

aplar **6**

i laser in combinazione con...

Atti del Convegno

APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO

Firenze, Auditorium di Sant'Apollonia, 14-16 settembre 2017



NARDINI EDITORE

aplar  **6**

i laser in combinazione con...

APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO

Firenze, Auditorium di Sant'Apollonia, 14-16 settembre 2017

Atti del 6° Convegno

a cura di
A. Brunetto, G. Lanterna, B. Mazzei



NARDINI EDITORE

Atti del convegno dedicati ad Andrea Galeazzi
persona squisita sempre presente e attiva
nella divulgazione degli studi sui beni culturali

Comitato Scientifico

Lorenzo Appolonia, *Soprintendenza Beni Culturali Aosta, Pres. IGIC*
Giorgio Bonsanti, *già Univerità degli Studi di Firenze*
Anna Brunetto, *Restauri Brunetto, Vicenza*
Giancarlo Lanterna, *Opificio delle Pietre Dure, Firenze*
Barbara Mazzei, *Pontificia Commissione di Archeologia Sacra, Città del Vaticano*
Antonio Paolucci, *già Musei Vaticani, Città del Vaticano*
Renzo Salimbeni, *IFAC - CNR, Firenze*
Paolo Salonia, *ITABC - CNR, Comitato Esecutivo ICOMOS Italia, Roma*
Antonio Sansonetli, *ICVBC - CNR, Milano*
Ulderico Santamaria, *Musei Vaticani, Università degli Studi della Tuscia*
Fabrizio Vona, *Polo Museale della Puglia, Bari*

Comitato Organizzativo

Stefania Agnoletti, *Opificio delle Pietre Dure, Firenze*
Alessia Andreotti, *Università di Pisa*
Anna Brunetto, *Restauri Brunetto, Vicenza*
Daniele Ciofini, *IFAC - CNR, Firenze*
Stefano Landi, *Stefano Landi, Firenze*
Giancarlo Lanterna, *Opificio delle Pietre Dure, Firenze*
Daniela Murphy Corella, *National Heritage Conservation, Ass. Bastioni, Firenze*
Alessandro Zanini, *El.En. S.p.A., Firenze*

Organizzazione

segreteria@aplar.eu
www.aplar.eu

Atti del 6° Convegno APLAR

a cura di Anna Brunetto, Giancarlo Lanterna, Barbara Mazzei

ISBN: 978-88-404-0090-7

Stampa: luglio 2019

Elaborazione Grafica

Maria Rosa Saporito, Milano

Riproduzione vietata ai sensi di legge
(art.171 della legge 22 aprile 1941, n. 633)
Senza regolare autorizzazione,
è vietato riprodurre questo volume
anche parzialmente e con qualsiasi mezzo,
compresa la fotocopia, anche per uso interno
o didattico.

In copertina

Anonimo, XVI secolo, Annunciazione, particolare,
dipinto su tavola, proprietà privata.

Con il patrocinio di



CENTRO
CONSERVAZIONE
RESTAURO
LA VENERIA REALE



assorestauro



Con il contributo di



Quanta System Q1
LASER IN CLIP DNA

Indice

Presentazione di Roberto Pini	9
Presentazione di Giorgio Bonsanti	11
Introduzione di Anna Brunetto, Giancarlo Lanterna, Barbara Mazzei	13
Restauro della facciata brunelleschiana e dei cortili degli uomini e delle donne dell'Istituto degli Innocenti di Firenze	
V. Tesi, S. Landi, F. Fratini, E. Cantisani	17
Il restauro dei portali di San Petronio a Bologna: una metodologia combinata tra gel rigidi e laser	
M.C. Improta, S. Landi, P.F. Lorenzi, A.K. Potthoff, F. Sorella	33
Il recupero della leggibilità di un'opera di Matheus Rocha in cemento armato e carta di giornale	
S. Stoisa, S. Vazquez, O. Chiantore, F. Comisso, A. Piccirillo, A. Mirabile, T. Poli, F. Zenucchini	47
L'intervento di pulitura laser su tre calchi in gesso della Collezione dell'Accademia di Brera	
S. Cerea, F. Mancini, V. Ruppen, E. Isella, D. Bonelli, A. Sansonetti	61
Patinaure artificiali su modelli di gesso, individuazione delle soglie di danneggiamento in seguito a pulitura laser	
V. Ruppen, F. Mancini, S. Cerea, E. Isella, D. Bonelli, A. Sansonetti	75
Il recupero tramite sinergie laser di antiche iscrizioni e disegni sulle superfici a stucco della Galleria dei Carracci	
L. Barucci, A. Brunetto, E. Cajano, G. Capriotti, M. Cardinali, T. Cavaleri, M. Demmelbauer, D. Luzi, C. Giovannone, D. Milani, E.O. Caligaris, P. Pastorello, E. Settini	91
Confronto di metodi di descialbo con diverse sorgenti laser	
F. Mancini, V. Ruppen, S. Cerea, E. Isella, D. Bonelli, A. Botteon, A. Sansonetti	111

Rimozione dei depositi di ossalati da una tempera a guazzo su gesso con metodologia laser	
M. Cossino, F. Zenucchini, T. Sandri , P. Croveri, D. Elia, D. Castelli	125
L'impiego della strumentazione laser Long Q-Switching nella pulitura degli affreschi di Antonio da Viterbo detto il Pastura nel Duomo di Tarquinia	
D. Rigaglia, V. Romè, L. Caporossi, A. Zanini, A. Brunetto, V. Di Tullio, L. Luvidi, E. Catelli, R. Mazzeo, G. Insolera	133
Dipinto murale ad olio di Tomaso Pasquotti danneggiato dall'incendio del 2009 dell'Asilo Rossi di Schio (VI), caratterizzazione dello stato di conservazione e valutazione delle potenzialità del trattamento laser	
I. Osticioli, A. Rampon, A. Brunetto, D. Ciofini, S. Siano	149
Monitoraggio mediante imaging nell'infrarosso termico del riscaldamento indotto da laser durante la pulitura di superfici di intonaci dipinti	
A. Felici, C. Riminesi, J. Striova, L. Bartoli, A. Zanini	161
Determinazione della soglia di fluensa di danno nella pulitura delle superfici policrome	
F. Di Stasio, U. Santamaria.	173
Il recupero delle pitture murali della cupola di San Costanzo a Ronciglione (VT); Una gloria di angeli ritrovata grazie al laser	
M.F. Falcon Martinez, C. Giuffrida, F. Scirpa, L. Caporossi, F. Di Napoli Rampolla.	195
Laser cleaning on the Mut Temple wall paintings Gebel Barkal (Sudan)	
A. Brunetto, A. Giovagnoli, M.C. Laurenti, M.J. Mano, A. Zanini	203
Recupero di un dipinto murale del XV secolo nella chiesa di San Giovanni a Saluzzo, Cuneo	
V. Moratti, R. Bianchi, F. Brigadeci, F. Zenucchini	231
Sinergie laser e emulsioni per il recupero di policromie di tre dipinti di H. Bosch delle Gallerie dell'Accademia di Venezia	
A. Brunetto, G. Bono, E. Fiorin, M.C. Maida	247
Tattamento di patina ad ossalato di calcio in un dipinto su tavola con metodi chimici e laser: tecniche di analisi per il controllo e la valutazione dei risultati ottenuti	
G. Tranquilli, F. Fumelli, F. Aramini, G.F. Priori, F. Talarico, P. Moretti, L. Cartechini, C. Miliani	267

Er:YAG laser: testing and evaluation of laser cleaning on a varnished 20th century oil painting	
C. Chillè, V. Papadakis, C. Theodorakopoulos	283
Pulitura laser del blu egizio su superfici archeologiche	
B. Ferrarato, F. Zenucchini, G. Ferraris di Celle, A. Piccirillo, M. Gulmini	299
La pulitura laser della cassetta porta-ushabti (Cat.2441) del Museo Egizio di Torino	
S. Mansi, F. Zenucchini, P. Croveri, F. Spagnoli	313
L'impiego del laser nel Laboratorio di restauro Bronzi e Armi antiche dell'Opificio delle Pietre Dure: il proseguo dell'esperienza operativa sulla pulitura delle Porte realizzate per il Battistero fiorentino	
S. Agnoletti, A. Brini, M.D. Mazzoni	325
Laser cleaning of Japanese bronze mirrors from the Luigi Pigorini National Museum of Prehistory and Ethnography	
Y. Shen, V. Basilissi, L. Paderni	339
La testa in bronzo dorato dell'imperatore Antonino Pio: problematiche conservative e pulitura laser	
E. Pucci, S. Sarri, J. Agresti, S. Siano	355
Application of laser technology in cleaning metal threads of ancient liturgical vestment, after the experience gained over a period of twenty years (1997-2017)	
A. Milia, L. Nucci, M. Bruno	365
Laser cleaning of metallic threads of a 15th century Italian velvet liturgical vestment	
L. Luvidi, S. Ovide, A. Brunetto, F. Prestileo, D. Ferro	379
Monitoraggio delle applicazioni laser nel restauro di <i>sectilia</i> in pasta vitrea dagli scavi della villa tardoantica di Aiano-Torraccia di Chiusi (SI)	
M. Cavalieri, S. Landi, D. Manna, M. Giamello, C. Fornacelli	395
Pulitura laser integrata a metodologie tradizionali per la rimozione degli strati di alterazione su reperti archeologici rinvenuti nella Necropoli della Via Triumphalis in Vaticano	
R. Giardina, G. Spinola, U. Santamaria, F. Callori, F. Morresi	409

Il biscuit di Urania del Museo Napoleonico la pulitura combinata agar-agar e laser	
M.G. Patrizi, S. Ridolfi, S. Crescenzi	421
Laser treatment of contaminations on paper: a preliminary study	
V. Atanassova, I. Kostadinov, G. Yankov, P. Zahariev, M. Grozeva	433
L'uso di laser QS Nd:YAG nella conservazione di manufatti etnografici realizzati con fibre di palma dum	
D. Ciofini, A. Bedeir, I. Osticioli, A. Elnaggar, S. Siano	447
T Trattamenti di 'luce' su un <i>Achrome</i> di Piero Manzoni	
V. Milo, A. Brunetto, F. Frezzato	459
Prospettive di uso del laser su opere in legno e tessuto dipinto: il crocifisso ligneo della Santissima Annunziata a Firenze	
F. Spagnoli, G. Bonsanti, A. Brunetto, P. Hatchfield, F. Innocenti, C. G. Lalli, G. Lanterna.	473
Combinazioni di laser e solvent-gel sulle formelle policrome ad olio su lamina metallica dei Misteri del Rosario di Chiusanico	
R. Moggia, A. Brunetto, E. Franceschi, E. Manfredi, P. Manfrinetti, G. Petrillo, A. Sista	487
Metodologia laser applicata ad un'opera di ebanisteria di Pietro Piffetti	
F. Zenucchini, M. Cardinali, P. Croveri, P. Luciani, S. De Blasi, G. Dell'Aquila, V. Palleschi	505
Impiego della strumentazione laser nell'ambito dei corsi di restauro triennali di Materiali lapidei e mosaici dell'Istituto per l'Arte e il Restauro di Palazzo Spinelli	
L. Raspanti, D. Manna, S. Landi, A. Guevara Jaramillo, C. Puccetti.	517
Impiego della strumentazione laser nell'ambito dei corsi quinquennali di restauro a ciclo unico dell'Accademia di Belle Arti dell'Aquila	
S. Landi, E. Sonnino, S. Pietrosante, M. Serraiocco	531
Applicazione di laser cleaning nell'ambito del progetto Cobra	
V. Spizzichino, F. Bonfigli, L. Caneve, R. D'Amato, A. Puiu	543
Laser Cleaning applied to metal, wood and plaster objects	
M.M. Morita, G.M. Bilmes	553

Presentazione

Il convegno APLAR, tenutosi a Firenze nel settembre 2017, è stato anche l'occasione di celebrare degnamente gli ultimi 20 anni, che in questa città hanno visto nascere e svilupparsi una collaborazione intensa, fruttuosa ed appassionante fra i centri di ricerca, i centri di restauro, le aziende di restauro e quelle di tecnologia laser del territorio, finalizzata alla sperimentazione delle nuove tecnologie laser per lo studio e la conservazione di opere d'arte. Firenze non è certamente il primo o l'unico luogo dove questi studi sono stati condotti fino all'applicazione su capolavori di inestimabile valore, ma desidero sottolineare, sulla base della mia esperienza personale, che la multidisciplinarietà dei gruppi di lavoro ha rappresentato uno dei fattori principali che hanno portato alla messa a punto di procedure risolutive in problemi di conservazione anche estremamente complessi.

Venendo al presente, il convegno APLAR testimonia assai bene il livello di maturità attualmente raggiunto nelle applicazioni delle tecniche laser alla conservazione. Sono molti gli aspetti che sottolineano gli avanzamenti dei metodi e delle conoscenze, e che tendono alla standardizzazione degli approcci, su cui la maggior parte degli operatori della conservazione hanno sviluppato una visione comune. A partire dagli studi modellistici su campioni rappresentativi, necessari per investigare il tipo di interazione laser su materiali non ancora testati o in condizioni di impiego particolarmente complesse, fino agli studi preliminari su porzioni limitate dell'opera d'arte, indispensabili per la discriminazione delle soglie di danneggiamento e quindi per la definizione di parametri operativi dell'intervento laser. Anche dal punto di vista della scelta delle apparecchiature laser da impiegare si sta procedendo verso criteri di standardizzazione: si registra sempre meno la tendenza tipica dei primi studi pionieristici, in cui si impiegava il primo (e spesso l'unico) laser a disposizione, insieme alla voglia di promuoverlo su tutti i tipi di materiali. Anzi, dalle comunicazioni risulta una visione ricorrente, e quindi condivisa, che per certi materiali si utilizzino certi tipi di laser e con determinate modalità di emissione. Da moltissimi studi emerge chiaramente che, insieme alla scelta della lunghezza d'onda della luce laser che determina il maggiore o minore assorbimento ottico in funzione del materiale trattato, anche la durata dell'impulso viene considerata un parametro cruciale per controllare il tipo di interazione laser-materiale e gli effetti conseguenti. È diventato patrimonio di esperienza comune che gli impulsi laser "lunghi", cioè nel regime del millisecondi, sviluppino un'azione primariamente di tipo termico, mentre impulsi più brevi, dai microsecondi ai nanosecondi, siano in grado di ridurre il danno termico e produrre un'azione meccanica, che va comunque controllata per indurre effetti positivi, come ablazione puntuale o spallazione di incrostazioni superficiali, o per evitare effetti negativi, come danni di tipo fotomeccanico che possono causare la microframmentazione delle superfici. È inoltre molto significativo (particolarmente per chi come me è da molti anni docente di interazione laser-materiali) che la maggior parte degli studi riportino il "range" operativo di emissione laser in termini di energia per unità di superficie (J/cm^2), che è uno dei principali parametri per il confronto fra le diverse condizioni applicative e per trasmettere l'informazione ad altri operatori che vorranno applicare quelle tecniche in condizioni simili. Identità di visione si riscontra anche sul fatto che la pulitura sia quasi sempre la combinazione di più tecniche. In molti casi infatti è opportuno far precedere trattamenti preliminari con tecniche di tipo meccanico e/o chimico, in modo da rimuovere efficientemente

e con minor consumo di tempo le incrostazioni più spesse, e quindi operare in modo fine e controllato sulle superfici originali dell'opera con tecnica laser. Oltre alle applicazioni laser combinate con le altre tecniche di pulitura, nelle comunicazioni del convegno si riportano interessanti studi in cui il laser si associa all'impiego di sostanze e materiali (agar, alcol, vetri, ecc.) frapposti fra la sorgente e la superficie da trattare, con lo scopo di mediare l'assorbimento della luce o proteggere da effetti collaterali indesiderati, come la ricaduta di particolato vaporizzato o l'eccessivo surriscaldamento locale. In alcuni casi il laser è impiegato da solo come scelta elettiva per risolvere condizioni di conservazione particolarmente critiche del manufatto artistico: materiali fragili, superfici complesse o microfratturate, distacchi di pellicole pittoriche, materiali che non tollerano umidità (nel qual caso si utilizza il cosiddetto "dry clean"). Per quanto riguarda i materiali oggetto di pulitura laser, senza voler entrare nel dettaglio dal momento che il programma del convegno segue già questa classificazione, è possibile osservare che vi siano procedure ormai consolidate, in termini di scelta del laser e delle condizioni di trattamento, nei casi di materiali lapidei, stucchi, dipinti murali, vernici pittoriche, filati metallici e dorature, mentre per altri materiali il quadro applicativo è ancora oggetto di approfondimento e sperimentazione. A questo riguardo, di particolare interesse è l'approccio al restauro di opere moderne, caratterizzate da grande varietà nella composizione materica, per le quali la domanda di tecniche di pulitura laser potrebbe registrare una crescita notevole nei prossimi anni.

Il laser comunque non rappresenta solo uno strumento utile per la pulitura: la luce coerente può essere infatti impiegata come sonda per l'analisi dei materiali (tramite ad esempio spettroscopia LIBS o Raman) o per la scansione delle superfici di oggetti, allo scopo di fornirne la ricostruzione digitale 3D per applicazioni documentali, come testimoniato da alcuni lavori presentati al convegno.

Infine, vorrei concludere guardando al futuro con un libero esercizio di fantasia per immaginare cosa aspettarci dalle nuove tecnologie che potrebbero essere sviluppate, proprio partendo dagli impieghi della luce laser come strumento intelligente e portatore di una grande quantità di informazioni. Potremmo immaginare scenari futuri nel restauro laser, in analogia agli sviluppi che si vanno delineando in altri campi applicativi di impiego del laser, come quello medico e quello delle produzioni industriali, in cui la gran quantità di dati informativi (Big Data) che la luce genera durante le interazioni con i materiali viene raccolta con sensori o tecniche di diagnostica per immagini ed elaborata con metodi di intelligenza artificiale per aumentare il controllo, l'efficienza e la sicurezza dei trattamenti. Ad esempio, in campo chirurgico si sviluppano già metodi di "teranostica", cioè di diagnostica eseguita in contemporanea alla terapia, che permettono di indirizzare l'azione del chirurgo nelle situazioni più complesse. Non si tratterà quindi di sfruttare la gran mole di dati analitici prodotti in tempo reale allo scopo di andare verso l'automazione dei processi, ricadendo nell'errore prospettico che fecero alcuni tecnologi ai primordi dell'impiego del laser nel restauro, quanto piuttosto per fornire al restauratore nuovi strumenti che accrescano il suo livello di conoscenza, di controllo e di adattabilità delle procedure alla grande variabilità delle morfologie, della composizione materica e dello stato di degrado dei manufatti da sottoporre al trattamento conservativo.

Roberto Pini
Direttore Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara"
Consiglio Nazionale delle Ricerche

Presentazione

Mi è avvenuto recentemente di ritornare sulle vicende del restauro della leggenda della Vera Croce dipinta da Piero della Francesca sulle pareti absidali di san Francesco in Arezzo, eseguito dall'Opificio insieme con la Soprintendenza locale negli anni Novanta dello scorso secolo; e di domandarmi, e di domandare a due persone della statura professionale del chimico Mauro Matteini e del restauratore Sabino Giovannoni, quali differenze tecniche o metodologiche avremmo potuto introdurre nei nostri lavori se quel restauro venisse effettuato al giorno d'oggi. Fra le altre, ci siamo chiesti, naturalmente, se un impiego delle tecnologie laser avrebbe potuto dimostrarsi utile in un caso così difficile per mille ragioni (che non elenco qui) come il ciclo pierfrancescano; e indipendentemente dalla risposta che ciascuno avrà ritenuto di proporre, quel che conta è che avremmo oggi più e meglio saputo che il laser era lì, per così dire accanto a noi, pronto a offrire il suo utilizzo; avremmo dato per scontate la sua presenza e la sua assistenza. Ciò che intendo dire è che esiste ormai una consapevolezza assolutamente diffusa dell'esistenza del laser come strumento presente e attivo nella conservazione dei beni culturali; naturalmente confermato tale a seguito delle tante, sempre più numerose esperienze già maturate, delle quali *Aplar*; nelle sue successive edizioni, si è fatta così efficacemente testimone e divulgatrice. Diamo oggi per conosciuto che non esista un solo laser nel restauro, cioè un'unica macchina tuttofare, ma che la ricerca fisica tradotta nel mercato offra oggi un range esteso di strumentazioni che funzionano secondo le declinazioni diverse di uno stesso principio, ognuna delle quali può risultare risolutiva in quella particolare situazione. Una delle applicazioni più decisive ai fini di un risultato ottimale, è la scopertura di decorazioni murali sotto una scialbatura, e qui davvero i risultati ottenuti da Anna Brunetto ad Aosta, a Venezia, a Siena, e di lì in poi dagli altri autori come illustrato anche in questi *Atti*, inducono a rimpiangere amaramente quanto si è perso ad esempio, nel recupero dallo scialbo dei dipinti murali di Giotto in Santa Croce a Firenze, effettuato a metà Ottocento, quando le pareti delle Cappelle Peruzzi e Bardi sono state maltrattate a tale scopo con arnesi metallici (raschietti di varia conformazione) o al meglio con sostanze adesive adatte a una successiva azione di strappo; come del resto si è operato fino a tempi recentissimi. Ancora: un altro aspetto che riguarda le funzioni applicative del laser consiste nel raggiunto discernimento che esso non risulta una cura miracolosa per situazioni disperate, quanto uno strumento di grande utilità per collaborare con altre modalità d'intervento, risultando effettivamente insostituibile in determinate circostanze, ma in linea di principio difficilmente pensabile come unico e isolato in assenza di sinergie attuate. Un esempio fra i tanti illustrati in questi *Atti*, avendolo io seguito con assiduità particolare, concerne il bellissimo Crocifisso ligneo riferibile a Antonio da Sangallo (databile dunque ad un tempo indeterminato ma entro i primi due decenni del Cinquecento) restaurato da Francesca Spagnoli in quanto progetto vincitore della seconda edizione del premio dei Friends of Florence al Salone di restauro di Firenze. Mi riferisco in particolare alle alternanze nella liberazione da sostanze non volute sia delle epidermidi dipinte sotto la bronzatura ottocentesca, sia del pannello originale con decorazioni dipinte che ne copriva i fianchi. Il laser dunque è stato smitizzato, pur rimanendo un "intelligent tool", come lo si definiva ai primi momenti nella ripresa delle sue applicazioni nel restauro, nei primi anni Novanta del secolo passato. Ecco allora l'importante contributo sulla "Determinazione della soglia di fluenza di danno nella pulitura delle superfici policrome",

utile per offrire indicazioni di riferimento a tutta una serie di ricerche, perché l'intervento sulle policromie adesso non è più un tabù, anche se continuo ad esser convinto che sia stato altamente opportuno arrivarci lentamente e per gradi. Vedremo dunque i contributi sulla pulitura dei delicatissimi manufatti di arte contemporanea fra cui l'Achrome di Piero Manzoni, oppure dei fili metallici (e ricordo anche lo straordinario risultato ottenuto sul rarissimo Manto brasiliano di piume della Pinacoteca Ambrosiana di Milano, esposto alla mostra *Restituzioni* 2018 tenuta a Venaria Reale dopo il restauro realizzato da Guia Rossignoli). Leggeremo di altri risultati, dopo quelli già pubblicati in diverse occasioni, raggiunti nella rimozione di concrezioni calcaree come anche di patine ossalatiche; ma soprattutto, almeno per me, anche perché ho voluto eseguire un controllo personale prima possibile data l'eccezionalità dell'evento, nella pulitura dei tre polittici veneziani di Hyeronimus Bosch, a dimostrazione dell'impiego del laser ormai anche nel caso di policromie di estrema delicatezza (e naturalmente, anche qui, in combinazione virtuosa con altri mezzi). È così che leggeremo con interesse i contributi che qui raccontano degli insegnamenti attivati nelle strutture di laurea magistrale accreditate, allo scopo di familiarizzare gli allievi con il laser fin dai primi tempi della loro formazione professionale. Potremmo dunque parlare in conclusione, se soltanto si coglie il lato paradossale dell'affermazione, dell'essere divenuto oggi il laser non più strumento d'avanguardia e di eccezione, ma di vera normalità nella redazione dei progetti d'intervento e nelle applicazioni di restauro. Ciò non significa che ormai conosciamo tutto, e che non ci sia ancora davanti a noi una prosecuzione della ricerca scientifica e delle sperimentazioni; ma soltanto che ci appare oggi quasi impensabile raffigurarsi un passato nel quale ancora per noi il laser nel restauro non esisteva proprio, oppure era soltanto un'ipotesi molto lontana, o al più una difficile sperimentazione. È così che fortunatamente da parecchi anni *Aplar* chiama a raccolta e riunisce la comunità nazionale (e non soltanto) degli operatori di restauro a mezzo laser; che ci informa, ci indirizza. Come è bello sapere che questo strumento esiste e è pronto a soccorrerci, così ci affidiamo alla nostra Associazione convinti, come si dice comunemente di qualcosa di molto utile, che "Se non ci fosse, bisognerebbe inventarla". Nel nostro caso, fortunatamente ci ha pensato e ha provveduto Anna Brunetto.

Giorgio Bonsanti

Presidente della Commissione InterMinisteriale
MIBAC-MIUR per l'Insegnamento del Restauro

Introduzione

La sesta edizione del convegno APLAR si è svolta a Firenze presso l'Auditorium di Sant'Apollonia, in via S. Gallo, con il patrocinio della Regione Toscana. Il convegno, sulla scia delle precedenti edizioni (Vicenza 2007, Siena 2008, Bari 2010, Roma 2012 e Città del Vaticano 2014) ha confermato di essere un'importante occasione di incontro, sia a livello nazionale che internazionale, per la condivisione e la discussione di esperienze sulle applicazioni della tecnica laser nel restauro. Come ci è sempre piaciuto constatare, gli appuntamenti APLAR coinvolgono una nutrita platea di restauratori, segno evidente, da una parte, dell'interesse che la tecnologia laser suscita negli operatori della conservazione, mentre, da un altro punto di osservazione, si può confermare quanto sia viva e vivace l'attività concreta e "di cantiere" vista attraverso i casi oggetto di relazione.

In questa edizione il tema del convegno, così come esplicitato nel sottotitolo, era "*i laser in combinazione con...*", un corollario sottile, volto proprio a stimolare la presentazione di interventi coinvolgenti la tecnologia laser non tanto come una "novità", ma attraverso l'individuazione di una più matura progettualità integrata. In parole semplici APLAR 6 ha avuto l'ambizione di fare il punto sulle potenzialità di uso combinato della tecnologia laser con altre tecniche conservative, tradizionali o innovative, con il fine di raggiungere un risultato più vicino alle esigenze ed all'etica della conservazione. Possiamo dire con soddisfazione che l'intento del convegno è riuscito, in quanto sono state davvero numerose le relazioni che hanno illustrato l'integrazione dei laser in un processo più ampio di tecniche considerate "tradizionali", finanche all'utilizzo delle apparecchiature da parte dai restauratori come un vero e proprio "arnese", sia che fosse per "sgrossare" certe patine, sia per "rifinire" altri trattamenti, presentando in taluni casi interessanti protocolli.

Giova ricordare che nelle prime edizioni si assaporava l'uso del laser come la risoluzione definitiva delle problematiche conservative, sicuramente alimentata dall'entusiasmo per i casi risolti in cui appariva evidente come molti aspettassero una "rivoluzione" sulle metodologie di restauro, specialmente rivolta alla pulitura, magari proprio di quei casi particolarmente ostinati o dove fossero in gioco grandi superfici. Poi, in un naturale processo di maturazione, ci siamo imbattuti in casi particolari, in difficoltà organizzative (movimentazione in cantiere, sicurezza, costi degli investimenti o dei noli), che sono stati via via metabolizzati e integrati nei protocolli e nei capitoli. Infine l'inarrestabile propulsione dei centri di ricerca e di produzione dei laser che ha ampliato le possibilità applicative, la specificità dei macchinari, la loro produzione e diffusione.

È proprio questo uno degli aspetti più interessanti e innovativi che è scaturito dalla sesta edizione di APLAR. Confrontando il tenore delle decine di contributi che negli anni sono stati raccolti negli Atti del Convegno, si può osservare una progressiva presa di coscienza delle potenzialità espresse della strumentazione laser. Dopo un attento e cauto iniziale inserimento del laser in progetti eccezionali, sempre accompagnato da parallele sperimentazioni per valutarne efficacia e soglia di danno, il laser sembra finalmente entrato nella pratica di cantiere, affinando gli ambiti di intervento e aprendosi ad interazioni virtuose. Questi nuovi confini di impiego della strumentazione laser permetteranno di poterne prevedere l'uso, integrato con altre metodologie di intervento, sin dalla fase progettuale dell'intervento di restauro, ottenendo

numerosi vantaggi sia nella razionalizzazione dei protocolli operativi, sia nella logistica di cantiere e nella organizzazione delle tempistiche e, non ultimo, anche nella gestione dei fondi economici. Da quanto premesso, risulta evidente quanto sia ancora più necessario questo appuntamento biennale che ci permette di coagulare esperienze e di fare il punto dello status del laser nel restauro.

In APLAR 6 gli interventi sono stati particolarmente articolati comprendendo applicazioni nel campo dell'architettura (2), dei dipinti murali (5) e dei dipinti mobili (5), dei manufatti cartacei (1) e tessili (3), degli stucchi (2) e dei gessi (1), della scultura lignea (2) e bronzi e oreficeria (3) per finire (e non sembri un'antitesi) nel campo dei reperti archeologici (4) e dell'arte contemporanea (4); sono state presentate anche un repertorio di esperienze di usi dei laser in Istituti dove vengono formati restauratori e tecnici (2); infine sono stati presentati anche 2 lavori con preziose informazioni riguardo al monitoraggio degli effetti dei laser.

Si è confermata efficace ed attraente la scelta di presentare i Poster in 3 minuti con poche ma significative immagini: in tal modo si è lasciato lo stesso spazio a tutti i presentatori fomentando l'interesse della platea, che ha potuto poi approfondire personalmente con i relatori durante le pause.

I temi affrontati durante la Tavola Rotonda hanno dibattuto intorno all'attuale diffusione della pulitura laser nei Paesi Europei ed Extraeuropei, specificando le applicazioni sui diversi materiali, sul livello di conoscenza della pulitura laser negli Organismi Nazionali incaricati della Tutela del Patrimonio Culturale e sulla organizzazione del mercato nelle diverse realtà Nazionali; si è discusso inoltre della diffusione dei corsi di specializzazione ed, in generale, sull'organizzazione dell'apprendistato; infine, si è tentato di fare il punto sulla presenza di aziende nazionali di produzione di apparecchiature laser e di applicazioni di pulitura laser condizionate dai problemi locali nel reperimento di strumentazioni idonee.

È stato molto apprezzato il servizio di traduzione simultanea, preciso e competente in materia, che è intervenuto biunivocamente, traducendo gli interventi esteri in lingua italiana e dall'italiano in inglese.

Importanti anche, data la locazione cittadina e l'ampia scelta, le visite organizzate dal Convegno, che hanno visto una numerosa partecipazione: sono stati visitati i Laboratori di Restauro dell'Opificio delle Pietre Dure, Settore Lapidari e Metalli nella sede di via degli Alfani e quelli di Restauro dei Settori Dipinti Mobili, Dipinti Murali, Scultura Lignea ed i Laboratori Scientifici alla Fortezza da Basso; una visita guidata è stata organizzata al nuovo Museo dell'Opera del Duomo, dove si trovano molte opere restaurate anche coi Laser; è stato guidato un tour nelle vie del centro di Firenze andando ad incontrare, in un percorso ideale a cielo aperto, numerose opere di varie tipologie, dai marmi, ai bronzi, agli stucchi, alle ceramiche, restaurate negli anni con il concorso della tecnologia laser; una visita è stata effettuata presso il centro di produzione di El.En. Spa a Calenzano.

Infine, non può non essere rivolto un ringraziamento per il patrocinio di numerosi Enti di tutela, Istituti di ricerca e conservazione, e al contributo di Imprese di restauro e di produzione di dispositivi laser, patrocinio che permette di sostenere e traghettare APLAR a nuovi, interessanti, futuri appuntamenti.

Anna Brunetto, Giancarlo Lanterna, Barbara Mazzei
Curatori Atti APLAR 6

aplar  **6**
i laser in combinazione con...

APPLICAZIONI LASER NEL RESTAURO

L'uso di laser QS Nd:YAG nella conservazione di manufatti etnografici realizzati con fibre di palma dum

DANIELE CIOFINI¹, AHMED BEDEIR², IACOPO OSTICIOLI¹,
ABDELRAZEK ELNAGGAR³, SALVATORE SIANO¹

Abstract

Before restoring ancient and valuable ethnographic objects many aspects should be taken into account, because lignocellulosic fibers-based materials undergo different and concomitant degrading reactions (oxidation, hydrolysis, depolymerization) over time. Basically, dry cleaning methods should be preferred, as they are potentially less invasive in the long term, especially for the easily hydrolysable components. Here, the fundamental and second harmonic of Q-Switch Nd:YAG laser, were comparatively investigated for dealing with the removal of soiling (soot, dirt, aluminum silicates, carbonaceous material) from a woven-fibers angarêb bed, which is preserved at Africa Hall of the National Geographic Society Museum (Cairo, Egypt). Besides fiber identification, laser induced-effects were assessed on angarêb fibers by means of stratigraphic examination, Vis-NIR fluorescence emission, Raman spectroscopy, ESEM-EDX analysis and optical microscopy observations.

Irradiation at 532 nm negatively affects color appearance and structural integrity of fibers. Bond-breaking/depolymerization followed by bleaching, due to the significant absorption of lignin/phenolic-carbohydrate and lignin-quinonoid complexes, occur at this wavelength.

The promising results achieved at 1064 nm, in term of chemical and structural integrity, highlight the possibility of using this wavelength for treating soiled and untreatable ethnographic material.

¹ Istituto di Fisica Applicata "N. Carrara", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sesto Fiorentino, Firenze, Italia, d.ciofini@ifac.cnr.it

² Conservation Department, Faculty of Archaeology, South Valley University, Qena, Luxor, Egypt

³ Conservation Department, Faculty of Archaeology, Fayoum University, Al-Fayoum, Egypt

1. Introduzione

I beni di interesse etnografico comprendono un'ampia varietà di oggetti, tra cui vestiario, accessori per l'abbigliamento, ornamenti, gioielli, armi, oggetti d'arredo, attrezzi da lavoro e molto altro. Da secoli, per la loro fabbricazione, sono principalmente utilizzati legnami vari, corteccia e foglie di piante erbacee appartenenti alla famiglia delle monocotiledoni. Quest'ultima comprende cereali, mais, riso, canna da zucchero, bambù, sisal (agave), cocco, canapa, papiri e palme. Spesso sono sfruttati anche resti di animali e materiali inorganici tra cui metalli, vetro e pigmenti. In relazione alla produzione di tessuti realizzati con fibre vegetali, sulla base dell'oggetto da realizzare, venivano selezionate specifiche parti della pianta, successivamente sottoposte a trattamenti di cottura, macerazione, essiccazione, battitura e pettinatura [1]. Con tecniche diverse venivano poi realizzati filati, cordaggi e tessuti intrecciati. Talvolta, venivano prodotti oggetti anche senza pre-trattamento delle materie prime. Tuttavia, tali manufatti, che per loro natura lignocellulosica presentano un'elevata suscettibilità al degrado, subiscono nel corso del tempo processi d'invecchiamento, che comportano inevitabilmente ed in maniera irreversibile la perdita dell'integrità strutturale delle fibre. Come noto, i processi di idrolisi acida, solitamente accelerati da microrganismi, sali metallici ed umidità producono cambiamenti irreversibili alle componenti principali, tra cui cellulosa ed emicellulosa e in secondo luogo lignina, che seppur in minor quantità in tessuti non-legnosi, conferisce resistenza meccanica alle fibre [2]. Dunque, materiali così degradati risultano essere molto sensibili a trattamenti per via umida (lavaggi a pH alcalino, uso di agenti ossidanti o riducenti, agenti chelanti, enzimi ecc.) ed è pertanto preferibile l'utilizzo di tecniche di pulitura meccaniche (bisturi, micro-aspiratori, spatole, ablazione laser) che nel lungo termine garantiscono una maggiore stabilità delle componenti più facilmente idrolizzabili. In questo scenario, la conservazione e il restauro del patrimonio etnografico rappresenta un compito molto difficile ma al tempo stesso di notevole interesse, sia da un punto di vista storico-artistico che etno-antropologico, in quanto la conoscenza delle tecniche di manifattura e dei materiali costitutivi forniscono informazioni di primaria importanza per la comprensione delle culture del passato. L'applicazione della tecnologia laser appare fortemente motivata nella conservazione di manufatti etnografici, in particolare grazie ad una serie di vantaggi. Per menzionarne alcuni, elevata selettività di rimozione nei confronti di contaminanti e depositi superficiali, assenza di bagnatura dell'oggetto, ridotte sollecitazioni meccaniche, possibilità d'intervenire su superfici tridimensionali, quali ad esempio la fitta trama di un tessuto, nonché controllo e precisione del trattamento. Nonostante ciò, l'utilizzo del laser nella conservazione di manufatti etnografici risulta ad oggi enormemente limitato rispetto al livello di diffusione e applicabilità raggiunto in altri settori di restauro, come quello lapideo, metallico e dei dipinti murali [3]. D'altra parte, l'elevata complessità micro- e macro-strutturale dei tessuti (o non tessuti) realizzati con fibre naturali, sia esse di origine vegetale (lino, cotone, canapa, juta) che animale (lana e seta) e i loro processi d'invecchiamento hanno reso ancor più difficile lo studio e la comprensione dell'interazione laser-materiale. Per ragioni simili, in particolare a causa della foto-sensibilità di alcuni pigmenti, la sperimentazione e l'ottimizzazione dei parametri di

irraggiamento (lunghezza d'onda, durata dell'impulso, fluenza e frequenza di ripetizione) su materiali pittorici (pigmenti, vernici e leganti) e dipinti modello su tela e tavola procede da oltre 30 anni ed è riconducibile a poche applicazioni di successo [4]. In merito ai materiali di natura cellulosica, la gran parte degli studi ha interessato il trattamento laser di supporti cartacei, soprattutto per far fronte alla rimozione di muffe, funghi, foxing, depositi di polvere, inchiostro, adesivi e quant'altro. In una prima fase, dato il controllo sub-micrometrico, sono state testate un'ampia varietà di sorgenti laser con emissione nell'ultravioletto. Tuttavia, si è raggiunta la conclusione che lunghezze d'onda nel visibile, in particolare la seconda armonica (532 nm) del laser Nd:YAG, sono il compromesso ideale per evitare ossidazione, depolimerizzazione ed eccessivo ingiallimento delle fibre di cellulosa. Al contrario, nonostante l'elevata riflettività della carta nel vicino infrarosso, le ricerche condotte hanno evidenziato che la 1064 nm può favorire la disidratazione delle fibre e aumentare di conseguenza il rischio d'ingiallimento [5]. Nello specifico, da una ricerca eseguita su provini di cellulosa pura infestati da muffe di *Aspergillus Fumigatus*, è stato evidenziato che rispetto alla 1064 nm, il trattamento a 532 nm è risultato non invasivo sia nel breve che nel lungo termine [6]. Di recente, la 532 nm è stata applicata con successo anche per la rimozione selettiva di depositi di particolato carbonioso presenti su una coperta Navajo del 1840-1850, realizzata dai nativi d'America con lana di notevole pregio [7].

Nel caso di manufatti lignei l'utilizzo della 532 nm non si è rivelato appropriato, poiché a partire da fluenze di 0.3-0.5 J/cm² possono verificarsi cambiamenti cromatici e morfologici. Considerato il ridotto assorbimento intorno a 1000 nm (circa 10-20%), è stato dimostrato che per diverse specie legnose (pino, faggio e quercia), il trattamento a 1064 nm è preferibile ed efficace nei confronti di polvere, protettivi degradati e ridipinture [8-9]. Alla luce del presente stato dell'arte, in questo lavoro, la seconda armonica (532 nm) e la fondamentale (1064 nm) del laser Q-Switched Nd:YAG sono state selezionate per il trattamento di pulitura di fibre tessili di natura lignocellosica. Grazie alla collaborazione con il Conservation Department dell'Università del Fayoum (Egitto) e con il National Geographic Society Museum (Cairo, Egypt), è stato possibile mettere a confronto le due lunghezze d'onda su un manufatto tipico della cultura egiziana chiamato *angarêb* (Fig.1) [10].



Fig. 1. Visione d'insieme e particolare dell'angarêb (180cm x 80cm x 35cm).

2. *Angarêb*: tradizione, tecnica e stato di conservazione

L'*angarêb* è un letto tipico della tradizione sudanese risalente al periodo classico (1750-1550 a.C) dell'antica cultura Kerma¹ (Fig. 1).

È rigorosamente costituito da un telaio in legno montato su quattro gambe sul quale è tensionato un tessuto realizzato da un intreccio di fibre vegetali, solitamente raffia e foglie di palma. Inoltre, non presenta né testiera né pediera. Le dimensioni ridotte rispetto ai letti sudanesi, leggerezza e trasportabilità lo hanno reso storicamente un oggetto multifunzionale, che si contraddistingue per diversi aspetti anche rispetto ai letti della cultura europea. Oltre ad essere utilizzato in ogni attività della vita quotidiana, l'*angarêb* era sfruttato anche per rituali religiosi. Durante campagne di scavo archeologico condotte a Kerma lungo la riva est del Nilo agli inizi del 1900 è emerso che ogni persona veniva sepolta con un

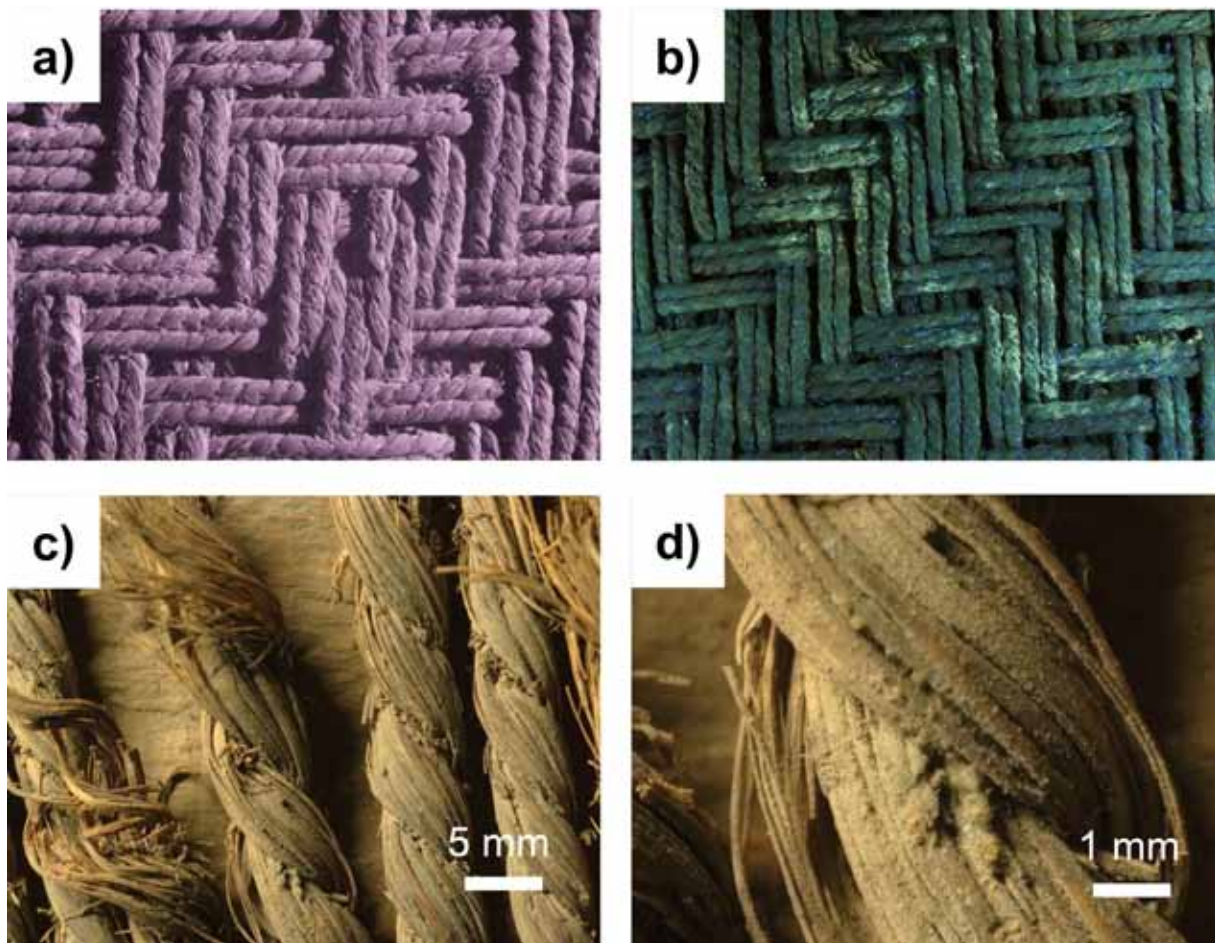


Fig. 2. Fotografia in luce radente a), fluorescenza ultravioletta b) e dettaglio delle fibre in luce visibile (c-d).

`angarêb, ad eccezione delle persone più povere o quelle sacrificate. Tale pratica si ritiene sia stata portata avanti sino alla fine del periodo Cristiano in Nubia, mentre come oggetto di uso quotidiano fino all'XI secolo a.C. Vista la mancanza di fonti dall'XI al XVI secolo non si hanno informazioni riguardo al suo impiego, né come oggetto di uso quotidiano né religioso. Solo dal XII secolo si hanno nuovamente notizie circa l'uso dell'*`angarêb*.

Da informazioni storiografiche risulta che il manufatto oggetto di studio (**Fig.1**), sito oggi all'Africa Hall del National Geographic Society Museum (Cairo, Egitto), sia molto probabilmente appartenuto al re Munza, che visitò il Cairo nel 1870. Sotto il suo reggimento, dal 1867 al 1873, la tribù dei Mangbetu, uno dei popoli più influenti e importanti del Congo nord-orientale, raggiunse la sua massima estensione [11]. Come da antica tradizione, l'oggetto è costituito da un telaio in legno ed un tessuto di fibre vegetali ad armatura diagonale costituito da un filato doppio di trama e ordito (**Fig.2a**).

Dalle immagini in luce radente, l'armatura dell'*`angarêb* risulta ben conservata ad esclusione di alcune zone soggette a carichi maggiori, dove le fibre risultano spezzate o maggiormente usurate (**Fig. 2c**). La documentazione fotografica con luce visibile ed ultravioletta ha permesso di evidenziare la presenza di polvere superficiale unitamente a zone disomogenee particolarmente fluorescenti, probabilmente macchie/residui organici di varia natura (**Fig. 2b**). La fabbricazione di ogni singola corda, stringa, (**Fig. 2c-d**) è stata realizzata attraverso l'impiego di due filati costituiti da mazzetti di fibre di dimensione variabili ripiegate su se stesse in configurazione S (senso antiorario).

Da un punto di vista conservativo, la sperimentazione ha interessato esclusivamente la messa a punto di un trattamento laser selettivo per la rimozione dei depositi superficiali presenti (**Fig. 2d**), che nel corso del tempo avevano formato una sottile incrostazione. La fase preliminare del lavoro è stata finalizzata alla caratterizzazione e all'identificazione delle fibre, insieme alla valutazione dello stato di conservazione utilizzando diversi metodi e tecniche analitiche.

3. Metodi e tecniche analitiche

Sezioni ultrasottili longitudinali e trasversali, micro-spectrofluorimetria, microscopia ottica in luce UV e Vis, ed osservazioni con microscopio ESEM-EDX sono state utilizzate per ottenere informazioni strutturali, a livello anatomico, e composizionali per l'identificazione delle fibre, la caratterizzazione dello stato di conservazione e la documentazione degli effetti indotti da radiazione laser.

I test di irraggiamento laser sono stati eseguiti utilizzando la lunghezza d'onda fondamentale (1064 nm) e la seconda armonica (532 nm) di un laser Q-Switch Nd:YAG con durata dell'impulso di 11 ns. Per omogeneizzare la distribuzione energetica ed evitare così possibili effetti di surriscaldamento locale, entrambi i laser sono stati accoppiati in fibra ottica [9]. La misura della fluenza di soglia (F_{th}) è stata eseguita ad entrambe le lunghezze d'onda laser sopra citate. F_{th} è stata qui definita come la fluenza più bassa alla quale si evi-

denziavano, attraverso osservazioni al microscopio ottico ed ESEM, variazioni morfologiche e/o ablazione del materiale di deposito presente sui campioni di *`angarêb* oggetto di studio. Sono state poi selezionate delle aree di $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ed irraggiate sistematicamente alla fluensa di soglia F_{th} . Per trovare un margine superiore di sicurezza e valutare la resistenza delle fibre, i campioni sono stati irraggiati anche ad una fluensa pari a due volte ($2F_{th}$) e quattro volte ($4F_{th}$) quella di soglia. Per tutti i test è stato utilizzato un diametro dello spot di circa 1.5 mm, e circa 20 impulsi per spot. Attraverso una minima sovrapposizione dello spot l'area selezionata è stata interamente irraggiata. Per rendere confrontabili le prove sono stati utilizzati due tempi di esposizione e ripetizione dell'impulso. In un caso 10 s e 2 Hz, nell'altro 2 s e 10 Hz.

4. Caratterizzazione ed identificazione delle fibre di *`angarêb*

Le analisi delle sezioni ultrasottili in luce trasmessa, le osservazioni al microscopio in fluorescenza UV e all'ESEM-EDX hanno fornito importanti informazioni sia per l'identificazione che per la documentazione dello stato di conservazione. In *figura 3a* è illustrata una microfotografia di una sezione trasversale ultrasottile relativa ad una fibra prelevata da un campione di *`angarêb*.

Da un punto di vista anatomico-strutturale è ben riconoscibile un frammento di foglia di palma, anche detta lamina. Il mesofillo, ovvero il tessuto interno (parenchima) della foglia solitamente contenente molti cloroplasti, non risulta ben differenziato in tessuto a palizzata e spugnoso. La lamina, formata da due strati sovrapposti di cellule dell'epidermide che formano un profilo ondulato, racchiude i tessuti fibrovascolari multicellulari e le cellule sclerenchimatiche lignificate a pareti spesse. Dalla disposizione del tessuto a palizzata organizzato perpendicolarmente all'asse longitudinale della foglia e quello intermedio, che si alterna coprendo circa $\frac{1}{2}$ dello spessore, è stato possibile fare prime ipotesi sull'impiego di palma dum. Sotto l'eccitazione ultravioletta, gli strati epidermici e i tessuti fibro-vascolari a palizzata hanno restituito un'intensa fluorescenza dovuta perlopiù a composti fenolici legati alle pareti cellulari, mentre i cloroplasti ovviamente non sono più fluorescenti. Una significativa presenza di composti aromatici derivanti dalla lignina è stata rilevata anche grazie alle analisi spettroscopiche Raman [12]. Parallellamente, il contributo determinante dell'assorbimento dei gruppi OH a $3000\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$ osservato dalle analisi FTIR ha rimarcato un'elevata acidificazione delle fibre. Si è inoltre verificato che, rispetto alla lignina, cellulosa ed emicellulosa erano le componenti più degradate.

Ulteriori indagini all'ESEM hanno consentito di identificare con maggiore precisione la specie di palma utilizzata. Da un confronto preliminare con fibre di cocco, canapa, iuta, sisal (agave) e paglia non sono state trovate corrispondenze morfologiche e soprattutto, la presenza di depositi non consentiva di ottenere informazioni più dettagliate sulla fibra antica. Grazie ai primi test di pulitura laser è stato possibile eseguire valutazioni più approfondite ed in particolare è stato possibile individuare, al di sotto dell'epidermide, particelle

di silice amorfa di dimensioni comprese tra 10 e 25 μm (Fig. 4).

I corpi di silice trovati, più propriamente definiti fitoliti, hanno una forte valenza tassonomica e anatomica, possono pertanto essere utilizzati per distinguere specie e generi di piante. In particolare, fitoliti sferici con spinule appuntite e arrotondate, apice piatto e distribuzione regolare in lunghezza sono attribuibili alla palma Dum (*Hyphaene thebaica*), una palma originaria dell'Africa sub-sahariana e dell'India occidentale. Questa specie insieme alla palma da dattero, al papiro e alla *Desmostachya bipinnata*, un'erba perenne molto diffusa in Africa, erano e sono ancora oggi sfruttate nella produzione di manufatti etnografici.

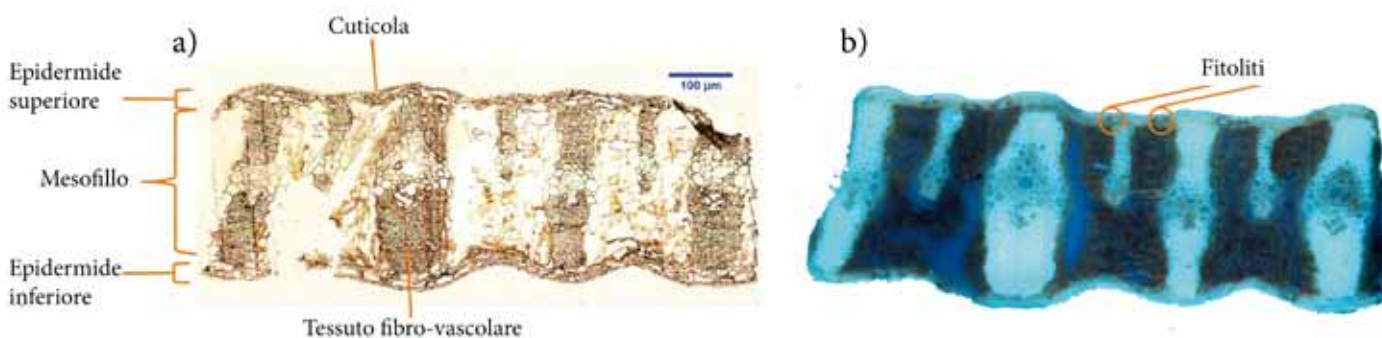


Fig. 3. Sezioni trasversali ultrasottili di una singola fibra di `angarèb. Microscopia in luce visibile a) e in fluorescenza UV-Vis b).

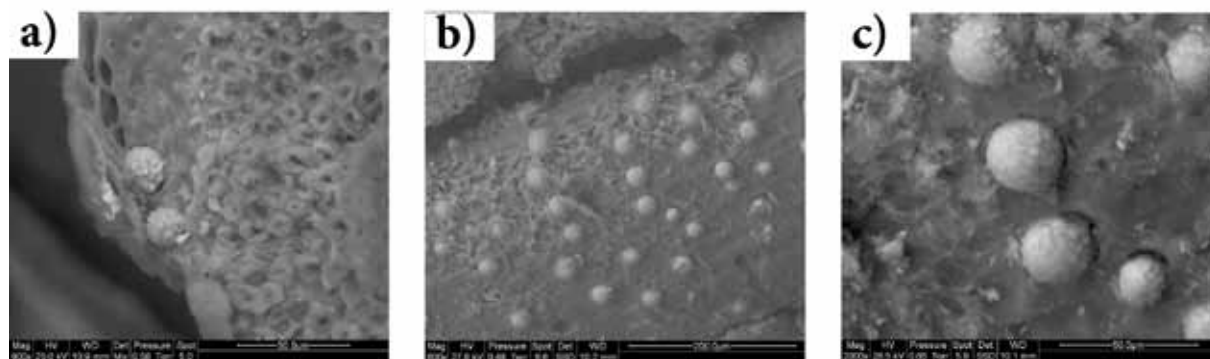


Fig. 4. Microfotografie ESEM relative ad una sezione trasversale a) e alla zona dell'epidermide superiore b-c).

5. Caratterizzazione chimico-fisica dei depositi superficiali

Da indagini visive e microscopiche preliminari è risultato che i frammenti di *`angarêb* analizzati erano seriamente deteriorati, fragili e sporchi (Fig. 5). Inoltre, non sono state rinvenute tracce di pigmenti riconducibili a decorazioni o colorazioni particolari né bio-deteriogeni o alterazioni strutturali (fori, caratura etc.) derivanti da attività biologica. Le analisi ESEM-EDX puntuali, oltre ad evidenziare la presenza di silicio dovuta ai fitoliti, hanno svelato la composizione elementare dell'incrostazione (vedi spettro EDX, Fig.5). Silicati, sodio, alluminio insieme a Fe, Cl, K, S, Mg, sono elementi tipici del suolo egiziano [13]. La natura dei depositi suggerisce, come da antica tradizione, che il manufatto è stato interrato per molto tempo.

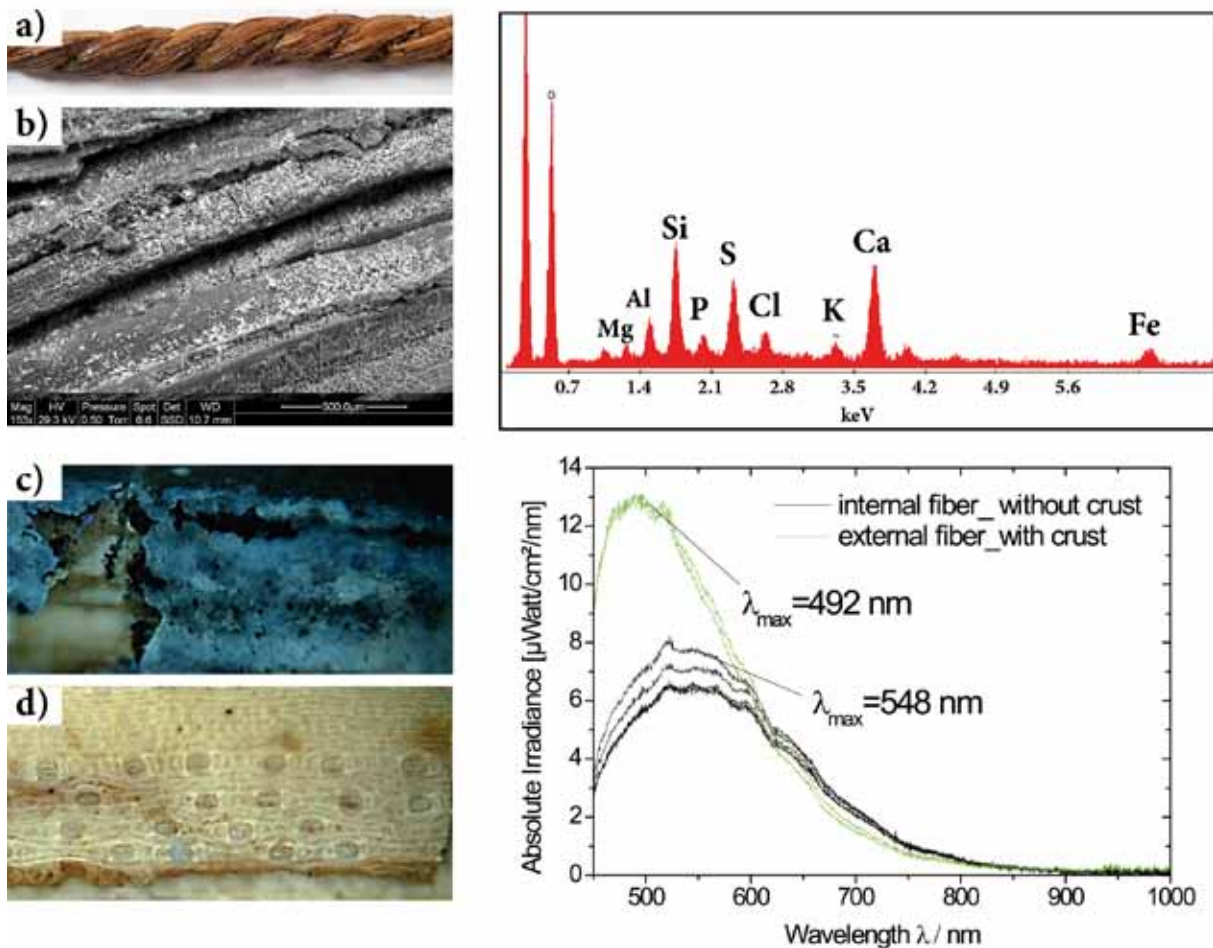


Fig. 5. Analisi microscopiche all'ESEM ed in fluorescenza UV-Vis di un filato di *`angarêb* con depositi terrosi superficiali. Macro in luce visibile a), dettaglio all'ESEM in elettroni retrodiffusi b) e relativo spettro EDX, microfotografie e microspettrofluorimetria dell'incrostazione (fibra esterna) c) e di una fibra prelevata all'interno del filato d).

La microspettrofluorimetria UV-Vis ha fornito ulteriori informazioni riguardo alla natura dei depositi. In particolare, le immagini c) e d) di figura 5 e il relativo spettro di fluorescenza hanno messo in evidenza che alcune zone, non eccessivamente sporche, presentavano un massimo di fluorescenza intorno a 550 nm. Al contrario, la fluorescenza delle fibre più interne (Fig. 5d), quindi non incrostate, risultava spostata verso il blu a circa 490 nm. Questo dato conferma quanto affermato inizialmente dalle macrofotografie in luce UV (Fig. 2b), ovvero che le zone maggiormente fluorescenti potrebbero indicare la presenza di componenti organiche di natura esogena.

6. Test di irraggiamento laser: 532 vs 1064 nm

I test laser su frammenti di corda di *angarêb* sono stati eseguiti irraggiando aree di $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$. Sebbene i valori di F_{th} erano leggermente dipendenti dalla morfologia della zona irraggiata e dello strato di incrostazione, sulla base di osservazioni al microscopio ottico ed ESEM, è stato valutato che la F_{th} necessaria per la rimozione completa era di circa 200 mJ/cm^2 per la 532 nm e 600 mJ/cm^2 per la 1064 nm. Con l'obiettivo di definire correttamente intervalli sicuri di fluensa operativa, i test di rimozione sono stati effettuati sistematicamente alle seguenti fluense: F_{th} , $2F_{th}$ e $4F_{th}$. Le immagini delle aree relative alle prove di rimozione laser sono mostrate in *figura 6*.

Sebbene la condizione fisica delle fibre al di sotto della crosta fosse precedentemente sconosciuta, dalla semplice osservazione delle macrofotografie in luce visibile è chiaramente apprezzabile che all'aumentare della fluensa, la lunghezza d'onda di 532 nm risulta più aggressiva rispetto alla 1064 nm. Tuttavia, a 532 nm, alla F_{th} e 2-10 Hz non si sono riscontrati effetti indesiderati, mentre a $2F_{th}$, come anche a $4F_{th}$, sia a 2 che a 10 Hz, sono

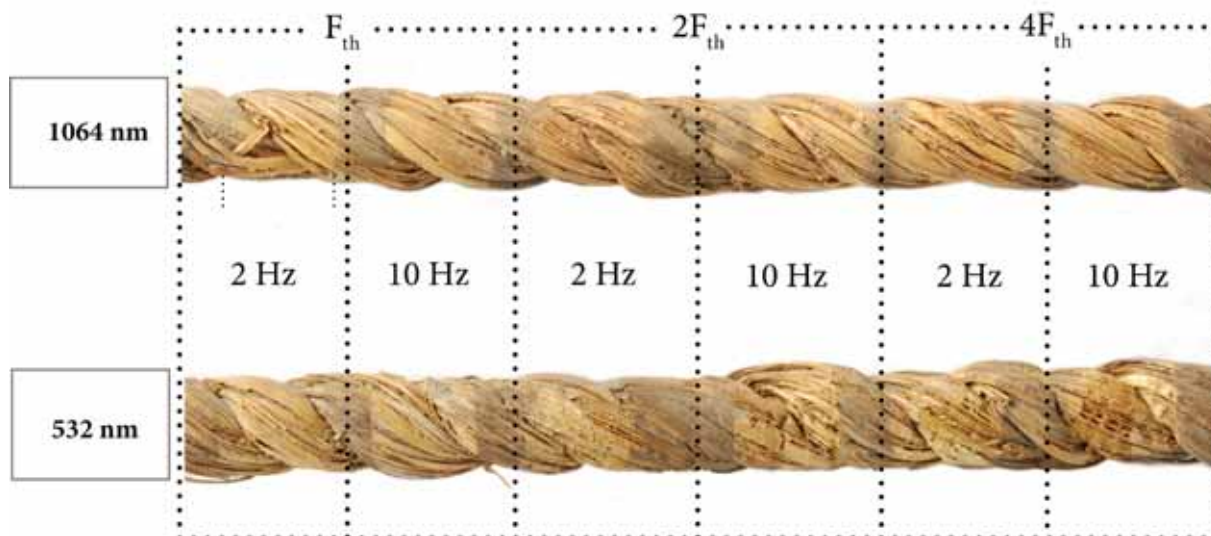


Fig. 6. Macrofotografia in luce visibile delle aree irraggiate a 1064 e 532 nm.

evidenti alterazioni meccaniche, esfoliazione, distacchi dell'epidermide e talvolta anche dell'ipodermide, e in alcuni casi è persino visibile la struttura a rete delle vene presenti al di sotto dei primi due strati di cellule dell'epidermide. Le indagini morfologiche condotte all'ESEM hanno confermato quanto appena descritto. Inaspettatamente, le prove eseguite a 1064 nm hanno prodotto risultati molto più convincenti, sia da un punto di vista strutturale che cromatico. La rimozione completa e selettiva della stratificazione è stata ottenuta a F_{th} ($F=0.6 \text{ J/cm}^2$), $2F_{th}$ ($F=1.2 \text{ J/cm}^2$) e $4F_{th}$ ($F=1.8 \text{ J/cm}^2$) con 2 e 10 Hz senza indurre alcuna modifica delle caratteristiche cromatiche e morfologiche. In altre parole, la soglia di danno a 1064 nm è molto alta, superiore a $4F_{th}$ (1.8 J/cm^2). Per quanto riguarda la composizione superficiale delle fibre trattate con laser, l'analisi EDX ha confermato l'efficacia di entrambe le lunghezze d'onda nella rimozione dei depositi terrosi, incluso il ferro, elemento conosciuto per le sue proprietà di catalizzatore nelle reazioni di ossidazione e idrolisi in ambiente acido.

L'analisi spettrale della fluorescenza visibile indotta da radiazione ultravioletta ha fornito informazioni aggiuntive circa l'interazione laser alle due lunghezze d'onda. In entrambi i casi, come mostrato in *figura 7a-b*, l'emissione di fluorescenza tende ad aumentare in

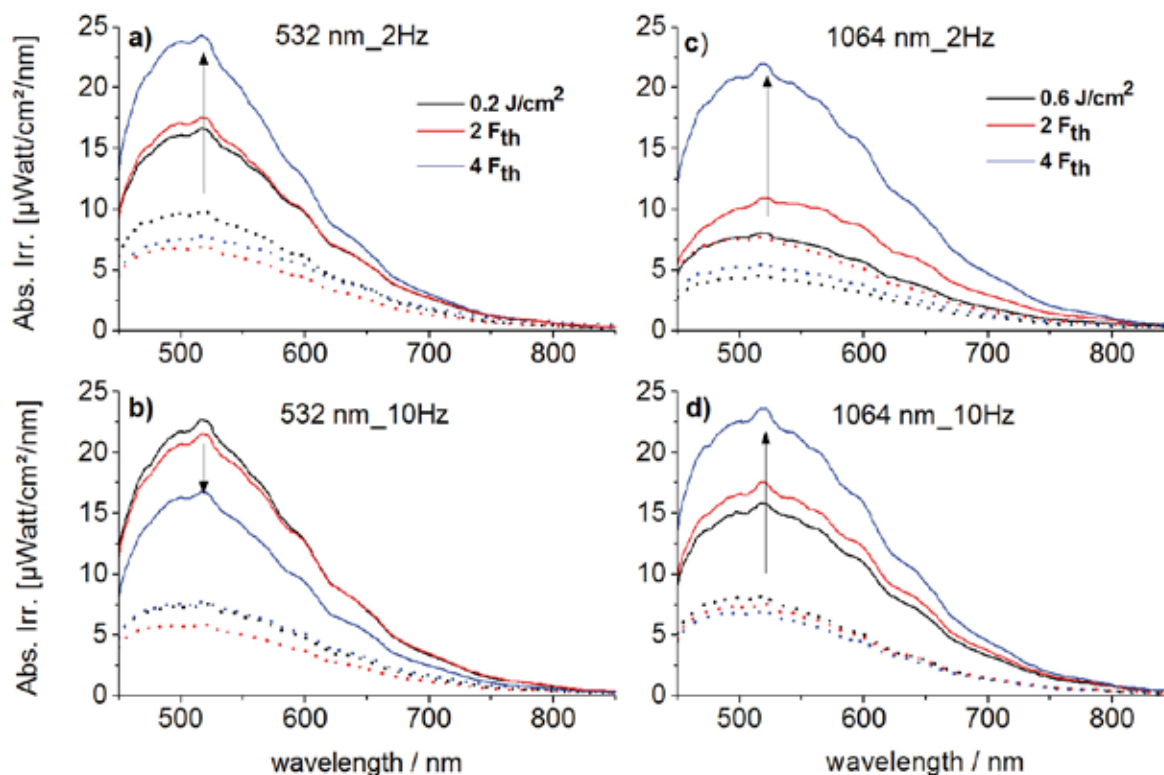


Fig. 7. Spettri di fluorescenza visibile indotta da radiazione ultravioletta acquisiti prima (linea tratteggiata) e dopo l'irraggiamento (linea continua) con laser a 532 nm, 2 Hz **a)** e 10 Hz **b)**, e a 1064 nm, 2 Hz **c)** e 10 Hz **d)**.

intensità dopo la rimozione dei depositi terrosi. Da evidenziare invece che dopo il trattamento a 532 nm con $4F_{th}$ e 10 Hz (**Fig.7c**), la fluorescenza inizia a decrescere a causa del danneggiamento superficiale della struttura fibrosa. La larghezza degli spettri fornisce ulteriori informazioni sul processo laser. In particolare, il restringimento di circa 20 nm osservabile nelle aree trattate a 532 nm indica un cambiamento composizionale ed è attribuibile alla denaturazione di composti aromatici in non aromatici. Questo cambiamento è anche associato ad uno sbiancamento visibile delle fibre.

Nelle aree trattate a 1064 nm non si è invece registrato alcun cambiamento in termini di larghezza e posizione della banda di fluorescenza. Per valutare l'efficacia a lungo termine del trattamento a 1064 nm, il campione di **figura 6** è stato sottoposto a prove d'invecchiamento artificiale accelerato. I risultati hanno confermato che la fluorescenza non viene alterata nel lungo termine [12].

7. Conclusioni

Nel presente lavoro sono state valutate le potenzialità dell'ablazione laser nella rimozione di contaminanti e depositi terrosi incontrati in un manufatto antico realizzato con fibre di palma dum. Dai test effettuati è emerso che l'irraggiamento a 532 nm, contrariamente a quanto osservato per manufatti cartacei, può indurre modifiche cromatiche e/o strutturali alle fibre. Tali modifiche possono essere indotte a partire da livelli di fluensa prossimi a quelli necessari per la rimozione dei depositi. Al contrario, alla lunghezza d'onda di 1064 nm, il margine di pulizia misurato è molto ampio e i risultati ottenuti sono stati molto promettenti, tanto da non aver causato alcuna alterazione delle fibre, sia a livello morfologico-strutturale che cromatico. In conclusione, i risultati ottenuti a 1064 nm con durate d'impulso di circa 10 ns suggeriscono una prospettiva di applicazione della tecnica su manufatti artistici realizzati con fibre vegetali di natura lignocellulosica.

Note

- ¹ È una località della Nubia situata nei pressi dell'attuale Karmah (Sudan). Fu la capitale del Regno di Kerma che si estendeva tra i confini dell'attuale Egitto e Sudan. Kerma è uno dei più estesi siti archeologici della Nubia. In decenni di scavi archeologici e ricerche vi sono stati ritrovati numerosissimi oggetti, migliaia di antichi sepolcri e quartieri residenziali. Gli archeologi concordano che il sito risale ad oltre 9.500 anni fa.

Bibliografia

- [1] K. Borojevic, R. Mountain, *Microscopic identification and sourcing of ancient egyptian plant fibres using longitudinal thin sectioning*, "Archaeometry". 55 (2013) 81-112.
- [2] D. Ciofini, I. Osticioli, S. Micheli, L. Montalbano, S. Siano, *Laser removal of mold and foxing stains from paper artifacts: Preliminary investigation*, in: Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng. , 2013.
- [3] S. Siano, J. Agresti, I. Cacciari, D. Ciofini, M. Mascalchi, I. Osticioli, A.A. Mencaglia, *Laser cleaning in conservation of stone, metal, and painted artifacts: State of the art and new insights on the use of the Nd:YAG lasers*, in "Appl. Phys. A Mater. Sci. Process." 106 (2012).

- [4] S. Siano, I. Osticioli, A. Pavia, D. Ciofini, *Overpaint removal from easel paintings using an LQS Nd:YAG laser: The first validation study*, in "Stud. Conserv." 60 (2015).
- [5] J. Kolar, M. Strlic, S. Pentzien, W. Kautek, *Near-UV, visible and IR pulsed laser light interaction with cellulose*, in "Appl. Phys. A Mater. Sci. Process." 90 (2000) 87-90.
- [6] C. Rosati, D. Ciofini, I. Osticioli, R. Giorgi, S. Tegli, S. Siano, *Laser removal of mold growth from paper*, in "Appl. Phys. A Mater. Sci. Process." 117 (2014).
- [7] P. Londero, L. Corda, D. Ciofini, C. Giuntini, M. Leona, *Laser Cleaning of a First Phase Navajo Wool Chief's Blanket by Nd:YAG*, in: P. Targowski et al. (Ed.), *Lasers Conserv. Artworks XI*, Proc. LACONA XI, NCU Press, 2017.
- [8] G. Wiedemann, M. Schulz, J. Hauptmann, H.-G. Kusch, S. Müller, M. Panzner, H. Wust, *Laser cleaning applied in the restoration of a medieval wooden panel chamber at Pirna*, in "J. Cult. Herit." 3887 (2000) 240-249.
- [9] M. Lubryczynska, J. Czernichowska, I. Uchman-Laskowska, K. Chmielewski, M. Mazur, A. Markowska, A. Koss, J. Marczak, M. Strzelec, *Wooden art works: laser cleaning case studies*, in: *Wood Sci. Conserv. Cult. Heritage, Florence 2007 Proc. Int. Conf. Held by COST Action IE0601 Florence (Italy)*, 8-10 Novemb. 2007, 2009: pp. 181-187.
- [10] B. Jerbi, *The `angarêb in Northern Sudan*, in "Med. Antropol." 18 (2006) 59-72.
- [11] E. Schildkrout, C.A. Keim, *The Scramble for Art in Central Africa*, Cambridge University Press, 1998. <https://books.google.it/books?id=7I5UXjC0Zs4C>.
- [12] D. Ciofini, A. Bedeir, I. Osticioli, A. Elnaggar, S. Siano, *Conservation of ethnographic artefacts: Selective laser ablation of deposits from doum palm fibers*, in "J. Cult. Herit." 27 (2017).
- [13] A. Elnaggar, P. Fitzsimons, A. Nevin, K. Watkins, M. Strli, *Viability of laser cleaning of papyrus: Conservation and scientific assessment*, in "Stud. Conserv." 60 (2015) S73-S81.