

**L. CANEVE, M. FRANCUCCI,
M. GUARNERI, V. SPIZZICHINO**

Dipartimento Fusione e Tecnologie per la Sicurezza Nucleare
Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute
Laboratorio Diagnostica e Metrologia
Centro Ricerche Frascati, Roma

M.L. MONGELLI

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT
Laboratorio High Performance Computing
Sede Centrale, Roma

INDAGINE DIAGNOSTICA NON INVASIVA AL PALAZZO VESCOVILE DI FRASCATI: UN APPROCCIO INTEGRATO

RT/2020/17/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

L. CANEVE, M. FRANCUCCI,
M. GUARNERI, V. SPIZZICHINO

Dipartimento Fusione e tecnologie per la Sicurezza Nucleare
Divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute
Laboratorio Diagnostica e Metrologia
Centro Ricerche Frascati, Roma

M.L. MONGELLI

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Sviluppo Sistemi per l'Informatica e l'ICT
Laboratorio High Performance Computing
ENEA Sede, Roma

INDAGINE DIAGNOSTICA NON INVASIVA AL PALAZZO VESCOVILE DI FRASCATI: UN APPROCCIO INTEGRATO

RT/2020/17/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

INDAGINE DIAGNOSTICA NON INVASIVA AL PALAZZO VESCOVILE DI FRASCATI: UN APPROCCIO INTEGRATO

Luisa Caneve, Massimo Francucci, Massimiliano Guarneri, Valeria Spizzichino, Maria Luisa Mongelli

Riassunto

Un'indagine diagnostica si è svolta al Palazzo Vescovile di Frascati mediante l'applicazione di un approccio integrato che ha coinvolto differenti tecniche non invasive. Un sistema LIF (Laser Induced Fluorescence) a scansione ha lavorato in sinergia con lo strumento RGB-ITR (Red Green Blue – Imaging Topological Radar) 3D laser scanner e la tecnica SfM (Structure from Motion) per la ricostruzione fotogrammetrica 3D. Il caso studio presentato in questo lavoro mostra come l'informazione multi-spettrale 3D può rivelare e localizzare precedenti azioni di restauro e processi di deterioramento a supporto della conservazione, della ricerca e a scopo di disseminazione.

Parole chiave: LIF, Beni Culturali, Imaging, Fotogrammetria, Ricostruzione 3D

Abstract

Laser artistic surfaces at the Bishop's Palace of Frascati have been investigated by an integrated approach involving different non-invasive diagnostic techniques. A LIF (Laser Induced Fluorescence) scanning system worked in synergy with the RGB-ITR ((Red Green and Blue – Imaging Topological Radar) 3D laser scanner and the SfM (Structure from Motion) technique for the 3D photogrammetric reconstruction. The presented case study shows how 3D multispectral information can reveal and locate previous restoration actions and deterioration processes as support for conservation, research and dissemination purposes.

Keywords: LIF, Cultural Heritage, Imaging, Photogrammetry, 3D Reconstruction.

INDICE

1. INTRODUZIONE	7
2. SISTEMI DI MISURA	8
2.1 SISTEMA LIF	8
2.2 FOTOGRAMMETRIA	9
2.3 LASER SCANNER 3D RGB-ITR	10
3. RISULTATI	11
4. CONCLUSIONI	15
RINGRAZIAMENTI	16
BIBLIOGRAFIA	16

1. Introduzione

Nell'ambito del progetto ADAMO (Analisi, Diagnostica e Monitoraggio per la conservazione e il restauro dei Beni Culturali), finanziato dalla Regione Lazio per il Distretto Culturale Tecnologico (DTC Lazio), è stata attuata una campagna di misure presso il Palazzo Vescovile di Frascati, antica fortezza della piccola città vicino Roma in passato, oggi sede della diocesi vescovile Tuscolana. Le indagini sono state eseguite al fine di verificare lo stato di precedenti restauri e, a seguito delle richieste del titolare del Palazzo, particolare attenzione è stata dedicata all'indagine della volta della sala cosiddetta "stufetta", al piano terra del Palazzo (Figura 1), e della "Sala dei Paesaggi", al primo piano.

Per questo studio, è stato adottato un approccio di indagine integrato che coinvolge diversi strumenti, basati su differenti tecnologie, con la caratteristica comune di essere completamente non invasivi. È stato utilizzato un sistema LIF, basato cioè sulla tecnica Laser Induced Fluorescence, sviluppato presso il Laboratorio di Diagnostica e Metrologia dell'ENEA, già applicato come strumento diagnostico nelle indagini su Beni Culturali. Il fatto di essere basato su una tecnica remota non distruttiva e non invasiva, di non avere necessità di campionamento, di essere trasportabile e in grado di fornire i primi risultati in tempo reale, rende tale sistema particolarmente adatto all'applicazione nel campo dei Beni Culturali, anche per la caratterizzazione di manufatti pregiati e inamovibili [1,2]. La validità della tecnica come strumento diagnostico è stata dimostrata per opere d'arte di materiali diversi, come dipinti, legno e pietre [3,4,5] e i sistemi LIF sono già stati applicati con successo in diversi siti archeologici, rendendo disponibili informazioni utili ai restauratori [6,7]. Lo strumento LIF è in grado di acquisire spettri di fluorescenza e generare immagini multispettrali per ottenere mappe della superficie investigata, utili per l'identificazione, la caratterizzazione e la localizzazione dei materiali di interesse [8]. Questo strumento ha lavorato, in questo studio, in sinergia con altre tecniche non invasive, adatte a localizzare le aree bio-deteriorate e i materiali di restauro aggiunti, nonché a focalizzare alcuni dettagli a supporto e integrazione dei risultati sperimentali ottenuti. In particolare, la tecnica SfM (Structure from Motion) [9] è stata utilizzata per ottenere la ricostruzione fotogrammetrica 3D della volta dipinta della "stufetta" e il prototipo di laser scanner 3D RGB-ITR ha permesso di eseguire la digitalizzazione della "Sala dei Paesaggi". Questo scanner laser 3D è già stato utilizzato per la diagnostica remota del patrimonio culturale [10,11]. I risultati ottenuti hanno evidenziato la presenza localizzata sulla superficie di diversi materiali, dovuta a processi di ritocco o consolidamento, anche in zone dove differenze significative non sono apprezzabili ad occhio nudo. Fenomeni di deterioramento, dovuti principalmente all'umidità ambientale, sono stati inoltre localizzati dagli strumenti anche in alcuni punti dove non erano chiaramente evidenti, suggerendo la possibilità di una diagnosi precoce del danno.

L'uso combinato dei diversi strumenti ha offerto numerosi vantaggi. In particolare, la possibilità di sovrapporre le mappe spettrali LIF al modello fotogrammetrico 3D, ottenuto in un breve-medio raggio di distanza, e al modello colorato laser 3D ottenuto da scanner RGB-ITR, anche in condizioni di scarsa illuminazione, ha permesso di localizzare perfettamente, anche a grandi distanze, i punti della superficie



Figure 1. Volta della Stufetta al Palazzo Vescovile di Frascati.

soggetti ad azioni di degrado. Le tecniche disponibili per la caratterizzazione e il monitoraggio del biodegrado [12,13] possono essere supportate dall'approccio presentato. Inoltre, la capacità di misurare in situ, da remoto, oltre a garantire la completa non invasività, elimina l'uso di ponteggi, riducendo i tempi ed i costi delle analisi.

I risultati dell'approccio integrato proposto possono essere di grande utilità per la conservazione del sito aiutando a monitorare i processi di degrado e ad identificare il processo di restauro più corretto in tempi molto rapidi.

2. Sistemi di misura

2.1 Sistema LIF

Il sistema applicato in questo lavoro per le misure di fluorescenza è il prototipo LIF a scansione di linea realizzato dall'ENEA. Tale sistema, mostrato nella Figura 2 durante le misurazioni al Palazzo, è descritto in dettaglio in precedenti articoli pubblicati [14,15]. Il cambiamento del sistema ottico, con l'inserimento di una lente cilindrica che modifica l'impronta del raggio laser incidente sul bersaglio da un punto a una linea, unitamente al nuovo gruppo meccanico rotante, induce la notevole riduzione del tempo di scansione rispetto a sistemi simili sviluppati in precedenza [16], rendendo questo strumento particolarmente adatto per analisi di grandi aree. Il laser in questo caso ha lavorato alla lunghezza d'onda di 266 nm, con frequenza di ripetizione di 20 Hz, durata di impulso di 10 ns ed energia di 1.2 mJ. Un programma LabView consente all'utente di impostare i parametri sperimentali, definire la scena da scansionare, controllare i diversi componenti del sistema, acquisire dati ed eseguire una veloce elaborazione preliminare dei dati. L'intero spettro di fluorescenza nell'intervallo 200-900 nm per ogni punto esaminato e le immagini di fluorescenza



Figure 2. Sistema LIF durante le misure al Palazzo Vescovile di Frascati. Linea laser visibile sulla parete.

della superficie scansionata sono generati dal sistema. Le misure LIF sono state effettuate, in questo caso, ad una distanza dal target di circa 3 metri.

2.2 Fotogrammetria

La scansione fotogrammetrica della volta della stufetta è stata eseguita dalla fotocamera reflex digitale Nikon D60 con una risoluzione di 10,2 MPixel. Le immagini digitali 2D sono state post-elaborate da remoto dal codice commerciale Photoscan Pro, basato su algoritmi di Computer Vision e supportato dalle tecniche SfM e Multiple View Stereovision (MVS), via Internet, attraverso il laboratorio virtuale IT@CHA, completamente dedicato alle applicazioni dei beni culturali. IT@CHA è stato sviluppato per l'accesso, via web, a codici grafici, l'elaborazione di immagini digitali e la produzione di dati spaziali 3D tramite le funzionalità hardware/software dell'infrastruttura High Performance Computing (HPC) ENEA ICT denominata CRESCO, (Research Computational Center on Complex Systems) distribuita su 6 siti geografici in Italia. Inoltre, il sistema CRESCO consente di gestire lavori pesanti per ricostruzioni 3D fornendo servizi di elaborazione, risorse di archiviazione e strumenti di rendering dei dati 3D [17].

Grazie all'utilizzo delle risorse hardware e software dell'infrastruttura informatica ICT dell'ENEA è stato possibile ottenere la ricostruzione 3D in scala reale della volta in brevissimo tempo con una struttura corretta in termini di geometria e tessitura.



Figure 3. Laser scanner 3D RGB-ITR durante le misure al Palazzo Vescovile di Frascati.

2.3 Laser scanner 3D RGB-ITR

RGB-ITR (Red Green and Blue - Imaging Topological Radar), in figura 3, è uno scanner LIDAR basato sulla modulazione di ampiezza dei raggi laser e sulla tecnica di lock-in che permette di ottenere informazioni sia sul colore che sulla struttura del target [18]. Due software opportunamente sviluppati, chiamati ScanSystem e itrAnalyzer, consentono l'impostazione dei parametri di scansione, la calibrazione dei dati, l'analisi post-elaborazione e la generazione di modelli 3D [19]. Questo strumento può funzionare per 24 ore senza l'influenza di fattori esterni, come la variabilità dei fattori di luce ambientale. A differenza di altri laser scanner, il sistema RGB-ITR pilota il raggio sulla superficie disegnando un raster tipo TV, che garantisce la stessa risoluzione sulle pareti laterali e sulla sommità. L'intera digitalizzazione è stata eseguita posizionando lo scanner al centro della stanza e ruotando la testa ottica in modo che l'intero campo visivo è stato puntualmente coperto dai raggi laser. Anche se in questo caso particolare il laser scanner ha operato approssimativamente ad una distanza di 5m, lo strumento può operare fino a 35m. La dimensione del punto risultante dei tre raggi laser sovrapposti è stato in questo caso di 0,3 mm, mentre la risoluzione spaziale fissata a 0,5 mm come un buon compromesso tra il tempo di scansione e la risoluzione dell'immagine. Durante la fase di acquisizione è stata completata una procedura di calibrazione lineare che consiste nell'illuminare mediante raggi laser un target bianco calibrato a più distanze. Le curve risultanti vengono poi utilizzate durante la fase di post-elaborazione per normalizzare i valori dei canali di colore. La Sala dei Paesaggi, con una dimensione di circa 10x10x3 m, è stata digitalizzata in 4 giorni senza l'influenza della luce ambientale, del sole durante il giorno e delle luci artificiali durante la notte.



Figura 4. Ricostruzione 3D mediante fotogrammetria della volta della Stufetta.

3. Risultati

Più di cento immagini 2D digitali da 8MB ciascuna, con zoom e messa a fuoco mantenuti costanti, sono state scattate per la scansione fotogrammetrica nella volta della stufetta. La fase di post-elaborazione ha generato una ricostruzione 3D completa come mostrato nella Figura 4. Il modello 3D in scala reale consente di focalizzare alcuni dettagli per supportare e integrare le altre misure NDT e i risultati sperimentali [20]. Dopo le misure fotogrammetriche, è stato applicato il sistema di scansione LIF per l'indagine della volta della stufetta. Nella Figura 5, l'immagine LIF in falsi colori, ricostruita a 300, 400 e 500 nm, è riportata a sinistra, mentre la relativa immagine fotogrammetrica, con l'area misurata evidenziata nella linea gialla, è riportata come riferimento a destra. Come si può osservare, sono stati messi in evidenza alcuni dettagli non apprezzabili ad occhio nudo. In particolare è stata rilevata la presenza di un materiale diverso in corrispondenza degli occhi dell'angelo, ben evidenziata in azzurro nell'immagine LIF in falsi colori. Analizzando gli spettri LIF risultanti da questi punti, si può osservare una banda di emissione intensa stretta a 380 nm (Figura 6, spettro inferiore), ascrivibile alla presenza di materiali da restauro probabilmente contenenti ossido di zinco, come suggerito dal database sviluppato in laboratorio per i materiali del patrimonio culturale in condizioni sperimentali simili. Anche nel torace alcuni dettagli sono stati messi in evidenza dalle immagini in fluorescenza, ma i relativi spettri risultano dalla sovrapposizione di molte bande di emissione differenti, rendendo probabile la presenza di un materiale di restauro composto differente, a bassa concentrazione di ossido di zinco. Tale materiale è stato trovato anche in altre parti della superficie analizzata. Dalle misurazioni è stata rilevata anche la presenza di bio-deterioramento.



Figura 5. Immagine LIF a falsi colori, ricostruita a 300, 400, 500 nm, a sinistra; immagine da fotogrammetria con area misurata nella linea gialla, a destra.

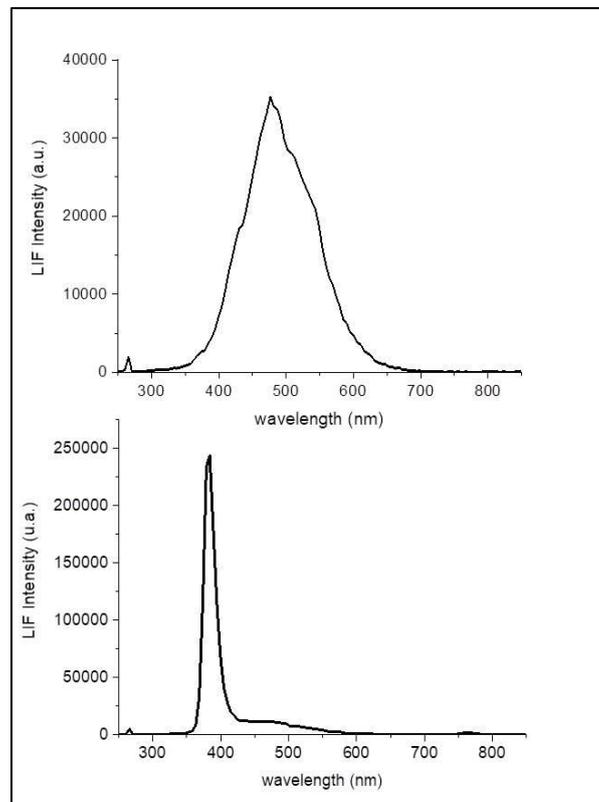


Figura 6. Spettri LIF relativi ad aree con presenza di bio-deterioramento (spettro in alto) e a materiali di restauro (spettro in basso).



Figura 7. Modello fotogrammetrico scala 1:1 di un dettaglio della lunetta della stufetta.

Nella lunetta sopra l'angelo è stata definita nel modello fotogrammetrico una griglia di dimensione di cella pari a 0,05 metri per monitorare nel tempo le aree interessate dall'umidità (Figura 7). Le misurazioni LIF hanno permesso di rilevare la presenza di bio-deterioramento, non solo in quelle zone dove è visibile ad occhio nudo, ma anche in alcune zone dove non è assolutamente visibile. Lo spettro LIF associato a tale degrado è caratterizzato dalla banda di emissione a 550 nm (Figura 6, spettro superiore) che risulta assente negli spettri LIF raccolti dalle aree non deteriorate. Questo risultato, consentendo la discriminazione tra area deteriorata e non deteriorata anche quando il bio-degrado non è visibile, suggerisce la possibilità di un monitoraggio preventivo per ridurre gli eventuali danni indotti.

Anche la Sala dei Paesaggi è stata investigata. In questo caso, è stato utilizzato come riferimento per le mappe di fluorescenza il modello 3D ottenuto con lo scanner laser RGB-ITR. La ricostruzione parziale del modello 3D della stanza è riportata in Figura 8.

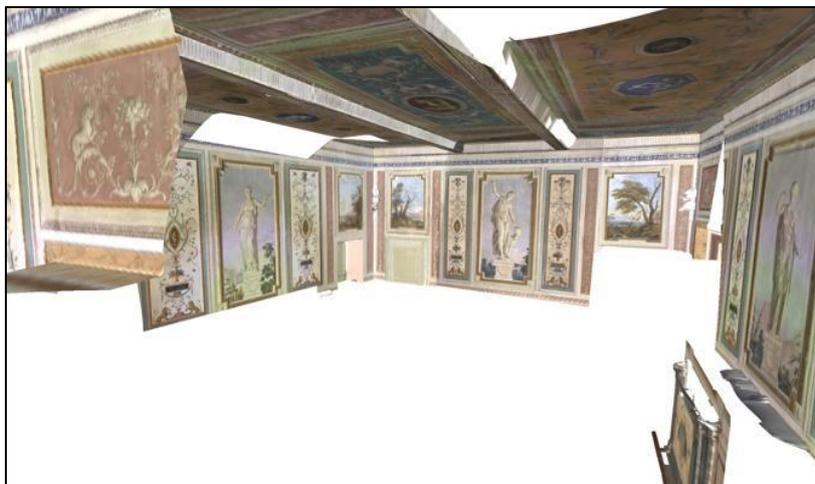


Figure 8. Modello 3D parziale della Sala dei Paesaggi ottenuta da RGB-ITR laser scanner.

In questa Sala, il sistema LIF non ha rilevato alcuna evidenza di degrado o restauro sulle pareti dipinte e le bande di emissione in tutti gli spettri raccolti potrebbero essere ascritte alla cellulosa, a causa del substrato composto principalmente da tessuto. Nella Figura 9, parte superiore, è riportata a titolo di esempio l'immagine LIF in falsi colori di un dettaglio della parete dipinta, a destra, accanto all'immagine RGB-ITR, a sinistra.

Diversamente, analizzando il parafuoco in legno dipinto presente nella stanza, i risultati LIF hanno evidenziato la discontinuità dei materiali superficiali. Nella Figura 9, parte inferiore, accanto all'immagine RGB-ITR a sinistra, è riportata a destra l'immagine in fluorescenza, elaborata a 380/450 nm, dell'area di interesse, nella linea gialla sul lato sinistro della figura. Come si può osservare, i materiali aggiunti, probabilmente dovuti ad azioni di restauro e/o processi di degrado, sono stati localizzati anche in questo caso mediante analisi LIF sebbene in alcuni punti non siano visibili ad occhio nudo.



Figure 9. Immagine RGB-ITR di un dettaglio della Sala dei Paesaggi, con area misurata nella linea nera (in alto a sinistra) e relativa immagine LIF a falsi colori (in alto a destra). Immagine RGB-ITR del parafuoco in legno del camino, con area misurata nella linea gialla (in basso a sinistra) e relativa immagine LIF 380/450 nm (in basso a destra).

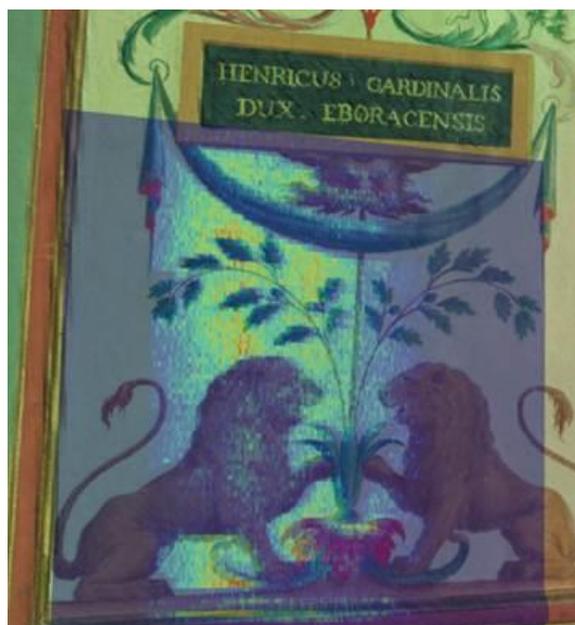


Figure 10. Sovrapposizione dell'immagine LIF (blu) al modello RGB-ITR model dell'area investigate nella Sala dei Paesaggi.

I risultati ottenuti hanno permesso di testare la capacità del software sviluppato ad hoc per la sovrapposizione delle immagini LIF ai modelli 3D RGB-ITR, al fine di ottimizzare i riferimenti spaziali. Nella Figura 10 è riportato il risultato ottenuto, nel caso dell'area considerata nella Sala dei Paesaggi, in cui si osserva la sovrapposizione dell'immagine LIF in falsi colori all'immagine RGB-ITR della stessa area analizzata.

Nessuna evidenza, in questo caso, di materiali di restauro localizzati o di biodegrado è stata rilevata, come verificato in precedenza.

Inoltre, è stata sviluppata un'analisi post processing dei modelli RGB-ITR 3D al fine di effettuare la circoscrizione delle aree di interesse e valutare le eventuali modifiche rispetto alle immagini raccolte in periodi precedenti [21]. Il monitoraggio dei processi di degrado potrebbe essere fornito in questo modo ripetendo le misure in tempi diversi.

4. Conclusioni

La validità dell'approccio integrato sviluppato in questo lavoro come strumento diagnostico non invasivo per i beni culturali è stata dimostrata dai risultati ottenuti. L'applicazione di diverse tecniche che lavorano in sinergia si è rivelata vantaggiosa in questo studio. E' stata dimostrata la capacità di localizzare aree, anche su grandi superfici, dove sono in crescita processi di bio-deterioramento e dove sono stati applicati materiali di restauro in precedenti azioni di conservazione. I dati raccolti hanno attestato la buona qualità, nella maggior parte dei casi, degli interventi di restauro eseguiti negli anni precedenti presso il Palazzo Vescovile. I materiali e le tecniche utilizzate si sono dimostrati perfettamente adatti per alcuni ritocchi e integrazioni. Tuttavia, dall'indagine sono stati evidenziati processi di degrado dovuti all'umidità ambientale. È stata messa

in luce la possibilità di un monitoraggio preventivo mediante l'applicazione dell'approccio presentato per ridurre gli eventuali danni indotti.

Ringraziamenti

Le attività di questo lavoro sono state supportate dal progetto ADAMO (Analisi, Diagnostica e Monitoraggio per la conservazione e il restauro dei Beni Culturali), finanziato dalla Regione Lazio per il Distretto Culturale Tecnologico (DTC Lazio). Gli autori desiderano ringraziare la Diocesi Episcopale Tuscolana per il supporto e l'ospitalità ed i colleghi ENEA Marco Pistilli, Marcello Nuvoli e Massimiliano Ciaffi per il fondamentale supporto logistico.

Bibliografia

1. J. Hällström, R. Grönlund, A. Johansson, S. Svanberg, L. Palombi, D. Lognoli, V. Raimondi, G. Cecchi, C. Conti, “Documentation of soiled and biodeteriorated facades: A case study on the Coliseum, Roma, using hyperspectral imaging fluorescence lidars”, *J. Cult. Herit.*, vol.10, 2009, pp.106–115.
2. D. Comelli, N.Björzell, A.Nevin, G. Valentini, I. Osticioli, E. M. Castellucci, L. Toniolo, D. Gulotta, R. Cubeddu, “Insights into Masolino’s wall paintings in Castiglione Olona: Advanced reflectance and fluorescence imaging analysis” *J. Cult. Herit.*, vol.12, 2011, pp.11–18
3. D. Anglos, M. Solomidou, I. Zergioti, V. Zaffiropulos, T.G. Papazoglou, C. Fotakis, “Laser-induced fluorescence in artwork diagnostics: an application in pigment analysis”, *Appl. Spectros.*, vol.50, 1996, pp.1331-1334
4. L. Caneve, V. Spizzichino, E. Antonelli, L. Bertani, “Study of ancient egyptians artefacts by non-destructive laser based techniques”, *Proc. of MetroArchaeo2018*, Cassino October 22-24, pp. 374-378.
5. R. Grönlund, J. Hällström, A. Johansson, K. Barup, S. Svanberg, “Remote multicolour excitation laser-induced fluorescence imaging”, *Laser Chem.*, vol. 2006, Article ID 57934, 6 pages.
6. R. Fantoni, L. Caneve, F. Colao, L. Fiorani, A. Palucci, R. Dell’Erba, V. Fassina, “Laser induced fluorescence study of medieval frescoes by Giusto de’ Menabuoi”, *J. Cult. Herit.*, vol.14, No.3, 2013, pp.S59–S65.
7. L. Pantani, G. Ballerini, G. Cecchi, H. Edner, D. Lognoli, T. Johansson, V. Raimondi, S. Svanberg, P. Tiano, L. Tomaselli, P. Weibring, “Experiments on stony monument monitoring by laser-induced fluorescence”, *J. Cult. Herit.*, vol.1, 2000, pp.S345-S348
8. P. Weibring, D. Lognoli, R. Chiari, G. Cecchi, H. Edner, T. Johansson, L. Pantani, S. Svanberg, D. Tirelli, M. Trambusti, “Lidar remote sensing of the Parma Cathedral and Baptistery”, *Laser Techniques and Systems in Art Conservation*, vol.4402, 2001, pp.114-120. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.445652>
9. M. Mongelli, I. Bellagamba, G. Bracco, S. Migliori, A. Perozziello, S. Pierattini, A. Quintiliani, B. Mazzei, “3D photogrammetric reconstruction by “Structure from Motion” as a monitoring technique for safety, conservation and improvement of the fruition of cultural heritage”, *Proc. of MetroArchaeo2017*, Lecce October 23-25, pp.228-233.

10. Daher C., Paris C., Le Hô A.S., Bellot-Gurlet L., Echard J.P., A joint use of Raman and infrared spectroscopies for the identification of natural organic media used in ancient varnishes, *J. Raman Spectrosc.* (2010) 41 (11), 1204-1209. [ff10.1002/jrs.2693](https://doi.org/10.1002/jrs.2693)[ff. fahal-00864287f](https://doi.org/10.1002/jrs.2693)
11. M. Guarneri, M. Ferri de Collibus, G. Fornetti, M. Francucci, M. Nuvoli, R. Ricci, “Remote colorimetric and structural diagnosis by RGB-ITR color laser scanner prototype”, *Adv. Optical Technol.*, vol.2012, Hindawi Publishing Corporation, Article ID 512902, 6 pages, [doi:10.1155/2012/512902](https://doi.org/10.1155/2012/512902).
12. A. Mihajlovski, D. Seyer, H. Benamara, F. Bousta, P. Di Martini, “An overview of techniques for the characterization and quantification of microbial colonization on stone monuments”, *Ann. Microbiol.*, vol.65, 2015, pp.1243-1255.
13. K. Sterflinger, G. Piñar, “Microbial deterioration of cultural heritage and works of art – tilting and windmills?”, vol.97, 2013, pp.9637-9646
14. L. Caneve, F. Colao, R. Fantoni, L. Fiorani, “Scanning lidar fluorosensor for remote diagnostic of surfaces”, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A*, vol. 720, 2013, pp.164-167.
15. L. Fiorani, L. Caneve, F. Colao, R. Fantoni, P. Ortiz, M.A. Gomez, M.A. Vazquez. “Real-Time Diagnosis of Historical Artworks by Laser-Induced Fluorescence”. *Adv. Mater. Res.*, 2010, Vol.133-134, pp. 253–258. K.T.V.Grattan, “Measurement: system of scales and units”, in: *Concise Encyclopedia of Measurement and Instrumentation*. L.Finkelstein, K.T.V.Grattan (editors). Pergamon Press, Oxford, 1994, ISBN 0-08-036212-5, pp. 209-214.
16. L. Caneve, F. Colao, L. Fiorani, R. Fantoni, L. Fornarini, “Laser Induced Fluorescence analysis of acrylic resins used in conservation of cultural heritage”, 2008, *Proc. of the 2nd Int. Topical Meeting on Optical Sensing and Artificial Vision-OSAV’2008*, St. Petersburg, pp.57-63
17. G. Ponti et al., “The role of medium size facilities in the HPC ecosystem: the case of the new cresco4 cluster integrated in the ENEAGRID infrastructure”, *Proc. of International Conference on High Performance Computing and Simulation, HPCS 2014*, art. no. 6903807, pp. 1030-1033.
18. R. Ricci, L. De Dominicis, M. Ferri De Collibus, G. Fornetti, M. Guarneri, M. Nuvoli, M. Francucci, “RGB-ITR: an amplitude-modulated 3D colour laser scanner for cultural heritage applications”, *Proc. of International Conference LACONA VIII-Laser in the Conservation of Artworks*, 2009.
19. A. Danielis, M. Guarneri, M. Francucci, M. Ferri de Collibus, G. Fornetti, A. Mencattini, “A quadratic model with non- polynomial terms for remote colorimetric calibration of 3D laser scanner data based on piecewise cubic hermite polynomials”, *Mathematical problems in engineering*, Hindawi Publishing Corporation, vol. 2015, Article ID 606948, 14 pages.
20. M. Mongelli, I. Bellagamba, A. Perozziello, S. Pierattini, S. Migliori, A. Quintiliani, G. Bracco, A. Tati, P. Calicchia, “Photogrammetric survey to support Non Destructive Tests at St. Alexander Catacombs in Rome”, *Proc. of MetroArcheo2018*, Cassino October 22-24, pp.308-313.
21. L. Caneve, M. Guarneri, A. Lai, V. Spizzichino, S. Ceccarelli, B. Mazzei, “Non-Destructive laser based techniques for biodegradation analysis in cultural heritage”, *NDT&E International*, vol. 104, June 2019, pp. 108-113.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
febbraio 2021