

Il laser per la pulitura delle superfici

di Mauro Andrea Di Salvo

Il Laser è l'ultima novità nel settore del restauro delle superfici. Nei prossimi numeri pubblicheremo una serie di approfondimenti sull'impiego di questa tecnologia innovativa che, per problemi di opportunità e di costo, viene oggi adottata, quasi esclusivamente, negli interventi sull'architettura storico-monumentale.

In questi ultimi anni, fra le tecnologie disponibili per la pulitura delle superfici del marmo, della pietra e dei metalli si è inserito, uscendo dal livello sperimentale, il sistema Laser impulsato. Il vantaggio principale del metodo consiste nella sua elevata selettività e nell'assenza di pressioni dinamiche sulla superficie trattata: la pulitura, infatti, non viene ottenuta mediante azioni chimiche attive o meccanico-abrasive, ma in base alla fisica dello spettro luminoso del visibile.

Il Laser è, in sostanza, un apparecchio che converte una radiazione elettromagnetica di frequenza mista in una o più frequenze separate, coerenti e molto amplificate di luce visibile.

Al di là della "magia" della parola, il Laser è una dimostrazione di come anche le teorie più complesse e apparentemente astratte sulla natura dell'Universo (in questo caso, la teoria dei Quanti) possano avere sorprendenti applicazioni pratiche. Il Laser è, in un certo senso, una macchina semplice come le leve e i piani inclinati: come quelli amplificano la forza dei nostri muscoli sfruttando le forze di gravità e di inerzia, così anche il Laser amplifica l'energia seguendo alcune leggi fondamentali della fisica.

La chiave per comprendere il principio del metodo è contenuta nella parola stessa: Laser è infatti l'acronimo di *Light Amplification through Stimulated Emission of Radiation* (amplificazione della luce attraverso l'emissione stimolata di radiazione). L'amplificazione della luce è resa possibile dalla sua doppia natura, corpuscolare e ondulatoria: il fascio di luce laser è coerente, cioè composto di fotoni che "vibrano" alla stessa frequenza, ampiezza e fase, e questo allineamento di onde in fase ne determina una amplificazione. Il funzionamento del Laser è reso possibile dalla meccanica quantistica, la quale stabilisce che l'energia non può essere scambiata fra gli atomi in continuo, ma secondo "pacchetti" discreti detti *quanti*. Quando un atomo *prende* energia, un elettrone assorbe un fotone e salta in un orbitale più esterno, caratterizzato da energia maggiore; quando un atomo *perde* energia, l'elettrone cede il fotone e cade in un orbitale più interno, caratterizzato da un livello di energia minore. Per il principio di conservazione dell'energia, gli atomi tendono a "equilibrarsi" decadendo spontaneamente in livelli energetici bassi. Ed è appunto questa "l'emissione stimolata" del Laser: fornendo energia a un numero consistente di elettroni, questi passano a orbitali esterni di energia maggiore, ma decadono immediatamente emettendo fotoni (luce) di frequenza determinata.

L'amplificazione avviene all'interno di un dispositivo che, nella sua formulazione classica, consiste di un gas, di un liquido o di un cristallo racchiuso in un cilindro con due specchi semiargentati alle estremità. I fotoni "rimbalzano" fra gli specchi allineandosi in fase e aumentando l'energia del

fascio in una sorta di reazione a catena alla fine della quale viene emesso un "raggio" di luce coerente e molto amplificato, accuratamente modulabile.

Il Laser per la pulitura della superfici è in grado di vaporizzare le parti scure (sporche) così rapidamente da non intaccare la superficie sottostante. Questo processo viene chiamato sublimazione o fotoablazione dello stato solido dei depositi incoerenti.

È interessante come le radiazioni laser si comportano su superfici irregolari o scabrose ricoperte da croste nere omogenee e compatte. L'effetto è di due tipi a seconda della durata e/o del tempo di persistenza dell'impulso (*Normal Mode* e *Q-Switching*) sulla superficie.

Le radiazioni *Normal Mode* vengono assorbite dalla crosta nera che subisce un rapidissimo aumento della temperatura e una perdita altrettanto rapida, per vaporizzazione, dei suoi componenti organici. Quando le radiazioni luminose ad alta energia raggiungono il materiale lapideo sottostante, più chiaro, vengono sostanzialmente riflesse (autolimitazione). L'effetto "autolimitante" non si perde anche dopo impulsi ripetuti. Con flussi di energia radiante dell'ordine di 10^3 - 10^4 W/cm² e tempi di impulso rapidi ($t = 10^{-4}$ μs), non si ha un'apprezzabile propagazione di calore verso il substrato lapideo e si evitano così fusioni e/o microfessurazioni al materiale stesso. Si è calcolato che per impulso in *Normal Mode*, su superficie in marmo o pietra, l'onda termica è risultata essere di soli 0.03 mm (cioè risulta essere inferiore dello spessore di una qualsiasi incrostazione).

Le radiazioni in *Q-Switching Mode*, con impulsi molto corti ($10^{-8/9}$ μs), hanno un'energia tale da produrre l'aumento di temperatura in tempi ancora più brevi del sistema in *Normal Mode*, senza apprezzabile innalzamento termico della superficie trattata (rilevazione con strumento infrarosso termico = 27-32°C)