

L. CANEVE, V. SPIZZICHINO

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

CAMPAGNA DI MISURE LIF SU REPERTI ANTICHI DI ORIGINE EGIZIA

RT/2019/8/ENEA



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

L. CANEVE, V. SPIZZICHINO

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

CAMPAGNA DI MISURE LIF SU REPERTI ANTICHI DI ORIGINE EGIZIA

RT/2019/8/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.

CAMPAGNA DI MISURE LIF SU REPERTI ANTICHI DI ORIGINE EGIZIA

L. Caneve, V. Spizzichino

Riassunto

La disponibilità di informazioni più complete possibili sullo stato di conservazione delle opere d'arte in tempi rapidi può rappresentare un grande vantaggio per l'ottimizzazione delle azioni di conservazione e restauro. A tale scopo, l'uso di specifiche tecniche laser come strumenti diagnostici può risultare particolarmente vantaggioso nel campo dei Beni Culturali. Diversi prototipi basati su tecniche laser sono stati sviluppati all'ENEA ed applicati per analizzare differenti tipi di opere d'arte da diversi punti di vista, dalle modifiche strutturali al degrado chimico. In questo lavoro, nell'ambito del progetto COBRA (Conservazione di beni Culturali mediante radiazione e tecnologie abilitanti) finanziato dalla Regione Lazio, alcuni antichi reperti Egizi sono stati studiati mediante sistemi LIF (Laser Induced Fluorescence) a scansione per indagare, seguendo le indicazioni dei restauratori, la presenza di materiali dovuta a precedenti azioni di restauro al fine di ottimizzare il successivo lavoro di restauro.

Parole chiave: Beni Culturali, fluorescenza indotta da laser, LIF, imaging.

Abstract

The availability of information on the state of conservation of artworks quickly and as complete as possible can represent a great advantage for the optimization of the conservation and restoration actions. To this aim, the use of specific laser-based techniques as diagnostic tools can be particularly advantageous in the field of Cultural Heritage. Several prototypes based on laser techniques have been developed at ENEA and applied to analyse different kinds of artworks from different points of view, as structural modification, or chemical degradation. In this work, in the frame of the COBRA (Conservation of Cultural Heritage through Radiation and Enabling Technologies) project, funded by Lazio Region, ancient Egyptian artifacts have been studied by LIF (Laser Induced Fluorescence) Scanning systems to reveal the presence of materials due to previous restoration actions, following the indication of the restorers, in order to optimize the incoming restoration work.

Keywords: Cultural Heritage, laser induced fluorescence, LIF, imaging.

INDICE

1. INTRODUZIONE	7
2. SISTEMI LIF DI MISURA	7
3. RISULTATI E DISCUSSIONE	9
3.1 MISURE FORLAB SUL SARCOFAGO DI PEFTJAUYAUYASET	9
3.2 MISURE LIFART SUL SARCOFAGO DI PEFTJAUYAUYASET	12
3.3 MISURE FORLAB SULLA CASSA DI PEFTJAUYAUYASET	14
3.4 MISURE LIFART SULLA CASSA DI PEFTJAUYAUYASET	15
4. CONCLUSIONI	15
RINGRAZIAMENTI	16
BIBLIOGRAFIA	16

1. Introduzione

Nell'ambito del Progetto COBRA “*Sviluppo e diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la Conservazione dei Beni culturali, basati sull’applicazione di Radiazioni e di tecnologie Abilitanti*” finanziato dalla Regione Lazio, sono state eseguite misure LIF (Laser Induced Fluorescence) su reperti di origine egizia provenienti dal Museo Archeologico di Milano: Sarcofago antropoide di Peftjauyayaset e cassa di Peftjauyayaset (XXVI din. -VII-VI sec. a.C.).

La caratterizzazione della composizione superficiale delle opere d’arte risulta di particolare importanza per la determinazione dello stato di conservazione e per guadagnare informazioni sulle azioni di restauro precedenti e non documentate. Antichi artefatti egizi sono stati oggetto di numerose indagini mediante tecniche analitiche, come riportato in numerosi articoli [1,2].

La tecnica LIF (Laser Induced Fluorescence) ha trovato una sempre più vasta applicazione come strumento diagnostico nel campo dei Beni Culturali in quanto non invasiva e in grado di operare a distanza [3,4,5]. I sistemi LIF a scansione sviluppati all’ENEA di Frascati permettono, acquisendo spettri di fluorescenza e mediante la generazione di immagini multispettrali, di ottenere mappe della superficie artistica investigata, utili per l’identificazione e la localizzazione dei materiali di interesse. In questo lavoro, seguendo le indicazioni dei restauratori, le misure LIF sono state eseguite per indagare la presenza di materiali dovuta a precedenti azioni di restauro al fine di ottimizzare il successivo lavoro di restauro.

2. Sistemi LIF di misura

Per le analisi di fluorescenza, in questa campagna di misure sono stati utilizzati il sistema LIF a scansione di punto (LIFart)[6] e il sistema LIF imaging a bande (FORLAB)[7], sistemi prototipali interamente sviluppati presso il Laboratorio Diagnostica e Metrologia dell’ENEA di Frascati. LIFart, già descritto nel dettaglio in precedenti articoli utilizza una sorgente laser a 266 nm e fornisce l’intero spettro di fluorescenza, nell’intervallo 270-900 nm, per ogni punto esaminato. FORLAB, diversamente, utilizza una sorgente a 248 nm ad alta frequenza di ripetizione e fornisce in tempi rapidi immagini in fluorescenza a bande spettrali preselezionate mediante l’uso di una serie di filtri.

Entrambe i sistemi, mostrati nella figura 1 durante la campagna di misure, sono non invasivi e possono lavorare a distanze di decine di metri. La movimentazione, guidata da software, dell’ottica di invio del fascio laser permette di eseguire una scansione della superficie in esame. In figura 1 sono riportate le foto dei due sistemi laser di fluorescenza al lavoro durante la campagna di misure. Durante le misure, la zona del laboratorio in cui erano accolte le opere in esame è stata interdetta ad eventuali visitatori per motivi di sicurezza. Le misure, in questo caso, sono state svolte ad una distanza di circa 3 metri per FORLAB e 1 metro per LIFart e sono state ripetute, per entrambe gli strumenti, posizionando i sistemi di misura in punti diversi rispetto alle opere per ottenere punti di vista differenti e informazioni su aree diverse della superficie delle opere.

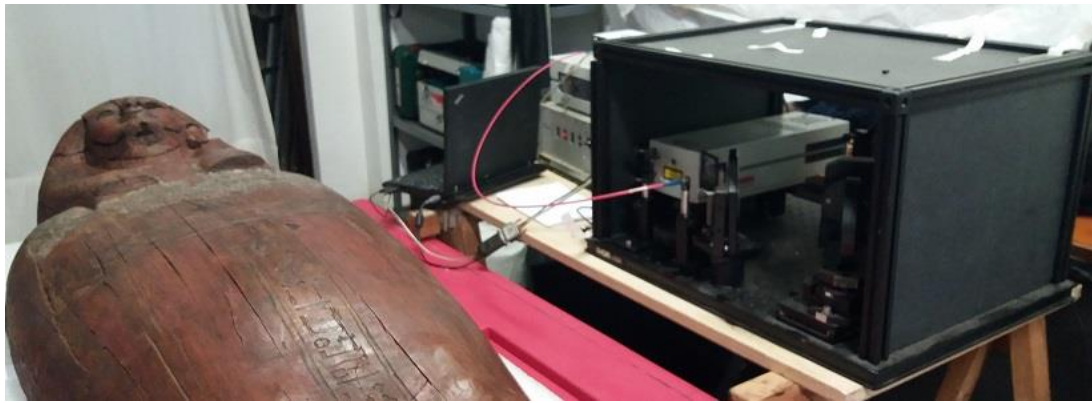


Figura 1. Sistemi LIF utilizzati durante la campagna di misure: LIFart (in alto) e FORLAB (in basso).

Le opere analizzate, mostrate in figura 2, sono state fornite dal Museo archeologico di Milano. Si tratta di un sarcofago antropoide in cui originariamente era deposta la mummia, e della cassa in cui era contenuto il sarcofago, entrambe di Pefthauyuyaset (XXVI din. -VII-VI sec. a.C.). All'interno del sarcofago e sulle superfici esterne della cassa sono presenti decorazioni policrome. Le indagini si sono focalizzate su alcune parti delle opere indicate dai restauratori, di interesse per il futuro lavoro di restauro.



Figura 2. Reperti egizi in esame: alvei del sarcofago e cassa.

3. Risultati e discussione

3.1. Misure FORLAB sul Sarcofago di Peftjauyuyaset

I risultati ottenuti dalle misure con entrambe gli strumenti attestano la disomogeneità dei materiali, sia per le superfici esterne della cassa che per quelle interne del sarcofago. Nelle seguenti figure 3 e 4 sono riportate le

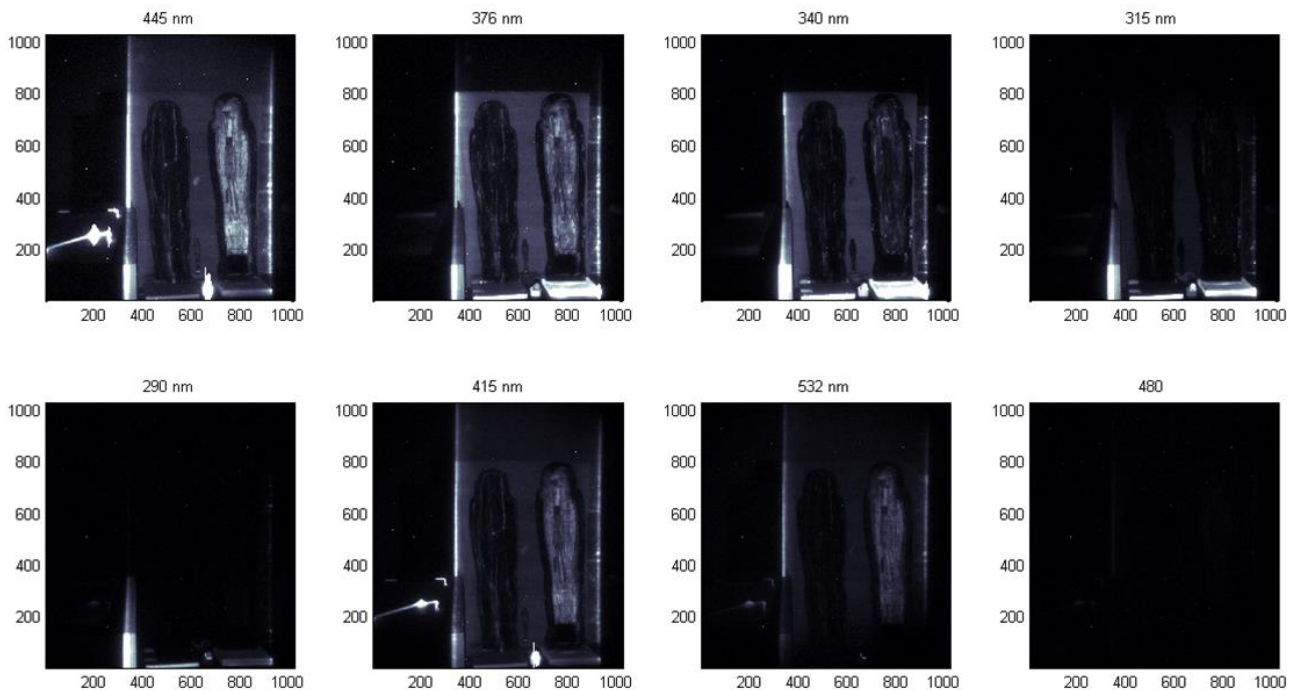


Figura 3. Immagini FORLAB del sarcofago, esterno valva inferiore - interno valva superiore, filtrate alle 8 diverse bande.

immagini in fluorescenza del sarcofago antropoide di Peftjauyuyaset, relative a esterno valva inferiore - interno valva superiore e interno valva inferiore - esterno valva superiore rispettivamente, ottenute con FORLAB e filtrate alle otto diverse bande preselezionate mediante i filtri.

Le immagini raccolte con i diversi filtri mostrano come alcune aree dell'opera appaiano in fluorescenza più o meno evidenti, rispetto al resto, a seconda della banda di emissione relativa al filtro utilizzato. Se intendiamo che emissioni di fluorescenza a diverse bande forniscono informazioni sulla presenza di materiali diversi, possiamo dire che si genera in questo modo una vera e propria mappa dei diversi materiali superficiali dell'opera. In particolare, nella figura 3 si osserva come alcune caratteristiche della decorazione interna alla valva superiore risultino bene evidenziate, mentre nella figura 4 i dati derivanti dalla banda a 376 nm fanno

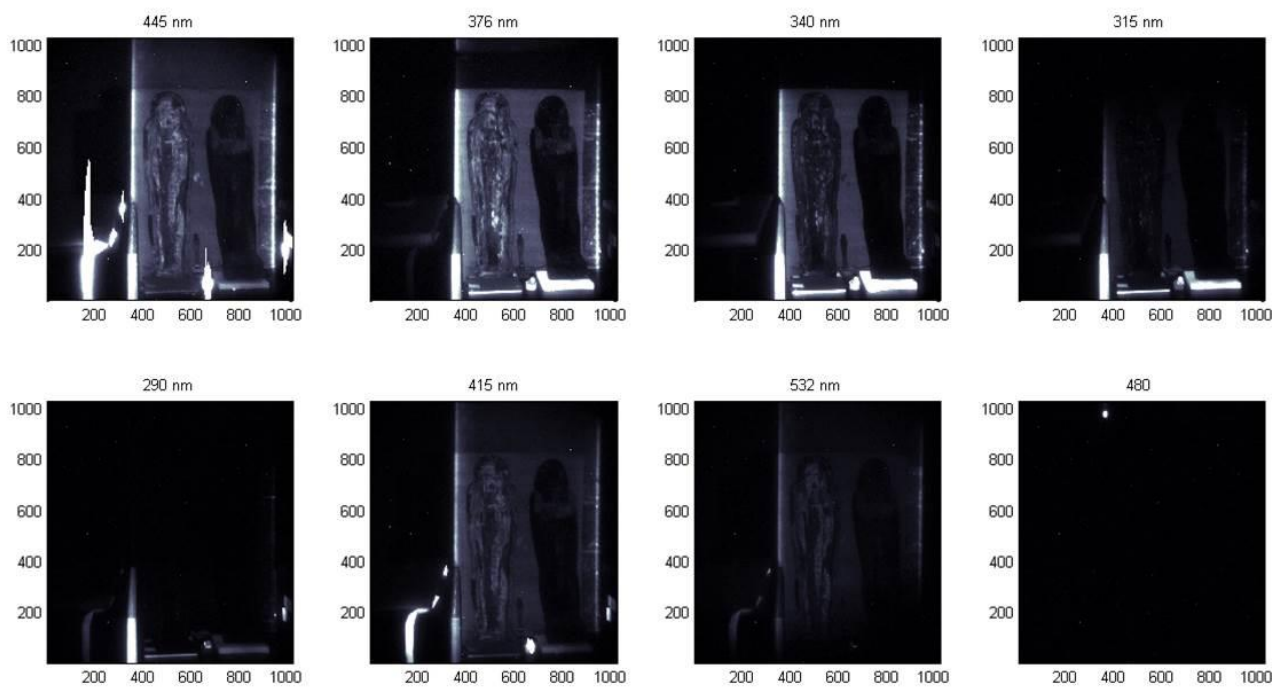


Figura 4. Immagini FORLAB del sarcofago, interno valva inferiore - esterno valva superiore, filtrate alle 8 diverse bande.

risaltare la presenza, all'interno della valva inferiore, di una sostanza completamente invisibile ad occhio nudo, probabilmente risalente ad un precedente restauro. In corrispondenza di tali punti saranno prelevati dai restauratori campioni per analisi chimiche di laboratorio.

Il processo di elaborazione dei dati successivo alle misure, per il quale si sono considerati diversi rapporti spettrali ritenuti significativi per ciascuna delle due riprese fatte alle diverse posizioni del sistema, ha permesso, in sinergia con i restauratori, di ben evidenziare in alcuni casi le discontinuità dei materiali presenti sull'opera. L'elaborazione presentata in figura 5, ad esempio, mette in evidenza solo aree di forte discontinuità in corrispondenza dei punti dove erano presenti i cardini e dove, già in passato, sono stati fatti interventi di restauro. Prendendo, invece, in considerazione, le intensità di fluorescenza in altre bande spettrali (specificamente 340 e 380 nm), l'elaborazione ha permesso di evidenziare bene fessurazioni, come mostrato

in figura 6. Risulta, inoltre, evidente l'integrazione, in legno, nella parte bassa nell'interno della valva superiore.

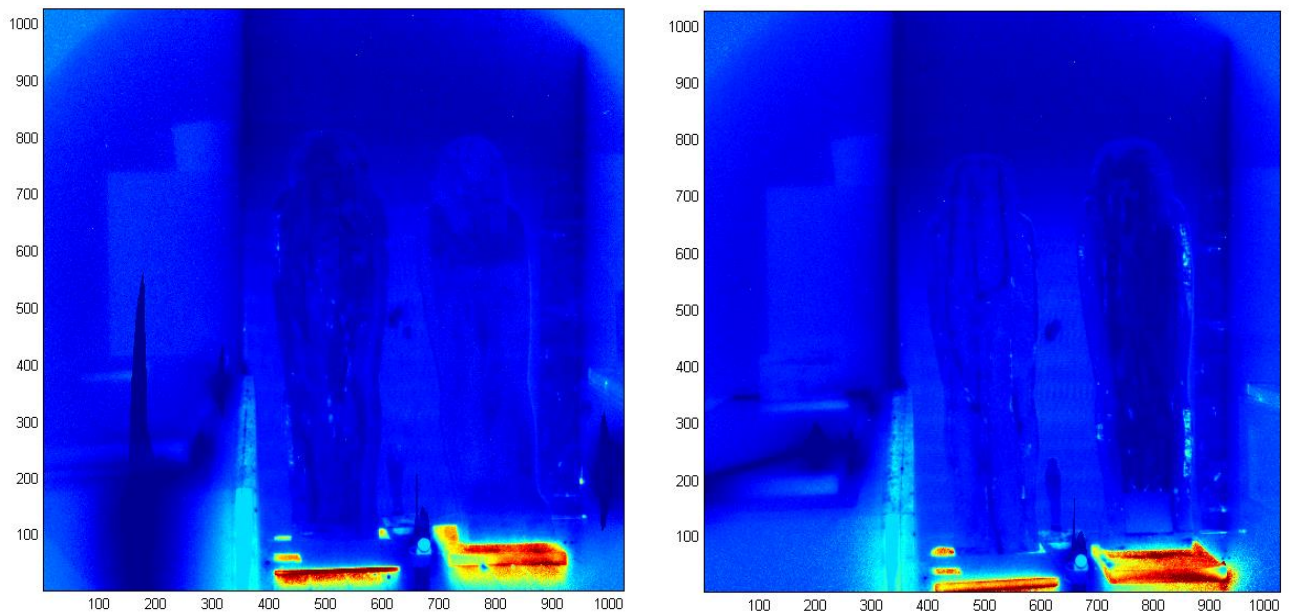


Figura 5. Immagini FORLAB in fluorescenza del sarcofago, interno valva inferiore - esterno valva superiore a sinistra e esterno valva inferiore - interno valva superiore a destra, ottenute dal rapporto delle rispettive immagini in fluorescenza filtrate a 315 e 445 nm.

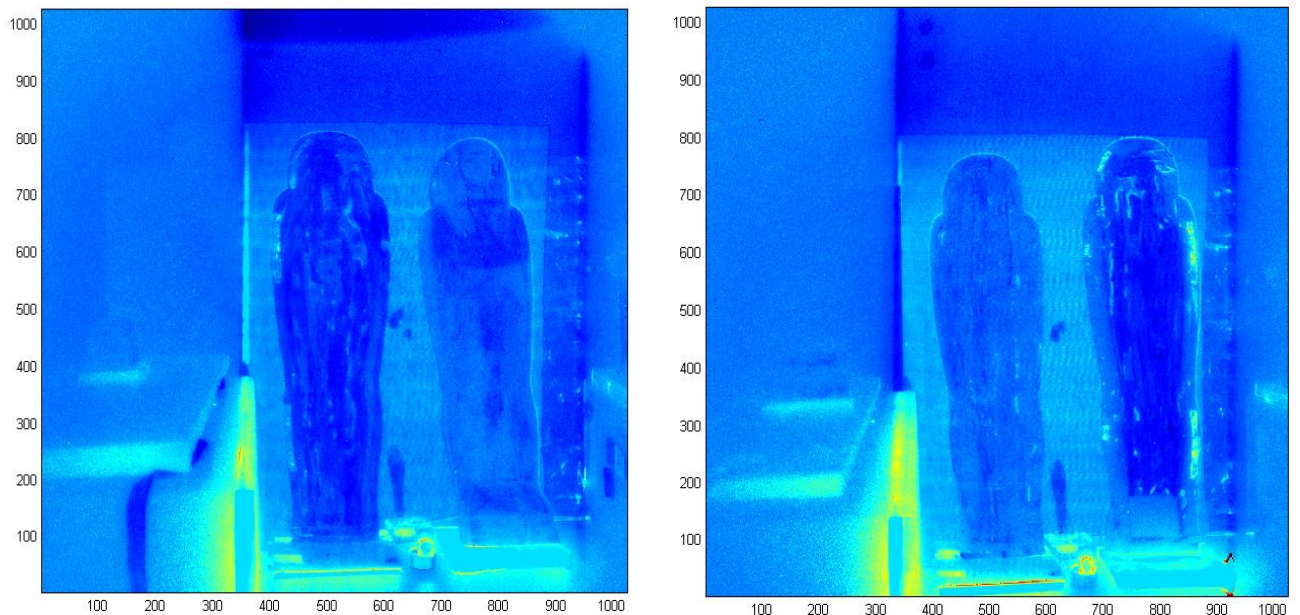


Figura 6. Immagini FORLAB in fluorescenza del sarcofago, interno valva inferiore - esterno valva superiore a sinistra e esterno valva inferiore - interno valva superiore a destra, ottenute dal rapporto delle rispettive immagini in fluorescenza filtrate a 340 e 380 nm.

Un'ulteriore elaborazione, presentata in figura 7, mette, invece, in evidenza la presenza di ritocchi,

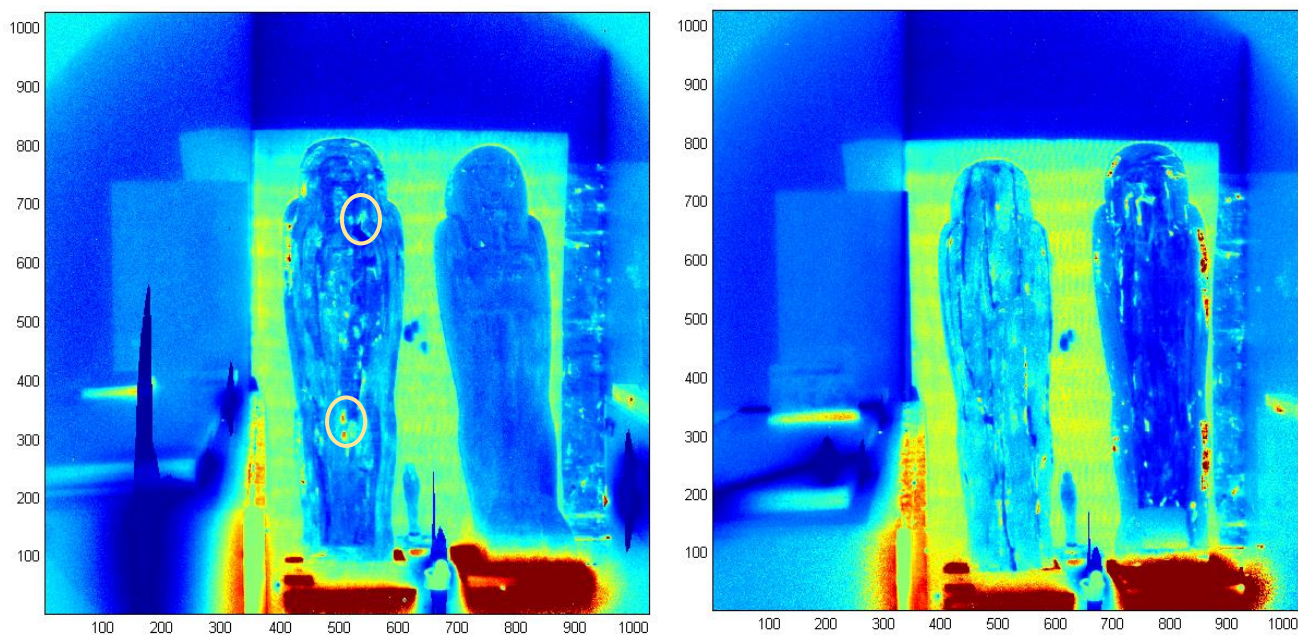


Figura 7. Immagini FORLAB in fluorescenza del sarcofago, ottenute dal rapporto delle rispettive immagini in fluorescenza filtrate a 340 e 445 nm.

completamente invisibili ad occhio nudo, soprattutto nelle parti interne delle valve, decorate. In corrispondenza di alcuni punti evidenziati dall'analisi e ritenuti particolarmente interessanti (cerchiati in figura), i restauratori faranno dei prelievi per svolgere delle analisi chimiche di laboratorio classiche per l'analisi dei materiali protettivi e conservativi utilizzati.

3.2. Misure LIFart sul Sarcofago di Pefitjauyuyaset

Su una porzione dell'interno della valva superiore sono state svolte misure LIF con il sistema puntuale (figura 8). Nell'immagine di fluorescenza filtrata a 340 nm, riportata in figura, oltre al disegno decorativo, sono ben evidenti alcune disomogeneità, rivelate anche dal sistema FORLAB, che corrispondono a differenti profili spettrali, riportati nel grafico in figura. In particolare, la banda principale centrata a circa 480 nm è tipica del carbonato di calcio e quindi è presente quasi ovunque in quanto costituente il substrato. La banda a 340 nm è tipica di polimeri sintetici acrilici utilizzati negli anni più recenti per interventi di restauro ed è localizzata principalmente in punti specifici alla destra e alla sinistra della figura della dea Nut. La stretta banda di emissione a 380 nm è presente in alcuni spettri relativi a specifici punti ed è probabilmente riferibile a miscele di ossido di zinco e acrilico. La presenza di tela sotto il dipinto è confermata dalla banda a 440 nm tipica della cellulosa, particolarmente evidente nella zona alla sinistra in basso dove è avvenuto il distacco dello strato superficiale. La banda di emissione a 580 nm potrebbe essere caratteristica di un pigmento, non di interesse per i restauratori in questo lavoro, e alcuni campioni sono stati prelevati per analisi di laboratorio.

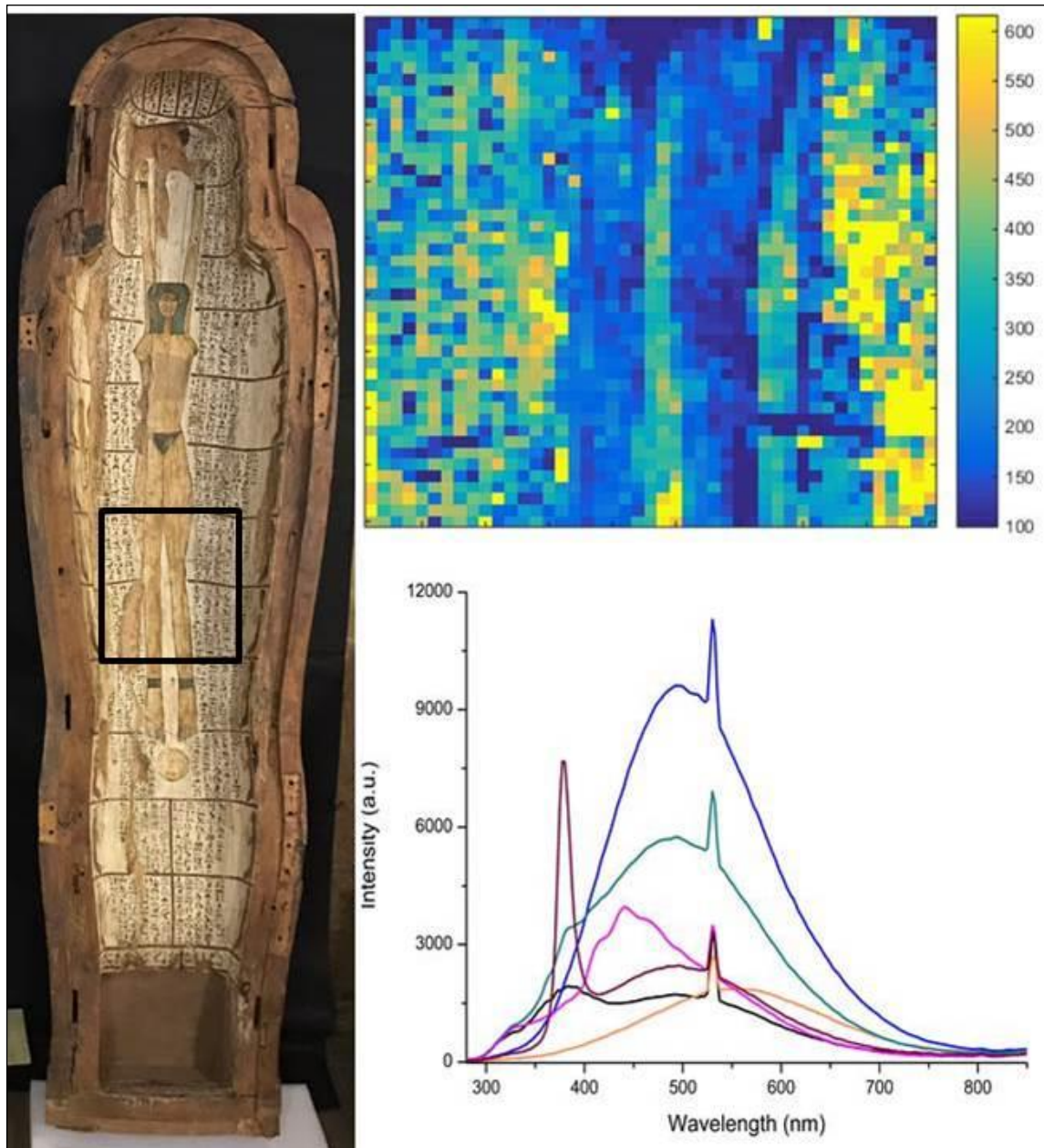


Figura 8. Area interna del sarcofago analizzata con il sistema LIF a scansione di punto (a sinistra circoscritta in nero); relativa immagine di fluorescenza filtrata a 340 nm (destra in alto) e spettri di fluorescenza sull'intero range spettrale 270-850 nm (destra in basso) ottenuti in punti differenti dell'area.

La capacità della tecnica di rivelare la presenza di materiali non chiaramente visibili ad occhio nudo è stata confermata anche da questi risultati. L'aspetto più interessante è la grande variabilità degli spettri da un punto all'altro della decorazione, sebbene ad occhio nudo non siano evidenti differenze significative.

3.3. Misure FORLAB sulla Cassa di Peftjauyuyaset

Misure del tutto analoghe con entrambe i sistemi sono state effettuate anche sulla cassa. In figura 9 è riportata l'immagine FORLAB di una porzione del lato della cassa, ottenuta dal rapporto delle immagini filtrate a 340 nm e 380 nm. Come si può osservare, anche per la cassa la discontinuità dei materiali superficiali risulta evidente dalle misure LIF per tutte le superfici.

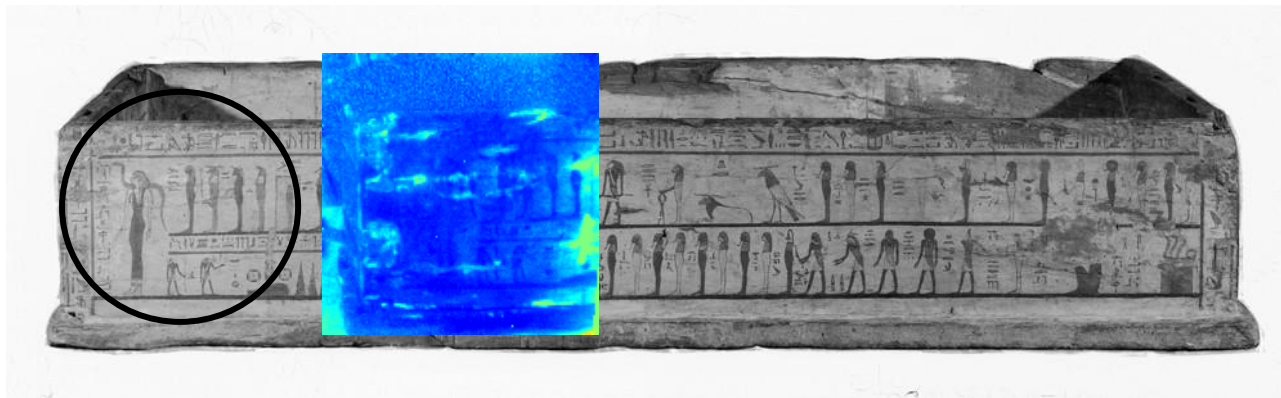


Figura 9. Immagine FORLAB (rapporto 340/380 nm) di una porzione del lato della cassa, evidenziata nel cerchio nero.

Le aree evidenziate nell'immagine corrispondono ad aree sottoposte a restauro mediante l'uso di materiali acrilici.

In figura 10 è riportata l'immagine FORLAB della dea alata Nefti sul lato corto della cassa. Le più intense emissioni di fluorescenza in questa immagine, in rosso, sono in corrispondenza di fessure e crepe e suggeriscono la presenza di un material acrilico probabilmente utilizzato come consolidante per il legno deteriorato.



Figura 10. Immagine FORLAB (filtrata a 340 nm) del lato corto della cassa. A sinistra la foto della stessa porzione di cassa.

3.4. Misure LIFart sulla Cassa di Peftjauyuyaset

Le discontinuità rivelate dal sistema FORLAB vengono confermate dal sistema LIF a scansione di punto che ne permette un'analisi più nel dettaglio. Nell'immagine di fluorescenza ottenuta con LIFart filtrata a 340 nm, riportata in figura 11, relativa alla porzione di cassa sul lato lungo analizzata, infatti, oltre al disegno decorativo sono ben evidenti le disomogeneità superficiali. In particolare, le aree colorate in giallo

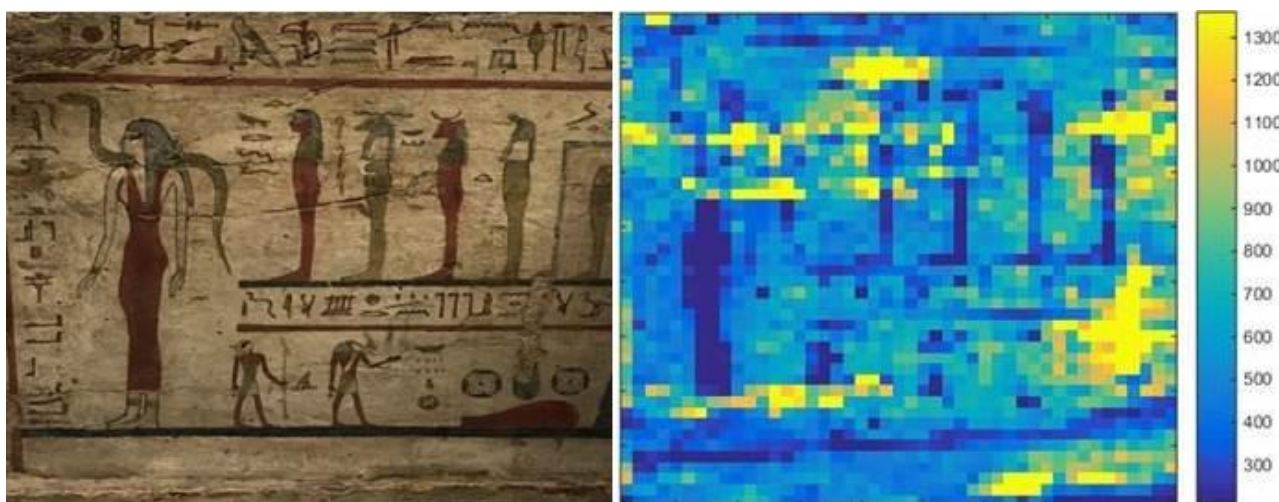


Figura 11. Area della cassa analizzata con il sistema LIF a scansione di punto (sinistra) e relativa immagine di fluorescenza filtrata a 340 nm (destra).

indicano intensi segnali di fluorescenza a 340 nm e confermano pertanto la presenza di materiale acrilico. Come si può osservare in figura, tale materiale è presente in diverse zone, ma è principalmente localizzato nelle fessure del legno dove probabilmente è stato utilizzato come materiale consolidante per il legno antico. Questo risultato è confermato anche dalle misure sul lato corto della cassa.

4. Conclusioni

I sistemi di analisi utilizzati basati sulla tecnica LIF possono essere utili strumenti diagnostici nel campo dei Beni Culturali. L'uso combinato di sistemi con differenti caratteristiche, come FORLAB e LIFart, può essere vantaggioso per l'ottimizzazione del lavoro di analisi. La riduzione del tempo di misura e un numero limitato di punti di campionamento possono essere ottenuti in questo modo. La disomogeneità dei materiali è stata messa in evidenza, mediante le immagini di fluorescenza e l'elaborazione dei dati, su tutte le superfici investigate. La presenza diffusa di materiali acrilici, generalmente utilizzata negli anni più recenti nella conservazione e nel restauro, è stata rivelata in tutte le superfici.

I risultati ottenuti dai sistemi LIF insieme ai risultati da tecniche standard di laboratorio, in sinergia con l'esperienza e la conoscenza dei restauratori può essere di grande utilità per ottimizzare I processi di restauro.

Ringraziamenti

Le attività di questo lavoro sono state supportate dal progetto COBRA (Sviluppo e diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la CONservazione dei Beni culturali, basati sull'applicazione di Radiazioni e di tecnologie Abilitanti), finanziato dalla Regione Lazio. Gli autori ringraziano il Museo Archeologico di Milano e il Consorzio Croma per l'opportunità offerta. Un particolare ringraziamento è rivolto dagli autori ai colleghi Marco Pistilli e Marcello Nuvoli per il fondamentale supporto logistico.

Bibliografia

1. Edwards H.G.M., Jorge Villar S. E. and Eremin K. A., "Raman spectroscopic analysis of pigments from dynastic Egyptian funerary artefacts", *J. Raman Spectrosc.* (2004) 35, 786–79.
2. Calza C., Freitas R. P., Brancaglioni A. Jr. and Lopes R. T., "Analysis of artifacts from ancient Egypt using an EDXRF portable system", 2011 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011, Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28, 2011 ISBN: 978-85-99141-04-5
3. Weibring P., Johansson T., Edner H., Svanberg S., Sundne'r B., Raimondi V., Cecchi G. and Pantani L., Fluorescence lidar imaging of historical monuments, *Appl. Opt.* (2001) 40, 6111-6120.
4. Pantani L., Ballerini G., Cecchi G., Edner H., Lognoli D., Johansson T., Raimondi V., Svanberg S., Tiano P., Tomaselli L., Weibring P., Experiments on stony monument monitoring by laser-induced fluorescence, *J. Cult. Herit.* (2000) 1:S345-S348.
5. Caneve L., Colao F., Fantoni R., Fiorani L., Scanning lidar fluorosensor for remote diagnostic of surfaces, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* (2013) 720, 164–167.
6. Colao F., Caneve L., Fantoni R., Fiorani L., Palucci A., Scanning hyperspectral lidar fluorosensor for fresco diagnostics in laboratory and field campaigns, in: *Lasers in the Conservation of Artworks*, M. Castillejo, P. Moreno, M. Oujja, R. Radvan, J. Ruiz (Eds.), Boca Raton, US, 2008
7. Caneve L., Colao F., Del Franco M., Palucci A., Pistilli M., Spizzichino V. Multispectral imaging system based on laser-induced fluorescence for security applications *Proc. SPIE 9995, Optics and Photonics for Counterterrorism, Crime Fighting, and Defence XII*, 999509 (November 16, 2016); doi: 10.1117/12.2240924

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
maggio 2019