spinto il Consiglio Europeo ad ampliare progressivamente i propositi di sostenibilità, con una rimodulazione intermedia al 2030 dei sopraelencati obiettivi (- 40% GHG, + 32% fonti rinnovabili, + 32,5% efficienza energetica) sino a giungere entro il 2050 ad un taglio nelle emissioni di GHG del 90% rispetto all'anno base.

### 2.1. L'insostenibilità del comparto edilizio

Il principio delle politiche internazionali è comunemente definito *low carbon* in quanto le emissioni di anidride carbonica, unità di misura anche per altri gas aventi effetto climalterante, sono l'indicatore più rappresentativo della pressione esercitata dalle attività antropogeniche sull'ambiente. Tra queste, il trattamento dei rifiuti, l'agricoltura, il settore dei trasporti e l'edilizia, pur pesando nella misura del 55% in termini emissivi, non sono interessate dalla strategia *Emissions Trading System*, letteralmente di commercializzazione delle quote di GHG, estesa invece ad altri comparti impattanti.

L'edilizia, nel complesso della filiera che la caratterizza, comporta una spesa ambientale nel momento centrale del processo edilizio, la realizzazione del manufatto, *ex ante* nell'apparato industriale di fornitura dei materiali per la costruzione e, infine, *ex post* nell'utilizzo e dismissione dell'opera.

Le industrie di produzione di cemento e calce - materie prime simbolo delle costruzioni - si è stimato abbiano inciso nel 2017 nella misura dell'8% dell'anidride carbonica globalmente emessa (Lehne, Preston, 2018) qualificandosi come terza fonte emissiva dopo i combustibili fossili e le pratiche di deforestazione (Andrew, 2018). I GHG sono ascrivibili per più del 50% alla fase di calcinazione delle materie prime la cui decomposizione libera anidride carbonica (le cosiddette *process emissions*), per il 40% alla somministrazione di energia termica necessaria perché i processi chimici endoergonici siano catalizzati. Residuale, infine, è il contributo dell'insieme di attività propedeutiche alla produzione tra le quali le operazioni di estrazione, trasporto al sito di cottura, macinazione (Lehne, Preston, 2018).

I manufatti edilizi, inoltre, sono sempre più dipendenti da apparati impiantistici energivori indispensabili alla funzionalità delle opere e risolutivi dei problemi connessi alle carenze progettuali in tema termo-igrometrico. L'energia primaria richiesta dal patrimonio edilizio europeo, infatti, assorbe il 40% circa del consumo complessivo ed è impiegata - nel comparto residenziale - soprattutto per il riscaldamento ed il raffrescamento degli ambienti; in Italia la climatizzazione si stima determini una richiesta energetica di 1 tep (tonnellata equivalente di petrolio) per appartamento, corrispondente a circa 5347 kWh (Rapporto annuale efficienza energetica ENEA, 2017) e ad una spesa annuale di circa 1640€ (RSE spa, 2015).

Il patrimonio esistente è definibile un'emergenza in tema energetico poiché più della metà degli edifici sono stati realizzati prima degli anni '80 (Dol, Haffner, 2010) ed un terzo dei manufatti è stato costruito prima del 1950 in assenza di normative in materia di controllo dei consumi (Cirami, Evola, Gagliano, Margani, 2017).

Sono possibili, dunque, alcune riflessioni:

1. gli edifici non moderni incidono in larga misura sui dati dei bilanci energetici;
2. l'assenza della componente progettuale termo-igrometrica ha riverberi economici sia per i consumi da sostenere per il funzionamento degli impianti in grado di assicurare un adeguato *comfort* ambientale interno, che per la manutenzione necessaria a risolvere l'avanzamento di eventuali meccanismi degradativi connessi alla scorretta regolazione della diffusione del vapore acqueo;
3. gli interventi per la causa energetica devono orientarsi al miglioramento delle soluzioni tecnologiche per l'esistente ancor più che per la nuova costruzione, essendo ancora residuali le pratiche di efficientamento energetico degli immobili.

### 3. Il quadro normativo per l'efficientamento energetico

Le direttive europee in materia di rendimento energetico degli edifici sono, com'è noto, la 2002/91/CE e la 2010/31/UE recepite in Italia, rispettivamente, con il D.Lgs. 192/2005 e la Legge 90/2013, di modifica al decreto appena citato. Mentre il primo testo poneva attenzione all'orientamento progettuale per le nuove costruzioni, il secondo ha dato rilievo al tema del rinnovamento del parco edilizio esistente (Mazzarella, 2014).

La congiuntura economica e la crisi del settore edilizio dell'ultimo decennio confermate dai dati relativi alla mole di edifici *ex novo* – attestata sull'1% circa – hanno richiesto un *focus* maggiore sulle pratiche di miglioramento prestazionale del patrimonio costruito, confluito nella direttiva 2012/27/EU ed assorbito nella legislazione italiana con il DLgs 102/2014. Le operazioni sul tessuto consolidato si dimostrano notevolmente più complesse della progettazione del nuovo; in tal secondo caso, infatti, i contenuti normativi sono strumenti di misura della bontà delle soluzioni tecnologiche le quali, una volta scelte, potranno essere facilmente valutate nella congruità alle disposizioni obbligatorie. La complessità dell'intervento sull'esistente, invece, risiede nel doppio ordine di variabilità del contesto ambientale e dell'oggetto dell'azione – di cui potrebbero conoscersi relativamente pochi dati – e nella pluralità di vincoli presenti. Le istanze di adeguamento, infatti, devono essere coniugate a quelle di conservazione della materia, altamente diversificata sia per consistenza formale che propriamente materica.

È altresì significativa la caratterizzazione di storicità di una fabbrica, da intendersi come semplice riferimento cronologico ovvero come rilevanza sul piano identitario di un luogo, e l'azione che può conseguirne. La tutela, come da definizione del DLgs 42/2004, si esplica anche, ma non soltanto, attraverso l'apposizione della vincolistica puntuale – provvedimento ultimo della fase di verifica di sussistenza del valore da salvaguardare – che regola i beni culturali e paesaggistici. Ciò equivale a dire che anche in assenza di riconoscimento di un bene come vincolato, l'appellativo tradizionale comporta di per sé l'attribuzione di una rilevanza identitaria ed un conseguente approccio non ordinario. Tale concetto è esplicitamente richiamato nell'articolo 4 della direttiva 2010/31/UE, derogativo all'articolo 1, che lascia alla legislazione nazionale la discrezionalità nell'estendere o meno gli interventi di miglioramento energetico al patrimonio di valore storico qualora «il rispetto di determinati requisiti minimi di prestazione energetica implichi un'alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto».

### 4. L'isolamento termico mediante ETICS

Gli scambi energetici del sistema edificio avvengono attraverso l'involucro – nelle parti opaca e trasparente, orizzontale e verticale – ed è pertanto sulla componente perimetrale che si interviene con il proposito di migliorare il profilo termo-igrometrico esistente, riducendo la spesa per riscaldamento, raffrescamento e climatizzazione dell'aria oltre che migliorando le condizioni ambientali interne.

Gli ETICS – *External Thermal Insulation Composite Systems* – sono una soluzione tecnologica di isolamento termico delle chiusure verticali opache i cui vantaggi sono considerevoli, per diversi ordini di ragioni:

1. il ricoprimento della facciata con il materiale isolante sul lato esterno avviene con continuità e consente di ottenere un uniforme disaccoppiamento degli ambienti interno ed esterno;
2. la scelta di un materiale coibente dal basso profilo conduttivo garantisce, anche con spessori relativamente

contenuti, la regolazione del flusso termico sfruttando l'inerzia delle pareti sul lato interno;

3. il posizionamento esterno del coibente riduce il rischio di condensa interstiziale, frequente in caso di spessore isolante interno.

L'efficacia prestazionale degli ETICS e la varietà di soluzioni spendibili – tipo e spessore di isolante e finitura – ne hanno incrementato notevolmente la diffusione negli ultimi anni per gli interventi di miglioramento energetico di edifici esistenti, soprattutto residenziali (Amaro, Colen, de Brito, 2012).

Tra i limiti degli ETICS, tuttavia, è possibile annoverare l'esiguità di dati sulla durabilità della soluzione – trattandosi di interventi relativamente moderni – e la ridotta compatibilità in caso di applicazioni migliorative su edilizia storica o tradizionale.

L'ETICS presuppone, infatti, una copertura totale delle parti opache della facciata tramite l'apposizione del pannello e dei relativi strati superiori e questa soluzione può comportare, inevitabilmente, un'alterazione sul piano estetico-architettonico del manufatto: l'ipotesi applicativa su edifici storici appare non operabile secondo i dettami normativi dei DPR 380/01 e DLgs 42/04 in materia edilizia e di beni culturali e del paesaggio. È altresì sconsigliabile un intervento di copertura dei prospetti di tessuti consolidati, non necessariamente costituiti da edifici storici ma comunque caratterizzanti il paesaggio; è questo il caso di numerosi borghi interamente realizzati in pietra locale non intonacata che sarebbe compromessa dagli ETICS nella sua rilevanza formale.

## 5. L'isolamento termico degli edifici tutelati mediante gli intonaci termoisolanti

Per migliorare le prestazioni termiche dell'involucro si può agire sull'inerzia termica, sulla resistenza e sulla stratificazione (Di Perna, Munafò, Stazi, Vegliò, 2013). La conoscenza sistematica dell'esistente è una prerogativa alla parte progettuale e deve essere minuziosamente condotta, pur con ipotesi semplificative, affinché sia chiara la strategia meglio performante all'obiettivo. Alcune analisi sviluppate su tessuti edilizi tradizionali hanno evidenziato che gli elementi murari non sono i componenti più disperdenti, caratteristica -questa- delle coperture e dei solai di primo calpestio, ma hanno un'estensione importante e pesano nel bilancio energetico complessivo (Cantatore, De Fino, Fatiguso, Scioti, 2017).

Le soluzioni tecnologiche disponibili per le chiusure verticali opache sono schematizzabili come riportato in (Fig.1) e comprendono componenti di tipo pannello ed intonaci termoisolanti. Escluse le applicazioni esterne, l'isolamento termico interno con pannelli pur avendo una buona efficacia, in particolare su supporti non stratificati (Di Perna, Munafò, Stazi, Vegliò, 2013), si rivela spesso svantaggioso per la riduzione di spazio che ne consegue e per il rischio di condensazione del vapore acqueo e di insorgenza di macchie e muffe sul rivestimento legati, come in precedenza riportato, alla rapida riduzione della temperatura sulla superficie interna dell'isolante (Cirami, Evola, Gagliano, Margani, 2017).

L'intonaco termoisolante può essere in definitiva un buon compromesso tra l'ottimizzazione delle prestazioni energetiche del parco edilizio esistente e l'altrettanto importante mantenimento dei caratteri peculiari dell'edilizia tutelata. La soluzione resta ancora incompatibile con la casistica di ambienti interni affrescati o decorati per i quali, attesa la vincolistica, potrà rendersi vantaggiosa una dotazione impiantistica di efficientamento.

Perché un intonaco sia definito termoisolante, i parametri di resistenza termica devono sensibilmente ridursi rispetto ad una malta tradizionale. Generalmente i rivestimenti coibenti hanno valori di conducibilità pari a 0,06 W/mK, circa 10 volte inferiore agli intonaci ordinari, (Bianco, Dutto, Fantuccia, Massolino, Serra, 2014) oltre che alti coefficienti di permeabilità al vapore acqueo che migliorano le proprietà igrometriche del componente a cui sono applicati.

La scelta della strategia di intervento richiede l'individuazione di parametri capaci di modellare lo stato corrente dell'oggetto e quello *post* progettuale per verificare l'entità dell'efficientamento. Le tecniche di *clustering* consentono, a tal proposito di ricondurre le caratteristiche di un elemento ad una classe – parte di un inventario redatto con la conoscenza puntuale dei parametri – e di derivarne il comportamento per analogia. Per i sistemi tecnologici, ad esempio, noti i parametri termici, igrometrici, geometrici e materici di alcuni paramenti murari, si individuano le equazioni che governano i fenomeni oggetto di studio e si modella il comportamento del componente con appositi software. Nel seguito, l'elemento tecnologico *i-esimo* avente caratteristiche simili ai casi repertati sarà modellato, per analogia, senza la misurazione puntuale dei parametri (de Place Hansen, Møller, 2018).

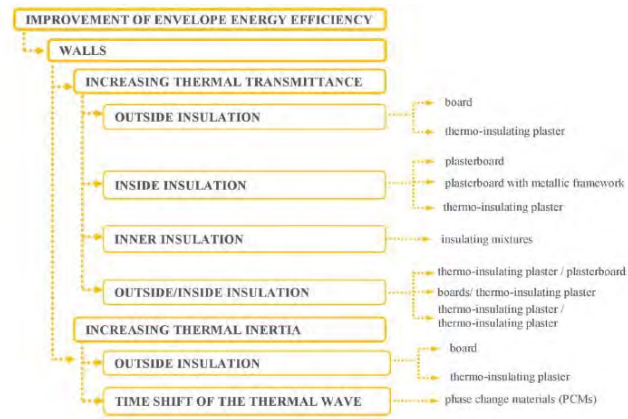


Fig. 1 – Soluzioni tecnologiche di efficientamento energetico dell'involucro: i muri –  
Fonte: Methodological framework for assessment of energy behavior of historic towns in Mediterranean climate

### 5.1. Il legame porosità - proprietà termoigrometriche dei materiali

I termini che regolano il profilo termico ed igrometrico di un materiale sono legati alla porosità che influenza la conduttività, l'assorbimento d'acqua, la veicolazione dell'aria ed il passaggio di vapore acqueo oltre che le proprietà meccaniche, in particolare dei percorsi di frattura.

Il problema è essenzialmente governato da due relazioni:

1. la conduttività risente del contenuto di umidità dei materiali, delle caratteristiche ambientali (umidità relativa, temperatura) e della capacità di assorbimento e veicolazione dei liquidi;
2. la porosità è direttamente connessa ai fenomeni di diffusione dell'acqua.

Per tali considerazioni è possibile scegliere la porosità come parametro di studio per la modellazione termica ed igrometrica dei componenti edilizi, caratterizzandone la distribuzione geometrica e quantificandone l'influenza sulle misure della prestazione energetica.

Il contenuto di umidità, con riferimento al primo punto appena citato, impatta negativamente sulle proprietà esibite dai materiali, altresì variabili nel tempo e – a parità di condizioni di produzione – influenzate dalla cantierizzazione. L'analisi delle proprietà igrometriche, dunque, deve essere condotta con l'ausilio di modelli stocastici utili a calcolare, in funzione del tempo, i parametri da inserire all'interno delle equazioni descrittive dei fenomeni fisici. L'approccio stocastico prevede un *range* di variabilità delle proprietà dei materiali – meccaniche, termiche, igrometriche – con distribuzione normale di probabilità; assegnati casualmente i valori entro l'intervallo fissato si simula il comportamento dell'elemento tramite Metodo Montecarlo. La sequenza è ripetuta per ogni spessore della stratigrafia del componente edilizio così da assicurare la massima variabilità analitica.

Alcuni dei software disponibili consentono, con definite condizioni ambientali al contorno, di diagrammare il valore di conduttività del materiale  $i$ -esimo in funzione del contenuto di umidità e di parametri asciutti secondo l'(Eq. 1):

$$(1) \quad \lambda(u) = \lambda_{dry} \cdot \left(1 + \frac{b \cdot u}{\rho_{dry}}\right)$$

con:

|                 |                                              |   |                                        |
|-----------------|----------------------------------------------|---|----------------------------------------|
| $\lambda$       | conducibilità termica                        | u | contenuto di umidità in % di peso      |
| $\lambda_{dry}$ | conducibilità termica in condizioni asciutte | b | contenuto di umidità addizionale, in % |
| $\rho_{dry}$    | densità in condizioni asciutte               |   |                                        |

Il Metodo Montecarlo fornisce i valori simulati di  $u$ ,  $\lambda_{dry}$ ,  $\rho_{dry}$  da inserire nell'equazione. Come riportato da Holm, Karagiozis, Salonvaara, l'oscillazione contenuta delle grandezze riferite ad un solo strato di una chiusura verticale può comportare variazioni significative negli altri strati: ad un delta dei parametri dell'intonaco esterno compreso tra il 5% ed il 20% è corrisposta, ad esempio, una variazione del contenuto d'acqua nello strato di supporto del 50%.

Le equazioni disponibili in letteratura mostrano che la porosità influenza la risposta termica dei materiali in

virtù dell'isotropia o anisotropia dei vuoti, dell'orientamento dei pori rispetto al flusso di energia e, nelle formulazioni più complesse, dell'emissività del materiale (Frankl, Kingery, 1954).

Le applicazioni sperimentali hanno evidenziato che la temperatura del materiale modifica la risposta emissiva e, di conseguenza, i meccanismi di trasferimento dell'energia sotto forma calore: in realtà la temperatura di sintesi influenza *in primis* la porosità.

#### 5.1.1. La caratterizzazione geometrica della porosità di una malta: dimensione, forma, superficie frattale

La conoscenza della porosità di una malta da intonaco è utile a qualificare aspetti di durabilità oltre che le prestazioni attese in campo termico. L'obiettivo è derivare le caratteristiche macroscopiche dall'analisi microstrutturale. La porosità più incidente sui fenomeni di trasporto e sulla vulnerabilità dei conglomerati è quella capillare, connessa agli spazi tra i prodotti di idratazione, irregolari e di dimensioni massime di  $0,1 \mu\text{m}$ , controllabile tramite un adeguato rapporto acqua/legante (Alvarez, Arandigoyen, 2005).

Uno dei metodi disponibili per la caratterizzazione è la MIP (*Mercury Intrusive Porosimetry*) che associa alla quantità di mercurio iniettato ad una pressione nota il volume dei pori con raggio superiore ad un certo valore (sotto ipotesi di geometria sferica o cilindrica); la legge che regola il fenomeno è funzione della tensione superficiale del liquido e del coseno dell'angolo di contatto di intrusione.

La superficie frattale, invece, è un parametro di misura dell'eterogeneità della forma dei pori, impiegata per descrivere sistemi caotici invarianti rispetto alla scala di analisi. Una delle formulazioni per la lettura del valore della dimensione frattale è quella di Zhang e Li che impiega come *input* i risultati della MIP: il tipo di legante ed i conseguenti prodotti di idratazione influenzano questo parametro (Alvarez, Arandigoyen, 2005).

#### 5.2. Il legante e gli effetti sulla porosità delle malte: calce aerea, calce idraulica e calce-cemento

Il tipo di legante e di aggregati, la quantità di acqua di impasto, i parametri ambientali della fase di preparazione e successiva stagionatura influenzano i valori della porosità di una malta. Le malte realizzate con calce aerea, ad esempio, presentano una porosità aperta e chiusa superiore ed una distribuzione dimensionale di tipo bimodale più variata. La progressiva sostituzione del legante calcareo con quello cementizio riduce la percentuale dei vuoti e la geometria dei pori; i prodotti di idratazione del cemento, infatti, tendono a saturare i vuoti di dimensioni maggiori ed aumentano i pori del gel che sono, tuttavia, ininfluenti a livello termico ed igrometrico. Ad essere modificata è anche la distribuzione volumetrica dei vuoti che assume un andamento unimodale e la dimensione frattale, superiore perché la struttura è più caotica e frastagliata (Mosquera, Prieto, Ruiz-Herrera, Silva, 2004). Una terza strada percorribile è quella della calce idraulica che ha caratteristiche molto simili ad una pasta calce-cemento sia per quanto attiene alla tipologia di pori – prevalenza di sferici non connessi, riduzione di quelli allungati dovuti alle microfessure da indurimento – che per la percentuale di vuoti (Mosquera, Prieto, Ruiz-Herrera, Silva, 2004).

Le evidenze sperimentali hanno dimostrato, infine, che a pesare sui fenomeni di trasporto è la geometria più che la percentuale in peso dei vuoti, pertanto, a parità di volume di pori, la dimensione del vuoto e il coefficiente di diffusività variano linearmente.

### 6. Le malte confezionate con aggregati da riciclo, caso studio: analisi chimico-fisiche e meccaniche

La sperimentazione, effettuata a cura del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile Ambientale dell'Università degli studi di Napoli Federico II, ha caratterizzato chimicamente, fisicamente e meccanicamente alcuni campioni di malta confezionati con aggregato ottenuto dal materiale di sfrido della produzione di blocchi di calcestruzzo cellulare tipo *Gasbeton*, con lo scopo di testarne la possibilità di impiego per confezionare intonaci termoisolanti.

L'aggregato è stato dapprima qualificato con il tracciamento della curva di distribuzione granulometrica tramite setacciatura a secco in accordo alla norma UNI EN 933-1, ottenendo una misura massima dei granuli di 4mm, una percentuale al fondo di 0,07% ed una prevalenza di diametri nell'intervallo 1-2 mm. Sono stati

misurati, inoltre, i parametri di massa volumica apparente dei granuli  $\rho_a$ , massa volumica dei granuli essiccati in stufa  $\rho_{rd}$ , massa volumica apparente dei granuli in condizioni di saturazione a superficie asciutta  $\rho_{ssd}$  ed il coefficiente di assorbimento d'acqua dopo immersione di 24 ore  $W_{A24}$  con il “Metodo con picnometro Le Chatelier per aggregati con granuli passanti attraverso il setaccio di prova da 31,5 mm e trattenuti dal setaccio di prova da 4 mm” secondo le modalità indicate nella norma UNI EN 1097-6, con i risultati riportati in (Tab.1).

Tab.1 – Caratterizzazione geometrica dell'aggregato: assorbimento d'acqua e massa volumica secondo UNI EN 1097-6 – Fonte: Caratterizzazione chimico-fisica di aggregati riciclati come materia prima seconda nel settore delle costruzioni (tesi di laurea)

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| M1 (g)                         | 77,93  |
| M2(g)                          | 477,73 |
| M3 (g)                         | 452,29 |
| M4 (g)                         | 45,11  |
| $r_w$ (Mg/m <sup>3</sup> )     | 1,00   |
| $r_{rd}$ (Mg/m <sup>3</sup> )  | 0,86   |
| $r_a$ (Mg/m <sup>3</sup> )     | 2,29   |
| $r_{ssd}$ (Mg/m <sup>3</sup> ) | 1,48   |
| $W_{A24}$ (%)                  | 72,76  |

con:

M1 massa in aria dell'aggregato saturo a superficie asciutta

M2 massa del picnometro contenente il campione di aggregato saturo in acqua

M3 massa del picnometro riempito con sola acqua

M4 massa in aria del campione essiccato in stufa

La quantificazione e la qualificazione delle specie chimiche e mineralogiche presenti nell'aggregato – silicati idrati di calcio, carbonato di calcio, calce, solfato di calcio diidrato – sono state effettuate, invece, con le analisi termogravimetrica, termica differenziale e diffrattometrica ai raggi X.

### 6.1. Le prove su malta indurita

Una miscela di riferimento contenente inerte sabbioso è stata confrontata con campioni di malta con aggregato riciclato in proporzione crescente – con numero e geometria di provini definito dalla norma UNI EN 196-1 – e variata quantità di acqua di impasto, come riassunto nella (Tab.2)

Tab.2 –Composizione delle miscele analizzate – Fonte: Caratterizzazione chimico-fisica di aggregati riciclati come materia prima seconda nel settore delle costruzioni (tesi di laurea)

| SIGLA MISCELA | HL (g) | SS (g)  | AR (g) | % AR su aggregato | H2O (g) | W/B ratio |
|---------------|--------|---------|--------|-------------------|---------|-----------|
| 1             | 450    | 1350,00 | 0      | 0                 | 225,00  | 0,50      |
| 2             | 450    | 1181,25 | 168,75 | 12,5              | 337,50  | 0,75      |
| 3             | 450    | 1012,50 | 337,50 | 25                | 450,00  | 1,00      |
| 4             | 450    | 843,75  | 506,25 | 37,5              | 562,50  | 1,25      |
| 5             | 450    | 675,00  | 675,00 | 50                | 675,00  | 1,50      |

con:

HL calce idraulica

SS sabbia silicea

AR aggregato riciclato

H2O acqua distillata

W/B ratio rapporto acqua-legante

L'analisi condotta ha considerato due campi di impiego per le malte, da intonaco e da muratura, approfondendo sia le caratteristiche meccaniche che quelle termiche. La porosità, il coefficiente di assorbimento di acqua per immersione totale e per capillarità e le densità reale ed apparente, in particolare, sono state misurate

quali grandezze utili direttamente allo studio delle proprietà termiche ed indirettamente agli aspetti di durabilità e di resistenza meccanica, quest'ultima qualificata con specifiche prove a flessione e a compressione e di aderenza al supporto.

I diagrammi mostrati in (Fig.2) evidenzia la proporzionalità diretta tra la percentuale in peso di aggregato leggero ed i valori di porosità e/o assorbimento di acqua, rispettivamente raddoppiati e triplicati nel passaggio dalla miscela 1 alla miscela 5; la densità reale e quella apparente sono, prevedibilmente e concordemente a quanto appena riportato, proporzionali in misura inversa alla quantità di aggregato leggero con un tasso di riduzione del 17% (densità reale) e del 40% (densità apparente) per le miscele limite 1 e 5.

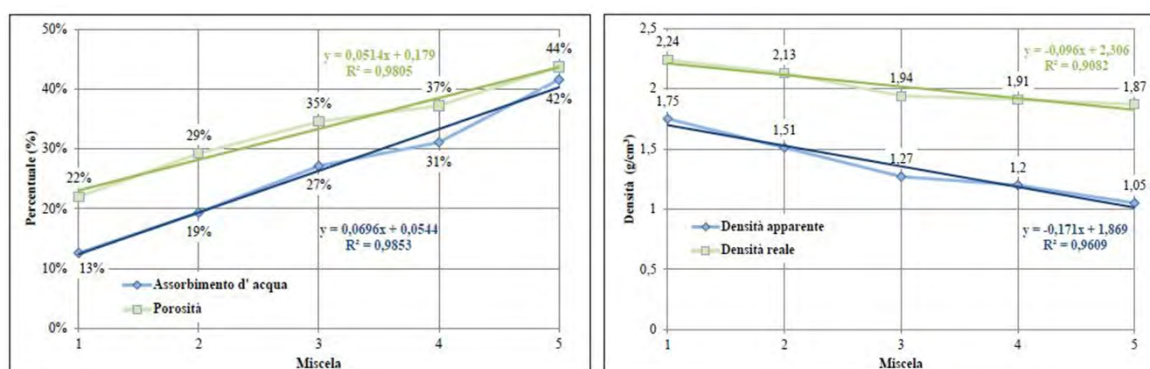


Fig.2 –Diagrammi di porosità, assorbimento d'acqua, densità reale ed apparente – Fonte: Caratterizzazione chimico-fisica di aggregati riciclati come materia prima seconda nel settore delle costruzioni (tesi di laurea)

Le prove di aderenza condotte su tre differenti supporti – laterizio, lapilcimento e tufo – hanno analizzato la resistenza allo strappo della malta nonché il tipo di rottura verificatosi, con prestazioni migliori ottenute sul supporto in lapilcimento pur con un decrescente valore della resistenza all'aumentare della percentuale di aggregato riciclato.

Il paradigma meccanico è stato perfezionato, infine, tramite le prove di resistenza a flessione a tre punti e di compressione monoassiale – secondo i dettami della norma UNI EN 1015-11 – con risultati qualitativamente ipotizzabili tenuto conto dei valori di densità e porosità misurati: all'aumentare della percentuale di aggregato leggero corrispondono sensibili riduzioni di resistenza meccanica, sia flessionale che normale.

In ragione del prospetto 2 della norma UNI EN 998-1 “Sommario dei requisiti per le malte indurite” si è constatato che le miscele 3,4,5 sono impiegabili come elementi termici ma non per murature.

Tab.3 – Prova di aderenza: resistenza all'adesione per trazione – Fonte: Caratterizzazione chimico-fisica di aggregati riciclati come materia prima seconda nel settore delle costruzioni (tesi di laurea)

| TIPO DI SUPPORTO | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|------------------|------|------|------|------|------|
| tufo             | 0,29 | 0,34 | 0,04 | 0,05 | 0,00 |
| lapilcimento     | 0,56 | 0,26 | 0,14 | 0,12 | 0,09 |
| laterizio        | 0,24 | 0,34 | 0,30 | 0,16 | 0,10 |
| MPa              |      |      |      |      |      |

Tab.4 –Prova di resistenza a flessione e a compressione monoassiale – Fonte: Caratterizzazione chimico-fisica di aggregati riciclati come materia prima seconda nel settore delle costruzioni (tesi di laurea)

| PROVA        | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
|--------------|------|------|------|------|------|
| flessione    | 2,62 | 1,54 | 0,67 | 0,13 | 0,17 |
| compressione | 6,93 | 4,53 | 1,58 | 0,94 | 0,64 |
| Mpa          |      |      |      |      |      |

È in fase di valutazione, invece, la conducibilità termica dei campioni, parametro – questo – direttamente rappresentativo della capacità di isolamento termico del prodotto e dunque decisivo per l'impiego ipotizzato, mentre le caratteristiche meccaniche esposte sono già soddisfacenti per altri impieghi come malta per sottofondi o per murature.



## Conclusioni

Le difficoltà progettuali di efficientamento energetico del parco edilizio esistente risiedono nella varietà dell'oggetto su cui si agisce e nella presenza di limiti operazionali – connessi alla storicità della materia – che presuppongono la verifica della compatibilità dell'intervento prospettato.

Con riferimento a manufatti soggetti alle azioni di tutela previste dal corpo legislativo italiano – e non necessariamente vincolati – sono state analizzate le criticità palesate dalle operazioni di copertura esterna delle facciate del tipo ETICS, inevitabilmente lesive dei caratteri formali dell'edilizia storica, ovvero di interventi con pannelli posti sui paramenti interni, forieri di meccanismi di degrado connessi alla condensazione interstiziale del vapore acqueo.

Il ricorso al rivestimento con intonaco termoisolante potrebbe, pertanto, essere una strategia migliorativa delle prestazioni ed al contempo compatibile con la natura dei manufatti ivi considerati. In merito alla migliore composizione utilizzabile per questi elementi, ed alle relative caratteristiche chimico-fisiche, la letteratura evidenzia in particolare che la porosità è un parametro fondamentale; in particolare i vuoti influenzano la conduttività ed i fenomeni di trasporto dei liquidi e si caratterizzano per forma, distribuzione dimensionale ed interconnessione. Attesa la variabilità delle caratteristiche di un conglomerato in funzione di legante ed aggregati, lo studio delle equazioni che governano le relazioni tra vuoti, conducibilità, assorbimento e diffusività costituiscono il presupposto per indagare come controllare la porosità delle malte per ottenere il profilo termico ed igrometrico auspicato, giungendo ad un *mix design* dei vuoti.

La sperimentazione effettuata, infine, ha posto in risalto come la variazione percentuale dell'aggregato leggero determini modifiche consistenti della porosità del conglomerato e, presumibilmente, della prestazione termoisolante, in fase di valutazione per mezzo della misura della conducibilità.

L'incremento dei vuoti può, tuttavia, sostanzialmente problematiche nella durabilità – come conseguenza della maggiore propensione all'assorbimento e alla veicolazione di liquidi di una struttura porosa – e nell'applicabilità del prodotto quale malta da muratura o termica.

Possibili futuri sviluppi potrebbero, pertanto, approfondire gli aspetti di vulnerabilità conseguenti all'adozione di aggregati leggeri riciclati, caratterizzandone geometricamente la porosità e ricercando la condizione di *optimum* che contemperi le prestazioni termiche e/o meccaniche a quelle di durabilità, imprescindibili perché una scelta sia considerabile come performante.

## Bibliografia

- Alvarez, J.I., Arandigoyen, M. [2005]. “Blended pastes of cement and lime: pore structure and capillary porosity”, in *Applied Surface Science*, 252, pp. 8077-8085.
- Amaro, B., Flores-Colen, I., de Brito, J., Saraiva, D. [2012]. “Statistical survey of the pathology, diagnosis and rehabilitation of ETICS in walls”, in *Journal of Civil Engineering and Management*, 20, pp. 511-526.
- Andrew, R.M. [2018]. “Global CO2 emissions from cement production”, in *Earth System Science Data*, 10, pp. 195-217.
- Bianco, L., Dutto, M., Fantucci, S., Massolino, M., Serra, V. [2014]. “Thermal insulating plaster as a solution for refurbishing historic building envelopes: first experimental results”, in *Energy and Buildings*, 95, pp.86-91.
- Cantatore, E., De Fino, M., Fatiguso, F., Sciotti, A. [2017]. “Methodological framework for assessment of energy behavior of historic towns in Mediterranean climate”, in *Energy and Buildings*, 144, pp.87-103.
- Cirami, S., Evola, G., Gagliano, A., Margani, G. [2017]. “Thermal and Economic Analysis of Renovation Strategies for a Historic Building in Mediterranean Area”, in *Buildings*, 7, pp.60-79.
- de Brito, J., Flores-Colen, I., Freitas, V.P. [2008]. “Stains in façades rendering – diagnosis and maintenance technique classification inspection”, in *Construction and Building Materials*, 22, pp.211-221.
- De Marco, L., Ferrara, D. [2018]. *Caratterizzazione chimico-fisica di aggregati riciclati come materia prima seconda nel settore delle costruzioni* (Tesi di laurea).
- de Place Hansen, E.J., Møller, E.B. [2018]. “How to estimate material properties for external walls in historic buildings before applying internal insulations”, in Broström, T., Carlsten S., Nilsen L. (a cura di). *Conference report The 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings*, Visby: Uppsala University.
- Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia*.
- Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n.42, *Codice dei beni culturali e del paesaggio ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002 n.137*.
- Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico*

*nell'edilizia .*

Decreto Legislativo 4 luglio 2014, n.102, *Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.*

Di Perna, C., Munafò, P., Stazi, F., Vegliò, A. [2013]. “Experimental comparison between three different traditional wall constructions and dynamic simulations to identify optimal thermal insulation strategies”, in *Energy and Buildings*, 60, pp.429-441.

Direttiva Europea 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico in edilizia.

Direttiva Europea 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica in edilizia.

Direttiva Europea 2012/27/EU del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

Dol, K., Haffner, M. [2010], *Housing statistics in the European Union*, Delft: Delft University of Technology.

Frankl, J., Kingery, W.D. [1954]. “Thermal conductivity: IX, Experimental Investigation of Effect of Porosity on Thermal Conductivity”, in *Journal of the American Ceramic Society*, 37, pp.99-107.

Holm, A., Karagiozis, A., Salonvaara, M. [2001]. “Stochastic Building Envelope Modeling – The influence of Material Properties”, in Broström, T., Carlsten S., Nilsen L. (a cura di). *Conference report The 3rd International Conference on Energy Efficiency in Historic Buildings*, Visby: Uppsala University.

Legge nazionale 3 agosto 2013, n.90, *Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.*

Lehne, J., Preston, F. [2018]. *Making Concrete Change. Innovation in Low-carbon Cement and Concrete*, Cambridge: Cambridge ip.

Mayer, C. [2018]. *Smarter, greener, more inclusive? Indicators to support the Europe 2020 strategy*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Mazzarella, L. [2014]. “Energy retrofit of historic and existing buildings. The legislative and regulatory point of view”, in *Energy and Buildings*, 95, pp.23-31.

Mosquera, M.J., Prieto, B., Ruiz-Herrera, E., Silva, B. [2004]. “Addition of cement to lime-based mortars: effect on pore structure and vapor transport”, in *Cement and Concrete Research*, 36, pp.1635-1642.

Rapporto annuale efficienza energetica ENEA [2017]. *Analisi e risultati delle policy di efficienza energetica del nostro paese.*

Ricerca sul Sistema Energetico - RSE spa, [2015]. *Edifici Energeticamente Efficienti: un'opportunità*, Milano: Editrice Alkes.

UNI EN 1015-11:1999, *Metodi di prova per malte da muratura – Parte 11: Determinazione della resistenza a flessione e a compressione di una malta indurita.*

UNI EN 933-1:2012, *Prove per determinare le caratteristiche geometriche degli aggregati - Parte 1: Determinazione della distribuzione granulometrica - Analisi granulometrica per setacciatura.*

UNI EN 1097-6:2013, *Prove per determinare le proprietà meccaniche e fisiche degli aggregati - Parte 6: Determinazione della massa volumica dei granuli e dell'assorbimento d'acqua.*

UNI EN 196-1:2016, *Metodi di prova dei cementi - Parte 1: Determinazione delle resistenze meccaniche.*

UNI EN 998-1: 2016, *Specifiche per malte per opere murarie - Parte 1: Malte per intonaci interni ed esterni.*