

# L'arte come patrimonio da valorizzare

Nella conservazione, riqualificazione, messa in sicurezza e valorizzazione dei beni culturali una delle esigenze più sentite è definire strategie sostenibili di fruizione, sfruttando le potenzialità offerte dalla ricerca, con lo sviluppo e l'applicazione di nuove tecnologie. Il Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali dell'ENEA, dispone di competenze multidisciplinari che agiscono in maniera trasversale e sinergica e di strumenti e infrastrutture avanzati, e talvolta unici nel loro genere a livello nazionale e internazionale.

DOI 10.12910/EAI2022-017



di Roberto Morabito, Direttore del Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, ENEA

**L'**ENEA, con le tecnologie e le competenze sviluppate a partire da circa il 1980, opera all'interno del settore della cosiddetta *science conservation* occupando in alcuni campi specifici un posto di rilievo e di riferimento nel panorama italiano ed il Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali (SSPT) è impegnato in vari settori della conservazione: dalla diagnostica strutturale applicata ai monumenti a quella su piccoli manufatti mobili di pregio (dipinti, tappeti, strumenti musicali, ecc.), dal supporto tecnico-scientifico per il restauro alla messa a punto di biotecnologie per la conservazione. Questo impegno viene concretizzato in maniera trasversale, coinvolgendo specifiche professionalità e tecnologie avanzate, per ricercare soluzioni ai problemi del settore che rispettino il fondamentale requisito della sostenibilità.

Per il patrimonio storico-artistico **sostenibilità significa reversibilità degli interventi**, in modo tale da poterli rimuovere senza alterare il bene

originale quando l'evoluzione della tecnologia li rende obsoleti, l'uso di materiali e prodotti che rispettino

l'ambiente, quindi non tossici e semplici da smaltire, e l'economicità degli stessi.



Fig. 1 Identificazione delle aree oggetto di studio

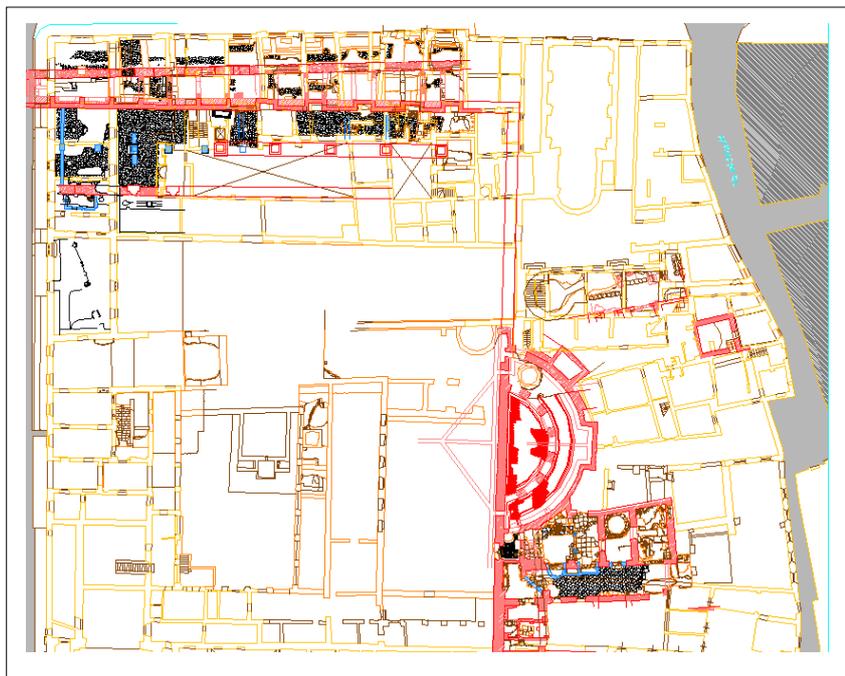


Fig. 2 Il percorso di visita agli scavi archeologici

### Competenze multidisciplinari e un approccio integrato e multiscala

In questo contesto, il Dipartimento SSPT, attraverso competenze multidisciplinari che agiscono in maniera trasversale e sinergica e strumenti e infrastrutture avanzati, e talvolta unici nel loro genere sia a livello nazionale che internazionale, ha messo a punto un approccio integrato e multiscala che va dall'analisi del territorio e del contesto in cui insiste il bene, all'analisi dei rischi (ambientale, statico strutturale e antropico) per arrivare alla caratterizzazione dei materiali costitutivi e dello stato di conservazione, e al supporto in fase di intervento di recupero strutturale e restauro la cui definizione rappresenta spesso una grande sfida per restauratori, storici dell'arte e ricercatori, data l'entità e la diversità degli oggetti coinvolti e l'enorme varietà di materiali utilizzati. Le attività per la salvaguardia di un bene storico possono comprendere lo sviluppo completo ed esaustivo di

ciascuna delle fasi di intervento su un bene, dalla conoscenza alla definizione della specifica soluzione d'intervento "su misura".

Il risultato si rispecchia in programmi di ricerca all'avanguardia, in campo nazionale e internazionale, e nell'offerta di servizi qualificati e unici richiesti

dall'esterno, sia da istituzioni afferenti al Ministero dei Beni Culturali sia da operatori dei settori pubblici e privati; nel settore dei dipinti, ad esempio, sono stati condotti recenti studi sull'Adorazione dei Magi e sulla Scapigliata di Leonardo e sui tre dipinti di Raffaello conservati nella Galleria Borghese. L'ENEA, inoltre, è Socio fondatore dell'Associazione Centro di Eccellenza del Distretto Tecnologie per la Cultura (DTC) della Regione Lazio, nell'ambito del quale sono stati finanziati i progetti RIPARA, "Sistemi integrati di miglioramento sismico del patrimonio architettonico" e SIS-DAT, "Sistema per la Simulazione dei Danni da Terremoto".

Il progetto RIPARA si propone di mettere a punto una tecnologia innovativa per la protezione sismica del patrimonio architettonico, ricorrendo ad una ristolatura armata attiva dei giunti di malta mediante micro-trefoli di acciaio inossidabile. Il progetto prevede attività di indagine e rilevamento sul campo e di sviluppo sperimentale per la prototipazione del sistema e la sua validazione con test sismici su tavola vibrante, per verificare l'efficacia della tecnologia proposta e mettere a punto strumenti computazionali di modellazione strutturale avanzata e



Fig. 3 Dettaglio degli affreschi della chiesa medioevale di Santa Caterina

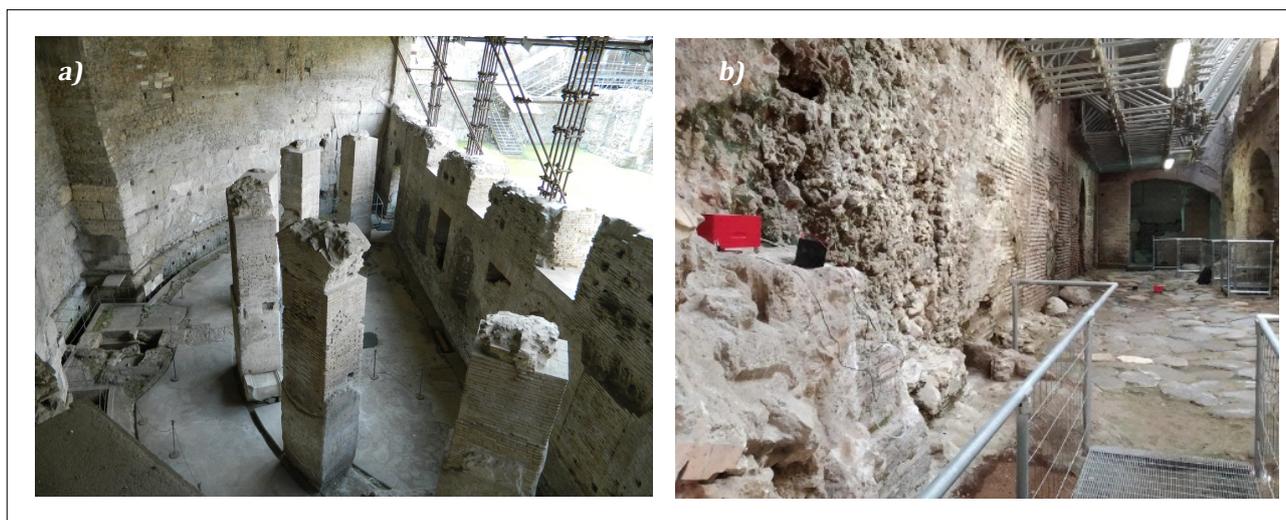


Fig. 4 Vista interna dell'esedra (a) e lastricato romano (b)

approcci speditivi per la progettazione degli interventi.

Il progetto SIS-DAT affronta ed implementa in un unico apposito sistema GIS, una metodologia di analisi multidisciplinare che combina informazioni geologiche e geotecniche (pericolosità sismica e risposta sismica locale), modelli di stabilità strutturale del bene architettonico (singolo o di aggregati tipologici), dati catastali e dati di monitoraggio in remoto (da satellite e da terra), per la produzione di mappe del danneggiamento atteso dei centri storici (per il progetto il centro storico di Rieti), in relazione a definiti livelli di sismicità e considerando anche l'influenza esercitata dalla eventuale presenza di cavità sotterranee.

#### Tecniche sofisticate per manufatti fragili: l'esempio della Crypta Balbi

Le metodologie e le tecniche impiegate sono funzione della tipologia di bene oggetto di studio e vanno dal macro al micro con tecniche tanto più sofisticate quanto più il bene in questione è fragile e deteriorabile. Esempi virtuosi di applicazione di approcci multidisciplinari integrati per la conoscenza di un monumento, di

tecniche sofisticate per manufatti fragili e dell'utilizzo di materiali sostenibili e atossici per il restauro se ne contano innumerevoli in ENEA grazie alle expertise sulle quali può contare.

A titolo di esempio se ne riportano due tra quelli degni di nota: l'approccio multidisciplinare, relativo alla fase di conoscenza, applicato nella valutazione delle parti a maggior vulnerabilità sismica e maggior rischio di collasso statico del complesso museale della **Crypta Balbi**; il biorestauro delle opere d'arte mediante l'utilizzo di procedure innovative di pulitura e consolidamento che impiegano ceppi microbici non patogeni e prodotti di origine microbica e vegetale.

La Crypta Balbi è un vasto complesso di edifici, dislocati su un intero isolato, che nei secoli ha visto diversi usi e insediamenti fino a divenire attualmente una delle sedi del Museo Nazionale Romano. In età romana la Crypta era un vasto cortile porticato annesso al teatro di Balbo, dove gli spettatori trovavano riparo in caso di pioggia o si radunavano durante le pause degli spettacoli; sul lato opposto al teatro si apriva un'ampia esedra decorata all'interno con statue.

Lo splendore del monumento romano,

e delle abitazioni a ridosso, nel tempo lasciò il passo all'incuria ed all'abbandono: al muro della Crypta si addossarono le nuove abitazioni dei mercanti, la cui presenza è ricordata nel nome della attuale Via delle Botteghe Oscure, mentre al centro di quello che era il portico del teatro romano venne costruita nel IX secolo la chiesa di Santa Maria Domine Rose che successivamente fu trasformata nella chiesa e nel monastero dedicati a Santa Caterina di Alessandria. All'età medioevale risalgono le case di via dei Delfini ed al Settecento la vicina chiesa ancora esistente di San Stanislao, con l'annesso ospizio dei Polacchi.

Agli inizi degli anni Quaranta del secolo scorso l'area dell'antico monastero cadde in uno stato di abbandono e le aree circostanti l'isolato della Crypta Balbi vennero interessate da importanti interventi urbanistici, mentre le case intorno continuarono a essere abitate fino agli anni Sessanta, quando le ricerche archeologiche identificarono con il complesso di Balbo i resti ancora visibili dell'antico monumento. Ed è proprio qui che duemila anni dopo, in quelle stesse strutture, sorge il Museo la cui specificità è quella di essere un museo di archeologia urbana,

che ricerca e documenta l'evoluzione di quello spazio, dei suoi insediamenti e delle sue destinazioni d'uso lungo i secoli.

Nel corso del 2019, su incarico del Museo Nazionale Romano, l'ENEA è stata chiamata ad eseguire sopralluoghi e prove diagnostiche non distruttive per la valutazione delle parti a maggior vulnerabilità sismica ed a maggior rischio di collasso statico del complesso della Crypta Balbi, al fine di fornire indicazioni utili alla gestione degli spazi e dei percorsi di visita che garantiscano le condizioni di sicurezza dei visitatori. L'intervento, finalizzato a definire quali parti del complesso fossero a maggiormente a rischio di collasso, sia in condizioni statiche che sismiche, ha interessato gli aggregati degli edifici prospicienti le vie che delimitano l'isolato, oltre al percorso di visita agli scavi archeologici che occupano l'area centrale del complesso (Fig. 1) ed ha visto l'applicazione di un approccio multidisciplinare e di metodologie e tecniche integrate.

Per quanto riguarda gli edifici, la mappatura è stata effettuata con l'ausilio di schede di rilievo, appositamente predisposte da ENEA, per l'ispezione programmata degli elementi architettonici delle cattedrali e dei monumenti, in base agli indirizzi per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale e con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni.

L'ispezione, finalizzata al rilievo del danno agli elementi architettonici e strutturali, ovvero delle multiformi manifestazioni del loro degrado, è stata condotta in tutti i locali accessibili tramite controllo visivo ed in alcuni casi controllo strumentale. Per ogni locale è stato espresso un giudizio graduato su sei livelli di danno -nullo, lieve, moderato, grave, molto grave, crollo- al quale sono stati associati dei Livelli di Allerta su una scala da 1 (assenza di danno) a 5 (stato limite di imminente collasso), anche in relazione alla destinazione d'uso ed alle ca-

ratteristiche di affollamento dei locali. Inoltre, è stato deciso che le successive ispezioni saranno tanto più frequenti quanto maggiore è il livello di allerta. La campagna di ispezione ha messo in luce un livello di allerta piuttosto elevato per gli edifici attualmente non in uso ed in attesa di un intervento di recupero e rifunzionalizzazione, in particolare per gli aggregati su via dei Delfini e su via delle Botteghe Oscure, ai quali è stato assegnato un Livello di Allerta 5.

Successivamente, l'identificazione e la valutazione delle vulnerabilità ha riguardato il percorso di visita agli scavi archeologici (Fig. 2), caratterizzato da alcuni elementi salienti tra i quali il lavatoio, le murature affrescate della chiesa/convento medioevale di Santa Caterina (Fig. 3), l'edera ed il lastricato romano (Fig. 4) che, sebbene all'aperto, presentavano alcune situazioni potenzialmente a rischio.

Il percorso che conduce al lavatoio, ad esempio, è adiacente ad una muratura di notevole elevazione, sulla quale sono state effettuate sia verifiche numeriche, per valutare i possibili cinematismi di collasso in caso di azione sismica, sia verifiche vibrazionali, mediante il monitoraggio ambientale, che hanno evidenziato una situazione di instabilità degli sgocciolatoi in laterizio e della

sopraelevazione della muratura.

Anche sull'edera sono state riscontrate delle criticità legate sia alla mancanza di un pilastro, puntellato non in tempi recenti (quindi non nel rispetto delle norme vigenti) con un contrafforte in tubi Innocenti che si presentavano completamente ossidati, sia ad una porzione di paramento murario dell'emiciclo ad incipiente rischio di distacco. Per ovviare a queste problematiche si è consigliato di modificare il percorso di accesso all'edera in modo tale da evitare l'area dove manca il pilastro e di mettere in sicurezza la parte di muratura a rischi di distacco.

Stessa considerazione è stata fatta per l'area di passaggio al locale lastricato romano, interessato da una serie di puntoni di sostegno delle strutture che sono stati analizzati con la tecnica del *moto magnificato*.

Le murature lungo il percorso di visita sono state rilevate mediante *schede di rilievo informatizzate* e caratterizzate con l'impiego di tecniche non distruttive come la *termografia*, le *indagini soniche*, le *prove penetrometriche sulle malte* (Fig. 5) ed il prelievo di campioni da analizzare in laboratorio (*analisi morfologiche al microscopio elettronico*), mettendo in luce un discreto stato di conservazione ad eccezione di alcune parti più degradate.



Fig. 5 Prova penetrometrica sulle malte delle murature della chiesa/convento di Santa Caterina

Interventi sostenibili sulle opere d'arte: il biorestauro

Alcuni dei prodotti comunemente usati nel restauro sono miscele complesse di sostanze, utilizzate prevalentemente indoor, e che possono avere effetti sulla salute degli operatori e danneggiare per la loro aggressività le opere stesse. Il loro smaltimento, inoltre, se non è effettuato in modo appropriato, può danneggiare l'ambiente.

La transizione verso prodotti e pratiche che rispettino l'ambiente e gli operatori è rappresentata dalle procedure innovative di pulitura e consolidamento e da servizi avanzati per lo sviluppo di pratiche di restauro sostenibile, basati sull'impiego di ceppi microbici non patogeni e prodotti di origine microbica e vegetale.

Le tecnologie microbiche sviluppate in ENEA sono basate sull'uso di batteri isolati da diverse matrici ambientali (Fig. 6), che spaziano da siti contaminati da metalli pesanti ed idrocarburi alle opere d'arte deteriorate.

I microrganismi, isolati e caratterizzati dal punto di vista tassonomico e funzionale, sono conservati nella collezione di ceppi ENEA-MIRRI. E' una collezione microbica composta da circa 1.500 microrganismi isolati da diverse matrici ambientali ed ecosistemi naturali, con notevoli potenzialità applicative nei campi ambientale, beni culturali, salute, agroalimentare e bioenergia, che afferisce al nodo italiano di MIRRI (Microbial Resource Research Infrastructure), il più grande network di centri europei per la salvaguardia della biodiversità microbica a fini di sostenibilità ambientale, sviluppo biotecnologico e crescita della bioeconomia. Le tecnologie microbiche rispondono bene alle esigenze legate a questo processo di transizione, presentando alcuni vantaggi rispetto ai tradizionali metodi chimico-fisici: selettività e quindi bassa aggressività per l'opera, compatibilità ambientale, bassi costi di applicazione, tutela della salute dell'operatore, assenza di problemi etici. Possono inoltre intervenire dove i metodi tradizionali non sono

sufficienti o, nel tempo, hanno perso la loro efficacia a causa dell'insorgenza di resistenze, nel caso dei biocidi per la rimozione di patine biodeteriogene, o a causa di alterazioni della matrice legate al tempo e alle pratiche di restauro precedenti. **Le ricerche ENEA sono finalizzate allo sviluppo di procedure di restauro basate sull'uso di microrganismi e altri prodotti bio-based, per affrontare, in collaborazione con funzionari e restauratori, problematiche reali di conservazione e restauro, di volta in volta diverse, per la ricerca di soluzioni ad hoc.**

In questa prospettiva, le attività ENEA mirano ad espandere l'esplorazione sulle potenzialità dei microrganismi, diversificando, attraverso i casi studio affrontati, i microrganismi utilizzati, i materiali costitutivi sui quali applicarli (carta, pergamena, affreschi, dipinti murali, materiale lapideo, legno), i depositi da rimuovere (colla animale e sintetica, resine, gessi, carbonati, caseine, idrocarburi, olii, etc.) e le modalità di applicazione.

### Lo sviluppo di prodotti fitoderivati

Nel campo della disinfezione e della

**rimozione di patine biologiche** che degradano opere e monumenti, l'ENEA è coinvolta nello sviluppo di sostanze attive e coformulati derivati da estratti vegetali in collaborazione con aziende, Università e Centri di Ricerca. L'Agenzia Chimica Europea (ECHA) promuove lo sviluppo di sostanze e metodi più sicuri e sostenibili nel restauro e nella conservazione del patrimonio culturale, che soddisfino i requisiti di sostenibilità ambientale, sociale ed economica. **Lo sviluppo di prodotti fitoderivati** risponde perfettamente alla necessità di trovare alternative "verdi" e, negli ultimi anni, è cresciuto l'interesse per lo sviluppo di nuovi biocidi bio-based.

Fitoderivati, fitoestratti ed oli essenziali, grazie ai loro principi attivi e metaboliti secondari esplicano un'azione biostatica e biocida verso diverse classi di microrganismi. La loro efficacia contro i comuni agenti patogeni umani (batteri, funghi e lieviti) è nota e vengono utilizzati in molti campi applicativi, quali alimentazione, medicina e industria farmaceutica. **Recente è la sperimentazione del loro uso per contrastare e contenere il biodeterioramento di archivi, biblioteche, mu-**



Fig. 6 Tasselli di biopulitura con batteri, prima e dopo la rimozione del "micro-pack". Dipinti murali di Casina Farnese al Palatino (Roma).

sei e monumenti lapidei ad opera di microrganismi nocivi.

Inoltre, la complessità della composizione di questi estratti naturali garantisce un ampio spettro di efficacia e, parallelamente, riduce l'insorgenza di fenomeni di resistenza negli organismi target, permettendo dosi di utilizzo inferiori rispetto a formulati di sintesi e una copertura prolungata nel tempo.

Nell'ambito dello sviluppo di biomateriali applicabili nel restauro dei beni culturali, l'ENEA coordina il proget-

to "Nopal" cofinanziato dal Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale, che vede la collaborazione tecnica bilaterale con El Colegio de Michoacán (Messico). Le attività mirano alla definizione di una metodologia scientifica per la valutazione delle proprietà degli estratti di mucillagini dai cladodi dell'Opuntia ficus indica (Nopal), ampiamente usati in Messico e noti per tradizione empirica come additivi delle malte perchè dotati di effetto consolidante e protettivo.

Fine ultimo del progetto è sviluppare un prodotto bio-based innocuo, e rispettoso della salute dei restauratori, da utilizzare in sostituzione di consolidanti e protettivi di sintesi per conferire solidità e contrastare il deterioramento di opere d'arte dovuto a cause di tipo ambientale (fattori di origine chimica e biologica). Tale prodotto ha inoltre minimo impatto ambientale e minimo scarto, in sintonia con i principi dell'economia circolare.