

# Kermes

RESTAURO,  
CONSERVAZIONE  
E TUTELA DEL  
PATRIMONIO  
CULTURALE

# 136

**Trattamento delle patine biologiche  
sui materiali lapidei esposti all'aperto**  
**La croce bolognese di Giunta Pisano**  
**Un'opera polimaterica di arte cinetica**  
**La tecnica di protezione catodica**  
**Simulazione di restauro come didattica**  
**Conservazione tra sicurezza e  
sostenibilità**



ISSN 1122-3197



9 788832 029734

## Abbonamenti 2025 e acquisto fascicoli

ABBONAMENTI	4 NUMERI
CARTACEO	70 €
DIGITALE	36 €
CARTACEO + DIGITALE	100 €

Per gli abbonamenti cartacei **esteri** il supplemento è di **30 €** ogni 4 numeri.

Il prezzo di ogni **singolo fascicolo** è di:

**25 €** CARTACEO

**13 €** DIGITALE

I pagamenti possono avvenire secondo le seguenti modalità:

• **bonifico bancario**

c/c Lexis IBAN IT30A0200846150000101047280

BIC UNCRITM1CH2

• **PayPal e carta di credito**

ACCOUNT shopping@lexis.srl

*A tutti gli studenti di università, accademie, scuole di formazione, istituti superiori e professionali, ecc. – come volontà di sostegno diretto alla crescita culturale dei futuri attori del mondo di riferimento della rivista – riserviamo uno sconto speciale del 35%, applicabile su qualsiasi tipologia di abbonamento.*

*Per accedere a tale sconto occorre semplicemente che ci venga indicata la tipologia del corso, la durata, l'anno di frequenza e l'istituzione presso la quale esso viene svolto.*

Per conoscere le offerte speciali del momento, richiedere arretrati e qualsiasi altra informazione scriveteci a:

**abbonamenti@kermes.cloud**



**kermes**

an imprint of LEXIS  
via Carlo Alberto 55,  
I-10123 Torino  
www.kermes-restauro.it | kermes@lexis.srl

# Sommario

**In copertina:**  
Roma, Parco  
archeologico  
del Colosseo,  
Foro romano,  
Basamento del  
Restitutor urbis  
prima del restauro  
(foto C. Fiorani).

## Attualità

- 4 Cimabue al Louvre
- 4 Ricordo di Annamaria Giovagnoli
- 5 Convegni, seminari e giornate di studio
- 5 Un'esegesi critica del trattato di Cennino. Recensione
- 6 Il restauro del *Martirio di sant'Orsola*, ultimo dipinto di Caravaggio (Napoli 1610)
- 8 La *Deposizione di Santa Trinita* del Beato Angelico torna al Museo di San Marco a Firenze
- 10 "Shining Klimt", reale e virtuale
- 12 Una tecnologia innovativa per i beni culturali: "Authentica" del Laboratorio Nest SNS di Pisa
- 14 L'Archivio Storico dei Restauratori Italiani (ASRI) a Roma Tre
- 15 Luca Zuccala nuovo direttore del 'Giornale dell'Arte'
- 16 *Il Cenacolo* dipinto a olio su muro da Alonso Rodriguez



## Cronache del restauro

- 17 **La croce di Giunta Pisano in San Domenico a Bologna**  
*Diego Cauzzi, Pier Paolo Monfardini, Gisella Pollastro, Claudio Seccaroni*
- 25 **Il restauro dei basamenti monumentali del Foro romano**  
*Angelica Pujia, Claudia Fiorani, Federica Antonelli, Marco Bartolini*

- 33 **Il restauro di *Attesa*: un'opera cinetica polimerica di Saverio Ungheri (1978)**  
*Claudia Sensini, Andrea Del Bianco*



## Tecniche del restauro

- 41 **Il restauro di due sculture di Giovanni Tamburelli**  
Camila Restrepo



## Storia del restauro

- 47 **'Prova di restauro' con Giuseppe Basile**  
Giancarlo Buzzanca

## Restauro e sostenibilità

- 53 **Conservazione dei beni culturali tra sicurezza e sostenibilità**  
Fernanda Prestileo, Federica Sacco



## Le rubriche

- 63 **PILLOLE DI RESTAURO TIMIDO**  
**Caso | Oggetto**  
Marco Ermentini, Shy Architecture Association
- 64 **2014-2024 YOCOCU SI RACCONTA**  
**Gel apolari, innovazione nella pulitura di opere metalliche.**  
**Intervista a Laura Palermo**  
Paola Carnazza
- 66 **#ACTGREENER**  
**Possibili strategie sostenibili per le mostre d'arte contemporanea in rapporto ai materiali di protezione utilizzati per le opere d'arte, nelle fasi logistiche di movimentazione, allestimento, smontaggio e trasporto**  
Gabriele Vigilante

- 69 **INFORMATICA PER IL RESTAURO**

**Figurine e informatici nel mondo della cultura**  
Giancarlo Buzzanca

- 72 **PATRIMONIO DEMOETNOANTROPOLOGICO**

**Interventi di conservazione e restauro su beni etnografici in plastica**  
Serena Francone

- 74 **FOTOGRAFIE**

**Patina e plastificazione delle carte fotografiche**  
Donatella Matè e Daniele Ruggiero

- 77 **LE FONTI**

**Un termine dalle molteplici accezioni**  
Claudio Seccaroni

- 78 **SUPSI**

**Il ciclo cinquecentesco di dipinti murali di Villa Imperiale a Pesaro**  
Giacinta Jean

- 80 **IGIIC**

**Taccuino IGIIC**  
Lorenzo Appolonia

PERIODICO TRIMESTRALE

**kermes** RESTAURO,  
CONSERVAZIONE  
E TUTELA DEL  
PATRIMONIO  
CULTURALE

ANNO XXXVII N. 136 OTTOBRE-DICEMBRE 2024

ISSN 1122-3197 ISBN 978-88-32029-73-4  
© 2025 Lexis

COMITATO SCIENTIFICO

Giancarlo Buzzanca, Paola Carnazza, Maria Perla Colombini, Lorenza D'Alessandro, Marta Gómez Ubierna, Marisa Laurenzi Tabasso, Paolo Pastorello, Paola Pogliani, Giovanni Quarta, Cristiano Riminesi, Maria Luisa Saladino, Barbara Scala, Claudio Seccaroni, Andrea Ugolini

DIREZIONE

Lorenzo Armando

REDAZIONE E IMPAGINAZIONE

Beniamino Lecce (beniamino.lecce@kermes.cloud)

EDITORE

Lexis Compagnia Editoriale in Torino srl  
Via Carlo Alberto 55, 10123 Torino  
tel. +39.011.0674847  
e-mail: kermes@lexis.srl

iscrizione ROC n. 25625

autorizzazione del Tribunale di Torino n. 4892 del 12/05/2017

STAMPA

Bona Industrie Grafiche, Torino  
(finito di stampare nel mese di aprile 2025)

ACQUISTI E ABBONAMENTI

abbonamenti@kermes.cloud

SERVIZIO COMMERCIALE E PUBBLICITÀ

commerciale@kermes.cloud

Tutte le immagini pubblicate sono state fornite dagli autori. L'editore si dichiara disponibile a regolare eventuali spettanze per le immagini utilizzate di cui non sia stato possibile reperire la fonte. La responsabilità delle dichiarazioni, informazioni, dati e opinioni espresse negli articoli è riconducibile unicamente agli autori degli articoli medesimi. L'editore inoltre declina ogni responsabilità, diretta e indiretta, nei confronti degli utenti e in generale di qualsiasi terzo, per eventuali imprecisioni, errori, omissioni, danni (diretti, indiretti, conseguenti, punibili e sanzionabili) derivanti dai suddetti contenuti.

# Kermes

RESTAURO,  
CONSERVAZIONE  
E TUTELA DEL  
PATRIMONIO  
CULTURALE

**Kermes** è una rivista scientifica (area ANVUR 08) fondata nel 1988 la cui mission è la pubblicazione di articoli originali e inediti prodotto della ricerca e operatività nel campo della conservazione, basati su un rigoroso processo di studio e riflessione e con un forte carattere interdisciplinare. Obiettivo generale è quello di contribuire alla diffusione e generazione della conoscenza tra i diversi professionisti che operano nel campo della conservazione, specialmente per quanto riguarda gli avanzamenti in questo settore, dal punto di vista metodologico e tecnico-scientifico.

## *Peer review*

Il procedimento di revisione è improntato al modello single blind peer review. I contributi ricevuti dalla direzione o dalla redazione della rivista tramite il form disponibile sul sito <https://www.kermes-restauro.it/contatti/> o in altra forma (per es. invio via mail [info@kermes.cloud](mailto:info@kermes.cloud)), vengono sottoposti dalla direzione a una prima valutazione di congruenza con i temi trattati. Superata questa selezione, vengono sottoposti al comitato scientifico, che individua al proprio interno o esternamente ad esso due figure scientificamente competenti esenti da conflitto di interesse, a cui il contributo viene sottoposto per il referaggio, che resteranno anonime per l'autore o gli autori del contributo. I revisori potranno dare parere favorevole alla pubblicazione; dare parere contrario alla pubblicazione; subordinare il parere favorevole al recepimento di suggerimenti, volti al miglioramento della pubblicazione. In caso di pareri discordi il contributo verrà sottoposto a un terzo revisore individuato dal comitato, la cui valutazione sarà decisiva.

*Definizione delle modalità di gestione delle pratiche contrarie all'integrità scientifica e in generale agli aspetti etici delle pratiche di ricerca (plagio, riproduzione di lavori già editi, ecc.)*

Pratiche quali la fabbricazione e la falsificazione dei dati di ricerca, il plagio, la riproduzione da lavori già editi senza virgolettato e/o menzione della fonte sono da considerarsi violazioni del Codice Etico della rivista. Chiunque, interno o esterno agli organi della rivista, ravvisi la sussistenza di tali comportamenti nell'attività di ricerca di cui si sarebbe reso responsabile un membro degli organi editoriali, un autore o revisore, è invitato a segnalare le circostanze di fatto, corredate da riscontri, all'attenzione della Direzione all'indirizzo [direzione@kermes.cloud](mailto:direzione@kermes.cloud). La Direzione, dopo aver confermato la ricezione, svolge un'istruttoria preliminare sentendo l'interessato, e qualora ritenga il comportamento scorretto potrà disporre la non pubblicazione del contributo argomentando tale decisione. Qualora venga accertata dopo la pubblicazione la ricorrenza di pratiche contrarie all'integrità scientifica, l'articolo sarà ritirato, dandone conto nel fascicolo successivo in uscita e sul sito, con rimozione dagli archivi.

*Procedure per la pubblicità del dibattito successivo alla pubblicazione e per gestire eventuali modifiche e correzioni degli articoli pubblicati*

La rivista favorisce le iniziative di creazione, valorizzazione e istituzionalizzazione di dibattito successivo alla pubblicazione dei contributi. Tutti gli organi editoriali sono attivamente impegnati nello stimolare la produzione di lettere all'editore e/o alla direzione e l'invio di contributi ulteriori. La pubblicazione di lettere alla rivista e l'invio di altri contributi relativi a una pubblicazione avviene senza alcun costo direttamente sulla rivista o sul sito web, a discrezione della Direzione, previa consultazione del Comitato Scientifico. La Direzione e il Comitato Scientifico si impegnano a realizzare le necessarie correzioni degli articoli pubblicati nel caso di errori oppure omissioni e, in generale, assicurare l'integrità e rigore accademico della rivista. È prevista la distribuzione gratuita e senza restrizioni di qualche sezione o articolo della rivista per la sua lettura nel sito web. La rivista è aperta tutti i professionisti italiani o stranieri e alla pubblicazione di articoli in altre lingue.

*Politiche sulla proprietà intellettuale*

La licenza applicata ai contenuti pubblicati sulla rivista è Creative Commons 4.0 BY NC ND. Il deposito degli articoli in archivi istituzionali ad accesso aperto da parte degli autori è consentito per la versione preprint ('submitted') e postprint (o AAM, 'accepted author manuscript'). L'Editore si impegna ad applicare le indicazioni del Piano Nazionale sulla Scienza Aperta in merito alla proprietà intellettuale.



# Lo Stato dell'Arte 23

9-11 ottobre 2025

*Mega Museo*

*Aosta*

Il congresso nazionale annuale Lo Stato dell'Arte, nella sua XXIII edizione, ci porta nella Valle D'Aosta. Nei tre giorni di evento, verranno presentati lavori originali di conservazione e restauro dei Beni Culturali. I partecipanti che arriveranno da tutt'Italia potranno così confrontarsi sulle metodologie applicative e sperimentate su manufatti artistici di diversa provenienza.

## AREE TEMATICHE

- > La conservazione delle collezioni: soluzioni per il restauro, la presentazione e la migliore fruizione
- > Problematiche di progettazione e intervento
- > Diagnostica, ricerche e studi applicati
- > Conservazione preventiva e Etica e Sostenibilità nella conservazione del patrimonio culturale

info e iscrizioni: <https://www.igiic.org/prodotto/lo-stato-dellarte-23/>  
[info@igiic.org](mailto:info@igiic.org)

TECNICHE DEL RESTAURO

# Il restauro di due sculture di Giovanni Tamburelli

## La tecnica di protezione catodica applicata a opere in lega ferro-carbonio esposte in ambiente esterno

Camila Restrepo



Questo articolo fa seguito a un'intervista a Giovanni Tamburelli pubblicata su *Kermes* ed entrambi derivano da una ricerca, svolta presso il Centro di Conservazione e Restauro La Venaria Reale nell'ambito di una tesi magistrale<sup>1</sup>, che ha mirato alla possibile applicazione della tecnica di protezione catodica su due opere in lega ferro-carbonio esposte in ambiente esterno.

Le sculture oggetto d'intervento presentano problematiche di carattere conservativo dovuto alla presenza di prodotti di ossidazione che hanno alterato la superficie dei manufatti. Per l'artista il deterioramento dei materiali costitutivi causato dal trascorrere del tempo è una componente intrinseca del suo processo creativo; tuttavia, sebbene l'accelerazione del fenomeno corrosivo sia parte

integrante della tecnica esecutiva, la progressione di questo fenomeno non è prevista dall'artista.

Con l'obiettivo di preservare il supporto metallico delle sculture *Pappagallo* (fig. 1) e *Ranocchia* (fig. 2), e dato che queste presentano le caratteristiche fisico-chimiche idonee, è stato deciso di avviare una ricerca relativa alla protezione catodica, con particolare attenzione alla protezione attiva mediante l'uso di anodi sacrificali. Con questa tecnica si potrebbe evitare l'utilizzo di protettivi che possono alterare le proprietà estetiche dei manufatti.

### Casi studio in ambito di restauro

L'applicazione di sistemi di protezione catodica appare poco analizzata nel campo dei beni culturali; tuttavia,

**Fig. 1.** Giovanni Tamburelli, *Pappagallo* (2018), lega ferro-carbonio, h 150 cm, l 80 cm, S 2 mm, Collezione privata (© CCR La Venaria Reale).



1

**Fig. 2.** Giovanni Tamburelli, *Ranocchia* (2017), lega ferro-carbonio, l 30 cm, h 85 cm, S 2 mm (base in legno 18 cm), Collezione privata (© CCR La Venaria Reale).



2

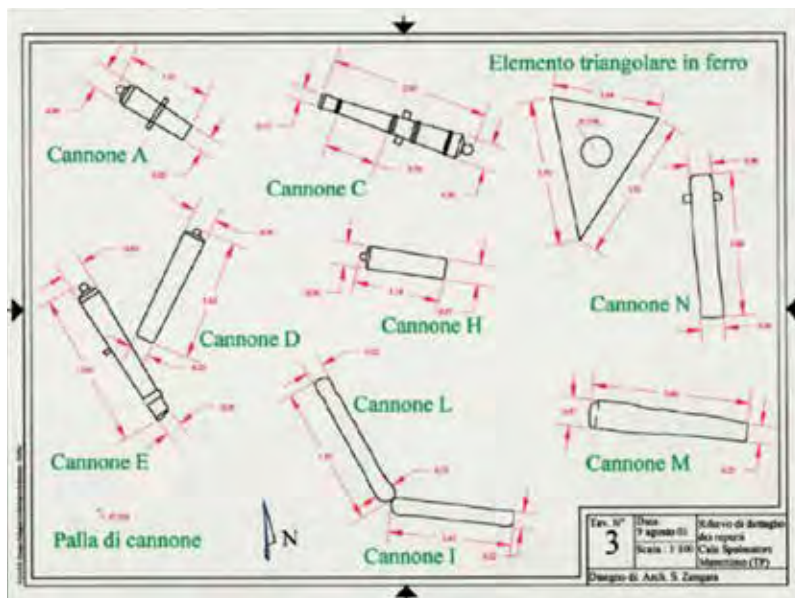
**Fig. 3.** *Sfinge "au parapluie"* (1900), calcestruzzo armato 105x125x59 cm, Ambasciata del Belgio a Parigi (© Inp/G. Vanneste).



**Fig. 4.** Schema dell'impianto di protezione catodica della *Sfinge "au parapluie"* (© C. Brière).



**Fig. 5.** Mappatura dei manufatti rinvenuti all'isola di Marettimo in Sicilia. Rilievo analitico dei 9 cannoni (© Soprintendenza del Mare).



uno studio condotto nel 2015 presso l'Istituto Nazionale del Patrimonio di Parigi<sup>3</sup> descrive la sua applicazione su una scultura in calcestruzzo armato (fig. 3). Il problema principale affrontato è stato il trattamento delle armature in ferro: la struttura metallica della scultura è stata inglobata nel calcestruzzo e non poteva essere isolata tramite rivestimenti superficiali; inoltre, l'uso di inibitori di corrosione era limitato. Per risolvere il problema sono stati saldati degli anodi in zinco alla struttura in ferro (fig. 4), trattamento che ha comportato la perforazione della scultura per rendere possibile l'inserimento dell'anodo nel calcestruzzo.

Un altro esempio di utilizzo di questo sistema è stato realizzato dall'Istituto Centrale per il Restauro (ICR) nel 2007<sup>4</sup>: oggetto dell'intervento furono nove cannoni in ghisa (fig. 5) rinvenuti negli anni 2000 sui fondali del parco marino dell'isola di Marettimo in Sicilia. I cannoni, dispersi in seguito all'affondamento di una nave spagnola, sono stati ritrovati a una profondità di circa 15 m. I manufatti, di diverse dimensioni e forme, sono stati lasciati sui fondali nel luogo originario del ritrovamento. Successivamente, tra archeologi, conservatori e ingegneri dei materiali, è stato discusso un piano di conservazione volto a identificare un sistema di protezione efficiente e non invasivo, selezionando come tecnica di conservazione più idonea la protezione catodica ad anodi sacrificali, con anodi in lega di zinco e un collegamento tramite cavi (fig. 6).

**Protezione catodica**

Nella corrosione elettrochimica, le trasformazioni chimiche di un metallo sono causate dal passaggio di corrente elettrica all'interno di un sistema (fig. 7). La corrente di corrosione dipende dal metallo poiché la circolazione di corrente all'interno del materiale avviene a livello elettronico<sup>5</sup>, che dal mezzo elettrolita poiché la circolazione di corrente avviene tramite migrazione ionica<sup>6</sup>. La protezione attiva, o protezione catodica, si basa sui principi della corrosione dei metalli per cui i siti anodici e catodici si trovano sulla superficie del materiale.

Con questa tecnica è possibile rendere la struttura metallica da proteggere più elettronegativa, rispetto al potenziale di corrosione che il materiale assumerebbe in condizioni naturali. Ciò avviene inviando una corrente di protezione, in senso opposto alla corrente di corrosione, con un'intensità pari o superiore a quest'ultima. In tal modo, la corrente risultante si annulla o è diretta verso il metallo<sup>7</sup>.

**Ambiente conservativo**

Lo studio approfondito dei parametri termoigrometrici e la qualità dell'aria a Saluggia, luogo in cui saranno ricollocate le sculture, è stato fondamentale nell'individuare i parametri idonei per l'applicazione della tecnica di protezione. I dati relativi alla quantità di inquinanti atmosferici e alle variazioni stagionali delle temperature e dell'umidità, sono stati utili nel determinare il tipo di ambiente - e quindi di corrosione - a cui sono state e possono essere sottoposte le sculture.

In ambienti esterni come l'atelier di Giovanni Tamburelli, luogo in cui le sculture erano collocate prima

dell'intervento, e dove si prevedeva la loro ricollocazione, la velocità di corrosione dipende, oltre che dall'umidità relativa e dagli inquinanti presenti nell'ambiente, dai fenomeni di trasporto di ossigeno in superficie. Nei processi catodici gli elettroni rilasciati da ogni atomo di metallo che si è ossidato, riducono le specie chimiche presenti nell'ambiente.

In ambienti esterni l'ossigeno gassoso dell'atmosfera si trova in equilibrio con l'ossigeno disciolto in piccola quantità nell'acqua, il reagente della semireazione catodica è l'ossigeno molecolare. L'umidità sotto forma di piccole gocce funge da mezzo elettrolita. L'acqua, che rappresenta uno dei principali fattori di degrado dei materiali metallici, facilita il movimento di specie chimiche con cariche elettriche.

### 2. Meccanismo di corrosione

L'interazione tra ossigeno, acqua e metallo porta alla formazione di due circuiti (fig. 8): uno all'interno del metallo e uno all'esterno. Il metallo, essendo conduttore di prima specie, facilita lo scorrimento di elettroni all'interno della struttura; in questo caso, le cariche positive ( $Fe^{2+}$ ) si spostano verso le aree anodiche e le cariche negative verso le aree catodiche ( $2e^-$ ). La corrente è generata dal movimento libero degli elettroni all'interno del materiale.

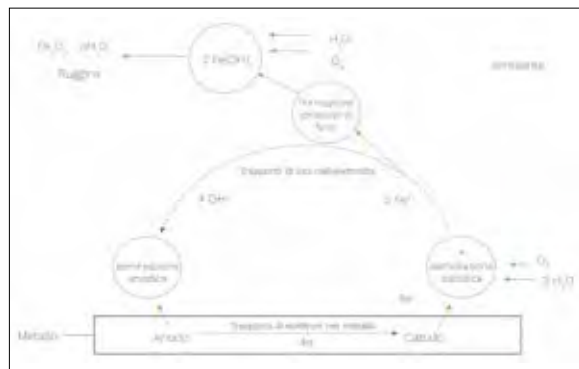
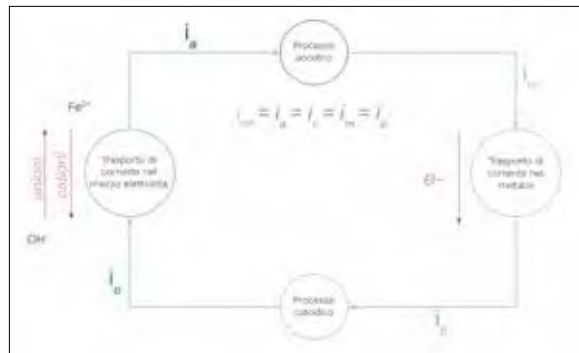
L'acqua si comporta come conduttore di seconda specie che permette il movimento degli ioni, dalle zone anodiche o negative ( $Fe^{2+}$ ) a quelle catodiche o positive ( $OH^-$ ). La corrente prodotta dalla semireazione catodica circola all'interno dell'elettrolita dalle regioni catodiche o positive a quelle anodiche o negative. All'interno di questi due circuiti, le cariche positive si spostano nella direzione della corrente, mentre quelle negative si spostano in senso contrario. Il valore di queste correnti è comune e si traduce nella velocità totale del processo di corrosione (tab. 1).

### Polarizzazione

Nel processo di riduzione dell'ossigeno e sviluppo di idrogeno nei materiali ferrosi, si distinguono tre condizioni termodinamiche: attività o possibile corrosione, immunità e passività. La protezione catodica può essere applicata all'acciaio attraverso i seguenti metodi:

**Con generatore a corrente impressa** (fig. 9), se il potenziale del metallo è abbassato al di sotto del valore di equilibrio ( $E < E_{eq}$ ), il metallo non tende a ossidarsi né a formare prodotti di corrosione. Questa condizione, definita immunità perfetta, è ottenibile solo con protezione a corrente impressa.

**Con anodi sacrificali** (fig. 10) è possibile arrivare alle condizioni di quasi immunità e passività perfetta. La quasi immunità si raggiunge quando il potenziale è ridotto vicino al valore di equilibrio, se il potenziale non è sufficiente per eliminare il lavoro motore ( $E > E_{eq}$ ) la velocità di corrosione viene ridotta ma non annullata. La passività perfetta si applica a materiali con natura attivo-passiva. In questa condizione il potenziale del metallo è leggermente inferiore al potenziale di corrosione ( $E_{corr} > E > E_{eq}$ ). La passivi-



$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$	processo anodico	corrente $i_a$
$\frac{1}{2} O_2 + H_2 O + 2e^- \rightarrow 2 OH^-$	processo catodico	corrente $i_c$
$Fe^{2+} + 2 OH^- \rightarrow Fe(OH)_2$ (scorie)	Formazione nei composti che precipitano sui metalli	corrente $i_m$
$2 Fe(OH)_2 + \frac{1}{2} O_2 + H_2 O \rightarrow 2 Fe(OH)_3$	trasporto di ioni nell'elettrolita	corrente $i_e$

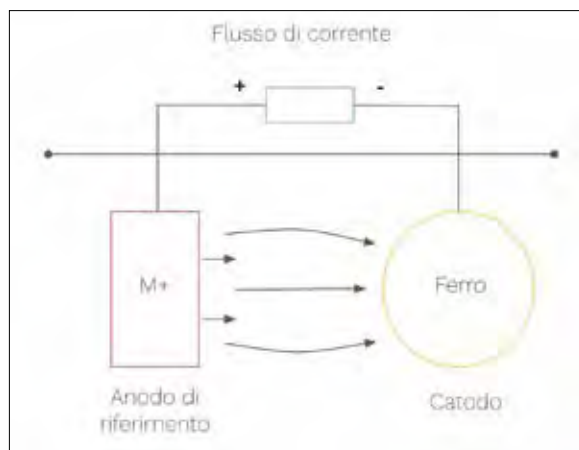


Fig. 6. Sistema di protezione catodica: anodo in lega di zinco e cavi elettrici (sinistra) e meccanismo di ancoraggio del sistema di protezione al cannone (destra) di Marettimo in Sicilia (© ICR).

Fig. 7. Schema delle correnti coinvolte nella reazione di ossidoriduzione nella corrosione del ferro.

Fig. 8. Schema del meccanismo della corrosione elettrochimica del ferro in presenza di ossigeno.

Fig. 9. Tabella riassuntiva dei processi coinvolti nella reazione di ossido riduzione e le relative correnti.

Fig. 10. Schema della protezione catodica a corrente impressa.

6  
7  
8  
9  
10

tà perfetta è facilitata dalle condizioni di passivazione del metallo se la corrosione è già attiva.

Gli effetti cinetici, a differenza dei fattori termodinamici, non sono direttamente correlati alla riduzione del lavoro motore, ma all'aumento della resistenza della reazione di ossido-riduzione. Quando il potenziale di un metallo diminuisce, anche la facilità dei processi anodici e catodici si riduce. La corrente di protezione erogata compensa la carica elettrica nel sistema e rallenta la reazione di ossido-riduzione diminuendo così la velocità di corrosione.

### Anodi di sacrificio

Gli elettrodi impiegati nella protezione catodica ad anodi sacrificali sono dei corpi metallici che hanno un potenziale standard ( $E_0$ ) negativo, per cui fungono spontaneamente da anodi e sono destinati a un progressivo consumo nel tempo. I due parametri che definiscono questo tipo di elettrodo sono: il potenziale e la capacità di corrente. Il potenziale dell'elettrodo determina il lavoro motore, ovvero la corrente erogata, utile a ottenere il numero minimo di elettrodi necessario per la protezione; la capacità di corrente, cioè la carica erogata per unità di peso, definisce invece il consumo degli elettrodi e ne determina, quindi, la massa necessaria per assicurare la durata della protezione.

Il tipo di elettrodo impiegato varia in base al metallo da proteggere, ma anche all'ambiente con cui è a contatto. Per la protezione del ferro in ambienti fortemente conduttivi, come l'acqua di mare, sono utilizzati anodi in zinco, mentre in quelli meno conduttivi si utilizzano anodi in alluminio o magnesio. La densità di corrente impartita dal materiale anodico si denomina densità di corrente di protezione ( $I_{prot}$ ) ed esprime la differenza tra le velocità con cui si producono i processi catodici e quelli anodici ( $I_{prot} = i_c - i_a$ ). La corrente di corrosione, diventa trascurabile quando la densità di corrente esterna eguaglia la velocità dei processi catodici.

### Sperimentazione

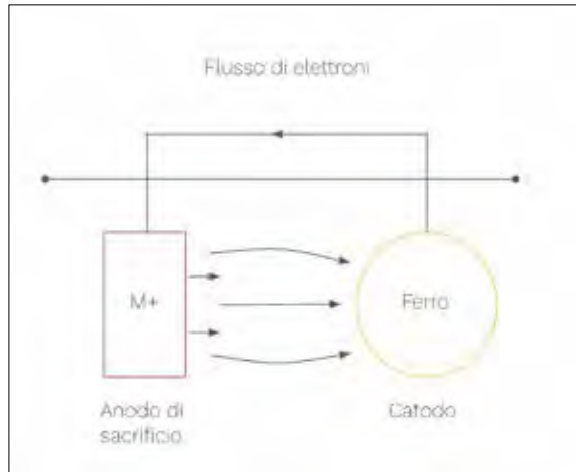
Al fine di valutare le proprietà degli elettrodi e l'applicabilità della tecnica protettiva, sono state condotte due prove in laboratorio concepite per replicare le condizioni di sviluppo del processo corrosivo<sup>8</sup>. Obiettivo della sperimentazione è stato identificare il tipo di anodo idoneo in base all'ambiente espositivo e determinare la modalità di collegamento ottimale tra gli anodi e le opere.

La sperimentazione ha dimostrato l'efficacia della tecnica di protezione. Con l'utilizzo di questo metodo è stato infatti possibile rallentare la velocità di corrosione sui campioni in lega di ferro. Durante le prove, a parità di condizioni ambientali, i campioni protetti hanno presentato una formazione di prodotti di corrosione molto minore in confronto ai campioni lasciati come riferimento e quindi, privi di protezione.

Per la prima prova, mirata a individuare la lega più idonea, sono stati testati due anodi di natura diversa: un anodo a disco, in lega di alluminio, e un anodo a barra tonda, in lega di magnesio, che ha dato risultati migliori. Gli anodi in zinco sono stati esclusi a causa delle basse concentrazioni di sali rilevate nell'ambiente di Saluggia. Questa prima fase ha inoltre fornito informazioni riguardo al collegamento tramite cavi elettrici. Quelli in rame hanno avuto una particolare influenza sul processo di degrado elettrochimico: il contatto tra i due metalli (rame e ferro) ha infatti generato una differenza di potenziale che ha facilitato il fenomeno corrosivo. Per questo motivo si è deciso di utilizzare cavi in ferro per la fase successiva della sperimentazione.

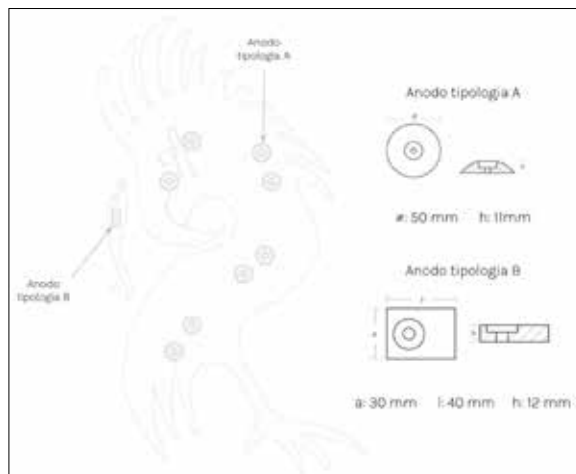
Nella seconda fase si è deciso di analizzare due tipi di collegamento: quello corpo a corpo, che contempla l'accoppiamento diretto tra anodo e campione, e un collegamento che prevede l'utilizzo di appositi cavi elettrici in ferro.

Fig. 11. Schema della protezione catodica ad anodi sacrificali.



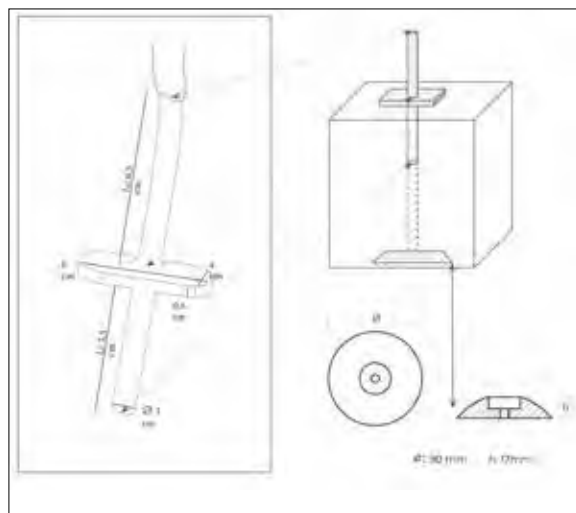
11

Fig. 12. Montaggio degli anodi su Pappagallo.



12

Fig. 13. Montaggio degli anodi su scultura Ranocchia.



13

Ricapitolando, l'osservazione visiva dei campioni e degli anodi ha permesso confermare che la velocità di corrosione è stata rallentata. Mentre i campioni senza protezione hanno sviluppato una quantità significativa di prodotti di corrosione, nel caso dei campioni protetti sono stati gli anodi a subire fenomeni di corrosione. Inoltre, l'utilizzo di cavi elettrici in ferro è risultato idoneo. L'analisi visiva degli anodi dopo la prova evidenzia la formazione di prodotti di ossidazione bianchi sulla superficie, per cui si può concludere che vi era un effettivo passaggio di corrente.

## Sculture

Dai dati ottenuti dalle prove si può affermare che la tecnica di protezione catodica con anodi sacrificali in lega di magnesio risulta idonea per una possibile applicazione sulle sculture oggetto d'intervento. Ulteriori verifiche risultano necessarie a una più completa e definitiva valutazione delle prestazioni di questa tecnica protettiva.

Per quanto riguarda la scultura *Pappagallo*, date le caratteristiche e lo stato di conservazione del supporto, si è cercato di portare l'acciaio a livelli di quasi immunità, in cui il potenziale oscilla tra quello di libera corrosione e quello di equilibrio. La scultura *Ranocchia*, invece, presenta una superficie completamente ricoperta di prodotti di ossidazione marroni. Questi prodotti sono di natura più stabile e formano uno strato passivante, che limita le interazioni tra il metallo e l'ambiente. L'idea è stata quella di portare la scultura alle condizioni di passività perfetta, possibili grazie alla presenza del film passivante.

La geometria dei manufatti ha influenzato la scelta del tipo di collegamento e il posizionamento degli anodi; le disuniformità del materiale non hanno invece avuto una influenza rilevante in quanto le diverse aree del materiale metallico si comportano sia da catodi che da anodi<sup>9</sup>. Nel momento in cui avviene la polarizzazione, le correnti di questi circuiti diventano equivalenti. La distribuzione degli anodi è stata progettata in modo tale da garantire la corretta distribuzione della corrente senza compromettere la corretta lettura dei manufatti; gli anodi, pertanto, sono stati posizionati in modo da non essere visibili, rispettando l'idea e l'intenzione originaria dell'artista.

## Applicazione

Una volta scelti il tipo di materiale anodico, il peso di ciascun anodo e la durata, il numero di anodi necessario per la protezione è stato calcolato in base alla corrente totale di protezione e alla loro massa totale; la loro distribuzione è stata infine progettata in considerazione delle caratteristiche geometriche e strutturali della struttura da proteggere.

## Corrente totale di protezione

La densità di corrente totale di protezione si riferisce alla quantità di corrente elettrica per unità di area che deve essere fornita per garantire una protezione catodica efficace. Il valore di questa corrente dipende dalle condizioni ambientali, dal processo catodico e dalle specifiche dell'applicazione e si ottiene moltiplicando l'area da proteggere per la densità di corrente di protezione<sup>10</sup>. Per l'applicazione del-

la tecnica protettiva in questo caso specifico, si è deciso di considerare come valore di corrente 55 mA, la media dell'intervallo 40÷70 mA consigliato per la protezione dell'acciaio in ambienti neutri-basici in presenza di ossigeno<sup>11</sup>.

## Massa totale degli anodi

Una volta ottenuto il valore di densità di corrente totale di protezione, è necessario moltiplicare questo valore per il consumo anodico<sup>12</sup> (kg/A•a) e per la durata (in anni) degli elettrodi; in questo modo è possibile ottenere il valore della massa totale dei corpi anodici. I dati relativi al consumo anodico e alla durata degli anodi sono riportati nelle schede tecniche dei prodotti. Per la protezione delle sculture sono stati scelti anodi lega in magnesio US MIL A214125H.

Per determinare il numero di anodi utili ad avviare la protezione è necessario dividere la massa totale degli anodi per la massa netta di un singolo anodo. Il posizionamento degli anodi è stato progettato considerando la morfologia delle sculture e individuando le aree in cui questi dispositivi potrebbero essere posizionati in modo da non essere visibili o evidenti.

## Montaggio degli anodi

Per proteggere la scultura *Pappagallo* (fig. 11) sono stati scelti anodi di tipologia diversa: per l'elemento uccello sono stati utilizzati otto anodi in lega di magnesio a forma di disco forato al centro e del peso di 0,03 kg ciascuno, per l'elemento pesce è stato utilizzato un solo anodo a forma di blocco, del peso di 0,02 kg. Per l'adesione degli anodi e, allo stesso tempo, consentire lo scambio elettrico, è stata impiegata come adesivo una colla avente proprietà conduttive.

Per garantire un maggior controllo dei parametri di reversibilità, resistenza all'invecchiamento ed elettroconducibilità è stato deciso di preparare in laboratorio l'adesivo<sup>13</sup>. Il prodotto è stato creato appositamente combinando una resina acrilica ovvero Paraloid B44<sup>®</sup> (prodotto scelto per le sue proprietà adesive e di reversibilità) con Carbon Black, pigmento costituito dal 90-95% di carbone elementare, altamente conduttivo.

Il posizionamento degli anodi sulla scultura *Ranocchia* (fig. 12) ha comportato la modifica del basamento. Per lo scopo è stato utilizzato lo stesso foro in cui va inserito il perno. Il foro è stato allungato fino alla superficie opposta ovvero quella su cui poggia la base. Su questo lato è stata creata un'apertura atta a inserire gli anodi all'interno della base, soluzione che consente di occultare il meccanismo. Gli anodi sono stati collegati alla scultura tramite cavi in ferro.

## Conclusioni

Nel caso specifico la tecnica di protezione catodica si è dimostrata valida per la protezione di manufatti in metallo. Dopo lo studio e l'analisi della tecnica di protezione è stato possibile modificare il potenziale delle sculture, aumentando la resistenza alle reazioni e rallentando, di conseguenza, la velocità di corrosione. Inoltre, con questa tecnica è stato possibile limitare l'utilizzo di protettivi o rivestimenti che avrebbero modificato le caratteristiche di colore e texture, della superficie delle sculture, che sono parte fundamenta-

le del lavoro dell'artista. Infine, è stato possibile posizionare gli anodi in posti in cui non sono visibili e non modificano le caratteristiche originali delle opere.

Il vantaggio di questa tecnica protettiva, oltre a quelli citati in precedenza, è che con essa il rischio di sovrapprotezione è limitato. I sistemi di protezione catodica sono essenzialmente autoregolati e l'erogazione di corrente varia a seconda delle condizioni ambientali. Un altro vantaggio è il basso costo degli anodi e la varietà disponibile sul mercato, che rendono la tecnica di protezione catodica un metodo accessibile. Tuttavia, si richiedono ulteriori approfondimenti in vista dell'utilizzo di questo metodo in ambito di restauro.

Da una parte, può essere opportuno approfondire gli aspetti legati alla cinetica del fenomeno corrosivo, in particolare alla relazione tra i parametri elettrici e la velocità di corrosione. Inoltre, la mancanza di casi-studio è un limite per l'applicabilità; un problema riscontrato durante questo studio riguarda la durata degli anodi. Questi dispositivi hanno un'erogazione di corrente limitata e di solito sono calcolati per sistemi industriali (come serbatoi di acqua o interrati, condotte sotterranee, cavi di comunicazione, sistemi di distribuzione di acqua e gas, protezione interna di scambiatori di calore, navi e strutture marine) che non prendono in considerazione le necessità specifiche del settore di restauro.

## NOTE

1. C. RESTREPO, *L'ossidazione, parte fondamentale del processo creativo. Intervista a Giovanni Tamburelli*, 'Kermes', 132 (2023), pp. 59-62. L'intervista e il restauro oggetto del presente articolo sono stati oggetto della tesi di laurea C. RESTREPO, *Il restauro di due sculture dell'artista Giovanni Tamburelli. L'ossidazione come parte del processo creativo e la protezione di opere in lega ferro-carbonio esposte in ambiente esterno*, primo relatore: Emiliano Catali, secondo relatore: Franca Varallo, Università di Torino, Laurea Magistrale Abilitante in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali in convenzione con Centro di Conservazione e Restauro "La Venaria Reale", a.a. 2022-23.
2. La protezione catodica consiste nel ridurre la velocità di corrosione portando il potenziale del metallo a un livello in cui il fenomeno corrosivo non è termodinamicamente possibile.
3. C. BRIÈRE, *La protection cathodique par anodes sacrificielles: adaptation du système pour la Sphinge «au parapluie», épreuve en béton armé*, "Technè", 46 (2018), pp. 104-108. DOI: 10.4000/technè.483.
4. C. BARTULI, R. PETRIAGGI, B. DAVIDDE, E. PALMISANO, G. LINO, *In situ conservation by cathodic protection of cast iron findings in marine environment*, in 9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem Israel (25-30 maggio 2008), 2008, pp. 1-8. <http://www.ndt.net/article/art2008/papers/093Bartuli.pdf>.
5. In ambienti aerobici il ferro si ossida perché tende a cedere elettroni all'ossigeno presente nell'ambiente. La perdita degli elettroni comporta una variazione del numero di ossidazione del metallo, il quale assume una carica positiva ( $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^{-}$ ). Il sito dove ha luogo l'ossidazione è chiamato anodo. Nei processi anodici gli elettroni liberati dall'ossidazione ( $2\text{e}^{-}$ ) vengono ceduti alla fase metallica e si spostano dall'anodo verso il catodo. La corrente prodotta è chiamata corrente anodica e passa all'interno del metallo, dalle regioni anodiche dove gli elettroni sono prodotti, a quelle catodiche dove gli elettroni sono consumati.
6. In ambienti esterni, come quello di Saluggia, questo processo è largamente influenzato dalla formazione di anioni ossidrili dovuti alla presenza di ossigeno nell'acqua. Gli elettroliti sono capaci di condurre corrente elettrica proprio per la presenza di ioni positivi e negativi in soluzione. Questi, derivano dalla reazione di dissociazione e ionizzazione dell'elettrolita stesso. Nel caso del ferro, il trasporto di corrente elettrica è generalmente a carico dei cationi ( $\text{Fe}^{2+}$ ) e degli anioni ( $\text{OH}^{-}$ ) coinvolti nella reazione di ossidoriduzione.

7. La riduzione o l'annullamento della velocità di corrosione si basa su due effetti: uno termodinamico, legato alla riduzione o all'annullamento del lavoro motore, e uno cinetico, legato all'aumento della resistenza alle reazioni. Questi due effetti sono provocati dall'abbassamento del potenziale e dalla conseguente circolazione di corrente.

8. La sperimentazione completa e i risultati ottenuti sono disponibili nel seguente link <<https://lamogliedibrandi.wordpress.com/2024/01/27/protezione-catodica-in-beni-culturali/>>.

9. La teoria dei potenziali misti spiega come le disuniformità all'interno di un materiale metallico creano delle regioni anodiche e catodiche. Secondo questo modello, i sistemi di corrosione sono costituiti da "coppie locali" che si trovano in corto circuito. Tramite una corrente esterna è possibile polarizzare un materiale utilizzando i principi della cella galvanica.

10. La densità di corrente di protezione ( $I_{\text{prot}}$ ), essendo un parametro influenzato da condizioni esterne, viene selezionata in base a specifici valori predefiniti. Questi valori di densità di corrente di protezione variano in funzione delle condizioni ambientali specifiche e del metallo da proteggere e possono essere ricavati da tabelle che riportano i valori indicativi della densità di corrente richiesta per la protezione catodica dell'acciaio.

11. P. PEDEFERRI, M. ORMELLESE, M. PEDEFERRI, *Corrosione e protezione dei materiali*, Milano 2005.

12. Il consumo anodico si riferisce alla quantità di materiale o metallo che viene gradualmente consumato o corroso dall'anodo durante un processo di protezione catodica, ovvero la perdita di materiale che avviene all'anodo mentre fornisce elettroni per impedire la corrosione del catodo, che è di solito la struttura o il materiale da proteggere.

13. L'adesivo utilizzato è stato preparato con Paraloid B44® al 15% con aggiunta del 60% di Carbon Black. Nei punti in cui era necessario, è stato applicato ulteriore adesivo per riempire gli interstizi.

## ABSTRACT

THE RESTORATION OF TWO ARTWORKS FROM THE ARTIST GIOVANNI TAMBURELLI. THE CATHODIC PROTECTION TECHNIQUE APPLIED TO STEEL OUTDOOR SCULPTURES. The sculptures *Pappagallo* and *Ranocchia* present some conservation problems due to the presence of oxidation products on the surface which have modified the optical characteristics of the artworks. The deterioration of the constituent materials is an integral part of the creative process of the artist. With the aim of preserving the metal support of the sculptures, and because the artworks present the suitable physical-chemical characteristics, it was decided to start a research relating to cathodic protection, with particular attention to active protection through the use of sacrificial anodes. With this technique, which consists in reducing the speed of corrosion, the use of protective coatings - which can alter the aesthetic properties of the works - could be avoided. In order to evaluate the applicability of this protective technique, two experiments were conducted: one to identify the suitable type of anode based on the exhibition environment and one to determine a correct electrical connection method between the anodes and the artworks.

## KEYWORDS

cathodic protection, contemporary art, corrosion, oxidation, conservation, sculpture, outdoor sculpture

## L'AUTRICE

- M.A. in Conservazione e Restauro del Patrimonio Culturale presso l'Università di Torino. Ha svolto un tirocinio post-laurea nel Dipartimento di Sculture del Museo Reina Sofía nel 2023 e ha precedenti esperienze presso il MAMBo (Museo di Arte Moderna di Bogotá), il Residenz Museum di Monaco e Rava & C. Srl a Torino. Ha fatto parte del progetto CAPuS presso il Parco di Sculture all'aperto di Sisak, in Croazia. Attualmente lavora come conservatrice-restauratrice per il Dipartimento di Cultura e Turismo (DCT) di Abu Dhabi.



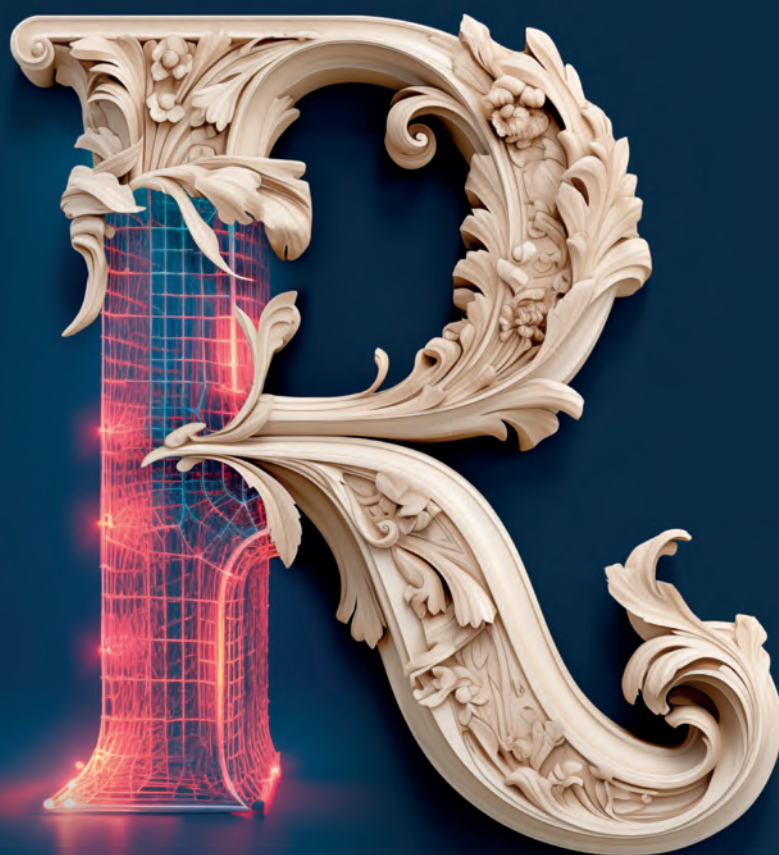
# RESTAURO

SALONE INTERNAZIONALE

**XXX EDIZIONE**

**14-15-16 MAGGIO 2025**

ECONOMIA, CONSERVAZIONE, TECNOLOGIE  
E VALORIZZAZIONE DEI BENI CULTURALI E AMBIENTALI



[www.salonedelrestauro.com](http://www.salonedelrestauro.com)

