

Le tecnologie nucleari per la diagnostica e la conservazione dei beni culturali

Le attività per i beni culturali del Dipartimento Nucleare ENEA riguardano tematiche legate sia alla diagnostica che ai trattamenti di conservazione, attraverso lo sviluppo di tecnologie innovative e processi sostenibili. Tali attività, svolte nell'ambito di progetti regionali, nazionali ed internazionali e con la partnership di istituzioni pubbliche, private e imprese del settore, contribuiscono al processo di digitalizzazione del patrimonio culturale raccomandato dalla Commissione Europea.

DOI 10.12910/EAI2023-068

di **Francesca Bonfigli, Sabina Botti, Luisa Caneve, Michele Arturo Caponero, Alessia Cemmi, Rosaria D'A-mato, Ilaria Di Sarcina, Luca Falconi, Massimo Francucci, Massimiliano Guarneri, Stefano Loreti, Valen-tina Nigro, Concetta Ronsivalle, Valeria Spizzichino, Maria Aurora Vincenti**, Dipartimento Nucleare -ENEA

Nel corso degli ultimi de-cenni, la ricerca di nuove tecnologie e processi non invasivi ha riscosso un interesse sempre crescente da parte degli specialisti che operano nel settore dei beni culturali.

I laboratori del Dipartimento Nucleare (NUC) dell'ENEA sono impegnati in attività di ricerca finalizzate alla messa a punto di strumenti, metodi di analisi e trattamenti innovativi di grande utilità per la conoscenza, conservazione, fruizione e valorizzazione del patrimonio artistico e culturale del Paese.

Particolare attenzione è rivolta alla sostenibilità economica e ambientale dei processi e delle metodologie di analisi, di fondamentale importanza per i beni culturali.

Le attività di ricerca condotte in questo ambito si concentrano su due principali settori, il primo relativo alla **diagnostica** ed il secondo più strettamente legato alla **conservazione** dei manufatti artistici. Alcune delle tecniche e dei processi impiegati nascono dalla pluriennale

esperienza dei ricercatori del Dipartimento NUC in ambito nucleare.

Tecniche diagnostiche nel campo artistico-culturale

La disponibilità di informazioni sullo stato delle opere d'arte in tempi rapidi e quanto più complete possibile può rappresentare un grande vantaggio per l'ottimizzazione delle azioni di conservazione e restauro.

A tale scopo, nei Laboratori del Dipartimento NUC sono state sviluppate analisi diagnostiche non distruttive, basate anche su tecniche spettroscopiche e di imaging già utilizzate in campi diversi.

In particolare, sono stati realizzati sensori innovativi, basati sulla tecnica spettroscopica di fluorescenza indotta da laser (*LIF-Laser Induced Fluorescence*), che risultano particolarmente vantaggiosi nel campo dei beni culturali in quanto non distruttivi, utilizzabili in situ, operanti a distanza e in grado di fornire informazioni in tempi rapidi [1]. Le immagini di fluorescenza prodotte dai sensori LIF permettono, anche grazie all'u-

tilizzo di algoritmi sviluppati ad hoc ed applicati nel processo di data post-processing, di mappare i materiali della superficie esaminata, individuando e localizzando materiali diversi utilizzati, per esempio, per operazioni di restauro o legate a processi di biodegrado.

Le rappresentazioni 2D fornite dai sistemi LIF sono inoltre sovrapponibili con i modelli 3D prodotti dai sistemi prototipali RGB-ITR (Red Green Blue Imaging Topological Radar) e IR-ITR (Infra Red Imaging Topological Radar) [2]. Tale combinazione permette di ottenere informazioni quantitative e qualitative multi-livello su struttura e difetti, colori, composizione chimica superficiale e dettagli nascosti da strati successivi. Un risultato di successo è la realizzazione della visita virtuale della Casa di Diana del Parco Archeologico di Ostia Antica, realizzata nell'ambito del Progetto VADUS finanziato da ESA, in cui i livelli multimediali creati da ENEA restituiscono informazioni di grande interesse sulle diverse fasi costruttive (murature

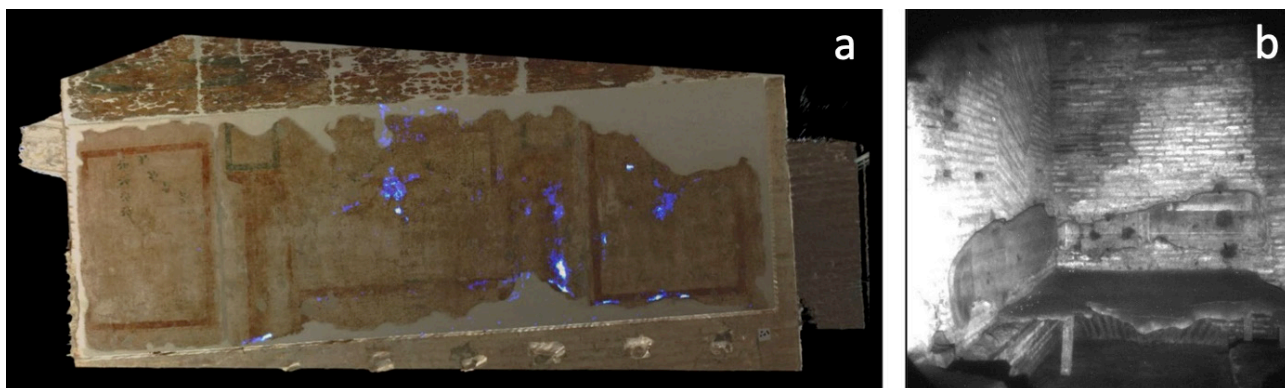


Figura 1: a) Sovrapposizione tra il modello 3D ottenuto con il sistema RGB-ITR e le immagini LIF, in blu, di una parete del Tablinum della Casa di Diana del Parco Archeologico di Ostia Antica; b) immagine LIF di parte della sala antecedente il Mitreo

relative ad interventi successivi) e di restauro (polimeri acrilici, restauro anni '80) dell'edificio (Fig.1).

Oltre ai sensori descritti, sono stati ideati e realizzati nuovi prototipi di strumenti sempre più performanti. Esempi recenti sono il laser scanner Diapason, in grado di coniugare la generazione di gemelli digitali ad alta definizione con l'analisi multi-spettrale e colorimetrica a distanza, e il LIF scanner IRIS, che integra in un unico strumento diverse funzionalità, migliorando la rapidità di misura e di analisi e favorendo l'ottimizzazione del lavoro.

Tecnologie innovative

Il Dipartimento può inoltre vantare una specifica competenza nella realizzazione di sensori in fibra ottica (FBG) [3]. Questi sensori possono essere utilizzati per il monitoraggio permanente di parametri fisici e ambientali, quali deformazione, temperatura e umidità relativa. Le caratteristiche ineguagliabili di resistenza agli agenti atmosferici e di bassa invasività rendono la tecnologia FBG estremamente utile per il monitoraggio dei beni culturali. A titolo di esempio, questi sensori sono stati installati all'interno della Cattedrale cattolica romana di Or-

vieto (XIV sec.) per il monitoraggio delle fessure presenti, nell'ambito di un lavoro multidisciplinare volto a valutarne lo stato conservativo e la vulnerabilità sismica.

I sensori FBG sono stati impiegati anche per il progetto MONALISA,

finanziato dalla Regione Lazio tramite il Centro di Eccellenza del Distretto Tecnologico Beni e Attività Culturali - DTC Lazio, come sistema di monitoraggio dinamico delle vibrazioni di origine antropica e naturale in ambito museale. I dati forniti

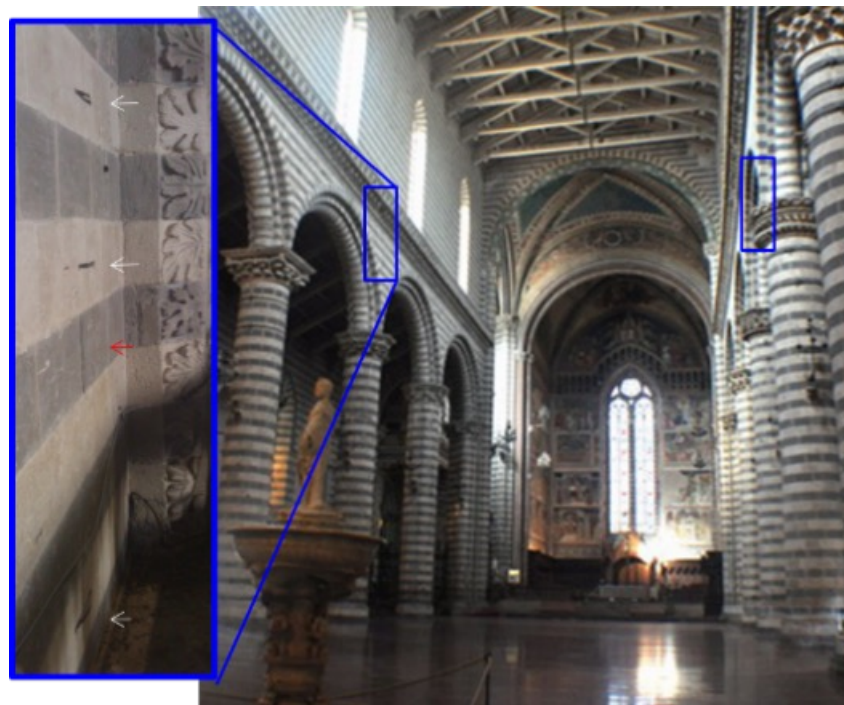


Figura 2: La navata della Cattedrale cattolica romana di Orvieto (XIV sec.): gli inserti mostrano la posizione dell'installazione dei sensori FBG. La vista ingrandita mostra i sensori FBG, scarsamente visibili nell'intervento

dai sensori sono stati integrati in un dispositivo di isolamento appositamente realizzato per la salvaguardia delle opere d'arte [4].

Le tecniche di diagnostica possono essere impiegate anche per seguire l'evoluzione dei processi responsabili dell'invecchiamento e deterioramento della carta, uno dei materiali di interesse storico e documentale tra i più diffusi e fragili. Mediante l'accoppiamento di due tecniche non distruttive e non invasive (spettrometria Raman e microscopia ottica) sono state ottenute informazioni morfologiche e composizionali, sviluppando un protocollo per la caratterizzazione dello stato di conservazione di libri di diverse epoche [5].

Le competenze in ambito nucleare presenti presso il Dipartimento NUC permettono l'impiego di sorgenti di neutroni (Reattore di ricerca TRIGA-RC1, Frascati Neutron Generator, FNG) per l'analisi di elementi in tracce in materiali di interesse per i beni culturali mediante la tecnica di analisi per

attivazione neutronica (Neutron Activation Analysis, NAA). Nello specifico, presso FNG è stato studiato un frammento di un affresco romano proveniente dalla Villa della Piscina di Centocelle (RM), determinando la presenza e la quantità di elementi come Fe, Mg, Al, Na e Cl.

Trattamenti per la conservazione dei beni culturali

Negli ultimi anni, l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti (raggi gamma, elettroni e raggi X) per la conservazione dei beni culturali ha fornito soluzioni alternative e più sostenibili rispetto ai metodi tradizionalmente impiegati [6]. Tali radiazioni, infatti, risultano molto efficaci per l'eliminazione di insetti, batteri, funghi e muffe, responsabili del deterioramento o della perdita di beni di interesse artistico-culturale.

I manufatti costituiti da materiali di origine naturale (carta, legno, pergamena, cuoio, tessuti) possono infatti facilmente subire attacchi

biologici se conservati in condizioni ambientali non ottimali o a causa di calamità naturali, spesso indotte dal cambiamento climatico, e il loro recupero risulta spesso difficile e dispendioso.

Alcuni organismi biodeteriogeni, oltre ad essere dannosi per il manufatto, risultano anche estremamente tossici per l'uomo, rendendo impossibile il restauro o la fruizione del bene stesso. Le radiazioni ionizzanti, già ampiamente utilizzate in altri ambiti, possono essere applicate con successo per la disinfestazione e disinfezione di manufatti artistici e documentali (Fig. 3).

Analisi condotte con tecniche di caratterizzazione non distruttive e non invasive nei laboratori del Dipartimento NUC hanno dimostrato che una corretta scelta dei parametri di irraggiamento garantisce l'integrità dei manufatti trattati, permettendone il successivo restauro e la loro conservazione [7].

Il progetto PERGAMO (finanziato dalla Regione Lazio tramite il Centro



Figura 3: Esempi dell'efficacia del trattamento con radiazioni gamma presso la Facility Calliope per la rimozione di comunità microbiche presenti su un volume, datato 1890, proveniente dalla National University Library di Zagabria (Croazia)

di Eccellenza del Distretto Tecnologico Beni e Attività Culturali - DTC Lazio) prevede proprio l'utilizzo di tecniche diagnostiche e trattamenti fisici più sostenibili per il recupero e lo studio di beni culturali degradati. Nonostante le tecniche di irraggiamento vengano già ampiamente utilizzate in molti Paesi (Francia, Croazia, Romania e Brasile), per la prima volta in Italia le radiazioni disponibili presso la facility di irraggiamento Calliope (raggi gamma) e l'impianto REX (elettroni e raggi X) di ENEA vengono utilizzate per

trattamenti non invasivi a scopo di recupero da biodegrado.

Rispetto alle tecniche più tradizionali, il trattamento con radiazioni ionizzanti presenta numerosi vantaggi, quali la capacità di eliminare indiscriminatamente e simultaneamente, agendo direttamente a livello del DNA, tutti gli organismi biodeteriogeni (comprese le spore fungine), l'assenza di reagenti chimici nel processo e di residui tossici o radioattivi nel manufatto. Tali caratteristiche permettono, da parte del restauratore o curatore, la fruizione immediata

dell'oggetto irraggiato.

Inoltre, nel caso particolare dei raggi gamma e, in modo più limitato, dei raggi X il loro alto potere penetrante li rende adatti al trattamento di manufatti di forma o composizione più complesse, oltre che di grandi volumi, permettendo di operare in tempi rapidi e senza aumenti di temperatura. L'utilizzo di fasci di elettroni risulta invece particolarmente utile nel caso di trattamenti di sottili stati superficiali.

per info: francesca.bonfigli@enea.it

BIBLIOGRAFIA

1. A. Palucci, M.A. Caponero, L. Caneve, S. Di Frischia, M. Francucci, M. Guarneri, V. Spizzichino, ENEA's Optical Sensors for Local and Remote Sensing of Cultural Heritage, Ebook: The Safety and Security of Cultural Heritage in Zones of War or Instability, (2021) 153, 62-79. DOI 10.3233/NHSDP210033
2. L. Caneve, F. Colao, M. Francucci, M. Guarneri, M. Mongelli, V. Spizzichino, Non-invasive diagnostic investigation at the Bishop's Palace of Frascati: an integrated approach, ACTA IMEKO (2021) 10(1), 180-186. DOI: 10.21014/acta_imeko.v10i1.827
3. M.A. Caponero, Use of FBG sensors in advanced civil engineering applications, Journal of Instrumentation (2023) 18(07), C07020. DOI: 10.1088/1748-0221/18/07/C07020
4. M.A. Vincenti, M.A. Caponero, M. Lamonaca, G. Occhipinti, O. AlShawa, L. Sorrentino, Proc. of 9th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, COMPDYN 2023, Athens, Greece, 12-14 June 2023.
5. S. Botti, F. Bonfigli, V. Nigro, A. Rufoloni, A. Vannozzi, Evaluating the Conservation State of Naturally Aged Paper with Raman and Luminescence Spectral Mapping: Toward a Non-Destructive Diagnostic Protocol. Molecules (2022) 27, 1712. DOI: 10.3390/molecules27051712.
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation, IAEA Radiation Technology Series (2017) No. 6, IAEA, Vienna.
7. A. Cemmi, I. Di Sarcina, B. D'Orsi, Gamma radiation-induced effects on paper irradiated at absorbed doses common for cultural heritage preservation, Radiation Physics and Chemistry, (2023) 202, 110452. DOI 10.1016/j.radphyschem.2022.110452