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

ISSN/0393-3016

REPORT SULLA CAMPAGNA DI MISURE LIF, RAMAN, RGB-ITR SVOLTA PRESSO L'ISTITUTO SUPERIORE PER LA CONSERVAZIONE ED IL RESTAURO

L. CANEVE, F. COLAO, M. FERRI DE COLLIBUS, G. FORNETTI
M. FRANCUCCI, M. GUARNERI, A. PALUCCI, V. SPIZZICHINO

ENEA – Unità tecnica Sviluppo di Applicazioni delle Radiazioni
Centro Ricerche Frascati, Roma

A. DANIELIS

Ospite ENEA – Dottorando presso l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata

RT/2014/17/ENEA

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

REPORT SULLA CAMPAGNA DI MISURE LIF, RAMAN, RGB-ITR SVOLTA PRESSO L'ISTITUTO SUPERIORE PER LA CONSERVAZIONE ED IL RESTAURO

L. CANEVE, F. COLAO, M. FERRI DE COLLIBUS, G. FORNETTI,
M. FRANCUCCI, M. GUARNERI, A. PALUCCI, V. SPIZZICHINO

ENEA – Unità tecnica Sviluppo di Applicazioni delle Radiazioni
Centro Ricerche Frascati, Roma

A. DANIELIS

Ospite ENEA – Dottorando presso l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata

RT/2014/17/ENEA

I Rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina
http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici

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.

REPORT SULLA CAMPAGNA DI MISURE LIF, RAMAN, RGB-ITR SVOLTA PRESSO L'ISTITUTO SUPERIORE PER LA CONSERVAZIONE ED IL RESTAURO

L. CANEVE, F. COLAO, A. DANIELIS, M. FERRI DE COLLIBUS, G. FORNETTI, M. FRANCUCCI
M. GUARNERI, A. PALUCCI, V. SPIZZICHINO

Riassunto
In questo rapporto si riportano alcuni risultati delle indagini svolte da ENEA presso l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro di Roma su un'opera attribuita alla bottega di Jacopo Sansovino. L'oggetto interessato dall'intervento di ricerca e di restauro e' un bassorilievo in cartapesta su supporto ligneo raffigurante una Madonna con bambino risalente alla seconda metà del XVI secolo. Le indagini ENEA si sono svolte in 2 fasi. Nella prima fase sono state eseguite misure Raman e di fluorescenza e riflettanza mediante il sistema LIF (Laser Induced Fluorescence) Scanning; nella seconda fase l'opera è stata scansionata con il prototipo RGB- ITR (Red Green Blue – Imaging Topological Radar). Entrambe i sistemi LIF e RGB-ITR sono stati progettati e realizzati da UTAPRAD - DIM dell'ENEA di Frascati. Le immagini LIF raccolte hanno permesso di rivelare discontinuità riconducibili a possibili diverse forme di degrado e di interventi di restauro, evidenziando inoltre la presenza di un legante acrilico in zone ben definite. Le misure Raman hanno consentito di individuare i pigmenti usati in specifiche zone dell'opera. I risultati ottenuti con il sistema RGB-ITR in questa prima campagna di misure hanno permesso di investigare l'opera di Sansovino con metodologie non consentite dalle normali fotografie. In particolare è possibile osservare l'opera ad ingrandimenti estremamente spinti senza perdere in risoluzione e da qualunque angolazione. Attraverso la comparazione di possibili digitalizzazioni della stessa opera sarà possibile, in futuro, determinare modificazioni non solo di tipo strutturale, ma anche colorimetrico. La sovrapposizione dei dati provenienti dallo scanner LIF su quelli 3D-colorimetrici consentirà una lettura multisensoriale dell'opera.

Parole chiave: fluorescenza indotta da laser, LIF, Raman, RGB-ITR, pigmenti, restauro.

REPORT ON CAMPAIGN OF LIF, RAMAN, RGB-ITR MEASUREMENTS AT THE ISTITUTO SUPERIORE PER LA CONSERVAZIONE ED IL RESTAURO

Abstract
In this report some results of the investigation carried out by ENEA at ISCR (Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro) on an artwork attributed to Jacopo Sansovino are reported. The object of interest for research and restoration is a papier-mache bas relief on wood representing the Virgin with child dated at XVI century. The ENEA analyses have been developed in two phases. In the first one Raman and fluorescence/reflectance measurements have been done by LIF (Laser Induced Fluorescence) scanning; in the second one the artwork has been scanned by the prototype RGB-ITR (Red Green Blue-Imaging Topological Radar). Both systems LIF and RGB-ITR have been designed and performed by UTAPRAD – DIM of ENEA Frascati. The collected LIF images allowed to reveal discontinuity ascribable to different degradation or restoration processes, further putting in evidence the presence of an acrylic binder in well defined areas. The Raman measurements allowed to individuate the pigments used in specific areas of the artwork. The results obtained by RGB-ITR in this first campaign of measurements permitted to investigate the Sansovino's artwork with methodologies not allowed by conventional pictures. In particular, it is possible to observe the artwork with very high enlargement without reducing resolution and from everywhere. Through the comparison of possible digitalizations of the same artwork, the determination of modifications, not only structural but also colorimetric, will be possible in the future. The overlap of data from LIF scanner and the 3D-colorimetric ones will allow a multisensorial lecture of the artwork.

Key words: *laser induced fluorescence, LIF, Raman, RGB-ITR, pigments, restoration.*

REPORT SULLA CAMPAGNA DI MISURE LIF, RAMAN, RGB-ITR SVOLTA PRESSO L'ISTITUTO SUPERIORE PER LA CONSERVAZIONE ED IL RESTAURO

1. Introduzione

L'oggetto interessato dall'intervento di ricerca e di restauro e' un bassorilievo raffigurante una Madonna con bambino attribuito alla bottega di Jacopo Sansovino delle dimensioni di 1,27 x 1,02 m e risalente alla seconda metà del XVI secolo. Il rilievo è realizzato in cartapesta ed è inchiodato su un supporto ligneo.

Figura 1. L'opera indagata

Le indagini ENEA si sono svolte in 2 fasi. Nella prima fase sono state eseguite misure Raman e di fluorescenza e riflettanza mediante il sistema LIF (Laser Induced Fluorescence) scanning progettato

e realizzato dall'ENEA, nella seconda fase l'opera è stata scansionata con il prototipo di RGB- ITR (Red Green Blue – Imaging Topological Radar) del Laboratorio DIM dell'ENEA di Frascati.

2. Misure di Fluorescenza Indotta da Laser (LIF)

Il sistema prototipo utilizzato per la campagna di misure (figura 2) è costituito sostanzialmente da un laser operante a 266 nm, un sistema di ottiche per la guida del fascio e la raccolta del segnale e un detector e permette di ottenere informazioni di interesse analitico e qualitativo su superfici di diverso tipo attraverso lo studio dell'emissione di fluorescenza indotta dalla radiazione laser (Laser Induced Fluorescence).
Il sistema è portatile, lavora a distanza (fino a 20 m), è non invasivo e i tempi di scansione e acquisizione sono assai rapidi. Per tali motivi è già stato applicato con buoni risultati nel campo dei beni culturali [1,2,3].

Figura 2. il sistema LIF a scansione di linea utilizzato

In questo caso il sistema è stato posizionato a circa 3 metri dall'opera e le misure si sono svolte in una giornata. La scansione dell'intera opera, per ottenere una buona risoluzione spaziale dei dati, è stata eseguita suddividendo idealmente la superficie dell'opera in 6 strisce contigue di dimensione ciascuna circa 16x130cm ed effettuando quindi 6 scansioni successive, una per ciascuna striscia, che sono state denominate da sinistra a destra S01, S02, S03, S04, S05, S06.

Un software appositamente sviluppato permette di elaborare i dati acquisiti dal sistema ottenendo, dall'analisi degli spettri registrati per ogni singolo pixel in cui è stata suddivisa la superficie, immagini di fluorescenza e riflettanza che possono fornire indicazioni su stato di conservazione, interventi di restauro, materiali utilizzati.

Nella figura seguente (figura 3) sono mostrate le immagini ricostruite mediante l'unione dei risultati relativi a ciascuna striscia, in riflettenza (a sinistra) e in fluorescenza a singola banda a 450nm, in bianco e nero (a destra).

Figura 3. Immagine da sistema LIF in riflettanza (sinistra) e fluorescenza (destra)

Passiamo ad analizzare le misure in maggiore dettaglio e prendiamo in considerazione i risultati relativi alla striscia S01. Nella figura 4 è riportata a titolo di esempio l'immagine in fluorescenza ottenuta a 446 nm per S01. Il rosso identifica i pixel con alta intensità di emissione di fluorescenza, mentre il blu quelli con bassa fluorescenza.

Dato il grande numero di variabili all'interno di ciascuno spettro (512 lunghezze d'onda a cui è registrato il valore di intensità del segnale emesso), l'utilizzo di metodi statistici, come la PCA (Principal Component Analysis), permette di ridurre il numero di variabili significative effettuando una decomposizione in componenti spettrali ed identificando le bande di emissione che racchiudono la maggiore varianza [3].
Nel caso di S01, con la PCA sono state individuate 2 bande significative a 300 nm e 446 nm e 2 bande di minore intensità a 380 nm e 580 nm (come si nota dalla figura 4 nel grafico riportato a destra).

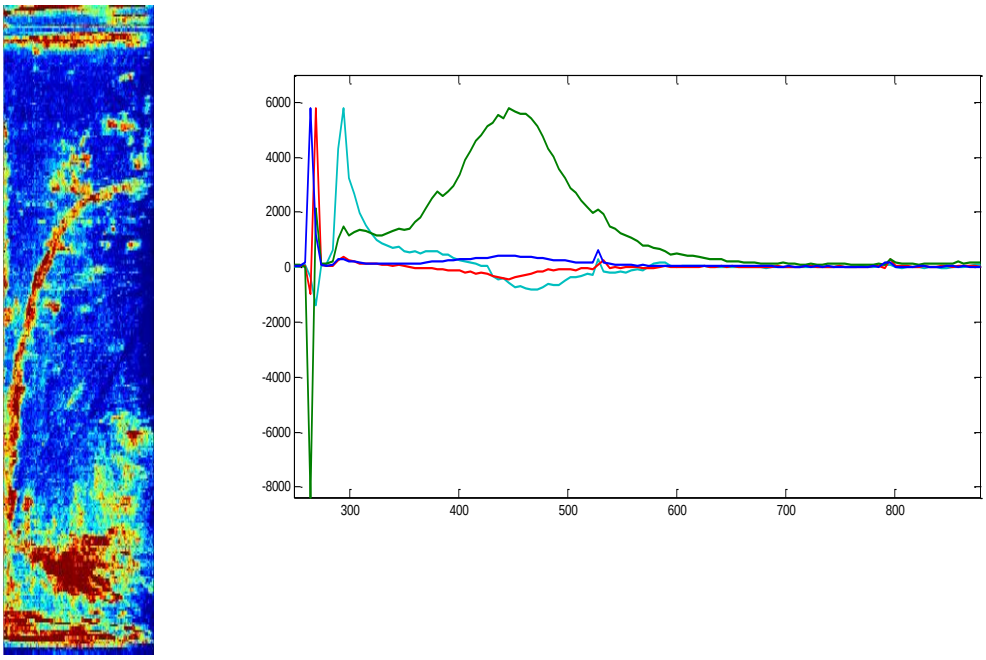


Figura 4. Immagine LIF a 446 nm (sinistra) e relativa analisi in componenti principali (PCA) (destra).

Alla luce di questo risultato, le immagini in fluorescenza ottenute a 446, 380 e 300 nm sono state combinate per ricostruire un'immagine a falsi colori, mediante il metodo RGB come illustrato in figura 5, che permette una percezione visiva immediata del risultato.

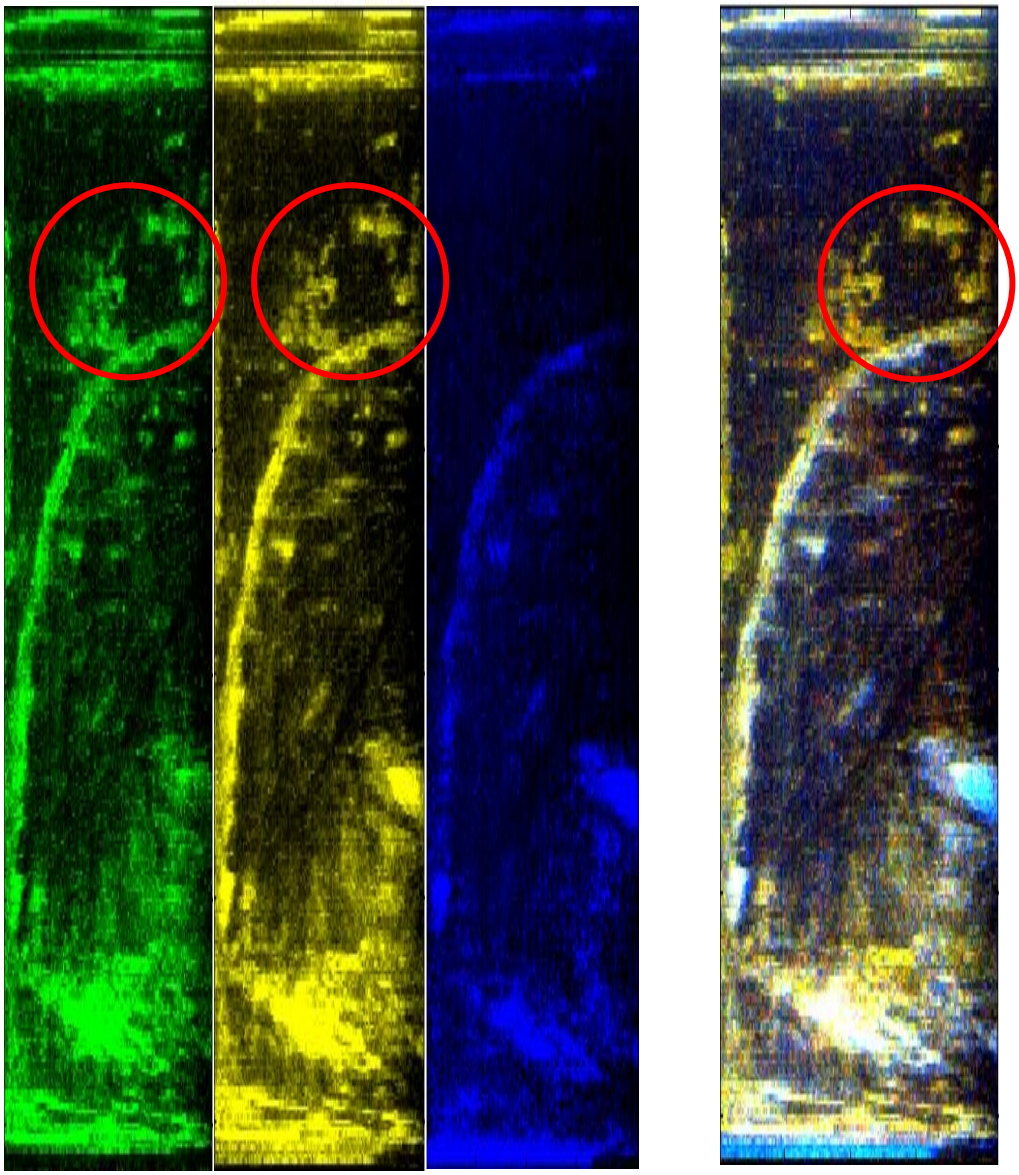


Figura 5. Immagine RGB in falsi colori (a destra) da immagini in fluorescenza a 446, 380 e 300 nm rispettivamente (a sinistra).

Come si può osservare, la zona circolare sovrastante la spalla della vergine (cerchiata in rosso), ad esempio, è ben visibile nelle immagini filtrate a 446 e 380 nm, ma del tutto assente a 300 nm, escludendo la presenza di sostanze polimeriche acriliche correlate a tale banda, come vedremo in seguito.

L'analisi spettrale di tali zone di disomogeneità può permettere l'individuazione di aree sottoposte a trattamenti differenti o costituite da materiali differenti. Ciò è possibile anche grazie al confronto con spettri di riferimento di sostanze note. Lo spettro di fluorescenza di un lino del 1600, soggetto ad invecchiamento naturale e misurato in precedenza, è stato messo a confronto con lo spettro mediato ottenuto su una zona dell'opera di Sansovino senza ritocchi (figura 6). E' stato, così, possibile mettere in evidenza la fluorescenza della cellulosa presente nella cartapesta, segnale a banda larga a 450 nm che domina quasi l'intera opera.

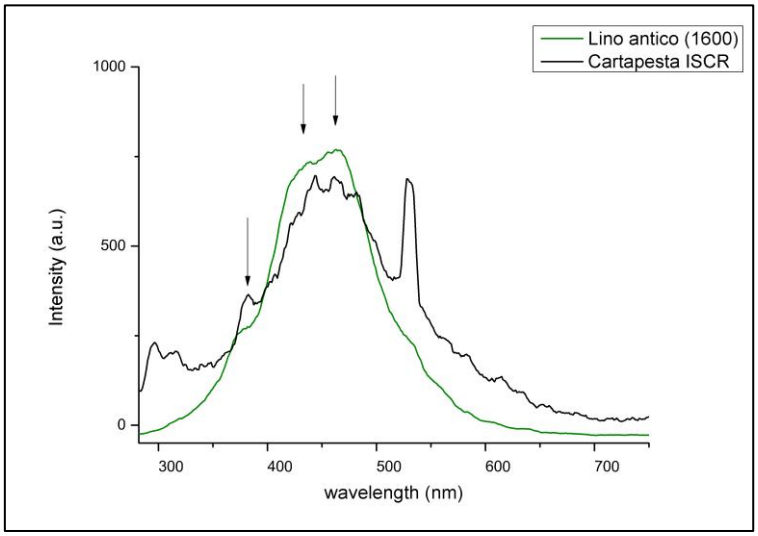


Figura 6. Confronto tra spettro di un lino del 1600 (verde) e spettro di un'area senza ritocchi dell'opera. In entrambi sono evidenti le bande di fluorescenza della cellulosa. Eccitazione a 266 nm.

Grazie al confronto con la letteratura a disposizione e con spettri di riferimento ottenuti in precedenza in laboratorio, la banda tra 290 e 300 nm messa in evidenza dalla PCA è stata attribuita alla presenza di materiale polimerico di carattere acrilico, quale ad esempio paraloid B72 o primal IC33. Questa identificazione è particolarmente interessante in quanto permette di mettere in evidenza aree soggette a precedenti interventi di restauro non individuabili ad occhio nudo o ad escluderne la presenza, come abbiamo visto in precedenza.
Un confronto con dati di riferimento è stato svolto anche per la caratterizzazione delle aree delle giunture tra opera e pannello.
Nella figura 7 sono mostrati gli spettri di fluorescenza di due diversi punti di discontinuità dell'opera a confronto con lo spettro di riferimento del gesso e con lo spettro mediato su una piccola area del pannello su cui posa il bassorilievo. Negli spettri relativi all'opera è sempre ben visibile la fluorescenza della cellulosa, mentre sembrano completamente assenti i segnali dovuti alla fluorescenza del $CaSO_4$, in particolare l'intensa banda a 505 nm e quella a 340 nm.

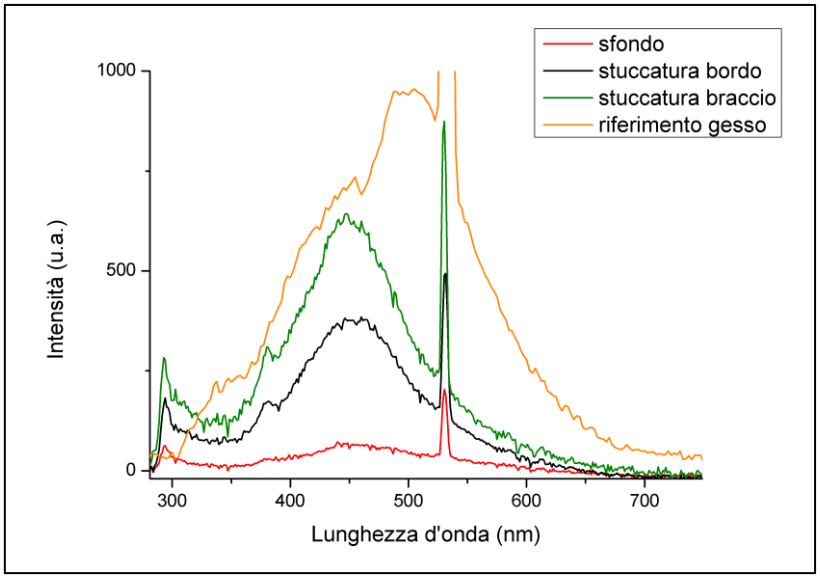


Figura 7. Confronto tra spettro di riferimento del gesso ($CaSO_4$) e di diversi punti dell'opera.

In figura 8, grazie all'uso dei falsi colori, è messa in evidenza una zona con una forte presenza di consolidante (cerchiata in rosso), mentre nelle aree cerchiate in blu domina il segnale attribuibile alla cellulosa. Nella figura è riportata per riferimento l'immagine ottenuta in riflettanza. Le bande relative alla cellulosa subiscono nelle diverse aree delle variazioni nelle intensità relative, ciò potrebbe essere ricondotto a differenti gradi di invecchiamento della cellulosa e, quindi, a degradazioni a livello molecolare.

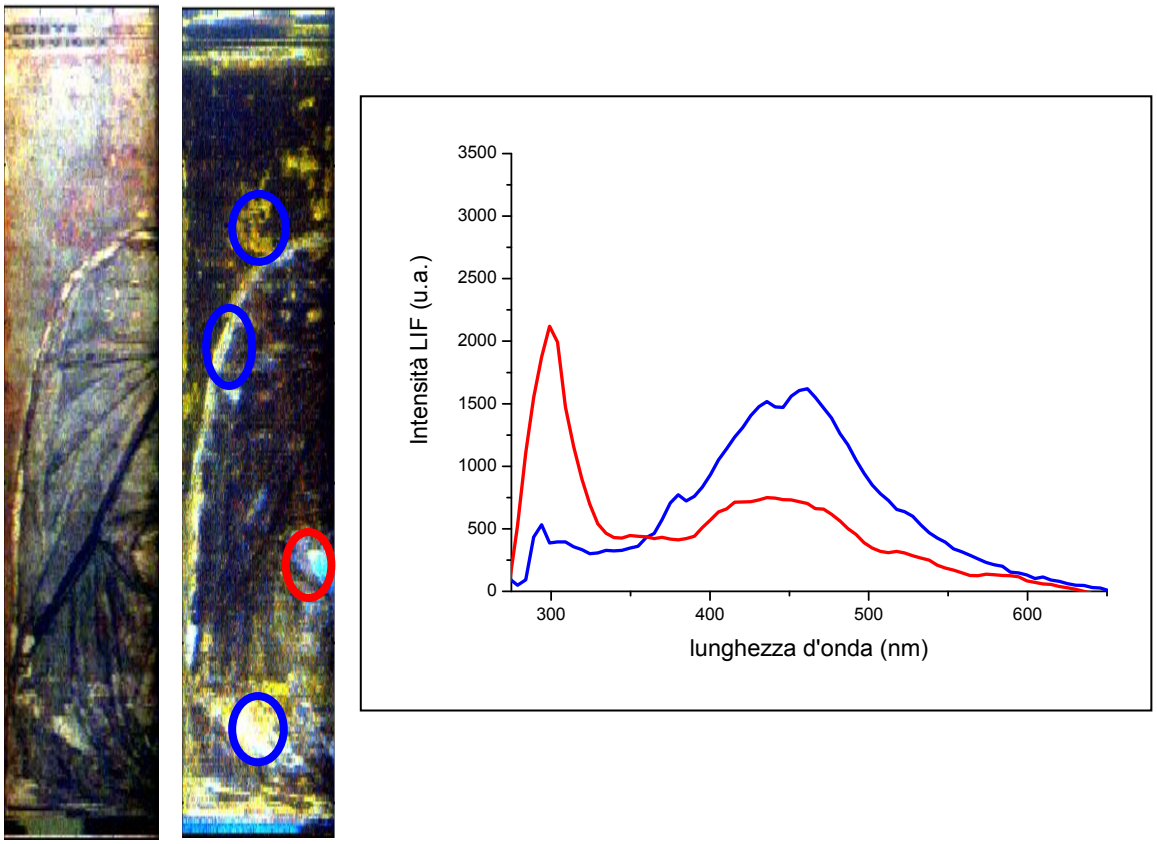
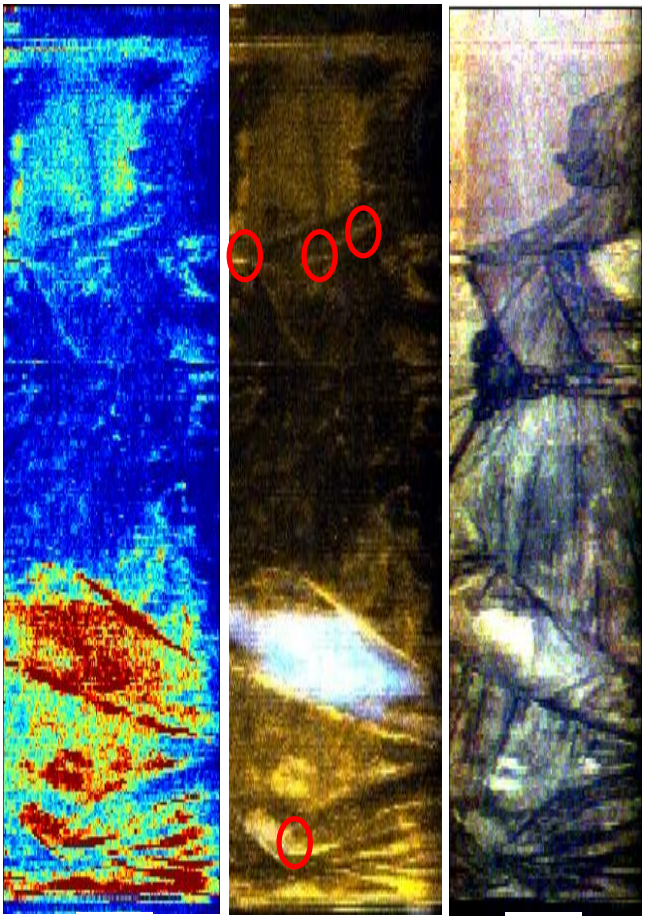


Figura 8. Spettri di fluorescenza relativi alle zone cerchiate nella immagine in fluorescenza. A sinistra è riportata come riferimento l'immagine ottenuta dalla misura di riflettenza.

Un'analisi del tutto analoga è stata applicata anche alle altre scansioni.

Le medesime bande di fluorescenza sono state individuate in S02 (figura 9) con una evidente presenza di sostanza acrilica nella zona che appare bianca nell'immagine in falsi colori. Una emissione a 580 nm (figura 10) è stata misurata nella stessa area e potrebbe essere attribuita a gommalacca, a conferma delle analisi effettuate presso il laboratorio di chimica di ISCR. Ulteriori indagini sono in corso. Nessuna differenza si evidenzia tra il segnale di fluorescenza relativo alla zona "non pulita" e quello relativo alla vicina zona sottoposta a pulizia.



a) b) c)

Figura 9. Immagine di S02 in fluorescenza a 450 nm (a), in falsi colori (b) e in riflettanza (c).

In alcuni punti molto ben localizzati e delimitati di questa area, evidenziati da un cerchio in rosso nell'immagine in falsi colori riportata in figura 9b, lo spettro di fluorescenza è caratterizzato da un'intensa stretta emissione a 380 nm (figura 10) attribuibile alla presenza di bianco di zinco [4].

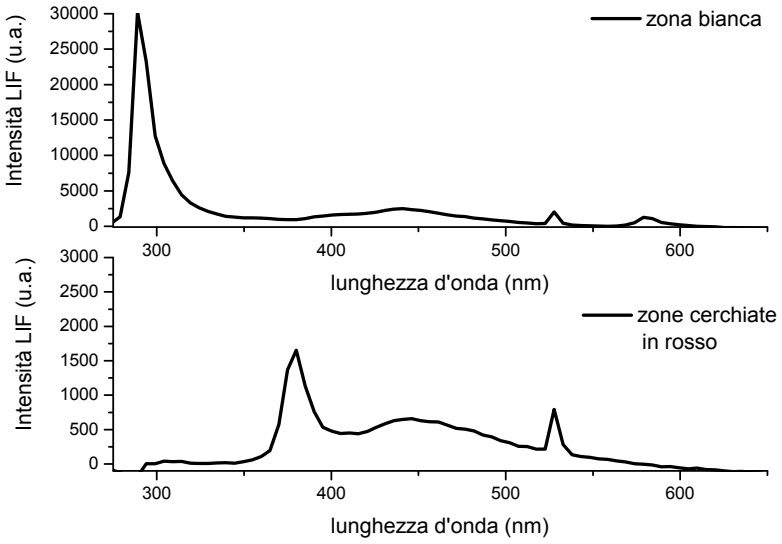


Figura 10. Spettri di fluorescenza di S02 relativi alla zona bianca (in alto) e alle zone cerchiate in rosso (in basso) di figura 9b.

Particolarmente interessanti sono i risultati relativi a S03. Come si può osservare nell'immagine in falsi colori riportata nella figura 11, a confronto con l'immagine in riflettanza, la presenza di acrilico, correlata all'emissione di fluorescenza a 300 nm ed evidenziata in blu, risulta ben distinta dal resto e ben localizzata.

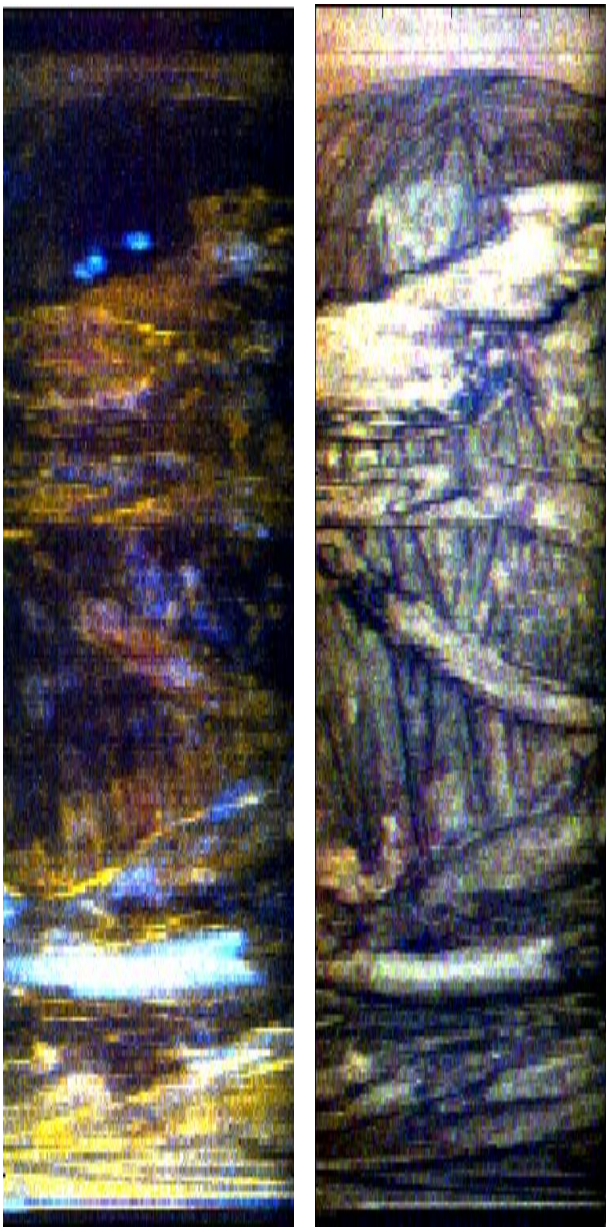


Figura 11. Immagine di S03 in fluorescenza a falsi colori a 300, 380 e 446 nm e in riflettanza.

Nelle figure che seguono (figure 12,13,14) sono riportate alcune immagini relative alle scansioni delle diverse aree.

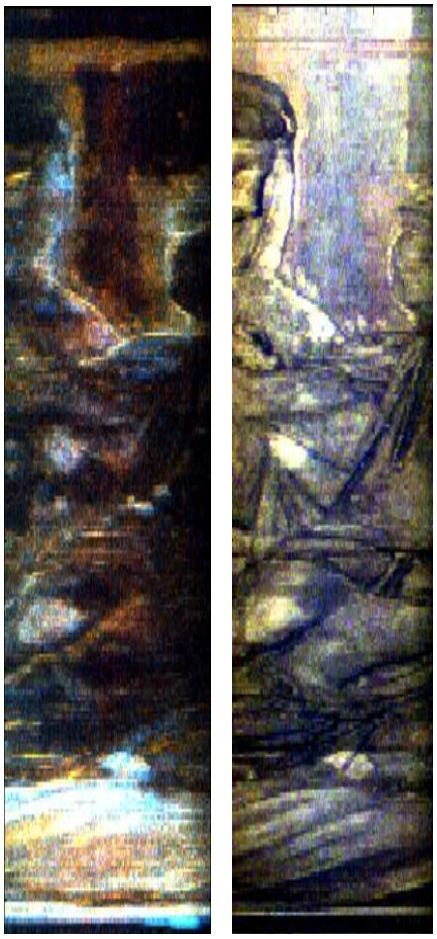


Figura 12. Immagine di S04 in fluorescenza a falsi colori a 300, 380 e 446 nm e in riflettanza.

Figura13. Immagine di S05 in fluorescenza a falsi colori a 300, 380 e 446 nm e in riflettanza.

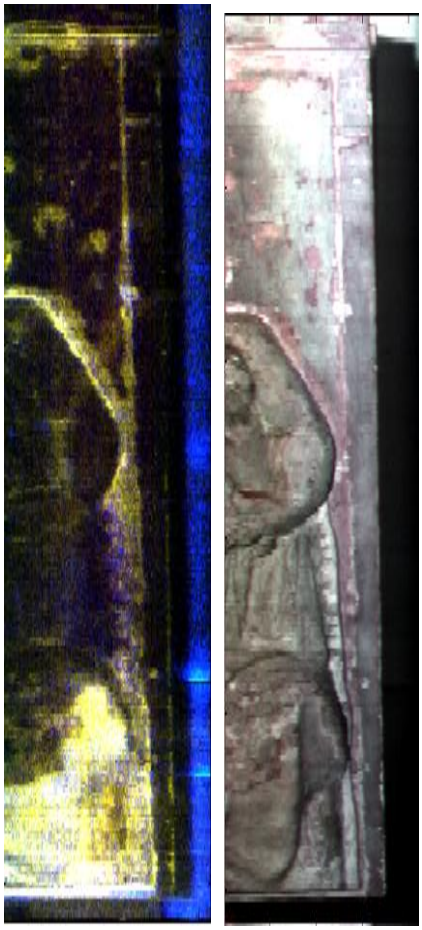


Figura14. Immagine di S06 in fluorescenza a falsi colori a 300, 380 e 446 nm e in riflettanza.

In conclusione, le misure svolte presso ISCR hanno confermato che il sistema LIF a scansione è un'efficace tecnica di analisi puntuale non invasiva. La capacità di eseguire l'indagine da una distanza di alcuni metri e in tempi rapidi può rendere tale sistema particolarmente vantaggioso.
Nonostante la presenza diffusa sull'intera superficie dell'opera di un segnale di fluorescenza dovuto alla cellulosa, la tecnica ha permesso di individuare zone di discontinuità riconducibili a possibili diverse forme di degrado e di interventi di restauro.
La tecnica ha inoltre evidenziato la presenza in zone ben definite di un legante acrilico e di bianco di zinco.

3. Misure di spettroscopia Raman

Le misure sono state fatte su differenti punti dell'opera (pigmenti, cartapesta, sfondo pulito, semipulito e sporco) con lo strumento commerciale i-Raman BWTek con sorgente laser a 785 nm, risoluzione spettrale di 3cm-1 , copertura da 0 a 4000cm-1 e CCD array da 2048 pixel raffreddata, con sonda per misure in situ.

Le misure hanno permesso il riconoscimento di vari pigmenti, come qui di seguito illustrato.

Riconoscimento dei pigmenti:

1. Rosa (pulito) volto angelo (ferma manto della Vergine)

Figura 15.Dettaglio del volto dell'angelo su cui è stata fatta la misura e posizionamento rispetto all'opera.

Il pigmento risulta costituito da cinabro (vermiglione) e bianco di piombo ($PbCO_3$).

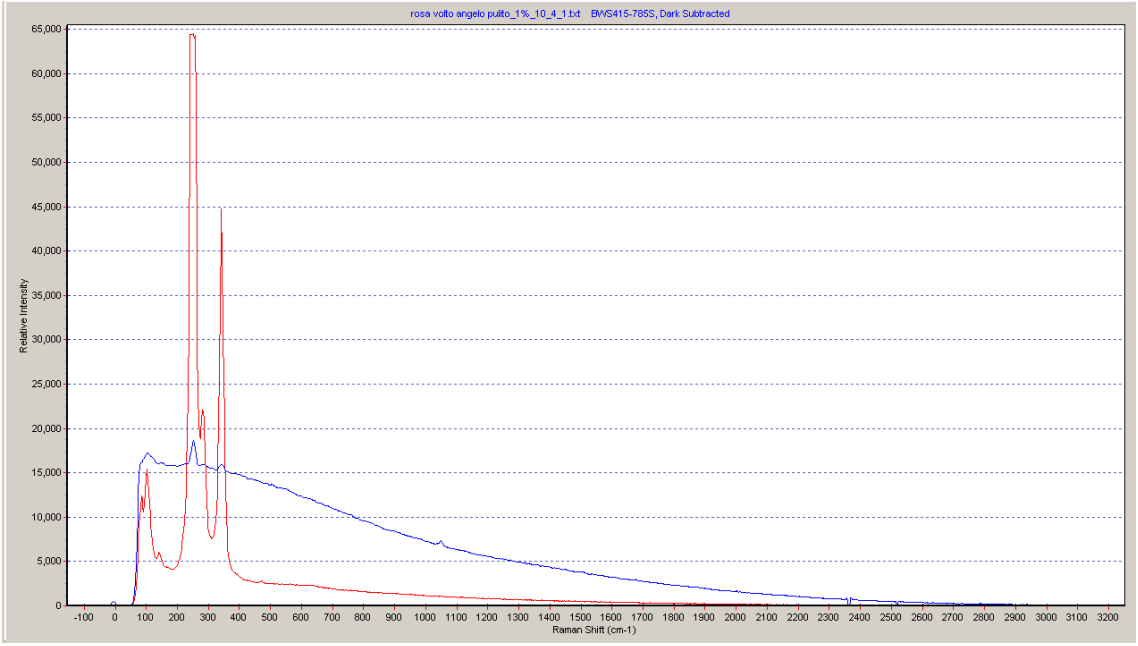


Figura 16. Confronto tra spettro Raman di riferimento del cinabro (rosso) e spettro acquisito in situ.

Il riconoscimento è fatto sia sulla base della letteratura di riferimento [5, 6], sia sulla base di spettri raccolti in laboratorio su campioni certificati. Le bande presenti nello spettro sono così attribuibili:

Cinabro: 101, 153, 253, 283, 342 cm^{-1} Bianco di piombo: 1050 cm^{-1}

2. Rosso (decorazioni)

Figura 17.Dettaglio della decorazione su cui è stata fatta la misura e posizionamento rispetto all'opera.

Il pigmento risulta essere cinabro (vermiglione).

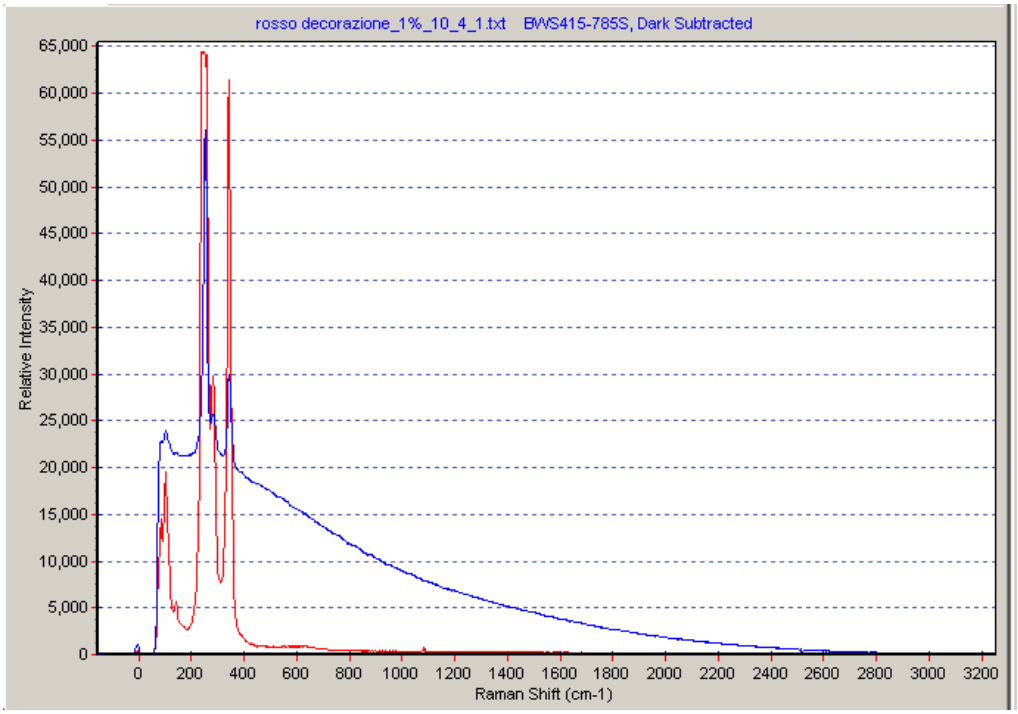


Figura 18. Confronto tra spettro Raman di riferimento del cinabro (rosso) e spettro acquisito in situ (rosso).

In blu lo spettro acquisito sul rosso delle decorazioni (dove è presente un forte fondo di fluorescenza dovuto alla cartapesta sottostante), in rosso il riferimento (spettro su campione steso di cinabro).

3. Aranciato sotto doratura

Figura 19. Dettaglio del decoro su cui è stata fatta la misura e posizionamento rispetto all'opera.

Il pigmento risulta essere minio (Pb_3O_4, anche detto rosso di piombo) sia dal confronto con la letteratura che da quello con gli spettri di riferimento acquisiti in laboratorio.

Sebbene parzialmente coperto da un segnale di fluorescenza, i picchi identificabili nelle misure fatte sull'opera di Sansovino sono a 120, 149, 223, 338, 399, 549 cm^{-1}. Si trova perfetta corrispondenza in letteratura [7].

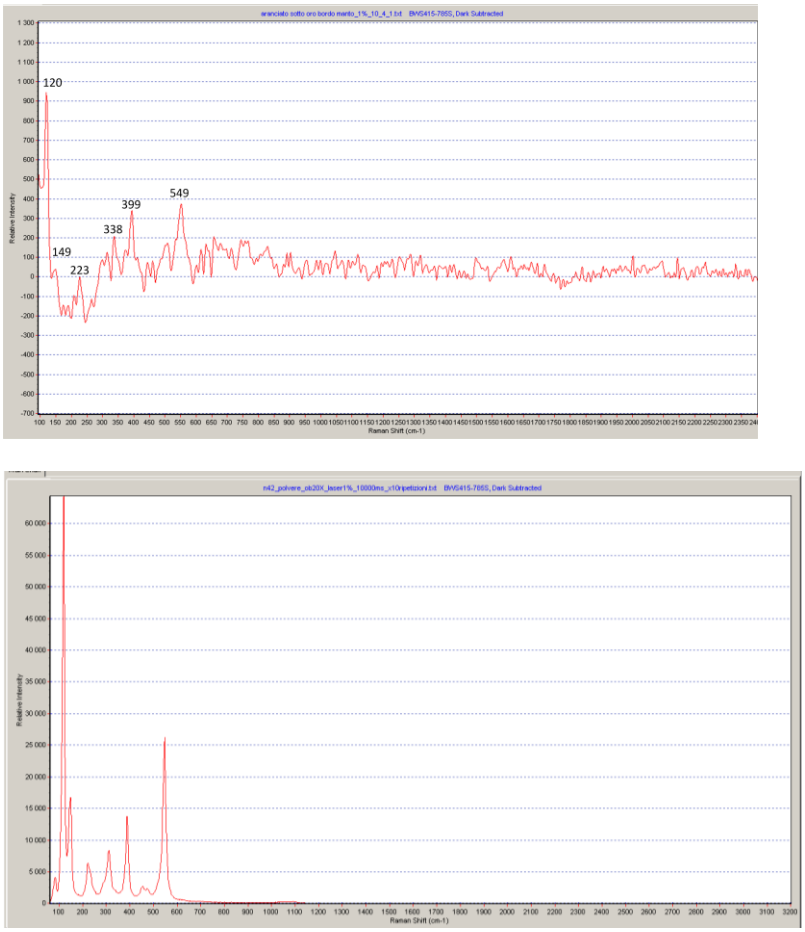


Figura 20. Spettro Raman con sottrazione automatica del fondo di fluorescenza raccolto in situ (in alto) e spettro di riferimento del minio (in basso).

In figura 20 sono riportati lo spettro in situ su opera in cartapesta di Sansovino in alto (con sottrazione automatica del fondo di fluorescenza) e lo spettro relativo alle misure di laboratorio su minio in polvere (obiettivo 20x, laser 1%, 10s, 10 ripetizioni) in basso.

4. Rosso (capelli bambino)

Figura 21. Dettaglio dei riccioli del bambino su cui è stata fatta la misura e posizionamento sull'opera.

A differenza di quanto suggerito, il pigmento non risulta essere gommalacca, ma un pigmento a base di terre. Sono, in particolare, ben visibili i picchi dovuti a vibrazioni di silicati ed alluminati (412 cm^{-1}, 635 cm^{-1}).

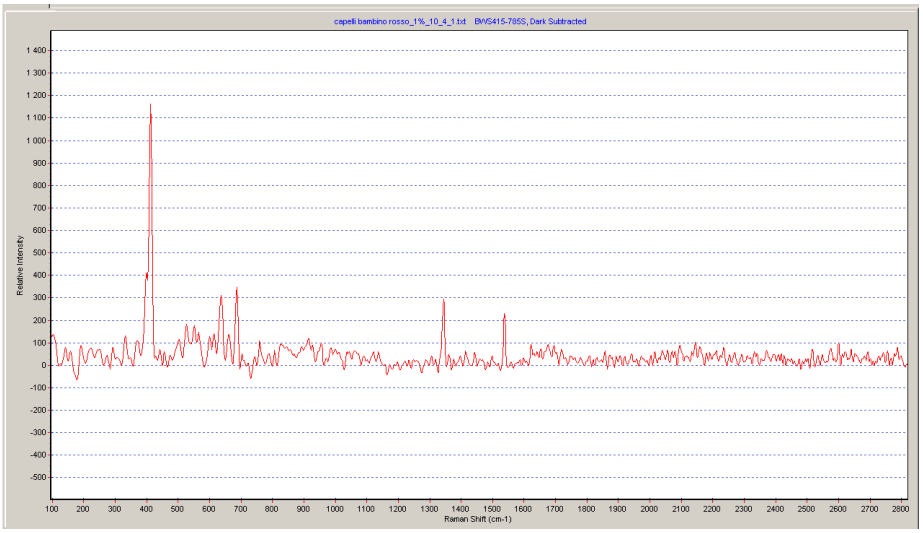


Figura 22. Sspettro Raman con sottrazione automatica del fondo di fluorescenza raccolto in situ sui capelli del bambino.

Gli spettri raccolti sullo sfondo (sporco e pulito) e su vari punti della cartapesta sono affetti da un intenso segnale di fluorescenza che non permettere di rintracciare eventuali deboli segnali Raman.

4. Misure con sistema RGB – ITR

La cartapesta in bassorilievo raffigurante una Madonna con Bambino e attribuita a Jacopo Sansovino è stata oggetto di indagine dello strumento prototipale sviluppato nei laboratori di ENEA C.R. Frascati - UTAPRAD-DIM denominato RGB-ITR (Red Green Blue - Imaging Topological Radar) (figura 23). Anche se tale strumento può essere classificato come digitalizzatore tridimensionale, alcune caratteristiche tecnologiche lo rendono unico nel suo genere soprattutto nel campo della diagnostica remota [8, 9]. L'impiego di tre fasci laser modulati in ampiezza e una procedura di calibrazione basata sull'illuminazione di un target bianco calibrato posto a diverse distanze permettono l'acquisizione contemporanea di dati strutturali e colorimetrici per ogni singolo punto della scena investigata. Un altro vantaggio nell'impiego di fasci laser, anziché di fotocamere tradizionali, per l'acquisizione del colore è l'assenza di influenza da parte di sorgenti luminose esterne.

Nonostante il sistema RGB-ITR sia stato sviluppato per la digitalizzazione di grandi ambienti, i vantaggi derivanti dall'uso di questa tecnologia per opere più piccole hanno una notevole rilevanza in termini di supporto alla fase di conservazione e restauro, alla catalogazione e, ovviamente, alla fruizione. Inoltre le analisi che si possono eseguire con tale strumento permettono la comparazione nel tempo dei dati morfologici e colorimetrici in modo da rilevare possibili modificazioni dell'opera stessa.

Il seguente documento riporta alcuni dei risultati preliminari ottenuti durante la fase di digitalizzazione e post-produzione dell'opera sopra descritta.

Figura 23. Sistema RGB - ITR.

(a) Una vista del modello 3D. (b) Dettaglio sul modello 3D a colori.

Figura 24. Modello 3D a colori della Madonna con Bambino.

5. Metodologia adottata per la digitalizzazione

L'acquisizione della Madonna con Bambino con lo strumento RGB-ITR è stata eseguita con i seguenti parametri:

Caratteristiche tecniche	Parametri
Distanza strumento/cartapesta	3.50m
Dimensione della spot laser	0.45mm
Distanza laterale tra due punti acquisiti	0.30mm
Numero di punti acquisiti (LxA)	9001x10851

6. Analisi dei risultati

In questa sezione mostriamo alcuni dei risultati ottenuti elaborando via software i dati acquisiti attraverso il sistema RGB-ITR.

6.1 Modello 3D

Il modello 3D con informazioni colorimetriche consente una rapida ispezione dell'oggetto digitalizzato, permettendo di osservare dettagli con un'elevata capacità di zoom. La figura 24 mostra in (a) una visione d'insieme del modello 3D acquisito, mentre in (b) mostra un dettaglio ottenuto direttamente dallo zoom sul modello 3D. In questo caso la visione del colore è subordinata all'illuminazione del software di visualizzazione di oggetti 3D.

6.2 Profilometria

La possibilità di acquisire la struttura di un oggetto consente di ispezionarlo in tutta la sua interezza e di fare alcune analisi che se eseguite sull'opera stessa potrebbero risultare invasive.
Tra queste possiamo trovare la profilometria: in un bassorilievo come quello investigato si potrebbe eseguire solo con degli strumenti che dovrebbero essere posti a contatto con la

superficie dell'opera stessa, con il rischio di provocare danni meccanici anche irreversibili. La figura 25 mostra il profilo lungo una linea selezionata consentendo una visione di insieme e metrica di come si sviluppa il bassorilievo (ad es. il viso del Bambino sporge di circa 4 cm rispetto al collo della Madre). Ovviamente tale analisi può essere eseguita in modo continuo su tutta l'opera, permettendo il rilevamento e la misurazione di difetti (ad es. lacune) all'interno dell'opera.

6.3 Isocurve

Un'altra analisi correlata all'acquisizione strutturale dell'opera è la possibilità di individuare zone poste ad una stessa quota: in questo caso la superficie dell'opera viene trattata come se fosse un terreno montuoso e le zone alla stessa quota sono contornate da una curva chiusa chiamata isocurva. L'etichetta su ogni curva indica a quale quota si riferisce. La figura 26 mostra alcune delle isocurve che possono essere rappresentate dal software di elaborazione: si è scelto di rappresentare isocurve separate da una distanza di 50cm solo per esigenze grafiche in quanto il software è in grado di rappresentare isocurve spaziate con precisioni impostate dall'utente.

6.4 Distanza colorimetrica

Lo studio della colorimetria è una disciplina estremamente vasta, ma nel corso di un secolo ha permesso la nascita di diverse rappresentazioni dell'informazione di colore e di algoritmi per la sua interpretazione e manipolazione.
I dati provenienti dallo RGB-ITR sono dati di riflettanza acquisiti per mezzo di tre lunghezze d'onda riconducibili ai tre colori fondamentali, rosso, verde e blu. Questi dati possono essere rappresentati in diversi spazi colorimetrici a seconda delle informazioni che si vogliono ottenere.

In questa prima trattazione dei dati dello scanner RGB-ITR si è provveduto a portare le informazioni nello spazio HSV (Hue, o tinta espressa in gradi in un intervallo tra 0° e 360°; Saturation, o saturazione espressa in un intervallo tra 0 e 1; Value, o luminanza anch'essa espressa in un intervallo tra 0 e 1). In questo spazio abbiamo potuto concentrare la nostra attenzione solo sulle tinte, trascurando le altre due componenti di saturazione e luminanza. In questa rappresentazione è possibile individuare nel canale di tinta tre settori angolari ciascuno di ampiezza pari a 120° rappresentanti le tinte "rossastre", "verdastre" e "bluastre". Da un'analisi dell'immagine laser si evince che la componente di tinta rossastra prevale sulle altre, pertanto ha senso riportare solo il risultato dell'elaborazione numerica relativo a questa. Abbiamo ottenuto una mappatura delle diverse tinte rossastre presenti andando a calcolare la distanza sul cerchio trigonometrico delle tinte rossastre (aventi valori di Hue nell'intervallo 0°-60° e 300°-360°) dalla tinta rossa di riferimento.

Le Figure (27, 28, 29) mostrano il risultato di questa operazione in falsi colori: la scala dei colori riportata permette di individuare tinte rossastre distanti (colori gialli e magenta) e tinte rossastre prossime (colori rossi) alla tinta rossa di riferimento. Le zone bianche evidenti corrispondono a tinte che non hanno una componente rossastra (ovvero tinte verdastre o bluastre).

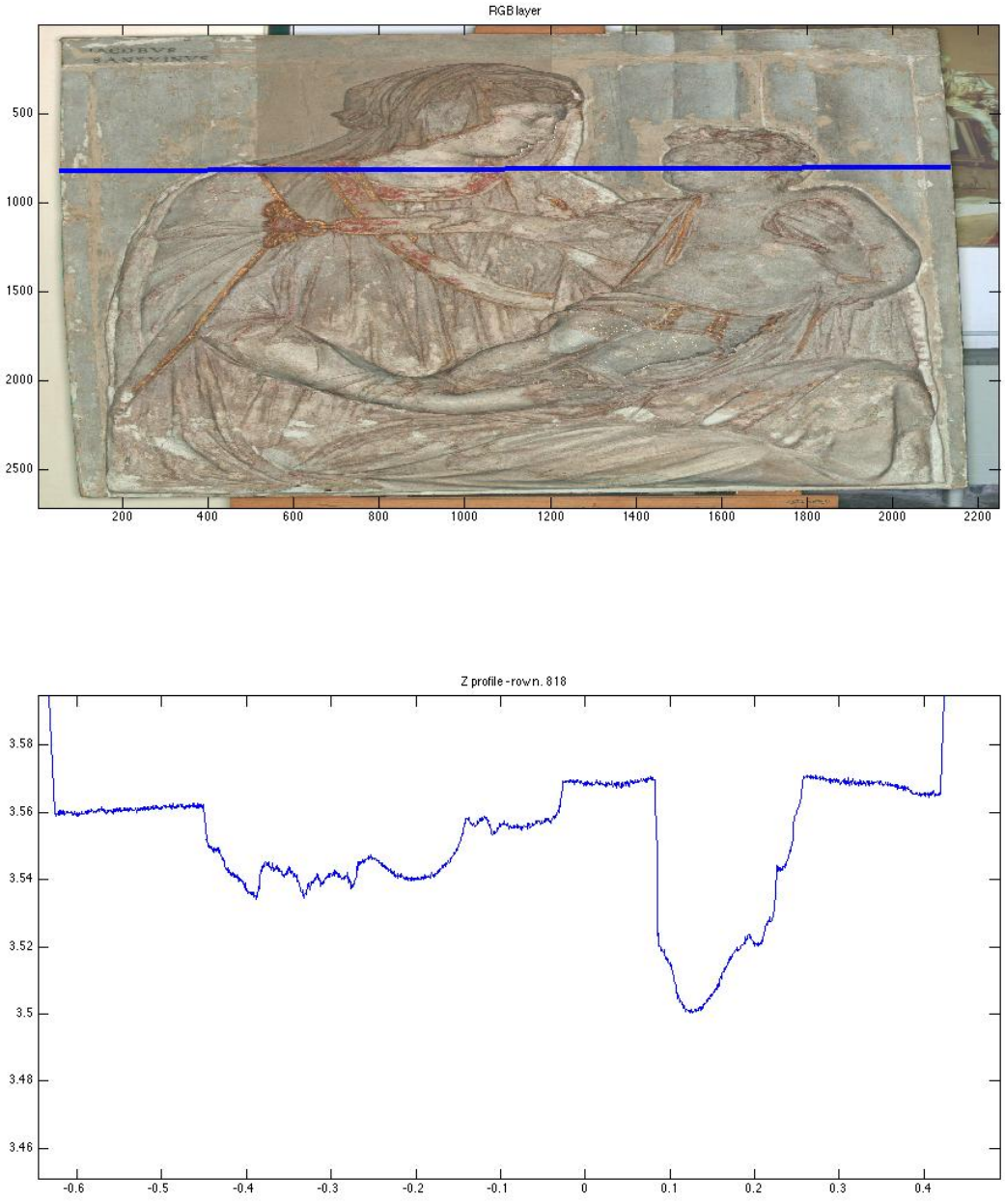


Figure 25. Profilo del bassorilievo lungo una linea selezionata.

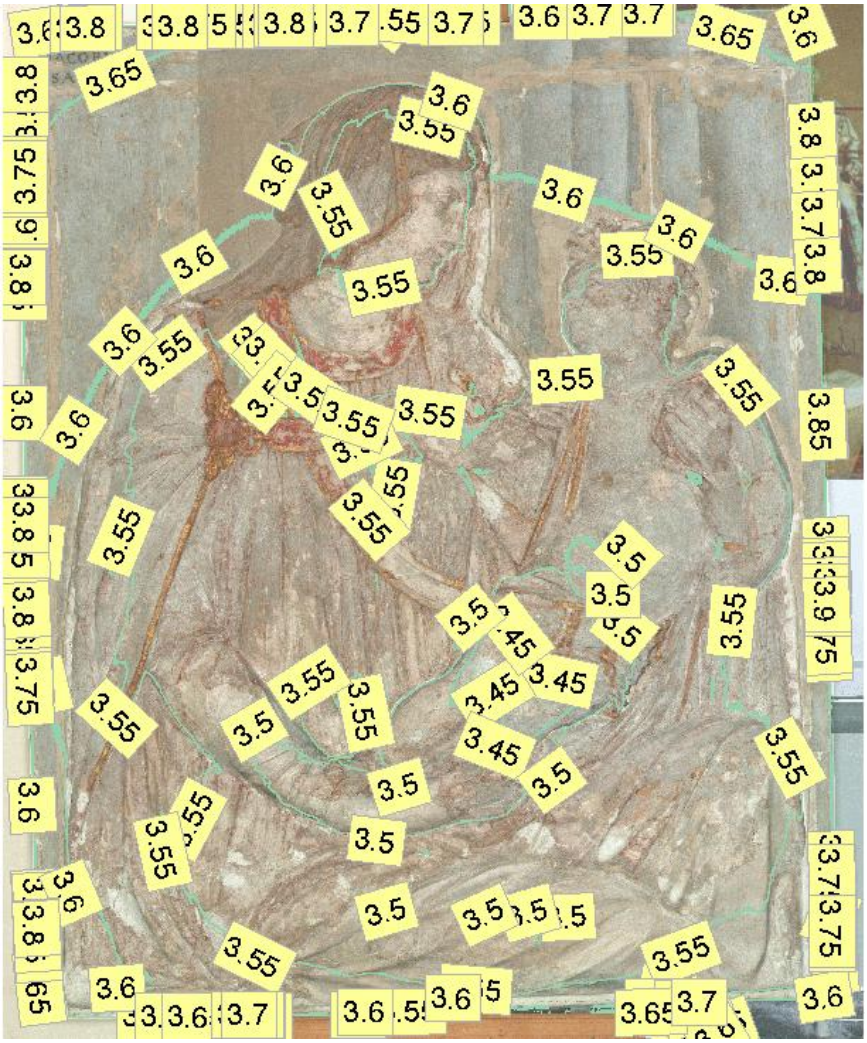


Figure 26. Isocurve sovrapposte all'informazione di colore.

(a) (b)

Figura 27. Immagine laser RGB (a) e immagine a falsi colori rappresentante le distanze delle tinte rossastre dalla tinta di riferimento (b). La scala di colori mostrata a sinistra indica la vicinanza dei pixels rossastri al rosso di riferimento (avente un valore di HUE pari a 0° secondo lo spazio HSV).

Dunque, solamente le zone colorate sono incluse nel settore angolare 0°-60° e 300°-360°. Come mostrano più nel dettaglio le Figure (27, 28), l'idea di sfruttare la distanza di una tinta da quella riferimento consente una buona discriminazione delle tinte rossastre presenti nell'immagine laser. Un dato importante che si può osservare nell'ingrandimento riportato in figura 28 consiste nel fatto che le zone con stessa colorazione (nella rappresentazione a falsi colori) appartengono ad una stessa tinta che dista egualmente dalla tinta fondamentale. Con un buon grado di approssimazione si può affermare che la tinta presente sul drappo di figura 29 è presente in tracce anche su altre zone del bassorilievo indagato.
Insieme a questi risultati, riportiamo in figura 30 un istogramma polare bidimensionale che mostra la distribuzione delle componenti di saturazione e di tinta.
La rappresentazione polare indica che l'immagine presenta una componente rossastra predominante con valori di saturazione che vanno da valori prossimi a 0 fino a 0.8.

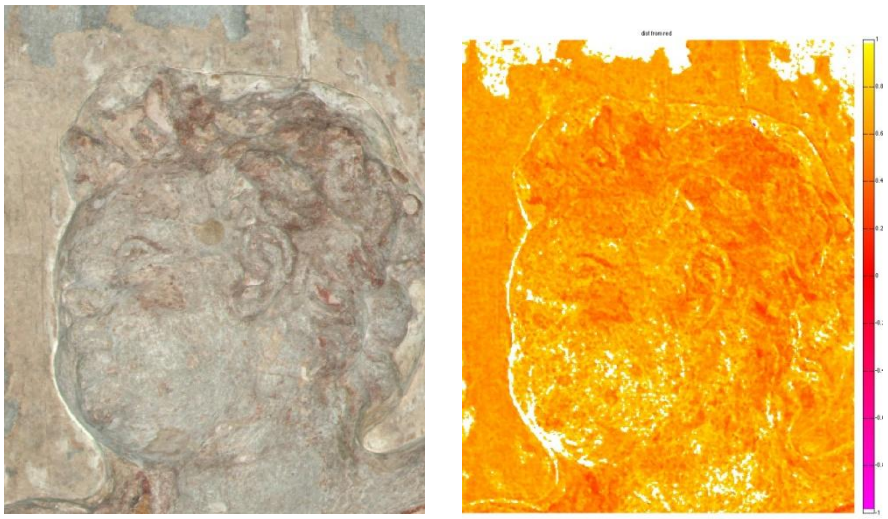


Figure 28. Rappresentazione a falsi colori della componente rossastra del canale di tinta (destra) ricavata con la trasformazione HSV relativa all'area di scansione mostrata nell'immagine RGB di sinistra.

Figure 29. L'immagine a falsi colori (destra) permette di distinguere chiaramente tinte rossastre molto prossime (rossi) alla tinta di riferimento da tinte relativamente più distanti (arancioni).

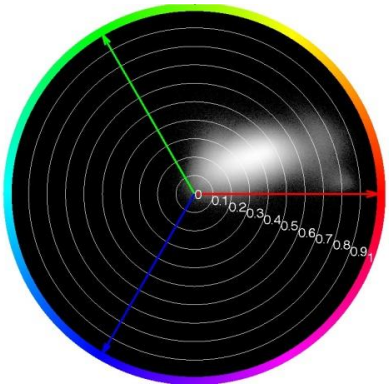


Figure 30. Istogramma polare bidimensionale delle componenti di tinta e saturazione dell'immagine RGB acquisita con il laser scanner. Le frecce puntano nella direzione della tinta rossa di riferimento (0°), della tinta verde di riferimento (120°) e della tinta blu di riferimento (240°).

Un altro risultato significativo è riportato in Figura 31. Le aree evidenziate sembrano trovare corrispondenza nei punti in cui le misure Raman hanno trovato il pigmento cinabro.

Figure 31. Sovrapposizione di aree rossastre (molto prossime alla tinta rossa posta a 0") rivelate con il metodo della distanza colorimetrica su immagine RGB.

7. Conclusioni

In conclusione, le misure svolte presso ISCR hanno confermato che il sistema LIF a scansione è un'efficace tecnica di analisi puntuale non invasiva. La capacità di eseguire l'indagine da una distanza di alcuni metri e in tempi rapidi può rendere tale sistema particolarmente vantaggioso.
Nonostante la presenza diffusa sull'intera superficie dell'opera di un segnale di fluorescenza dovuto alla cellulosa, la tecnica ha permesso di individuare zone di discontinuità riconducibili a possibili diverse forme di degrado e di interventi di restauro.
La tecnica ha inoltre evidenziato la presenza in zone ben definite di un legante acrilico e di bianco di zinco.
Le misure svolte hanno confermato come la complementarità tra spettroscopia Raman e fluorescenza renda uno spettrometro Raman portatile un utile ed efficace strumento da affiancare al sistema LIF.

I risultati fin qui presentati, ottenuti dall'elaborazione dei dati dello scanner RGB-ITR, dimostrano le potenzialità che la tecnica 3D+colorimetria è in grado di fornire su opere di medie dimensioni. In particolare, anche se lo scanner è stato progettato per la diagnosi remota di grandi ambienti, i risultati ottenuti in questa prima campagna di misure permettono di investigare l'opera di Sansovino con metodologie non consentite dalle normali fotografie: in particolare è possibile osservare l'opera ad ingrandimenti estremamente spinti senza perdere in risoluzione e da qualunque angolazione; inoltre è possibile illuminarla con luci simulate (ad esempio radente) per l'evidenziazione di particolari zone di interesse. Attraverso la comparazione di possibili e future digitalizzazioni della stessa opera sarà possibile determinare modificazioni non solo di tipo strutturale, ma anche colorimetrico. Nei prossimi mesi si eseguirà la sovrapposizione dei dati provenienti dallo scanner LIF su quelli 3D-colorimetrici [10] in modo da consentire una lettura multisensoriale dell'opera.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro nella persona della Dr.ssa Laura D'Agostino per l'opportunità di indagine offerta e per la collaborazione e il supporto forniti durante il corso della campagna.

Bibliografia

1. Roberta Fantoni, Luisa Caneve, Francesco Colao, Luca Fiorani, Antonio Palucci, Ramiro Dell'Erba, Vasco Fassina *Laser induced fluorescence study of medieval frescoes by Giusto de' Menabuoi* Journal of Cultural Heritage 14S (2013) S59–S65
2. S. Botti, L. Caneve, F. Colao, R. Fantoni, L. Fiorani, L. Fornarini *Compact scanning hyperspectral lidar fluorosensor for the discrimination of varnishes and consolidants*, Proc. of International Workshop In-situ Monitoring of Monumental Surfaces - SMW08, Edifir, Florence 2008, 373-378.
3. F. Colao, L. Caneve, L. Fiorani, A. Palucci, R. Fantoni, M.P.Ortiz, M. A. Gomez, M.A.Vazquez, *Report on LIF measurements in Seville: Virgen del Buen Aire Chapel* RT/2012/11/ENEA.
4. S. Gaspard, M. Oujja, M. Castillejo, P. Moreno, C. Mendez, A. Garcìa, C. Domingo, Lasers in the Conservation of Artworks, Ed. by M. Castillejo et al. (2008) 41-47.
5. L. Burgio, R.J.H. Clark, *Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation*, Spectrochimica Acta Part A 57 (2001) 1491–1521.

6. T.D. Chaplin, R.J.H. Clark, D.A. Scott, *Study by Raman microscopy of nine variants of the green-blue pigment verdigris*, Journal of Raman Spectroscopy 37 (2006) 865–877.
7. I.M. Bell, R.J.H. Clark, P.J. Gibbs, *Raman spectroscopic library of natural and synthetic pigments (Pre- 1850 AD)*, Spectrochimica Acta Part A 53(1997) 2159-2179.
8. M. Guarneri, M. Ferri De Collibus, G. Fornetti, M. Francucci, M. Nuvoli, R. Ricci, *Remote colorimetric and structural diagnosis by rgb-itr colour laser scanner prototype* Advances in Optical Technologies 6 (2012).
9. M. Guarneri, A. Danielis, M. Francucci, M. Ferri De Collibus, G. Fornetti, A. Mencattini, *3D remote colorimetry and watershed segmentation techniques for fresco and artwork decay monitoring and preservation*, Journal of Archaeological Science 46 (2014) 182-190.
10. R. Fantoni, M. Ferri De Collibus, M. Francucci, G. Fornetti, M. Guarneri, L. Caneve, F. Colao, L. Fiorani, A. Palucci, V. Spizzichino *High resolution laser remote imaging innovative tools for preservation of painted surfaces: information from reflectance and fluorescence data* FLAMN-13 Fundamentals of Laser-Assisted Micro- and Nanotechnologies, St Petersburg, Russia 24-28 June 2013.

Edito dall' ENEA
Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Stampa: Tecnografico ENEA - CR Frascati
Pervenuto il 26.9.2014
Finito di stampare nel mese di settembre 2014