

descritte, piuttosto che mescolati tutti insieme. Attualmente esistono in commercio enzimi semi-pronti che richiedono semplicemente il mescolamento dei componenti prima dell'uso. Tale caratteristica rende più facile il loro utilizzo e più difficile un eventuale errore derivante da una non corretta preparazione. Questi prodotti sono commercializzati come due componenti separate: un gel da 100 ml già tamponato al pH necessario, e una bustina di enzima in forma solida. Dopo la miscelazione e il riscaldamento alla temperatura indicata sono pronti all'uso.

Materiali, strumenti e requisiti generali

La natura del **materiale da rimuovere**, se nota, determina il tipo di enzima da utilizzare. Ma la scelta deve anche tener conto della natura dei **materiali del substrato** che devono essere preservati durante le operazioni di pulitura.

■ **Diagnostica preliminare.** È importante, dunque, condurre una specifica attività diagnostica preliminare all'intervento di pulitura dalla quale trarre informazioni precise sulla natura e le caratteristiche dei materiali presenti. In assenza di tali dati si può, in alcuni casi procedere, su superfici campione, a dei test di solubilità con i comuni solventi (solventi neutri, alcool etilico, acqua, solventi dipolari) e, solo successivamente, quando appaia evidente che la natura della sostanza da rimuovere è di tipo organico, provare con enzimi specifici. Essendo intrinsecamente selettivi al massimo risulteranno inefficaci.

■ **Materiali.** Gli enzimi più utilizzati nel campo del restauro sono: amilasi, proteasi e lipasi. **Le amilasi** possono essere impiegate per rimuovere le sostanze amilacee (pasta d'amido, gomma arabica e altre gomme vegetali) in miscela con altri composti. Le sostanze amilacee se utilizzate da sole conservano, infatti, una buona reversibilità, mentre, se unite con altri componenti, come nel caso delle colle d'amido e di pasta, possono richiedere per la rimozione un'azione enzimatica specifica. Le colle d'amido e

GLOSSARIO

Catalizzatore

Il catalizzatore, in generale, è una sostanza che fa avvenire una certa reazione chimica, senza venire modificato (pur prendendo parte attiva alla reazione). Tra i vari catalizzatori, gli enzimi (che sono catalizzatori biologici) sono estremamente efficienti e possono compiere milioni di cicli catalitici.

Enzimi

Gli enzimi sono proteine, ossia polipeptidi di struttura complessa o, in altri termini, composti organici macromolecolari di origine naturale.

Sostanza tampone o buffers

Si definisce «tampone» quella sostanza o miscela di sostanze chimiche pure che, posta in soluzione, entro limitati intervalli di diluizione e di temperatura, ne stabilizza il valore del pH anche per piccole aggiunte di acidi o di basi.

di pasta sono state utilizzate principalmente per la foderatura dei dipinti e su materiale cartaceo e librario. **Le proteasi**, per la loro capacità di rimuovere peptidi, sono adatte per la rimozione di materiali quali colle e gelatine animali, albumine, caseina e uovo. Risultano però quasi inefficaci nei confronti del caseinato di calcio, un consolidante usato diffusamente sulle pitture murali. In questi casi (vedi immagini) l'azione enzimatica è comunque in grado di produrre un certo ammorbidimento, che ne permette poi una rimozione meccanica controllata. **Le lipasi** grazie alla loro azione idrolitica nei confronti di trigliceridi, possono essere utilizzate per rimuovere olii siccativi e vernici oleo-resinose. Alcune lipasi inoltre agiscono come esterasi, riuscendo a idrolizzare cere e resine acriliche e viniliche. Le lipasi però, in condizioni particolari, possono danneggiare i pigmenti a base di ocre e terre.

Bibliografia di riferimento

P. Cremonesi, Gli enzimi nella pulitura di opere policrome, Padova, il prato, 1999.
D. Beltrame, Pulitura dei materiali lapidei con metodi enzimatici, in B.P. Torsello, S.F. Musso, Tecniche di restauro architettonico, Torino, Utet, 2003, pp.179-180.

Macrofotografia della superficie durante il trattamento con enzimi. Già durante le operazioni, la pellicola pittorica comincia a emergere sotto allo spesso strato di sporco, caseina e Silicato di Etile.

Si è proceduto con ripetute applicazioni di una soluzione addensata di Proteasi e azione meccanica di una piccola mola abrasiva di circa 3 mm di diametro. La rimozione dello strato di caseina e Silicato di Etile è stato realizzato con l'ausilio di una lente di ingrandimento per verificare costantemente la quantità di materia asportata ed evitare di danneggiare la pellicola pittorica sottostante. Gli enzimi sono stati applicati sulla superficie preventivamente scaldata a 30°C.

Immagini di Alessandra Cavalli

Le Guide Pratiche

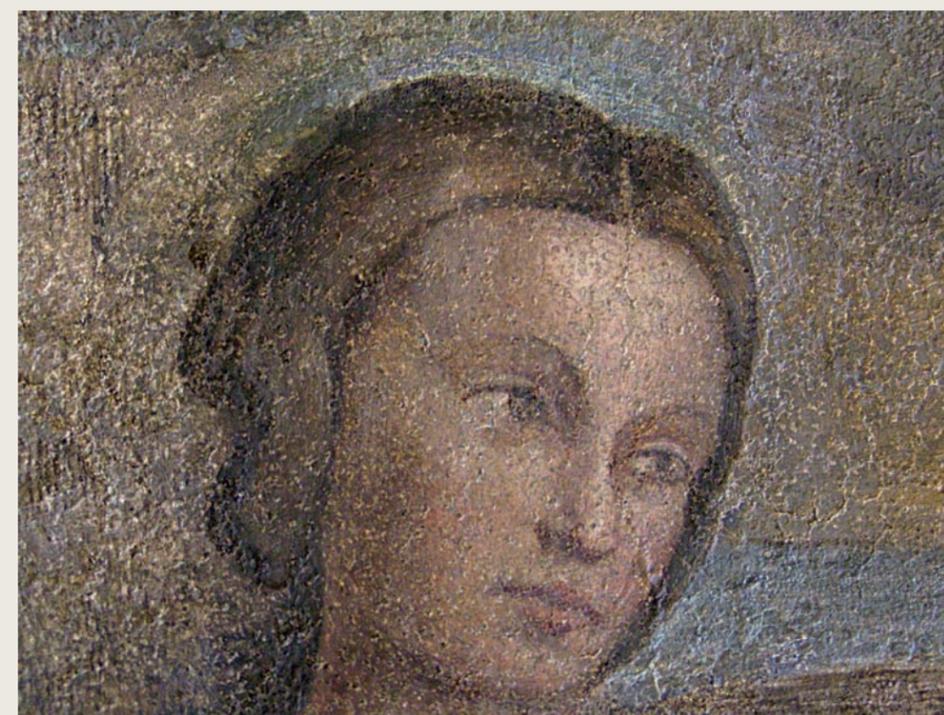
Sui prossimi numeri

- **Desolfatazione e consolidamento col metodo del bario**
- **Integrazione cromatica con velature**
- **Integrazione mediante astrazione cromatica**
- **Integrazione mediante selezione cromatica**

14 Conservazione

Pulitura

con metodi enzimatici



Settori operativi
Interventi di pulitura di superfici policrome.

La superficie oggetto di intervento alla conclusione del restauro. La pellicola pittorica dopo essere stata pulita e consolidata con acqua di calce in soluzione con alcool etilico è stata integrata a tratteggio.

La pulitura con enzimi sfrutta l'azione distruttiva, conseguente all'attività metabolica di alcuni microbi, per la rimozione **selettiva di patine e pellicole superficiali** di varia natura su manufatti policromi. Tale procedura tecnica consiste **nell'applicazione di una soluzione libera** (l'enzima è disciolto solo in acqua distillata) o addensata, con un agente gelificante, sul manufatto da pulire. Gli enzimi sono proteine semplici o complesse prodotte da tutte le cellule viventi in grado di disgregare macromolecole organiche, agendo in maniera **specifico e selettivo** e in tempi molto rapidi. Gli enzimi utilizzati

nel restauro sono **classificati in base alla reazione che catalizzano** ricorrendo per la loro identificazione al suffisso «asi», si parla pertanto di amilasi, lipasi, proteasi, transferasi, isomerasi. Attualmente esistono in commercio enzimi con i quali è possibile rimuovere patine costituite da polisaccaridi (amido, cellulosa, gomme vegetali), proteine (albumine, caseine, colle, collagene, gelatine animali, uovo), lipidi (cere, grassi, oli). La specificità dell'attività catalitica degli enzimi è così elevata che le reazioni, oltre a essere molto veloci, **non generano alcun prodotto secondario**. È una tecnica di uso ancora limitato a

Carla Arcolao,
Facoltà di Architettura di Genova, Dsa Dipartimento di Scienze per l'Architettura

causa delle procedure di preparazione complesse e delle difficoltà di applicazione che comporta. Costituisce, comunque, un'interessante alternativa ai tradizionali prodotti chimici, i quali, oltre a comportare trattamenti spesso molto aggressivi per il supporto, sono scarsamente selettivi. Inoltre, secondo alcuni studi sul controllo del **degrado biologico**, gli enzimi potrebbero rappresentare una valida alternativa anche ai prodotti biocidi (Guida Pratica «Disinfestazione con prodotti biocidi», Progetto Colore n. 3/2006), riducendo del tutto il rischio tossicologico derivante dall'uso di tali sostanze.

Scopi e finalità

La pulitura con enzimi può essere, almeno teoricamente, applicata su tutte le superfici policrome soprattutto, ma non esclusivamente, quando sono presenti strati proteici da rimuovere. Gli enzimi, in particolare, riescono a decomporre le grosse molecole organiche di leganti, fissativi, protettivi o altri materiali utilizzati in passato per far risaltare o consolidare i colori dei dipinti murali o delle superfici lapidee. Sono stati utilizzati anche per rimuovere e inibire la crescita di alcune specie licheniche. Alcuni composti proteolitici, infatti, catalizzando le reazioni di decomposizione delle proteine, sono in grado di disaggregare e di facilitare l'eliminazione delle colonie licheniche attecchite sui paramenti lapidei. A differenza dei prodotti solventi e/o complessanti che possono innescare reazioni con il substrato, **gli enzimi accelerano determinate reazioni chimiche selettivamente senza alterare le superfici e senza coinvolgere nei processi di trasformazione altre sostanze, o altri strati che devono essere conservati.** Si pensi per esempio alla pulitura di un dipinto a tempera dove i pigmenti pittorici sono applicati con legante proteico e quindi occorre, parallelamente, preservarli e procedere alla rimozione delle sostanze metaboliche secrete da microrganismi attecchiti proprio su questi substrati assai favorevoli al loro sviluppo. Gli enzimi,

ponendo particolare attenzione alle condizioni operative e ai modi d'impiego, permettono dunque di **intraprendere azioni di pulitura altamente selettive**, in grado di preservare i diversi microstrati sovrapposti alla superficie originale.

Fasi e modalità operative

La scelta dell'enzima specifico presuppone una accurata campagna analitica preliminare, indispensabile per caratterizzare chimicamente le varie sostanze presenti sulla superficie del manufatto, e per distinguere tra ciò che si vuole rimuovere e i materiali costitutivi dell'opera stessa. Ciascun enzima esige inoltre precisi parametri chimico-fisici per svolgere appieno la propria funzione catalitica. Il loro impiego necessita, infatti, di un intervallo di **temperatura** e di **pH** ben precisi. Qualora questi parametri siano inferiori ai valori specifici, la velocità nel portare a termine il processo catalitico diminuisce considerevolmente, mentre al di sopra dei medesimi, l'enzima diviene rapidamente inattivo. Si tratta, infatti, di sostanze proteiche tremolabili (sopra ai 50°C gli enzimi divengono inattivi) e influenzate dalla presenza di elementi attivatori o inibitori che possono bloccare completamente e definitivamente l'azione catalitica. Tra gli inibitori ci sono gli ioni metallici costitutivi dei pigmenti inorganici delle pitture murali. Gli enzimi possono essere utilizzati in soluzione con **acqua distillata** o **addensati** in forma di gel e applicati **a tampone, a impacco o a pennello**, ma sempre in condizioni di temperatura e pH stabili. Anche durante il trattamento, la soluzione deve essere conservata alla temperatura ideale per l'enzima prescelto, onde conservarne inalterata l'efficacia. Al termine dell'intervallo ritenuto sufficiente per lo svolgersi completo dell'attività catalitica, la superficie **va lavata con acqua distillata** a pH controllato. La rimozione della soluzione e dei depositi può essere accompagnata, compatibilmente con lo stato di conservazione del supporto, da una blanda **azione meccanica**, che può essere realizzata

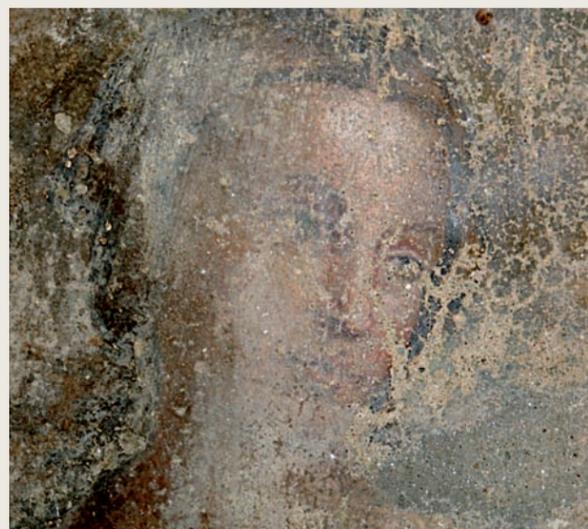
con microfresse o con spazzolini morbidi di setola o di nylon. Schematicamente, la pulitura con enzimi di una superficie pittorica che presenta patine o pellicole organiche, prevede le seguenti fasi e modalità operative:

- 1. Pulitura preliminare.** Eliminazione del particolato atmosferico e dei depositi non coerenti e/o polverulenti, utilizzando spazzole a setola morbida, o flussi d'aria di debole potenza, sempre che questo sia possibile senza danneggiare il substrato;
- 2. Eventuale preconsolidamento** della pellicola pittorica e degli strati preparatori (Guide Pratiche sul consolidamento) per bloccare i fenomeni di polverizzazione ed esfoliazione;
- 3. Preparazione del materiale.** Si passa alla preparazione della soluzione con acqua distillata e sostanze tampone (o buffers) che hanno la capacità di mantenere invariato il pH. A seconda che si voglia lavorare con soluzioni addensate (e quindi per trattamenti localizzati) o libere (come per i bagni di immersione) la soluzione sarà miscelata con un agente gelificante. A tale scopo si utilizzano eteri di cellulosa, come la metilcellulosa, la idrossipropilcellulosa, che sono neutri e quindi compatibili con tutte le condizioni di pH. Opportunamente conservate e refrigerate queste soluzioni sono stabili per lungo tempo;
- 4. Miscelazione con l'enzima in polvere.** Al momento dell'uso a queste soluzioni libere o addensate si aggiunge l'enzima scelto, sotto forma di polvere. Tutti gli enzimi vanno conservati refrigerati a una temperatura di compresa tra 2°-8°C. la miscelazione con l'enzima in polvere è un momento particolarmente delicato in quanto è necessario adottare alcune cautele. Occorre, infatti, utilizzare mascherina e occhiali per evitare il contatto con la cute e con le mucose in quanto possono provocare irritazioni e sensibilizzazioni. La quantità di enzima varia da 100-200mg per quelli ad attività specifica, fino a 1 g, per quelli a bassa attività specifica, per 100 ml di gel;

5. Regolazione della temperatura. Successivamente il composto con l'enzima deve essere mescolato delicatamente per una ventina di minuti, senza inglobare troppa aria, con un oggetto non metallico e scaldato a bagnomaria a una temperatura di 35-40°C. La temperatura deve essere attentamente regolata perché se si raggiungono temperature troppo elevate l'attività enzimatica può essere irrimediabilmente compromessa;

6. Applicazione sulla superficie da trattare. Deve avvenire intorno ai 30-40°C, se necessario occorre raggiungere tale temperatura con un blando riscaldamento attraverso, per esempio, una lampada da 50 w mantenuta a una opportuna distanza. A questo punto la soluzione contenente l'enzima viene applicata a pennello o a tampone procedendo per piccole porzioni di superficie. Una volta applicato il gel può essere lasciato agire oppure lavorato leggermente con un pennello morbido. Il tempo di applicazione, deve essere valutato di volta in volta ma in genere è compreso tra 1 e 10 minuti. In questo intervallo di tempo è necessario accertarsi del progredire dell'azione pulente. Con tempi lunghi di applicazione è necessario evitare che il gel si secchi in opera coprendo l'impacco, per esempio, con un foglio di pellicola plastica;

7. Rimozione. al termine dell'applicazione occorrerà asportare il gel con un tampone asciutto e, successivamente, procedere a ripetuti lavaggi con acqua o con un tensioattivo. L'azione enzimatica produce, infatti, dei «frammenti» ossia delle macromolecole di proteine non idrosolubili che possono rimanere sulla superficie, piuttosto che inglobate nel gel da rimuovere. L'utilizzo di un tensioattivo assicura la completa rimozione dei residui. L'ultimo lavaggio deve essere fatto solo con acqua per rimuovere ciò che resta della soluzione precedente. La superficie così trattata va lasciata asciugare per 4 o 5 ore. Dovendo rimuovere più strati di natura differente gli enzimi devono essere usati in sequenza con le stesse modalità sopra



Macrofotografia della superficie oggetto di intervento prima del trattamento. La pellicola pittorica era completamente opacizzata e interessata da sollevamenti, fenomeni di solfatazione e patine di ossalati.

La superficie oggetto di intervento prima del trattamento. La pellicola pittorica era ricoperta da uno spesso strato di caseina molto ingiallita, nel quale erano inglobati polvere e particolato, al di sopra di questi era stato applicato silicato di etile. Di tale ultimo trattamento erano chiaramente visibili le pennellate.



La superficie durante il trattamento con gli enzimi. L'intervento di pulitura è stato condotto mediante: spolveratura a secco con pennelli morbidi di tutta la superficie; lavaggio con acqua deionizzata e blanda azione meccanica con spazzolini morbidi; asportazione della caseina e del silicato di etile con ripetute applicazioni del gel contenente gli enzimi (Proteasi alcalina) e azione meccanica di una mola abrasiva.