

Biorimozione di patine di solfati su un bassorilievo marmoreo policromo del XV secolo

Manuela Martino, Salvo Schiavone, Franco Palla

Laboratorio di Biologia e Biotecnologie per i Beni Culturali, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche, Chimiche e farmaceutiche (STEBICEF)
Università degli Studi di Palermo, Italia

Lorella Pellegrino

Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro (CRPR), Palermo, Italia

Evelina De Castro

Galleria Regionale della Sicilia di Palazzo Abatellis, Palermo, Palermo, Italia

Annalisa Balloi

Micro4yoU S.r.l., Milano, Palermo, Italia

Parole chiave: biopulitura, batteri, *Desulfovibrio vulgaris*, restauro sostenibile

1. Introduzione

In questi ultimi decenni le biotecnologie hanno fornito numerose innovazioni tecnologiche per la rivelazione di gruppi microbici causa del biodeterioramento di opere d'arte [1-6] o presenti nell'aerosol di ambienti confinati per i beni culturali [7, 8]. Sebbene numerose specie batteriche rappresentino un pericolo per la conservazione del patrimonio culturale e/o per gli operatori, alcune possono essere utilizzate come dei veri e propri agenti "biorisananti". Al riguardo, la letteratura scientifica riporta che particolari ceppi batterici (*Pseudomonas stutzeri*, *P. aeruginosa*, *Desulfovibrio vulgaris*, *D. desulfuricans*) sono stati utilizzati per la rimozione di strati soprammessi dalla superficie di opere d'arte. Questi microrganismi sfruttano i processi metabolici compiuti in natura utilizzando i componenti dello strato superficiale e trasformandoli in gas non tossici dispersi nell'atmosfera [9].

Attualmente sono disponibili batteri capaci di utilizzare sostanze organiche (e.g.: *Pseudomonas stutzeri*, nitrato riduttori - NRB) o solfati (e.g.: batteri solfato riduttori - SRB). Altre specie batteriche sono invece in grado di innescare il processo di biocalcificazione su substrati lapidei [10 - 12].

Batteri desolfatanti come *Desulfovibrio desulfuricans* e *D. vulgaris* sono stati applicati con successo per la rimozione di croste nere da una lunetta del Duomo di Milano [13], per la rimozione di stucco dal basamento della Pietà Rondanini di Michelangelo [14] e per la pulitura di marmi policromi del Duomo di Firenze [15].

In questo caso di studio è riportata la rimozione di patine di solfati da un bassorilievo marmoreo policromo raffigurante l'Eterno Padre benedicente, esposto presso la Galleria Regionale della Sicilia di Palazzo Abatellis (Palermo, Italia), ricorrendo all'uso di cellule vitali di *Desulfovibrio vulgaris*.

Il protocollo di biorimozione messo a punto in questo caso studio è parte integrante di un complesso intervento che ha previsto, dopo una prima fase di ricerca storico-artistica e valutazione dello stato di conservazione del manufatto, il restauro dell'opera, affiancato da specifiche indagini tecnico-scientifiche.

2. Il caso di studio

2.1 Manufatto

Realizzato da un anonimo scultore lombardo nel XV secolo, presenta una cornice a volute con decorazioni fitomorfe che delimita uno spazio pentagonale dove è raffigurato l'Eterno Padre aureolato, con una mano benedicente e l'altra con cui sostiene il globo. La figura e i motivi decorativi sono realizzati con la tecnica del basso e alto rilievo su un'unica lastra marmorea di spessore variabile. Esigue tracce di cromie, visibili in alcune limitate aree della superficie, hanno fatto ipotizzare che l'opera potesse originariamente essere policroma. Per avere conferma di ciò

e approfondire la conoscenza della tecnica esecutiva, l'opera è stata indagata in situ con l'analisi di Fluorescenza a Raggi X su alcuni punti campione caratterizzati da cromie rosse, brune e verde-azzurre. I materiali rilevati corrispondono a quelli ampiamente usati in epoca rinascimentale, in accordo con le informazioni storico-artistiche circa l'uso della policromia per la decorazione delle superfici marmoree [16,17]. L'analisi eseguita sui punti con cromia verde-azzurra ha rivelato la presenza di rame da correlare al pigmento azzurrite $[2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$; in alcuni casi alteratasi, sotto l'azione dell'umidità e/o di altri agenti, in malachite $[\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2]$.

Nei punti caratterizzati da una cromia rosso-bruna sono stati registrati alti picchi di ferro correlabili all'impiego di pigmenti a base di ossidi di ferro, quali ocre o terre.

2.2 Stato di conservazione

L'analisi dello stato di conservazione dell'opera, mappato secondo le Raccomandazioni Normal 1/88, ha evidenziato che i fenomeni di degrado erano maggiormente dovuti alla presenza di deposito incoerente e coerente. Questo, molto scuro e compatto, era presente sulla superficie in maniera disomogenea, impedendo la completa lettura dei particolari scultorei e delle cromie.

Per effettuare una pulitura mirata ed efficace, il deposito è stato caratterizzato chimicamente tramite indagini diagnostiche, quali Fluorescenza a Raggi X (XRF) e Spettrometria Infrarossa in Trasformata di Fourier (FTIR).

2.3 Caratterizzazione del deposito

L'analisi XRF è stata eseguita in situ su specifici punti campione (Figura 1). Gli elevati valori di zolfo rivelati hanno suggerito che i depositi, presenti su gran parte del bassorilievo, erano costituiti principalmente da solfati (componenti principali del gesso, $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$). Il gesso, ha una spiccata tendenza ad accumularsi in prossimità della superficie, formando croste che si ispessiscono includendo e cementando particolati atmosferici (carbone, silicati, altri sali), dando origine alle "croste nere" [18 - 21].

La presenza della componente gessosa nel deposito è stata ulteriormente confermata dall'analisi degli spettri FTIR, in cui è stata rilevata la presenza di tutte le bande caratteristiche di questo composto.

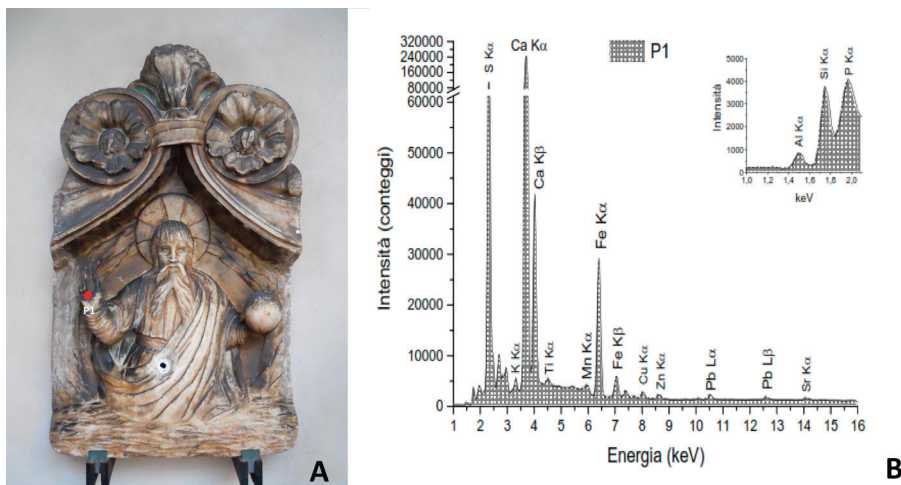


Figura 1. Analisi XRF: A) punto di misura (in rosso) individuato sul manufatto; B) corrispondente spettro XRF (evidente l'elevato contenuto di Zolfo).

3. Biorimozione

L'intervento di restauro ha previsto diverse fasi di cui una tra le più importanti è stata la rimozione degli strati soprapposti, eseguita rispettando la natura chimico-fisica dei materiali presenti.

Considerato che estese porzioni della superficie erano caratterizzate da depositi con rilevante presenza di solfati, sono stati presi in considerazione alcuni agenti desolfatanti, valutandone le diverse peculiarità.

3.1 Cellule batteriche vitali

Per la rimozione delle croste nere sono state utilizzate cellule batteriche vitali, della specie *Desulfovibrio vulgaris*, disponibili in forma liofilizzata (Micro4Art solfati© prodotto dalla società Micro4you S.r.l.), applicate sulla superficie del manufatto dopo idratazione e gelificazione con acido poliaccrilico modificato (Carbogel) [22]. Le cellule batteriche svolgono azione desolfatante secondo la seguente reazione: $6 \text{CaSO}_4 + 4 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{CO}_2 \rightarrow 6 \text{CaCO}_3 + 4 \text{H}_2\text{S} + 2 \text{S} + 11 \text{O}_2$ [9].

Il test è stato eseguito sul deposito coerente e omogeneo presente sulla superficie del manufatto marmoreo, confrontando il risultato ottenuto dall'applicazione dei Batteri in soluzione acquosa + Carbogel, con quello del Controllo, costituito dal solo Carbogel in soluzione acquosa (Figura 2).

Entrambe le applicazioni sono state eseguite con la stessa metodologia, che ha previsto l'interposizione di uno strato di carta giapponese tra la superficie del manufatto e la soluzione acquosa gelificata, successivamente ricoperta con una pellicola di polietilene (Figura 3), in modo da mantenere condizioni di umidità e di parziale anaerobiosi necessarie per il metabolismo batterico [23].

Rispetto al Controllo, l'efficacia della biorimozione è risultata evidente sin dalla prima applicazione, ma il livello di pulitura desiderato è stato raggiunto dopo tre applicazioni.

L'avvenuta rimozione delle croste di solfati è stata confermata mediante indagine XRF, che ha evidenziato nell'area test un contenuto di zolfo nettamente inferiore se confrontato ad un'area non trattata.

Alla luce di questi risultati il protocollo per la biorimozione è stato definito ad hoc per ciascuna delle aree del manufatto caratterizzate da un deposito coerente gessoso, ricorrendo ad una o più applicazioni in relazione allo spessore delle croste (Figura 4).



Figura 2. Test preliminare di biorimozione mediante cellule vitali batteriche, *Desulfovibrio vulgaris*, gelificate con Carbogel (A); Controllo, solo Carbogel (B) Le applicazioni sono state rivestite con una pellicola di polietilene al fine di mantenere le condizioni di umidità e di parziale anaerobiosi, necessarie per il metabolismo batterico.



Figura 3. Biorimozione: (da sinistra) porzione del manufatto prima del trattamento; interposizione di carta giapponese e applicazione del gel; copertura con pellicola di polietilene; rimozione della crosta nera.



Figura 4. Biorimozione, particolare: (da sinistra) superficie prima del trattamento; durante; risultato dopo la pulitura.

La soluzione batterica gelificata con Carbogel è talvolta risultata di non facile applicazione soprattutto perché il manufatto era disposto in verticale, in un ambiente ventilato e presentava piccole porzioni con complesse geometrie.

Inoltre, sono stati realizzati dei test supportando le cellule batteriche con Agar, che a differenza del Carbogel, non è un gelificante "diretto" e necessita di cicli di riscaldamento e raffreddamento [24]. L'effetto pulente ottenuto utilizzando l'Agar è stato comunque nettamente inferiore rispetto a quanto osservato con il Carbogel.

3.2 Agenti desolfatanti

Nell'ambito di questo studio è stato valutato anche l'utilizzo del Carbonato d'Ammonio addizionato a gelificanti diretti quali l'acido poliaccrilico modificato (Carbogel) e la Gomma Xantano (Vanzan). Il Carbonato d'Ammonio svolge la sua azione desolfatante secondo la seguente reazione: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ [25].

Sebbene entrambi i gel abbiano dato buoni risultati, per la rimozione di depositi in aree in cui erano presenti pigmenti a base di rame è stato preferito l'uso di resine a scambio ionico (anioniche), che svolgono azione desolfatante secondo la seguente reazione: $\text{R}_2(\text{OH})_2 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, seguita da: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ [26].

4. Conclusioni

Tra i vantaggi rappresentati dall'utilizzo delle cellule batteriche vitali, nella formulazione messa a punto dalla Micro4you, oltre alla velocità e alla facilità di utilizzo, riveste notevole importanza la garanzia di un'azione graduale, selettiva, ripetibile e rispettosa della superficie del manufatto (Figura 5).



Figura 5. Il manufatto prima e dopo l'intervento di restauro.

Un altro vantaggio è rappresentato dalla possibilità di attuare un intervento senza l'utilizzo di sostanze inquinanti, garantendo elevati standard di sicurezza sia per l'operatore sia per l'ambiente [27].

Alla luce dei risultati ottenuti si può affermare che in sostituzione dei tradizionali solventi, l'utilizzo di microrganismi risponde alle caratteristiche di selettività della pulitura, rispettando i materiali costitutivi del manufatto, come richiesto in un moderno intervento di restauro conservativo. Tale metodo, quindi, rappresenta una valida alternativa alle metodologie tradizionali, nella direzione di un restauro sostenibile.

Inoltre i risultati di questo studio forniscono informazioni utili per la pulitura controllata di superfici in cui sono presenti delle policromie.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la Galleria Regionale della Sicilia di Palazzo Abatellis, Palermo, per la collaborazione.

Note biografiche

Manuela Martino, restauratrice abilitata ai sensi del Decreto Legislativo 42/2004 con specializzazione in Materiali Lapidei e derivati, superfici decorate dell'architettura, ha conseguito la laurea magistrale (LMR/02) in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali presso l'Università degli Studi di Palermo. Studentessa di Master di II livello "Ricercatore esperto di Nano tecnologie e Nano materiali per i Beni Culturali", presso l'Università degli Studi di Palermo.

Salvo Schiavone, ha conseguito il dottorato di ricerca in Geofisica Applicata all'Ambiente e al Territorio - Università degli Studi di Messina - presso il Dipartimento di Scienze della Terra e del mare (Di.S.T.e M) dell'Università degli Studi di Palermo. Laureato con lode in "Scienze e Tecnologie avanzate applicate alla Conservazione e al Restauro dei Beni Culturali" presso l'Università degli Studi di Catania, ha svolto continuativa attività di collaborazione con il Laboratorio di Fisica del Centro Regionale per la Progettazione ed il Restauro di Palermo. Ha fatto parte del gruppo della Direzione dei Lavori per il Recupero e la Conservazione della Villa Romana del Casale di Piazza Armerina (Enna), come consulente scientifico. È amministratore

della S.T.Art-Test s.a.s, società di servizi diagnostici per l'arte e il territorio, che esegue indagini fisiche di tipo non distruttivo per la caratterizzazione e il monitoraggio dei beni culturali e degli ambienti di conservazione. Collabora con il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche Chimiche e Farmaceutiche dell'Università degli Studi di Palermo. L'attività scientifica è rivolta alla caratterizzazione dei materiali mediante metodologie fisiche applicate nel campo dei BB.CC. e dell'Ingegneria Civile.

Annalisa Ballo laureata in Scienze Biologiche presso L'Università degli Studi di Cagliari con una tesi svolta nel centro di ricerca di Alnarp (Svezia), ha conseguito il dottorato di ricerca presso la Facoltà di Agraria della Statale di Milano. Nel 2010, con alcuni colleghi, ha costituito lo spin-off universitario Micro4yoU S.r.l. di cui è amministratore delegato. Dall'anno della sua costituzione ad oggi, Micro4yoU ha avuto numerosi riconoscimenti per l'impegno e i risultati ottenuti nell'attività di Technology Transfer nel settore delle biotecnologie ambientali. Attualmente, oltre a continuare la sua attività in Micro4yoU, è docente presso l'Accademia delle Belle Arti di Brera dove è responsabile del corso di "Elementi di Biologia Applicata al Restauro".

Lorella Pellegrino, ha conseguito l'Abilitazione alla Professione di Restauratore di Beni Culturali e la Specializzazione in Restauro di Manufatti Lapidei e Musivi presso l'OPD di Firenze, e in "Restauro Dipinti Murali" presso l'ISCR di Roma. Funzionario Direttivo Restauratore di Beni Culturali, Responsabile del Laboratorio di Restauro Manufatti di Origine Inorganica presso il CRPR della Regione Siciliana. Coordina interventi di restauro ordinario e straordinario su beni mobili, architettonici, archeologici, storico-artistici. Direttore Operativo e Direttore dei lavori in interventi complessi su opere scultoree di grande rilevanza storica e artistica o in siti come l'area archeologica di epoca greca di Halaesa Arcidiacone, del Teatro Greco Romano di Taormina, della Villa Romana del Casale di Piazza Armerina e di Patti. Espleta attività didattica sia teorica che tecnico pratica nei Tirocini del "Corso di Laurea Abilitante alla Professione di Restauratore di Beni Culturali" dell'Università degli Studi di Palermo. Coordinatrice dei restauratori senior e junior italiani, e cambogiani, che espletano attività di restauro presso il sito archeologico di ANGKOR, Cambogia, su reperti scultorei e complessi architettonici di templi Khmer.

Evelina De Castro, ha conseguito il dottorato in Storia dell'arte medioevale e moderna in Sicilia presso l'Università degli Studi di Palermo e la Specializzazione in Storia dell'arte medioevale e moderna presso l'Università degli Studi di Roma "la Sapienza". Dirigente Responsabile delle collezioni della Galleria Regionale della Sicilia di Palazzo Abatellis, Palermo. La sua ricerca è prevalentemente rivolta alla pittura nella Sicilia occidentale nei passaggi dal Gotico al Rinascimento e dalla Maniera al Realismo e al Barocco. In relazione alle collezioni di Palazzo Abatellis ha approfondito lo studio della scultura rinascimentale marmorea e talune problematiche attributive e storiografiche fra Domenico Gagini e Francesco Laurana. Ha svolto attività didattica e sul territorio, in collaborazione con le Soprintendenze di Palermo e Agrigento e l'Università degli Studi di Palermo con riferimento alla pittura e alle produzioni in stucco dalla tarda Maniera al Serpotta.

Franco Palla è professore associato di Scienze Botaniche Applicate e Ambientali dell'Università di Palermo, Italia. Ricopre il ruolo di Docente e Vice-Coordinatore del Corso di Laurea Quinquennale in Conservazione e Restauro dei Beni Culturali (LMR 02) abilitante alla professione di Restauratore. E' membro della Commissione per la Protezione dei Beni Culturali dell'Ordine Nazionale dei Biologi. Responsabile scientifico per UNIPA di Unità di Ricerca, Progetto PON01_00625, IT@CHA (Tecnologia italiana per applicazioni avanzate nei Beni Culturali). E' stato uno dei componenti dei gruppi di lavoro nel progetto di cooperazione Italia -Cambogia per la Formazione degli esperti di Beni Culturali, Università di Palermo-Reale Università di Belle Arti e del Ministero della Cultura e delle Belle Arti, Angkor, Cambogia. Coordinatore del Laboratorio di Biologia e Biotecnologie per i Beni Culturali presso il Dipartimento di Scienze Biologiche, Chimiche, Farmaceutiche e della Tecnologia (STEBICEF) dell'Università degli Studi di Palermo.

Summary

This case study shows the application of viable bacterial cells for removing undesired deposits from the surface of a stone polychrome bas-relief, exhibited at the Interdisciplinary Gallery of Sicily Palazzo Abatellis (Palermo). Diagnostic studies carried out during the restoration were aimed at characterizing the technique of execution and understanding the degradation processes. The results of the XRF and FTIR investigations showed that on large areas of the artifact's surface, stratified deposits with a significant presence of sulfates were present. For bioremoval of the deposits, viable bacterial cells belonging to the species *Desulfovibrio vulgaris*, were utilized in gelled solution form, evaluating and comparing the effectiveness of this cleaning with that of the desulfating agents usually employed. The results demonstrate that by using the colonised substrate as a nutritional source in their natural metabolic processes, this bacterial species can be used to obtain high efficiency and selectivity of action, representing a valid alternative to the use of traditional chemical agents.

Riassunto

Il presente caso di studio riguarda l'impiego di cellule batteriche vitali per la rimozione di alterazioni dalla superficie lapidea di un bassorilievo policromo esposto alla Galleria Interdisciplinare della Regione Sicilia di Palazzo Abatellis (Palermo). Le indagini diagnostiche effettuate durante il restauro conservativo sono state finalizzate all'approfondimento della tecnica esecutiva e alla comprensione dei processi degradativi in atto. I risultati delle indagini XRF e FTIR hanno evidenziato che su estese porzioni della superficie del manufatto erano presenti depositi con rilevante presenza di solfati. La pulitura ha dunque previsto l'impiego di cellule batteriche vitali appartenenti alla specie *Desulfovibrio vulgaris*, valutando e confrontando l'efficacia della biorimozione con quella degli agenti desolfatanti solitamente impiegati. I risultati dimostrano che questa specie batterica, sfruttando il substrato colonizzato come fonte nutrizionale ed esplicando i naturali processi metabolici, può essere utilizzata ottenendo un'elevata efficienza e selettività d'azione, rappresentando una valida alternativa all'utilizzo di tradizionali agenti chimici.

Résumé

Ce cas d'étude relate l'utilisation de cellules bactériennes vivantes pour l'élimination d'altérations superficielles d'un bas-relief polychrome exposé à Palazzo Abatellis (Palermo) dans la Galerie interdisciplinaire régionale de Sicile. Les études diagnostiques effectuées lors de la restauration conservatrice étaient finalisées à l'approfondissement de la technique d'exécution et à la compréhension des processus de dégradation en cours. Les résultats des analyses par spectrométrie de fluorescence des rayons X (SFX) et par spectrométrie IRTF ont montré qu'une partie importante de la surface du bas-relief présentait des dépôts avec une présence significative de sulfates. Dès lors, il a été prévu un nettoyage à l'aide de cellules bactériennes vivantes de l'espèce *Desulfovibrio vulgaris*. L'efficacité de cette bioélimination a été évaluée par comparaison aux agents désulfatants utilisés couramment. Les résultats démontrent qu'il est possible d'utiliser cette espèce bactérienne, qui exploite le substrat colonisé comme source nutritionnelle dans le déroulement de ses processus métaboliques naturels. Son action très performante et sélective en fait une alternative viable à l'utilisation des agents chimiques traditionnels.

Zusammenfassung

Die vorliegende Fallstudie berichtet über die Verwendung vitaler Bakterienzellen zur Beseitigung von Schäden auf der steinernen Oberfläche eines mehrfarbigen Tiefreliefs, das in der Galleria Interdisciplinare della Regione Sicilia im Palazzo Abatellis (Palermo) ausgestellt ist. Die während der konservativen Restaurierung vorgenommenen diagnostischen Untersuchungen dienten der näheren Erforschung dieser Arbeitstechnik und dem Verständnis der Abbauprozesse, die dabei stattfinden. Die Ergebnisse der RFS- und FTIR-Untersuchungen haben erwiesen, dass auf ausgedehnten Teilen der Oberfläche des Werks Ablagerungen mit erheblichem Gehalt an Sulfaten vorhanden waren. Aus diesem Grund wurden zur Reinigung Bakterienzellen der Art *Desulfovibrio vulgaris* eingesetzt, wobei die Wirksamkeit des biologischen Abbaus bewertet und mit derjenigen der üblicherweise verwendeten Entschwefelungsmittel verglichen wurde. Die Ergebnisse beweisen, dass diese Bakterienart die kolonisierte Unterschicht als Nahrungsquelle nutzte und dabei natürliche Stoffwechselprozesse eintraten, so dass eine hohe Effizienz und Selektivität der Wirkung erzielt wird und diese Methode als gute Alternative zur Verwendung herkömmlicher Chemikalien eingesetzt werden kann.

Resúmen

Este caso de estudio presenta el uso de células bacterianas vivas para eliminar alteraciones de la superficie lapídea de un bajorrelieve policromo expuesto en la Galería Interdisciplinaria de la Región de Sicilia del Palacio Abatellis (Palermo). Los estudios diagnósticos efectuados durante la restauración de conservación tenían el objetivo de ahondar en la técnica de ejecución y en la comprensión de los procesos de degradación en curso. Los resultados de los estudios XRF y FTIR pusieron de manifiesto la presencia de depósitos con un contenido relevante de sulfatos en una buena parte de la superficie de la obra. Así, la limpieza se llevó a cabo utilizando células bacterianas vivas pertenecientes a la especie *Desulfovibrio vulgaris*, evaluando y comparando la eficacia de la biolimpieza con respecto a la limpieza mediante agentes desulfatantes que se suele practicar. Los resultados demuestran que nos podemos servir de esta especie bacteriana – que se vale del substrato colonizado como fuente de nutrientes y desarrolla los procesos metabólicos naturales – para lograr un alto grado de eficacia aplicando una acción selectiva. Por ello representa una válida alternativa al empleo de los agentes químicos tradicionales.

概述

本案例分析介绍了利用活性细菌细胞去除多色浮雕石材表面的多余物的方法，该浮雕现存于位于Palermo（巴勒莫）市的西西里大区Palazzo Abatellis（阿巴特里斯宫）跨学科走廊中。保护性修复工作中的诊断分析，其目的在于深度研究现采用的技术，以及更好地了解除腐过程。XRF和 FTIR检查的结果表明，浮雕大面积出现了富含硫酸盐的沉积情况。因此，清洗过程中需使用属于*Desulfovibrio vulgaris*（普通脱硫弧菌）的活性细菌细胞，评价和比较有机去污方式与平时采用的脱硫酸盐的制剂进行去污方式所产生的不同效果。得到的结果证明，此种细菌以殖基层为营养原，经过自然新陈代谢过程，可用于获得高效、优质选择性的效果，代表了传统化学品处理法的优质代替方法。

Резюме

В данном исследовании описывается использование живых клеток бактерий для удаления изменений с поверхности каменного многоцветного барельефа, выставяемого в Междисциплинарной региональной галерее Области Сицилия в Палаццо Абателлис (Палермо). Диагностические исследования, проведенные во время консервативной реставрации, были нацелены на дальнейшее изучение техники исполнения и на понимание идущих процессов разрушения. Результаты исследований методом XRF и FTIR показали, что на больших участках поверхности артефакта имелись отложения с существенным присутствием сульфатов. Поэтому, чистка предусматривала использование живых клеток бактерий, принадлежащих к виду *Desulfovibrio vulgaris*, рассматривая и сравнивая эффективность биологического удаления с эффективностью обычно используемых десульфатирующих агентов. Результаты показывают, что этот вид бактерий использует колонизированный субстрат как источник питания и благодаря естественному процессу обмена веществ может использоваться, достигая высокой эффективности и селективности действия, являясь действенной альтернативой использованию традиционных химических агентов.