

MIGRAZIONI E CONTAMINAZIONI TRA LE SCIENZE

METODI E LINGUAGGI INTERDISCIPLINARI

a cura di
Sara Laureti
Cristina Marras
Davide Peddis

Plurilinguismo e Migrazioni

La collana promuove e divulga studi e progetti di ricerca sui fenomeni di plurilinguismo connessi alle migrazioni (anche di tipo culturale), senza preclusioni temporali e storico-geografiche e tenendo presenti più prospettive disciplinari.

Strutturata in volumi a carattere tematico in formato digitale e *open access*, la collana intende inoltre sviluppare intersezioni tra differenti ambiti di ricerca nazionali e internazionali, con l'obiettivo di estendere conoscenze scientifiche ed elementi di innovazione nelle metodologie di indagine.

The series promotes and disseminates studies and research projects from different disciplinary perspectives and without temporal and historical-geographical restrictions. The subject of these studies is the phenomena of plurilingualism connected to migration in the broad sense, including cultural aspects.

Organized in thematic volumes and available in open access, the series also intends to develop intersections between different areas of research, with the aim of extending scientific knowledge and elements of innovation in the methodologies of investigation.

Migrazioni e contaminazioni tra le scienze. Metodi e linguaggi interdisciplinari

Il quarto volume della collana *Plurilinguismo e Migrazioni* presenta alcuni esempi di dialogo e contaminazione tra scienze umane e "scienze dure" (ora dette anche STEM). L'obiettivo principale è di verificare se, attraverso un uso attento del linguaggio e un confronto con i nuovi media e altre forme di rappresentazione e comunicazione della scienza, sia possibile costruire modelli (concettuali) di lavoro trans e inter-disciplinari. L'intento è di aprire un confronto e attivare contesti sempre più capaci di convergere verso un approccio che può essere definito come un "nuovo umanesimo scientifico". Per questo motivo il volume raccoglie contributi di ricercatrici e ricercatori provenienti da ambiti e tradizioni scientifico-culturali diverse, e tematiche e metodologie a forte carattere esplorativo e applicativo.

The fourth volume in the series Plurilinguismo e Migrazioni presents some examples of dialogue and contamination between the humanities and the "hard sciences" (now also called STEM). The main aim is to test whether it is possible, through a careful use of language and a confrontation with new media and other forms of representation and communication of science, to build (conceptual) models of trans- and inter-disciplinary work. The intention is to open a confrontation and to activate contexts that are increasingly capable of converging towards an approach that can be defined as a "new scientific humanism". For this reason, the volume brings together contributions by researchers from different scientific-cultural fields and traditions, as well as themes and methodologies with a strong exploratory and applied character.

Plurilinguismo e Migrazioni

Migrazioni e contaminazioni tra le scienze.
Metodi e linguaggi interdisciplinari

a cura di
Sara Laureti, Cristina Marras e Davide Peddis

IV, 2023

PLURILINGUISMO e MIGRAZIONI

collana del
Consiglio Nazionale delle Ricerche

diretta da
Maria Eugenia Cadeddu e Cristina Marras

contatti
plurimi@cnr.it

comitato scientifico
Corrado Bonifazi, Monia Giovannetti,
Sabine Kösters Gensini, Flocel Sabaté Curull

comitato editoriale
Marco Arizza, Maria Eugenia Cadeddu,
Sara Di Marcello, Cristina Marras

segreteria di redazione
Tiziana Ciciotti

progetto grafico e impaginazione
Marco Arizza, Silvestro Caligiuri

logo e copertina
Silvestro Caligiuri

comunicazione
Tiziana Ciciotti, Sara Di Marcello

© CNR Edizioni 2023
P.le Aldo Moro, 7
00185 Roma
www.edizioni.cnr.it
bookshop@cnr.it

ISBN 978 88 8080 626 4
ISSN 2724-1033
DOI <https://doi.org/10.36173/PLURIMI-2023-4>



Una valutazione tra pari approva i contenuti dei volumi della collana

INDICE

SARA LAURETI, CRISTINA MARRAS, DAVIDE PEDDIS <i>Prefazione</i>	7
I. Metodi	
SARA LAURETI, CRISTINA MARRAS, DAVIDE PEDDIS <i>Dialogo tra le scienze. Linguaggi, metodi e modelli per un "nuovo umanesimo scientifico"</i>	13
PAOLA ATZENI, DARIO COLETTI <i>Contrappunti. Parole, immagini e ricerca nel dialogo tra un'antropologa e un fotografo</i>	27
SELENIA MARINELLI <i>Intrecciare mondi: l'architettura bio-informata come pratica indisciplinata per costruire habitat multispecie</i>	49
RITA BENCIVENGA, SARA LAURETI, CINZIA LEONE, SAWSSEN SLIMANI <i>Metodi di inclusione nella ricerca</i>	65
II. Linguaggi	
GIANFRANCO PACCHIONI <i>Scienza e letteratura. Linguaggi a confronto: le Straordinarie lezioni di Primo Levi</i>	85
EVA PIETRONI, NOEMI ORAZI, BRUNO FANINI <i>Codex4D viaggio interdisciplinare nel manoscritto antico</i>	103
PAOLA CIANDRINI, ELEONORA LATTANZI, ROBERTA MAGGI, MICHELA TARDELLA <i>Archivi e contaminazioni disciplinari: dai linguaggi ai modelli, dai metodi alle tecniche</i>	121
VITTORIO TULLI <i>Alfabeto fotografico</i>	137
III. Schede	
BIANCA BOTTINO <i>Progetto DEMETRA</i>	154

MARIA CRISTINA MARRAS <i>Storie sonore. Podcast per narrare la ricerca scientifica</i>	155
ROBERTO NATALINI, ANDREA PLAZZI <i>Comics & Science: i fumetti nella comunicazione della scienza</i>	156
Autrici, Autori e Abstract	157

EVA PIETRONI, NOEMI ORAZI, BRUNO FANINI

CODEX4D. VIAGGIO INTERDISCIPLINARE NEL MANOSCRITTO ANTICO

1. Il manoscritto antico, tra simbolo e materia. Il visibile e l'invisibile

Il codice antico è un oggetto complesso, dotato di un corpo vivo, composto da tanti materiali e frutto di tecniche artigianali e artistiche molto specializzate.

La scrittura era un'arte difficile da apprendere, confinata, nell'Alto Medioevo, nell'ambito ecclesiastico e giuridico, poi progressivamente acquisita da università, mercanti, artigiani e artisti.

La preparazione dei materiali, la pergamena, la carta, gli inchiostri, i colori, l'oro e le tecniche esecutive, spesso giunte fino a noi attraverso manuali di ricette, così come l'assemblaggio del codice, richiedevano maestranze diversificate che costituivano un ecosistema produttivo, economico e culturale d'élite in costante evoluzione, anche condizionato dalla reperibilità sul mercato delle materie prime in quantità sufficiente alla richiesta.

La decorazione del codice, dai segni grafici di supporto alla lettura, agli ornamenti e alle raffigurazioni miniate, realizzate con materiali preziosi fino a includere le dorature, incidevano sul costo e conferivano prestigio al manoscritto e ai suoi possessori. Il manoscritto contiene quindi un patrimonio di diversi saperi, di conoscenze storiche e tracce della vicenda conservativa non sempre accessibili attraverso la semplice osservazione visiva. Tali elementi nascosti possono ad esempio essere costituiti da frammenti di testo sepolti sotto la legatura, riutilizzati per la creazione o il rinforzo della stessa, o dagli strati preparatori delle miniature e delle dorature, da pentimenti e rifacimenti, o da occultamenti e censure dovuti a motivi ideologici.

Attraverso l'indagine dei materiali e dei loro strati profondi, non visibili a occhio nudo, si restituisce un'esperienza autentica e profonda della natura dell'opera, un'esperienza che privilegia la percezione sensoriale accanto a quella speculativa, la razionalità e l'emozione. Queste storie sono impresse e nascoste nella materia del codice e sono parte del suo valore come testimonianza della storia delle idee, della cultura e della società.

Ampliare l'accessibilità al patrimonio librario, favorendone la fruizione, è uno degli obiettivi perseguiti dalle istituzioni culturali in tempi recenti, attra-

verso l'introduzione di cataloghi online (MANUS,¹ OPAC²) e di piattaforme digitali nelle biblioteche, concepite per 1) facilitare la ricerca di libri; 2) consentire l'accesso ai contenuti nella loro versione digitale; 3) aiutare gli utenti a interagire con i contenuti del libro attraverso evidenziazioni o annotazioni.

Tuttavia, tali cataloghi e archivi digitali forniscono informazioni quasi esclusivamente di tipo bidimensionale, relative ai contenuti dei testi e alle decorazioni, con la possibilità, in alcuni casi, di creare delle annotazioni, ovvero dei brevi appunti riferiti ad elementi specifici di contenuto. Non offrono rappresentazioni grafiche che evidenzino la struttura tridimensionale del codice o le stratigrafie sub-superficiali, né elementi utili a conoscere il metodo di fabbricazione, lo stato di conservazione e i restauri intervenuti nel corso del tempo, il valore come testimonianza materiale oltre che come contenuto.

Anche all'interno dei musei la comunicazione dei beni librari è in genere molto difficile. Il codice antico è osservato come oggetto ma non realmente compreso per il suo valore materico e simbolico. Non può essere sfogliato e, inoltre, è scritto a mano con una grafia difficile da decifrare e in una lingua che pochi oggi possono comprendere. L'illuminazione è tenue per tutelare i materiali estremamente deperibili. Il libro dunque, più di altri oggetti d'arte o di archeologia, soffre di gravi problemi di leggibilità e accessibilità e viene trascurato da gran parte dei visitatori museali. Eppure esso è il simbolo consolidato della cultura, un modo per addentrarci nel linguaggio, in noi stessi, e una potenzialmente inesauribile fonte di narrazione.

1.1 Il progetto Codex 4D: gli obiettivi, dalla conoscenza alla valorizzazione

Il progetto Codex 4D (2021-2023), realizzato dall'Istituto di Scienze per il Patrimonio Culturale (ISPC) del CNR e dall'Università di Roma Tor Vergata in collaborazione con le Biblioteche Angelica e Casanatense, grazie ad un finanziamento del POR FESR Lazio 2014-2020 (avviso pubblico Gruppi di Ricerca 2020), affronta il tema dei manoscritti antichi e propone un approccio metodologico innovativo alla costruzione di ecosistemi culturali e rappresentazioni virtuali in grado di integrare livelli informativi di varia natura: non solo i contenuti testuali e iconografici, come avviene di solito, ma anche la forma, la struttura, la stratigrafia e gli elementi nascosti sotto gli strati superficiali, la caratterizzazione dei materiali e lo stato di conservazione.

I manoscritti sono stati digitalizzati in 4D attraverso tecniche fotogrammetriche di *Structure from Motion* (sfM) (REMONDINO, EL HAKIM 2006), scegliendo alcune configurazioni o carte particolarmente significative per contenuti o

¹ MANUS Online, Manuscripts in Italian Libraries: <https://manus.iccu.sbn.it/en-US/>

² OPAC SBN Catalogo del Servizio Bibliotecario Nazionale: <https://opac.sbn.it/en-US/>

per caratteristiche materiche. All'acquisizione digitale nello spettro della luce visibile (RGB), effettuata con fotocamera digitale standard *full frame*, viene associata l'acquisizione stratigrafica attraverso l'impiego della riflettografia e della termografia con luce impulsata che permettono di leggere il manufatto nel medio infrarosso, a progressivi livelli di profondità, fino potenzialmente ad arrivare al supporto (MERCURI *et alii* 2018). I riflettogrammi e i termogrammi vengono acquisiti in modo coerente rispetto al set RGB ed elaborati attraverso tecniche di sfm. I due dataset, RGB e IR, possono pertanto essere allineati al fine di ottenere un modello virtuale esplorabile in 4 dimensioni (fig. 1), in cui vengono contestualizzati tutti i dati interpretativi relativi alla specifica configurazione. Sono state inoltre condotte dal MOLAB,³ il laboratorio mobile di E-RIHS coordinato dal CNR ISPC, ulteriori indagini di tipo fisico (XRF, spettroscopia RAMAN, fluorescenza UV, indagini iperspettrali per l'identificazione dei pigmenti) (fig. 2), e dall'Università di Tor Vergata analisi di tipo chimico (cromatografia liquida ad alte prestazioni HPLC e spettroscopia FTIR) e microbiologico (sequenziamento sanger e next generation sequencing) per lo studio del degrado dei materiali o dei microrganismi che hanno lasciato tracce di DNA sul manoscritto.



Figura 1. Sinistra: modello 3D del Libro d'Ore, ms. 459, mappato con le immagini termografiche nel medio infrarosso; destra: modello 4D del De Balneis Puteolanis, ms. 1479, mappato con texture acquisite nel visibile (RGB) e con immagini termografiche nel medio infrarosso perfettamente allineate ed esplorabili stratigraficamente. I due manoscritti sono conservati presso la biblioteca Angelica di Roma

A partire da questo studio interdisciplinare e dal medesimo dataset scientifico sono state sviluppate applicazioni digitali che si differenziano per (a) tipologia di utenza, (b) contesto d'uso, (c) tipo di esperienza e adottano pertanto stili comunicativi diversi:

³ Cfr. <https://www.e-rihs.it/laboratori-mobili/>

1. un sito web multimediale (<https://codex4d.it/>) in cui viene raccontato il progetto Codex4D, le metodologie e le tecnologie impiegate; qui possono essere consultati i manoscritti investigati e i risultati della ricerca;
2. un ambiente di realtà virtuale online (Web App 3D), dedicato alla visualizzazione scientifica del manoscritto, l'esplorazione analitica del modello virtuale e dei suoi livelli informativi;
3. una vetrina olografica concepita come installazione di mixed reality per il pubblico di musei e biblioteche, in cui i dati della ricerca sono tradotti in uno stile narrativo drammaturgico ed emozionante.

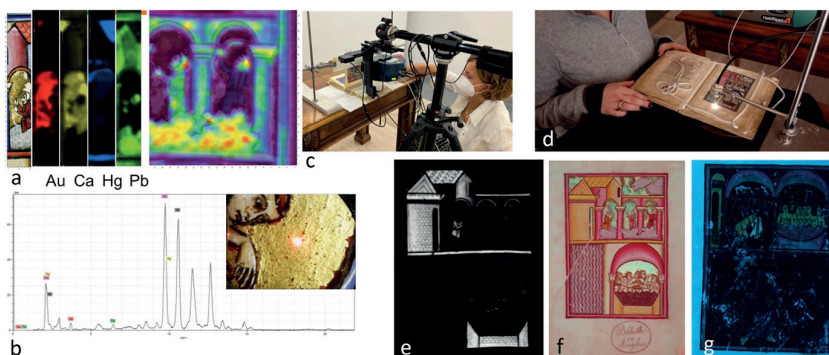


Figura 2. Indagini di tipo fisico (XRF, indagini iperspettrali e fluorescenza UV per l'identificazione dei pigmenti, a cura del MOLAB CNR ISPC

1.2 Il valore dell'integrazione di discipline e linguaggi

La comunità di studiosi dei codici antichi, specie i miniati, è particolarmente numerosa ed eterogenea. Sul versante delle scienze umane da tempo è considerato indispensabile ed è adottato un approccio interdisciplinare (OROFINO 2016), (MANIACI, OROFINO 2010); il dialogo con le comunità scientifiche che conducono indagini diagnostiche sui manufatti è meno scontato e consolidato, anche se in costante crescita (RICCIARDI 2019), (PANAYOTOVA 2021), a parte alcuni casi virtuosi come il progetto MINIARE⁴ del Fitzwilliam Museum (Cambridge) e le iniziative connesse, che ha il merito di aver creato un ponte tra gli aspetti storico artistici e quelli della diagnostica. Nuovi formati e standard aperti si stanno affermando nelle principali biblioteche del mondo (PASINI 2014) per la digitalizzazione e la condivisione dei dati, come ad esempio il FITS (*Flexible Image*

⁴ Miniare project by Fitzwilliam Museum: <https://fitzmuseum.cam.ac.uk/research/projects/miniare/>; Illuminated Manuscripts in the making: <https://www.fitzmuseum.cam.ac.uk/illuminated/>

Transport System), la piattaforma web open source MIRADOR⁵ per visualizzare, comparare, annotare immagini, il *framework* IIIF. Queste realtà dimostrano la sensibilità crescente verso i principi dell'interoperabilità e dell'accessibilità ai dati della ricerca e lo sviluppo di strumenti di visualizzazione, caratterizzazione semantica e consultazione, anche se lo studio del manoscritto è ancora quasi sempre limitato a rappresentazioni 2D.

Il progetto Codex4D pone l'interdisciplinarietà e la multidimensionalità del modello digitale al centro dei suoi obiettivi metodologici. Ha permesso di sperimentare nuove modalità di co-design e co-creazione che hanno coinvolto tutte le professionalità del progetto: storici dell'arte e della miniatura, codicologi e paleografi, fisici, biologi, chimici, scienziati della conservazione, archeologi, grafici e modellatori, matematici, informatici, sceneggiatori, esperti di realtà virtuale, di media audiovisivi e di storytelling. Un design, dunque, che non riguarda solo l'architettura delle informazioni, i layout, le interfacce, ma la modalità di lavorare insieme, per rendere ognuno parte attiva e integrata del progetto.

1.3 L'architettura dell'informazione in Codex4D

All'inizio del progetto sono stati definiti i potenziali utenti e i loro bisogni attraverso una serie di interviste, rivolte sia ai colleghi partecipanti al gruppo di lavoro, sia a persone esterne. Gli stimoli ricevuti sono stati utili a selezionare e strutturare i contenuti in categorie e sottocategorie. Questa l'architettura dell'informazione codificata:

- Categoria Iconografia e Iconologia.
Sottocategorie: Descrizione, Personaggi e Simboli, Datazione e Attribuzione, Messaggio Ideologico, Stile, Fonti e Tradizioni, Confronti Visivi, Ripensamenti, Elementi Ornamentali, Modifiche Successive.
- Categoria Materiali e Tecniche Esecutive.
Sottocategorie: Particolarità dei Materiali, Particolarità delle Tecniche Esecutive.
- Categoria Struttura.
Sottocategorie: Dimensione, Legatura, Fascicolazione, Impaginazione, Elementi di Riuso, Particolarità di Struttura.
- Categoria Conservazione e Restauro.
Sottocategorie: Restauri, Evidenze Biologiche, Evidenze Chimiche, Evidenze Fisiche, Furti e sottrazioni, Danni.
- Categoria Testo e Scrittura.
Sottocategorie: Particolarità di Scrittura, Testo da Lettera Miniata, Traduzione e Traduzione, Note e Appunti, Modifiche Successive.

⁵ Cfr. <https://projectmirador.org/>

- Categoria Censure.
Sottocategorie: Censure di Testo, Censure di Immagine.
- Categoria Annotazioni Musicali.
Non è stata al momento articolata in specifiche sottocategorie, che verranno eventualmente aggiunte se necessario.

Tale linea editoriale rigorosa e ordinata è utile agli editori che incrementano la collezione dei manoscritti digitali con nuovi modelli o nuove conoscenze che si traducono in annotazioni da mappare sui diversi livelli della rappresentazione virtuale, ma anche agli utenti finali che possono scegliere facilmente quanto di loro interesse, filtrando a piacimento l'informazione connessa al modello 4D.

1.4 I casi di studio

Ai fini di valorizzare al meglio le potenzialità del progetto Codex4D, i codici sono stati selezionati sulla base di alcuni requisiti fondamentali:

- a. dimensioni: possono variare, dipendono dallo spazio di acquisizione e dalla disposizione e dalle distanze imposte dagli strumenti;
- b. buona resistenza della struttura del codice: possibilità di aprirlo senza il pericolo di danneggiarlo;
- c. presenza di una coperta rigida: il codice deve essere stabilmente posizionato durante le riprese fotografiche e termografiche senza che cambi la forma e l'assetto geometrico;
- d. attrattività: se lo scopo è divulgativo i contenuti devono possibilmente favorire uno storytelling coinvolgente per il pubblico;
- e. presenza di elementi di interesse: miniature e dorature, ripensamenti, testi inglobati nella legatura, elementi di riuso, interventi di censura; tracce di attacchi batterici o di degrado o, al contrario, prove di ottimo stato di salute.

Una prima sperimentazione pilota è stata condotta su un codice della Biblioteca Casanatense, il ms. 59, una miscellanea del xv secolo che misura mm 219x145, in pergamena di cui è stata acquisita la posa chiusa. La legatura e la coperta, costituita da vari materiali, cuoio, legno, metalli, ben si prestavano a eseguire un test di efficacia delle tecniche riflettografiche e termografiche.

Successivamente sono stati presi in considerazione altri tre codici, conservati presso la Biblioteca Angelica di Roma (fig. 3). Il primo è un Libro d'Ore, ms. 459, un compendio di testi devozionali ad uso dei laici, modellato sul *Breviario dei religiosi*, il cui nucleo è costituito dall'Ufficio della Vergine. Questo manoscritto latino, vergato in minuscola gotica francese, fu realizzato nella prima metà del xv secolo in ambito francese, su pergamena e misura mm 235x160. È riccamente illustrato da 15 miniature a piena pagina, con dorature, che se-

gnano i passaggi più importanti del testo offrendo spunto alla celebrazione dei suoi committenti. I libri d'ore cominciarono a diffondersi dalla metà del XIII secolo ed ebbero una straordinaria diffusione nei secoli XIV e XV, soprattutto in Francia e nei Paesi Bassi. Il loro successo è stato messo in relazione al passaggio, nel Tardo Medioevo, dalla preghiera collettiva, orale e ad alta voce, a quella personale e silenziosa. I libri d'ore erano anche considerati degli amuleti con funzione apotropaica, da portare con sé.

Un secondo codice è il *De Balneis Puteolanis*, ms. 1474, un poema in latino composto da Pietro da Eboli, letterato e poeta presso la corte normanna e poi sveva, che celebra le proprietà terapeutiche dei Bagni di Pozzuoli (DE ANGELIS 2018). Il *De Balneis Puteolanis* godette di una notevole fortuna editoriale tra il XIII e il XV secolo, in Italia meridionale e, in particolare, in area campana. La datazione dell'opera di Pietro da Eboli è controversa. L'originale è andato perso ma, secondo l'opinione quasi unanime della critica, l'esemplare conservato alla Biblioteca Angelica sarebbe una copia composta tra il 1258-1266 e dedicato a Federico II. Misura mm 184x130, è realizzato in pergamena, ed è splendidamente miniato; ogni componimento che celebra le virtù dei bagni, è seguito da un'illustrazione a piena pagina. L'alterazione dell'originale sequenziale del manoscritto e la perdita di alcune carte determinano in alcuni casi un'incongruenza tra testo e immagine, compromettendo la complementarità tra i due registri.

Infine, il terzo codice è la *Divina Commedia* di Dante Alighieri, ms. 1102, la cui data stimata è il 1340 ca., dunque di poco successiva alla morte del poeta. Il manoscritto, che misura mm 345x240, è in pergamena. L'"Inferno" è arricchito da numerose miniature che presentano abrasioni e censure, ad esempio sulle nudità dei diavoli. In numerose carte sono visibili macchie generate da passati agenti biodeteriogeni (ILLUMINATI PORCARI 2017).

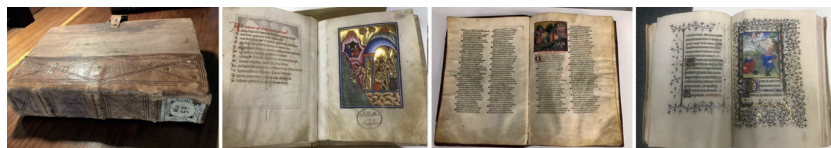


Figura 3. I codici scelti per la sperimentazione: ms. 59 miscellanea del XV sec. (Biblioteca Casanatense, Roma), ms. 1474 *De Balneis Puteolanis*, ms. 1102 *Divina Commedia*, ms. 459 Libro d'Ore (Biblioteca Angelica, Roma)

2. Processi di digitalizzazione e integrazione dei dati

La digitalizzazione dei codici in è stata condotta sfruttando la *Structure from motion* (sfm) (REMONDINO, EL HAKIM 2006), una tecnica diagnostica fotogrammetrica che consente di ottenere la ricostruzione 3D di un oggetto partendo

da una sequenza di immagini RGB registrate con una fotocamera standard in corrispondenza di diverse angolazioni, a intervalli di 15 gradi. Per integrare le immagini IR nel modello, il flusso di lavoro, adottato per le immagini RGB, è stato modificato con lo scopo di mappare sul modello 3D le informazioni riconducibili all'infrarosso termico. Le immagini IR sono state acquisite attraverso la termografia impulsata nel medio IR (range spettrale 3-5 micron), che prevede l'esposizione del codice a un breve impulso luminoso che produce un lieve riscaldamento. Successivamente, mentre il codice tende a raffreddarsi, una termocamera registra le radiazioni infrarosse emesse dalla sua superficie e le converte in immagini (termogrammi). La sequenza di termogrammi registrata durante il raffreddamento rivela in modo stratigrafico elementi della struttura del codice (MALDAGUE 2001).

Nel processo di generazione del modello 4D si è tenuto conto delle differenze tra i sistemi ottici della fotocamera e della termocamera. A tal proposito si è reso necessario un set di acquisizioni specifico (fig. 4), che garantisca la massima corrispondenza prospettica tra immagini RGB e IR. La sovrapposizione tra il set di dati RGB e IR è stata ottenuta anche attraverso la realizzazione di un pannello dotato di una griglia con riferimenti metrici e target a riconoscimento automatico, da posizionare intorno al codice durante l'acquisizione, così da avere lo stesso sistema di riferimento metrico per entrambe le tipologie di immagini (fig. 4).

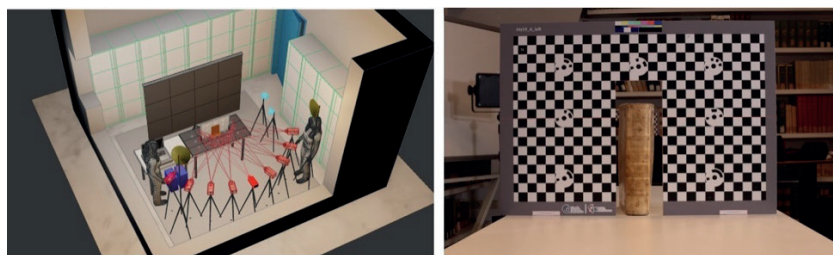


Figura 4. Set di acquisizione e pannello calibratore (da sinistra)

Acquisiti i dataset RGB e IR, si è proceduto alla ricostruzione del modello fotogrammetrico tramite l'orientamento delle camere e attraverso la creazione di una nuvola di punti con informazioni spaziali XYZ e RGB. È stato poi estratto un modello solido poligonale e ottimizzata la resa fotorealistica attraverso la creazione della texture fotografica (fig. 5). Infine, la risoluzione delle immagini IR è stata aumentata con Gigapixel AI per orientare le immagini IR nello spazio 3D e ottenere il modello 3D IR (fig. 5).



Figura 5. Modello 3D dopo la fase di postprocessing e modello 3D mappato con texture RGB e immagini IR (da sinistra)

Nella generazione del modello 3D IR, esplorabile stratigraficamente, uno degli obiettivi principali è stato quello di ottenere una ricostruzione digitale della geometria tridimensionale del codice direttamente dalle immagini infrarosse. Questo consente di evitare i problemi legati alla collimazione delle immagini IR sui modelli 3D digitali ottenuti dalle immagini RGB e di ovviare alla necessità di implementare GAN (*Generative Adversarial Network*) per ottenere l'allineamento delle camere. Durante il progetto Codex4D la creazione del modello 4D direttamente dalle immagini IR si è resa possibile introducendo una fase, preliminare a quella delle acquisizioni termografiche, nella quale si acquisiscono riflettograficamente (senza stimolazione termica) immagini del codice irraggiandolo con radiazione MWIR senza produrre alcun riscaldamento.

Quest'ultimo passaggio ha consentito di ottenere immagini riflettografiche MWIR che con un contrasto adeguato a utilizzarle direttamente nell'elaborazione dei modelli 3D (riflettografia 3D). Tali immagini riflettografiche sono state acquisite nella stessa configurazione e con lo stesso dispositivo (termocamera) impiegato per registrare le sequenze termografiche che consentono l'esplorazione virtuale stratigrafica.

Infine, il modello virtuale 4D ottenuto, sia direttamente dalle immagini IR che mediante l'allineamento delle immagini RGB e IR, consente di visualizzare in corrispondenza della superficie elementi subsuperficiali non rilevabili con l'osservazione visiva e di mostrare dinamicamente elementi interni non accessibili otticamente (MERCURI *et alii* 2023a e 2023b).

3. I prodotti della ricerca

3.1 Il sito web Codex4D

Il sito web di Codex4D⁶ (<https://codex4d.it>) offre un'ampia varietà di sezioni che consentono di intraprendere un percorso narrativo e multimediale, caratterizzato da una semplice interattività e rivolto ad un pubblico più ampio, interessato a conoscere il contesto del manoscritto antico.

⁶ Sito web Codex4D: <https://codex4d.it>

Dalla home page è possibile accedere alle sezioni principali del sito:

1. Progetto - La sezione illustra in chiave didattica le metodologie e tecnologie impiegate nel progetto con un focus particolare sulle modalità di integrazione. Offre inoltre la possibilità di conoscere il team di lavoro;
2. Collezione - Si introducono e contestualizzano i codici analizzati, con la possibilità di accedere direttamente alla scheda di approfondimento, quest'ultima strutturata per categorie, coerentemente con l'architettura dell'informazione del progetto. Per ogni codice è possibile, inoltre, accedere direttamente all'applicazione Web3D e avviare l'esplorazione 4D del modello;
3. Glossario Narrato - Uno strumento che consente, attraverso un linguaggio semplice, di acquisire le conoscenze di base per intraprendere il viaggio nel manoscritto. Si differenzia dal consueto elenco in ordine alfabetico di definizioni, ponendo al centro la narrazione di materiali e le tecniche necessari alla creazione di un codice (fig. 6);
4. Risultati - La sezione permette di accedere ai contenuti scientifici e divulgativi che costituiscono i risultati del progetto, come video dimostrativi, reportistica e pubblicazioni scientifiche.

GLOSSARIO NARRATO

Il glossario narrato fornisce le conoscenze di base per intraprendere il viaggio nel manoscritto, facilitando la comprensione di termini e concetti non sempre scontati. Non è un elenco di definizioni, al contrario segue una logica strutturata che pone al centro i materiali, le tecniche, i processi, le competenze necessari alla creazione di un codice. Utilizza un linguaggio semplice, senza la pretesa di essere esaustivo.

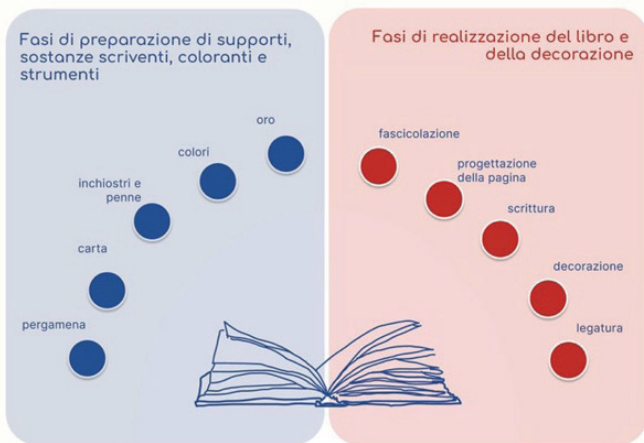


Figura 6. Il glossario narrato

3.2 La web app 3D

La presentazione e diffusione di contenuti 4D interattivi sul web attraverso comuni web browser ha subito notevoli progressi negli ultimi anni. Oggi è possibile creare applicazioni o strumenti 4D interattivi senza installazioni da parte dell'utente finale, e utilizzati su un'ampia gamma di dispositivi (smartphone, tablet, chioschi museali, fino ai dispositivi di realtà virtuale immersiva). Il framework open source "ATON" sviluppato da CNR ISPC (FANINI *et alii* 2021a) consente la creazione e la rapida implementazione di tali applicazioni attraverso diversi componenti riutilizzabili e personalizzabili.

Nell'ambito del progetto Codex4D, sono stati identificati requisiti specifici mirati alla creazione di uno strumento di ispezione 4D per collezioni di manoscritti⁷, sfruttando funzionalità e componenti già offerti dal framework:

- design modulare della applicazione Web3D per gestire molteplici manoscritti e relative configurazioni;
- esplorazione semplice e immediata del manoscritto su dispositivi mobile e desktop;
- interfaccia utente (UI) responsive;
- doppio profilo per l'applicazione Web3D: pubblico (accesso diretto tramite link) ed editor (attraverso autenticazione);
- annotazioni semantiche dirette sui manoscritti, (profilo editor);
- interrogazioni e filtri interattivi di annotazioni per categorie o layer, (profilo pubblico);
- strumenti avanzati per la scoperta interattiva di layer nascosti, misurazioni e illuminazione.

Il profilo editor offre due tipologie di annotazione (base e forma libera) per arricchire semanticamente il modello 3D direttamente attraverso la web app. A tali annotazioni l'editor può associare contenuti multimediali (direttamente ospitati su un cloud o uno spazio online associato alla web app).

Per permettere di scoprire interattivamente strati o informazioni non visibili (es. infrarosso), è stato sviluppato uno specifico strumento basato sull'approccio delle lenti interattive (TOMINSKI *et alii* 2014), nello specifico su un precedente modello già implementato per ATON (FANINI *et alii* 2021b). Lo strumento lente nella web app di Codex4D permette (principalmente al profilo pubblico) la scoperta radiale e localizzata di layer nascosti o non visibili: è possibile attraverso l'interfaccia cambiare tra diversi livelli di infrarosso o altre informazioni, per supportare visivamente la scoperta attraverso una metafora immediata (fig. 7).

⁷ Video dimostrativo della Web App <https://tube.rsi.cnr.it/w/epTjgnRmM18igrWa5t9Ja9>

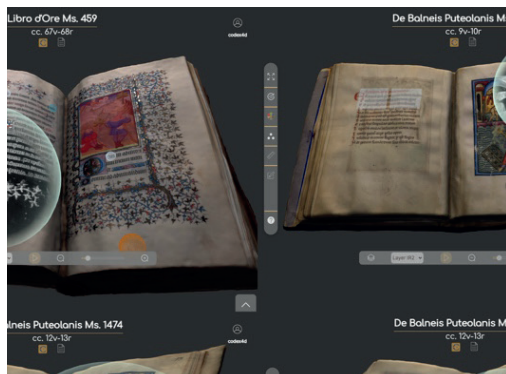


Figura 7. Strumento lente interattiva per scoperta di informazioni non visibili (infrarosso)

Lo strumento di illuminazione invece, permette agli utenti di ispezionare la complessità superficiale del manoscritto, con dettagli e decorazioni che reagiscono consistentemente alla luce interattiva (fig. 8). Questo avviene attraverso l'uso di specifici flussi di lavoro per la creazione di modelli 3D, combinando l'informazione del colore di base con altre proprietà fisiche (come ruvidità, metallicità, etc.).

Le annotazioni possono essere filtrate (profilo pubblico) attraverso funzioni specifiche della ui, offrendo agli utenti un modo rapido per isolare o specificare una o più categorie di interesse. Le annotazioni semantiche possono essere interrogate, mostrato il contenuto associato (se presente) da un professionista (profilo editor) (fig. 8).

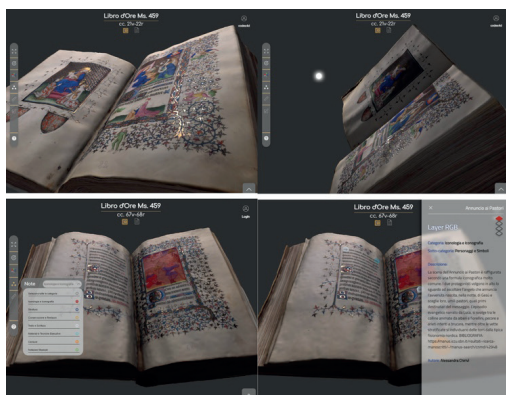


Figura 8. In alto: strumento illuminazione interattiva e risposta dei materiali. In basso: filtri annotazioni semantiche e interrogazione

3.3 La vetrina olografica

I modelli 4D e i contenuti emersi dalle indagini sui codici sono tradotti all'interno di una vetrina olografica per musei basata sulla tecnica del *Pepper's Ghost* (PEPPER 2012). Qui il codice, i suoi elementi significativi e gli strumenti necessari a indagarlo vengono interpretati e rappresentati in chiave narrativa e drammaturgica.

La vetrina olografica è concepita come un ambiente di *mixed-reality*; funziona come un piccolo teatro, dotato di luci, software di regia, possibilità di attivare eventi multimediali al proprio interno in modo interattivo. L'obiettivo è narrare, attraverso un'esperienza "aumentata", l'oggetto museale che generalmente è contenuto al suo interno (PIETRONI *et alii* 2019). Questo tipo di installazione è stata ideata e sperimentata da CNR ISPC nell'ambito della mostra itinerante del progetto europeo CEMEC, *Connecting Early Medieval European Collections*, nel 2015-2019. Tale sperimentazione ha prodotto delle linee guida dettagliate e delle buone pratiche utili per il suo impiego in ambito museale (PAGANO *et alii* 2021).

Nel caso di Codex4D non è stato possibile includere l'oggetto al suo interno per via della fragilità dei materiali di cui il manoscritto è composto. È stata tuttavia creata una semplice scenografia per evidenziare l'effetto di tridimensionalità proprio della tecnica olografica, mentre i manoscritti originali sono esposti nelle immediate vicinanze.

L'ologramma è un'illusione di realtà, quindi i contenuti virtuali sono soprattutto di tipo tridimensionale, e sembrano fluttuare in uno spazio vuoto. L'interfaccia di interazione creata per la vetrina di Codex4D permette all'utente di interagire direttamente usando le gestualità della mano, senza ricorrere alla mediazione di altri *device* o *controller*.⁸

Grazie a un sensore chiamato *Leap Motion* i movimenti della mano (destra o sinistra indifferentemente) vengono tracciati e tradotti in input nella scena virtuale. Muovendo la mano orizzontalmente o verticalmente nello spazio di interazione è così possibile esplorare il modello 3D nel livello visibile (RGB) e anche nei suoi livelli di profondità (tre livelli IR) e attivare contenuti di approfondimento contestualizzati su punti o aree specifiche nel modello, inerenti studi iconografici o iconologici, traduzioni del testo, indagini sulla natura materica dei pigmenti e sullo stato di conservazione (fig. 9).

⁸ Video dimostrativo della vetrina olografica di Codex presentata al Festival della Scienza di Genova nel 2022: <https://tube.rsi.cnr.it/w/vpLQti8aP3QzXPnuNSCdZP>



Figura 9. Vetrina olografica dedicata al manoscritto, l'interazione è gestita attraverso una pulsantiera e i movimenti della mano che vengono tracciati da un sensore di cattura del movimento

L'interazione preliminare all'esperienza esplorativa vera e propria avviene grazie a una pulsantiera posta frontalmente alla vetrina su cui l'utente può scegliere se attivare contenuti narrativi, scegliere specifiche carte con cui interagire, accedere all'*help* o ai *credits*. La vetrina introduce una forma di narrazione di tipo drammaturgico: un'attrice, ripresa in *green screen*, interpreta il ruolo di un personaggio narrante che vive nelle miniature (fig. 10). Racconta quel mondo dall'interno, è piccola come le figure miniate, svolge azioni, attiva strumenti per potenziare la lettura e la comprensione del codice. In questo modo il progetto Codex4D, non solo si prefigge di incrementare la conoscenza scientifica del manoscritto, ma anche di spingere i linguaggi della comunicazione scientifica su nuovi terreni di sperimentazione al fine di attrarre e incuriosire nuovi pubblici (fig. 11).



Figura 10. Vetrina olografica. Riprese in *green screen* del personaggio narrante e suo inserimento nell'animazione virtuale

La vetrina può accogliere fino ad un massimo di 4-5 persone alla volta per una fruizione collettiva, anche se una persona alla volta può controllare l'interazione, l'alternanza fra gli utenti attivi è tuttavia semplice e immediata. La vetrina olografica di Codex4D è stata già sperimentata e presentata al pubblico in occasione della mostra "I linguaggi delle Scienze del Patrimonio: da micro al macro", al Festival della Scienza di Genova (Villa Principe, ottobre 2022). In quell'occasione è stata condotta una campagna di valutazione dell'esperienza e dell'impatto della vetrina sul pubblico rappresentato principalmente da studenti di liceo e universitari, da famiglie ed esperti, visitatori singoli e in gruppo. I risultati, recentemente pubblicati, sono estremamente positivi e incoraggianti (SCHETTINO *et alii* 2023). I contenuti sono stati ulteriormente arricchiti in occasione della mostra, allestita alla Biblioteca Angelica di Roma, aperta dal 10 novembre 2023 all'8 febbraio 2024.

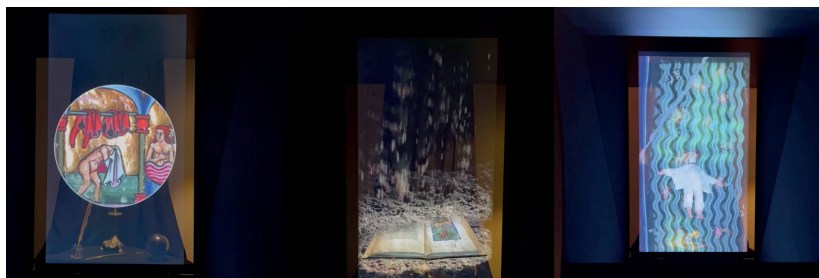


Figura 11. Vetrina olografica, la narrazione esalta la dimensione sensoriale inerente i temi del manoscritto

4. Conclusioni e prospettive della ricerca

Il valore innovativo del progetto Codex4D consiste nell'interconnettere, nello studio e nella rappresentazione del manoscritto, più ambiti disciplinari all'insegna di una metodologia globale finalizzata a incrementare la conoscenza e la valorizzazione del manoscritto antico, considerandone i valori tangibili e intangibili, relativi a 1) forma e struttura; 2) contenuto e significato; 3) materiali, tecniche di esecuzione e stato di conservazione. Il progetto promuove un approccio esperienziale con il manoscritto in 4D; negli ambienti virtuali sviluppati sono stati implementati strumenti che permettono di scegliere i modelli 3D di specifiche pose o carte, di misurarli, di esplorarne i livelli stratigrafici, di mappare semanticamente il modello, aprire o creare annotazioni relative alle varie informazioni mappate su punti specifici di interesse.

La realtà virtuale viene dunque utilizzata non solo come output definitivo di un lavoro di ricerca ma come vero e proprio strumento di indagine, come laboratorio condiviso per l'analisi, l'interpretazione e l'integrazione dei dati,

aggiornabili nel tempo, da parte della comunità scientifica. Nella vetrina olografica un personaggio narrante vive nelle miniature e gioca con i dati della ricerca. Si muove sulle carte, danza, usa strumenti di indagine, rivela le tecniche esecutive utilizzate dai miniatori, i materiali impiegati, e il loro *modus operandi*; racconta storie relative ai personaggi protagonisti.

Questa intersettorialità è stata resa possibile dall'incontro di diverse competenze che compongono il gruppo di lavoro, sia sul versante delle scienze umane sia su quello delle scienze della diagnostica e dell'informatica. Si tratta di un dialogo imprescindibile, corroborato da sessioni di co-design a cui hanno partecipato tutte le competenze coinvolte nel progetto, per convergere verso la definizione di un ecosistema informativo ricco e coerente che possa contribuire ad accrescere e diffondere la conoscenza dei miniatisti nella loro straordinaria complessità.⁹

Bibliografia

DE ANGELIS 2018

TEOFILO DE ANGELIS (a cura di), *Pietro da Eboli, De Eubocis aquis*, SISMEL-Edizioni del Galluzzo, Firenze, 2018, p. 177.

FANINI et alii 2021a

BRUNO FANINI, DANIELE FERDANI, EMANUEL DEMETRESCU, SIMONE BERTO, ENZO D'ANNIBALE, "ATON: An open-source framework for creating immersive, collaborative and liquid web-apps for cultural heritage", *Applied Sciences*, 11, 22, 2021, p. 11062.

<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/22/11062>

FANINI et alii 2021b

BRUNO FANINI, DANIELE FERDANI, EMANUEL DEMETRESCU, "Temporal lensing: an interactive and scalable technique for Web3D/WebXR applications in cultural heritage", *Heritage*, 4, 2, 2021, pp. 710-724.

<https://www.mdpi.com/2571-9408/4/2/40>

ILLUMINATI PORCARI 2017

CARLO ILLUMINATI PORCARI, *Ékphrasis del Codice Angelica 1102 della Commedia di Dante. Descrizione delle miniature della prima cantica, Inferno, La Divina Commedia. Manoscritto 1102 della Biblioteca Angelica di Roma: commentari all'edizione in facsimile*, Imago, Rimini, 2017, pp. 51-144.

MALDAGUE 2001

XAVIER MALDAGUE, *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*, John Wiley & Sons, New York, 2001.

MANIACI, OROFINO 2010

MARILENA MANIACI, GIULIA OROFINO, "L'officina delle Bibbie atlantiche: artigiani, scribi,

⁹ Desideriamo ringraziare i colleghi del CNR ISPC che hanno partecipato al progetto, in particolare Enzo d'Annibale co-designer della vetrina olografica, Daniele Ferdani che ha curato la realizzazione dei modelli 3d dei codici, Alessandra Chirivi per lo studio storico-artistico dei codici e i colleghi del MOLAB che hanno condotto le indagini diagnostiche; insieme ai colleghi dell'Università di Roma Tor Vergata, in particolare Fulvio Mercuri che ha coordinato le campagne di acquisizione termografica e Maddalena Signorini, paleografa e codicologa, che ha contribuito alla realizzazione del glossario narrato. Ringraziamo tutti gli altri colleghi delle due istituzioni che hanno partecipato, il cui lavoro non è stato qui direttamente citato; ringraziamo le due biblioteche Angelica e Casanatense di Roma per aver accolto un numeroso gruppo di lavoro e aver messo a nostra disposizione dei codici molto preziosi.

miniatori. Problemi ancora aperti. In F.F. D'Arcais, F. Crivello (a cura di), *Come nasce un manoscritto miniato. Scriptoria, tecniche, modelli e materiali*, Franco Cosimo Panini, Modena, 2010, pp. 197-212.

<http://opac.regesta-imperii.de/id/1597146>

MERCURI *et alii* 2018

FULVIO MERCURI, PAOLO BONORA, CRISTINA CICERO, PHILINE HELAS, FRANCESCA MANZARI, MARCO MARINELLI, STEFANO PAOLONI, ALESSANDRA PASQUALUCCI, FLAVIA PINZARI, MARTINA ROMANI, ALESSANDRA TERREI, ORIETTA VERDI, GIANLUCA VERONA-RINATI, UGO ZAMMIT, NOEMI ORAZI, "Metastructure of illuminations by infrared thermography", *Journal of Cultural Heritage*, 31, 2018, pp. 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.10.008>

MERCURI *et alii* 2023a

FULVIO MERCURI, EVA PIETRONI, ENZO D'ANNIBALE, STEFANO PAOLONI, NOEMI ORAZI, DANIELE FERDANI, UGO ZAMMIT, DIEGO RONCHI, "4D Thermo-reflectography of Cultural Heritage". In A. Bucciero, B. Fanini, H. Graf, S. Pescarin e S. Rizvic (a cura di), *Proceedings of EUROGRAPHICS Workshop on Graphics and Cultural Heritage*, 4-6 settembre 2023, Lecce, Eurographics - The European Association for Computer Graphics, Eindhoven, 2023.

MERCURI *et alii* 2023b

FULVIO MERCURI, STEFANO PAOLONI, UGO ZAMMIT, NOEMI ORAZI, EVA PIETRONI, ENZO D'ANNIBALE, DIEGO RONCHI, DANIELE FERDANI, *Metodo per ottenere una ricostruzione digitale tridimensionale nell'infrarosso di un oggetto esplorabile stratigraficamente*, brevetto n. 102023000004968 del 16.3.2023.

OROFINO 2016

GIULIA OROFINO, "L'abate desiderio committente di libri: manoscritti miniati a Monte Cassino (1058-1087)", in T. D'Urso, A. Perriccioli Saggese, G. Z. Zanichelli (a cura di), *Il libro miniato e il suo committente*, Padova, 2016, pp. 25-44.

<http://opac.regesta-imperii.de/id/2234466>

PAGANO *et alii* 2021

ALFONSINA PAGANO, EVA PIETRONI, DANIELE FERDANI, ENZO D'ANNIBALE, "User eXperience (ux) Evaluation for MR Cultural Applications: The CEMEC Holographic Showcases in European Museums, *Applied System Innovation ASI-MDPI, Advanced Virtual Reality Technologies and Their Applications*, 4, 2021, 92.

<https://www.mdpi.com/2571-5577/4/4/92/pdf>

PANAYOTOVA 2021

STELLA PANAYOTOVA, *The Art Science of Illuminated Manuscripts: A Handbook*, Harvey Miller, London, 2021.

PASINI 2014

CESARE PASINI, "La digitalizzazione dei manoscritti presso la biblioteca vaticana, in manuscript digitization and on line accessibility", *Digitalia*, ix, 2014, pp.10-16.

PEPPER 2012

JOHN HENRY PEPPER, *True History of the Ghost: And All about Metempsychosis*, Cambridge University Press, London, 2012.

PIETRONI *et alii* 2019

EVA PIETRONI, DANIELE FERDANI, MASSIMILIANO FORLANI, ALFONSINA PAGANO, CLAUDIO RUFFA, "Bringing the Illusion of Reality Inside Museums, A Methodological Proposal for an Advanced Museology Using Holographic Showcases", *Informatics*, 6, 1, 2019.

<https://doi.org/10.3390/informatics6010002>

PIETRONI *et alii* 2023

EVA PIETRONI, ALESSANDRA CHIRIVÌ, BRUNO FANINI, ALBERTO BUCCIERO, "An innovative approach to shape information architecture related to ancient manuscripts, through multi-layered virtual ecosystems. From Codex4D to DataSpace project",

In *Proceedings Extended Reality, International Conference XR Salento 2023*, Lecce, September 6-9, 2023, Lucio Tommaso De Paolis, Pasquale Arpaia, Marco Sacco (eds.), Springer-Nature, Switzerland, Book Series: Lecture Notes in Computer Science, part 2, pp. 247-267.

REMONDINO, EL-HAKIM 2006

FABIO REMONDINO, SABRY EL-HAKIM, "Image-based 3D modelling: a review", *The photogrammetric record*, 21, 115, 2006, pp. 269-291.

RICCIARDI 2019

PAOLA RICCIARDI, "Manuscripts in the making: Art and science", *Studies in Digital Heritage*, 7, 1, 2019, pp. 1-3.

<https://doi.org/10.1186/s40494-019-0302-x>

SCHETTINO *et alii* 2023

PATRIZIA SCHETTINO, EVA PIETRONI, ENZO D'ANNIBALE, "Re-Thinking Visitor Experience with Ancient Manuscripts via the Holographic Showcase: The Case of the Codex4D Project and Its First Public Results from a Mixed-Method Evaluation In Situ", *Heritage*, 6, 9, 2023, pp. 6035-6065.

TOMINSKI *et alii* 2014

CHRISTIAN TOMINSKI, STEFAN GLADISCH, ULRIKE KISTER, RAIMUND DACHSELT, HEIDRUN SCHUMANN, "A Survey on Interactive Lenses in Visualization", *EuroVis (STARs)*, 2014, pp. 1-20.

