

TRAIETTORIA 3. TECNOLOGIE PER LA DIAGNOSTICA DEL PATRIMONIO CULTURALE

1. Introduzione

La traiettoria 3 ha l'obiettivo di contribuire all'evoluzione della diagnostica del patrimonio culturale intesa come l'insieme delle tecniche propedeutiche a qualsiasi forma di intervento. Attraverso uno sviluppo mirato di tecniche consolidate e nuovi metodi di indagine, è possibile attuare un piano di innovazione tecnologica nei seguenti campi:

A – Studio dei materiali:

- ai fini della collocazione del bene culturale nello spazio e nel tempo (analisi di provenienza, delle tecniche di produzione e datazione);
- ai fini della determinazione dello stato di conservazione anche in relazione a interventi di restauro.

B – Studio delle opere:

- ai fini di un'analisi delle immagini (riflettografia, radiografia, tomografia, XRF-mapping, imaging iperspettrale.), indirizzata anche a individuare le tecniche di esecuzione, a supporto dell'analisi filologica; si deve ora segnalare che nuovi modelli di Intelligenza Artificiale promettono di rivoluzionare il futuro della diagnostica per immagini.

C – Protocolli di autenticazione, in stretta relazione ai punti A e B

- ai fini di una corretta e completa attribuzione e autenticazione delle opere d'arte si è reso sempre più necessario nella ricerca sui beni culturali un approccio interdisciplinare tra saperi tecnico-scientifici e umanistici, tenendo in considerazione tanto uno studio di dettaglio sui materiali quanto più ampio delle opere. (i.e.: l'area di studio delle ceramiche tardoantiche, medievali e rinascimentali; lo studio dei materiali bronzei).

I metodi applicati, dunque, per i campi A, B, C, sono di datazione (radiocarbonio; termoluminescenza; dendrocronologia); analitici per determinare la composizione atomica e molecolare di un campione permettendo ad esempio di identificare siti di produzione e tecniche realizzative (analisi con fasci ionici IBA; fluorescenza a raggi X); metodi d'indagine strutturale e morfologica, micro o non invasivi, che permettono di investigare a livello micro e macroscopico la struttura dei materiali, le proprietà fisico-meccaniche, la registrazione della forma (microscopia elettronica a scansione; tecniche radiografiche; tomografia computerizzata; diagnostica multispettrale per immagine). Tutti questi metodi sono suscettibili di rapide evoluzioni attraverso l'applicazione di nuovi modelli di Intelligenza Artificiale.

Nell'innovazione dei sistemi diagnostici l'elemento di novità riguarda non solamente le tecniche, che possono essere mutate da altri settori come quello biomedicale, ma la possibilità di integrare e combinare tra loro più tecniche sia in fase di misurazione sia in fase di elaborazione e sintesi dei dati (i.e.: ricorso a metodi di machine learning integrati ad analisi di datazione per studi di attribuzione e autenticazione). Tra gli elementi trainanti di sviluppo e innovazione della diagnostica per i beni culturali emergono la necessità di portabilità della strumentazione e la non distruttività o non invasività sul bene stesso.

1.1 Elementi tenuti in considerazione per l'aggiornamento

L'aggiornamento è stato eseguito tenendo in considerazione, in primo luogo, l'evoluzione della ricerca accademica in quei settori scientifici specialistici (chimica, fisica, ingegneria) che trasversalmente si occupano di trovare soluzioni innovative per la salvaguardia del patrimonio culturale nel campo della diagnostica. In particolare, è emerso quanto la bioscienze applicate ai beni culturali abbiano avuto una spinta all'innovazione anche in risposta ai 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile dell'Agenda 2030 e le missioni del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), come si evince dagli atti del Workshop Bioscienze per i beni culturali organizzato nel 2023 dall'Accademia dei Lincei. Il XIV Convegno Internazionale *Diagnosi, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale* svoltosi il 14-15

dicembre 2023 presso la Biblioteca Universitaria di Napoli ha illustrato i recenti progressi e le innovazioni riguardo materiali, tecniche e strumenti per la tutela del patrimonio culturale.

In secondo luogo, si è fatto strada e si sta affermando un approccio interdisciplinare che sta cambiando il paradigma della Scienza della Conservazione, riconoscendo la necessità di una comprensione olistica e di una cura ed un uso sostenibili del patrimonio artistico-culturale. Tale nuovo approccio è riscontrabile nel Work Programme 2021-22 del Cluster 2 di Horizon Europe e in particolare in quei progetti che sono stati valutati e finanziati nei settori green, digital e innovation, riportati di seguito come progetti di riferimento anche per le tecniche e i metodi di diagnostica.

In aggiunta, la pianificazione di strategie di intervento sui beni culturali sembra essere indirizzata a una metodologia sempre più preventiva in cui i sistemi di diagnostica, e dunque la loro innovazione in tecniche, materiali, metodi, diventano di prioritaria importanza; anche in questa prospettiva, specie nell'ultimo anno, si è incrementata la consapevolezza dell'impatto che potrebbero rivestire nuovi metodi applicati di Intelligenza Artificiale. È pertanto significativo evidenziare anche la congruenza con la Traiettorie 3 delle progettualità della Fondazione CHANGES, la più importante compagine italiana nata dai bandi del PNRR in ambito patrimonio culturale, in particolare all'interno dello *Spoke 5 - Science and technologies for sustainable diagnostics of Cultural Heritage*, delle cui ricadute si dovrà certamente tenere conto in futuro. Infatti, il percorso di innovazione della diagnostica del patrimonio culturale, secondo il programma di CHANGES, sarà guidato da un approccio che favorisca la collaborazione tra le discipline umanistiche e le scienze umane e con un'ampia gamma di istituzioni del patrimonio culturale, aziende private e parti interessate. Sarà costruito incorporando tecnologie e strumenti nuovi ed emergenti ed esplorando nuovi metodi.

Tra le voci bibliografiche adoperate per gli aggiornamenti si segnalano: *Atti del Workshop Bioscienze nei Beni Culturali*, Accademia dei Lincei, Roma, Aprile 2023, ENEA Servizio Promozione e Comunicazione Laboratorio Tecnografico - Centro Ricerche ENEA Frascati; *Booklet DRIVING A GREEN, DIGITAL & INNOVATIVE EUROPEAN CULTURAL HERITAGE - Projects from the 2021 & 2022 calls for proposals of Cluster 2 "Culture, Creativity & Inclusive Society"*. 1st edition. July 2023, European Commission; Anna Pelagotti, *I nuovi strumenti, le ultime ricerche su restauro e diagnostica scientifica a Florence Heri-Tech* Lug. 26, 2022; (<https://www.art-test.com/i-nuovi-strumenti-le-ultime-ricerche-per-saperne-di-piu-su-diagnostica-scientifica-e-metodologie-di-restauro-a-florence-heri-tech/>);

<https://www.dscm.cnr.it/it/ricerca/chemistry-for-cultural-heritage.html>; Vasco Fassina, *Chimica applicata alla conservazione e al restauro del patrimonio culturale* vol.2-Materiali costitutivi, Editore: Nardini, Collana: Arte e restauro. Strumenti, Giugno 2023; <https://www.lnf.infn.it/edu/seminaridivulgativi/relazioni09/ArcheometriaFisBeniCulturali.pdf> ;

Wallace, M.; Pouloupoulos, V.; Antoniou, A.; López-Nores, M. *An Overview of Big Data Analytics for Cultural Heritage*. Big Data Cogn. Comput. 2023, 7, 14. <https://doi.org/10.3390/bdcc7010014>.

Analisi SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)	
Punti di forza	Punti di debolezza
Molte tecniche diagnostiche sono particolarmente sviluppate in Italia, spesso ai massimi livelli internazionali, anche grazie alle esperienze acquisite in progetti locali, nazionali e internazionali.	L'enorme varietà di interventi richiesti implica una potenziale dispersione delle competenze e un difficile lavoro di coordinamento.
Opportunità	Minacce
Sviluppare reti tematiche a livello macroregionale per armonizzare gli interventi sul Patrimonio. Creare Centri locali con alti livelli di specializzazione in settori mirati (imaging iperspettrali, datazioni, spettroscopie ad altissima risoluzione e sensibilità, nuovi modelli di Intelligenza artificiale), evitando duplicazioni di competenze, favorendo allo stesso tempo interventi coordinati. Sviluppo di	Rischio di sviluppo di "large-scale facilities" solo parzialmente dedicate allo studio del Patrimonio e prevalentemente utilizzate per altre attività.

metodi diagnostici e scientifici avanzati.	
--	--

2. Definizione delle sotto-traiettorie

In estrema sintesi le sotto traiettorie legate alla diagnostica del Patrimonio Culturale si possono raggruppare in:

SOTTO-TRAIETTORIA	DEFINIZIONE
3.1 Tecniche diagnostiche non invasive da laboratorio e “in situ”	Tecniche iperspettrali e di imaging., spettroscopiche (ad es. per studio di leganti, pigmenti), di trattamento dati e sviluppo di algoritmi dedicati.
3.2 Tecniche diagnostiche micro-invasive da laboratorio	Studio qualitativo-quantitativo di matrici complesse, in particolare per la collocazione delle opere nello spazio e nel tempo (provenienza, datazione).
3.3 Metodologie sperimentali e computazionali per l’interpretazione e la previsione di processi di degrado	Modellizzazione sperimentale e computazionale dei processi di degrado. Valutazione dell’impatto ambientale e antropico.
3.4 Modelli predittivi a supporto della conservazione dei beni culturali	Applicazione di tecnologie basate su Intelligenza Artificiale per la conservazione del patrimonio culturale fondata su modelli predittivi.

2.1 Sotto-traiettorie 3.1: **TECNICHE DIAGNOSTICHE NON-INVASIVE DA LABORATORIO E “IN SITU”**

L’innovazione per la diagnostica non invasiva *in situ* permette di indirizzare gli sviluppi di molteplici tecniche: quelle iperspettrali di imaging/scanning in vari range di energia, le tecniche di close-range remote sensing e di sensoristica, le tecniche spettroscopiche per lo studio dei pigmenti e dei materiali leganti, le tecniche di immunochimica e delle metodologie informatiche/statistiche per il trattamento dei dati.

Uno degli obiettivi è di sviluppare e integrare nuove metodologie di intervento basate su analisi statistiche di dati. Un esempio sono i dati di archivio legati ad attribuzioni tanto di periodi storici antichi quanto contemporanei, in correlazione ad analisi scientifiche e filologiche, e di autenticazione.

Risultano evidenti la pluralità di strumenti di intervento diagnostico e le molteplici competenze richieste. Sono dunque anche numerose le possibilità di intervento da parte di imprese nello sviluppo di strumentazione dedicata: tecniche iperspettrali di imaging/ scanning, nuovi metodi puntuali per analisi composizionale ad elevata specificità, soprattutto in relazione alle componenti organiche, tecniche di sensoristica, sono tutti esempi significativi di opportunità di sviluppo strumentale. Per le tecniche non invasive di rilievo le reti dell’INFN - CHNet e del CNR-MOLAB con azioni coordinate sono in grado di integrare le competenze e le strumentazioni di diversi laboratori di spettroscopia, analisi strutturale e morfologica. Inoltre, possono fornire informazioni estremamente dettagliate sugli aspetti materici di manufatti non trasportabili in laboratorio o per i quali il campionamento è limitato.

Tra le *Large o Medium Scale Facilities* dotate di strumenti che possono lavorare in laboratorio sull’oggetto artistico in modo non invasivo alcuni esempi importanti sono i Centri che utilizzano fasci di particelle di bassa energia, quindi un metodo non-invasivo, per le analisi IBA, Ion Beam Analysis. All’avanguardia in Italia sono i Centri LABEC, Laboratorio INFN- Università di Firenze per i Beni Culturali e Ambientali <http://labec.fi.infn.it/>, ed il CEDAD di Lecce (www.cedad.unisalento.it).

Inoltre, è importante evidenziare che all’interno dello Spoke 5 della Fondazione CHANGES, recentemente avviata nelle sue progettualità, si intendono sviluppare e implementare metodi non invasivi basati sulla tafonomia e approcci chimico-fisici e molecolari per valutare i processi diagenetici

nei materiali organici.

SOLUZIONI TECNICO METODOLOGICHE	
Tecniche iperspettrali di imaging	
Metodologie informatiche/statistiche per il trattamento dei dati	
Tecniche spettroscopiche per lo studio dei pigmenti e dei materiali leganti	
STAKEHOLDER	
Università, EPR, IR, Distretti	Vedi elenco nella macro-tabella Stakeholder
Imprese	Vedi elenco di imprese leader nazionali e internazionali, PMI, start-up nella macro-tabella Stakeholder
Altri portatori di interesse	Imprese di restauro e Fondazioni
RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA	
Coordinamento tra i laboratori esistenti sul territorio nazionale.	

2.2 Sotto-traiettoria 3.2: **TECNICHE DIAGNOSTICHE MICRO-INVASIVE DA LABORATORIO**

La sotto-traiettoria risponde alla necessità di sperimentare metodi chimico-fisici micro-invasivi ad elevata specificità e/o risoluzione spaziale, sviluppati ad hoc per lo studio qualitativo e quantitativo della composizione di matrici complesse. Questi includono metodi di biochimica, di biologia, oltre che tecniche di laboratorio su materiali pittorici e di origine geologica (lapidei, leganti, materiali fittili), compresi gli approcci di tipo minero-petrografico.

Inoltre, gli obiettivi di innovazione prevedono metodi di datazione, spesso a supporto di analisi di autenticazione, integrati con approcci statistici, archivistici e umanistici.

Anche questa sotto-traiettoria è caratterizzata dalla presenza di gruppi di ricercatori presso molte Università e Centri di ricerca, CNR, ENEA, INFN, che sarebbe impossibile elencare con completezza.

Meritano di essere citati i Centri organizzati per l'analisi di datazione, prevalentemente con l'utilizzo di Acceleratori per datazione ¹⁴C su micro-campioni (AMS, Accelerator Mass Spectrometry). Anche in questo caso i Centri sono LABEC, CEDAD e CIRCE (Center for Isotopic Research on Cultural and Environmental heritage - Centro di Ricerche Isotopiche per i Beni Ambientali e Culturali) del Consorzio Innova di Napoli, oltre ai Centri CUDAM (<http://cudam.mater.unimib.it/>) e l'Università di Catania, dotati di sistemi di datazione con luminescenza.

SOLUZIONI TECNICO METODOLOGICHE	
Metodi chimico/fisici e micro-invasivi per uno studio qualitativo e quantitativo di matrici complesse	
Tecniche biochimiche e biologiche	
Tecniche di datazione su micro-campioni	
Tecniche minero petrografiche	
STAKEHOLDER	
Università, EPR, IR, Distretti	Vedi elenco nella macro-tabella Stakeholder
Imprese	Vedi elenco di imprese leader nazionali e internazionali, PMI, start-up nella macro-tabella Stakeholder
Altri portatori di interesse	Sovrintendenze, Enti locali, Regioni, anche a fini di sviluppo turistico qualificato

RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA

Coordinamento tra i laboratori esistenti sul territorio nazionale

2.3 Sotto-traiettoria 3.3: **METODOLOGIE SPERIMENTALI E COMPUTAZIONALI PER L'INTERPRETAZIONE E LA PREVISIONE DI PROCESSI DI DEGRADO**

Negli ultimi anni alcuni gruppi di ricerca attivi presso Università ed Enti hanno rivolto il proprio interesse allo studio con metodi sperimentali e teorici del meccanismo e la dinamica di processi di alterazione dei materiali storico-artistici ed archeologici e l'effetto dei parametri ambientali sulla loro reattività superficiale. Di rilievo gli studi per la modellizzazione matematica della solfatazione di matrici carbonatica presso l'istituto CNR-IAC e gli studi sperimentali e teorici dell'effetto della luce su pigmenti inorganici presso il CNR-ISTM.

È importante sottolineare il ruolo della componente biologica nelle tecnologie per la diagnostica e per lo studio dei processi di degrado.

Nel dialogo interdisciplinare tra Scienze del Restauro, Chimica e Fisica, la crescente attenzione data alla sostenibilità ambientale ha contribuito ad accelerare la ricerca innovativa nel campo della Biologia, in particolare delle biotecnologie, con lo sviluppo di nuove metodologie e prodotti per il restauro. A tale proposito, è significativo segnalare il *workshop Bioscienze nei beni culturali* organizzato dall'Accademia dei Lincei in Aprile 2023 che ha raccolto i più recenti contributi della ricerca biologica applicata alla Conservazione e Restauro dei Beni Culturali, evidenziando vantaggi e criticità negli ambiti del biomonitoraggio e biodiagnostica, ma anche del biodeterioramento e biopulitura. (<https://www.lincoln.it/it/manifestazioni/bioscienze-nei-beni-culturali-convegno>).

Esistono poi in Italia alcuni istituti o aziende private ad alta specializzazione nella diagnostica microbiologica e biologica (i.e. Techno.el <https://www.tecno-el.it/news/analisi-biologiche-per-i-beni-culturali>; Prodoc <https://www.prodoc.it/biodiagnostica-per-i-beni-culturali/>). In genere, istituti di diagnostica chimica e fisica si avvalgono delle competenze biologiche ad hoc, contattando in genere distretti universitari, i centri per il restauro come i laboratori dell'ICR o del CNR con specialità nell'area della biologia.

Inoltre, il recente progetto CHANGES, finanziato dal PNRR Missione 4 Componente 2 Investimento 1.3, sta sviluppando all'interno dello Spoke 5 una serie di attività orientate a individuare strumenti e metodi multimodali e a scala multipla per la caratterizzazione dei materiali del patrimonio. Altresì intende sviluppare protocolli analitici sostenibili e soluzioni Internet of Things a basso costo per monitorare e gestire la qualità dell'aria interna e le condizioni microclimatiche, soprattutto in musei, sale espositive e depositi, oltre a metodi diagnostici e scientifici avanzati per l'analisi e la valorizzazione dei materiali organici nei beni culturali. Infine, alcune ricerche si concentreranno verso l'implementazione di metodi digitali, basati sull'intelligenza artificiale e la progettazione di strumenti digitali per la condivisione e l'elaborazione dei dati, per supportare gli stakeholder della CH nella gestione e nell'elaborazione dei dati.

SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Modellizzazione dei processi di degrado

Studio degli effetti naturali e antropici

Dinamiche dei processi di alterazione

Effetti biologici sulle superfici, in particolare dall'esposizione alla luce

STAKEHOLDER

Università, EPR, IR, Distretti

Vedi elenco nella macro-tabella Stakeholder

Imprese

Vedi elenco di imprese leader nazionali e internazionali, PMI, start-up nella macro-tabella Stakeholder

Altri portatori di interesse

Vedi elenco nella macro-tabella Stakeholder

RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA

Coordinamento tra i laboratori esistenti sul territorio nazionale

2.4 Sotto-traiettoria 3.4: **MODELLI PREDITTIVI A SUPPORTO DELLA CONSERVAZIONE DEI BENI**

CULTURALI

La modellazione predittiva è un'applicazione dell'intelligenza artificiale che aiuta a prevedere comportamenti futuri. I modelli predittivi utilizzano risultati noti per sviluppare o addestrare un modello che potrà essere utilizzato per la previsione di valori riferiti a dati diversi e/o nuovi. I risultati prodotti dalla modellazione sono previsioni che rappresentano una probabilità di una specifica variabile target sulla base dei dati passati, utilizzati come input. Ci sono diverse tecniche di modellazione predittiva, tra cui l'apprendimento supervisionato e non supervisionato.

L'apprendimento supervisionato è una tecnica di modellazione predittiva che si basa sull'addestramento di un modello utilizzando dati di input e output noti. In altre parole, il modello viene addestrato su un insieme di dati di input e output etichettati, in modo da poter prevedere l'output per nuovi dati di input. Ci sono diversi tipi di tecniche di apprendimento supervisionato, come la regressione logistica e la regressione lineare.

D'altra parte, l'apprendimento non supervisionato è una tecnica di modellazione predittiva che si basa sull'identificazione di relazioni e pattern all'interno dei dati presi in considerazione. A differenza dell'apprendimento supervisionato, l'apprendimento non supervisionato non utilizza dati di input e output etichettati per addestrare il modello. Invece, il modello viene addestrato sulla base di dati non etichettati, in modo da poter identificare pattern e relazioni all'interno dei dati.

L'utilizzo dei modelli predittivi sarà mirato ad attività di:

- Analisi di dati e di immagini raccolte per valutare lo stato di degrado del bene identificando in maniera automatica o semi-automatica le aree che necessitano di intervento o restauro;
- Diagnostica e monitoraggio in tempo reale, con lo scopo di monitorare lo stato di salute del manufatto e proporre soluzioni adeguate alla sua corretta gestione e conservazione, utilizzando dati provenienti da sensori che acquisiscono i parametri di interesse;
- Conservazione preventiva, identificando i principali fattori di rischio e vulnerabilità per i beni di interesse, ed utilizzando approcci multi-scenario in grado correlare informazioni di tipo ambientale, strutturale e di utilizzo relativo al bene in oggetto.

SOLUZIONI TECNOLOGICHE	
Modellazione predittiva tramite apprendimento supervisionato	
Modellazione predittiva tramite apprendimento non supervisionato	
Tecniche di conservazione preventiva per sfruttare approcci multi-scenario	
STAKEHOLDER	
Università, EPR, IR, Distretti	Vedi elenco nella macro-tabella Stakeholder
Imprese	Vedi elenco di imprese leader nazionali e internazionali, PMI, start-up nella macro-tabella Stakeholder
Altri portatori di interesse	Vedi elenco nella macro-tabella Stakeholder
RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA	
Coordinamento tra i laboratori esistenti sul territorio nazionale	

2.5 Tabelle trasversali per ogni sotto-traiettoria

TEMI APERTI PER ATTIVITA' DI RICERCA E SVILUPPO	
Sotto-traiettoria 3.1	Sviluppo di spettrometri dedicati a misure "in situ" per analisi comparate con tecniche differenti ad altissima sensibilità
Sotto-traiettoria 3.2	Realizzazione di strumenti da laboratorio di piccole dimensioni per spettrometria di massa su micro-campioni, esclusivamente dedicati a datazioni con radiocarbonio, presso laboratori già qualificati
Sotto-traiettoria 3.3	Tecniche innovative, anche in ambito biologico, per l'analisi dei processi di degrado in stretta collaborazione con le altre Traiettorie.

STAKEHOLDER

Università, EPR, IR, Distretti

Istituti di ricerca leader globali e leader nazionali

Globali

A differenza della situazione italiana, molti dei grandi Musei esteri sono dotati di importanti centri di ricerca dedicati non solo a interventi di restauro e conservazione delle opere in loro possesso, ma anche a importanti interventi di diagnostica. Alcuni esempi: studi di provenienza, di datazione, attribuzioni, interventi mirati a mostre temporanee.

Per citare Musei europei dotati di Centri di ricerca: Louvre (Parigi e altre sedi in Francia), British Museum (Londra), National Gallery (Londra), Musei Civici di Berlino, oltre ai molteplici esempi americani (Metropolitan, New York, Getty Institution, Los Angeles.)

Un altro esempio è rappresentato in Olanda dalla Cultural Heritage Agency of the Netherlands, che, pur operando a stretto contatto con altri istituti di ricerca (es.: Università di Amsterdam) e musei (es.: Rijksmuseum), svolge la sua attività in modo specifico in questo campo.

Nazionali

La gran parte delle Università italiane, un gran numero di Istituti del CNR, dell'INFN e dell'ENEA svolgono attività di ricerca nell'ambito della diagnostica con differenti approcci che coinvolgono competenze di varie discipline: Fisica, Chimica, Scienze della Terra, Biologia. Raramente sono presenti Laboratori interdisciplinari. Si può mettere in evidenza la mancanza di coordinamento tra diversi approcci nell'area delle scienze dure e ancor di più la mancanza di coordinamento tra discipline di aree differenti (scienze dure, scienze umane e scienze socio-economiche).

Un interessante esperimento di rete nazionale è costituito da CHNet, dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, INFN, che coordina varie Unità di ricerca presenti sul territorio nazionale, prevalentemente ospitate presso Università. A partire dalle attività sviluppate dall'Istituto CNR-ISTM di Perugia, che insieme al centro SMAArt dell'Università di Perugia (vedi sotto), ha fondato nel 2000 il laboratorio mobile MOLAB, è attualmente in corso presso il CNR la costituzione di una rete coordinata di facilities mobili MOLAB@CNR integrando strumentazioni e competenze multidisciplinari presenti in molti istituti dell'ente (tra i quali citiamo: l'Istituto di Scienze del Patrimonio, l'Istituto di Scienze e Tecnologie Chimiche, l'Istituto Nazionale di Ottica, l'Istituto di Scienze e Tecnologie dell'Informazione).

Esistono inoltre alcuni Centri Universitari multidisciplinari che si pongono l'esplicito obiettivo di un approccio integrato al Patrimonio Culturale.

Alcuni esempi:

- BiPAC: <https://www.unimib.it/servizi/opportunita-e-facility/attivita-culturali/bipac>;
- Alma Heritage Science: <http://www.irt.unibo.it/en/alma-heritage-science>
- SMAArt Scientific Methodologies in Art and Archaeology: <http://services.chm.unipg.it:8080/smaart/>
- L'Università di Pisa si è dotata in tempi recenti del CISBEC, Centro Interdipartimentale di Scienza per i Beni Culturali, che si fonda su una stretta collaborazione tra nutriti gruppi di ricerca d'area umanistica (archeologi e storici dell'arte) e scientifica (fra cui il Chemical Science for the Safeguard of Cultural Heritage)
- Recentemente l'Università di Napoli Federico II ha dato vita alla Task Force di Ateneo "Metodologie Analitiche per la Salvaguardia dei Beni Culturali, MASBC" coinvolge 17 dipartimenti, con numerosi docenti di area umanistica e scientifica attivi, in particolare, sulle seguenti aree: - Metodologie avanzate per la caratterizzazione dei materiali costitutivi il Patrimonio costruito e i BBCC (materiali pittorici, lapidei, cartacei, lignei, vetrosi, metallici, polimerici);
- Metodologie diagnostiche per la salvaguardia e il restauro dei BBCC.
- INSTM il Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei materiali che negli ultimi anni ha orientato la ricerca a materiali e tecnologie per il Patrimonio culturale

(<https://www.instm.it/>)

A differenza dalla situazione internazionale sopra riassunta, pochi sono i casi di Centri di studio e diagnostica del Patrimonio Culturale ospitati presso Musei o Istituti di restauro e conservazione del MiC: fanno eccezione il Laboratorio di diagnostica e restauro della Pinacoteca di Brera e soprattutto i Laboratori ospitati presso l'OPD, Opificio delle Pietre Dure di Firenze e dell'Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro.

Infrastrutture di ricerca

Di diretto interesse per la traiettoria 3 è l'infrastruttura di ricerca per la scienza del patrimonio culturale E-RIHS (European Research Infrastructure of Heritage Science, www.e-rihs.eu/). E-RIHS è un'infrastruttura distribuita, nella Roadmap ESFRI dal 2016, al cui sviluppo contribuiscono ad oggi 28 paesi sotto il coordinamento italiano del CNR. E-RIHS pone lo studio e la conservazione del patrimonio culturale, con le sue diverse valenze estetiche, storiche, semantiche e materiche al centro della propria missione. L'infrastruttura distribuita E-RIHS, ha la sede centrale in Italia, a Firenze e, coordinando oltre un centinaio di facilities distribuite in Europa e più di mille ricercatori del settore, offre servizi di accesso per la ricerca attraverso 4 piattaforme (delle quali le prime due di diretto interesse per la presente traiettoria):

- MOLAB – laboratori mobili specializzati nella diagnostica del patrimonio in situ;
- FIXLAB – laboratori e grandi infrastrutture di ricerca specializzati nella diagnostica analitica e nella metrologia del patrimonio (campioni e oggetti trasportabili);
- DIGILAB – accesso (virtuale) a strumenti software e dataset digitali per la ricerca.
- ARCHLAB – archivi di dati scientifici di istituzioni della conservazione, musei e centri di ricerca.

Distretti tecnologici

È opportuno citare i Distretti Tecnologici impegnati nel campo del Patrimonio Culturale. Un esempio è costituito dal Distretto Tecnologico per le nuove tecnologie applicate ai Beni e alle Attività Culturali della Regione Lazio (DTC Lazio <https://dtclazio.it/progetti-di-ricerca>). Questo distretto è ancora agli inizi della sua attività, ma ha permesso di mettere in contatto le Università della Regione, il CNR, l'INFN, l'ENEA, proprio nell'ottica di sviluppo di nuove tecnologie applicabili per la conservazione, la diagnostica e la digitalizzazione del patrimonio culturale. In particolare, all'interno di questo Distretto il sotto-progetto ADAMO <<http://progettoadamo.enea.it/>> è finalizzato proprio all'individuazione di nuove soluzioni diagnostiche.

Va segnalato inoltre il Distretto di Alta Tecnologia per l'Innovazione nel settore dei Beni Culturali (DTCB) della Regione Siciliana. I partner del DTCB sono Università di Palermo (capofila), Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali, Università di Catania, CNR, Coirich Scarl, Csgi, IPitecnobio, Engineering Ingegneria Informatica Spa, Hitec2000 Srl, Ids & Unitelm Srl, Sidercem Srl e Syremont Spa. Le competenze del Distretto riguardano lo sviluppo di materiali innovativi di tipo nanostrutturato, l'implementazione di metodologie d'indagine, utilizzo di tecniche diagnostiche integrate su sistemi portatili per analisi in situ e strumentazione da laboratorio e l'implementazione di soluzioni ICT innovative. Tra queste la spettroscopia vibrazionale Raman e Ftir, tecniche che utilizzano raggi X, tecniche di imaging, tomografia a raggi X e neutroniche, microscopia elettronica a scansione ed a trasmissione e onde THz, tecniche innovative di rilevamento, rappresentazione 3D e virtuale.

Imprese

Leader globali e leader nazionali

Alcune grandi imprese multinazionali sviluppano anche strumentazione dedicata alla diagnostica o sviluppata per altre applicazioni e adattata a studi diagnostici. Un tipico caso è rappresentato da strumentazione ottica (esempi: Konica-Minolta, HORIBA, Canon) e strumentazione spettroscopica (esempio Bruker).

Potenzialmente, produttori di apparecchi medico-diagnostici possono essere coinvolti in sviluppi di strumenti dedicati (esempio sviluppo di apparecchi per radiografie, vedi Gilardoni - Xray and ultrasounds S.p.A.) I portatori di interesse privati per le attività della traiettoria 3 sono anche aziende e PMI che si occupano di diagnostica e/o autenticazione alle quali gli Enti e le Università trasferiscono metodologie innovative per le analisi dei beni culturali o forniscono servizi altamente specializzati di analisi dei materiali.

Vanno infine annoverate le aziende di restauro e conservazione (per analisi sullo stato di conservazione) e case d'asta (per problema della corretta attribuzione/autenticazione delle opere) che pure sono interessate al trasferimento tecnologico e alla fornitura di servizi nell'ambito della presente traiettoria.

Start-up

Vi è un gran numero di start-up che generalmente non raggiungono dimensioni critiche per imporre la loro presenza su un mercato dominato da Enti pubblici.

Progetti di ricerca benchmark, prodotti/servizi realizzati (già sul mercato):

Alcuni strumenti specificamente sviluppati per analisi diagnostiche nel campo del Patrimonio Culturale:

- Da parte di XGLab: "ELIO" XRF spot analysis and portable mapping; "CRONO" Macro-XRF scanner; "HYDRA" XRF-XRD combined spectrometer.
- Da parte di Crisler Instruments: interfacciamento

Progetti di ricerca di riferimento (benchmark), prodotti/ servizi realizzati

Progetto PE 000020 CHANGES, - CUP B53C22003780006, PNRR Missione 4 Componente 2 Investimento 1.3, finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU". Si tratta di un Ecosistema multi-tecnologico e transdisciplinare per la formazione, la ricerca, il trasferimento tecnologico riferito alla Cultura umanistica e al Patrimonio culturale. Inizio progetto 2023 (<https://sites.google.com/uniroma1.it/changes/home?authuser=0>).

PERGAMO – inizio progetto 2021- (RecuPero dal biodEgRado con metodoloGie fisiche e carAtterizzazione del patriMonio storico e archivistico)- Accordo di programma quadro "Ricerca, Innovazione Tecnologica, Reti Telematiche" (APQ6) (<https://www.enea.it/it/progetti/progetti-nazionali/progetto-pergamo.html>).

The **4CH project** - Competence Centre for the Conservation of Cultural Heritage (Horizon 2020) – inizio Progetto 2021 (<https://www.4ch-project.eu>).

Vari progetti finanziati dalle call **Horizon Europe tra 2021 e 2022** afferenti al Cluster 2 "Culture, Creativity & Inclusive Society" nei settori green, digital e innovative, stanno portando avanti ricerche per sviluppare tecnologie, materiali, metodi per salvaguardare il patrimonio culturale. Ad esempio, alcuni progetti sono indirizzati a realizzare nuove soluzioni per metodi e materiali sempre più ecosostenibili. Per citarne alcuni tra i più significative recentemente avviati:

- MOXY - Green atmospheric plasma-generated monoatomic oxygen technology for contactless atomic scale cleaning of works of art <https://cordis.europa.eu/project/id/101061336> ;
- GOGREEN - Green Strategies to Conserve the Past and Preserve the Future of Cultural Heritage (<https://cordis.europa.eu/project/id/101060768>);
- GREENART-GREEn ENdeavor in Art ResToration (<https://cordis.europa.eu/project/id/101060941>);
- THETIDA-Technologies and methods for improved resilience and sustainable preservation of underwater and coastal cultural heritage to cope with climate change, natural hazards and environmental pollution (<https://cordis.europa.eu/project/id/101095253/it>);
- AURORA-Artwork Unique RecognitiOn and tRacking through chemical encoded data, miniaturized devices and blockchain alliance <https://cordis.europa.eu/project/id/101094245/it>

Importanti **progetti POR-FESR** sono stati finanziati in varie Regioni (es Progetto MOBARTeCH, <https://mobartech.unimib.it/> Regione Lombardia, Budget 7,400,000 euro, capofila impresa Arteria) <https://www.openinnovation.regione.lombardia.it/it/lombardia-ricerca/accordi-per-la-ricerca>

Il Progetto **CO.B.RA (2015-2017)**, soggetto attuatore ENEA e finanziato dalla Regione Lazio (tramite l'avviso Pubblico "progetti di ricerca presentati da Università e Centri di Ricerca") ha raggiunto l'obiettivo principale: lo Sviluppo e la diffusione di metodi, tecnologie e strumenti avanzati per la Conservazione dei Beni culturali, basati sull'applicazione di Radiazioni e di tecnologie abilitanti.

Va inoltre citato il progetto **Europeo H2020 IPERION CH** - Integrated Platform for the European Research Infrastructure ON Cultural Heritage - HORIZON 2020 n. 654028, 2015- 2019, che insieme ad altri progetti INFRAIA FP7(EuARTECH) e FP8 (CHARISMA), sta alla base della infrastruttura E-RIHS. Al progetto sono coinvolte le seguenti Istituzioni italiane: CNR, Università di Bologna, Università di Perugia, OPD. Nell'ambito di IPERIONCH, che ha terminato le attività a novembre 2019, sono stati sviluppati prodotti di interesse per la diagnostica dei beni culturali, a titolo di esempio:

- Sviluppo di tecniche spettroscopiche amplificate per l'identificazione di coloranti di sintesi e naturali in campioni di interesse artistico
- Sviluppo di protocolli analitici integrati per il monitoraggio di: i) la pulitura di opere policrome; ii) la protezione di superfici metalliche; iii) il consolidamento di materiali lapidei

Inoltre, IPERIONCH ha finanziato servizi di accesso transnazionale a strumentazioni avanzate delle piattaforme MOLAB (a coordinamento CNR) e FIXLAB (a coordinamento CNRS).

È da citare inoltre il progetto **TEMPERA** (Teaching Emerging Methods in Palaeoproteomics for the European Research Area H2020-MSCA- ITN) che ha come obiettivo di fornire una formazione di dottorato internazionale, intersettoriale e interdisciplinare per preparare la prossima generazione di specialisti nella conservazione del materiale del patrimonio culturale mediante l'analisi dei residui di proteine antiche basata sulla spettrometria di massa biomolecolare.

2.6 *Congruenze e sinergie con Horizon Europe, PNR, PNRR*

CONGRUENZE E SINERGIE CON HORIZON EUROPE, PNR, PNRR

La Traiettorie 3 comprenderà attività che contribuiranno ai grandi temi di ricerca ed innovazione a livello nazionale ed europeo. In particolare, i temi della traiettoria 3 sono in linea con il Programma Horizon Europe, Cluster 2 Cultura, creatività e società inclusiva e in particolare al work programme 2023-24 che mira a offrire finanziamenti strategici in alcune aree chiave.

Nell'ambito della PNRR relativamente al settore cultura va evidenziata la sinergia con l'Obiettivo 1, Digitalizzazione, innovazione, competitività e cultura, Missione 1 Patrimonio culturale per la prossima generazione, Misura 3 Industrie Culturali e Creative 4.0.

Infine, le finalità della traiettoria 3 sono in linea anche con le progettualità del PNR - Ambito 2 Cultura umanistica, creatività, trasformazioni sociali, società dell'inclusione - Patrimonio Culturale, in particolare con l'articolazione 1 "Digitalizzazione dei processi di tutela, conservazione e valorizzazione" e l'articolazione 3 "Sviluppo di tecnologie a sostegno del patrimonio diffuso e meno conosciuto".

3. *Roadmapping*

Una grande sfida è quella posta alla chimica analitica che viene chiamata a sviluppare metodi avanzati per interrogare materiali non solo inerentemente complessi ed eterogenei ma anche unici e di valore per i quali si richiede ampia dinamica spaziale (dalla micro alla macro- scala), alta specificità e sensibilità per analiti minoritari e metodi di campionamento (sub)micro- o non-invasivi.

Si ritengono di importanza strategica:

- Dialogo e contatti con aziende operanti in altri campi (food, farmaceutico, ecc.) per il trasferimento di tecnologie innovative nei rispettivi campi a quello della diagnostica;
- Potenziare la collaborazione tra musei, luoghi della cultura, enti accademici e istituti per promuovere in modo coordinato e congiunto attività di ricerca applicate a specifici casi d'uso;
- Sviluppo di nuove tecnologie, mutuabili da altri settori, dedicate ad analisi specifiche sul Patrimonio, che consentono di realizzare nuovi e specifici progetti. Alcuni esempi si trovano nel campo, in continuo sviluppo, di tecniche dedicate alla datazione. Mini-acceleratori che possono aumentare di ordini di grandezza le potenzialità di datazioni con ^{14}C attualmente inviate all'estero; tecniche microanalitiche specificamente sviluppate per analisi di materiali antichi gli studi delle malte antiche;
- Investigare le potenzialità dell'intelligenza artificiale a supporto delle analisi diagnostiche;
- Investimenti, anche di dimensioni contenute rispetto alle analoghe "facilities" dedicate a studi fondamentali, potrebbero essere proficuamente inseriti in azioni del PNRR, con ricadute anche economiche di grande rilevanza.