

- Estrazione sali solubili
- Pulitura con metodi enzimatici
- Consolidamento della pellicola pittorica con iniezioni
- Consolidamento mediante impregnazione con resine

bagnare il deposito da rimuovere con acqua, subito prima dell'irraggiamento, in modo da abbassare la temperatura di vaporizzazione del deposito stesso e favorire la propagazione dell'onda di pressione generata dal riscaldamento, ottenendo una pulitura più omogenea e efficiente. L'operazione di bagnatura si esegue con nebulizzatori manuali.

## 6. Esecuzione dell'operazione di pulitura.

Prevede il trattamento puntuale dei depositi da rimuovere con il fascio di luce laser.

## Materiali, strumenti e requisiti generali

In termini schematici, l'operazione prevede l'utilizzo dei seguenti materiali e strumenti:

- apparecchio laser (per eseguire la pulitura);
- spazzole morbide di setola o nylon (per eliminare il particolato atmosferico e i depositi incoerenti);
- nebulizzatore manuale (per bagnare il deposito da rimuovere);
- occhiali protettivi (con lenti di densità ottica non inferiore a 6) e mascherine (per lavorare in sicurezza)

**Da ricordare.** La luce laser può causare gravi danni agli occhi è pertanto necessario eseguire tutte le operazioni con appositi occhiali protettivi di sicurezza (con lenti di densità ottica non inferiore a 6), occorre altresì proteggere le vie respiratorie dall'inhalazione di polveri e vapori prodotti durante la pulitura con mascherina

## Cautele e limiti

In presenza di pigmenti stesi su supporti di natura organica è stata talvolta riscontrata

## GLOSSARIO

### Crosta nera

Strato superficiale di spessore variabile, duro, fragile e distinguibile dalle parti sottostanti per le caratteristiche morfologiche e, spesso, per il colore (dal grigio al nero). Può distaccarsi anche spontaneamente dal substrato che, in genere, si presenta disgregato o pulverulento.

### Laser

Il termine è un acronimo di Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation e indica il principio di funzionamento di una classe di sorgenti di radiazione elettromagnetica che emettono un fascio di luce monocromatica (cioè formata da onde aventi tutte la medesima lunghezza), coerente (con onde tutte in fase), collimata (con un alto grado di parallelismo dei raggi) e ad alta energia nei campi dell'infrarosso, del visibile o dell'ultravioletto. L'emissione del fascio di luce può essere continua o a impulsi. L'applicazione del principio al campo dei beni culturali risale agli inizi degli anni '70.

### Pellicole di ossalato

Si tratta di pellicole minerali formate dalla trasformazione di materiali protettivi antichi costituiti da composti organici che nel tempo si sono mineralizzati. Tali pellicole spesso costituiscono la cosiddetta «patina del tempo» che concorre, a volte in modo determinante, alla conservazione del monumento, garantendone la stabilità chimico-fisica.

una **variazione dei colori** che, a oggi, rende sconsigliabile l'utilizzo della pulitura con irraggiamento laser su superfici dipinte con tali caratteristiche. È comunque sempre consigliabile eseguire prove di pulitura in parti non o poco visibili del manufatto in modo da valutare i parametri dello strumento e calibrare al meglio il livello di pulitura.

## 8 Conservazione

### Pulitura

# con irraggiamento laser



### Settori operativi

Interventi di pulitura su superfici interessate di croste nere, ove sia necessaria la rimozione di precedenti trattamenti di consolidamento o protezione, per la rimozione di pellicole scure formate da ossalati o comunque intervenendo su stratigrafie complesse.



Prove per valutare il livello di pulitura ottenuto.



Particolare del momento di pulitura, si vede la luminosità del punto trattato.

Pulitura ultimata.



**L**a pulitura con irraggiamento laser consiste nell'emissione a impulsi di un fascio di luce laser perpendicolarmente al deposito superficiale da rimuovere. Gli strati superficiali del deposito, una volta colpiti dal fascio di luce laser, **vaporizzano all'istante**, in seguito al rapido **aumento della loro temperatura superficiale** e al raggiungimento del valore critico di vaporizzazione. Questi danno origine a un gas caldo che, dilatandosi rapidamente, produce un'onda che per shock meccanico distacca il deposito. Incontrando la superficie pulita sottostante, il raggio laser, altamente selettivo, si esaurisce istantaneamente senza provocare aloni e scalfitture del materiale.

**Rita Vecchiattini,**  
 Facoltà di Architettura di Genova, Dsa Dipartimento di Scienze per l'Architettura

**I vantaggi.** La pulitura con irraggiamento laser è fra le tecniche di pulitura più efficaci e compatibili con i supporti poiché **rispetta la tessitura delle superfici**. Sono, infatti, da segnalare gli indubbi vantaggi legati all'**assenza di residui** dopo il trattamento, alla **non invasività** e alla **selettività** e **precisione** che il sistema laser consente. Proprio per il suo carattere di selettività e precisione la pulitura con irraggiamento laser è la tecnica più indicata nel caso di **stratigrafie complesse** in cui occorre calibrare attentamente il livello di pulitura, rendendo possibile la discriminazione dei diversi strati. La tecnica consente inoltre di trattare superfici **estremamente fragili**



o **particolarmente alterate** anche senza un **preventivo preconsolidamento**, data l'assenza di contatto diretto tra operatore, apparecchio e manufatto.

**Accorgimenti.** Tale sistema di pulitura deve essere eseguito da **personale altamente specializzato**. L'alto costo dell'operazione unito alla sua lentezza (la rimozione del deposito interessa solo l'area illuminata di volta in volta dal fascio laser, pochi micron) ne suggeriscono l'impiego nel caso di superfici architettoniche o scultoree di piccola estensione o di particolare pregio.

**Caratteristiche.** I laser dispongono di dispositivi per la regolazione della densità di energia, della frequenza e dell'energia degli impulsi. Tali caratteristiche permettono all'operatore di **tarare lo strumento in funzione delle proprietà del manufatto** su cui interviene, impiegando una densità di energia variabile tra 0,1 e 3,5 J/cm<sup>2</sup>. Esistono, perciò, diversi sistemi laser caratterizzati non solo da differenti lunghezze d'onda ma anche da diversi parametri di emissione degli impulsi (energia e durata dell'impulso, frequenza di ripetizione degli impulsi). In particolare, la **lunghezza d'onda e la durata dell'impulso** (da 6 e 30 ns) **influiscono sensibilmente sul processo di rimozione del deposito superficiale**.

L'impiego di durate di impulso estremamente brevi (qualche nanosecondo) annulla il rischio di shock termico e bruciatura per il supporto, mentre l'elevata potenza complessiva aumenta il rendimento del sistema di pulitura. La densità di energia impiegata permette di mantenere integri anche i materiali più fragili e compromessi. Tra i vari tipi di laser presenti sul mercato e impiegati nel settore dei beni culturali, il più usato è lo **Yag** (cristallo di ittrio e alluminio) **al Nd** (neodimio),

che permette di produrre un fascio di luce monocromatico nell'infrarosso (lunghezza d'onda di 1064 nm) con distribuzione uniforme su ogni punto della superficie trattata.

**Azione esercitata.** È principalmente di tipo **fisico-meccanico**. In particolare l'azione fisica è legata al rapido innalzamento della **temperatura superficiale**, alla conseguente espansione del deposito fino alla sua **microesplosione**.

**Osservazioni.** È importante sottolineare l'**azione selettiva legata alla lunghezza d'onda** del sistema laser. La scelta del sistema si basa anche sul **colore** del deposito da eliminare e su quello del supporto. Esiste infatti un differente assorbimento della radiazione ottica dei laser da parte dei materiali in relazione al loro colore. Infatti, se lo strato di alterazione da rimuovere, normalmente di colore molto scuro, assorbe completamente la luce, il substrato, solitamente di tonalità più chiara, la riflette, così da limitare o arrestare l'azione del laser. Per poter scegliere il sistema più efficace occorre eseguire tutta una serie di **analisi preliminari** sia del **supporto sia del deposito** nonché **prove di pulitura** in aree poco visibili del manufatto.

#### Campi di applicazione e finalità

Il sistema è per lo più utilizzato per pulire **manufatti litici** (pietre) o **litoidi** (ceramici, intonaci), anche se esistono oggi sul mercato anche apparecchi appositamente studiati per pulire manufatti **metallici, lignei, cartacei, tessili e dipinti**.

**Campi di applicazione.** L'assenza di contatto fisico con la superficie sulla quale si interviene consente di operare su superfici estremamente fragili o molto alterate, anche prima di interventi di preconsolidamento. In particolare i laser che impiegano fibre ottiche consentono di trattare

superfici modellate anche notevolmente complesse.

- La pulitura con irraggiamento laser è particolarmente indicata nel caso di **asportazione di croste nere** su manufatti lapidei ma si è rivelata efficace anche nella **rimozione di precedenti trattamenti di consolidamento o protezione** (in particolar modo nel caso di fluorosilicati). Anche nel caso di **pellicole scure formate da ossalati** è stata applicata efficacemente tale tecnica di pulitura anche in virtù della possibilità di calibrare il risultato estetico che si desidera ottenere, mantenendo alcuni strati della pellicola.

- Un ulteriore e interessante campo di applicazione è quello relativo alla pulitura di **scritte vandaliche** soprattutto nel caso di supporti non porosi, in cui il pigmento non è penetrato all'interno di cavità superficiali. Nel caso in cui il pigmento sia penetrato internamente al manufatto si dovrà ricorrere, per la pulitura, a impacchi con sostanze chimiche.

- Nel caso di **metalli antichi** la pulitura con irraggiamento laser è efficace per rimuovere non solo sporco ma anche prodotti di ossidazione superficiale.

- Su superfici affrescate interessate da **strati di scialbatura**, la pulitura con irraggiamento laser risulta spesso vantaggiosa, rispetto a interventi meccanici eseguiti a bisturi, per qualità e tempi di esecuzione. Al contrario, su superfici pittoriche stese su supporti di natura organica, la lunghezza d'onda del vicino infrarosso risulta non adatta, poiché interagisce con diversi tipi di pigmento, modificandone la cromia.

#### Fasi operative

Per poter scegliere il **sistema laser**, di volta in volta più opportuno, e i **parametri appropriati**

è necessario eseguire una serie di indagini in cantiere e in laboratorio, prima e dopo le operazioni di pulitura.

In sintesi, la pulitura con irraggiamento laser prevede le seguenti fasi e modalità operative:

**1. Analisi preliminari.** È importante eseguire alcune analisi preliminari per stabilire la natura petrografica del materiale lapideo, la sua composizione mineralogica e chimica, (qualitativa e quantitativa) nonché le caratteristiche del deposito da eliminare, compresa la stratigrafia del deposito che individui la natura dei diversi strati. Occorre altresì analizzare le proprietà ottiche, termiche e meccaniche dei diversi strati nonché del supporto.

#### 2. Scelta dei parametri del sistema laser.

Le suddette analisi permetteranno all'operatore che utilizzerà l'apparecchio laser di scegliere la lunghezza d'onda più adatta e i parametri legati alla energia, durata e frequenza degli impulsi laser.

**3. Pulitura preliminare.** È opportuno, ove possibile senza danneggiare la superficie del manufatto, eliminare prima dell'intervento di pulitura, il particolato atmosferico e i depositi incoerenti, utilizzando semplici spazzole morbide (setola o nylon), o flussi d'aria di debole potenza (se ciò non è possibile, poiché la superficie da pulire è troppo disgregata e non fornisce sufficienti garanzie di resistenza, si passa direttamente alla fase 3).

#### 4. Compartimentazione area di intervento.

Prima di iniziare la pulitura occorre delimitare puntualmente la zona di intervento con teli o pannelli di protezione in grado di assorbire la radiazione laser in modo che non sia dannosa per le aree circostanti.

**5. Bagnatura dell'area di intervento.** è opportuno



Fasi di pulitura: prove preliminari, pulitura in corso di esecuzione e pulitura ultimata.



Statua prima dell'intervento di pulitura.



Prove di pulitura in una parte poco visibile della statua.