

TRAIETTORIA 5. TECNOLOGIE PER LA DIAGNOSTICA DEL PATRIMONIO CULTURALE

GRUPPO DI ESPERTI

Esperti:	Enti:
Prof. Marco Martini (coordinatore)	<i>Università degli Studi di Milano "Bicocca"</i>
Prof. Piergiulio Cappelletti	<i>Università degli Studi di Napoli "Federico II"</i>
Prof. Lucio Calcagnile	<i>Università del Salento</i>
Dr. Marco Giamello	<i>Università degli Studi di Siena</i>
Prof.ssa Anna Maria Gueli	<i>Università degli Studi di Catania</i>
Prof. Giorgio Mastromei	<i>Università degli Studi di Firenze</i>
Prof. Rocco Mazzeo	<i>Università "Alma Mater Studiorum" di Bologna</i>
Dr.ssa Costanza Miliani	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
Prof. Mattia Patti	<i>Università di Pisa</i>
Prof. Paolo Postorino	<i>Università degli Studi di Roma "La Sapienza"</i>
Prof. Andrea Soricelli	<i>Università degli Studi di Napoli "Parthenope"</i>

La traiettoria ha come obiettivi primari lo sviluppo di tecniche innovative che si basano su esperienze consolidate, ma che prevedono importanti innovazioni nei seguenti campi:

A - Studio dei materiali:

- ai fini della collocazione nello spazio e nel tempo (analisi di provenienza, delle tecniche di produzione, analisi di datazione) (anche in collegamento con la traiettoria 4). Tecniche fisiche e chimiche sono correntemente utilizzate e vedono sviluppi di metodologie e strumentazioni sempre più sofisticate, che permettono misure non invasive o necessitano il prelievo di quantità di materiale sempre più ridotto.
- ai fini della determinazione dello stato di conservazione anche in relazione a interventi di restauro (in collegamento con la traiettoria 6). Anche in queste applicazioni, che verranno meglio descritte nelle sotto-traiettorie, si opera in condizioni non-invasive o micro-invasive.

A tale proposito, va sottolineato che con riferimento specifico al campo della scienza della conservazione dei beni culturali un orientamento significativo è quello che ha meglio precisato i concetti di "invasivo" e "non-invasivo". Nel 2008, Jan Wouters [Wouters, J. (2008) *Chemistry Int.* 30(1) 4 - 7] propose di utilizzare terminologie che tenessero conto delle finalità anziché delle metodologie dell'analisi. In particolare,

sosteneva che l'uso dei termini "distruttivo" e "invasivo" può creare una schematizzazione formale che rischia di nascondere ciò che è rilevante per l'analisi scientifica: l'utilità dei suoi risultati e il grado di innovazione. Recentemente Melo e coll. [Melo, M., Nevin, A. & Baglioni, P. (2018). *Pure and Applied Chemistry*, 90(3), pp. 429-433] hanno ripreso questi concetti e hanno proposto un glossario multilingue riportato come supplemento della citata pubblicazione. In particolare, questi autori ritengono che:

- nell'uso del termine distruttivo (invasivo) si deve tener conto che esso "non fa riferimento all'utilità dei risultati ottenuti né alla pertinenza dell'analisi effettuate, generando incomprensioni specialmente nella contrapposizione tra tecnica distruttiva e non-distruttiva, poiché tutte le tecniche ad un certo livello sono considerate distruttive;
- l'uso del termine "non-distruttivo" (non-invasivo) va di volta in volta precisato "durante l'analisi possono essere utilizzati fasci di luce con energie molto elevate e molto intensi capaci comunque di provocare un degrado a livello molecolare e/o microscopico".

Occorre inoltre sottolineare che le tecniche di indagine non invasiva non sono sufficienti a fornire le informazioni che si possono acquisire su campioni prelevati da opere, soprattutto riguardo agli strati interni del manufatto, posti al di sotto della superficie, che hanno notevole importanza sia nella diagnostica che nell'archeometria. Al contrario, le indagini micro-distruttive hanno tipicamente il limite di fornire informazioni solo relative al punto di prelievo, non si possono eseguire in maniera ripetitiva o iterativa nel tempo al fine di monitorare lo stato di evoluzione o di invecchiamento di un'opera.

La conoscenza completa di un'opera prevede, infatti, la conoscenza della struttura e della composizione dei materiali costituenti l'oggetto in esame (analisi dei materiali di *bulk* e di superficie), la conoscenza dello stato di conservazione e degli agenti e meccanismi di degrado subiti ed in atto, ma anche l'individuazione di ridipinture e interventi di restauro precedenti.

A questo scopo sono necessarie tecniche di microscopia ottica ed elettronica e di spettroscopie elettroniche a base di raggi X o che fanno uso di fasci ionici, sensibili alla superficie, che consentano di ottenere profili di profondità e mappature di composizione (es. XPS, SIMS). Molto importanti sono inoltre le spettroscopie a base di neutroni, sensibili al *bulk* del materiale, TGDTA, le caratterizzazioni spettroscopiche (fotoluminescenza, FT-IR, Raman e *Surface Enhanced Raman Scattering* - SERS, assorbimento UV-VIS-NIR) a livello micro e nanoscopico, le caratterizzazioni termodinamiche/termiche e le tecniche di caratterizzazione minero-petrografica dei materiali ceramici, lapidei naturali e artificiali, così come le tecniche di microscopia ottica, elettronica a scansione FE-SEM e in fluorescenza confocale e microanalisi (EDAX).

B – Studio delle opere:

tecniche diagnostiche basate su analisi delle immagini (riflettografia, radiografia, tomografia, XRF-mapping, imaging iperspettrale.), anche per lo studio delle tecniche di esecuzione (in collegamento con le *traiettorie 4 e 6*). L'intervento di tecniche di elaborazione delle immagini, spesso mutate da analoghi interventi in campo bio-medico, permettono analisi diagnostiche sempre più sofisticate, inoltre molte applicazioni innovative consentono diagnostiche su opere d'arte che costituiscono un supporto all'analisi filologica impensabile sino a pochi anni addietro. Un contributo essenziale si sta ottenendo anche nelle analisi di attribuzione di opere d'arte e nel più ampio campo delle analisi di autenticazione

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

I punti **A –C** devono essere affrontati con un approccio interdisciplinare che integri metodologie e competenze tecnico-scientifiche e umanistiche. In questo campo si opera su uno spettro estremamente ampio di materiali e opere: solo per citare alcuni settori, ricordiamo l'analisi delle ceramiche, da alcune problematiche relative a materiali preistorici e antichi, al medievale e al rinascimentale; lo studio dei bronzi e il vastissimo campo delle attribuzioni dei dipinti, sia classici, che moderni e contemporanei. Per questi ultimi si sta assistendo ad un rivoluzionario sviluppo di tecnologie diagnostiche, che affiancano alle tradizionali e collaudate analisi di datazione, il ricorso a metodologie di "machine learning", per studi di attribuzione e di autenticazione.

DEFINIZIONE SOTTO-TRAIETTORIE

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

5.1. Tecniche diagnostiche non-invasive da laboratorio e "in situ"

5.2. Tecniche diagnostiche micro-invasive da laboratorio

5.3. Metodologie sperimentali e computazionali per l'interpretazione e la previsione di processi di degrado

5.1. TECNICHE DIAGNOSTICHE NON-INVASIVE DA LABORATORIO E "IN SITU"

In dettaglio tecniche innovative per la diagnostica non invasiva in situ permettono di indirizzare gli sviluppi delle tecniche 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 (Sciutto et al., 2016) e delle metodologie informatiche/statistiche per il trattamento dei dati.

Si propongono metodologie innovative di intervento basate su analisi statistiche di dati: dati di archivio di varia provenienza legati ad attribuzioni, anche nell'arte contemporanea, di correlazione tra analisi scientifiche e filologiche, anche in relazione ad analisi di autenticazione.

Risulta evidente la molteplicità di strumenti di intervento diagnostico e le molteplici competenze richieste. Sono 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 esempi significativi di opportunità di sviluppo strumentale. Per le tecniche non invasive di rilievo sono le reti già citate dell'INFN - CHNet e del CNR-MOLAB che con azioni coordinate sono in grado di integrare le competenze e le strumentazioni di diversi laboratori di spettroscopia, analisi strutturale e morfologica e 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 sull'oggetto artistico in modo non invasivo alcuni esempi importanti sono i Centri che utilizzano fasci di particelle di bassa energia e quindi non-invasive per le analisi IBA, Ion Beam Analysis. Citiamo i Centri LABEC, Laboratorio INFN- Università di Firenze per i Beni Culturali e Ambientali <http://labec.fi.infn.it/>, CEDAD di Lecce (www.cedad.unisalento.it).

5.2. TECNICHE DIAGNOSTICHE MICRO-INVASIVE DA LABORATORIO

Si evidenzia la necessità di sperimentare, per lo studio qualitativo e quantitativo della composizione di matrici complesse, metodi chimico-fisici che possano prevedere il prelievo dall'opera o dal reperto di materiale per l'analisi dell'ordine delle nano/pico quantità (ultramicro-invasivi) e che siano caratterizzati da elevata specificità e/o risoluzione spaziale. Questi includono i moderni metodi delle scienze omiche (genomica, proteomica, metabolomica), su opere pittoriche, su materiali scrittori (pergamena e carta) e su reperti archeologici. Con la Biocodologia, grazie a questi nuovi metodi di analisi (genomica e proteomica, in particolare), è possibile ora espandere lo studio della codicologia anche alle informazioni biologiche memorizzate nei manoscritti sia per quanto riguarda il materiale scrittorio, come l'origine della pelle delle pergamene e del suo stato di conservazione, sia per quanto riguarda il microbioma che ha specificamente popolato le superfici delle rilegature e dello stesso materiale scrittorio, sia infine per lo studio delle tracce lasciate dai lettori sulle pagine sfogliate.

La vastità del materiale librario ed archivistico presente nel nostro Paese non può non considerare questi nuovi apporti scientifici per un'ulteriore valorizzazione del patrimonio stesso e per ulteriori approfondimenti di carattere storico, artistico e culturale. Le tecniche di proteomica, introdotte nel campo dei beni culturali da almeno un decennio stanno trovando sempre più vasti campi di applicazione nella caratterizzazione del materiale proteico presente in svariate categorie di beni culturali anche in seguito alle innovazioni strumentali, come l'impiego della tecnica *MRM* e allo sviluppo di metodologie ultra-micro invasive.

Si evidenzia inoltre la necessità di sperimentare tecniche di laboratorio, caratterizzate da elevata specificità e/o risoluzione spaziale su materiali 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 moltissimi gruppi di ricercatori presso molte Università e Centri di ricerca, CNR, ENEA, INFN, che sarebbe impossibile elencare con completezza.

Meritano di essere citati Centri organizzati per analisi di datazione, prevalentemente con l'utilizzo di Acceleratori per datazione ^{14}C 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. Gli studi della proteomica, applicata ai beni culturali, sono iniziati nel nostro Paese presso l'*Università Federico II di Napoli* che è ora integrata in un *network* europeo (TEMPERA). Altri importanti centri di riferimento, in questo campo, sono presso il Politecnico di Milano, l'Università di Pisa e l'Università di Bari.

Le tecniche di proteomica, introdotte nel campo dei beni culturali da almeno un decennio stanno trovando sempre più vasti campi di applicazione nella caratterizzazione del materiale proteico presente in svariate categorie di beni culturali anche in seguito alle innovazioni strumentali, come l'impiego della tecnica *MRM* e allo sviluppo di metodologie ultra-micro invasive.

La codicologia è una scienza relativamente recente, spesso definita come "l'archeologia del libro", che si occupa dello studio della struttura fisica del libro, per meglio comprendere i processi della sua produzione e della sua conservazione. Al centro della ricerca codicologica sono sia le pergamene che la carta e le rilegature così come i pigmenti e gli inchiostri [<https://www.cnrtl.fr/lexicographie/codicologie>]. Con la Biocodicologia, grazie allo sviluppo delle scienze omiche, in particolare alla genomica e alla proteomica, è possibile ora espandere lo studio della codicologia anche alle informazioni biologiche memorizzate nei manoscritti sia per quanto riguarda il materiale scrittoriale, come l'origine della pelle delle pergamene e del suo

stato di conservazione, sia per quanto riguarda il microbioma che ha specificamente popolato le superfici delle rilegature e dello stesso materiale scrittoria, sia infine per lo studio delle tracce lasciate dai lettori sulle pagine sfogliate. La vastità del materiale librario ed archivistico presente nel nostro Paese non può non considerare questi nuovi apporti scientifici per un'ulteriore valorizzazione del patrimonio stesso e per ulteriori approfondimenti di carattere storico, artistico e culturale.

5.3. METODOLOGIE SPERIMENTALI E COMPUTAZIONALI PER L'INTERPRETAZIONE E LA PREVISIONE DI PROCESSI DI DEGRADO

Questa sotto-traiettoria riguarda anche la modellizzazione sperimentale e computazionale dei processi di degrado utile ad interpretare lo stato attuale del manufatto, ad indirizzare lo sviluppo di materiali e metodi per la conservazione attiva (**cf. traiettoria 6**), ma anche per prevedere le possibili evoluzioni per effetti naturali ed antropici e indirizzare le tecnologie di monitoraggio (**cf. traiettoria 7**).

Negli ultimi anni alcuni gruppi di ricerca presso Università e 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.

Relativamente a questa sotto-traiettoria va sottolineato il ruolo della componente biologica, poco rappresentata nelle tecnologie per la diagnostica e per lo studio dei processi di degrado. I fattori determinanti questa minore presenza sono da ricercare nella recente implementazione della biologia e microbiologia nella conservazione dei beni culturali conseguente di una minore conoscenza degli effetti che la componente biologica esercita sulle reazioni chimiche e fisiche dei substrati. In aggiunta il patrimonio artistico presenta anche una casistica minore di deterioramento biologico rispetto a quello chimico e fisico. Non si evidenziano istituti o aziende private con ruolo specifico nella diagnostica microbiologica e biologica. In genere, istituti di diagnostica chimica e fisica si avvalgono delle competenze biologiche ad hoc, contattando in genere distretti universitari o del CNR con specialità nell'area della biologia. Tra i privati, sono da includersi 184 imprese nell'area della diagnostica microbiologica per alimenti, industria, agricoltura, sanità, ambiente, biotecnologie per l'industria, ma non con particolare conoscenza della problematica dei beni culturali.

ANALISI DEI PRINCIPALI STAKEHOLDER

UNIVERSITÀ, EPR, IR, DISTRETTI

Istituti di ricerca leader globali e leader nazionali	
Globali	<p>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.</p> <p>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.)</p> <p>Un altro esempio è rappresentato in Olanda dalla <i>Cultural Heritage Agency of the Netherlands</i>, 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.</p>
Nazionali	<p>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. <i>Raramente sono presenti Laboratori interdisciplinari</i>. 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).</p> <p>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 <i>MOLAB</i>, e' 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).</p> <p>Esistono inoltre alcuni <i>Centri Universitari multidisciplinari</i> che si pongono l'esplicito obiettivo di un approccio integrato al Patrimonio Culturale. Naturalmente questo approccio non si limita a interventi strettamente di sola</p>

	<p>diagnostica.</p> <p>Alcuni esempi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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/smaat/ - 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: <ul style="list-style-type: none"> - 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.
--	---

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 MiBAC: 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 5 è la nascente 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, avrà la sede centrale in Italia, a Firenze e, coordinando oltre un centinaio di facilities distribuite in Europa e più di mille ricercatori del settore, offrirà 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, alcuni dei quali saranno ripresi nella sez. 4) Mezzogiorno. 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.

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

Importanti progetti POR-FESR sono stati finanziati in varie Regioni (es Progetto MOBARTECH, 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 terminerà 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

- Sistema portatile per indagini non invasive basato sulla integrazione di tecniche LIBS, LIF e Raman

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.

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 6 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 di nuova costituzione:

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 in uno strumento compatto di una sonda TeraHertz e di una sonda Raman.

ISTITUZIONI PUBBLICHE

Naturalmente, gli attori principali sono i detentori delle opere che possono e devono essere analizzate: quindi Soprintendenze e Musei, Biblioteche, Archivi d’Autore, siti archeologici. Il ruolo di questi portatori di interesse è fondamentale per la traiettoria 6 in quanto offrono le loro competenze per dare valore alle attività di ricerca svolte presso Università, Enti, Distretti. In un approccio di tipo interdisciplinare, la conoscenza in questo settore è tanto più di impatto quanto più viene sviluppata in collaborazione, dalla fase di messa a punto della strategia a quella di interpretazione e poi valorizzazione dei risultati.

Un caso interessante è rappresentato dagli organizzatori di Mostre che, pur non possedendo opere, sono interessati a indagini diagnostiche, spesso mirate a risolvere problemi di autenticazione e attribuzione. Un campo molto esteso di ricerca ancora molto poco sviluppato riguarda le opere contemporanee e la gestione degli Archivi d’Autore.

Tra le Istituzioni pubbliche interessate alle attività della presente traiettoria va citato il Comando Carabinieri per la Tutela del Patrimonio Culturale. In questi casi lo sviluppo di Tecnologie Diagnostiche dovrebbe riguardare la tracciabilità delle opere stesse, tematica molto attuale.

PRINCIPALI STRUMENTI DI FINANZIAMENTO

Horizon Europe:

Il 17 aprile 2019 il Parlamento Europeo ha approvato lo schema generale di Horizon Europe, il nuovo programma quadro per il periodo 2021-2027. Sono stati delineati alcuni aspetti verticali dell’accordo, come gli obiettivi, i pilastri, le aree di interesse, mentre gli aspetti orizzontali (budget e sua ripartizione interna, ruolo dei paesi terzi e rapporti con altri programmi) saranno oggetto di negoziato quando si insedierà il nuovo Parlamento e la nuova Commissione. Sono stati identificati tre Pillar: Pillar I 'Excellent Science'; Pillar II 'Global Challenges and European Industrial Competitiveness'; Pillar III 'Innovative Europe'.

Il secondo pillar presenta una intera area di interesse dedicata al Cultural Heritage in cui si descrivono le seguenti linee di azione:

- 1) Heritage studies and sciences, with cutting edge technologies and innovative methodologies, including digital ones;
- 2) Access to and sharing of cultural heritage, with innovative patterns and uses and participatory management models;
- 3) Research for the accessibility of cultural heritage through new technologies, such as cloud services, including but not limited to a European cultural heritage collaborative space, as well as encouraging and facilitating transmission of know-how and skills. This will be preceded by an impact assessment;
- 4) Sustainable business models to strengthen the financial foundation of the heritage sector;
- 5) Connect cultural heritage with emerging creative sectors, including interactive media, and social innovation;
- 6) The contribution of cultural heritage to sustainable development through conservation, safeguarding, developing, and regeneration of cultural landscapes, with the EU as a laboratory for heritage-based innovation and sustainable cultural tourism;
- 7) Conservation, safeguarding, enhancement, restoration and sustainable management of cultural heritage and languages including the use of traditional skills and crafts or cutting edge technologies including digital;
- 8) Influence of cultural memories, traditions, behavioural patterns, perceptions, beliefs, values, sense of belonging and identities. The role of culture and cultural heritage in multi-cultural societies and patterns of cultural inclusion and exclusion.

JPI-CH, *Joint Programming Initiative Cultural Heritage and Global Change*, recentemente passata dal coordinamento italiano a quello francese. Una delle quattro “priority research areas” di JPI-CH è “creating knowledge” in cui è prevista un’azione legata alla diagnostica (“...to develop non-invasive remote, imaging and non-destructive measurements...”).

Ottime opportunità sono fornite da **Regioni** ed **Enti locali** su Fondi Europei indiretti, tipicamente FESR, Fondi Europei di sviluppo regionale, in ambito PON e POR. A questo proposito le maggiori opportunità si presentano nelle regioni europee definite “meno sviluppate” per le quali si rimanda alla Sezione **Mezzogiorno**.

Inoltre, molte **Fondazioni**, per lo più bancarie, promuovono studi e ricerche di diagnostica sul Patrimonio. Anche in questi casi gli interventi difficilmente si possono caratterizzare come sola diagnostica, coinvolgendo anche interventi di conservazione e di valorizzazione/fruizione. Risulta perciò evidente come le attività che riguardano la traiettoria 5 siano strettamente correlate con la traiettoria 6, 'Tecnologie per la Conservazione'. Inoltre, i progetti di cui si parla sono sempre più connessi con interventi di realtà aumentata (cfr. traiettoria 3).

PROCESSO DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

Molti progetti hanno come partner sia Enti di ricerca e Università che imprese impegnate direttamente nello sviluppo di strumentazione dedicata alla diagnostica. Un esempio di collaborazione con aziende che operano nel settore dello sviluppo di strumenti per la diagnostica è dato dalla ditta XGLab s.r.l. Via Conte Rosso 23 Milano, che si è sviluppata come spin-off di PoliMI ed è recentemente confluita nella multinazionale Bruker. XGLab è partner in alcuni progetti di ricerca, tra i quali MOBARTECH.

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:

- interventi di contatto con aziende operanti in altri campi (food, farmaceutico, ecc.) per il trasferimento di tecnologie innovative nei rispettivi campi a quello della diagnostica;
- progetti specifici per applicazione di tecniche e metodologie “estranee” ai beni culturali allo stesso ambito;
- interventi per musei e luoghi della cultura sulla necessità dell’attività diagnostica e promozione di attività di ricerca a fianco di enti accademici e istituti.

LETTERATURA SCIENTIFICA DI RIFERIMENTO:

Amato F., C. Miccichè, M. Cannas, F. M. Gelardi, B. Pignataro, M. Li Vigni, S. Agnello, Ag nanoparticles agargel nanocomposites for SERS detection of cultural heritage interest pigments, *The European Physical Journal Plus* 133 (2018) 74.

Artioli G, *Scientific Methods and Cultural Heritage: An introduction to the application of materials science to archaeometry and conservation science*, Oxford University press 2010.

Bonaduce, I., Ribechini, E., Modugno, F., Colombini, M.P. (2016) *Topics in Current Chemistry*, 374 (1), pp. 1-37;

Calcagnile L., D'Elia M., Maruccio L., Braione E., Celant A., Quarta G., Solving an historical puzzle: Radiocarbon dating the Capitoline she wolf (2019) *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, . Article in Press. DOI: 10.1016/j.nimb.2019.01.008

Calcagnile L., Maruccio L., Scrimieri L., delle Side, D., Braione, E., D'Elia, M., Quarta, G. Development and application of facilities at the Centre for Applied Physics, Dating and Diagnostics (2019) *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, .DOI: 10.1016/j.nimb.2019.03.031

Cicatiello, P. et al. (2018). Minimally invasive and portable method for the identification of proteins in ancient paintings. *Analytical Chemistry*, 90(17), 10128-10133;

Dallongeville, S., Garnier, N., Rolando, C., Tokarski, C. (2016) *Chemical Reviews*, 116 (1), pp. 2-79.

Fiddymont, S. et al. So you want to do biocodology? A field guide to the biological analysis of parchment. (2019) *Heritage Science*. 6, article n. 35.

Filippidis, G. et al. Nonlinear Imaging Techniques as Non-Destructive, High-Resolution Diagnostic Tools for Cultural Heritage Studies. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process.* 118, 2015, 417-423;

Howell GM., Vandenabeele P., *Analytical Archaeometry: Selected Topics*, RCS Publishing, 2012

Leo, G., et al. (2009), Proteomic strategies for the identification of proteinaceous binders in paintings *Anal. Bioanal. Chem.* 395 (7), 2269-2280]

Lo Presti V., Antonioli F., Palombo M.R., Agnesi V., Biolchi S., Calcagnile L., Di Patti C., Donati S., Furlani S., Merizzi J., Pepe F., Quarta G., Renda P., Sulli A., Tusa, S., Palaeogeographical evolution of the Egadi Islands (western Sicily, Italy). Implications for late Pleistocene and early Holocene sea crossings by humans and other mammals in the western Mediterranean (2019) *Earth-Science Reviews*, 194, pp. 160-181. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.04.027

Manfredi, M. et al. (2017). Method for noninvasive analysis of proteins and small molecules from ancient objects. *Analytical Chemistry*, 89(6), 3310-3317

Martini, M., Galli, A. (2016). *Material science and Cultural Heritage*. *Il Nuovo Saggiatore* 32 (2016) 46-58

Marvasi, M. et al. (2019) Omics technologies for an in-depth investigation of biodeterioration of cultural heritage. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 144, art. no. 104736

Miccichè C., Giuseppe Arrabito, Francesco Amato, Gianpiero Buscarino, Simonpietro Agnello, Bruno Pignataro, Inkjet printing Ag nanoparticles for SERS detecting the single hot spots level, *Analytical Methods* 10 (2018) 3215-3223.

Pellerito C., Agata Evelina Di Marco, Maria Concetta Di Natale, Bruno Pignataro, Mauro Sebastianelli, Scientific studies for the restoration of a wood painting of the Galleria Interdisciplinare Regionale della Sicilia - Palazzo Mirto di Palermo, *Microchemical Journal* 124 (2016) 682–692.

Pellerito C., Pignataro B., Di Stefano C., Di Natale M. C., Sebastianelli M., Palla F., Scientific studies for the restoration of two wooden arm reliquaries from the Cathedral of Palermo, *European Journal of Science and Theology* 13 (2017) 41-53.

Pellerito C., Mauro Sebastianelli, Miriam Orlando, Maurizio Vitella, Bruno Pignataro, Rachele Lucido, Franco Palla, The San Vito Wooden Pulpit from Museo Diocesano Of Palermo, Italy: Multidisciplinary Approach and Analytical Techniques for Dating and Restoration, *International Journal of Conservation Science* 8 (2017) 633-640.

Piñar, G. et al. (2019) A time travel story: metagenomic analyses decipher the unknown geographical shift and the storage history of possibly smuggled antique marble statues. *Annals of Microbiology*. In press.

Prati S., Scitutto G., Bonacini I., Mazzeo R., New frontiers in application of FTIR microscopy for characterization of cultural heritage, *Topics in Current Chemistry*, 2016, 374 (3), 26

Quarta G., D'Elia M., Braione E., Calcagnile L., Radiocarbon dating of ivory: Potentialities and limitations in forensics (2019) *Forensic Science International*, 299, pp. 114-118. DOI: 10.1016/j.forsciint.2019.03.042

Ridolfi, S. Portable EDXRF in a multi-technique approach for the analyses of paintings. *Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*. 59, 2017, 273-275]

Tokarski, C. et (2006) Identification of proteins in Renaissance paintings by proteomics. *Analytical Chemistry*, 78 (5), 1494-1502;

Vinciguerra, R. et al. (2016) Proteomic strategies for cultural heritage: From bones to paintings. *Microchemical Journal*, 126, 341-348

Vinciguerra, R. et al. (2019) Identification of proteinaceous binders in paintings: A targeted proteomic approach for cultural heritage. *Microchemical Journal*, 144, 319-328.

Winter J., West Fitzhugh E., Helwig K., Bothe Cl., Ashok R., Lake S., Quillen Lomax S., *Artists' Pigments: A Handbook of Their History and Characteristics*. Vol. 4. London: Berrie Barbara; 2007.

Wyszecki G., Stiles WS, *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*. Ed. Wiley-Interscience; 2000.