

# Il contrasto al deterioramento causato dall'umidità

*Sfide sempre più impegnative si presentano sul versante della conservazione dei beni culturali: al normale deterioramento causato dal passare del tempo, si sommano gli effetti della pressione antropica sul paesaggio, che aggravati dai cambiamenti climatici in corso, espongono molti siti di interesse ai danni dovuti alle infiltrazioni di umidità. La ricerca risponde a queste nuove sfide con l'approccio multidisciplinare e lo sviluppo ed applicazione di tecnologie che godono ampio consenso nella comunità scientifica.*

DOI 10.12910/EAI2022-033

di Francesco Colao, Laboratorio Diagnostiche e Metrologia - ENEA

**L**a tutela dei beni culturali è un elemento essenziale del rapporto che la nostra società ha con i resti del passato ed insieme alla gestione e valorizzazione delle opere d'arte è momento centrale del processo che favorisce e potenzia la protezione, conservazione e fruizione del patrimonio culturale [1]. In questo ambito non si può non considerare il ruolo svolto dalla ricerca, riconosciuta anche dal Legislatore già nel Codice dei beni culturali e del paesaggio, dove meglio ne chiarisce il rapporto con la tutela, definendo quest'ultima *come consistente nell'esercizio delle funzioni e nella disciplina delle attività dirette, sulla base di un'adeguata attività conoscitiva, ad individuare i beni costituenti il patrimonio culturale ed a garantirne la protezione e la conservazione per fini di pubblica fruizione* (art. 3 comma 1 Dlg.s 42/2004).

Il ruolo svolto dalla ricerca nell'ambito delle attività conoscitive è molteplice: se in campo umanistico riguarda l'approfondimento del contesto storico-ambientale, in quello tecnico-scientifico studia le metodologie

costruttive, come anche i materiali utilizzati e il loro interagire con l'ambiente, e fornisce informazioni per la conservazione ed il restauro conservativo ottimale. **Solo il rigoroso approccio scientifico, garantisce il rispetto dell'opera d'arte e, attraverso la definizione delle strategie ottimali di gestione, diventa il moltiplicatore di un'ampia e corretta fruizione dello stesso.**

## I progetti REMEDIA e CIACCO

La Regione Lazio ha raccolto le istanze di tutela conservazione, valorizzazione e fruizione dei beni culturali attraverso la disposizione di bandi nel Programma Operativo Regionale-Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale (POR FESR) Lazio 2014-2020 e nell'Accordo di programma quadro "Ricerca, Innovazione Tecnologica, Reti Telematiche" (APQ6), al quale l'ENEA, da sempre impegnata nello sviluppo e promozione delle tecnologie e del loro trasferimento al sistema Paese, ha risposto con successo insieme ai partner CNR (con gli istituti INM-Istituto di Ingegneria del Mare,

ISPC - Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale), Università di Roma Tor Vergata (Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ingegneria Informatica, ed il Dipartimento di Biologia) e un operatore privato, ottenendo il finanziamento per il **progetto REMEDIA** (RicErca, diagnostica e METodi di contrasto al Deterioramento causato dall'umidità nei Beni Culturali) [2] ed per il **progetto CIACCO** (Sviluppo e applicazione in situ di tecnologie innovative per il Contrasto alle Infiltrazioni d'Acqua in nelle Chiese romane del Centro storico) [3].

**Questi progetti rispondono alla ampia e variegata richiesta che emerge dalle problematiche di conservazione e restauro del patrimonio culturale di cui l'Italia è ricchissima. Nuove sfide si presentano infatti sul versante della diagnostica: al normale deterioramento causato dal passare del tempo, si sommano oggi gli effetti della pressione antropica sul paesaggio, che aggravati dai fenomeni meteo estremi che caratterizzano i cambiamenti climatici in corso fanno sì che molti siti di interesse per i beni culturali soffrano**



di infiltrazioni di umidità. Ne sono un esempio i resti monumentali e le Chiese costruite su fondamenta romane, le Catacombe o i manufatti sepolcrali, soprattutto quelli ipogei, ovvero posti al di sotto del piano di campagna, in prossimità di corsi d'acqua o in zone umide. L'umidità di risalita è infatti una causa ricorrente del danneggiamento conseguente allo scambio acqua/aria nei materiali porosi. L'alternanza di stagioni secche prolungate e di forti piogge, influisce drammaticamente sulla distribuzione dell'umidità di risalita delle murature, sul microclima degli ambienti interni, nonché sul contenuto d'acqua. La presenza inoltre di finiture non traspiranti sovrapposte a materiali porosi amplificano gli effetti dannosi dei cicli assorbimento di acqua e della successiva evaporazione. Il problema dell'accertamento dello stato corrente e del contrasto al deterioramento dovuto all'umidità, è dunque di notevole importanza e richiede:

- la quantificazione dell'estensione e della distribuzione dell'umidità nelle murature e nel terreno al di sotto delle fondazioni della struttura, la sua diffusione, e gli scambi verso gli ambienti interni degli

edifici;

- la rivelazione delle alterazioni strutturali;
- la rivelazione delle alterazioni sulle superfici dipinte/decorate e delle efflorescenze saline;
- la rivelazione di microorganismi causa di biodeterioramento.

Lo scenario descritto rende conto della notevole importanza assunta dalla misura della distribuzione dell'acqua presente nei manufatti di interesse culturale; inoltre la tutela del bene culturale considerato come un *unicum*, oltre ad un'approfondita conoscenza degli effetti causati dal degrado richiede un'ottimale pianificazione di azioni di contrasto e mitigazione del danno.

#### Le metodiche sperimentali

La soluzione proposta nei progetti REMEDIA e CIACCO, si avvale dell'uso concorrente e sinergico di diverse metodiche sperimentali. Per i fini diagnostici sono state scelte tecnologie di elezione che godono di largo consenso nella comunità scientifica e si distinguono per la loro elevata specificità e per

non essere invasive; queste sono la termografia a infrarossi (IRT-Infrared Thermography), e la risonanza magnetica nucleare unilaterale (NMR-Nuclear Magnetic Resonance). Informazioni aggiuntive sugli effetti causati dall'acqua presente nei manufatti murari, funzionali alla costruzione di una panoramica completa del deterioramento dovuto alle infiltrazioni sono poi l'imaging acustico risolto in frequenza (FRAI-Frequency Resolved Acoustic Imaging), e l'imaging iperspettrale della fluorescenza indotta da laser (LIF-Laser Induced Fluorescence).

Nella IRT, il contenuto di umidità è correlato alle variazioni della temperatura superficiale; in modo semplificato, possiamo osservare che le zone umide sono contraddistinte da una minore temperatura a causa della natura endotermica dell'evaporazione. La IRT è una tecnica senza contatto e non distruttiva che può essere utilizzata per la diagnostica speditiva di grandi superfici, consentendo misurazioni ripetute nel tempo, e monitorare i fenomeni di risalita dell'acqua dal suolo dovuta al movimento capillare di acqua nei materiali porosi.

La RMN unilaterale fornisce la misu-

ra di acqua entro il primo centimetro di muratura; è non invasiva e non distruttiva e accuratamente calibrata, fornisce la valutazione quantitativa del contenuto di acqua. Va tuttavia considerato come la RMN sia una tecnica puntuale e che la sua effettuazione su ampie porzioni di manufatti murari richiede tempo; risulta dunque necessario limitare il suo uso ad aree di piccola estensione. La FRAI è basata sulla misura delle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali costituenti e della struttura muraria, e valuta in modo non invasivo il danno strutturale di diversi tipi di strutture multistrato. Recentemente la FRAI ha trovato applicazione per valutare i cicli di assorbimento ed evaporazione dell'acqua, nonché per monitorare gli effetti dell'umidità nelle murature antiche.

**Infine la spettroscopia di fluorescenza indotta da laser (LIF) che è elettiva-**

**mente utilizzata per la rivelazione di sostanze che posseggono un'emissione fluorescente.** La LIF si basa sulla misura delle caratteristiche spettrali e temporali dell'autofluorescenza indotta da laser e consente la identificazione dei materiali superficiali. La sperimentazione effettuata in laboratorio mostra che il tenore di acqua nei substrati indagati non altera significativamente lo spettro di emissione di manufatti murari, tuttavia si è trovata una stretta correlazione tra lo spettro LIF e alterazioni spettroscopiche delle emissioni fluorescenti dovuti agli effetti a lungo termine dell'umidità [6] quali ad esempio la depigmentazione, le efflorescenze saline, l'attacco e la colonizzazione biologica.

#### I potenziali di innovazione

Entrando nel vivo delle attività previste, riportiamo che il progetto RE-

**MEDIA** mira ad avanzare il grado di maturità tecnologica (TRL – Technology Readiness Level) [4] del prototipo di laboratorio denominato ACEADD (ACoustic Energy Absorption Diagnostic Device) basato sulla FRAI, alla integrazione strumentale e alla validazione basata su solidi principi metrologici.

Nel progetto si intende passare dal prototipo di laboratorio sperimentato in ambienti di rilevanza specifici (TRL pari a 6), al dispositivo ACEADD da usare in ambienti operativi (TRL pari a 7); questo ha dimostrato la potenzialità di mappare il danno strutturale di diverse tipologie di strutture murarie multistrato in maniera non invasiva e senza contatto [5]. Il campo di impiego di ACEADD promette di essere notevolmente esteso potendo essere impiegato con successo a tutti i casi dove i danni strutturali sono ascrivibili ai

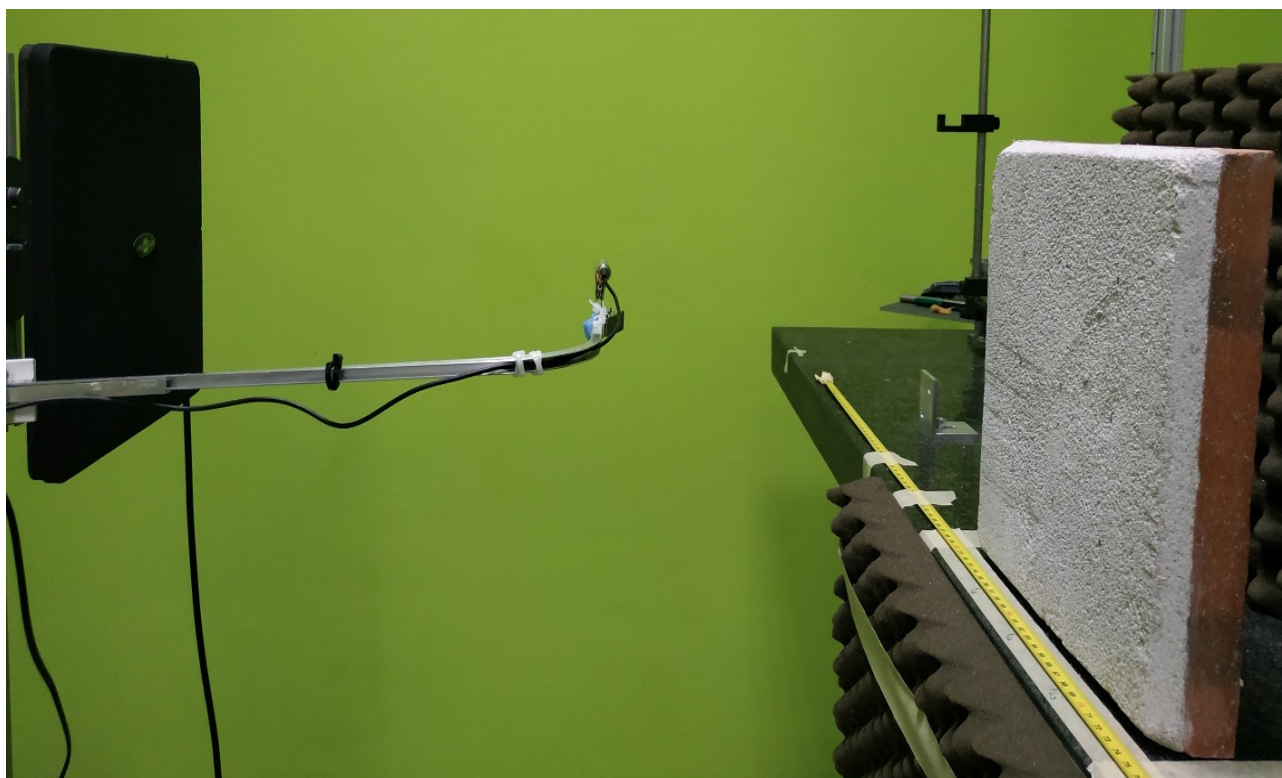


Fig. 1 Misure di laboratorio vengono effettuate per studiare le riposte standard delle murature imbevite, nella figura si notano i trasduttori di emissione e ricezione del dispositivo ACEADD.

cicli di assorbimento ed evaporazione di acqua, quali ad esempio le pareti affrescate, le ceramiche artistiche, i dipinti su tavola e le pareti in muratura di edifici storici. **A completare il quadro diagnostico offerto dal progetto REMEDIA c'è lo studio della integrazione delle immagini acustiche con i dati delle altre tecniche coinvolte (IRT, NMR e LIF).** La fase finale di validazione in campo è prevista presso le Catacombe di Priscilla dove testare la strumentazione in ambiente ipogeo ed in condizioni reali. Azioni mirate di disseminazione supporteranno il trasferimento di conoscenza verso gli End User, potenziando l'offerta e le capacità tecnologiche delle imprese di settore.

**Il progetto CIACCO, completa la spirale evolutiva virtuosa che dalla indagine conoscitiva basata sulla innovazione tecnologica ottenuta in REMEDIA porta alla definizione di *best practice* di tutela e conservazione.** Gli obiettivi di CIACCO sono di maggiore respiro e ampiezza, poiché al momento diagnostico si aggiunge lo studio degli aspetti di stabilità statica, l'uso e il miglioramento di tecnologie a polarizzazione per il contrasto alla risalita di umidità, la valutazione di prodotti innovativi naturali e sostenibili per il contenimento dell'attacco biologico e la mitigazione del danno. Centrale per il progetto è l'esecuzione di una campagna di misure da effettuare presso un sito di grande interesse culturale, dove applicare le tecnologie diagnostiche sviluppate, verificandone ed estendendone i risultati mediante l'integrazione e la fusione multivariata dei dati [6]. A questo fine è stato individuato il bene culturale della **Chiesa di san Rocco all'Ara Pacis** che, situato in prossimità del fiume Tevere, ha strutture murarie e arredi affetti da considerevoli problematiche legate alle infiltrazioni di acqua. La Chiesa di San Rocco rappresenta un caso studio tipico che può largamente beneficiare dell'applicazione di diagnostiche in situ per



Fig. 2 Porzione di muratura interessata da umidità di risalita e conseguente attacco biologico

la valutazione dello stato attuale del deterioramento e che possiede le condizioni ideali per la definizione delle strategie di intervento volte a mitigare gli effetti di danneggiamento dovuti all'umidità.

### Conclusioni

**I progetti REMEDIA e CIACCO si occupano dello sviluppo di strumentazione innovativa e di un approccio integrato per la mappatura dell'umidità presente nei manufatti murari e dei conseguenti processi di deterioramento.** La strategia adottata è multidisciplinare sia in termini di metodiche di misura che di definizione di *best practice* di conservazione e restauro del bene. Dal lato tecnico-scientifico si avvale di metodiche di misura diretta (IRT e NMR) e della loro integrazione con tecniche di valutazione degli effetti indotti dall'umidità (FRAI e LIF), mentre dal lato della gestione si occupa di definire

le strategie di contrasto e mitigazione del danno. L'accento è posto sulla **multidisciplinarietà dell'approccio**, che favorito dalla molteplicità di competenze e tecnologie, dovrebbe essere preferito ogni volta che si pianificano le opere di tutela gestione e valorizzazione conservazione del patrimonio culturale.

Secondo il paradigma di una buona gestione dell'opera d'arte, la tutela si basa sulla indagine diagnostica conoscitiva cui segue il restauro e l'implementazione di azioni di mitigazione degli effetti di deterioramento e infine la pianificazione di un monitoraggio continuo. In questo senso, indagine conoscitiva e monitoraggio sono momenti sovrapponibili e realizzano una circolarità dall'azione di gestione e conservazione che evolvendo segue e preserva nel tempo la vita del bene culturale. **I progetti REMEDIA e CIACCO intendono quindi contribuire a supportare la scelta degli interventi più appropriati, riducen-**

do il rischio di applicare rimedi di scarsa efficacia, definendo le azioni di *best practice* volte al recupero ed alla mitigazione degli effetti e non ultimo di prevenire interventi inadeguati, favorendo invece un'azione conservativa aderente al principio del minimo criterio di intervento.

### Ringraziamenti

Si ringrazia la Regione Lazio per la sovvenzione del Progetto REMEDIA - Domanda n. PROT. A0375-2020-

36497 - Avviso Pubblico "Gruppi di ricerca 2020" - POR FESR Lazio 2014-2020 - Azione 1.2.1 - approvato con Determinazione n. G08487 del 19/07/2020- pubblicato sul BURL N.93 del 23/07/2020 - modificato con Determinazione n. G10624/2020- pubblicato sul BURL n. 116 del 22/09/2020, e del Progetto CIACCO- DTC - Intervento TE1 - Centro di Eccellenza composto da Anagrafe delle Competenze e Polo di Innovazione Regionale Diffuso su Tecnologie e Materiali finalizza-

to anche allo sviluppo di artigianato artistico di qualità Det. n. G00471 del 21/01/2020 "Invito al Centro di Eccellenza a presentare progetti per la seconda fase dell'Avviso approvato con Determinazione n. G08622 del 20/06/2017 - Progetti RSI 07/2020 - modificato con Determinazione n. G10624/2020- pubblicato sul BURL n. 116 del 22/09/2020.

*Per info: francesco.colao@enea.it*

### BIBLIOGRAFIA

1. D. Manacorda, Tra ricerca, turismo ed economia, Materiali per Popolonia a cura di G.Facchin e M.Millett, Edizioni ETS, ISBN:978-884673193-7
2. Progetto REMEDIA [www.enea.it/it/fusione-e-sicurezza-nucleare/progetto-remedia](http://www.enea.it/it/fusione-e-sicurezza-nucleare/progetto-remedia)
3. Progetto CIACCO, [www.enea.it/it/fusione-e-sicurezza-nucleare/progetto-ciacco](http://www.enea.it/it/fusione-e-sicurezza-nucleare/progetto-ciacco)
4. Definizione dei livelli di maturità tecnologica [https://esto.nasa.gov/files/trl\\_definitions.pdf](https://esto.nasa.gov/files/trl_definitions.pdf)
5. Calicchia, Paola, Sara De Simone, Lucilla Di Marcoberardino, and Patrizio Verardi. "Exploring the potential of a frequency resolved acoustic imaging technique in panel painting diagnostics." *Measurement* 118 (2018): 320-329.
6. Per un esempio di integrazione strumentale IRT, NMR, FRAI e LIF nell'approccio multidisciplinare del progetto ADAMO vedi Proietti, Noemi, Paola Calicchia, Francesco Colao, Sara De Simone, Valeria Di Tullio, Loredana Luvidi, Fernanda Prestileo, Martina Romani, and Angelo Tati. "Moisture damage in ancient masonry: a multidisciplinary approach for in situ diagnostics." *Minerals* 11, no. 4 (2021): 406.