

APPLICAZIONI

# L A S E R



**Il laser  
nel restauro**

**I vantaggi della  
brasatura laser**

**Il laser  
nel segmento  
agro-food**



NUMERO

**3**

FEBBRAIO/MARZO 2005

**postatarget  
magazine**  
Totale Pagati  
100 CENTESIMI SINGOLI/VALORE 10000  
valido dal 01/01/2004  
**Posteitaliane**



**PubliTec**



**Le applicazioni laser nel settore dei beni culturali spaziano dalla pulitura di superfici alla saldatura di oggetti d'arte in metallo.**

# IL LASER E IL RESTAURO



Il laser fornisce al restauratore uno strumento ad alto contenuto tecnologico da affiancare e integrare agli altri metodi comunemente utilizzati. Gli sviluppi della ricerca, gli scenari applicativi e gli interventi più famosi di uno sforzo comune volto alla salvaguardia del patrimonio artistico.

di Alessandro Zanini

**N**el campo della conservazione del patrimonio architettonico, monumentale e delle opere d'arte, sta crescendo la domanda di metodologie di intervento, con particolare riguardo alla pulitura, caratterizzate da un'elevata selettività e dal minimo impatto sull'opera. La soluzione proposta dal laser risponde a questi requisiti e fornisce al restauratore uno strumento ad alto contenuto tecnologico da affiancare e integrare agli altri metodi meccanici e chimici comunemente utilizzati.

L'adozione del laser, del resto, viene incontro anche alla necessità per le moderne aziende di restauro di adeguamento

**La pulitura laser nel restauro consiste in un processo fotomeccanico o fototermico, ovvero una sorta di vaporizzazione che permette di rimuovere uno strato di materiale da una superficie.**

tecnologico, indotto dai nuovi standard e dalla sempre maggiore richiesta, da parte degli enti preposti alla tutela, di interventi conservativi specialistici e altamente qualificati.

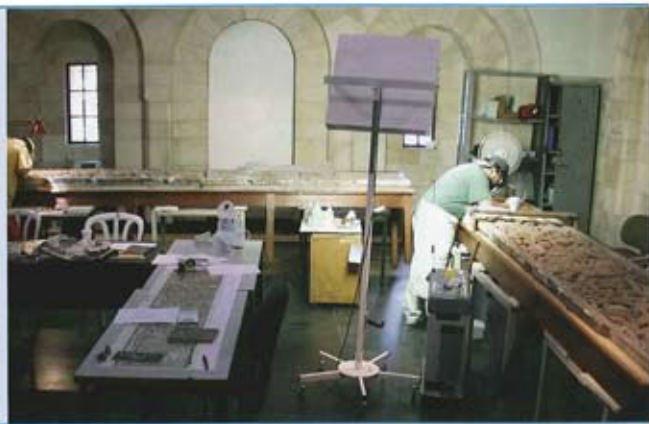
Grazie a una ricerca interdisciplinare svolta da vari laboratori del CNR e dell'Università in collaborazione con le aziende e i Centri nazionali di conservazione del Ministero per i Beni e le Attività Culturali, il campo delle applicazioni sui differenti materiali è costantemente in aumento. Il laser è attualmente uno strumento di uso comune e generalizzato per gli interventi su superfici lapidee rappresentate sia da singoli monumenti quali le statue, sia da superfici architettoniche di particolare pregio, quasi sempre modellate.

**Laser e beni culturali: un connubio nato negli anni 70**

I primi esperimenti di applicazione della tecnologia laser alla conservazione dei beni culturali risalgono agli inizi degli anni settanta, quando un fisico americano, J. Asmus, ricercatore della Southern University of California, applicò il laser su alcune superfici marmoree della Cattedrale di S. Marco e del-

la Ca' d'Oro a Venezia. Un ulteriore passo in avanti in questa applicazione si è avuto in Francia a partire dagli inizi degli anni novanta, con una serie di interventi che si sono susseguiti negli anni per la pulitura dei portali di numerose cattedrali. La prima fu la facciata della cattedrale di Amiens, alla quale seguirono importanti monumenti quali tra l'altro i portali di Chartres, Bordeaux, Notre Dame a Parigi. Nel 1995 è stato sperimentato per la prima volta l'impiego di un laser con trasmissione del fascio mediante fibra ottica. Questo successo si deve alla ricerca congiunta portata avanti dall'allora Istituto di Elettronica Quantistica del CNR, attuale IFAC e

dall'E.En. S.p.A., nel quadro di un progetto regionale della Regione Toscana. Grazie a questi nuovi passi avanti, negli ultimi dieci anni si è assistito a un costante incremento, tuttora evidente, dell'uso del laser nei cantieri di restauro. Parallelamente, continua la ricerca sull'interazione laser-materiali, sulle lunghezze d'onda, tipi di impulso e valori di fluensa in funzione della natura organica o meno del supporto e del tipo di intervento da eseguire. La pulitura con il laser - ancora più degli altri sistemi chimici o meccanici - deve risultare selettiva e stratigrafica, senza indurre effetti collaterali quali alterazioni cromatiche o tessiture della superficie. Nello stesso tempo, lo sforzo dei produttori è quello di fornire ai restauratori strumenti affidabili, capaci di operare per lunghi periodi all'aperto sui ponteggi (con sbalzi di umidità, temperatura, presenza di polveri fini e grossolane ecc.), maneggevoli e relativamente poco ingombranti. Anche il tentativo di contenere il costo per l'utente finale corrisponde alle peculiarità di questo settore, nel quale le imprese di dimensioni medio piccole sono la maggioranza.



### I laser usati operano in due diversi regimi di impulso

Sin dalle prime esperienze si è verificato che i laser infrarossi erano un buon compromesso fra efficienza e selettività. I laser allo stato solido che emettono nel vicino infrarosso a 1.064 nm sono ottenuti dal pompaggio a lampada in cristallo di ittrio alluminio, drogato con una terra rara, il neodimio (Nd:YAG).

Questi laser operano in due differenti regimi di impulso. In regime *Free Running* (FR) o *Normal mode* la durata dell'impulso laser dipende direttamente dal tempo di accensione della lampada di pompaggio. Di solito la lunghezza di questi impulsi varia dai 300  $\mu$ s ai millisecondi. Nel secondo regime di impulso, detto *Q-Switch* (QS), la durata dell'impulso viene generata da opportuni dispositivi nella cavità ottica, i quali consentono di ottenere durate di impulso dell'ordine dei nanosecondi, generalmente compresi fra i 6 e i 20 ns, a seconda del tipo di dispositivo adottato e del guadagno ottico che si vuole ottenere.

### La tecnologia laser per la pulitura di superfici

La pulitura laser consiste in un processo fotomeccanico o fototermico, una sorta di vaporizzazione - in fisica definita "fotoablazione" - la quale consente di rimuovere uno strato di

materiale da una superficie. Nel campo del restauro monumentale, ciò significa che l'obiettivo è quello di asportare l'orizzonte di degrado, di solito di colore molto scuro, da un substrato lapideo solitamente di colore molto più chiaro. Questo processo deve avvenire in tutta sicurezza per l'opera d'arte, consentendo di conservare i livelli epigenetici che si frappongono fra degrado e substrato. Questi sono generalmente rappresentati dalle cosiddette patine di ossalati, vere e proprie pellicole minerali, purtroppo spesso discontinue, che sono il prodotto della trasformazione di processi conservativi antichi mediante composti organici che nel tempo si sono mineralizzati. Questa "pelle" dell'opera d'arte, vera e propria patina del tempo, concorre spesso in modo determinante alla conservazione del monumento, garantendone la stabilità chimico-fisica.

L'esperienza accumulata in questi ultimi dieci anni ha permesso di mettere a punto tecniche e procedure che consentano, alle apparecchiature laser, di operare nel pieno rispetto della storia dell'opera d'arte.

**1. Intervento di pulitura con laser sul gruppo scultoreo "Il ratto delle Sabine" del Giambologna, Loggia dei Lanzi in Piazza della Signoria a Firenze (per gentile concessione di Roberto Pini).**



**2. Un intervento conservativo con la tecnologia laser è stato realizzato sui bassorilievi del Santissimo Sepolcro conservati al Rockefeller Museum di Gerusalemme.**

Si è notato che l'impiego di laser a impulso corto QS, se da un lato garantisce una buona efficienza e velocità di esecuzione, con elevati coefficienti di ablazione su spot di ampie dimensioni, dall'altro poteva talvolta generare effetti secondari sulla superficie (in particolare quella lapidea) con microfaturazioni e alterazioni cromatiche della superficie. Ciò è dovuto all'elevata potenza di picco del singolo impulso che genera plasma delle sostanze evaporate, con effetti meccanici di spallazione della superficie, alla quale si associa la forma gaussiana (quindi non perfettamente omogenea) dello spot laser.

D'altro canto, l'impiego di laser a impulso FR può, all'opposto, ingenerare fenomeni secondari di riscaldamento e di alterazione termica della superficie. È stato quindi obiettivo comune della ricerca sviluppare laser che coniugassero l'efficienza e la selettività dell'intervento con un elevato grado di controllo per evitare gli effetti secondari indesiderati. A tal fine, la strada che si sta perseguendo è duplice. Da un lato si sta sviluppando una nuova generazione di laser che addottino impulsi di lunghezza intermedia fra i due regimi SF e QS, cioè dell'ordine delle centinaia di nanosecondi, per l'impiego in cantiere su monumenti e

superfici lapidee o metalliche. L'adattamento all'uso in esterno, l'impiego con fibra ottica e la portabilità sui ponteggi sono altri tre fondamentali parametri sempre presenti in fase di progettazione.

Dall'altro, le qualità dell'impulso breve del laser QS vengono ancora più esaltate dalla possibilità per questi sistemi di operare a più lunghezze d'onda (verde, UV) per interventi specializzati su supporti organici (carta, tessuti, legno, tele ecc.).

### I vantaggi del laser nella pulitura di superfici

Come primo risultato, si è messa a punto una nuova generazione di laser, denominati SFR (*Short Free Running*) con impulso nell'ordine dei 30 + 130  $\mu$ s. Questo regime di impulso è stato ottimizzato per poter operare in tutta sicurezza sulle superfici lapidee, rappresentando attualmente la soluzione tecnologicamente più avanzata per lo scenario più vasto di utilizzo nell'ambito del restauro conservativo.

Il regime SFR presenta inoltre il vantaggio di poter essere veicolato tramite fibra ottica, garantendo quindi una buona omogeneità

**3. (Foto al centro)  
Una fase dell'intervento conservativo eseguito sui bassorilievi del SS. Sepolcro conservati al Rockefeller Museum di Gerusalemme.**

4 e 5. La pulitura di un capitello del chiostro di Oviedo. L'intervento laser ha consentito il perfetto recupero di una superficie estremamente degradata e decoesa (da *R&R Restauración & Rehabilitación*, n. 81 Nov. 2003).



7. L'intervento sul peristilio del Palazzo di Diocleziano a Spalato ha riguardato le croste nere dendritiche.

genità del fascio. In generale, sono principalmente quattro i vantaggi nell'adottare la tecnologia laser per la pulitura di superfici di interesse storico-artistico. La minima invasività: l'applicazione del laser si caratterizza innanzi tutto per l'assenza di contatto fisico con la superficie sulla quale si interviene. Ciò consente di operare in presenza di superfici estremamente fragili o molto alterate, anche prima del consolidamento. Proprio per questa azione diretta sulla superficie il laser non richiede l'uso di abrasivi meccanici o sostanze chimiche. L'unico ausilio che normalmente viene adottato è - quando lo permettono le condizioni del manufatto - un leggero velo d'acqua. L'acqua funge principalmente da guida d'onda, in modo da rendere ancora più omogeneo e graduale l'effetto del laser. In aggiunta, l'acqua permette di confinare il gradiente termico e di limitare i vapori per l'operatore. Un elevato grado di controllo: la rimozione degli orizzonti di degrado avviene, se necessario, per spessori di pochi micron per singolo impulso, permettendo di definire con estrema precisione il livello di pulitura che si vuole raggiungere. Sfruttando il principio fisico del differente coefficiente d'assorbimento della luce da parte dei diversi materiali, in funzione del loro colore, il laser permette un'elevata selettività. Difatti gli strati da rimuovere sono generalmente di colore molto scuro, e non

quasi completamente neri, e

6. (Foto al centro) L'intervento laser sul peristilio del Palazzo di Diocleziano a Spalato.



quindi assorbono un'elevata percentuale della luce laser, permettendo la massima efficienza del fenomeno di fotoablazione. Viceversa, il substrato è generalmente più chiaro e, in misura differente, a seconda della natura del materiale, riflette una percentuale molto alta della luce ricevuta, arrestando quasi automaticamente l'effetto del laser. Elevata precisione: il processo di pulitura coinvolge un'area ben delimitata, cioè quella irraggiata direttamente dalla luce laser, senza provocare nessun effetto sull'area circostante. Inoltre i laser SFR in fibra ottica consentono di trattare superfici modellate estremamente complesse grazie alla maneggevolezza della fibra ottica. L'uso di manipoli a focale variabile permette sia di lavorare con precisione su dettagli molto minuti, sia di trattare superfici più ampie.

#### Il laser negli interventi conservativi sulla pietra

L'intervento conservativo sulla pietra è lo scenario applicativo nel quale il laser è diventato uno strumento comune, ampiamente utilizzato dai restauratori con risultati estremamente sod-

disfacenti, sia in laboratorio che nei cantieri. Risultati ugualmente positivi si hanno anche in relazione a interventi di pulitura su superfici in stucco. L'impiego del laser per la pulitura di elementi architettonici danneggiati dall'inquinamento atmosferico rappresenta oggi, molte volte, la tecnica più efficace d'intervento in rapporto alla minor invasività e al rispetto conservativo della storia del monumento. È ampiamente dimostrato come il laser, e in particolare quelli SFR a impulso ottimizzato, permettano di rimuovere gli strati di "crosta nera", solfatazioni gessose, e nello stesso tempo di rispettare le sottostanti patine di ossalato. Se correttamente condotto, questo intervento, non solo non induce effetti secondari, ma risulta stabile nel tempo consentendo di essere ripetuto periodicamente, come manutenzione programmata dell'opera d'arte. Per quanto riguarda le superfici in pietra deturpate da graffiti, in questo caso, il laser può rappresentare un valido ausilio per rimuovere la pittura ancora in superficie, mentre per quella penetrata internamente si dovrà ricorrere alle sostanze chimiche. In questo modo l'intervento risulterà meno invasivo, con molto minor dispersione di sostanze chimiche e rendendo solubile una quantità molto minore di coloranti. Il laser è stato usato con successo su numerosissimi monumenti italiani ed europei. Solo per menzionare i più importanti cantieri che hanno vi-

sto impegnati i laser del gruppo El.En. si possono citare il Duomo di Milano e la Cattedrale di Firenze, il gruppo scultoreo del Patto delle Sabine del Giambologna in Piazza della Signoria a Firenze (Figura 1), i bassorilievi del SS. Sepolcro a Gerusalemme (Figure 2 e 3), il chiostro della Cattedrale di Oviedo (Figure 4 e 5), il Peristilio di Diocleziano a Spalato (Figure 6 e 7), la Torre Pendente e il Duomo di Pisa.

#### Le applicazioni sui metalli

L'uso del laser negli interventi conservativi su opere d'arte in metallo oppure su manufatti archeologici è più limitato, anche se sta avendo sempre maggiore successo e non può essere considerato più in una fase esclusivamente sperimentale. L'impiego del laser va comunque affiancato a un'accurata indagine diagnostica e verificato caso per caso.

Lo scenario in cui l'uso del laser è più efficace e sicuro è quello della rimozione di sporco e ossidazioni sulle superfici di bronzo dorato. In questo caso, la messa a punto di partico-

8. Il risultato dell'impiego del laser sul David del Verrocchio, Museo Nazionale del Bargello, Firenze: la scoperta e il recupero completo delle dorature sulla capigliatura e sulla bordatura della corazza. (da "Il David del Verrocchio restaurato", Ed. Giunti, Firenze 2003).



**L'intervento conservativo su oggetti preziosi di interesse storico artistico con saldatura laser è una applicazione recente messa a punto con successo dall'Opificio delle Pietre Dure di Firenze.**

lari lunghezze di impulso (SFR) consente di intervenire con notevole sicurezza ed efficacia. Un risultato estremamente significativo è stato conseguito al Museo del Bargello a Firenze nel restauro della statua del David di Verrocchio (Figure 8). Numerosi interventi dei secoli scorsi avevano ricoperto le originarie dorature con patine molto scure. Grazie all'impiego del laser, si è riportato all'originario splendore quest'opera d'arte, scoprendo non solo tutta la bordatura dorata delle vesti, ma anche la ricca capigliatura così impreziosita. Sempre a Firenze un laser sperimentale messo a punto congiuntamente da El.En. e CNR-IFAC sta operando sulle dorature della Porta del Paradiso del Ghiberti. Un altro campo d'impiego è quello delle monete antiche.

Anche qui, sfruttando l'elevato coefficiente di riflessione dell'argento - che previene fenomeni di riscaldamento e alterazione della superficie - si possono rimuovere con estrema precisione le ossidazioni superficiali.

Recenti studi hanno verificato la possibilità di intervenire, soprattutto con laser GS anche sulle superfici in bronzo e rame, per recuperare la patina originaria come i particolari più minuti. Infine, nel caso del ferro, il processo d'interazione tra laser e materia ingenera un processo di conversione da ossidi idrati (ruggine) a ossidi anidri (ematite), con un effetto di consolidamento e di mutamento cromatico dal tipico color ruggine a una superficie grigia metallica.

#### Gli interventi sulle superfici policrome

Le superfici policrome rappresentano il campo d'applicazione più delicato, nel quale l'uso del laser è ancora in buona parte il frutto diretto dei risultati della ricerca scientifica. Un certo numero di tipologie di intervento, anche complesse, sono possibili sugli affreschi, in quanto il tipo di supporto e la particolare aderenza del pigmento consentono l'impiego del laser nell'infrarosso. In particolare, l'asportazione di carbonazioni e scialbi con il laser risulta spesso vantaggiosa per

qualità e tempi di esecuzione rispetto agli interventi meccanici con il bisturi. Invece, sulle superfici pittoriche più comuni, che sono stese su supporti organici, la lunghezza d'onda del vicino infrarosso risulta non adatta, interagendo con diversi tipi di pigmento. È sicuramente questo uno degli obiettivi principali dell'attuale ricerca nella quale si stanno sperimentando, con incoraggianti anche se parziali successi, laser che operano nell'ultravioletto. Risultati più limitati e tuttora in fase di valutazione sono quelli ottenuti con l'utilizzo di laser a erbio associati all'impiego di solventi.

#### La saldatura laser applicata agli oggetti d'arte

Un nuovo ed estremamente interessante campo di applicazione della tecnologia laser è rappresentato dall'impiego di saldatrici laser su gioielli e oggetti in metallo prezioso di interesse storico artistico. La tecnologia laser consente di saldare direttamente i due lembi di metallo, impiegando, se necessario, metallo dello stesso titolo, ma senza dover utilizzare leghe basso-fondenti. La diffusione di calore arealmente mol-

to limitata consente all'operatore di saldare tenendo direttamente in mano l'oggetto. Grazie a queste caratteristiche, la saldatura laser risulta particolarmente indicata quando si hanno monili composti con pietre preziose, smalti, perni ecc. Un caso studio molto particolare è quello che ha visto coinvolti i restauratori dell'Opificio delle Pietre Dure in Firenze per il restauro dell'ostensorio di S. Ignazio Martire, prodotto a Palermo intorno al 1640. Il manufatto, in stile barocco e



9. Parti dell'ostensorio di S. Ignazio durante il restauro (da "La Sfera d'oro", Ed. Electa Napoli 2003).



10. Parti dell'ostensorio di S. Ignazio durante il restauro (da "La Sfera d'oro", Ed. Electa Napoli 2003).



11. L'ostensorio di S. Ignazio dopo il restauro, particolare (da "La Sfera d'oro", Ed. Electa Napoli 2003).

di fattura particolarmente pregiata, era pervenuto a Firenze ridotto in più di 300 frammenti anche molto minuti e deformati, dopo essere stato trafugato nell'800 per un breve periodo prima di essere recuperato (Figura 9). Poiché si trattava di oro o argento dorato con una fitta rete di decorazioni a smalto ulteriormente impreziosite con diamanti e altre pietre incastonate, qualsiasi sistema tradizionale di ricomposizione non avrebbe consentito di conciliare la lettura dell'oggetto con il recupero della forma e della sua completa funzionalità (Figura 10). Per risolvere questo difficile problema conservativo è stata messa a punto da El.En. una saldatrice laser Nd:YAG, che ha permesso di ricomporre completamente l'ostensorio restituendogli l'originario sfarzo e splendore (Figura 11).

#### QUALIFICA AUTORE

Alessandro Zanini Comitato Scientifico El.En. S.p.A.