

TRAIETTORIA 1. TECNOLOGIE PER LA CONOSCENZA DEL PATRIMONIO CULTURALE

1. Introduzione

La ricerca nel campo del patrimonio culturale e ambientale in Italia ed Europa, caratterizzata dalla sua vasta gamma di specializzazioni disciplinari, ha visto un notevole sviluppo negli ultimi trent'anni, in special modo grazie alla virtuosa intersezione fra le discipline afferenti al comparto scientifico e quelle sociali, che ha contribuito a creare un patrimonio informativo di alta qualità, sebbene la dispersione dei dati raccolti abbia limitato la loro piena utilità per la conservazione e la valorizzazione dei beni culturali.

L'impiego crescente di tecnologie avanzate come analisi aerorilevate, LIDAR e prospezioni geognostiche, integrate con un approccio multidisciplinare, ha incrementato la raccolta di dati e a una migliore organizzazione delle modalità di classificazione. Tuttavia, emerge la necessità di un'azione complessiva per definire filiere integrate che migliorino la conoscenza, la conservazione e la sicurezza dei beni culturali, unendo approcci scientifici e tecnologici. In particolare, l'Intelligenza Artificiale (anche alla luce dei più recenti sviluppi), offre promettenti prospettive nel settore delle tecnologie per la conoscenza del patrimonio culturale. L'IA, infatti, può essere utilizzata per la digitalizzazione delle informazioni sulle collezioni e per l'apprendimento automatico attraverso l'analisi dei dati. Ciò apre la strada all'elaborazione di metodologie innovative per favorire una conoscenza più approfondita e immediata del bene culturale.

Nel contesto post-pandemico, l'utilizzo delle nuove tecnologie è diventato essenziale per applicazioni di knowledge management nel patrimonio culturale, collegando le nuove tecnologie alla fruizione turistica dei beni culturali. L'area tecnologica della "Conoscenza del Patrimonio Culturale" si basa sull'interdipendenza tra ricerca scientifica e tecnologica, con l'obiettivo di ampliare il sapere attraverso l'interazione tra fruitori e promotori culturali. La creazione di un ecosistema digitale per il Patrimonio Culturale è parte integrante di questa evoluzione, cercando di integrare metodologie e tecnologie per la digitalizzazione e la gestione del patrimonio, come dimostrano l'inserimento nel PNRR dell'Investimento M1C3 1.1 "*Strategie e piattaforme digitali per il patrimonio culturale*" e la redazione del Piano nazionale di digitalizzazione del patrimonio culturale (PND) elaborato dall'Istituto centrale per la digitalizzazione del patrimonio culturale – *Digital Library*, in seno al Ministero della Cultura.

Questo ecosistema digitale mira a coinvolgere stakeholder pubblici e privati per promuovere scelte di sviluppo, formazione e trasferimento tecnologico, posizionando l'Italia come leader internazionale nel settore. Nell'ambito delle applicazioni del Patrimonio Culturale, l'attenzione si concentra sui processi di creazione, gestione, esposizione, fruizione e conservazione delle entità digitali, che contribuiranno al patrimonio culturale futuro.

Attualmente, anche in virtù della dotazione finanziaria costituita dai fondi del **PNRR Missione 1** "*Digitalizzazione, Innovazione, Competitività, Cultura e Turismo*" che destina alla digitalizzazione del patrimonio culturale circa 1 Miliardo di euro, il Ministero della Cultura ha avviato il citato PND con l'obiettivo di creare un patrimonio digitale della cultura sostenendo la produzione di nuovi oggetti e di nuovi servizi digitali.

Contestualmente è in atto la definizione, da parte della Commissione Europea, dei *Work Programme* per il 2025 che, relativamente al **Cluster 2 - Culture, Creativity and Inclusive Society**, individua tre specifiche *Destination* (*Destination 1: Innovative Research on Democracy and Governance; Destination 2: Innovative research on European cultural heritage and cultural and creative industries; Destination 3: Innovative research on social and economic transformations*) in cui in un unico obiettivo di ricerca vengono coniugate tematiche diverse nella convinzione che "*...il pieno potenziale del patrimonio culturale, delle arti e delle industrie e dei settori culturali e creativi come motori dell'innovazione sostenibile e del senso di appartenenza europeo si realizza attraverso un impegno continuo con la società, i cittadini e i settori economici*".

La gestione complessa dei dati digitali richiede progressi nelle metodologie e tecnologie per l'acquisizione, gestione e trasformazione in risorse informative, affrontando sfide legate alla varietà di tipologie prodotte. Obiettivi fondamentali includono la gestione condivisa dei dati, la preservazione a lungo termine, l'interoperabilità, la pubblicazione efficiente su web e la tutela tramite strategie di cybersecurity. Le tecnologie chiave per raggiungere questo obiettivo includono:

- Tecnologie di digitalizzazione per gestire tutti i media del contesto CH (testi, audio, immagini, video, 3D);
- Tecnologie di archiviazione e gestione semantica della conoscenza, con approccio FAIR e supporto di intelligenza artificiale;
- Tecnologie di documentazione e presentazione integrata di dati multimediali, anche come supporto per le PMI del settore.

Le attività in questo settore si basano su una vasta gamma di tecnologie innovative, tra cui gestione della conoscenza, digitalizzazione, visualizzazione e authoring multimediale, intelligenza artificiale, unite per ottimizzare la conoscenza, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale.

1.1 Elementi presi in considerazione per l'aggiornamento

Alla luce dell'aggiornamento del Piano di Azione Triennale del Cluster Tecnologico Nazionale TICHE, si è ritenuto opportuno procedere a una puntuale revisione del capitolo dedicato alla descrizione delle Traiettorie Tecnologiche. La revisione ha seguito una logica di ammodernamento, che tenesse conto dei più recenti avanzamenti della ricerca e dello stato dell'arte della tecnologia nei rispettivi ambiti rilevanti per ogni Traiettoria.

Proprio sulla base di questa direttrice, si è proceduto all'accorpamento di alcune Traiettorie, con l'obiettivo di razionalizzare e condensare i contenuti, a beneficio del carattere programmatico che si intende imprimere al Piano di Azione Triennale del Cluster.

La nuova Traiettoria 1 "Tecnologie per la conoscenza del patrimonio culturale" è dunque il risultato dell'unione tra le precedenti Traiettorie 1 ("Tecnologie per lo sviluppo di un eco-sistema digitale del patrimonio culturale) e 4 ("Tecnologie per la conoscenza del patrimonio culturale"). Infatti oggi un ecosistema digitale – con le rispettive soluzioni tecnologiche – può essere annoverato tra i mezzi che consentono una più approfondita conoscenza del patrimonio culturale.

Infine, a seguito di un benchmark sullo stato della ricerca nei rispettivi ambiti tecnologici, la presente Traiettoria è stata arricchita dalla menzione dei progetti di ricerca più recenti a livello europeo e nazionale.

Ai fini della revisione, è importante sottolineare il rilevante ruolo che riveste a livello nazionale il nuovo Partenariato Esteso "CHANGES", finanziato coi fondi del PNRR nell'ambito della Missione 4, Componente 2, Investimento 1.3. Il tema di questa Traiettoria interessa in modo trasversale molti degli "Spokes" operanti nel Partenariato Esteso e, in particolare, lo Spoke 1 "Historical landscapes, traditions and cultural identities", lo Spoke 2 "Creativity and intangible cultural heritage", lo Spoke 3 "Digital libraries, archives and philology", lo Spoke 7 "Protection and conservation of Cultural Heritage against climate changes, natural and anthropic risks" – in cui un Work Package è interamente dedicato alla digitalizzazione – e lo Spoke 8 "Sustainability and Resilience of Tangible Cultural Heritage".

Analisi SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats)	
Punti di forza	Punti di debolezza
<ul style="list-style-type: none"> - Competenze tecnologiche di alto livello; - Potenziali ricadute positive nel turismo, nell'industria culturale e creativa e nell'ambito didattico. - Vastità e ricchezza del patrimonio culturale italiano. - Potenzialità di arricchimento esponenziale, incluso l'impatto di scoperte imprevedibili; 	<ul style="list-style-type: none"> - Panorama industriale frammentato, prevalentemente composto da PMI; - Mancanza di coordinamento e sinergia tra istituzioni culturali; - Differenti piattaforme in fase di realizzazione a livello nazionale e regionale non collegate alle reali esigenze degli operatori, istituzionali e non, e dei territori. Modelli per l'integrazione,

<ul style="list-style-type: none"> - Interesse attivo da parte degli enti proprietari del patrimonio per iniziative di ricerca avanzate. - Istituzione, da parte del Ministero della Cultura, di 44 tra Musei e Parchi Archeologici dotati di autonomia speciale e quindi maggiormente interessati all'adozione di soluzioni innovative per la conoscenza, tutela e valorizzazione del patrimonio culturale di propria competenza. 	<p>l'interoperabilità e il riuso dei dati poco diffuse e condivise.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Assenza di modelli di gestione e livelli di servizio non definiti; - Mancanza di un quadro normativo di riferimento sulla proprietà del dato e sulle modalità di riuso; - Limiti nella capacità di mercato e sostenibilità economica degli enti proprietari degli archivi; - Mancanza di risorse per potenziare l'utilizzo di strumentazioni innovative basate su sensori e per aggiornare i sistemi di archiviazione e storage.
Opportunità	Minacce
<ul style="list-style-type: none"> - Il patrimonio culturale è un focus rilevante nella programmazione europea e a livello nazionale; - Buona visibilità internazionale di competenze ed expertise nazionale; - Fondi PNRR dedicati alla digitalizzazione del patrimonio culturale, allo sviluppo dell'Industria Culturale e Creativa e allo sviluppo di piccole comunità, facilitando la messa in rete di musei e aumentando la visibilità del patrimonio territoriale; - Programmi comunitari a sostegno della Cultura, della Creatività e dell'Inclusione Sociale; - Ampio indotto di ricerca che sfrutta la vasta quantità di beni acquisiti e l'elaborazione di sistemi evoluti; - Opportunità di gestione di documenti (alcuni dei quali non accessibili) grazie alla presenza di diverse esperienze concrete di archiviazione. - Grande rilevanza nel settore della protezione del paesaggio, supporto alle strategie di sicurezza e tutela della salute e del benessere dei cittadini (in special modo in riferimento ai punti nn. 3, 4 e dell'elenco Sustainable Development Goals-SDGs UNESCO: Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages, Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all, Take urgent action to combat climate change and its impacts.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Opportunità di finanziamento, prevalentemente a livello regionale, possono causare frammentazione degli interventi e mancanza di gestione integrata; - Rischio di esperienze replicate su piattaforme non compatibili e limitata interoperabilità; - Scarsi investimenti in personale specializzato e innovazione strumentale; - La manutenzione a lungo termine degli archivi potrebbe non essere assicurata, con possibili rallentamenti o blocchi nei processi di archiviazione per mancanza di risorse; - Riduzione dell'efficacia ed efficienza negli interventi di monitoraggio ambientale a causa di queste limitazioni.

2. Definizione delle sotto-traiettorie

La traiettoria comprende cinque sotto-traiettorie:

SOTTO-TRAIETTORIA	DEFINIZIONE
-------------------	-------------

1.1 Tecnologie per la digitalizzazione e Data Modelling	Tecnologie emergenti e metodologie per il patrimonio culturale con focus su interoperabilità e Digital Rights Management. Acquisizione e digitalizzazione del patrimonio culturale originale e gestione delle risorse native digitali. Metodologie per la creazione, conservazione e fruizione ottimale, attraverso la gestione efficiente delle risorse digitali.
1.2 Piattaforma di base per i dati del patrimonio culturale	Definizione e progettazione di un ecosistema digitale per il Patrimonio Culturale con focus su archiviazione, arricchimento semantico, ricerca e conservazione. Valutazione delle piattaforme esistenti e sviluppo di un piano di cybersecurity completo.
1.3 Strumenti per le applicazioni del patrimonio materiale e immateriale	Strumenti e metodologie per la creazione e gestione di esperienze di Digital Cultural Heritage, inclusa la rappresentazione digitale di Intangible Heritage, attraverso strumenti verticali per specifiche comunità disciplinari o di utenti.
1.4 Sistemi Informativi e Banche Dati per la Conoscenza del Patrimonio Culturale	Applicazioni GIS evolute, da banche dati relazionali prodotte per i singoli ambiti operativi, dallo sviluppo di ontologie e procedure conformi a standard riconosciuti per l'implementazione di repository centralizzati o decentrati.
1.5 Tecnologie per individuazione, documentazione, tutela e valorizzazione del patrimonio e del Cultural Landscape.	Tecnologie avanzate per l'indagine non invasiva e l'identificazione, quali remote sensing con sensori su satelliti, aeromobili, droni, georadar e sensori di resistività. Questi strumenti sono supportati da tecnologie di post-processing, tra cui intelligenza artificiale, algoritmi di lettura automatica e tecniche di interpolazione. Tecnologie specifiche come laser-scanner (sia statico che mobile) e fotogrammetria per documentare siti-monumenti noti.

2.1 Sotto-traiettoria 1.1: **TECNOLOGIE PER LA DIGITALIZZAZIONE E IL DATA MODELLING**

Negli ultimi trent'anni, il settore della digitalizzazione del patrimonio culturale si è focalizzato su due aspetti fondamentali. Da un lato, si è concentrato sulla definizione di modelli concettuali per la rappresentazione dei dati di digitalizzazione dei beni culturali, compresi i formati dati e le caratteristiche essenziali in base al tipo di artefatto. Dall'altro lato, si è dedicato alla creazione di modelli concettuali per rappresentare le informazioni note relative ai beni culturali attraverso dati secondari o metadati. Nonostante le sfumature e le incertezze, le scelte tecnologiche sono considerate mature, sebbene con alcuni problemi aperti di natura evolutiva.

La maturità raggiunta offre opportunità per affrontare sfide più ampie nell'ecosistema digitale, superando l'approccio tradizionale e creando nuove entità digitali culturali. L'ecosistema digitale dovrebbe promuovere l'acquisizione di dati primari, la descrizione arricchita con dati secondari e la creazione di opere terziarie. L'integrazione agli standard e protocolli nazionali e internazionali è essenziale per realizzare una "risorsa culturale digitale" più ampia. Affrontare tali sfide richiede l'esplorazione di nuovi paradigmi di data modeling che soddisfino le esigenze di ricerca e riuso culturale, gestendo le nuove entità digitali culturali in modo gestibile, catalogabile e valorizzabile nel tempo.

Alcuni temi chiave di questa sotto-traiettoria includono l'integrazione di dati primari e secondari seguendo l'approccio FAIR, la differenziazione tra opera culturale e oggetto culturale, la stratificazione dei dati per separare oggetto digitale e argomento, e la caratterizzazione della geo e crono-locazione degli oggetti digitali. Per affrontare problemi di descrizione asfittica e incomplete, è necessario sviluppare interfacce per gli operatori che guidino e controllino l'inserimento delle informazioni, migliorando la qualità e la quantità dei dati.

Le tecnologie di digitalizzazione hanno fatto progressi significativi in diversi settori. La digitalizzazione di documentazione archivistica o biblioteconomica, opere pittoriche, artefatti tridimensionali,

patrimonio musicale e intangible heritage ha visto l'uso di strumentazione hardware e software specifici. L'Intelligenza Artificiale reca oggi potenzialità esponenziali in diversi ambiti di applicazioni, come la descrizione e la metadattazione di contenuti (si pensi, ad esempio, alle Recurrent Neural Networks – RNN). Nonostante questi avanzamenti, ad oggi le attività messe in campo dalle istituzioni pubbliche sono state poche e limitate. Tra i pochi esempi positivi vi sono la digitalizzazione 3D di alcune zone di Pompei nell'ambito del progetto Grande Pompei e, più di recente, il progetto MuDE "MUseo Digitale di Ercolano" che ha visto una azione integrata di catalogazione, digitalizzazione 3D di oggetti e ambienti, cartografia GIS, videomapping che ha consentito la ricostruzione in 3D di alcuni ambienti della città di Ercolano. I musei italiani, contrariamente ad alcune istituzioni estere, hanno finanziato solo azioni di digitalizzazione sporadiche e limitate in estensione. In caso di eventi catastrofici, difficilmente in Italia abbiamo la possibilità di trovarci in situazioni simili a quelle della Cattedrale di Notre Dame (esistenza di un accurato rilievo 3D dello stato dei sottotetti e delle strutture murarie, effettuato prima dell'incendio ed ora nelle disponibilità del gruppo di lavoro attivato dopo l'incendio).

Un ruolo importante è stato quello giocato da progetti di ricerca EC o nazionali (PON), i cui finanziamenti hanno reso possibile la realizzazione di un buon numero di progetti di digitalizzazione (spesso realizzati da istituzioni di ricerca), limitati però nell'estensione (poche opere scelte).

SOLUZIONI TECNOLOGICHE	
Knowledge Modelling & Management	Soluzioni tecnologiche avanzate per la modellazione e la gestione completa di oggetti digitali da acquisizioni passate, <i>future o born digital</i> , integrando aspetti come <i>uncertainty/trust modelling, layered annotation, graph models, temporal/4D data modelling, e multilingualism</i> . Strutture ontologiche per rappresentare domini di conoscenza e migliorare l'interoperabilità semantica, l'adattabilità dei servizi, e il context/situation awareness.
Data Archival & Integration	Soluzioni tecnologiche avanzate per l'archiviazione e la gestione, inclusa la conservazione, di "oggetti digitali" specifici del patrimonio culturale. Le soluzioni si focalizzano sull'identificazione delle caratteristiche minime condivise tra le diverse rappresentazioni per favorire l'interoperabilità e implementare il Digital Rights Management.
Metadata Mapping/Translation between Models	Tecnologie e strumenti per la traduzione, integrazione e ri-rappresentazione di oggetti digitali rappresentati secondo modelli diversi, soprattutto se incompatibili ed incomparabili.
Operator Interfaces	Interfacce per la rapida e efficace descrizione degli oggetti digitali, considerando corretti parametri di equilibrio quantitativo/qualitativo per i contenuti descrittivi. Queste soluzioni rispondono ai requisiti di coerenza, affidabilità, riutilizzo, persistenza e resilienza.
Tecnologie di digitalizzazione 2D e 3D	<i>Digitalizzazione 2D:</i> Dalla fotografia digitale alle tecnologie di acquisizione panoramiche ad altissima risoluzione (stitching di immagini parzialmente sovrapposte) <i>Digitalizzazione 3D:</i> Tecnologie attive, come laser o luce strutturata, e fotogrammetriche per acquisizione di modelli 3D, da utilizzare per la conoscenza, la creazione di cataloghi digitali e la produzione di contenuti multimediali interattivi.
Tecnologie di Digitalizzazione Multispettrali	Molto usate nel contesto del restauro e della conoscenza dell'opera d'arte, in quanto permettono di acquisire informazioni di dettaglio relative ai layer sottostanti la pellicola pittorica.
Tecnologie di Acquisizione Suono/Video	Permettono di complementare le precedenti, sia per acquisire le caratteristiche sonore di ambienti architettonici o singoli oggetti, che per supportare la digitalizzazione di intangible heritage.
STAKEHOLDER	
Università,	In Italia, la gestione e descrizione delle risorse digitali legate al patrimonio

EPR, IR, Distretti	<p>culturale segue standard di metadati sotto la responsabilità di quattro Istituti centrali del Ministero della Cultura: l'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD), l'Istituto Centrale per gli Archivi (ICAR), l'Istituto Centrale per il Catalogo Unico delle Biblioteche Italiane e per le Risorse Bibliografiche (ICCU) e l'Istituto Centrale per i beni sonori e audiovisivi (ICBSA). In occasione dell'ultima riforma del Ministero è stato istituito una nuova struttura denominata Istituto per la Digitalizzazione del patrimonio culturale (<i>Digital Library</i>) con il compito di coordinare i quattro Istituti Centrali e, più in generale, di attuare il Piano Nazionale Digitalizzazione del patrimonio culturale (https://digitallibrary.cultura.gov.it/il-piano/). Esperienze significative in questo campo sono state condotte da CNR-ICAR, CNR-ISTC e CNR-ISTI, mentre il contributo di numerose università italiane è essenziale. Il Distretto DATABENC, della Regione Campania, ha sviluppato progetti significativi dal 2014, come la piattaforma tecnologica di riferimento CHIS (Cultural Heritage Information System), coinvolgendo le principali università campane, il CNR e oltre 60 imprese. Il gruppo di ricerca impegnato nella digitalizzazione include rappresentanti da istituti di ricerca quali CNR-IFAC (Marcello Picollo), CNR-ISTI (Paolo Cignoni), CNR-IMATI (Michela Spagnuolo), Politecnico di Milano (Gabriele Guidi), FBK (Fabio Remondino), e Università degli Studi di Catania (Giovanni Gallo) e Bari Aldo Moro – Laboratorio Digitale Multimediale “Patrimoni Sconosciuti”. Tra i vari progetti di ricerca dedicati allo sviluppo delle tecnologie di digitalizzazione, alcuni hanno svolto un ruolo pionieristico (Stanford’s Digital Michelangelo, EC 3DCOFORM), altri hanno mirato a realizzare campagne organiche di digitalizzazione e repository, (EC 3DICONs, https://albert.ias.edu, Digital Epigraphy Project, Zamani Project). Alcuni progetti hanno focalizzato la loro attenzione su modalità specifiche di utilizzo degli oggetti digitalizzati, quali annotazione (National Library of Wales), analisi (EC GRAVITATE), o documentazione del restauro (Restauro Fontana Nettuno). Questa varietà di progetti ha contribuito in modo significativo allo sviluppo e all’uso delle tecnologie di digitalizzazione nel contesto della ricerca.</p>
Imprese	<p>In Italia, la leadership di competenze nel settore della digitalizzazione è principalmente detenuta da PMI come 4Science del gruppo Itway, focalizzata sulla Digital Preservation e servizi legati ai beni culturali o come Glossa srl con competenze specifiche dalla catalogazione e metadattazione dei beni culturali e attualmente impegnata, tra i vari progetti, della digitalizzazione dell’archivio e della biblioteca della Accademia dei Lincei. Queste PMI offrono soluzioni open source per Digital Asset Management System diffusi a livello globale. A livello nazionale, diverse startup, principalmente piccole ditte, si dedicano alla digitalizzazione attraverso l’uso di sistemi commerciali o gratuiti. Ultimamente è da segnalare che, in virtù di bandi di digitalizzazione di importo consistente nell’ambito del Piano Nazionale di Digitalizzazione, anche grandi aziende ICT come Almoviva, Engineering, Indra ecc...ecc...si sono inserite nel comparto specifico grazie anche all’utilizzo delle “Convenzioni CONSIP” che hanno consentito alle PA di evitare la procedura di evidenza pubblica (bando di gara). Ciò sta modificando lo scenario nel quale le PMI, da sempre contenitori di competenze e soluzioni, vengono attivate dalla grandi aziende in sub-fornitura o come mandanti di Raggruppamenti Temporanei d’Impresa di cui la grande Azienda detiene il mandato</p> <p>Metis, Automazione e Microfilm, Autodesk, FARO, LEICA, RIEGL, Aicon 3D, Agisoft, Photomodeler, Sketchfab, ETT Solutions, SPACE, GAP, Bucap, Copat.</p>
Altri portatori di interesse	<p>L’associazione di Informatica Umanistica e di Cultura Digitale (AIUCD, http://www.aiucd.it/) da anni fornisce un punto di incontro per tutti gli studiosi di</p>

Digital Humanities provenienti da discipline le più disparate. Rete dei musei italiani, rete delle Soprintendenze e MIC

RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA

Questa ricerca si concentra su tre carenze fondamentali nei modelli di metadati per i beni culturali: mancanza di integrazione e diffusione, esclusività specialistica e divario tra standard ideali e pratiche nelle collezioni digitalizzate. L'obiettivo è rendere le descrizioni più comprensibili e colmare queste lacune. Per farlo, si propone di consolidare strumenti per la creazione di cloni digitali dei beni culturali e per la digitalizzazione in generale, riproducendone forma e funzionalità in ambienti digitali di analisi e visualizzazione.

2.2 Sotto-traiettoria 1.2: PIATTAFORMA DI BASE PER I DATI DEL PATRIMONIO CULTURALE

In un contesto in cui enti culturali e siti storici si stanno digitalizzando, è cruciale la presenza di piattaforme digitali capaci di integrare la dimensione fisica con quella digitale. Una piattaforma ideale dovrebbe centrarsi da un lato sul "conservatore" cioè colui che detiene il bene, lo gestisce e, lo documenta e, dall'altro, sul visitatore, possibilmente distinguendo differenti target (studenti, studiosi, turisti, cittadini), creando uno spazio culturale per la conoscenza e la partecipazione. Tuttavia, l'attuale scenario digitale è frammentato, causando problemi come elevati costi aggregati e mancanza di interoperabilità tra diverse istituzioni.

Una piattaforma per i Beni Culturali deve garantire:

- Un modello di dati unificante per le diverse tipologie di beni culturali (archivi, biblioteche, belle arti e audiovisivo) basato su processi organizzativi e procedure condivise di definizione – primaria e secondaria - dei dati stessi , promuovendo scalabilità e flessibilità;
- Un overlay semantico per gestire open data e Linked Open Data, facilitando la navigazione tra contenuti eterogenei;
- Servizi per l'editing collaborativo e la formazione di community tematiche;
- Un piano di cybersecurity per garantire la sicurezza dei dati e dei sistemi.

L'architettura funzionale della piattaforma proposta comprende:

- Generazione di dati culturali intuitivi e partecipativi;
- Gestione di un repository per dati eterogenei, inclusi contenuti multimediali e Realtà Virtuale;
- Collegamento di contenuti relativi alle opere con i loro "gemelli digitali" nel repository.
- Costruzione di Linked data e overlay semantico;
- Gestione delle funzionalità di annotazione e arricchimento semantico;
- Conservazione e preservazione delle risorse digitali con attenzione alla cybersecurity.

In ambito Heritage Data, la piattaforma deve supportare sia approcci di arricchimento semantico che analytics dei dati, visualizzazione, integrazione di servizi e composizione di servizi

SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Architettura Data-Oriented	Soluzioni in cui i dati sono elementi principali della piattaforma, che si configura come un grande data lake (o data space, in alcune accezioni) e le applicazioni che ad esso si appoggiano hanno in carico l'onere di omogeneizzare, trasformare e <i>make sense of data</i> .
Architettura Service-Based	Soluzioni in cui gli elementi principali della piattaforma sono moduli computazionali ben incapsulati, che inglobano dati e le funzionalità che ad essi accedono, e la costruzione delle applicazioni sovrastanti consiste prevalentemente nell'orchestrazione di tali servizi al fine di raggiungere un predeterminato obiettivo, spesso secondo un ben preciso workflow.

STAKEHOLDER

Università, EPR, IR, Distretti	Centro eccellenza del DTC Lazio (Sapienza – DIAG, CNR – Presutti). DATABENC – Distretto ad Alta Tecnologia per i Beni Culturali della Regione Campania (Università di Salerno, Università di Napoli "Federico II", Università Parthenope,
---------------------------------------	---

	Università Suor Orsola Benincasa, CNR, circa 60 Imprese). Consiglio Nazionale delle Ricerche, con gli istituti (ISTI, ISTC, ITPC).
Imprese	Sono presenti sul territorio nazionale un buon numero di startup, in stragrande maggioranza piccole ditte che offrono servizi di digitalizzazione (usando sistemi commerciali o free) piuttosto che ditte che offrono strumenti tecnologici proprietari.
Altri portatori di interesse	Istituzioni pubbliche del sistema patrimonio Culturale; MiC-Istituto per la Digitalizzazione del patrimonio culturale (<i>Digital Library</i>)
RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA	
Lo sviluppo di una piattaforma che sfrutti le soluzioni tecnologiche indicate può massimizzare le ricadute sociali ed economiche legate alla conoscenza, gestione e valorizzazione del patrimonio culturale, definito nella sua più ampia accezione. Una simile piattaforma, inoltre, può espandere e approfondire le relazioni semantiche presenti nei dati, attraverso l'adozione di motori inferenziali basati su approcci ontologici e tecniche di machine learning.	

2.3 Sotto-traiettoria 1.3: STRUMENTI PER LE APPLICAZIONI DEL PATRIMONIO MATERIALE E IMMATERIALE

Il Digital Cultural Heritage si configura come un ambito che richiede strumenti avanzati per la gestione e la valorizzazione del patrimonio culturale materiale e immateriale. In questa sotto-traiettoria emergono diverse sfaccettature delle tecnologie impiegate, le quali si prestano a soddisfare obiettivi diversificati, quali la visualizzazione, la gestione e l'interazione fra gli operatori dei BB.CC. e i dati e fra i prodotti ultimi di tali operazioni e gli utenti. Si evidenziano strumenti per la gestione integrata di dati archeologici, unificando informazioni da scavi, supporto allo studio e all'analisi di opere d'arte attraverso azioni visive e metriche, e strumenti per l'integrazione e l'archiviazione della documentazione di restauri, con geo-localizzazione dei dati sul clone digitale del bene. L'ampio sfruttamento di risorse digitali e l'interazione diretta tra utenti e contenuti antichi, con sistemi di riconoscimento digitale avanzati, offrono nuove modalità di consultazione delle collezioni digitali, con un focus sulle digital libraries di contenuto testuale manoscritto. Inoltre, la conservazione a lungo termine dei dati digitali, la divulgazione del patrimonio culturale attraverso piattaforme di promozione, e l'analisi dati con tecniche di data mining per estrarre il profilo del visitatore completano il quadro di tecnologie applicabili. La progettazione di queste piattaforme, complessa metodologicamente, si avvale di soluzioni di Artificial Intelligence e Machine Learning per automatizzare e migliorare le attività.

Un approccio complementare si concentra sulla preservazione del "patrimonio culturale immateriale", come enfatizzato dall'UNESCO attraverso la *Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage* (Parigi, 17 ottobre 2003). Questo patrimonio comprende tradizioni orali, arti dello spettacolo, consuetudini sociali, conoscenze sulla natura e l'artigianato tradizionale, recupero di idiomi e lingue locali (attualmente, solo nove elementi italiani sono riconosciuti come patrimonio immateriale dall'UNESCO) e tradizioni enogastronomiche, e la sua preservazione si basa sulla relazione tra gli elementi, piuttosto che sulla conservazione di manufatti singoli. Le tecnologie coinvolte e le relative applicazioni specifiche includono il web semantico, ontologie computazionali, linked data, e strumenti per la documentazione di eventi dal vivo, la rappresentazione delle componenti immateriali del patrimonio materiale. In questo contesto, la fruizione del patrimonio culturale immateriale richiede un sistema complesso e ben implementato, che spazia dalle interfacce touch a tecnologie di dominio come la VR/AR, offrendo esperienze emozionali attraverso strumenti e metodologie applicati a opere e siti culturali. La sicurezza nei siti ed enti culturali, con strumenti di monitoraggio e controllo dei flussi, è un aspetto rilevante per garantire l'integrità di questo patrimonio. La personalizzazione dei contenuti e l'analisi delle interazioni visitatore-opera sono elementi cruciali per comprendere le abitudini culturali e migliorare la fruizione del patrimonio immateriale.

Tecnologie di Presentazione Visuale e per lo Storytelling.	Tecnologie di base di visualizzazione interattiva, di produzione di contenuti in computer animation, di gestione di sistemi avanzati immersivi (VR/AR); strumenti di authoring per la creazione di presentazioni multimediali complesse. Sistemi di authoring per lo storytelling.
Sensoristica	Sensori e sistemi per la rilevazione della presenza/orientamento dei visitatori in spazi espositivi al chiuso (musei) o all'aperto (aree archeologiche, sistemi monumentali, città storiche)
Tecnologie Web	Metodologie e sistemi di supporto alla progettazione di applicazioni interattive su piattaforma web e su piattaforme di fruizione differenziate (PC, sistemi mobili).
Tecnologie per la documentazione di eventi dal vivo e la rappresentazione di componenti immateriali	Strumenti per feste, spettacoli, eventi pubblici. Soluzioni per le componenti immateriali (valoriali, identitarie, emotive, ecc.) del patrimonio materiale (oggetti, manufatti, libri, ecc.) anche mediante la messa in relazione specifica delle occorrenze.
Tecnologie per la conservazione del patrimonio enogastronomico	Sfruttamento delle tecnologie innovative per la conservazione del patrimonio enogastronomico, inteso non solo come cibo ma come presidio di tradizioni e sapere (es. piattaforme digitali, big data e analisi predittiva, blockchain per la tracciabilità, digitalizzazione di archivi culinari, etc.)
Tecnologia per recupero, valorizzazione e conservazione del patrimonio linguistico	Applicazione di strumenti come AR/VR, apprendimento automatico e riconoscimento vocale, piattaforme di apprendimento online, tecnologie di NLP e archiviazione digitale.

STAKEHOLDER

Università, EPR, IR, Distretti	Il CNR ha una solida esperienza nel settore della gestione del patrimonio materiale, con numerose realizzazioni di alcuni suoi istituti (ITABC, ISTI, IMATI, IBAM); esperienze significative sono state realizzate in ambito accademico (UniBo, UniSOB, UniSalerno) ed industriale, anche attraverso l'azione di Consorzi quali il Distretto ad Alta Tecnologia per i Beni Culturali della Regione Campania (DATABENC). Quanto al patrimonio immateriale, la ricerca in questo campo è condotta prevalentemente da enti e istituti di ricerca pubblici e si manifesta principalmente in opere di saggistica accademica (articoli o volumi) e studi dettagliati su elementi specifici.
Imprese	Engineering spa, ETT Solutions, Centrica, IBM, HGV Italia, EDGE Lab, etc. Imprese nel campo della produzione/distribuzione audiovisiva (piattaforme digitali di entertainment). Imprese di produzione di entertainment digitale (videogame). Imprese di audience engagement per i beni culturali (guide multimediali, musei virtuali).
Altri portatori di interesse	RAI, Cineteche distribuite sul territorio nazionale, Centri studio e Archivi dei Teatri Nazionali in Italia, Siti storici, Musei ed enti di promozione delle tradizioni e del folklore, Aziende dell'industria alimentare (produzione, trasformazione e distribuzione), Istituzioni culturali. Ad oggi le attività introdotte dalle istituzioni pubbliche sono state poche e limitate. La maggior parte delle esperienze realizzate si è incentrata sulle tematiche della fruizione museale.

RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA

L'obiettivo è potenziare le capacità del sistema museale italiano nella presentazione delle opere d'arte, adottando approcci innovativi e più accattivanti per le giovani generazioni, con possibili collaborazioni con le Creative Industries e l'editoria digitale e cartacea. Queste iniziative non solo incentiverebbero il riuso dei dati digitalizzati ma stimolerebbero anche l'intensificazione degli sforzi per la digitalizzazione dei Beni Culturali e Creativi. Ciò avrebbe impatti significativi sull'educazione e

sull'accessibilità a tutti i livelli scolastici. Parallelamente, si propone lo sviluppo di metodologie e strumenti innovativi per la documentazione, catalogazione, conservazione e valorizzazione dell'Intangible Heritage.

2.4 Sotto-traiettoria 1.4: **SISTEMI INFORMATIVI E BANCHE DATI PER LA CONOSCENZA DEL PATRIMONIO CULTURALE**

I dati raccolti, provenienti da fonti eterogenee, necessitano di una sistematizzazione rigorosa per rispondere alle diverse esigenze degli utenti. È fondamentale distinguere i sistemi di catalogazione da quelli di diffusione scientifica e assicurare l'integrazione tra analisi e descrizione dei dati.

Le strutture di ricerca nel settore del patrimonio culturale organizzano e raccolgono dati complessi in diverse forme, come banche dati e cataloghi. Si distinguono dati completi, inclusi in sistemi informatizzati spesso chiusi, e dati raccolti da ricerche parziali o sistematiche, non ancora editi o accessibili online.

A ciò si aggiungono dati in archivi pubblici e privati, non sempre organizzati o accessibili. Progetti nazionali ed europei con forte impronta tecnologica (es. PON, Smart City, etc.), spesso presentano un'immagine distorta del patrimonio, perché necessariamente condizionata dalla quantità (e talvolta dalla qualità e precisione) dei dati disponibili (in realtà nella migliore delle ipotesi solo dati reperibili in pubblicazioni e siti internet). Essi si concentrano su una percentuale limitata di dati, circa il 15%, rispetto a quanto già disponibile presso università ed enti di ricerca.

Le metodologie per organizzare i dati variano, ma il loro sviluppo si prospetta prevalentemente informatico. L'aggregazione rivela una quantità significativa di dati, ma spesso gli sforzi territoriali si concentrano su tematiche specifiche senza programmazione a lungo termine.

La disponibilità dei dati sistemati varierà a diversi livelli, con massima elaborazione per le strutture pubbliche e almeno tre livelli semplificati per scopi turistici, informativi e formativi. Le tecnologie impiegate per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati potrebbero essere sfruttate anche per la comunicazione, rendendo comprensibili dati finora limitati a ambiti scientifici disciplinari.

Il dominio tecnologico coinvolto è rappresentato dalle applicazioni GIS avanzate, banche dati relazionali, ontologie e procedure conformi agli standard per repository centralizzati o decentrati, con l'implementazione di soluzioni di cybersecurity per la protezione dei dataset.

SOLUZIONI TECNOLOGICHE	
Infrastrutture Digitali, Sistemi informativi e Banche dati per la Gestione, l'Analisi, la Fruizione e la Conservazione del Patrimonio Culturale	Sistemi informativi per la gestione, l'analisi, la conservazione, la fruizione del patrimonio culturale e paesaggistico delle città e del territorio; Sistemi informativi, banche dati per la organizzazione e gestione di archivi e materiale librario, documentale; Sistemi informativi per la organizzazione e gestione del patrimonio artistico; Sistemi informativi, banche dati e repertori per l'organizzazione e gestione del patrimonio immateriale e di espressioni artistiche varie.
Tecnologie per la digitalizzazione del patrimonio culturale (archivi, materiale librario, documentale, espressioni artistiche maggiori e minori)	Sistemi e tecniche diverse di analisi, prospezioni geognostiche, rilevamenti e restituzioni da A.P.R., modellazioni territoriali e di monumenti, etc.
STAKEHOLDER	
Università, EPR, IR, Distretti	<i>Globali:</i> Centre national de la recherche scientifique (http://www.cnrs.fr/), University of California (https://www.universityofcalifornia.edu/), École normale supérieure, Harvard College (https://college.harvard.edu/), Université De Lyon (https://www.universite-lyon.fr/), University Texas at Austin

	<p>(https://www.utexas.edu/), University of Pennsylvania Libraries (https://schoenberginstitute.org/).</p> <p><i>Nazionali:</i> Ministero della Cultura, Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione, Istituto Poligrafico e della Zecca dello Stato, Istituto Centrale per gli Archivi, Archivio Centrale dello Stato, Istituto Centrale per la Conservazione e il Restauro, DATABENC - Distretto ad Alta Tecnologia per i Beni Culturali - Napoli, Università degli Studi di Bergamo, Biblioteca digitale - Biblioteca Nazionale Centrale di Roma (http://digitale.bnc.roma.sbn.it/tecadigitale/), Biblioteca Digitale - Biblioteca Nazionale di Napoli (http://digitale.bnnonline.it/), Biblioteca Nazionale di Cosenza - gallery (http://www.bncs.beniculturali.it/it/gallery/), Università degli Studi Federico II, Università degli Studi di Milano (https://www.unimi.it/), Università degli Studi di Padova (https://www.beniculturali.unipd.it/www/homepage/), Biblioteca digitale del Conservatorio di Milano (http://www.consmilano.it/index.php?id=biblioteca_digital), Biblioteca Digitale - Biblioteca Nazionale.</p>
Imprese	Google, Kobo, Feltrinelli, Treccani, Laterza Editore, Glossa, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.
Altri portatori di interesse	<p><i>Istituzioni pubbliche:</i> nel caso specifico, gli attori pubblici principalmente coinvolti allo stato attuale sono il Ministero della Cultura con l' Istituto per la Digitalizzazione del patrimonio culturale (<i>Digital Library</i>), gli Istituti Centrali (in particolare l'ICCD) e i 44 Musei e Parchi Archeologici dotati di autonomia speciale, le strutture bibliotecarie, museali e gli archivi. L'offerta principale riguarda contenuti disponibili in modalità efficace, efficiente e in grado di prefigurare un quadro informativo, specie in termini di dati, organico e come si diceva multilivello.</p> <p><i>Altri portatori di interesse:</i> Si registra la presenza di erogatori sia nel campo informatico, sia nell'ambito della tradizione editoriale. Entrambe le tipologie, ad es. partner come Google o Treccani, interessati indubbiamente per la natura peculiare della loro mission operativa, alla ricerca in campo di raccolta e gestione dati, entrambi naturalmente da coinvolgere nell'ambito di partnership pubblico-private.</p>
RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA	
La possibilità di visualizzare in unico "contenitore" l'accesso a tutte le tipologie del patrimonio del paesaggio costituirà elemento fortemente innovativo e strumento di lavoro indispensabile funzionale alle azioni di tutela e sicurezza, pianificazione e valorizzazione che vengono ad interagire col patrimonio del territorio.	

2.5 Sotto-traiettorie 1.5: TECNOLOGIE PER INDIVIDUAZIONE, DOCUMENTAZIONE, TUTELA E VALORIZZAZIONE DEL PATRIMONIO E DEL CULTURAL LANDSCAPE

Il diffuso malinteso, presente tra chi ha una conoscenza limitata del settore e talvolta anche tra gli addetti ai lavori, consiste nell'erronea percezione dei beni culturali come un insieme statico, già completamente conosciuto. In realtà, è essenziale perseguire ulteriori ricerche per approfondire la comprensione dei beni culturali già identificati e scoprire realtà ancora nascoste nei paesaggi, magazzini e archivi.

I Paesaggi Culturali, habitat dove la lunga interazione uomo-ambiente crea un connubio di elementi naturali e culturali, sono considerati un prezioso patrimonio. Il riconoscimento ufficiale del loro portato storico-culturale è stato sancito per la prima volta nel 1962 grazie al documento UNESCO "Recommendation concerning the Protection of the Beauty and Character of Landscapes and Sites". Nel 1972 l'emanazione della "Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural

Heritage (World Heritage Convention)” vincola i paesi sottoscrittori ad impegnarsi nella identificazione, protezione, conservazione, presentazione e trasmissione alle future generazioni del patrimonio naturale e culturale incluso nei loro territori.

Solo il Trattato di Rio de Janeiro del 1992, tuttavia, risolve la dicotomia tra patrimonio naturale e culturale, portando alla nuova definizione di “Cultural Landscape” adottata dall’UNESCO nel 1994. Il Consiglio d’Europa promuove nel 2005 la Convenzione sulla Protezione e Promozione della Diversità delle Espressioni Culturali (nota come Convenzione di Faro), che ulteriormente allargava la definizione di Patrimonio culturale a tutte quelle manifestazioni materiali ed immateriali che fossero espressione dei valori, credenze, conoscenze e tradizioni riconosciuti come identitari dalle persone. Tutte queste iniziative sottolineano l’importanza dei paesaggi culturali come portatori di memoria, significati e valori identitari.

La definizione di “Paesaggio Culturale” si è arricchita recentemente, enfatizzando gli aspetti percettivi e fenomenologici. È essenziale adeguare strumenti di documentazione, valutazione e valorizzazione per comprendere, tutelare e condividere questa ricchezza in modi nuovi e diversificati.

Il rilevamento, l’identificazione e la classificazione devono essere accompagnati da una fase accurata di documentazione, impiegando metodi e tecnologie avanzate. Questa fase riveste un’importanza fondamentale, rappresentando uno dei momenti chiave per acquisire una conoscenza approfondita del contesto, con notevoli implicazioni interpretative. Nel contesto della presente sotto-traiettorie, il dominio tecnologico riguarda le tecnologie di indagine non invasiva mediante sistemi statici (Total station laser scanning, fotogrammetria e GPS), remote sensing (sensori su satelliti, aeromobili, droni, mobile mapping, ecc.) e near surface remote sensing (georadar, sensori di resistività, ecc.), insieme alle tecnologie per il post-processing, che includono l’utilizzo di Intelligenza Artificiale (es. le Convolutional Neural Network – CNN), algoritmi di lettura automatica e varie tecniche di interpolazione e visualizzazione dei risultati.

Sono identificate tre principali direzioni di sviluppo: identificazione del patrimonio (metodi, strumenti e tecnologie); rilevamento e documentazione (metodi, strumenti e tecnologie); analisi e documentazione di beni cartacei archivi, biblioteche, ecc. L’approfondita conoscenza dei beni culturali è essenziale per interventi di catalogazione, tutela e valorizzazione. Le indagini archeologiche preventive spesso non riescono a coprire la totalità, emergendo contesti non previsti durante la realizzazione di nuove infrastrutture. Meno dell’1% delle presenze archeologiche è sottoposto a tutela formale, e oltre il 50% dei beni è a rischio.

Per i centri storici, la situazione appare diversa, ma spesso manca un’analisi scientifica dettagliata. La creazione di mappe del rischio e del potenziale archeologico, monumentale, territoriale e culturale è essenziale, integrando dati relativi al patrimonio storico-culturale, alla morfologia del territorio, al contesto sociale ed economico per la valorizzazione dell’eredità culturale di un territorio. Questo approccio offre notevoli opportunità di trasferimento tecnologico a livello nazionale e internazionale.

Documentazione e rilevamento del patrimonio culturale richiedono una documentazione completa, con rilevamento tridimensionale alle scale adeguate, codifiche precise e integrazione su cartografie tecniche numeriche utili alla pianificazione territoriale o urbana. Gli eventi recenti, come l’incendio della chiesa di Notre Dame di Parigi, evidenziano la fragilità del patrimonio culturale e sottolineano l’importanza di documentazioni e rilievi completi. La creazione di mappe del rischio e del potenziale archeologico, monumentale, territoriale e culturale è essenziale, integrando dati relativi al patrimonio storico-culturale, alla morfologia del territorio, al contesto sociale ed economico per la valorizzazione dell’eredità culturale di un territorio.

Analisi e documentazione di beni cartacei bibliotecari ed archivistici sono cruciali per il controllo conservativo di fondi grafici, documentali e archivistici. Particolarmente critici sono i materiali antichi, influenzati dalla composizione degli inchiostri metallogallici, che possono causare danni irreversibili se non monitorati attentamente. Questa questione, di rilevanza culturale e politica, solleva dubbi sulla sopravvivenza e trasmissione della memoria storica europea e globale.

Inoltre, merita di essere menzionata in questa sotto-traiettorie anche la dirompente potenzialità

offerta dall'Intelligenza Artificiale, sempre più impiegata in diversi contesti legati all'ambito della conoscenza del patrimonio culturale. Nel restauro artistico, in particolare, l'IA fornisce un supporto decisivo per affrontare le problematiche relative alla ricostruzione di opere d'arte, a partire dai frammenti disponibili o, attraverso l'utilizzo di modelli di IA generativa, la ricostruzione di parti dell'opera andate irrimediabilmente perdute.

I Paesaggi Culturali, habitat dove la lunga interazione uomo-ambiente crea un connubio di elementi naturali e culturali, sono considerati un prezioso patrimonio. Il riconoscimento ufficiale del loro portato storico-culturale è stato sancito per la prima volta nel 1962 grazie al documento UNESCO *"Recommendation concerning the Protection of the Beauty and Character of Landscapes and Sites"*. Nel 1972 l'emanazione della *"Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage (World Heritage Convention)"* vincola i paesi sottoscrittori ad impegnarsi nella identificazione, protezione, conservazione, presentazione e trasmissione alle future generazioni del patrimonio naturale e culturale incluso nei loro territori.

Solo il Trattato di Rio de Janeiro del 1992, tuttavia, risolve la dicotomia tra patrimonio naturale e culturale, portando alla nuova definizione di "Cultural Landscape" adottata dall'UNESCO nel 1994. Il Consiglio d'Europa promuove nel 2005 la Convenzione sulla Protezione e Promozione della Diversità delle Espressioni Culturali (nota come Convenzione di Faro), che ulteriormente allargava la definizione di Patrimonio culturale a tutte quelle manifestazioni materiali ed immateriali che fossero espressione dei valori, credenze, conoscenze e tradizioni riconosciuti come identitari dalle persone. Tutte queste iniziative sottolineano l'importanza dei paesaggi culturali come portatori di memoria, significati e valori identitari.

La definizione di "Paesaggio Culturale" si è arricchita recentemente, enfatizzando gli aspetti percettivi e fenomenologici. È essenziale adeguare strumenti di documentazione, valutazione e valorizzazione per comprendere, tutelare e condividere questa ricchezza in modi nuovi e diversificati. Il primo passo è un rilevamento sistematico, fondamentale per la conoscenza, studio e intervento sul patrimonio. Le metodologie e i supporti digitali seguono tecnologie già indicate, con l'aggiunta di laser-scanner, fotogrammetria e altre specifiche per la documentazione di siti-monumenti noti.

SOLUZIONI TECNOLOGICHE	
Identificazione del Patrimonio Culturale con particolare riferimento alle Risorse Archeologico-Monumentali	Prospezioni geofisiche (Magnetometria, tomografia elettrica, GPR, etc.), Remote sensing (Aerofotografia, applicazioni di fotogrammetria digitale, immagini da satellite, iper e multispettrale, LiDAR, SAR, UA, etc.), tecnologie digitali per l'analisi dei dati (automatic pattern recognition, AI e deep learning per processamento dati), tecnologie GIS per la gestione integrata, visualizzazione e analisi spaziale dei dati, VR, gamification e tecnologie per creazione di esperienze immersive fully-sensorial.
Documentazione e Rilevamento del Patrimonio Culturale	Fotografia digitale ad alta risoluzione, fotogrammetria digitale da velivoli tradizionali e da droni, rilievo <i>laser scanner</i> , <i>XRF</i> , piattaforma <i>GIS WEB</i> tramite applicativi <i>open source</i> , compatibile con i protocolli e le procedure con il Sistema Informativo Archeologico Nazionale (SITAN) e il SIGECWEB; tecnologie di acquisizione dati tridimensionali (SAPR, TLS), Realtà Virtuale Aumentata (AVR); app.
Analisi e Documentazione di Beni Cartacei Bibliotecari ed Archivistici	Light-sheet, Dino-Lite Premier Digital Microscope, Microscopio elettronico a scansione (SEM), Microscopio elettronico a scansione (SEM) con sistema di microanalisi a dispersione di energia (EDX), Fluorescenza UV, Tecnica multispettrale riflettografia all'infrarosso, Spettrofotometria di Fluorescenza a Raggi X (XRF), Spettroscopia d'indagine, Spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier (FT-IR), Spettrometria di retrodiffusione di Rutherford (Rutherford Backscattering Spectrometry, RBS), Microspettrometria Raman, Stereo Microscopia Ottica (SMO), Metodica analitica PIXE (Particle o Proton Induced X-Ray Emission), Metodica analitica PIGE (Particle Induced G-Ray Emission), Analisi per

	microfluorescenza a raggi X da radiazione o luce di sincrotrone (SRXF, Synchrotron Radiation Induced X-ray micro-fluorescence), Riprese in luce diffusa visibile, Luminescenza UV, IR in falso colore, Riflettografia IR.
Tecnologie GIS e Strumenti Online per la Visualizzazione, Ricostruzione, Comunicazione e Promozione.	Raccolta dati di diversa natura (vettoriali, raster, etc.) attraverso tecnologie e software GIS e data analysis con strumenti online per visualizzazione, ricostruzione, comunicazione e promozione dei paesaggi e dei beni culturali tangibili ed intangibili ad essi legati.
Intelligenza Artificiale applicata per il restauro di opere con parti mancanti	In relazione al restauro di opere che prevedono la ricostruzione di parti mancanti, l'approccio che si utilizza è quello delle Generative Adversarial Network (GAN). Sebbene le GAN spesso vengano utilizzate per creare opere d'arte originali, l'utilizzo in questo caso è quello di sfruttare le enormi potenzialità generative guidando per il processo verso la riproduzione dell'artefatto in piena coerenza con l'opera originale, imitando lo stile, la composizione e il contenuto. molto promettenti si stanno rivelando gli approcci basati sul "reinforcement learning": algoritmi capaci di acquisire conoscenza attraverso un processo di sperimentazione e apprendimento dagli errori.
STAKEHOLDER	
Università, EPR, IR, Distretti	<p><i>Globali:</i> LiDAR Remote Sensing (LiDARLab) (https://www.geo.uzh.ch/en/units/rsl/research/LiDAR_Lab.html), Radar Remote Sensing (SARLab) (https://www.geo.uzh.ch/en/units/rsl/research/SAR_Lab.html), Spectroscopy (SpectroLab) (https://www.geo.uzh.ch/en/units/rsl/research/Spectro_Lab.html) University of Portsmouth, FUB - RESEARCH GROUP FOR ENVIRONMENTAL MONITORING.</p> <p><i>Nazionali:</i> ITABC CNR Survey Lab (http://www.itabc.cnr.it/pagine/survey-lab), Università la Sapienza, CETEMPS (https://www.univaq.it/section.php?id=263), CERFIS - Centro di ricerca e formazione per l'ingegneria sismica (https://www.univaq.it/section.php?id=1330), Distretto di Alta Tecnologia per l'Innovazione nel settore dei Beni Culturali (DTCB) - capofila Università di Palermo, Progetto Tecla (PON03PE 214_1) - partner Università di Palermo, Università di Catania, CNR, Pitecnobio, Coirich Scarl, Hitec2000 Srl e Syremont Spa (attraverso le nanotecnologie il progetto ha realizzato materiali innovativi e nanomateriali per il consolidamento, la protezione, la pulitura e la fruizione dei beni culturali così come sensori innovativi per il monitoraggio), Progetto Delias (PON03PE 214_2) - partner Università di Palermo, Università di Catania, INSTM, CNR, Pitecnobio, Coirich Scarl, Sidercem Srl e Syremont Spa (sviluppo di processi innovativi, metodiche analitiche e nuova strumentazione per la diagnosi e il monitoraggio del patrimonio dei beni culturali e strumentazioni integrate per l'individuazione e il monitoraggio di siti archeologici sommersi), LabGIS (https://www.di.unisa.it/dipartimento/strutture?id=135), Progetti di ricerca di riferimento (benchmark), prodotti/servizi realizzati: Università degli Studi di Padova (https://www.beniculturali.unipd.it/www/ricerca/linee-di-ricerca/progetto-irahl-innovative-research-on-alpe-adria-historical-landscapes/), Università degli Studi di Padova, Università di IUAV Venezia (http://www.visualizingvenice.org/visu/).</p>
Imprese	SoGEArch S.r.l.s. (http://www.sogearch.it/), Prodoc S.R.L (http://www.prodoc.it/biodiagnostica-per-i-beni-culturali/), RDLab 137), Carto, Esri, Arc gis, Mapbox, Google.
Altri portatori di	<i>Istituzioni pubbliche:</i> Nel caso specifico, gli attori pubblici principalmente coinvolti sono naturalmente le strutture che detengono il patrimonio, incluso quello non

interesse	<p>ancora identificato parte della nostra memoria storica, sul quale è bene esercitare un'azione continua di ricerca ed esplorazione.</p> <p><i>Altri portatori di interesse:</i> Si registra la presenza di erogatori tecnologici nel campo della sensoristica sia remota che near-field, ambiti di grande valenza e in grande crescita per effetto le enormi trasformazioni tecnologiche avvenute negli ultimi anni, i.e. miniaturizzazione dei sensori e degli elementi di controllo elettronico, nuovi materiali in grado di ampliare la gamma sensoristica, integrazione avanzata con i sistemi ricostruttivi e di detection. Tutti i grandi player coinvolti nella sensorizzazione e nell'analisi dei dati potrebbero essere interessanti nelle dinamiche di ricerca, i.e. STMicroelectronics, Smart Materials, etc. Lo stesso vale per i fornitori più significativi di sistemi di analisi e modellazione del sensore e del sistema di controllo, i.e. Matlab, National Instruments, etc. In questi ambiti è necessario creare le premesse per una maggiore cooperazione pubblico-privato. In questo modo si possono creare e promuovere delle misure di sostegno innovative attraverso la sinergia tra comunità, università, enti pubblici del settore e aziende. L'aggregazione a livello nazionale può essere di sostegno per ulteriori progetti, che vedono i diversi operatori cooperare per la produzione dei servizi avanzati nel settore dei Beni Culturali.</p>
RISULTATI ATTESI DALLA SOTTO-TRAIETTORIA	
<p>L'applicazione delle nuove soluzioni tecnologiche consentirà di eseguire una più efficace individuazione e documentazione del patrimonio culturale in modo da favorirne la valorizzazione, la conservazione e la mappatura del rischio. Sviluppo di un programma sistematico di rilevazione del cultural landscape, che consenta l'accumulazione ordinata e la classificazione di dati rilevati sul patrimonio culturale nelle sue diverse forme.</p>	

2.6 Congruenze e sinergie con Horizon Europe, PNR, PNRR e progetti di ricerca rilevanti

CONGRUENZE E SINERGIE CON HORIZON EUROPE, PNR, PNRR
<p>Il programma Digital Europe (DIGITAL) dell'UE mira a diffondere la tecnologia digitale tra imprese, cittadini e amministrazioni pubbliche, offrendo finanziamenti strategici in cinque aree chiave. Integrando altri programmi UE, come Horizon Europe, Connecting Europe Facility, Recovery and Resilience Facility e fondi strutturali, il programma affronta sfide digitali in modo collaborativo. Il programma dedica alcune call specifiche alla creazione di uno spazio comune europeo dei dati per il patrimonio culturale, allineandosi con la strategia Europea 2020-2025.</p> <p>Nell'ambito del PNRR, la traiettoria si allinea con la Componente 3 Missione 1 "Turismo e Cultura", con particolare riferimento alle misure M1C3.1 "Patrimonio culturale per la prossima generazione", M1C3.2 "Rigenerazione dei piccoli siti culturali, patrimonio culturale, religioso e rurale" e M1C3.3 "Industria culturale e creativa 4.0".</p> <p>Le attività della traiettoria, inoltre, svilupperanno soluzioni in linea con gli obiettivi fissati nel PNRR relativamente al settore della cultura. Il riferimento è alla Componente 3 Missione 1 "Turismo e Cultura" e, più in particolare, alle misure M1C3.1 "Patrimonio culturale per la prossima generazione", M1C3.2 "Rigenerazione dei piccoli siti culturali, patrimonio culturale, religioso e rurale" e M1C3.3 "Industria culturale e creativa 4.0".</p> <p>I collegamenti con tavoli PNR diversi da quello relativo a "Culture and Cultural Heritage" sono con "Natural Resources, Environment and Disaster Risk Reduction", "Electronics, tele-communications and Digital Technologies", "Space High Performance Computing and Big Data".</p>
PROGETTI DI RICERCA

Tra i progetti di ricerca più recenti in ambito europeo è possibile menzionare:

- **DAFNEPlus**: il progetto si propone di sviluppare nuove organizzazioni o comunità autonome distribuite basate su NFT e token digitali, implementando una governance decentralizzata. L'obiettivo è favorire l'innovazione e la competitività nelle industrie culturali e creative (<https://dafneplus.eu/>).
- **MEMENTOES**: L'obiettivo del progetto è sfruttare tecnologie e metodi di gamification per valorizzare la cultura e la storia dei gruppi emarginati, nell'ottica di promuovere temi di innovazione sociale (<https://mementoes.eu/>).
- **MuseIT**: Progetto a sostegno dell'accessibilità del patrimonio culturale attraverso il co-design e lo sfruttamento di tecnologie avanzate. Nell'ambito del progetto verrà sviluppata, inoltre, una piattaforma multisensoriale per un coinvolgimento immersivo a distanza con i beni culturali (<https://www.muse-it.eu/>).
- **IN SITU**: Il progetto ambisce a implementare strumenti, pratiche e metodologie innovative per sostenere lo sviluppo delle Industrie Culturali e Creative nelle zone rurali (<https://insituculture.eu/>).

A livello nazionale, è opportuno, peraltro, richiamare in questa sede quanto sottolineato nel paragrafo dedicato agli elementi tenuti in considerazione per l'aggiornamento della Traiettorie, relativamente all'importanza del Partenariato Esteso "CHANGES" e dei progetti di ricerca condotti dagli enti e dalle aziende coinvolte.

3. Roadmapping

La presente traiettoria si propone di delineare un quadro esaustivo riguardante la gestione, analisi e fruizione del patrimonio culturale nazionale, con un particolare accento sulle tecnologie coinvolte in questa ampia area di ricerca. Particolare attenzione merita la catalogazione e digitalizzazione di materiale librario, documentale e opere artistiche, utilizzando tecnologie che facilitano l'accesso ai dati, la visualizzazione rapida e la comprensione dei contesti attraverso l'impiego di database relazionali. Parallelamente, si sottolinea l'importanza della salvaguardia in situazioni di emergenza.

Un'altra area chiave della ricerca riguarda le tecnologie di indagine non invasiva, tra cui remote sensing e near surface remote sensing, con un interesse crescente nell'utilizzo dei droni per identificare siti archeologici. L'integrazione di tecnologie sensoriali è un aspetto cruciale in questo settore in rapida espansione, che si prevede possa diventare una leva fondamentale per lo sviluppo futuro. Inoltre, si osserva una stabilità nelle tecnologie strumentali esistenti per la documentazione, ma con uno spostamento verso l'integrazione di informazioni qualitative e quantitative, l'automazione del processing tramite Intelligenza Artificiale e la gestione di dati in ambienti 3D come BIM e 3D GIS.

Nell'ambito delle sotto-traiettorie, si nota come la ricerca si estende alla creazione di standard di metadati aperti per favorire l'interoperabilità delle risorse digitali e al consolidamento di una piattaforma di base per dati culturali. Si enfatizza l'applicazione dei FAIR Principles ai data humanities e ai metadati della ricerca umanistica, introducendo nuovi criteri come leggibilità, rilevanza, affidabilità e resilienza. In parallelo, si mira allo sviluppo di software avanzati per scanner professionali, con tecnologie per il riconoscimento del testo e l'estrazione automatica delle informazioni da risorse digitali culturali.

La presente traiettoria affronta anche aspetti specifici come l'annotazione di dati visivi, standard per l'interscambio di dati tra sistemi diversi e lo sviluppo di strumenti per il riconoscimento digitale intelligente basato su pattern matching. Un obiettivo ambizioso è l'Atlante Digitale Interattivo delle identità culturali immateriali in Italia, che abbraccia aspetti linguistici, enogastronomici, demotnoantropologici, e altri, contribuendo a creare un quadro completo e coerente per la ricerca e lo sviluppo nel campo delle risorse digitali culturali. In definitiva, si prevede un notevole progresso in questo settore attraverso il potenziamento delle attività tramite finanziamenti e collaborazioni su

progetti di ricerca regionali, nazionali ed europei, nonché partnership pubblico-private e accordi di ricerca tra fornitori tecnologici e depositari di archivi.