

Biorestauro: una nuova frontiera per la conservazione dei Beni Culturali

L'impiego delle biotecnologie microbiche nel campo della Conservazione dei Beni Culturali offre un'alternativa sostenibile ai prodotti chimici per il restauro, mediante lo sviluppo e l'applicazione di prodotti "bio-based" sostenibili e circolari. L'innovazione biotecnologica introdotta da ENEA si basa sia sulla reversibilità degli interventi che sulla riduzione di effetti indesiderati per le opere e gli operatori.

DOI 10.12910/EAI2025-074

di Chiara Alisi, Giada Migliore, Patrizia Paganin, Flavia Tasso, Divisione Impatti Antropici e del Cambiamento Climatico sul Territorio, Laboratorio Tecnologie per la Salvaguardia del Patrimonio Architettonico e Culturale e Laboratorio Impatti sul Territorio e nei Paesi in via di Sviluppo - ENEA

Le biotecnologie industriali, che utilizzano microrganismi e/o i loro componenti biologici per lo sviluppo di nuovi processi, sono indicate dalla Commissione Europea tra le biotecnologie per la transizione verde ^[1], in quanto sfruttano meno risorse ed energia e producono meno rifiuti ed emissioni inquinanti. In questo contesto, il **biorestauro**, che si basa sull'applicazione di biotecnologie microbiche, ha un forte potenziale innovativo per lo sviluppo di **nuovi prodotti per il restauro**, sia nel consolidamento che nella pulitura. I microrganismi impiegati sono principalmente batteri, di origine ambientale, non patogeni e non modificati geneticamente, quindi sicuri e senza restrizioni di impiego, non richiedono condizioni operative stringenti e non pongono problemi di smaltimento. Sono stati selezionati da ambienti ostili, per la maggior parte da siti contaminati, dove hanno sviluppato- per adattamento- tratti metabolici di particolare interesse per utili applicazioni biotecnologiche. In laboratorio vengono isolati, identificati, studiati e conservati nella collezione microbica dell'ENEA **Microbial Culture Collection (EMCC)** ^[2]

alla temperatura di -80°C. In base alle loro caratteristiche, possono essere guidati ad esprimere le funzioni desiderate, utili -come in questi casi- per pulire opere d'arte senza usare prodotti tossici e aggressivi.

La biopulitura: integrazione delle conoscenze tra Arte e Scienza.

Il termine biopulitura indica una procedura che usa microrganismi o loro prodotti come agenti per rimuovere depositi o substrati indesiderati di qualunque origine. Gli interventi di biopulitura richiedono la conoscenza del materiale costitutivo, delle tecniche artistiche delle opere d'arte e della composizione chimica dei depositi per realizzare **un'operazione selettiva e innocua**; impiegano impacchi di cellule batteriche immobilizzate in un gel -facilmente applicabili anche su superfici verticali o soffitti- e facilmente rimovibili, senza lasciare residui.

La messa a punto di questa procedura prevede fasi di lavoro in sequenza: 1) una diagnosi analitica dei substrati da rimuovere, 2) la selezione in laboratorio dei microrganismi in base alla natura del deposito da rimuovere, 3) l'allestimento di provini che riprodu-

cano il più fedelmente possibile le condizioni del manufatto da trattare e 4) il monitoraggio dopo il trattamento per essere certi di non lasciare residui di cellule.

Dal laboratorio all'opera d'arte

La ricerca dell'ENEA - grazie anche alla collaborazione di un gran numero di Restauratori, Sovrintendenze e Musei- ha sviluppato negli ultimi 10 anni un **brevetto di processo** ^[3] e una **vasta casistica** con applicazioni per la rimozione di patine di natura proteica, resine e polimeri sintetici usati come protettivi su dipinti e tele; grassi e olii, patine inorganiche e prodotti di ossidazione da superfici lapidee. Sono stati inoltre studiati prodotti e processi "bio-based", quali estratti di foglie di liquirizia in combinazione con olii essenziali, come alternativa ai biocidi di sintesi per la **rimozione di film biodeteriogeni**.

Uno dei casi più interessanti di biopulitura realizzati dal nostro laboratorio- per l'importanza delle opere, per il risultato ottenuto e per la risonanza mediatica- è stato quello condotto sulle statue di Michelangelo della Sagrestia nuova di Firenze ^[4]. La biopulitura è iniziata con **test esplorativi**

effettuati con i ceppi batterici della collezione ENEA per individuare i microrganismi più adatti a rimuovere le diverse sostanze responsabili delle patine brune compenstrate nel marmo. Questo lavoro preliminare ha permesso di identificare **tre ceppi diversi** in grado di metabolizzare in modo selettivo i depositi individuati in precedenza dalle indagini chimiche. I batteri sono stati applicati all'interno del gel, protetto da un foglio di plastica (Figura 1). Il tempo di contatto per ogni micropack è stato di circa di 18 ore. I lunghi tempi di applicazione, necessari per la rimozione di questi depositi, e la selettività dei batteri impiegati hanno permesso di **operare**



Figura 1 - Biopulitura del sarcofago di marmo nella Sagrestia nuova. A sinistra, il micropack con i batteri applicato sul lato del sarcofago e coperto da un foglio di plastica per proteggerlo e mantenere la giusta umidità. A destra, la superficie pulita dopo la rimozione del micropack.

in sicurezza nel rispetto del materiale costitutivo, preservando anche la salute sia degli operatori che dei fruitori dell'opera all'interno di uno spazio

chiuso come la Sagrestia nuova, con risultati molto soddisfacenti.

[per info: chiara.alisi@enea.it](mailto:chiara.alisi@enea.it)

Bibliografia

1. Building the future with nature: Boosting Biotechnology and Biomanufacturing in the EU, EC Document: Brussels, 20.3.2024 COM (2024) 137, <https://share.google/Uvg40ESwjd9HmJJJa>
2. <https://www.collezionemicrobica.enea.it/>
3. "Processo Biotecnologico per la rimozione di depositi coerenti di origine organica ed inorganica da materiali ed opere di interesse storico-artistico", in seguito esteso a livello europeo con n. EP 3046779 (IT, CH, DE, ES, FR, GB)
4. Alisi, C. et al. Sustainable Restoration Guided by Scientific and Archival Investigations: The Bio-Cleaning of Lorenzo Duke of Urbino's Sarcophagus, a Michelangelo's Masterpiece in the Medici Chapels. *Heritage* 2022, 5, 3359–3373. <https://doi.org/10.3390/heritage5040172>

Canapulo e mucillagine di fico d'india, derivati da scarti vegetali, trovano impiego in bioedilizia come isolanti, consolidanti e protettivi: sono candidati ideali allo sviluppo di nuovi prodotti "bio-based" di origine rinnovabile.

Patrizia Aversa, Vincenza A.M. Luprano, Giuseppe Marghella, Anna Marzo, Concetta Tripepi

Il crescente interesse per la canapa in tutti i settori ha portato allo sviluppo di altri prodotti per l'edilizia a base di canapa. Il calcecanapulo, costituisce una soluzione innovativa e sostenibile per l'efficientamento energetico degli edifici. L'impiego di diverse tipologie di leganti facenti parte di famiglie con reazioni chimiche totalmente diverse (leganti aerei, idraulici, mix delle due tipologie di leganti aerei idraulicizzati con componenti pozzolaniche) determina la principale differenza delle mescole e di conseguenza delle prestazioni dei manufatti. L'industrializzazione del prodotto si è focalizzata all'oggi prevalentemente su produzione di blocchi, pannelli, mescole premiscelate e in alcuni casi pareti prefabbricate (pareti a telaio ligneo con riempimenti in calcecanapulo). I blocchi di produzione italiana vengono utilizzati solo come elementi costruttivi non portanti con funzione di tamponamento, contropareti, pareti divisorie o riempimento. Per questo sono valorizzate soprattutto le loro caratteristiche termiche, acustiche e igrometriche.

Il tema delle prestazioni termiche si focalizza non solo sull'isolamento termico, ma sul comportamento termo-igrometrico per contesti climatici caldi anche su un isolamento abbinato ad una discreta massa volumica. Uno studio ENEA-POLIMI svolto all'interno del progetto PAR2017 finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico ^[1], ha permesso di mettere a confronto misure sperimentali e simulazioni numeriche, confermando la buona tenuta termica di una parete realizzata con mattoni, malta e intonaco contenenti canapulo.

^[1] P. Aversa, A. Marzo, C. Tripepi, S. Sabbadini, G. Dotelli, P. Lauriola, C. Moletti, V.A.M. Luprano (2021) "Hemp-lime buildings: thermo-hygrometric behaviour of two case studies in North and South Italy" *Energy and Buildings*, Volume 247, 1. ISSN: 03787788 DOI:10.1016/J.ENBUILD.2021.111147.

La mucillagine di fico d'india

Chiara Alisi, Stefania D'Ottavio

La mucillagine viene estratta dalle pale della pianta di Fico d'India, uno scarto della potatura che in Italia ammonta a quasi 10 t/h. Questa mucillagine può rappresentare un'immensa risorsa in diversi settori industriali ed è stata studiata in ENEA nell'ambito di due progetti bilaterali Italia-Messico (MAECI, 2014-2020) che ne hanno provato l'efficacia in ambito conservativo ^[2], anche grazie alla bassa biorecettività ^[3], per una moltitudine di applicazioni: consolidamento di malte aeree e idrauliche (Figura 2), dipinti murali, intonaci e come legante per pigmenti.

Per approfondimenti si rimanda alle pubblicazioni:

^[1] Da *Opuntia ficus-indica* e *Capsicum* spp. prodotti sostenibili per i beni culturali. A cura di: Chiara Alisi, Loretta Bacchetta, Franca Persia, Edizioni ENEA, ISBN: 978-88-8286-407-1

^[2] D'Ottavio S. et al. (2024) Mucillagine vegetale negli interventi di restauro: evidenze scientifiche e vantaggi del Gel del Fico d'India

<https://www.ingegno-web.it/articoli/mucillagine-vegetale-negli-interventi-di-restauro-evidenze-scientifiche-e-vantaggi-del-gel-del-fico-d-india/>

^[3] Alisi, C. et al. (2021) Mucilages from Different Plant Species Affect the characteristics of Bio-Mortars for Restoration. *Coatings*, 11, 75. <https://doi.org/10.3390/coatings11010075>



Figura 2 - A sinistra una piantagione di Fico d'India, a destra una malta prodotta con la mucillagine come additivo, analizzata agli ultrasuoni per valutarne la qualità