

Direttore

Olimpia Niglio

Kyoto University, Japan

Comitato scientifico

Taisuke Kuroda

Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan

Rubén Hernández Molina

Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Pastor Alfonso Sánchez Cruz

Revista Horizontes de Arquitectura, Mexico

Alberto Sposito

Università degli Studi di Palermo

Karin Templin

University of Cambridge, Cambridge, UK

Comitato di redazione

Giuseppe De Giovanni

Università degli Studi di Palermo

Marzia Marandola

Sapienza Università di Roma

Mabel Matamoros Tuma

Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría, La Habana, Cuba

Alessio Pipinato

Università degli Studi di Padova

Bruno Pelucca

Università degli Studi di Firenze

Chiara Visentin

Università IUAV di Venezia

ESEMPI DI ARCHITETTURA

La collana editoriale Esempi di Architettura nasce per divulgare pubblicazioni scientifiche edite dal mondo universitario e dai centri di ricerca, che focalizzino l'attenzione sulla lettura critica dei progetti. Si vuole così creare un luogo per un dibattito culturale su argomenti interdisciplinari con la finalità di approfondire tematiche attinenti a differenti ambiti di studio che vadano dalla storia, al restauro, alla progettazione architettonica e strutturale, all'analisi tecnologica, al paesaggio e alla città.

Le finalità scientifiche e culturali del progetto EDA trovano le ragioni nel pensiero di Werner Heisenberg Premio Nobel per la Fisica nel 1932.

... È probabilmente vero, in linea di massima, che nella storia del pensiero umano gli sviluppi più fruttuosi si verificano spesso nei punti d'interferenza tra diverse linee di pensiero. Queste linee possono avere le loro radici in parti assolutamente diverse della cultura umana, in diversi tempi ed in ambienti culturali diversi o di diverse tradizioni religiose; perciò, se esse veramente si incontrano, cioè, se vengono a trovarsi in rapporti sufficientemente stretti da dare origine ad un'effettiva interazione, si può allora sperare che possano seguire nuovi ed interessanti sviluppi.

Il patrimonio pittorico murale dei Sacri Monti

Monitoraggio valorizzazione e recupero

a cura di

Alberto Carpinteri



EdA – Collana editoriale internazionale con obbligo del *Peer review* (SSD A08 – Ingegneria Civile e Architettura), in ottemperanza alle direttive del Consiglio Universitario Nazionale (CUN), dell’Agenzia Nazionale del sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR) e della Valutazione Qualità della Ricerca (VQR). Peer Review per conto della Direzione o di un membro della Redazione e di un Esperto Esterno (*clear peer review*).

Copyright © MMXVII
ARACNE editrice int.le S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Quarto Negroni, 15
00040 Ariccia (RM)
(06) 45551463

ISBN 978-88-548-9753-3

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell’Editore.*

I edizione: febbraio 2017

Indice

11 *Prefazione*

13 Capitolo I

Cos'è un Sacro Monte? Per una casistica dei Sacri Monti prealpini

23 Capitolo II

La conservazione del Sacro Monte di Varallo: nuove conoscenze, temi aperti ed esperienze esportabili

2.1. Introduzione ai fenomeni di degrado presenti nei Sacri Monti, 23 – 2.2. I primi sintomi del deteriorarsi delle strutture architettoniche delle cappelle e dell'apparto decorativo, 24 – 2.3. Attualità dei problemi, 26 – 2.4. Casi di studio: tecniche storiche efficaci e loro riproducibilità, 26 – 2.5. Tecniche diagnostiche innovative non invasive, 27

29 *Tavole*

35 Capitolo III

Formulazione, caratterizzazione e valutazione di consolidanti e protettivi ibridi organici inorganici per la conservazione degli intonaci esterni

3.1. Consolidanti innovativi nel settore del restauro: prodotti ibridi organici inorganici, 35 – 3.2. Materiali e metodi, 37 – 3.3. Risultati principali, 39 – 3.4. Conclusioni, 42

43 Capitolo IV

Caratterizzazione degli intonaci di alcune cappelle del Sacro Monte di Varallo, formulazione di miscele compatibili e sintesi di prodotti consolidanti adeguati

4.1. Gli intonaci delle cappelle del Sacro Monte di Varallo: caratterizzazione e conservazione, 43 – 4.2. Caratterizzazione degli intonaci, 44 – 4.2.1. *Il campionamento*, 44 – 4.2.2. *Tecniche di analisi e risultati*, 45 – 4.3. Prove di mix-design di un intonaco compatibile, 47 – 4.4. Considerazioni conclusive, 49

53 **Capitolo V**

La crescita biologica sui materiali lapidei di alcune cappelle del Sacro Monte di Varallo Sesia

5.1. La conservazione delle opere d'arte in relazione alla crescita biologica, 53 – 5.2. Le tecniche di indagine impiegate per l'analisi dei campioni prelevati dalle superfici esterne delle Cappelle, 54 – 5.3. Risultati e discussione, 55

61 **Capitolo VI**

Il Sacro Monte di Varallo: valutazione del rischio sismico tramite monitoraggio con le Emissioni Acustiche e modelli numerici strutturali

6.1. Introduzione: il sito storico del Sacro Monte di Varallo, 61 – 6.2. Il monitoraggio della Cappella XVII, 64 – 6.3. EA ed eventi sismici, 67 – 6.3.1. *Algoritmi di correlazione tra EA ed eventi sismici*, 69 – 6.4. EA come precursori sismici nel sito del Sacro Monte di Varallo, 70 – 6.5. Analisi dinamica spettrale agli elementi finiti della Cappella XVII, 76 – 6.6. Conclusioni, 82

85 **Capitolo VII**

Analisi del danneggiamento delle murature affrescate tramite la tecnica delle Emissioni Acustiche

7.1. Introduzione, 85 – 7.2. Analisi del danneggiamento dei supporti strutturali delle superfici decorate, 87 – 7.3. Monitoraggio tramite EA della risalita capillare nella malta, 96 – 7.4. Modellazione agli elementi finiti della Cappella XVII, 100 – 7.5. Conclusioni, 103

109 **Capitolo VIII**

Proprietà di scala del danneggiamento da misure di resistenza elettrica: un'applicazione alle statue in terracotta del Complesso rinascimentale del Sacro Monte di Varallo

8.1. Introduzione, 109 – 8.2. Variabile di danneggiamento e sua espressione in termini di variazioni di resistenza elettrica, 112 – 8.3. Sforzo dipendente dal tempo su provini di laboratorio, 113 – 8.4. Sforzo costante sulle statue di terracotta, 116 – 8.5. Conclusioni, 118

121 Capitolo IX

Prove ultrasoniche per la valutazione della durabilità delle interfacce malta–blocco nei sistemi murari

9.1. Introduzione, 121 – 9.2. Obiettivi e articolazione dello studio, 122 – 9.3. Programma sperimentale, 124 – 9.3.1. *Materiali e provini*, 124 – 9.3.2. *Protocollo di danneggiamento*, 125 – 9.3.3. *Misure ultrasoniche*, 127 – 9.3.4. *Analisi dei dati*, 129 – 9.4. *Risultati e discussione*, 131 – 9.5. Conclusioni, 137

139 Capitolo X

Prove statiche di aderenza fra intonaco e muratura: confronto tra risultati sperimentali e simulazione numerica

10.1. L'importanza della pre-qualificazione, 139 – 10.2. Materiali per confezionamento dei provini ed esecuzione delle prove sperimentali di laboratorio, 142 – 10.2.1. *Provini singoli materiali*, 142 – 10.2.2. *Provini misti pietra–malta*, 143 – 10.3. Risultati sperimentali, 146 – 10.3.1. *Provini singoli materiali*, 146 – 10.3.2. *Provini misti pietra–malta*, 147 – 10.4. Il modello della fessura coesiva, 149 – 10.5. Confronto tra risultati sperimentali e numerici, 152 – 10.6. Conclusioni, 154

157 Capitolo XI

Sonoscopia Endosuperficiale: un metodo acustico diagnostico per lo stato di conservazione degli affreschi del Sacro Monte di Varallo

11.1. Introduzione, 157 – 11.2. Cenni teorici di base: l'assorbimento acustico, 160 – 11.3. Stato dell'arte, 162 – 11.4. Sonoscopia Endosuperficiale, 166 – 11.5. Validazione del metodo di misura e prime evidenze sperimentali, 174 – 11.6. Considerazioni conclusive e prospettive future, 182

Prefazione

ALBERTO CARPINTERI*

Il presente volume raccoglie i contributi scientifici sviluppati nell'ambito del progetto intitolato *Preservation, Safeguard and Valorisation of Masonry Decorations in the Architectural Historical Heritage of Piedmont*, acronimo RE-FRESCOS, che riguarda il tema della Valorizzazione e Tutela del Patrimonio Artistico e Culturale. Tale progetto è stato approvato dalla regione Piemonte con Determinazione Dirigenziale No. 151 del 7 agosto 2009 ed ha ottenuto un finanziamento totale di 655.178,99 Euro. L'attività di ricerca multidisciplinare – svolta in collaborazione tra diversi dipartimenti del Politecnico di Torino, la Divisione Termodinamica dell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM) di Torino, e la Riserva Naturale Speciale del Sacro Monte di Varallo (VC) – è stata rivolta principalmente alla salvaguardia del *Sacro Monte di Varallo* in Piemonte, patrimonio culturale dell'UNESCO dal 2003.

Il Progetto RE-FRESCOS si articola in differenti Aree Tematiche.

La prima Area Tematica riguarda la caratterizzazione degli intonaci di alcune cappelle del *Sacro Monte di Varallo*, la formulazione di miscele compatibili, la sintesi di prodotti consolidanti adeguati e la crescita biologica sui materiali lapidei.

La seconda Area Tematica riguarda l'analisi del danneggiamento del supporto murale delle pareti affrescate di alcune cappelle del *Sacro Monte di Varallo* mediante la tecnica delle Emissioni Acustiche, la correlazione del danneggiamento con gli eventi sismici e l'indagine effettuata in merito alla vita residua delle statue in terracotta colorata presenti all'interno delle cappelle.

La terza Area Tematica riguarda le prove ultrasoniche per la valutazione della durabilità delle interfacce malta-blocco nei sistemi murari e le prove statiche di aderenza fra intonaco e muratura.

La quarta Area Tematica riguarda la Sonoscopia Endosuperficiale: un metodo acustico diagnostico per la valutazione dello stato di conservazione degli affreschi del *Sacro Monte di Varallo*.

* Coordinatore del Progetto RE-FRESCOS. Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica.

La rivalutazione del patrimonio pittorico murale è un problema complesso che richiede l'uso di metodologie d'indagine non invasive per valutare l'integrità delle opere d'arte senza alterarne neppure minimamente lo stato di conservazione. La diagnosi tempestiva delle lesioni all'interno di strutture così pregevoli, ma altrettanto fragili, è di fondamentale importanza a causa della criticità dei fenomeni di danneggiamento, i quali improvvisamente possono degenerare in cedimenti catastrofici.

Lo scopo del Progetto RE-FRESCOS è stato quello di impiegare nuove tecnologie e metodologie di emissione acustica e indagine ultrasonica, nonché analisi fisico-chimiche e numeriche, per fornire una precisa mappa del danneggiamento dei materiali, delle pitture murali e delle sculture in terracotta colorata.

Ampia documentazione sul Progetto RE-FRESCOS è reperibile sul sito internet dedicato www.refrescos.polito.it.

Desidero infine ringraziare tutti gli Autori dei vari capitoli per i validissimi loro contributi, e in particolare il Dr. Federico Accornero per il prezioso aiuto fornitomi nelle fasi organizzativa e redazionale dell'opera.