Diagnosis for the Conservation and Valorization of Cultural Heritage

XVI CONVEGNO INTERNAZIONALE

11 - 12 dicembre 2025
Biblioteca Universitaria di Napoli (BUN)
Ministero della Cultura

ATTI DEL CONVEGNO

a cura di

Luigi Campanella, Ciro Piccoli,
Anna Rendina, Valeria Romanelli, Luca Tortora

AIES
Associazione Italiana Esperti Scientifici Beni Culturali

Atti del XVI Convegno Internazionale
Diagnosis for the Conservation and Valorization of Cultural Heritage

11 - 12 dicembre 2025
Biblioteca Universitaria di Napoli (BUN)
Ministero della Cultura

a cura di
AIES - Associazione Italiana Esperti Scientifici Beni Culturali
Ciro Piccioli - Presidente
Valeria Romanelli - Vicepresidente
Anna Rendina - Responsabile generale delle attività culturali
Luigi Campanella - Presidente emerito del comitato scientifico
Luca Tortora - Presidente del comitato scientifico

Progetto grafico, impaginazione e stampa: ApB grafica snc

ISBN 979-12-243-1324-3

La riproduzione totale o parziale di questo volume,
con qualsiasi mezzo, è vietata senza l'approvazione
dell'Editore e degli autori.

Tutti i diritti riservati

© AIES Associazione Italiana Esperti Scientifici Beni Culturali
© Autori dei testi

Evento realizzato da

AIES
Associazione Italiana Esperti Scientifici Beni Culturali

Con la collaborazione di

Biblioteca Universitaria di Napoli

Con il patrocinio di

ICOMOS

ENEA
AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

ROMA TRE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI

INFN
CHNet
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

OCF
ORDINE REGIONALE DEI CHIMICI E DEI FISICI DELLA CAMPANIA

CODIS
associazione

Mediapartner

agenzia di stampa CULT

Autori in ordine alfabetico

Abagnale Maria, Anania Caterina, Argento Teresa, Arneodo Francesco, Balbi Barbara, Bardani Carlo, Battista Giancarlo, Berizzi Flavia, Boglione Elvira, Borghini Stefano, Borioni Giada, Brancaccio Francesca, Brancaccio Ugo, Brocato Paolo, Calcerano Filippo, Caliano Eduardo, Camillo Serena, Campanella Luigi, Carcione Rocco, Caso Ylenia, Castelli Lisa, Cecchin Michele, Cemmi Alessia, Chimirri Rosario, Cimmino Maurizio, Claudia Bortolussi, Coen Cagli Massimo, Conte Aida Maria, Conte Fabrizio, Coscarella Adele, Cucci Davide, Cursi Stefano, Czelusniak Caroline, D'Amico Cinzia, D'Orsi Beatrice, Dal Vecchio Sebastiana, De Cicco S. Gianmarco, De Donno Giorgio, Del Prete Domenico, Derventzas Francesca, Deveau Matthieu, Di Salvo Cristina, Di Vietri Giuseppe, Dotti Andrea, Fabrizio Capuano, Fedi Mariaelena, Fiorenza Arianna, Fortunato Giuseppe, Fusco Emanuele, Gallo Chiara, Gattuso Caterina, Gaudio Domenico, Gemelli Giada M.C., Giancarlo Napoli, Gigliarelli Elena, Giudice Stefania, Giuntini Lorenzo, Giustiniani Pasquale, Guerriero Luigi, Hughes Ryan, Ilardo Fabiola, Ilaria Di Sarcina, Kurdy Micheline, Lombardi Alessandra, Lotto Serena, Lucchesi Elettra, Lucia Liccioli, Lucino Sofia, Martinelli Letizia, Mascolo Maria Cristina, Massi Mirko, Melisi Dora, Messuti Nicolino, Miraglia Francesco, Molinaro Nicole, Napoli Carmine, Olivito S. Renato, Palermo Anna Maria, Perinelli Cristina, Piccioli Ciro, Pisciotti G. Luigi, Porzio Saverio, Reale Giuseppe, Riente Rita, Romanelli Valeria, Rosso Roberto, Rotonda Tatiana, Ruberto Chiara, Rummo Michela, Russo Antonella, Russo Del Prete Filomena, Russo Gilda, Russo Lorenzo, Santamaria Ulderico, Sara Calandra, Sara Carbone, Scifo Jessica, Scognamiglio Antonio, Scognamiglio Piero, Scognamiglio Roberto, Seghiri Meriem, Serena Barone, Serge Mathot, Sergio Marianna, Sharma Sandhya, Simeone Immacolata, Spada Francesco, Strecha Christoph, Taccetti Francesco, Teresa Rinaldi, Tommasi Paolo, Valente Corrado, Vassallo Ida, Vecchiotti Alma, Vescio Michelangela, Vincenzo Calvanese, Zuchtriegel Gabriel.

Comitato scientifico

Luca Tortora - Università Roma Tre | Luigi Campanella - Sapienza Università di Roma | Bruno Billeci - Università degli Studi di Sassari | Bruno Bisceglia - Università degli Studi di Salerno| Francesca Brancaccio - Università degli Studi di Napoli "Federico II" | Roberto Bugini - CNR ICVBC Gino Bozza | Alessia Cemmi - Enea Casaccia | Luciano D'Alessio - Università degli Studi della Basilicata | Maria Elena Fedi - Istituto Nazioanle di Fisica Nucleare (INFN) | Caterina Gattuso - Università della Calabria | Lorenzo Giuntini - Università degli Studi di Firenze | Luigi Guerriero - Università degli Studi di Salerno | Maria Cristina Mascolo - Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale | Angelo Montenero - Università degli Studi di Parma | Stefano Monti - Monti&Taft | Ciro Piccioli - AIES Beni Culturali | Teresa Rinaldi - Sapienza Università di Roma | Aldo Winkler - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Istituzioni rappresentate

Accademia di Belle Arti di Brera | Accademia di Belle Arti di Brera - Scuola di Comunicazione e Valorizzazione del Patrimonio Artistico | Accademia di Belle Arti di Lecce | Accademia di Belle Arti di Napoli | AIES - Associazione Italiana Esperti Scientifici | Atramentum Restauri Srl | B5 Srl | Brixel - Digital creative collective | CERN - European Organisation for Nuclear Research | CNR National Research Council of Italy - Environmental Geology and Geoengineering, Area della Ricerca di Roma | CNR National Research Council of Italy - ISPC Institute of Heritage Science | Complesso Monumentale di S. Maria La Nova a Napoli | Convitto Nazionale "Agostino Nifo" | CRAT - Centre de Recherche en Aménagement de Territoire | Direttore Centro Studi Pietro Ebner | ENEA Casaccia - Dipartimento Fusione e tecnologie per la Sicurezza Nucleare | IFPO - French Institute of the Near East | INFN - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Firenze | Istemi Srl | Lithos Srl 1| MA.RE.A. Srls – Art Maintenance and Restoration | MIC - Ministero della Cultura | Ministero dell'Istruzione e del Merito | New York University of Abu Dhabi | Parco Archeologico del Colosseo | Parco Archeologico di Pompei | Pinacoteca di Brera | PIX4D SA | Pizzarotti & C SpA | Pontificia Facoltà Teologica dell'Italia Meridionale di Napoli | Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Biologia e Biotecnologie | Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Chimica | Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale | Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica | Sapienza Università di Roma - Dipartimento di Scienze della Terra | Scuola di Fundraising di Roma | Siltea Srl | Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per l'Area Metropolitana di Napoli | Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per la città metropolitana di Reggio Calabria e la provincia di Vibo Valentia | Studio Battista Associati | Università degli Studi dell'Aquila - Dipartimento di Ingegneria industriale e dell'informazione e di economia | Università degli Studi della Basilicata - Scuola di Specializzazione in Beni Archeologici | Università degli Studi della Tuscia - Dipartimento di Economia, Ingegneria, Società e Impresa | Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale - Dipartimenti di Ingegneria Civile e Meccanica | Università degli Studi di Cassino e del Lazio Meridionale - Dipartimento di Lettere e Filosofia | Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" | Università degli Studi Mediterranea - Reggio Calabria | Università degli Studi della Calabria - Dipartimento di Biologia, Ecologia e Scienze della Terra | Università degli Studi della Calabria - Dipartimento di Ingegneria Civile | Università degli Studi della Calabria - Dipartimento di Studi Umanistici | Università degli Studi di Firenze - Dipartimento di Fisica e Astronomia | Università degli Studi di Salerno - Dipartimento di Scienze del Patrimonio Culturale

Diagnosi

Conservazione e restauro

Tecnologie digitali emergenti per la tutela e la valorizzazione

Valorizzazione

I beni culturali come economia trainante del paese:
le imprese del settore

Mediapartner

> Summary / Sommario

In apertura pag. 15

CULTURA, PATRIMONIO CULTURALE E BENI CULTURALI pag. 16
Valeria Romanelli, Massimo Coen Cagli, Giuseppe Di Vietri, Luigi Campanella, Ciro Piccioli

Diagnosi pag. 35

ELEVATIONS' STRATIGRAPHIC ANALYSIS AS A TOOL TO UNDERSTAND AND PROTECT THE ARCHITECTURAL PALIMPSEST THE RESTORATION OF THE CHURCH OF "SAN MICHELE EXTRA MOENIA" IN MONDRAGONE pag. 36
Francesco Miraglia, Corrado Valente

ARCHITETTURE DI TERRA NEL MERIDIONE CALABRO-LUCANO. DALLA SIBARITIDE AI PAESI E ALLE CAMPAGNE DELL'ENTROTERRA pag. 44
Paolo Brocato, Rosario Chimirri, Giuseppe Fortunato

LE VETRINE DI ESPOSIZIONE NEI MUSEI. IL CASO DEL MANN: ANALISI E RIFLESSIONI pag. 55
Antonio Scognamiglio, Piero Scognamiglio, Roberto Scognamiglio, Sabato Gianmarco De Cicco

BIO-DETERIORATION PROCESS ON MONUMENTAL STRUCTURES. THE CASE OF A FOUNTAIN IN THE BRUSSELS ROYAL PARK pag. 62
Caterina Gattuso, Meriem Seghiri, Anna Maria Palermo

PRELIMINARY STUDY ON EIGHT POLYCHROME TERRACOTTA PLAQUES FROM THE TEMPLE OF THE SS. STIMMATE OF VELLETRI. COMPARISON BETWEEN THE IMAGES OF THE ANCIENT WATERCOLOURS AND THE MODERN VISIBLE INDUCED LUMINESCENCE PHOTOGRAPHY (VIL). pag. 69
Immacolata Simeone, Emanuele Fusco, Serena Camillo, Francesca Derventzas, Arianna Fiorenza, Fabiola Ilardo, Dora Melisi, Michela Rummo, Ida Vassallo

BEAM TRANSPORT SIMULATIONS OF MACHINA, THE PORTABLE ACCELERATOR FOR ION BEAM ANALYSIS IN CULTURAL HERITAGE pag. 84
Sandhya Sharma, Elettra Lucchesi, Chiara Ruberto, Lisa Castelli, Lorenzo Giuntini, Mirko Massi, Francesco Taccetti, Alessandra Lombardi, Serge Mathot, Francesco Arneodo, Caroline Czelusniak

DES ESPACES AUTRES: TRADITIONAL TOOLS AND DIGITAL TECHNOLOGIES FOR THE STUDY, KNOWLEDGE, PROTECTION, AND ENHANCEMENT OF THE REAL ALBERGO DEI POVERI IN NAPLES. pag. 94
Francesca Brancaccio

INTEGRATED DIAGNOSTIC INVESTIGATIONS ON WOODEN STRUCTURAL AND DECORATIVE ELEMENTS OF THE SANTUARIO OF MARIA SS. ANNUNZIATA IN GIUGLIANO (NAPLES, ITALY): A MULTIDISCIPLINARY APPROACH FOR CONSERVATION AND RESTORATION pag. 114
Chiara Gallo, Giada M.C. Gemelli, Sara Carbone, Maurizio Cimmino, Ylenia Caso, Nicolino Messuti, Carmine Napoli, Giancarlo Battista, Filomena Russo Del Prete, Eduardo Caliano

INTEGRATED MULTIDISCIPLINARY DIAGNOSTIC SURVEY OF THE NINFEO DELLA PIOGGIA AND THE UCCELLIERE FARNESIANE (PARCO ARCHEOLOGICO DEL COLOSSEO, ROME): A MULTISCALE APPROACH TO SUPPORT CONSERVATION STRATEGIES pag. 124
Chiara Gallo, Sara Carbone, Giada M.C. Gemelli, Ylenia Caso, Marianna Sergio, Maria Abagnale, Cinzia D'Amico, Nicolino Messuti, Carmine Napoli, Stefano Borghini, Eduardo Caliano

TINY SAMPLES TINY SAMPLES IN RADIOCARBON DATING: FEASIBILITY AND LIMITS pag. 135
Barone Serena, Calandra Sara, Liccioli Lucia, Fedi Mariaelena

Conservazione e restauro pag. 136

IONIZING RADIATION FOR CULTURAL HERITAGE CONSERVATION: SUSTAINABLE DISINFECTION AND STRUCTURAL PRESERVATION pag. 137
Beatrice D'Orsi, Rocco Carcione, Ilaria Di Sarcina, Teresa Rinaldi, Jessica Scifo and Alessia Cemmi

STRUCTURAL RECOVERY AND SEISMIC RETROFITTING OF THE STRATEGIC MUNICIPAL HOUSE BUILDING IN CETRARO (CS) pag. 146
Renato S. Olivito, Domenico Gaudio, Luigi G. Pisciotti, Nicole Molinaro, Rita Riente

IL RESTAURO DEL PROSPETTO MERIDIONALE DEL PALAZZO DONN'ANNA A NAPOLI pag. 163
Francesca Brancaccio, Ugo Brancaccio, Luigi Guerriero

LE DISPERSIONI ACRILICHE PER L'ADESIONE DI UN SUPPORTO TESSILE AUSILIARIO DI UN "CARTELAME ATIPICO" DEL XVIII SECOLO pag. 173
Sofia Lucino, Ulderico Santamaria

AN INTEGRATED GEOLOGICAL, GEOTECHNICAL AND GEOPHYSICAL APPROACH FOR PRESERVING ROCK-CARVED ARCHAEOLOGICAL SITES:THE CASE OF THE ETRUSCAN NECROPOLIS OF MADONNA DELL'OLIVO (TUSCANIA, VT) pag. 186
Paolo Tommasi, Carlo Bardani, Giada Borioni, Aida Maria Conte, Sebastiana Dal Vecchio, Giorgio De Donno, Maria Cristina Mascolo, Cristina Perinelli, Tatiana Rotonda, Gilda Russo, Cristina Di Salvo

Tecnologie digitali emergenti per la tutela e la valorizzazione pag. 187

IL RILIEVO 3D PER LA DOCUMENTAZIONE E L'ANALISI DELLA CHIESA DI SANT'ADRIANO A SAN DEMETRIO CORONE pag. 188
Adele Coscarella, Giuseppe Fortunato, Lorenzo Russo

HBIM WORKFLOWS AND IMMERSIVE VISUALIZATION FOR CULTURAL HERITAGE CONSERVATION AND ENHANCEMENT – THE CASE OF THE CHIOSTRO DEL BRAMANTE IN ROME pag. 198
Alma Vecchiotti, Letizia Martinelli, Filippo Calcerano, Stefano Cursi, Elena Gigliarelli

DIGITAL MODELING FOR RESTORATION KNOWLEDGE ON BUILT HERITAGE: THE CASE STUDY OF THE CHURCH OF "SANTA MARIA DELLA NEVE" OR "MICHELIZIA" IN TROPEA, CALABRIA (1980-2025) pag. 208
Michelangela Vescio, Francesco Spada

SEISMIC VULNERABILITY ANALYSIS AND CONSOLIDATION DESIGN OF THE MARIA SS. DEL CARMELO SANCTUARY - CURINGA (CZ) pag. 221
Renato S. Olivito, Caterina Anania, Domenico Gaudio, Nicole Molinaro, Saverio Porzio

THE CONTRIBUTION OF HISTORICAL PHOTOGRAPHIC DOCUMENTATION AS A SOURCE FOR VIRTUAL RECONSTRUCTION: THE CASE OF THE DECORATIVE APPARATUS OF THE SALONE NAPOLEONICO OF THE BRERA ACADEMY OF FINE ARTS pag. 234
Flavia Berizzi, Anna Mariani, Chiara Nenci, Riccardo Gagliarducci, Luca Porru, Roberto Rosso

DIGITAL ARCHAEOLOGY AND INTERDISCIPLINARY DIAGNOSTIC STRATEGIES FOR THE FUNERARY MONUMENT OF THE SPOUSES IN POMPEII: A COMPLEX METHODOLOGICAL APPROACH TO THE CONSERVATION OF THE TOMB IN THE PORTA SARNO NECROPOLIS (PARCO ARCHEOLOGICO DI POMPEI) pag. 248
Marianna Sergio, Maria Abagnale, Sara Carbone, Giada M.C. Gemelli, Chiara Gallo, Cinzia D'Amico, Nicolino Messuti, Carmine Napoli, Giancarlo Napoli, Teresa Argento, Stefania Giudice, Vincenzo Calvanese, Gabriel Zuchtriegel, Eduardo Caliano

Valorizzazione pag. 262

LA VALLE DEL SARNO, UN PERCORSO STEAM PER LA VALORIZZAZIONE pag. 263
Ciro Piccioli

THE "CENITO" ROCK VILLAGE FIRST ANALYSIS ON CHARACTERISTICS AND COSTRUCTION HISTORY OF A MEDIEVAL URBAN SITE IN NORTHERN CAMPANIA pag. 273
Domenico Del Prete, Francesco Miraglia, Corrado Valente

FROM PRACTICE TO ARCHIVE: A DIGITAL CATALOGUING SYSTEM FOR ARTISTIC RESEARCH IN ITALIAN FINE ARTS ACADEMIES pag. 283
Serena Lotto

I beni culturali come economia trainante del paese: le imprese del settore pag. 284

The corporate culture for the culture of the enterprise pag. 285
Pasquale Giustiniani, Giuseppe Reale

CONSOLIDATING IN THE PRESENCE OF SALTS: THE CASE STUDY OF THE CLOISTER OF SANTA CHIARA IN NAPLES AND THE EXPERIMENTATION WITH SOL-GEL SYSTEMS pag. 298
Michele Cecchin, Claudia Bortolussi, Elvira Boglione, Barbara Balbi

THE MAINTENANCE OF NAPLES' ART STATIONS: PLANNING AND CHALLENGES IN THE CONSERVATION OF CONTEMPORARY ART IN URBAN CONTEXTS pag. 311
Antonella Russo, Fabrizio Capuano, Fabrizio Conte

PIX4DCATCH: REVOLUTIONIZING ARCHAEOLOGICAL DOCUMENTATION IN CHALLENGING ENVIRONMENTS pag. 319
Matthieu Deveau, Micheline Kurdy, Ryan Hughes, Davide Cucci, Andrea Dotti, Christoph Strecha

Mediapartner pag. 322

AGENZIA DI STAMPA CULT pag. 323

Consolidating in the presence of salts: the case study of the Cloister of Santa Chiara in Naples and the experimentation with sol-gel systems

Michele Cecchin
Heritage scientist, titolare e responsabile tecnico di Siltea srl, Via Carlo Goldoni 18 - 35131 Padova (PD), +39 049 657350, michele.cecchin@siltea.eu
Claudia Bortolussi
Heritage scientist, titolare e responsabile R&D di Siltea srl, Via Carlo Goldoni 18 - 35131 Padova (PD), +39 049 657350, claudia.bortolussi@siltea.eu
Elvira Boglione
Restauratrice di Beni Culturali, titolare di Lithos srl, Dorsoduro 2272 - 30123 Venezia (VE), + 39 041 5208892, boglione@lithosrestauri.com
Barbara Balbi
Funzionaria restauratrice, Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per il comune di Napoli, Piazza del Plebiscito, 1 - 80132 Napoli (NA), +39 081 5808369, barbara.balbi@cultura.gov.it

Key words >
sol-gel, consolidant, soluble salts, majolica, diagnostic analysis

Abstract > The Cloister of Santa Chiara in Naples exemplifies excellence in Neapolitan ceramic production. Its 18th-century majolica decorations, by Donato and Giuseppe Massa, face constant degradation from soluble salt crystallization, especially on the lower seating. This common problem for outdoor ceramics leads to micro-cracks between the terracotta and its glassy coating. As salts grow, these cracks worsen, causing the glaze to detach, threatening the stability of the material and the appearance of the decorations. The exposed terracotta needs intervention to prevent further loss.
During a significant intervention by Lithos srl, an innovative conservative consolidation strategy was employed using mineral solutions from Siltea srl. A silica-based alcohol solution, produced via sol-gel process, was applied to the salt-damaged terracotta. This product was chosen for its stability, high breathability, and suitability, as silica cross-linking is not affected by salt-induced pH changes.
The initial interventions, finished in early 2025, demonstrated notable benefits, including reduced efflorescence. To understand the effectiveness of the intervention, analyses such as soluble salt quantification using IC and ICP-MS were performed. Lab tests replicated conditions: ceramic samples were impregnated with custom saline solutions and subjected to aging cycles recreating salt deliquescence and recrystallization, simulating the mechanical stress in real conditions.
XRD investigated interactions between the sol-gel silica and salts, examining how the treatment limits salt formation or influences their growth and distribution. Finally, the effectiveness of consolidant was evaluated via SEM-EDS, observing both original and cross-sectioned surfaces. This revealed the surface diffusion of salts on treated versus untreated areas and their distribution within the material.

Il Chiostro di Santa Chiara: inquadramento storico-artistico

La sperimentazione di cui si tratta ha come oggetto le maioliche policrome del chiostro di Santa Chiara: il monastero che accoglie il sito, nonostante le distruzioni causate dai bombardamenti al termine della Seconda Guerra Mondiale, resta uno dei luoghi più rappresentativi della ricchezza storico artistica e delle manifatture artigiane d'Italia e per questo è parte del patrimonio UNESCO.

Al XIV secolo risale la fondazione del monastero legato fin dalle sue origini al volere dei Re angioini che mostrano durante il loro regno uno strettissimo legame con l'ordine francescano tanto che le costituzioni del monastero "doppio", costruito per ospitare una nutrita comunità di monache e una minore di frati, furono redatte dalla regina Sancia di Maiorca seconda moglie di Roberto d'Angiò, divenuto re nel 1309.

Il chiostro grande, arricchito delle maioliche napoletane, fu edificato fin dall'origine, ma una completa trasformazione iniziata probabilmente alla fine del XVII secolo, venne compiuta durante il badessato di Ippolita Carmignano tra il 1739 e il 1742. Il nuovo progetto del chiostro maiolicato fu affidato a Domenico Antonio Vaccaro, pittore, scultore, disegnatore, architetto protagonista del rinnovamento di numerosi edifici e monumenti a Napoli e in Campania tra Barocco e Rococò. Il progetto non demolì la sequenza di archi trecentesca, ma ridisegnò l'articolazione spaziale interna del giardino con i due grandi viali che si incrociano al centro, scanditi da pilastri ottagonali, affidando la sua decorazione al ricco rivestimento in maioliche policrome, opera della bottega di Donato e Giuseppe Massa [1].

La decorazione in maiolica figurata è una raffinatissima sintesi di pittura e architettura mediante la quale i sedili ospitano un susseguirsi di scene agresti, marine, di campagna, a mo' di piccoli arazzi con debiti elegantissimi a famose incisioni, mentre i pilastri ospitano sempre in maiolica dipinta, racemi e tralci di vite che avvolgono le strutture terminando un tempo nelle viti reali che coprivamo il pergolato del chiostro. I colori che caratterizzano le maioliche sono gli ossidi peculiari di questa tecnica che ancora lucentissimi conservano i blu, le ocre gialle, quelle più aranciate e i verdi, che nei pilastri si stagliano su un fondo sfumato in maniera magistrale nel celeste chiarissimo, evitando il bianco che con il sole battente avrebbe accecato le passanti. Questo tipo di produzione, è testimoniata in città in molte grandi superfici, impiantiti pavimentali, altari, pareti, altri chiostri, ma è senza dubbio Santa Chiara a ospitare il più vasto e completo esempio quasi completamente originale di questa manifattura, scampato miracolosamente ovvero scalfito solo in piccolissima parte dai bombardamenti che distrussero totalmente la Basilica.

La sperimentazione resa possibile durante i lavori di restauro è preziosa proprio perché le manifatture di maioliche policrome caratterizzano in città numerosi siti e le tipologie di degrado, che descriviamo nel seguito, sono comuni a molti di essi.

Materiali e stato di conservazione

La maiolica esposta all'aperto è soggetta a fenomeni di deterioramento articolati, determinati dalle caratteristiche intrinseche del materiale stesso. Si tratta di una ceramica a pasta porosa di argilla ricca in ossidi di ferro cotta a 980-1000°C. Questa viene rivestita da smalti alcalino-piombici, spesso opacizzati con ossido di stagno, cotti a 940-980°C per formare una superficie bianca, lucida e impermeabile. La tecnica permette decorazioni policrome con ossidi metallici che si fissano nello smalto durante la seconda cottura, creando un rivestimento duraturo su un corpo ceramico poroso (12-18% di porosità

residua) [2-3].
Escursioni termiche giornaliere e stagionali innescano dilatazioni e contrazioni differenziali tra corpo ceramico e smalto, generando tensioni meccaniche che si traducono in cavillature, scagliature e progressivi distacchi della decorazione superficiale. L'infiltrazione di acqua meteorica attraverso le microfessure attiva cicli di gelo-disgelo che amplificano le fratture preesistenti, mentre l'umidità persistente favorisce sia reazioni chimiche di alterazione sia la proliferazione biologica. Particolarmente critici risultano gli effetti delle piogge acide sulle maioliche antiche, che provocano la lisciviazione dello smalto piombifero con conseguente formazione di solfati e carbonati. Inquinanti atmosferici come SO_2 e NO_X accelerano questi processi degradativi, risultando dannosi per gli smalti stannici rinascimentali. A questi fenomeni si aggiunge la cristallizzazione salina: nitrati, cloruri e solfati, penetrando nella porosità del materiale, generano pressioni interne che conducono alla graduale polverizzazione della struttura ceramica [4].
Tra i meccanismi di deterioramento più comuni nelle maioliche esposte agli agenti atmosferici spicca il distacco causato dai sali solubili, che penetrano nei pori attraverso l'acqua meteorica o per risalita capillare, sfruttando la naturale porosità del corpo ceramico. Lo smalto vetroso, essenzialmente impermeabile, costituisce una barriera che determina l'accumulo preferenziale dei sali all'interfaccia smalto-terracotta. Quest'area rappresenta il punto di massima vulnerabilità strutturale, spesso caratterizzata da microfessure preesistenti dovute alle differenze di dilatazione termica tra i due materiali. Si tratta di una problematica ben documentata nella tecnologia ceramica, che non interessa esclusivamente i manufatti esposti all'aperto ma anche oggetti di uso comune. Ne costituisce esempio significativo lo studio condotto su vasi apotecari liguri: le analisi in microscopia elettronica SEM hanno evidenziato la fragilità intrinseca dell'interfaccia terracotta-smalto, mentre le mappature EDS hanno confermato l'accumulo di calcio in questa zona critica [5].
I distacchi si manifestano attraverso morfologie caratteristiche: sollevamenti "a tenda", scaglie concave, pustole o vere e proprie lacune circolari dove lo smalto si distacca asportando frammenti del supporto ceramico sottostante. Nel chiostro è possibile osservare direttamente questo fenomeno: la fuoriuscita di efflorescenze saline dalle microfessurazioni dello smalto costituisce un chiaro indicatore degli stress meccanici in

Fig. 1. Efflorescenze saline che emergono dalle microfessurazioni dello smalto delle maioliche.

atto all'interno del materiale. In altri casi si registra la formazione di efflorescenze direttamente sul corpo ceramico ormai esposto, testimonianza di un processo degradativo ormai in fase avanzata.

Il restauro e la problematica del consolidamento: l'utilizzo di sistemi sol-gel

Tra il 2024 ed il 2025 il colonnato e l'ambulacro maiolicati del Chiostro sono stati sottoposti ad un intervento di restauro ad opera della ditta Lithos srl. Le operazioni hanno interessato inizialmente la messa in sicurezza delle aree più vulnerabili e/o in fase di distacco, mediante l'applicazione di velinature ed iniezioni puntuali. Questa fase preliminare è stata importante per la conservazione di tutti i frammenti di materiale originale *in situ* e per la stabilizzazione delle parti della superficie ceramica che presentavano fratture, fessurazioni o scagliature, prima di procedere con il consolidamento vero e proprio e la rimozione della velinatura. (fig. 2). Successivamente si è proceduto con il preconsolidamento, mirato a ristabilire la coesione e l'adesione delle aree di smalto che si erano sollevate. Per questa delicata operazione sono stati utilizzati prodotti ad alta penetrazione, capaci di agire in profondità per legare nuovamente lo smalto al suo supporto. Altra fase fondamentale è stata l'estrazione dei sali solubili, mediante applicazione ripetuta di acqua demineralizzata con interposizione di carta giapponese e polpa di carta. Si è proceduto con la fase della pulitura mediante applicazione di tensioattivi e, ove presenti, con la rimozione di patine biologiche con biocidi. Il restauro ha riguardato anche la rimozione di stuccature e siliconature incongrue o degradate, riconducibili a precedenti interventi che non rispettavano gli standard di conservazione moderni. Per garantire l'integrità materiale dell'opera è stato eseguito il ristabilimento della coesione e dell'adesione del biscotto, la base ceramica priva di smalto, e della parte invetriata. Le fughe tra le maioliche, le lacune e le microcavillature sono state attentamente stuccate e sigillate per ripristinare la continuità della superficie, con un impasto a base calce simile all'originale per composizione e cromie. Infine l'intero lavoro si è concluso con l'applicazione di una protettivo finale, con lo scopo di salvaguardare le superfici restaurate dagli agenti atmosferici.

Fig. 2. Test di consolidamento delle maioliche.

Fig. 3. Applicazione del SIOX-5 RE39

Lo stato conservativo delle maioliche risultava fortemente compromesso, caratterizzato da diverse problematiche complesse e interconnesse, relative soprattutto a fenomeni di disgregazione superficiale, perdita di coesione del corpo ceramico e formazione di estese efflorescenze saline che pregiudicavano non solo l'integrità strutturale del manufatto, ma anche la loro leggibilità estetica.
La scelta del prodotto consolidante è avvenuta attraverso una campagna di test effettuati in diverse aree, mettendo a confronto diversi prodotti e tecniche di applicazione. La silice sol-gel è stato ritenuto il sistema più idoneo per il trattamento. Nello specifico è stato impiegato il consolidante SIOX-5 RE39 sviluppato da SILTEA SRL, un wet-gel di silice amorfa stabilizzata in alcol isopropilico (fig. 3). Il metodo sol-gel impiegato si rifà al brevetto accademico dell'Università di Padova [6] e prevede l'uso di tetraetilortosilicato come precursore di un reticolo inorganico composto di silicio e ossigeno, generato attraverso un processo basato su chimica verde e reazioni controllate di idrolisi e condensazione. Il liquido che si viene a formare è dotato di elevata fluidità e capacità di penetrazione data dal veicolo alcolico in cui avvengono le reazioni. Il prodotto solidifica formando una matrice minerale in grado di ripristinare le proprietà meccaniche superficiali su diversi supporti minerali, terrecotte e smalti *in primis* grazie alla compatibilità chimica con vetrine e silicati delle argille di cui i materiali ceramici sono costituiti [7]. Mentre nei sistemi tradizionali (silicato di etile) il prodotto deve reagire con l'umidità atmosferica completando la reazione tra i 30 ed i 40 giorni, nei sistemi sol-gel la silice è già preformata, e la superficie risulta già stabile tra le 24 e le 72 ore. Tale caratteristica comporta un altro vantaggio tecnico: si scongiurano effetti indesiderati come gli sbiancamenti superficiali, dovuti alla precipitazione repentina del biossido di silicio a causa del contatto tra silicato di etile e acqua meteorica, o per umidità eccessiva nei supporti da consolidare [8].
Questa metodologia innovativa si è rivelata particolarmente efficace nel ristabilire le caratteristiche meccaniche originali dello strato ceramico sfarinante, restituendo coesione e resistenza alle superfici degradate. Il primo lotto è stato concluso nei primi mesi del 2025 ed ha evidenziato un altro comportamento di particolare interesse scientifico: una marcata riduzione delle efflorescenze saline. Il risultato assume particolare rilevanza considerando che la presenza di sali solubili costituisce spesso un limite oggettivo nell'applicazione di consolidanti tradizionali. L'utilizzo di prodotti polimerici non traspiranti potrebbero causare subflorescenze, con danni meccanici ulteriori e un progressivo aggravarsi della situazione. Nel caso della nanosilice (o silice colloidale) sono note invece le problematiche dovute al sistema acquoso e come questo rappresenti un serio rischio per la possibilità di riportare in soluzione i sali. Questo fenomeno comporta inevitabili alterazioni anche del pH dei sistemi nanoparticellari, determinando spesso il collasso del sistema e la coagulazione immediata della sospensione. Allo stesso modo, specie ioniche possono influire anche sul corretto processo di reticolazione del silicato di etile. Nella silice sol-gel invece, l'ambiente alcalino dovuto alla presenza di sali, può favorire il processo di condensazione, ovvero di densificazione del reticolo siliceo per unione di gruppi silanolo [9].
L'osservazione di questa peculiare proprietà "anti-efflorescenza" del trattamento sol-gel ha suscitato particolare interesse, portando l'impresa di restauro a formulare un quesito fondamentale: le efflorescenze si riducono perché i sali sono trattenuti all'interno della matrice ceramica o perché vi è un'interferenza con il loro meccanismo di ricristallizzazione? Per fornire una risposta scientificamente rigorosa a questo interrogativo e sup-

portare con ulteriori dati sperimentali oggettivi la scelta metodologica adottata, è stato intrapreso uno studio approfondito, a partire da simulazioni delle condizioni reali su provini di terracotta.

Caratterizzazione delle efflorescenze saline

Fig. 4. Punto di prelievo del campione 1, efflorescenze diffuse e polverulente nella parte bassa.

Fig. 5. Prelievo del campione 2, incrostazioni isolate e globulari che affiorano sulla superficie in cotto.

Per comprendere i meccanismi di degrado in atto e poterli replicare nella sperimentazione, due campioni sono stati prelevati ed analizzati in laboratorio. Un prelievo è stato eseguito nella parte bassa dell'ambulacro est: il campione 1 è costituito da polvere bianca dovuta ad efflorescenza superficiale diffusa su corpo ceramico esposto (fig. 4). Il campione 2 è stato prelevato dalla prima colonna del viale nord (lato ovest) dove si individuano invece delle concrezioni bianche globulari che emergono dal biscotto (fig. 5). Sui campioni è stato condotto un dosaggio dei sali solubili con cromatografo ionico Dionex ICS-90.

Dai risultati (tab. 1) emerge un quadro di contaminazione salina particolarmente preoccupante, caratterizzato da concentrazioni di solfati ben oltre la soglia del 2-3% considerata critica per la conservazione dei materiali ceramici, configurando uno scenario di grave compromissione del materiale. Particolarmente significativi dal punto di vista diagnostico sono i dati del campione 1, prelevato nella zona bassa del manufatto e in prossimità del giardino. Nel punto di prelievo le analisi non mostrano tracce rilevabili di nitrati, contrariamente alle aspettative iniziali. La localizzazione del prelievo faceva infatti sospettare una contaminazione da risalita capillare caratterizzata dalla presenza di sali di azoto tipicamente associati alla decomposizione di sostanze organiche presenti nel terreno. L'assenza di questi ioni esclude quindi il coinvolgimento diretto di fenomeni di risalita dall'ambiente circostante, orientando l'interpretazione verso altre fonti. La predominanza netta dei solfati rispetto agli altri ioni, per entrambi i campioni, potrebbe essere associata a contaminazioni da inquinamento esterno urbano, o alla migrazione in superficie di una componente delle malte di allettamento delle maioliche. Al momento non è stato possibile verificare questa ipotesi.

Campione	**Nitrati $(NO_3)^-$ %p**	**Cloruri $(Cl)^-$ %p**	**Solfati $(SO_4)^{-2}$ %p**	**Conducibilità ($\mu S\ cm^{-1}$)**
Campione 1	nr	0,58	33,72	4500
Campione 2	nr	nr	5,60	1787

Tab. 1. Risultati del dosaggio sali solubili

Ulteriori analisi chimico-morfologiche sono state condotte al SEM-EDS (Philips Fei Quanta 200 collegato a sistema in fluorescenza di raggi X e rilevatore Oxford Xplore 30 – software: Oxford Aztec 6.0), osservando i campioni in modalità BSD (elettroni di backscattering) e raccogliendo sia mappature elementari che gli spettri di fluorescenza.
Dall'analisi del campione 1 si possono distinguere due fasi morfologiche principali. Si osserva una netta predominanza di cristalli di solfato di sodio di piccole dimensioni (da pochi micrometri fino a sub-micrometrici) che si uniscono in aggregati compatti e dalla forma prevalentemente ovoidale o sferoidale. La loro morfologia è tipica di sali che cristallizzano rapidamente in ambiente poroso, dove la crescita non è limitata e si creano forme arrotondate anziché sfaccettature definite. In mezzo alla massa di cristalli sferoidali, sono presenti strutture cristalline più grandi e isolate. La loro morfologia è lamellare o tabulare, con bordi irregolari ma più definiti rispetto agli aggregati circostanti. Questi cristalli risultano costituiti da carbonato di sodio (fig. 6). Una possibile fonte comune può essere l'uso di soluzioni di silicato di sodio o carbonato di sodio (chiamate deflocculanti) nell'impasto liquido, la cosiddetta "barbottina". Questo additivo viene utilizzato per migliorare la fluidità dell'impasto ceramico nel processo di colaggio, riducendo la quantità d'acqua necessaria e facilitando la formatura.

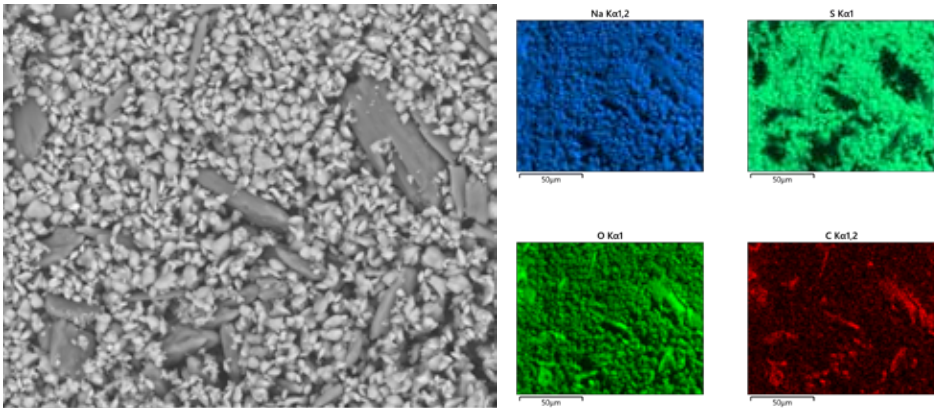


Fig. 6. Immagine SEM (BSD) del campione 1 e mappatura elementare di sodio (Na), zolfo (S), ossigeno (O) e carbonio (C).

Il campione 2 mostra invece un denso aggregato di frammenti cristallini irregolari e polimorfici composti esclusivamente da calcio solfato (gesso) con tracce di materiale silicatico. A differenza delle efflorescenze precedenti, questi appaiono altamente frastagliati, con superfici ruvide e spigoli vivi. Si notano aggregati composti da microcristalli interconnessi, che formano una massa granulare e frammentata (fig. 7). Questa caratteristica spiega anche la tenacità delle concrezioni riscontrata durante il prelievo.
I solfati, cristallizzando in forme idrate con variazioni volumetriche del 300%, generano pressioni di cristallizzazione che raggiungono diversi MPa (fino a 100 MPa per il solfato di sodio), superando frequentemente la resistenza della terracotta. Si tratta di processi amplificati dai cicli termo-igrometrici ambientali che provocano continue fasi di dissoluzione e ricristallizzazione. Il solfato di sodio in particolare, al contrario di quello di magnesio, agisce a livello superficiale a causa della sua maggiore mobilità, data da una concentrazione più bassa della soluzione satura, minor densità, viscosità e tensione superficiale [10].

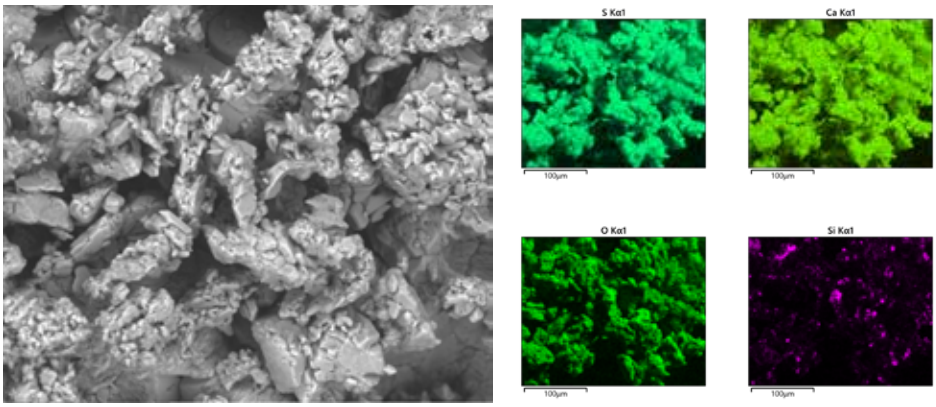


Fig. 7. Immagine SEM (BSD) del campione 2 e mappatura elementare di zolfo (S), calcio (Ca), ossigeno (O) e silicio (Si).

Interazione tra sali e consolidante: i test di laboratorio

Il comportamento della silice sol-gel in presenza di solfato di calcio è stato già affrontato nel caso studio della Chiesa di S. Luis di Granada, recentemente presentato dall'arch. Federica Parlato al convegno internazionale HMC 2025 tenutosi a Padova [11]. Nello specifico è stata condotta una sperimentazione su intonaci in terra battuta con alto tenore in gesso, dimostrando come la protezione data dalla silice funzionalizzata sia in grado di contrastare l'interazione dei sali con l'acqua ed evitare fenomeni di dissoluzione e disgregazione dell'intonaco.

La sperimentazione eseguita per il Chiostro di Santa Chiara si è quindi concentrata sullo studio dell'interazione tra terracotta, silice sol-gel e solfato di sodio. In particolare l'obiettivo è stato quello di verificare la resistenza del materiale a cicli di dissoluzione e cristallizzazione di questo sale in terrecotte non trattate e in campioni trattati con SIOX-5 RE39. Allo stesso tempo si è voluto verificare che il trattamento sol-gel non impedisse la migrazione di sali e osservare se vi fosse interferenza con la formazione dei cristalli in superficie.

Per l'esecuzione dei test è stata presa in riferimento la UNI EN 12370:2020 - Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della resistenza alla cristallizzazione dei sali. La determinazione alla resistenza alla cristallizzazione dei sali è un metodo di prova per stabilire quanto un determinato materiale è resistente allo sviluppo di sali all'interno della matrice (sviluppo di efflorescenze, sub- e criptoefflorescenze saline). La prova è specifica per le pietre naturali con una porosità aperta maggiore del 5%, ma può essere applicata a provini, opportunamente preparati, di materiali da costruzione (compreso terrecotte), sia per valutare il danno causato dalla cristallizzazione di sali sui materiali tal quali, che per valutare l'efficacia di eventuali trattamenti consolidanti o protettivi. Il metodo si basa sull'immersione di provini di materiale in soluzioni saline sature. I campioni vengono preliminarmente essiccati e pesati fino al raggiungimento della massa costante, quindi vengono completamente immersi in una soluzione di acqua deionizzata e solfato di sodio (19.5 grammi per 100 grammi di acqua a 20°C), in cicli di immersione totale per tempi prestabiliti. In questo caso sono stati allestiti 10 campioni non trattati, assieme a 10 campioni trattati con SIOX-5 RE39 dopo il primo ciclo di immersione (in modo da replicare le condizioni reali di utilizzo del prodotto, ovvero con sali già

Fig. 8. Foto dei provini in terracotta utilizzati nella sperimentazione

Fig. 9. Immersione dei provini nella soluzione satura di solfato di sodio.

Fig. 10. Immagine dei provini in seguito ad essiccazione in forno.

presenti all'interno del corpo ceramico). Sono stati eseguiti 20 cicli di immersione, per un tempo prestabilito di 1 ora. Dopo ogni ciclo di immersione è seguita l'essiccazione in forno a 110°C di 1 ora per favorire la cristallizzazione del solfato.

Al termine dei 20 cicli i campioni sono stati asciugati, essiccati, spazzolati per rimuovere sali superficiali ed eventuali parti disgregate, e infine pesati. L'indagine ha previsto l'analisi del cambiamento a livello morfologico del campione, nonché una valutazione della variazione della massa dei provini.

L'esame morfologico non ha evidenziato differenze significative tra i due gruppi di campioni. Tale omogeneità suggerisce che il processo di cristallizzazione dei sali avviene secondo modalità simili indipendentemente dalla presenza o assenza del trattamento consolidante. Un aspetto particolarmente rilevante emerso dall'analisi è l'assenza di fenomeni di fessurazione o disgregazione del materiale, tanto nei campioni non trattati quanto in quelli sottoposti a trattamento con soluzione sol-gel. Questa osservazione riveste particolare importanza dal punto di vista conservativo, in quanto conferma che il trattamento applicato non interferisce con i naturali meccanismi di trasporto degli ioni. La capacità dei sali di migrare liberamente verso la superficie e cristallizzare senza ostacoli indica che il consolidante non agisce come barriera impermeabilizzante, preservando così la traspirabilità della terracotta.

Le misurazioni gravimetriche hanno evidenziato un incremento ponderale generalizzato in tutti i campioni analizzati, attribuibile all'impregnazione salina del materiale (tab 2). Tale incremento conferma l'assenza di fenomeni di perdita di materiale dovuti a disgregazione meccanica. Tuttavia, l'analisi comparativa ha rivelato differenze significative tra i due gruppi di campioni: i provini non trattati hanno mostrato un incremento ponderale medio del 12,3%, mentre i campioni consolidati hanno registrato in molti casi valori sensibilmente inferiori (fig. 11 e 12). Questa diffe-

Non trattati				Trattati con SIOX-5 RE39			
N. Provino	**Pi**	**Pf**	**D%**	**N. Provino**	**Pi**	**Pf**	**D%**
1	1,62	1,88	+ 13,53	**11**	1,68	1,91	+ 12,04
2	2,07	2,38	+ 13,17	**12**	2,57	2,80	+ 8,21
3	3,26	3,72	+ 12,30	**13**	2,76	3,10	+ 10,84
4	1,57	1,80	+ 13,10	**14**	3,68	3,93	+ 6,36
5	2,33	2,73	+ 14,78	**15**	2,36	2,60	+ 9,23
6	1,96	2,26	+ 13,10	**16**	2,21	2,52	+ 12,30
7	2,77	3,18	+ 12,71	**17**	3,52	3,94	+ 10,66
8	2,10	2,37	+ 11,40	**18**	1,52	1,63	+ 6,75
9	2,32	2,67	+ 13,35	**19**	2,46	2,82	+ 12,77
10	2,66	2,81	+ 5,13	**20**	2,46	2,79	+ 11,83

Tab. 2. Tabella che riporta i risultati delle prove gravimetriche dopo i 20 cicli di prova: peso iniziale (Pi), peso finale (Pf) e differenza percentuale (D%).

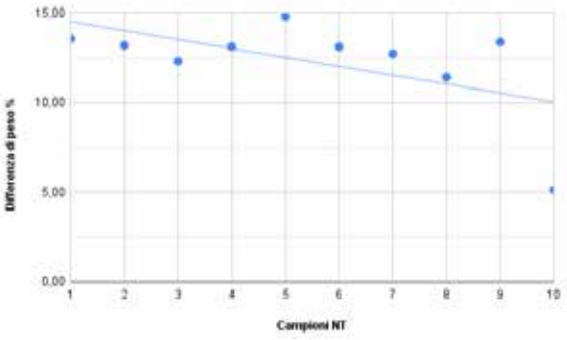


Fig. 11. Risultati delle misure gravimetriche su campioni non trattati

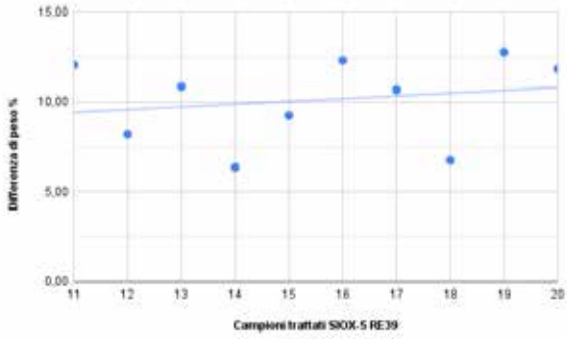


Fig. 12. Risultati delle misure gravimetriche su campioni trattati con soluzione sol-gel SIOX-5 RE39.

renza può essere interpretata come l'azione del trattamento consolidante. La riduzione della porosità del materiale comporta una diminuzione della capacità di assorbimento che limita la penetrazione e l'accumulo di contaminanti salini all'interno della matrice porosa.

I risultati sono confermati dalle analisi SEM-EDS condotte sulle sezione lucide delle due tipologie di provino. Nei campioni con consolidante SIOX-5 RE39 si nota un tenore più basso di sodio e zolfo (elementi marker del sale) e non si riscontrano concentrazioni anomale che potrebbero causare subflorescenze. Si osserva invece una diffusione omogenea nei pori del materiale, lungo l'intera profondità della sezione. I sali, in entrambi i casi, formano un deposito superficiale ben visibile nelle mappature (fig. 13 e 14).

Per quanto riguarda la forma dei cristalli, l'analisi morfologica non evidenzia particolari

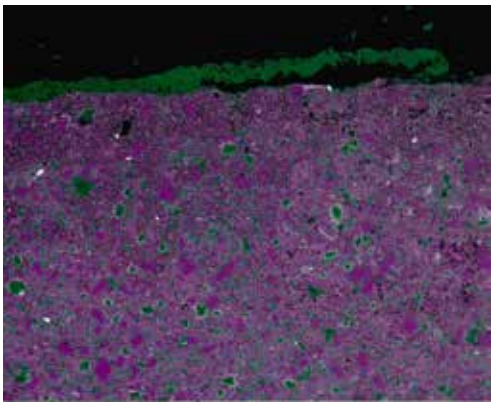


Fig. 13. Mappatura elementare del silicio (rosa) e dello zolfo (verde) sovrapposta a immagine SEM (BSD), sezione lucida di provino non trattato.

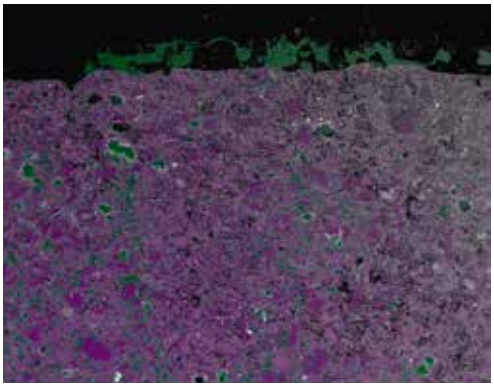
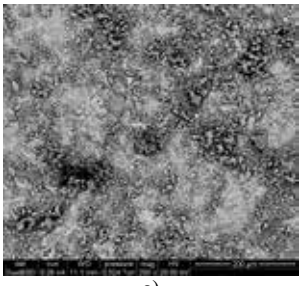


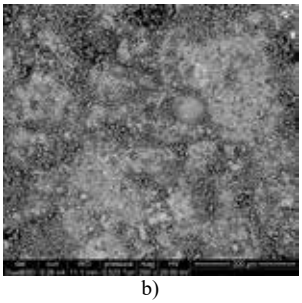
Fig. 14. Mappatura elementare del silicio (rosa) e dello zolfo (verde) sovrapposta a immagine SEM (BSD), sezione lucida di provino trattato con SIOX-5 RE39

differenze tra efflorescenze generate su ceramica non trattata rispetto a quelle generate su terracotta con consolidante sol-gel. Le dimensioni cristalline sono perfettamente paragonabili. Quello che si osserva è piuttosto un effetto di saturazione che il trattamento consolidante può dare su parti sbiancate a causa delle efflorescenze saline (fig 15).

Un ulteriore aspetto indagato è stato l'eventuale interazione della silice sol-gel nei processi di germinazione dei sali e - dato il comportamento osservato in cantiere - la possibile funzione inibitoria. Recenti studi hanno valutato ad esempio l'uso dei fosfonati, sostanze in grado di modificare la cristallizzazione o favorire la crescita di forme cristalline meno dannose nei materiali porosi [12]. Per verificare capacità simili nella silice sol-gel, valutando fasi di neoformazione o variazioni nella forma cristallina, sono state condotte analisi diffrattometriche. Campioni di solfato di sodio anidro e sodio solfato dopo interazione con SIOX-5 RE39, sono stati sottoposti ad analisi XRD con diffrattometro a raggi X modello Panalytical X'Pert 3 powder, equipaggiato con tubo a raggi



a)



b)

Fig. 15. Provino in terracotta con efflorescenze di sodio solfato. Si nota l'effetto di saturazione nella parte bassa dovuta ad applicazione del consolidante. A fianco le relative immagini SEM (BSD) ottenute a medesimo ingrandimento: a) metà non trattata, b) metà trattata con SIOX-5 RE39.

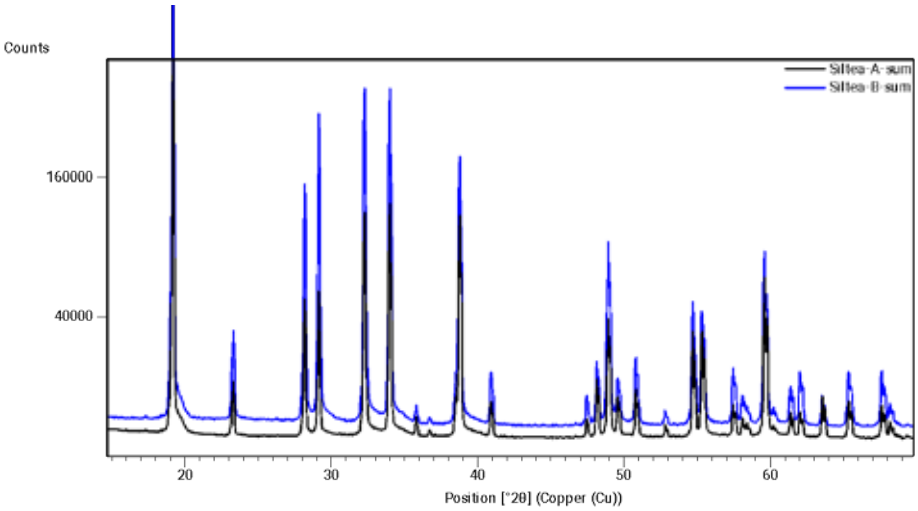


Fig. 16. Sovrapposizione dei diffrattogrammi del campione Siltea A (solfato di sodio anidro dopo interazione con acqua e successiva asciugatura) e del campione B (solfato di sodio anidro dopo interazione con silice sol-gel SIOX-5 RE39).

X con anodo in rame, ottica Mirror BBHD, spinner, detector allo stato solido PixCel.
I diffrattogrammi mostrano una perfetta sovrapposizione tra i due campioni. In entrambi i casi si rileva la presenza della fase thenardite, la forma anidra del solfato di sodio che si forma principalmente in ambienti caldi e secchi. In condizioni naturali, in presenza di elevata umidità, la thenardite può assorbire umidità atmosferica e trasformarsi in mirabilite. In un ambiente secco, a sua volta la fase idrata può perdere le sue molecole d'acqua e disidratarsi, trasformandosi di nuovo in thenardite. Per questo motivo, i campioni di mirabilite tendono a sfaldarsi e trasformarsi in una polvere bianca se esposti all'aria secca (quello che si osserva in molte superfici del Chiostro interessate da efflorescenza). I risultati mostrano nuovamente che l'interazione della silice sol-gel con il solfato di sodio non modifica naturali dinamiche di interazione con l'umidità, ma si limita a creare un network con proprietà coesive, mesoporoso e traspirante.

Conclusioni

Lo studio ha rivelato un quadro complesso del degrado salino in diverse aree del sito. Contrariamente alle aspettative sulla presenza di nitrati, le analisi hanno identificato una predominanza di solfati come principale agente di degrado. Questo risultato sottolinea la necessità di un'indagine approfondita e mirata per comprendere le specifiche condizioni microambientali e la possibile origine dai materiali di allettamento delle maioliche.
I test di migrazione dei sali hanno chiaramente dimostrato che il consolidante non ostacola la libera circolazione dei sali all'interno del materiale, scongiurando il rischio di dannose sub-efflorescenze, ovvero la cristallizzazione dei sali al di sotto della superficie. Questo aspetto è cruciale per la conservazione a lungo termine, poiché garantisce che i processi di libera migrazione non vengano compromessi. Si tratta di un tema che è spesso legato all'utilizzo di idrorepellenti e che è poco studiato per i consolidanti. Gli approfondimenti trattano principalmente le applicazioni su materiale lapideo con presenza di sali solubili [13], su cui si deve prestare assoluta attenzione per non ripetere gli errori

che sono stati commessi in passato (come l'uso di resine o polimeri non traspiranti), ma che può coinvolgere anche altri materiali, in questo caso la terracotta. Parallelamente, non si sono riscontrate prove sull'influenza della silice sol-gel sui processi di cristallizzazione dei sali. Non si sono osservate alterazioni significative né nella dimensione dei cristalli, né nella formazione di specifiche fasi mineralogiche. L'influenza percepibile del trattamento è piuttosto un effetto di saturazione sullo sbiancamento causato dai sali, che potrebbe offrire un beneficio estetico senza compromettere la traspirazione delle parti in biscotto.
Infine, i cicli di cristallizzazione e i risultati delle misure gravimetriche indicano quello che può rappresentare un potenziale vantaggio del trattamento consolidante: la riduzione della porosità dovuta alla presenza di silice nei pori della ceramica comporta un minor assorbimento di umidità, una maggiore velocità di asciugatura del materiale e quindi una limitazione dell'interazione tra acqua e i sali presenti in superficie.

Bibliografia e sitografia

[1] G. Donatone, *Il chiostro maiolicato di Santa Chiara - seconda edizione ampliata*, 2009, Edizioni Scientifiche Italiane.
[2] V. Gottardi, *I ceramici, Appunti dalle lezioni di Tecnologia dei materiali e chimica applicata*, 2004, Bologna - Pàtron Editore.
[3] C. Maltese (a cura di), *Le tecniche artistiche*, 1973, Mursia.
[4] L. Campanella et al., *Chimica per l'arte*, 2007, Zanichelli.
[5] M. Cecchin, B. Checcucci, L. Pessa, *Diagnostica e sperimentazione di sistemi sol-gel nel restauro di un vaso apotecario ligure*, in "Faenza: Bollettino del Museo internazionale delle ceramiche in Faenza : CIX, 1, 2023 Restauro del restauro dei manufatti ceramici, tra rimozione e conservazione", 2023, Polistampa, pp. 90-99.
[6] Patent n. 0001370467 *"Synthesis of silica protective films by tin-catalyzed sol-gel process"* Università di Padova, 2006.
[7] C. Bortolussi, M. Cecchin, *La tecnologia sol-gel per la protezione della ceramica*, in "Faenza: Bollettino del museo internazionale delle ceramiche in Faenza", 2019, pp. 74-82.
[8] L. Borgioli, *Polimeri di sintesi per la conservazione della pietra*, 2022, il Prato.
[9] J.D. Wright, N.A.J.M. Sommerdijk, *Sol-gel materials. Chemistry and applications*, 2000, CRC Advanced Chemistry Text.
[10] E. Ruiz-Agudo et al, *The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulfates*, in "Environmental Earth Sciences", 2007, (2007) 52, pp. 269–281.
[11] https://hmc2025.com/wp-content/uploads/2025/07/HMC-2025_Book-of-Extended-Abstracts.pdf
[12] G. Simonelli et al., *The use of phosphonates to inhibit salt crystallization: a laboratory study for the sustainable conservation of mural paintings in the hypogea context*, in "Sustainability", 2024, 16(22), 9745.
[13] Carla Lisci et al., *Hydrophobic coatings' efficiency and limestones' resistance to salt crystallisation*, in "Sustainability", 2024, 16(2), 816.