

I QUADERNI DI GASPAROLI

Restauro e manutenzione

La pulitura dei materiali lapidei

Metodi di pulitura consigliati per superfici edilizie
storiche delicate o scolpite.

Gasparoli
Storie di restauro

L'intervento di pulitura, come si sa sempre molto delicato e critico, deve essere:

- efficace (deve consentire di rimuovere tutte le sostanze dannose, quali incrostazioni, polveri, sali solubili, ecc.);
- selettivo (cioè consentire di rimuovere solo lo sporco e non intaccare il supporto);
- controllabile (l'operatore deve potersi fermare al momento giusto);
- sicuro, dal punto di vista della salute e sicurezza, per l'operatore e per l'ambiente;
- in grado di garantire la conservazione di patine naturali e policromie, ove esistenti.

La scelta del metodo idoneo dipende dalle caratteristiche materiche e dallo stato di conservazione del materiale e dalla natura delle sostanze da eliminare.





Acqua nebulizzata

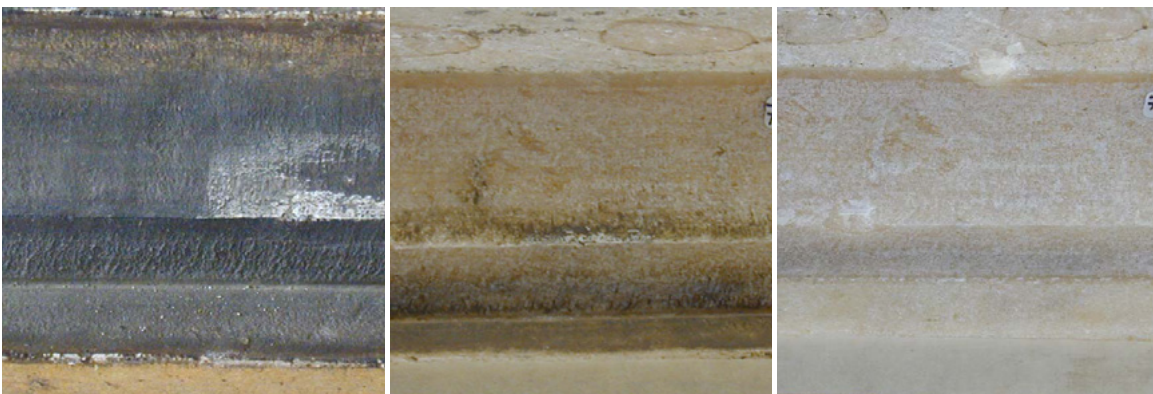
Questo metodo utilizza come agente solvente l'acqua e presenta il vantaggio di essere piuttosto economico, facilmente utilizzabile e senza pericoli per l'operatore.

Tra le caratteristiche dell'acqua vi è quella di possedere molecole fortemente polari i cui atomi sono tenuti insieme da legami a idrogeno; ciò conferisce all'acqua, in specie se deionizzata o distillata, la capacità di dissolvere i composti ionici (sali) che molti altri solventi non riescono ad intaccare.

La pulitura con acqua nebulizzata viene eseguita a temperatura ambiente (mai inferiore a 10°C) attraverso ugelli atomizzatori, con diametro dell'orifizio compreso tra 0.41 e 0.76 mm; questi sono alimentati da un impianto dal quale, tramite una rete di tubi, viene immessa aria (necessaria per la nebulizzazione) ed acqua (con pressione di esercizio sufficiente a sollevarla sino alla quota di utilizzo).

Gli ugelli, posti a distanza di 30-40 cm, devono nebulizzare l'acqua verso l'alto in modo da consentire alle singole goccioline di depositarsi come una rugiada finissima sulla superficie lapidea, evitando qualsiasi azione meccanica. L'effetto solvente dell'acqua è dovuto alla finissima nebulizzazione che riduce l'acqua in minuscole gocce il cui diametro varia tra 80 e 120 µm; l'elevata superficie di contatto sviluppata delle goccioline d'acqua così ottenute, permette di usare la minor quantità di acqua con la massima efficacia solvente.

Deve essere impiegata acqua deionizzata, ottenuta attraverso deionizzatori costituiti di colonne contenenti resine a scambio ionico; la conducibilità dell'acqua, misurata con conduttimetro, dovrebbe attestarsi attorno a 3.5 µm cm-1. La colonna deionizzatrice, utilizzata per purificare l'acqua, contiene una miscela di due differenti resine insolubili, una per rimuovere gli ioni positivi (cationi) e l'altra per rimuovere gli ioni negativi (anioni). Quando la resina diventa satura, cioè quando non è più in grado di attrarre ioni, deve essere sostituita o rigenerata per ristabilire le sue proprietà iniziali.



Il metodo di pulitura con acqua nebulizzata è sconsigliato nel caso di materiali molto porosi o quando vi sia pericolo di migrazioni di sali solubili o di formazione di macchie. In questi casi è consigliabile ricorrere a brevi irrorazioni, ripetendo l'intervento più volte, in modo da limitare l'azione dell'acqua alla parte più superficiale del materiale ed evitare eccessivi assorbimenti.

Il tempo necessario per raggiungere il grado di pulitura desiderato viene determinato

Si può ritenere, quindi, che l'acqua nebulizzata sia un metodo molto efficace e controllabile in grado di eliminare il gesso non solo in superficie ma anche in profondità nel substrato lapideo, a condizione però che si tratti di materiale compatto e poco poroso. Si è verificato sperimentalmente, inoltre, che per ottenere la maggior efficacia possibile del sistema, è utile dividere il tempo totale di nebulizzazione in più cicli di lavaggio, con interruzioni anche prolungate che permettano di portare in superficie sali anche localizzati più in profondità nel substrato.



attraverso prove preliminari su aree campione utilizzando applicazioni con tempi crescenti.

Se le condizioni della superficie lo permettono, l'azione dell'acqua può essere coadiuvata da un mezzo meccanico blando, quali spazzolini e spazzole morbide di nylon o saggina. È sempre opportuno, inoltre, provvedere alla raccolta ed al convogliamento delle acque reflue ed è necessario applicare teli protettivi sulle parti non soggette all'intervento di pulitura.



Pulitura manuale

Poiché la pulizia manuale potrebbe risultare particolarmente aggressiva, essa dovrà essere eseguita solo su materiale perfettamente sano e compatto, adoperando esclusivamente spazzole morbide di saggina o di nylon e particolari spugne a consumo. È assolutamente controindicato l'uso di spatole, raschietti, carte abrasive (anche a grana sottile) o pietra pomice. In genere, per ridurre al minimo i rischi di danneggiamento si utilizzano spugne wishab. Si potranno inoltre utilizzare piccoli trapani sulle cui punte vengono montate



speciali frese di nylon o setola; in alcuni casi si possono utilizzare bisturi o raschietti d'acciaio anche funzionanti elettricamente ma di piccole dimensioni, perfettamente controllabili e manovrati solo da personale specializzato.

Microtrapani

Permettono di consumare progressivamente le incrostazioni più dure sino ad arrivare alla superficie originale lavorata. Trattandosi di strumenti di precisione, il lavoro di rimozione dello sporco si svolge in tempi lunghi, soprattutto se le incrostazioni da rimuovere sono molto dure e compatte.

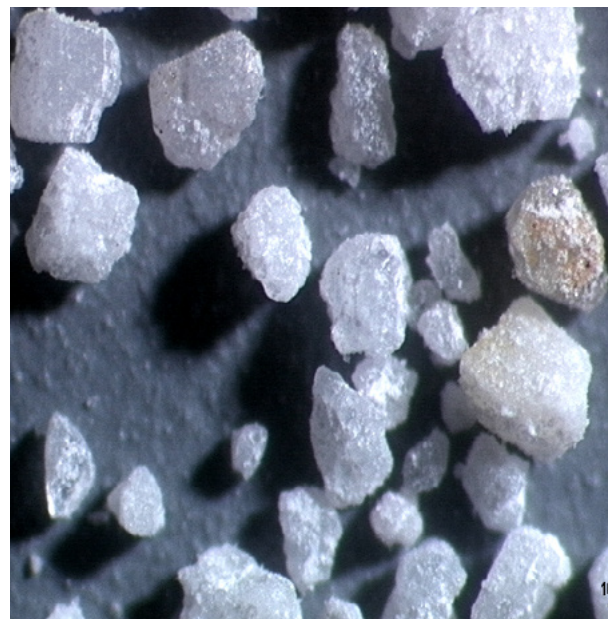
Sono costituiti da apparecchiature piuttosto maneggevoli come microtrapani ad uso dentistico, piccoli motorini portatili con manometri di regolazione della potenza e del numero di giri.

Talvolta, ad un primo assottigliamento dell'incrostazione eseguito con questi strumenti, si può far seguire una seconda fase di pulitura con mezzi la cui azione risulti ancora più delicata (ad esempio puliture di tipo chimico).

Microsabbatura di precisione e microaerabrasivatura con sistema a vortice

Queste metodologie dovrebbero essere impiegate solo su materiali sufficientemente compatti o pre-consolidati e quindi è buona norma predisporre campionature da effettuare su limitate zone del substrato da pulire.

Per eseguire la microsabbatura a secco di precisione si devono utilizzare apposite attrezzature ad aria compressa dotate di una sorta di matita munita di ugello in grado di proiettare un fine getto di polveri, costituite da microparticelle di varia natura e durezza (vetro, silice, allumina, carbonato di calcio...), del diametro medio di un centinaio di micron. Gli abrasivi possono essere naturali o sintetici; sono preferibili quelli dai bordi arrotondati e dalle dimensioni ridotte (circa $100\mu\text{m}$). L'apparecchiatura è costituita da un piccolo compressore accoppiato ad un serbatoio contenente la polvere abrasiva; la pressione del getto e la quantità di abrasivo devono essere finemente regolabili; l'ugello deve consentire di indirizzare la miscela aria/polvere su un'area





di pochi millimetri quadrati permettendo all'operatore di lavorare con accuratezza e precisione anche su materiali litoidi scolpiti e/o degradati. Il corretto impiego della microaerabrasivatura permette di esercitare l'azione pulente con gradualità anche su zone particolarmente delicate (modanature, intarsi...) regolando adeguatamente la pressione di esercizio.

La scelta dell'abrasivo va determinata in relazione alla durezza del materiale da pulire. Anche in questo caso è buona norma, al fine di non provocare danni, utilizzare un abrasivo di durezza inferiore o uguale a quella del materiale lapideo.

Sebbene la microsabbatura sia un sistema controllabile e ad azione circoscritta, produce una certa quantità di polveri che possono risultare dannose per l'operatore il quale deve proteggersi con maschere e visiere.

Un sistema che consente di ovviare in parte a questo problema è la microaerabrasivatura con sistema a vortice. Questo metodo di pulitura prevede l'utilizzo di un sistema centrifugo a bassa pressione che, tramite appositi microiniettori, è in grado di proiettare sulla superficie una miscela di aria e polveri abrasive con aggiunta di acqua. Come per la microsabbatura a secco, questa apparecchiatura è costituita da un compressore al quale viene accoppiato un serbatoio contenente la polvere abrasiva, ma, a differenza della tradizionale microsabbatrice, dispone di un ugello speciale contenente delle micro-turbine che consentono all'abrasivo di colpire la superficie tangenzialmente in quanto esso verrebbe spinto secondo una traiettoria a spirale. Il sistema prevede possibilità di utilizzo a secco oppure con acqua deionizzata. Nel caso in cui si ritenga opportuno l'utilizzo di acqua, l'ugello indicato è predisposto per la fuoriuscita di aria, acqua ed abrasivo mantenendo inalterate le caratteristiche del sistema sopra citato. Oltre ad una maggiore sicurezza per la salute dell'operatore (grazie all'abbattimento delle polveri dovuto all'acqua), l'uso dell'acqua

deionizzata consente la asportazione, seppure parziale, di eventuali sali solubili dalle superfici. È sempre opportuno proteggere le parti non interessate dalla pulitura con teli. Se si prevede l'utilizzo di acqua, la pulitura dovrà essere effettuata con temperature esterne superiori a 10 °C e ad intervalli tali da limitare l'eccessiva imbibizione del manufatto. Alla fine della pulitura, è necessario eliminare i residui di abrasivo dalle superfici con lavaggi o soffiature con aria.

Nonostante i necessari accorgimenti e le cautele nell'uso, i metodi microaerabrasivi sono, insieme alla pulitura laser, gli unici utilizzabili quando non è possibile operare con acqua o quando, in presenza di materiali lapidei che presentano rigonfiamenti o sfogliature, è controindicato l'uso di impacchi.



L'efficacia dei metodi sopra indicati deve essere valutata in base alle caratteristiche del supporto, del tipo di sporco ed in relazione alle variabili con le quali i metodi vengono applicati (durezza, dimensioni e forma dell'abrasivo, pressione di esercizio e distanza dell'ugello dalla superficie).

Alcune sperimentazioni atte a valutare l'azione di pulitura su campioni di marmo degradato da crosta nera hanno evidenziato che l'efficacia dei sistemi microaerabrasivi, ed i loro limiti di utilizzo

per evitare danneggiamenti del substrato, dipendono prevalentemente dal tipo di abrasivo (durezza, granulometria) più che dalla pressione di esercizio. A differenza delle sabbiature industriali e dei lavaggi con acqua ad alta pressione, che sono metodi molto rapidi e quindi poco costosi, i diversi metodi di microaerabrasivatura descritti possono essere anche molto costosi perché molto lenti.

Pulitura con ultrasuoni

La pulitura con ultrasuoni prevede l'utilizzo di una attrezzatura che provoca il distacco di incrostazioni, anche di notevole spessore e durezza, senza alcuna azione meccanica diretta, ma grazie alle sollecitazioni indotte dalle microonde (circa 25 Khz) trasmesse attraverso un piccolo spray di acqua continuo. Lo strumento, di tipo dentistico, è costituito da un piccolo motore fornito di regolatori di potenza, collegato all'impianto idrico e a quello elettrico, e da una piccola "penna". Il lavoro di pulitura



richiede tempi molto lunghi ma risulta particolarmente apprezzabile per precisione e delicatezza. Anche in questo caso occorre un operatore molto specializzato.

Impacchi adsorbenti

I due tipi di argille normalmente utilizzati per la pulitura con impacchi adsorbenti sono sepiolite e attapulгите. in alternativa può essere utilizzata polpa di carta. Sono supportanti aventi la caratteristica di possedere una grande superficie specifica e di assorbire, quindi, grandi quantità di acqua. Questa proprietà viene utilizzata negli interventi di pulitura perché questi materiali sono in grado d'impregnarsi di sali, oli e grassi senza attivare azioni aggressive sulla superficie della pietra. Vengono in precedenza preparate, diluendole esclusivamente con acqua distillata o deionizzata, fino a raggiungere una consistenza pastosa che ne consenta la lavorazione in spessori di 2-3 cm.

L'operazione di pulitura dovrà essere preceduta dallo sgrassaggio e dalla rimozione dalle superfici di eventuali incrostature con solventi opportuni (acetone, cloruro di metilene).

Gli impacchi con acqua distillata sono particolarmente indicati per la estrazione dei sali solubili presenti nelle murature o sui materiali lapidei.

La applicazione è eseguita a mano, o con piccole spatole flessibili o pennelli; sull'impacco vengono poi stesi teli di garza e cotone idrofilo per mantenere umido il materiale. Infine si coprirà il tutto con teli di nylon per impedire una troppo veloce evaporazione.

Trascorsi 24-48 ore, i teli di nylon dovranno essere tolti per lasciare essiccare il composto che, in seguito, verrà asportato. L'operazione dovrà essere ripetuta sino al raggiungimento dei risultati attesi. Un lavaggio con acqua deionizzata, per l'asportazione di residui, completerà l'intervento.

Impacchi adsorbenti solventi

Le stesse sostanze ispessenti possono tenere in sospensione solventi organici (o miscele di solventi, o sostanze basiche) per la solubilizzazione di prodotti quali grassi, vernici, ecc. A seconda che i prodotti siano penetrati più o meno profondamente nel materiale lapideo, sarà opportuno procedere con più applicazioni.

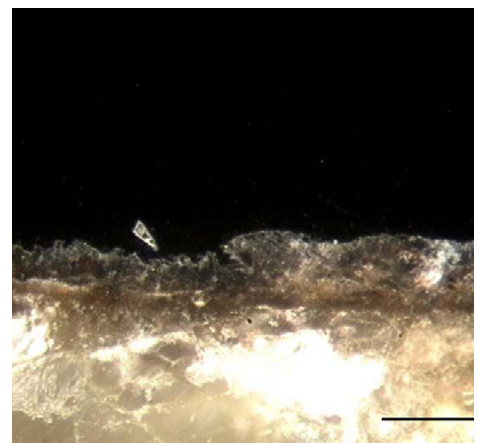
Impacchi con soluzioni leggermente basiche

Gli impacchi chimici a base di AB57 e di carbonato di ammonio sono essenzialmente utilizzati per la rimozione di croste nere.

Questa metodologia di pulitura consiste nell'applicazione, sulla superficie lapidea, di un impacco formulato con acqua e composti chimici con pH che dovrebbe essere compreso tra 8.0 e 5.5. Sono quindi esclusi tutti i detergenti costituiti da acidi e basi forti, anche se in diluizione.

L'applicazione della soluzione avviene attraverso sostanze supportanti, prive di sali solubili, a base di cellulose, argille assorbenti o gel; lo spessore del supportante determina in qualche misura l'azione solvente: più lo strato applicato è di spessore elevato, maggiormente ne sarà prolungata l'azione solvente. Sono comunque più efficaci impacchi sottili applicati in successione, piuttosto che un solo impacco ad alto spessore.

Dopo aver applicato l'impacco sulla superficie lapidea è necessario controllare molto



attentamente i tempi di azione.

La stesura può essere effettuata a pennello, a spatola o a mano in relazione agli spessori che si vogliono applicare ed è opportuno coprire l'impacco con una pellicola impermeabile (film di polietilene) per evitare una troppo rapida evaporazione dei composti che ridurrebbe l'efficacia dell'operazione.

Poiché l'azione di alcuni componenti (EDTA) può attaccare irreversibilmente la pietra, in particolare se si tratta di pietre calcaree, è assolutamente necessario controllare i tempi di applicazione attraverso prove preliminari.

Per una più facile rimozione dell'impacco a trattamento ultimato, soprattutto se applicato su superfici rugose, si interpone fra il materiale lapideo e l'impacco un foglio di carta assorbente o una velina giapponese.

Una volta asportato l'impacco occorre lavare accuratamente la superficie trattata mediante ripetuti risciacqui con acqua deionizzata, aiutandosi con spazzolini morbidi di nylon o di saggina.

Cautela necessaria è quella di evitare il percolamento sulle superfici sottostanti, o la migrazione in quelle adiacenti, dei composti solventi che possono fuoriuscire dall'impacco (in particolare se si opera su superfici verticali). Per questo è utile applicare ai bordi dell'impacco uno strato di polpa di cellulosa, tenuto molto asciutto, in modo da contenere eventuali percolamenti.

I metodi di pulitura ad impacco sono relativamente costosi perché piuttosto lenti, in particolare se il ciclo di intervento prevede la stesura di due o più impacchi in successione.

Impacco con AB57

La composizione dell'AB57 (formulazione ICR) è la seguente:

Acqua distillata	1000 cc
Bicarbonato d'ammonio	30 gr
Bicarbonato di sodio	50 gr
EDTA (sale bisodico dell'acido etilendiammino-tetraedrico)	25 gr
NeoDesogen (biocida)	10 cc
Carbossimetilcellulosa	60 gr

Con questa formulazione si ottiene un composto leggermente basico con pH intorno a 7.5.

Diversi studi hanno messo in evidenza come sia meglio evitare l'uso del bicarbonato di sodio per limitare il pericolo della formazione di sali sodici sul supporto lapideo; è stata inoltre valutata la possibilità di aumentare la quantità di EDTA a seguito di necessarie prove e campionature.

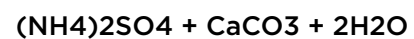
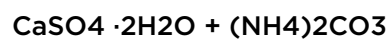
Il principio di funzionamento dell'AB57 è il seguente: il bicarbonato d'ammonio svolge un'azione meccanica di infragilimento della crosta nera, mentre l'EDTA agisce complessando il calcio presente nella crosta che viene portato in soluzione ed assorbito dal supportante; nello stesso tempo lo ione solfato della crosta si lega allo ione sodio che era presente nell'EDTA prima di essere sostituito dallo ione

calcio. Il solfato di sodio così formatosi, anch'esso molto solubile nell'acqua di impasto, è facilmente aggregabile all'interno del supportante.

Dato che l'AB57 è utilizzato essenzialmente per l'asportazione di croste nere, ed in considerazione che esse si formano prevalentemente su supporti a matrice carbonatica, può facilmente accadere che applicazioni troppe prolungate (eccessivo tempo di contatto) potrebbero causare un attacco del carbonato di calcio presente nel substrato lapideo da parte dell'EDTA, provocando una corrosione superficiale della pietra.

Impacco con carbonato di ammonio

L'impiego di carbonato d'ammonio, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, sale solubile che ha pH 9.3, permette, in fase di pulitura, di agire sia sulle solfatazioni (croste nere) che su sostanze grasse; per quanto riguarda le solfatazioni, questo composto in soluzione acquosa trasforma il solfato di calcio biidrato (gesso) in solfato d'ammonio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, sale molto più solubile del prodotto di partenza e, quindi, più facilmente rimovibile:



La soluzione prevede l'utilizzo di acqua distillata o deionizzata. Quando il materiale da rimuovere ha un'alta percentuale di gesso, il carbonato d'ammonio deve essere utilizzato in soluzione satura.



Quando la superficie presentasse efflorescenze visibili sarà opportuno effettuare una completa asportazione meccanica delle stesse prima dell'applicazione dell'impacco, in modo da evitare la loro solubilizzazione e la conseguente penetrazione nella pietra.

In letteratura sono riportati casi in cui il carbonato di calcio, formatosi a seguito dell'impacco, tenderebbe a cristallizzare sulla superficie lapidea comportando effetti di sbiancamento (Vergès - Belmin, 1996). Per evitare questo inconveniente è necessario risciacquare molto accuratamente le superfici subito dopo l'asportazione dell'impacco.

Pulitura laser

L'apparecchiatura laser è uno strumento ad alta precisione, in grado di produrre energia sotto forma di un'onda luminosa in seguito ad una emissione stimolata di radiazioni, che permette una pulitura molto selettiva rimuovendo croste e depositi. La pulitura non è ottenuta, dunque, mediante azioni chimiche o meccaniche, ma in seguito a principi fisici.

L'apparecchiatura laser è essenzialmente costituita da tre elementi: il mezzo attivo, la sorgente di attivazione, il risonatore ottico.

- il mezzo attivo è formato da materiale solido, liquido o gassoso che, opportunamente stimolato, emette una radiazione; esso è responsabile della lunghezza d'onda di emissione;
- la sorgente di attivazione, indispensabile per innescare la reazione, fornisce al materiale attivo l'energia che permette l'emissione della radiazione;
- il risonatore ottico è formato da un sistema di specchi che permette di amplificare le onde elettromagnetiche della luce laser.

I parametri che devono essere considerati per definire la radiazione laser sono: la lunghezza d'onda, la potenza e la modalità di emissione.

La lunghezza d'onda influenza la capacità di penetrazione del raggio, in quanto è inversamente proporzionale all'energia, dipende dal mezzo attivo utilizzato ed è compresa tra 180 e 10600 nm. Il laser può produrre luce ultravioletta, visibile e infrarossa.

La potenza (Watt) misura la forza di un fascio laser e dipende dal tipo di laser. È inoltre importante rapportare la superficie irradiata con la potenza emessa (densità di potenza Watt/cm²) o con l'energia ceduta (densità di energia J/cm²). L'emissione laser può essere continua, pulsata (impulsi lunghi nell'ordine dei ms – Normal Mode), a flash (impulsi corti nell'ordine dei ns – Q-switched).

Il differente assorbimento ottico della radiazione da parte dei materiali, a seconda del loro colore, può essere sfruttato in fase di pulitura; infatti, essendo essenzialmente luce, il raggio altamente energetico generato dalla sorgente delle radiazioni viene assorbito da ciò che è scuro e riflesso dai materiali di colore chiaro. Ovvero, selezionando in modo opportuno i parametri di irraggiamento, i depositi di colore scuro e le croste nere sottoposti agli impulsi assorbono selettivamente l'energia della radiazione laser e vengono rimossi in seguito ad un effetto che può essere di tipo fotochimico (reazioni chimiche che avvengono soltanto per radiazioni ultraviolette), fototermico (dovuto alla conversione dell'energia utilizzata in calore) e fotomeccanico (focalizzando impulsi ultracorti di elevata potenza di picco su aree molto piccole si ottengono vere e proprie vibrazioni meccaniche). Per accelerare l'azione pulente può essere opportuno, prima dell'intervento, bagnare la superficie: questo aumenterà il tono del colore favorendo la selettività del laser e si eviterà, inoltre, la formazione di polveri che possono essere dannose per l'operatore e per le parti ottiche dello strumento.

L'utilizzo di questo sistema, in alcuni casi, può permettere di non eseguire il preconsolidamento di superfici particolarmente degradate. I vantaggi che si





ottengono dall'utilizzo del laser possono così riassumersi:

- minima invasività: non si richiede l'uso di sostanze chimiche, né il contatto con materiali abrasivi. Ciò permette di trattare strutture in avanzato stato di alterazione. È da ricordare, però, che la rimozione della crosta potrebbe comportare lo sgretolamento del substrato lapideo sottostante qualora esso si trovasse in stato di decoesione avanzata;
- elevato grado di controllo: la rimozione dello strato degradato avviene in modo progressivo e controllabile dall'operatore in quanto ogni impulso interessa spessori di pochi μm ;
- elevata precisione: il processo di pulitura

interessa esclusivamente l'area illuminata dal fascio laser e può essere variata secondo necessità;

- selettività: il differente assorbimento ottico della radiazione laser da parte dei materiali, in dipendenza del loro colore, può essere sfruttato per rendere la pulitura laser altamente selettiva ovvero, selezionando opportunamente i parametri di irraggiamento, è possibile produrre un'efficace rimozione dello strato di alterazione che però si arresta automaticamente quando il substrato più chiaro è riportato alla luce;
 - interazione limitata all'emissione della radiazione: l'interazione con il materiale termina all'esaurirsi della radiazione;
- versatilità: le diverse sorgenti disponibili fanno sì che il laser possa intervenire su differenti superfici (pietra, legno, metalli, ecc.).

Gli effetti che le radiazioni laser possono provocare su superfici rivestite da crosta nera, a seconda della durata dell'impulso, possono essere di due tipi. Le radiazioni di tipo "normal-mode", generano flussi nell'ordine di $10^3 - 10^5 \text{ W/cm}^2$ con tempi di impulso di durata compresa tra 1 microsecondo e 1 millisecondo (impulsi lunghi). Queste radiazioni agiscono secondo il meccanismo fototermico in quanto vengono assorbite dalla crosta nera che, venendo così portata in tempi brevissimi ad alta temperatura (4000-5000 K), brucia o viene vaporizzata.

Con le radiazioni più energetiche, ottenute mediante "Q-Switching" che possono arrivare a flussi di $10^7 - 10^{10} \text{ W/cm}^2$ con tempi



di impulso nell'ordine dei nanosecondi (impulsi corti), si ha la cosiddetta ablazione fotomeccanica, in pratica una microesplosione localizzata, dove la maggior parte della quantità di calore (10^4 e 10^5 K) trasferita al materiale se ne va con la frazione di materia rimossa (spallazione) di spessore 1-100 μm .

È di estrema importanza il controllo dei possibili effetti collaterali che accompagnano questi due regimi di azione laser. Se non correttamente dosati, gli impulsi lunghi potrebbero indurre un eccessivo riscaldamento locale, con effetti di rifusione e vetrificazione della superficie. D'altra parte, gli impulsi corti potrebbero generare intense onde di shock termico e di pressione in grado di produrre un danneggiamento meccanico della superficie con formazione di microfratture ed aumento della rugosità superficiale a seguito della espulsione del materiale. Un effetto collaterale indesiderato, verificatosi in diversi casi, è un medio ingiallimento della pietra che può essere parzialmente eliminato con impacchi di carbonato d'ammonio.

Attualmente per un più pratico utilizzo, i laser impiegati in cantiere sono stati miniaturizzati. L'inconveniente maggiore nell'utilizzo del laser è la possibilità di arrecare danni alla vista dell'operatore; è quindi necessario, per garantire l'incolumità degli operatori o dei passanti, che la zona d'intervento sia confinata tramite teli o pannelli protettivi in grado di assorbire la radiazione e che tutte le persone che si trovano all'interno della zona confinata siano munite di occhiali protettivi dotati di lenti opportune. Dal punto di vista economico la pulitura laser è tra quelle più costose (mediamente tre volte il costo della pulitura ad impacco, cinque volte la pulitura con acqua nebulizzata) sia per i costi di ammortamento dell'attrezzatura, sia per la lentezza di esecuzione.

N.B. > Le indicazioni e le considerazioni che vengono qui riportate sono di carattere generale. Le scelte operative riguardo a materiali e tecniche di applicazione devono sempre essere assunte da tecnici esperti in relazione alle condizioni di utilizzo, alle caratteristiche dei supporti, alla capacità degli operatori.



Ti è piaciuto il nostro ebook?
Vorresti approfondire degli
argomenti?
Scrivici e lasciaci i tuoi
commenti cliccando qui
sotto.

SCRIVICI CLICCANDO QUI

GASPAROLI s.r.l.

Via Trombini, 3 | 21013 Gallarate (VA)

Tel. +39 0331 794078 | +39 0331 776027

gasparoli@gasparoli.it | www.gasparoli.it

Gasparoli
Storie di restauro