

# L'ENEA per il progetto E-RIHS

Nei prossimi cinque anni, all'interno della piattaforma E-RIHS, l'ENEA sarà impegnata a rendere disponibile tre prototipi di strumenti opto-elettronici basati sull'impiego di fasci laser per imaging spettrale e analisi strutturale remota e il potenziamento dell'infrastruttura delle tavole vibranti, portando il suo contributo alla salvaguardia e diffusione della conoscenza del patrimonio artistico nazionale ed europeo.

DOI 10.12910/EAI2022-035

di Massimiliano Guarneri, *corresponding author*, Luisa Caneve, Violeta Lazic, *Laboratorio Diagnostiche e Metrologia - ENEA* e Ivan Roselli, *Laboratorio Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la Prevenzione del rischio sismico e idrogeologico - ENEA*

**U**na tecnologia è tanto più longeva, quanto più è versatile e applicabile a diversi settori che influenzano la vita dell'uomo. Gli strumenti opto-elettronici sviluppati da ENEA all'interno del progetto E-RIHS, guidato dal CNR, seguono questa filosofia: **nati per consentire l'analisi spettrale e strutturale in ambienti radioattivi (come ad esempio nei reattori a fusione o fissione [1]), nel corso degli anni sono stati adattati per poter essere impiegati con successo anche in altri campi come l'analisi remota e l'esplorazione in ambienti sommersi, diagnostica in campo forense e beni culturali.** È proprio in questo ultimo settore che il progetto E-RIHS pone una sfida e al tempo stesso una spinta affinché la salvaguardia, l'interpretazione e la conservazione del patrimonio culturale nazionale ed europeo possa essere operata attraverso un approccio integrato di tecnologie, dati e conoscenze messi a disposizione di tutta la comunità scientifica.

Il laboratorio di Diagnostica e Metrologia, nella divisione Tecnologie Fisiche per la Sicurezza e la Salute del dipartimento di Fusione, e quello di Tecnologie per la Dinamica delle Strutture e la PREVENZIONE del rischio sismico e idrogeologico nella

divisione Modelli e tecnologie per la riduzione degli impatti del dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi sono stati finanziati, attraverso il progetto E-RIHS Lazio nell'ambito del bando "POTENZIAMENTO DELLE STRUTTURE DI RICERCA PNIR PER ELEVARE IL TASSO DI INNOVAZIONE DEL TESSUTO PRODUTTIVO REGIONALE", per la realizzazione di tre prototipi basati sull'impiego di fasci laser per imaging spettrale e analisi strutturale remota e il potenziamento dell'infrastruttura delle tavole vibranti.

## Dispositivi multispettrali innovativi

**Il primo prototipo sviluppato è l'evoluzione dell'attuale laser scanner a fasci modulati in ampiezza:** tale prototipo ad oggi opera in diverse configurazioni in cui, combinando opportunamente diverse sorgenti laser, è possibile ottenere informazioni di diverso tipo (con tre fasci laser nello spettro del visibile opportunamente combinati è possibile ottenere un modello 3D a colori della superficie interessata, con una sorgente nel vicino infrarosso è possibile ottenere immagini di pochi micron sotto la superficie di tele dipinte per far riemer-

**gere dettagli nascosti e ripensamenti dell'autore [2]).** Il prototipo di laser scanner proposto per E-RIHS, a cui è stato dato il nome di Diapason, prevede l'utilizzo simultaneo di sette lunghezze d'onda - una nell'ultravioletto, quattro nel visibile e due nel primo infrarosso - e, attraverso l'impiego di un complesso sistema ottico, è in grado di restituire modelli tridimensionali multispettrali delle superfici oggetto della misura.

Attualmente i dispositivi multispettrali in commercio, che grazie alla loro diffusione nel campo dei beni culturali consentono una facilità d'uso e una ricchezza di informazioni precedentemente non così accessibili, impongono delle limitazioni in termini di distanza di operatività (da pochi cm a qualche metro), di risoluzione spaziale e necessitano dell'ausilio di dispositivi esterni per generare modelli 3D a cui accoppiare le mappe multispettrali.

**Lo scanner Diapason ha come scopo quello di oltrepassare questi limiti permettendo di operare fino a distanze di 15m** (limitazione dettata dalla scelta delle ottiche per mantenere compatto quanto più possibile il sistema), introducendo una alta risoluzione spaziale (che su superfici cooperative corrisponde a 0,3 mm a

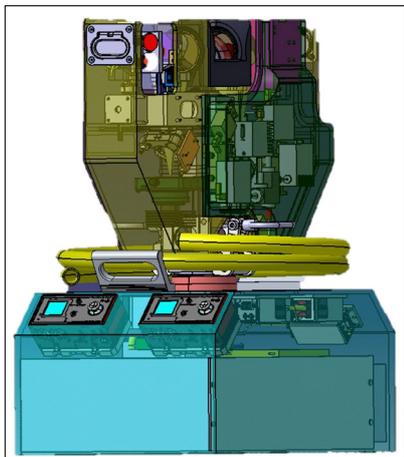


Fig. 1 Modello CAD dello scanner Diapason. Disegno esecutivo di M. Nuvoli

10 m) con un angolo di vista sferico occluso solo al polo inferiore e la generazione nativa di informazioni 3D multispettrali delle scene su cui si opera. Inoltre, come i suoi predecessori, questo scanner non risente dell'influenza causata dalla luce ambientale.

Il secondo prototipo sviluppato è l'evoluzione di diversi sistemi laser prototipali a scansione basati sulla tecnica LIF (Laser Induced Fluorescence) per diversi campi di applicazione. La tecnica permette, attraverso gli spettri e le immagini prodotte, di ottenere informazioni sulla composizione superficiale del campione analizzato [3].

La possibilità di operare a grandi distanze, di essere non distruttivi e non invasivi spiega la crescente applicazione di tali sistemi per la conservazione ed il restauro di beni culturali [4]. La progettazione di sistemi portatili, sempre più compatti e facilmente trasportabili ha l'obiettivo di ampliare l'utilizzo di tali sistemi, sia per quanto riguarda la tipologia di oggetti da analizzare, un'opera d'arte o un sito archeologico, che le caratteristiche e l'esperienza dell'utilizzatore. Il sistema sviluppato in questo progetto è estremamente compatto e di dimensioni ridotte, pur fornendo

risultati spettrali spettroscopici anche di aree di grandi dimensioni, grazie all'inserimento, nel percorso ottico di raccolta, di uno spettrografo e di una ruota portafiltri in grado di operare alternativamente. Inoltre, la rivelazione dei segnali di fluorescenza risolti in tempo, che costituisce uno degli aspetti principali dell'aggiornamento di questa tecnica per il progetto E-RIHS, è favorita, insieme ad una opportuna ottimizzazione dell'elettronica di controllo, dall'impiego di una nuova sorgente laser con specifiche caratteristiche, in particolare breve durata dell'impulso ( $< 2$  ns) e alta frequenza di ripetizione ( $> 200$  Hz), che permette di ridurre le interferenze dei segnali di fluorescenza a tempi brevi rispetto all'impulso laser. In sostanza l'aggiornamento del sistema aumenterà la rapidità di scansione e la capacità di identificare e discriminare materiali superficiali diversi.

### Gli strumenti per il MOBILE LABoratory MOLAB

Il terzo prototipo sviluppato è l'Integrated Laser Sensor - ILS (Figura

3), realizzato nell'ambito del progetto FP7 EDEN (2013-2016) con lo scopo principale di rilevare a distanza gli esplosivi in traccia. Lo strumento è stato brevettato su target a distanze fino ai 30 metri [7], ed integra quattro tecniche spettroscopiche: Laser Scattering (LS) indotto a 650 nm, LIF e Raman eccitati da laser a 355 nm, e LIBS indotto da laser a 1064 nm. ILS ha due camere a colori: una per il controllo interattivo della scannerizzazione, che permette anche di visualizzare in tempo reale la progressione della misura e i risultati in forma di mappa 2D a due colori, sovrapposta all'immagine reale del target; l'altra camera è usata per visualizzare i dettagli ad alto ingrandimento attraverso il telescopio. Lo strumento è stato testato per varie applicazioni, incluso per beni culturali [8], mostrando la capacità di fornire moltissime informazioni importanti come: lo stato della superficie, le aree contenenti sporcizia da materiali polverosi o ungenti, la composizione molecolare e la composizione atomica - quest'ultima può determinare anche la distribuzione elementale nei primi 1-2 millimetri di profondità.

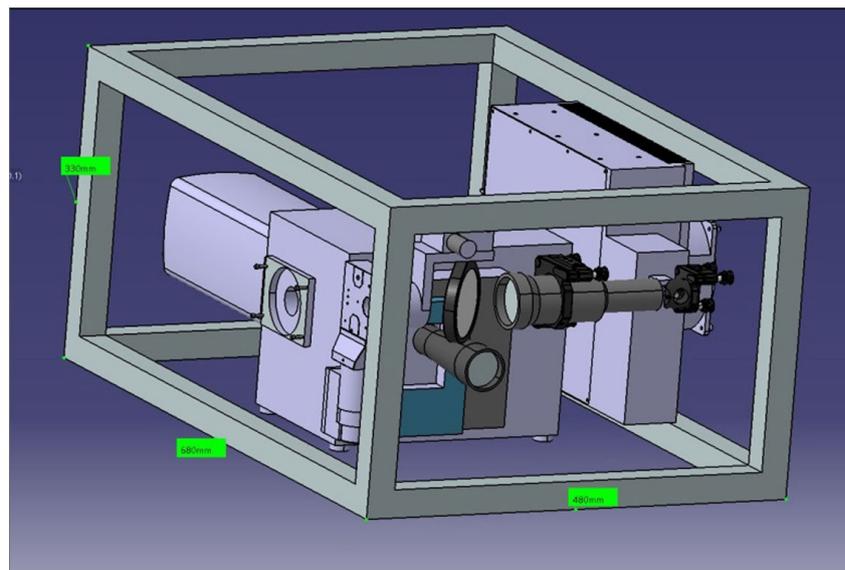


Fig. 2 Modello CAD del fluorosensore sviluppato per il progetto. disegno esecutivo di M. Nuvoli

Nell'ambito del progetto E-RIHS sono state introdotte alcune modifiche: di tipo hardware, per minimizzare l'influenza della luce ambientale sulle misure Raman e LIF, per estendere l'intervallo spettrale del segnale Raman catturato e per aumentare la velocità d'acquisizione di spettri LIF; di tipo software (di proprietà dell'ENEA) per adeguarlo ai nuovi componenti hardware, migliorandolo nell'interfaccia grafica e in alcune funzioni (come l'autofocus e la calibrazione) e introducendo delle nuove mappe tematiche 2D a vari colori per rappresentare i risultati d'interesse per beni culturali.

Gli strumenti appena descritti sono stati inseriti nella facility di E-RIHS denominata MOLAB (MOBILE LABORATORY), un laboratorio mobile, attrezzato di volta in volta con le tecnologie scelte dal committente e proposta dall'equipe di esperti di E-RIHS per effettuare le analisi richieste sul bene da studiare direttamente dove è collocato: questa procedura consente analisi del patrimonio artistico che risulta inamovibile o quando il trasporto risulta rischioso.

### Gli strumenti per il FIXLAB

Come accennato precedentemente l'ENEA ha ottenuto il finanziamento anche per il potenziamento dell'infrastruttura delle tavole vibranti. Tale infrastruttura è stata inserita nella facility denominata FIXLAB, nella quale diagnostiche inamovibili vengono sfruttate o per particolari analisi (si pensi ad esempio alle macchine per eseguire TAC sulle opere) o, come nel caso delle tavole vibranti, per lo studio delle risposte di strutture sottoposte a sollecitazioni sismiche.

Le strumentazioni acquisite sono indirizzate ad aumentare l'accuratezza delle misure di vibrazione e le potenzialità del laboratorio nella diffusione e valorizzazione dei risultati della ricerca nazionale ed europea e dello sviluppo tecnologico sulla protezione

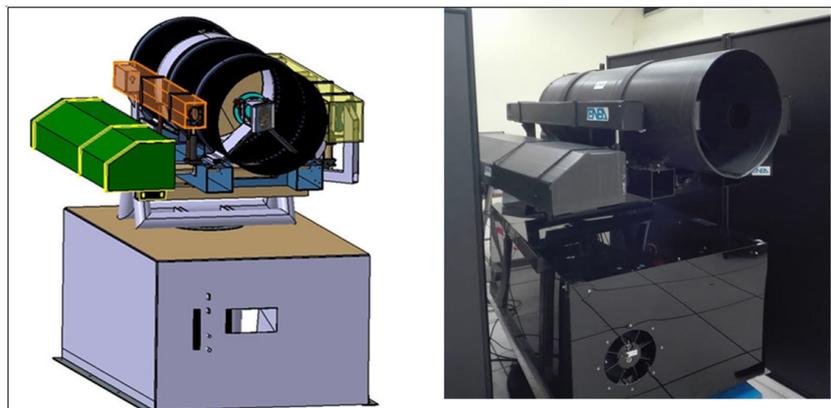


Fig. 3 Sinistra - Disegno tecnico dell'insieme per lo strumento ILS; Destra - foto dello strumento realizzato

sismica delle costruzioni storiche e delle opere di rilievo per il patrimonio storico-artistico.

Uno dei miglioramenti dell'attuale sistema per il progetto è stato quello di introdurre una nuova centralina di acquisizione di sensori accelerometrici ad alte prestazioni per la caratterizzazione dinamica di oggetti e strutture sottoposte alle sperimentazioni su tavola vibrante.

Uno dei punti di forza di questa piattaforma di simulazione è quello di consentire la visione della risposta delle strutture alla sollecitazione sismica prodotta attraverso un sistema di tracciamento basato sulla cattura tridimensionale del movimento, chiamato 3DVision [5]. Per il progetto si è pensato di aumentare il numero di camere ad alta risoluzione nel vicino infrarosso, che ne aumentano l'accuratezza nelle misure di spostamento delle singole parti della struttura. Inoltre i risultati di questo sistema sono condivisi in tempo reale attraverso la rete, sfruttando le potenzialità del laboratorio virtuale DYSCO [6].

### Conclusioni

L'ENEA sarà impegnata nei prossimi cinque anni a rendere disponibile i prototipi descritti all'interno della

piattaforma E-RIHS, portando il suo contributo alla salvaguardia e diffusione della conoscenza del patrimonio artistico nazionale ed europeo. Le future generazioni disporranno di informazioni estremamente preziose dello stato attuale delle opere d'arte: la possibilità di vedere e conoscere l'opera attraverso analisi che uniscono l'informazione visiva a tecniche spettrografiche, diagnostiche e simulazioni strutturali introduce nuovi metodi di lettura di un manufatto, narrandone in alcuni casi la sua genesi (si pensi ad esempio ai cosiddetti pentimenti dell'artista), la sua evoluzione conservativa (interventi di restauro, materiali che hanno più o meno impattato sui processi di degrado dell'opera) e le sue fragilità causate da effetti antropici o naturali.

### Ringraziamenti

Il progetto E-RIHS vede attivamente coinvolti altri ricercatori e tecnici dell'ENEA, oltre agli autori stessi. In particolare si ringraziano Marcello Nuvoli, Valeria Spizzichino, Massimo Francucci, Massimiliano Ciaffi e Marco Pistilli.

Per info: [massimiliano.guarneri@enea.it](mailto:massimiliano.guarneri@enea.it)