

Codificare il codice. La materialità del libro e la sua digitalizzazione verso una codicologia digitale

Alberto Campagnolo

Université Catholique de Louvain (Louvain-la-Neuve, Belgium)
alberto.campagnolo@gmail.com

Abstract

La codicologia digitale è ancora una disciplina emergente, con molte questioni tecniche e metodologiche aperte. Non tutte le caratteristiche dei libri, infatti, possono essere acquisite digitalmente con metodi tradizionali, il che rende la digitalizzazione dei libri un processo complesso che richiede l'adozione di tecniche avanzate di digitalizzazione e imaging e processi di modellizzazione al fine di preservare l'eterogeneità e la granularità dei materiali originali e soddisfare le esigenze di ricerca di studiosi come bibliografi, codicologi, restauratori e scienziati dei beni culturali. La fisicità e la materialità dei libri forniscono informazioni tanto quanto il testo che contengono, e solo attraverso la comprensione del processo di rimediazione e degli obiettivi specifici che vogliamo raggiungere con i surrogati digitali possiamo isolare le qualità necessarie per quella determinata interpretazione, creando così Oggetti Culturali Digitali che consentono nuove pratiche di ricerca digitale. La produzione di surrogati digitali più completi che combinano caratteristiche non trasferibili con le informazioni tradizionali potrebbe consentire l'implementazione di metodologie di lettura algoritmica anche per gli oggetti libro, portando ad una codicologia digitale.

Parole chiave: digitalizzazione, libri, materialità, trasformazione digitale, codicologia

Digital codicology is still an emerging discipline with many open technical and methodological issues. In fact, not all the features of books can be digitally acquired with traditional methods, which makes book digitization a complex process that requires the adoption of advanced digitization and imaging techniques and modelling processes in order to preserve the heterogeneity and granularity of original materials and satisfy the research needs of scholars such as bibliographers, codicologists, conservators, and cultural heritage scientists. The physicality and materiality of books provide information as much as the text they contain, and only through understanding the remediation process and the specific objectives we want to achieve with digital surrogates, can we isolate the qualities necessary for a particular interpretation, thus creating Digital Cultural Objects that enable new digital research practices. The production of more comprehensive digital surrogates that combine untransferable features with traditional information could allow the implementation of algorithmic reading methodologies for book objects, leading to a digital codicology.

Keywords: digitization, books, materiality, digital transformation, codicology

Introduzione¹

Le tecnologie digitali hanno rivoluzionato il modo in cui le biblioteche, gli archivi e le discipline accademiche legate allo studio dei libri e dei documenti operano. Da una parte, la digitalizzazione e computazione dei testi e l'analisi testuale, alla base stessa dell'origine delle Digital Humanities ([42]), hanno portato alla formalizzazione delle filologia e lessicografia digitale e all'elaborazione delle tecniche di Natural Language Processing senza le quali strumenti quali chatbot (e.g. ChatGPT), assistenti vocali e sistemi di raccomandazione non sarebbero possibili ([31]), dall'altra, la disponibilità di basi dati di immagini di documenti storici ha permesso di sviluppare algoritmi sempre più efficienti per la lettura e trascrizione automatizzata di documenti (stampati e manoscritti) fino all'insorgenza e il successo della paleografia digitale ([16]; [32]). Bisogna però notare come la digitalizzazione non abbia avuto lo stesso impatto su tutte le discipline dedicate al libro, come ad esempio gli studi codicologici.

I libri sono il prodotto della convergenza e dell'incontro di varie tecnologie, e, come tali, sono oggetti culturali che preservano nel loro funzionamento interno e nei loro materiali informazioni tecnologiche essenziali per la loro interpretazione e per lo studio della produzione testuale che essi contengono. Diverse discipline riconoscono l'importanza del valore dei libri in quanto entità materiali. Tra queste, la codicologia focalizza l'attenzione sui manoscritti come oggetti e come fenomeni culturali, studiandone i processi di manifattura e produzione. Al contrario di altre discipline incentrate sul testo, la codicologia digitale è ancora una disciplina emergente e in fase di sviluppo, e molte questioni tecniche e metodologiche rimangono ancora aperte e irrisolte. Il motivo di questo ritardo rispetto alla paleografia digitale e discipline affini risiede nel fatto che lo studio degli aspetti materiali dei manufatti richiede come base dei processi di acquisizione dei dati che esulano dalle normali attività di digitalizzazione.

La digitalizzazione dei libri è generalmente intesa come l'acquisizione di dati analogici tramite tecniche fotografiche. Tuttavia, non tutte le caratteristiche dei libri possono essere acquisite digitalmente in maniera diretta. Ci riferiamo a queste qualità come “non trasferibili” perché conferiscono agli oggetti una rilevanza che non può essere facilmente, efficacemente—o per niente—trasferita nel digitale con le tradizionali tecnologie di riproduzione ([11], 32–33). Fatta eccezione per alcuni aspetti prettamente testuali come i richiami, o l'organizzazione del testo nella pagina, la codicologia si concentra per lo più sullo studio di queste caratteristiche non trasferibili e le rappresentazioni digitali tradizionali non possono perciò assistere la ricerca tanto quanto è accaduto per la letteratura, la linguistica, la filologia, la paleografia, e altri campi di indagine basati sul testo.

La codicologia adotta principi metodologici che iniziano con la descrizione dettagliata degli elementi di interesse, proseguono con la loro analisi sintetica per comprenderne l'evoluzione e la distribuzione geografica, e culminano nell'integrazione con dati testuali e contestuali [26], 104).

¹ Questo articolo nasce da una presentazione tenuta online il 20 settembre 2022 per il seminario permanente “Un Ponte tra i Due Mondi: le Discipline a Vocazione Storica e le DH” organizzato dall'Istituto di Linguistica Computazionale “Antonio Zampolli” del CNR e VeDPH, Università Ca' Foscari.

La fase iniziale implica l'identificazione e l'isolamento di specifiche caratteristiche materiali mediante un processo di descrizione meticoloso e preciso, essenziale per l'analisi e la sintesi nelle fasi successive. Una descrizione accurata dipende da protocolli ben definiti e da un vocabolario tecnico sufficientemente standardizzato, dettagliato, e granulare ([43]). Analogamente, un processo di digitalizzazione che intende servire la codicologia deve incorporare questi elementi materiali distinti, poiché solo così si può aspirare a una vera e propria codicologia digitale. Questo solleva la questione: come possiamo digitalizzare gli aspetti materiali dei libri in modo significativo, oltre al loro contenuto testuale o alle caratteristiche visibili? In questo articolo, esploreremo come la rimediazione – il processo di conversione o trasformazione da un medium all'altro ([27]) – possa non solo essere teoricamente fattibile e desiderabile, ma anche applicata praticamente, come dimostrato da alcuni esempi.

Rimediazione dei manoscritti e biblioteche digitali

Come abbiamo visto, le tecniche di digitalizzazione tradizionali non permettono la rimediazione di molti dati utili allo studio materiale di libri e manoscritti. Se però ridefiniamo la digitalizzazione come qualsiasi processo atto alla trasformazione dall'analogico al digitale al fine di registrare, elaborare e trasmettere informazioni, comprendendo attività diverse dalla tipica acquisizione fotografica, e includendo perciò tutte quelle attività volte alla modellizzazione e l'assegnazione di metadati, possiamo arrivare ad includere in maniera significativa caratteristiche materiali altrimenti perse. Oltre a facilitare ricerche altrimenti infattibili nel digitale, queste trasformazioni digitali ci aiutano anche a rivalutare il libro e a vederlo più chiaramente come una tecnologia e studiarlo come tale ([33], 46). A questo scopo, Cazes e Huculak ([15], 71–72) hanno opportunamente introdotto il concetto di "umanistica pre-digitale" per indicare la natura degli oggetti testuali in relazione alla loro digitalizzazione e all'uso dei loro surrogati digitali. Sebbene la loro indagine sia radicata nella bibliografia analitica, le loro riflessioni si applicano alla digitalizzazione dei manoscritti e degli oggetti in generale e la nozione di "umanistica pre-digitale" può arrivare a trasformare fundamentalmente l'essenza delle biblioteche digitali e le loro ambizioni, non solo la rappresentazione digitale di libri e manoscritti.

Riconsiderando il paradigma delle biblioteche digitali, tradizionalmente percepite come depositi di oggetti fissi e stabili, emerge la necessità di una visione più dinamica e interattiva. McCarty critica questa concezione limitante, definendola "un'idea guasta di biblioteca" ([36], 84). In risposta, Levy e Marshall ([34]) suggeriscono un approccio focalizzato sulle attività e i servizi che le biblioteche possono promuovere, proponendo lo sviluppo di biblioteche digitali capaci di offrire servizi più inclusivi e vari. Questa visione è stata progressivamente perseguita in diversi progetti ([7]; [1]), che riconoscono l'importanza di superare le limitazioni imposte da rappresentazioni digitali tradizionali. Particolarmente nel contesto dei manoscritti, la cui complessità pre-digitale e le specifiche esigenze di ricerca sollecitano un'attenzione particolare, il processo di rimediazione digitale diventa cruciale. Attraverso questo, miriamo a instaurare un modello di biblioteca digitale rinnovato, che non solo preservi l'eterogeneità e la granularità dei materiali originali, ma che rifletta anche le pratiche di ricerca contemporanee.

Valutando la rimediazione dei libri, Cazes e Huculak evidenziano come le esigenze della bibliografia analitica rimangano insoddisfatte con l'attuale pratica di digitalizzazione. Anche i codicologi, come sottolineato da McKitterick ([37], 206), si confrontano con questa

insufficienza, trovando i surrogati digitali tradizionali carenti di informazioni cruciali ([35], 60–63). Questa problematica si estende oltre i bibliografi: restauratori e scienziati dei beni culturali, i cui lavori dipendono dalla fisicità degli oggetti, percepiscono i surrogati digitali come limitati e, in alcuni casi, quasi inutili. Contrariamente alle aspettative dei tipici utenti, che vedono i libri principalmente come veicoli di informazione e sono generalmente soddisfatti dalla digitalizzazione standard, questi professionisti considerano i libri come complessi artefatti tecnologici, frutto di un sistema diversificato di tecniche, materiali, processi e azioni. La prevalente metafora digitale dei libri come semplici portatori di testo limita significativamente il potenziale della loro rimediazione, ignorando la ricchezza e la complessità che caratterizzano i materiali originali.

Consideriamo ad esempio una caratteristica fondamentale dei codici tipicamente trascurata nelle rappresentazioni digitali: la fascicolazione, l'unità di lavoro di base dei libri in formato di codice ([8], 16; [4], 50). Il codice, la forma di libro archetipica oggi, è essenzialmente formato da gruppi di fogli piegati a metà e cuciti lungo il dorso ([48], 1). Il numero di fogli in ogni fascicolo varia diacronicamente e diatopicamente e lo studio della fascicolazione è fondamentale per comprendere la genesi e la storia di questi oggetti ([3]). La descrizione della fascicolazione di un libro è denominata collazione e, tradizionalmente, oltre a descrizioni discorsive e diagrammi, questa viene codificata in rappresentazioni alfanumeriche altamente formalizzate, che prendono il nome di formule collazionali. Quando però il codice viene trasposto nel digitale, l'unità del foglio piegato in due è persa e i lati di ogni foglio (recto e verso) diventano invece le unità di base, presentate come sequenze di immagini. Generalmente non ci sono informazioni manifeste su quali pagine formavano nell'originale un'unità congiunta, creando quello a cui mi riferisco spesso come il fenomeno delle "pagine fluttuanti", poiché queste pagine incorporate non hanno più connessioni tra di loro.

Tenendo presente utenti con esigenze diverse dal classico lettore, come sostenuto da Levy and Marshall e suggerito da Cazes e Huculak, determina una visione rinnovata di ciò che le biblioteche digitali possono essere e ciò che implica la digitalizzazione dei loro materiali, e queste considerazioni possono porre rimedio al problema delle "pagine fluttuanti" e ridurre la limitatezza dei surrogati digitali.

Fisicità, materialità e informazione nei processi di rimediazione

La metafora digitale convenzionale del codice, quindi, manca di caratteristiche dell'oggetto predigitale che sono essenziali alla sua comprensione. Per apprezzare ciò che del predigitale è infatti conservato e la relazione con l'oggetto originale, dobbiamo considerare la differenza tra la fisicità e la materialità dei libri ([28], 91–92). La *fisicità* descrive una qualità permanente degli oggetti materiali, caratterizzata da un insieme infinito di attributi che costituiscono la loro realtà oggettiva. Diversamente, la *materialità* è una proprietà emergente, cioè risulta dall'attenzione di un osservatore che seleziona e considera significativi alcuni attributi specifici da questo vasto insieme. Questo processo di selezione, interpretazione e attribuzione di significato da parte dell'osservatore trasforma alcuni attributi fisici in elementi di materialità rilevante. Poiché la materialità emerge da tale interazione interpretativa, si può affermare che esistano diverse materialità quante sono le prospettive degli osservatori. Pertanto, nella digitalizzazione, possiamo aspirare a trasmettere le interpretazioni della materialità di un libro, ma la sua fisicità

intrinseca rimane unica e indissolubilmente legata all'oggetto originale, a cui si deve fare riferimento per qualsiasi analisi ulteriore.

La relazione tra fisicità e materialità è parallela a quella tra modelli e l'oggetto che rappresentano, il che, a sua volta, giustifica come la modellizzazione sia un fenomeno così significativo per la rimediazione e come i surrogati, i modelli e la digitalizzazione stessa possano essere strumenti così potenti nonostante la loro natura semplificata e ridotta ([36], 20–72). Le dicotomie fisicità/materialità e oggetto/modello sono strettamente legate al concetto di informazione che può esprimersi in termini di differenza, cioè di qualità che producono e consentono discernimento e significazione ([5], 272). Gli oggetti fisici sono quindi composti da un numero infinito di differenze e, nel processo di comunicazione e rimediazione, selezioniamo un numero limitato di caratteristiche che classifichiamo come utili alla significazione e che, nella rappresentazione, diventano ciò che chiamiamo informazione.

In questo senso, il predigitale racchiude in potenza tutte le differenze e si equipara alla fisicità dell'oggetto originale, e solo comprendendo a fondo il processo di rimediazione e gli obiettivi specifici che vogliamo per i surrogati digitali, possiamo isolare le qualità che sono necessarie per quella determinata interpretazione. In altre parole, come la proprietà emergente della materialità, ogni surrogato dipende dagli oggetti predigitali che rappresenta, dalla latitudine della sua transmedialità e dalle caratteristiche essenziali alle finalità previste: ogni surrogato definisce una modalità specifica di lettura di un oggetto le cui caratteristiche materiali sono trasposte come “impressioni di informazione” reificate nel digitale ([41], 120).

Oggetti Culturali Digitali: la sfida della digitalizzazione della materialità

La digitalizzazione è ormai una pratica standard di biblioteche e archivi; tuttavia, nella fretta di digitalizzare il maggior numero possibile di materiali, le istituzioni sono spinte ad applicare un modello uniforme, sacrificando molti dei vantaggi che le tecnologie digitali possono offrire e limitando l'utilità dei surrogati ai soli usi basati sul contenuto dei documenti digitalizzati. Al centro di questo modello c'è l'idea che i libri siano oggetti unidimensionali il cui contenuto informativo può essere completamente catturato da processi fotografici. Come evidenziato, i libri sono invece complessi manufatti le cui proprietà fisiche portano informazioni tanto quanto il testo che contengono. Stiamo però progressivamente assistendo all'applicazione di metodi avanzati di digitalizzazione che cercano di catturare una gamma più ampia di informazioni presenti negli oggetti originali, consentendo così nuove pratiche di ricerca digitale. Questi processi di digitalizzazione creano quelli che sono stati definiti come “Oggetti Culturali Digitali” (OCD) ([23], 190), una descrizione particolarmente pertinente che si allontana dalle specifiche tecniche e ritorna nel campo degli utenti che utilizzano e necessitano degli oggetti per il loro lavoro. Le attività coinvolte nella creazione di OCD richiedono una ponderata selezione dei materiali da digitalizzare all'interno di un quadro predigitale, seguita dalla creazione di una serie di rappresentazioni digitali catturate attraverso una vasta gamma di tecniche analitiche e metodologie di digitalizzazione. I surrogati sono quindi tipicamente accompagnati da metadati descrittivi e tecnici dettagliati e idealmente dovrebbero essere raccolti in una collezione digitale coerente, poliedrica e multimodale che tiene conto del fatto che diverse caratteristiche richiedono specifiche modalità di digitalizzazione.

L'analisi di oggetti culturali: tecniche e applicazioni

Come già sottolineato, ogni aspetto della materialità di un oggetto richiede attenzione specifica che dipende dalla finalità dell'indagine e gli usi previsti. Di conseguenza, ogni caratteristica richiede tattiche di rimediazione distinte e non esiste un solo approccio sempre valido. Ci concentreremo su alcune caratteristiche materiali, evidenziando come vari progetti e tecniche hanno affrontato problemi specifici e mostrando come l'integrazione delle conoscenze e delle competenze di diversi professionisti sia necessaria per informare le considerazioni pre-digitali e produrre OCD.

Mentre solo una quantità limitata di informazioni può essere acquisita attraverso le pratiche di digitalizzazione convenzionali, tecniche più avanzate possono catturare ulteriori caratteristiche. Un esempio è l'imaging spettrale,² una tecnica tramite la quale un oggetto viene fotografato in una serie di diverse bande spettrali, coprendo una gamma di lunghezze d'onda e consentendo così di ottenere informazioni più dettagliate, dato che ogni banda spettrale può fornire informazioni uniche sulla composizione e sulla struttura dell'oggetto. L'applicazione dell'imaging spettrale al libro è stata per lo più connessa al recupero e la lettura della *scriptio inferior* di manoscritti palinsesti o la lettura di porzioni di testo erase o altrimenti cancellate ([39]; [22]). Negli ultimi anni, l'avanzamento tecnologico e l'efficienza dei processi hanno reso la tecnica di imaging spettrale significativamente più economica, facilitando la sua integrazione come pratica standard nei programmi di digitalizzazione. Questo cambiamento è testimoniato dalla crescente disponibilità di attrezzature più accessibili e dall'adozione diffusa di questo metodo per l'analisi dettagliata dei materiali, come sottolineato da Craig-McFeely ([18]). Tale evoluzione ha permesso alle istituzioni di includere regolarmente l'imaging spettrale nei loro flussi di lavoro, migliorando la qualità e la quantità delle informazioni estratte dai documenti storici.³

Ci sono vari sistemi di imaging spettrale in commercio, ma tutti essenzialmente acquisiscono una serie di immagini a diverse lunghezze d'onda e ottengono come risultato un dataset costituito da una matrice tridimensionale (x, y, λ) di immagini registrate, e quindi perfettamente sovrapponibili (Figura 1). Materiali diversi reagiscono diversamente alle varie lunghezze d'onda e la loro risposta alla luce può essere utilizzata per caratterizzarli, di conseguenza, l'imaging spettrale offre molto più del recupero di informazioni testuali cancellate, poiché

² Nella letteratura questa tecnica viene solitamente chiamata "imaging multispettrale", "imaging iperspettrale"—o, più raramente, "imaging superspettrale" o anche "imaging ultraspettrale"—, ma non ci sono definizioni precise che distinguono i diversi usi. A volte la differenza viene indicata come il *numero di bande*: tra 3 e 10 si parlerebbe di *multispettrale*, e sopra le 10 bande di *iperspettrale* (ma altri mettono il limite a 25 bande o parlano di *superspettrale* tra le 10 e le 20 bande; mentre l'*ultraspettrale* dovrebbe essere oltre le 512 o le 2000 bande); altre volte si indica l'*ampiezza delle bande*: maggiore di 20nm per il *multispettrale*, e inferiore ai 20nm per l'*iperspettrale*, altre volte ancora si fa riferimento alla *contiguità delle bande*: se ci sono lunghezze d'onda non coperte tra una banda e l'altra si tratterebbe di *multispettrale*, mentre una serie di bande senza interruzioni tra loro indicherebbero l'*imaging iperspettrale*. Data l'arbitrarietà delle definizioni, preferiamo il termine neutro "imaging spettrale" ([24]; [45]).

³ Lo standard IIIF supporta anche immagini spettrali e consente la mappatura e la condivisione semplice di questi dati. ([50]).

permette, ad esempio, anche di caratterizzare e identificare inchiostri e pigmenti, o tracciare cambiamenti nel tempo ([24]).

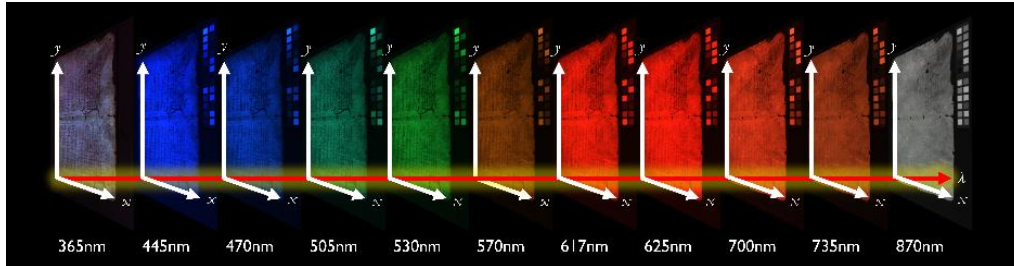


Figura 1. Sequenza di immagini acquisite a diverse lunghezze d'onda (dall'ultravioletto, attraverso le frequenze della luce visibile, all'infrarosso) di una membrana (102r-98v) del palinsesto di Archimede, il primo manoscritto a cui è stata applicata la tecnica dell'imaging spettrale ([39]).⁴ Si noti come le immagini sono tutte registrate e un pixel in una fotografia del dataset corrisponde esattamente alla stessa regione di spazio nei pixel corrispondenti nelle altre bande lungo la dimensione λ (lunghezza d'onda).

Una volta acquisiti, i dataset vengono elaborati per mappare e visualizzare le risposte spettrali attraverso, ad esempio, immagini a falsi colori o curve spettrali. Una tecnica di analisi frequentemente utilizzata è la PCA (Principal Component Analysis), un metodo statistico per ridurre la dimensione dei dati, ovvero per identificare i principali fattori che contribuiscono alla varianza dei dati stessi. In altre parole, la PCA cerca di identificare le relazioni più significative tra le variabili che compongono un determinato set di dati—ad esempio, i vari materiali con le loro diverse risposte spettrali—riducendo il numero di dimensioni in cui i dati sono rappresentati e quindi semplificando l'interpretazione dei dati stessi. Nelle visualizzazioni PCA, ogni immagine viene scomposta nella sua matrice di pixel e la firma spettrale di ogni pixel viene poi misurata analizzando la serie di immagini registrate che fanno parte del dataset (un'immagine per ogni banda spettrale) al fine di ottenere un insieme di categorie in cui firme spettrali simili sono raggruppate. I risultati vengono quindi presentati come un insieme di nuove immagini in cui la categoria assegnata sostituisce i valori dei pixel, mappando quindi la risposta spettrale delle diverse componenti materiali: materiali analoghi vengono visualizzati in modo simile; al contrario, materiali che possono apparire simili a occhio nudo vengono visivamente separati. Le immagini a falsi colori vengono prodotte combinando tre immagini PCA, assegnando ciascuna a un diverso canale di colore (rosso, verde, blu) (Figura 2). Un secondo tipo di visualizzazione invece comporta la generazione di curve spettrali caratteristiche di ogni materiale (Figura 3 e Figura 4). Le curve spettrali sono particolarmente utili perché la loro forma può essere utilizzata per confrontare materiali in maniera comprensibile sia a scienziati che umanisti, favorendo la comunicazione e la collaborazione tra diversi campi ([23], 191–95; [13], 405–14). Le curve spettrali consentono inoltre di eseguire agevolmente analisi diatopiche e diacroniche poiché i dati possono appartenere a pagine o collezioni diverse, o essere stati acquisiti in momenti diversi ([24], 172–74). Le mappature ricavate dall'imaging spettrale possono in seguito essere integrate da studi eseguiti con altre tecniche analitiche—ad esempio XRF, FTIR—per una più precisa caratterizzazione materiale.

⁴ L'intero dataset è disponibile online: <https://archimedespalimpsest.net/>.

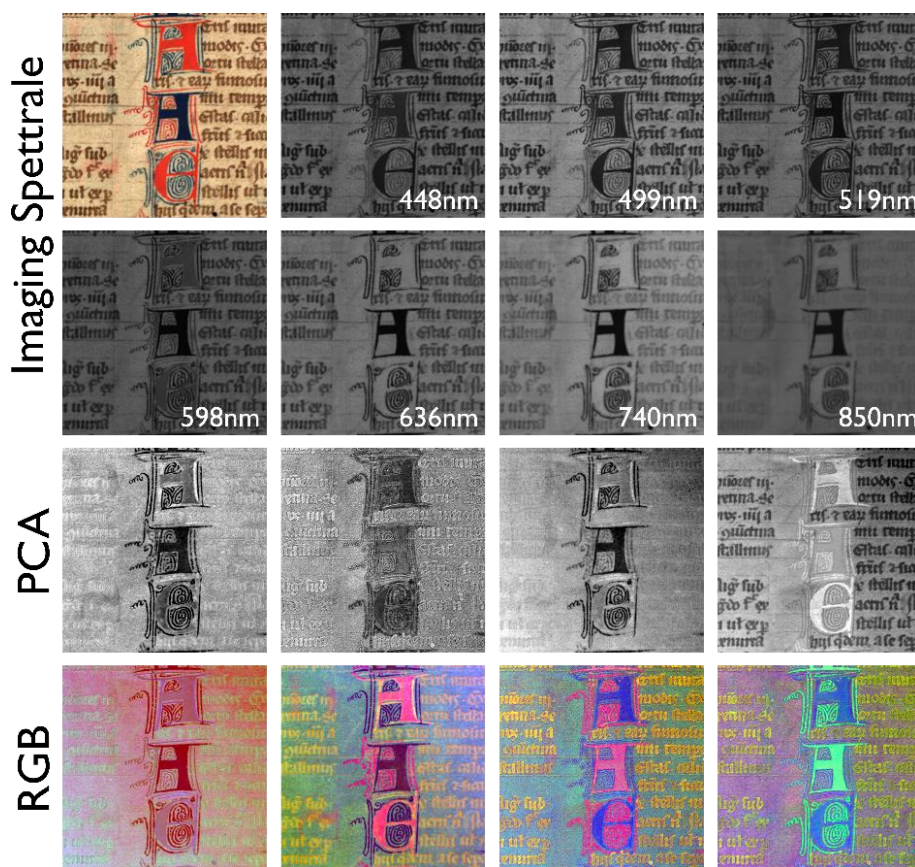


Figura 2. Imaging spettrale e trattamento dei dati di un dettaglio del foglio 2 recto di Oversize LJS 24 (Lawrence J. Schoenberg Manuscripts, University of Pennsylvania Libraries). Le prime due righe: immagine a colori seguita da una selezione di bande dalla sequenza di imaging spettrale; notare come i diversi materiali reagiscono in modo differente alle varie lunghezze d'onda (ad esempio, l'inchiostro ferrogallico scompare a 850 nm, luce infrarossa). In basso: una selezione di visualizzazioni PCA e immagini a falsi colori (RGB) che evidenziano varie componenti materiali.

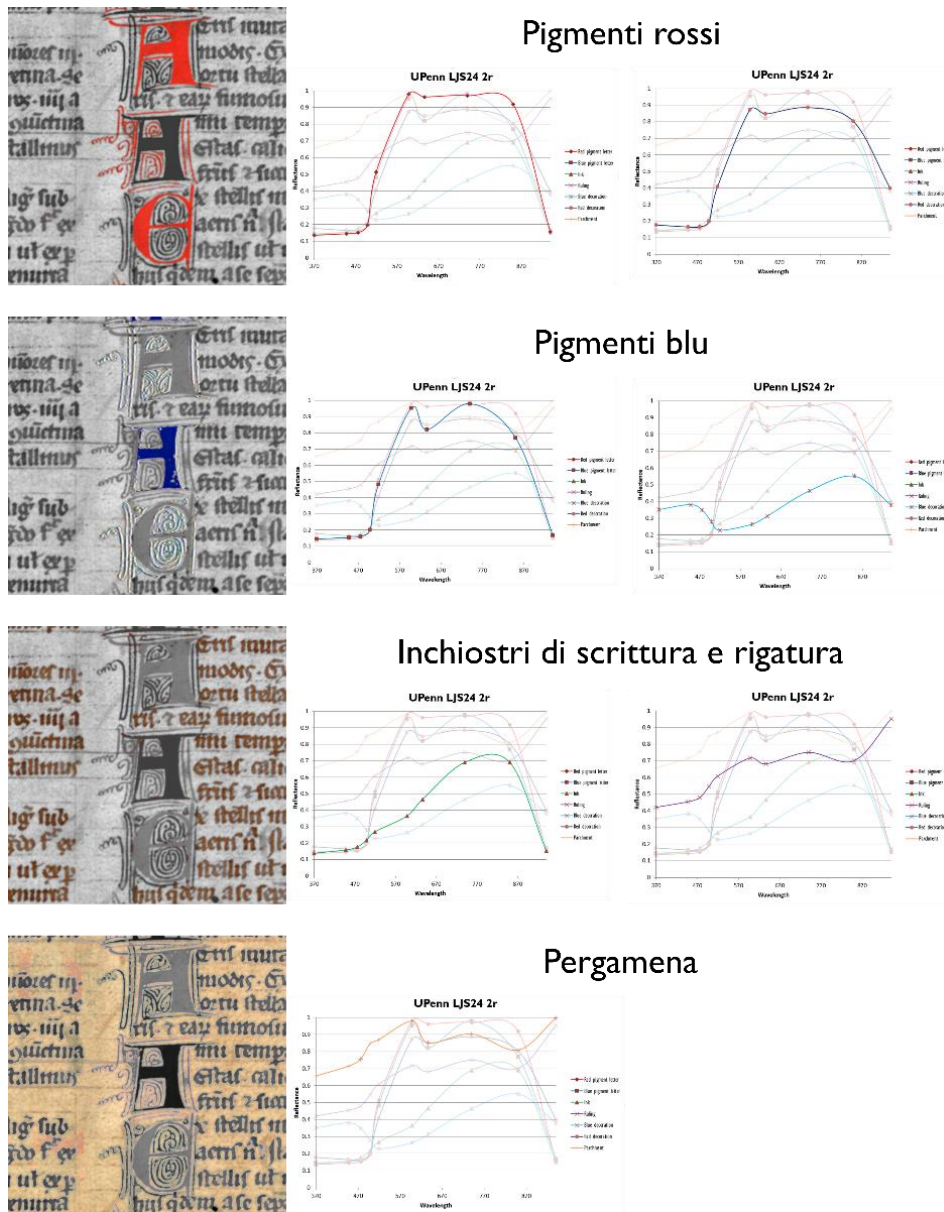


Figura 3. Esempi di curve spettrali di un dettaglio del foglio 2 recto di Oversize LJS 24 (Lawrence J. Schoenberg Manuscripts, University of Pennsylvania Libraries). La forma delle curve rende facile il confronto di vari materiali che possono sembrare simili a occhio nudo. Si noti, ad esempio, le due linee per i pigmenti blu o le nette differenze tra l'inchiostro della scrittura e quello usato per la rigatura della pagina.

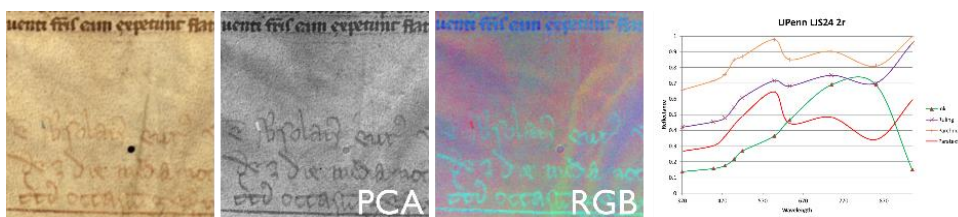


Figura 4. Dettaglio del foglio 2 recto di Oversize IJS 24 (Lawrence J. Schoenberg Manuscripts, University of Pennsylvania Libraries). Da sinistra a destra: immagine a colori, PCA, immagine a falsi colori, e curve spettrali. Si noti come, ad esempio, l'inchiostro utilizzato per le annotazioni paratestuali (curva rossa) e quello della rigatura (curva viola), pur molto simili ad occhio nudo, presentino delle risposte spettrali molto diverse.

Una proprietà che per lo più sfugge alla fotografia tradizionale—anzi, spesso celata proprio dall'atto stesso della fotografia—è la tridimensionalità delle superfici dei libri: le ondulazioni della pergamena e della carta, le sottili impronte di penne e strumenti di incisione, le sporgenze dei supporti di cucitura sotto la controguardia. La fotografia con luce radente può aiutare a mostrare queste caratteristiche superficiali, e tecniche di digitalizzazione specializzate possono acquisire con un livello incredibile di dettaglio informazioni sulla forma e le caratteristiche della superficie.

La Reflectance Transformation Imaging (RTI) è una tecnica fotografica computazionale che cattura la forma superficiale di un oggetto da una serie di fotografie (scattate da una posizione fissa, perpendicolare al documento) e dalla luce proiettata da diverse direzioni attorno all'oggetto. Le immagini risultanti vengono elaborate e modellate in una singola visualizzazione che consente all'utente di ruotare una fonte di illuminazione virtuale e cambiare la proiezione delle ombre per rivelare dettagli superficiali, come impressioni, segni di incisione e stratificazione di pigmenti. In modo simile, i modelli 3D possono essere costruiti a partire da una serie di fotografie applicando la fotogrammetria computazionale (Figura 5), una tecnica relativamente a basso costo e accessibile ma che richiede tempo per costruire nubi di punti e mesh poligonali sufficientemente dense e dettagliate.

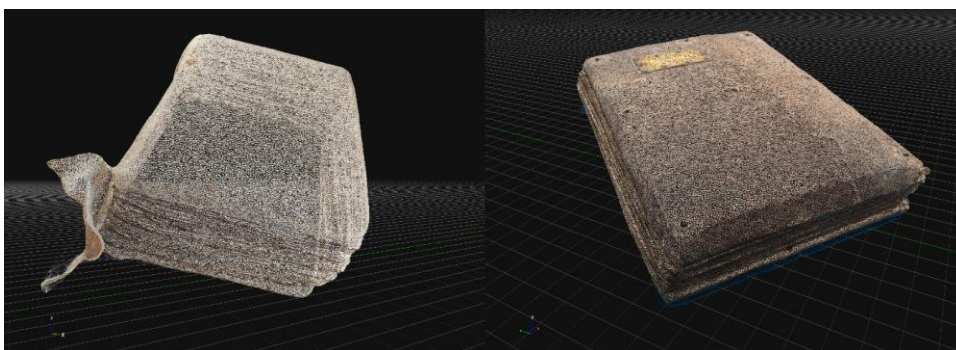


Figura 5. Mesh poligonale generato tramite fotogrammetria di Ms B323 e Ms A342 (Le Labo, Cambrai).

Nella letteratura troviamo dei casi molto interessanti di applicazioni avanzate di queste tecnologie. Enders, ad esempio, le ha applicate per recuperare svariate informazioni materiali dai fogli di manoscritti, arrivando persino a modellare forze e linee di stress, producendo quasi un gemello digitale del manoscritto, evidenziando aree critiche per la conservazione dei manoscritti, e le miniature in particolare ([21]). Italia e colleghi hanno applicato l'RTI per studi filologici e stratigrafici ([30]). Seguendo principi simili, Watteuw e colleghi hanno combinato l'imaging spettrale e l'RTI (o meglio, la tecnica stereo fotometrica) per studiare i manoscritti medievali, integrando poi le informazioni con analisi più dettagliate come l'XRF ([56]). Infine, come già dimostrato da Endres, le informazioni derivanti dalla modellazione tridimensionale possono anche essere utilizzate per mappare forze e distorsioni del supporto di scrittura e operare su queste operazioni di restauro virtuale, anche ripristinando materiali danneggiati altrimenti impossibili da trattare fisicamente ([44]).

La necessità di andare oltre il visibile e di studiare le strutture interne dei libri ha portato i ricercatori ad applicare tecniche fotografiche a raggi X fin dalla metà del secolo scorso [46]; [17]). Più recentemente, la tomografia computerizzata microscopica (TC o TAC) è stata applicata con successo al materiale librario, per recuperare testi di libri altrimenti non accessibili ma anche creando modelli tridimensionali delle loro strutture ([2]; [19]; [49]). Questa tecnica rende possibile l'esaminazione di elementi strutturali, come la fascicolazione o le strutture di cucitura, per oggetti che sono troppo danneggiati, troppo saldamente legati o che altrimenti rendono difficile accedere a tali informazioni. Un tempo troppo costose e applicabili solo a casi molto specifici, queste tecniche, certamente ancora in fase sperimentale, stanno diventando sempre più accessibili ed è prevedibile che in un futuro non troppo lontano potranno essere applicate in modi ancor più avanzati.

Modelli e metadati: nuove prospettive per la digitalizzazione

Nonostante le tecniche di digitalizzazione avanzata considerate fino a questo punto siano in grado di trasferire molti aspetti materiali del libro nel digitale, altre caratteristiche, che abbiamo chiamato “non trasferibili” non possono essere altrettanto prontamente portate nel digitale ([11], 33). Tuttavia, come accennato, la complessità della materialità degli artefatti culturali può essere catturata attribuendo un significato più ampio a ciò che costituisce la digitalizzazione dei libri, e includendo azioni quali la modellizzazione e l'assegnazione di metadati ([25], 61).

Analizziamo ad esempio l'elusiva struttura dei fascicoli dei libri in formato di codice. Come abbiamo visto, la struttura dei fascicoli, sebbene essenziale, non è acquisibile attraverso i metodi di digitalizzazione convenzionali e non è solitamente rappresentata adeguatamente nei progetti digitali. Sebbene le formule collazionali siano generalmente incluse nelle descrizioni, la loro densità di informazioni ne ostacola l'interpretazione—specialmente per strutture molto complesse—e non sono comunemente presentate in modo prontamente computabile.⁵ Le informazioni tipicamente catturate dalle formule collazionali possono però essere rimodellate e arricchite, sfruttando la flessibilità e la natura trasformativa del medium digitale, consentendo una comprensione ed interpretazione più immediata dei dati. Questo è il caso di VisColl

⁵ Seguono la tradizione anche schemi di dati strutturati, come il caso della TEI, o altri database codicologici (ad esempio [40]).

(Visualization of Collations),⁶ un progetto ideato per consentire agli studiosi di visualizzare e lavorare con i dati relativi alla struttura dei fascicoli nel medium digitale in modo più proficuo ([47]). Ben inquadrabile all'interno delle scienze umanistiche “pre-digitali”, il modello VisColl permette agli utenti di raccogliere dati strutturati che sono più ricchi di quelli solitamente rappresentati nelle formule collazionali. In aggiunta, VisColl permette di generare automaticamente, a partire dal modello, diagrammi collazionali e visualizzazioni che mostrano la composizione fisica dei libri. Nel corso degli anni, il modello di VisColl è stato rivisto più volte al fine di rendere possibile la descrizione di strutture molto complesse (ben oltre la capacità standard delle formule collazionali). L'innovazione più significativa del nuovo modello è che la sua unità base, a differenza delle versioni precedenti e delle formule collazionali in generale, non è il fascicolo ma il foglio, che appartiene ad un fascicolo specifico ed è tipicamente—ma non necessariamente—congiunto ad un altro per formare un bifoglio (vedi Figura 6). Il nuovo modello gestisce strutture molto complesse (con sottofascicoli, braghette e talloni), ed è in grado di specificare livelli di incertezza e i metodi con cui i fogli sono uniti tra loro e fissati nei fascicoli (cuciti, incollati, ecc.) (Figura 7 e Figura 8).

| | |
|-----------------------------|--|
| Schema dell'elemento foglio | <pre> start = element leaf { attribute stub { "yes" }, attribute xml:id {xsd:NCName}, element folioNumber { attribute val {xsd:NMTOKEN xsd:string empty}, certainty, text }?, element mode { attribute val { "original" "added" "replaced" "missing" } }, element q { position, leafno?, certainty?, target?, attribute type {xsd:NCName}?, n, (element conjoin { certainty, target? element single { attribute val { "yes" }, certainty? } })+, element attachment-method { certainty, target?, attribute type { "sewn" "pasted" "tipped" "drummed" "stitched" "tacketed" "conjoined" "other" } } } n = attribute n {xsd:NMTOKEN} certainty = attribute certainty { "1" "2" "3" } position = attribute position {xsd:positiveInteger} leafno = attribute leafno {xsd:positiveInteger} target = attribute target {list {xsd:anyURI} } quire = element quire { certainty?, n, attribute xml:id {xsd:ID}?, quire* } note = element note { target, attribute type { "certainty" text }, attribute xml:id { text }, text } </pre> |
| Pseudocodice | <pre> <leaf xml:id="{leafID}" stub="{yes}"> <folioNumber val="{text}" certainty="{1 2 3}">{text}</folioNumber> <mode certainty="{1 2 3}" val="{added missing original replaced}" /> <q target="{#quireID}" position="{text}" n="{quireN.subQuireN...}" leafno="{integer}" certainty="{1 2 3}"> { <conjoin target="{#leafID}" certainty="{1 2 3}">{text}</conjoin> <single val="yes" certainty="{1 2 3}" /> } </q> <attachment-method certainty="{1 2 3}" target="{#leafID}" type="{drummed pasted sewn tipped tacketed conjoined}" /> </leaf> </pre> |

Figura 6. Elemento foglio (**leaf**) di VisColl. Schema RelaxNG (in alto) e pseudocodice XML (in basso).

⁶ <https://viscoll.org/>.

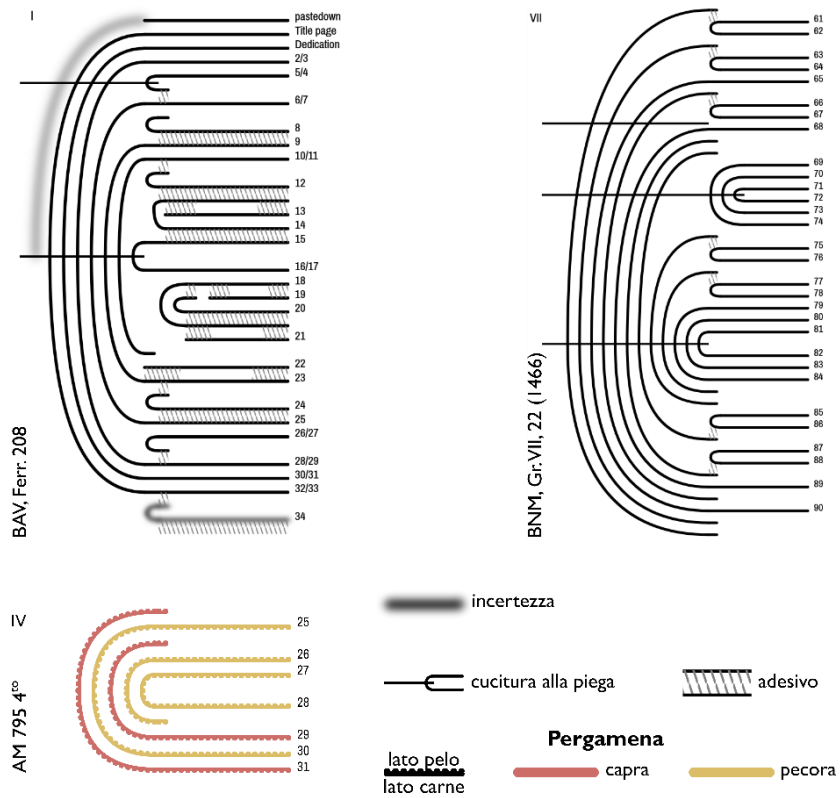


Figura 7. Esempi di fascicoli modellati e automaticamente visualizzati con VisColl: Ferraioli 208 (primo fascicolo) (Biblioteca Apostolica Vaticana); Gr. VI, 22 (=1466) (settimo fascicolo) (Biblioteca Nazionale Marciana, Venezia); Arnagnaeske Legat AM. 795 4^{to} (quarto fascicolo) (Biblioteca Universitaria, Copenaghen). L'incertezza è indicata da sfumature. Nella legenda in basso a destra si vedono esempi di informazioni aggiuntive che possono essere registrate e visualizzate come i dettagli dei metodi in cui i fogli sono uniti tra loro e fissati all'interno dei fascicoli o informazioni riguardanti la pergamena e la specie animale.



Figura 8. Pagina HTML generata con VisColl per il manoscritto Français 2810 (secondo fascicolo) (Bibliothèque Nationale de France). Questa visualizzazione presenta oltre ai diagrammi dei fascicoli, anche le immagini del recto e verso dei fogli e ricongiunge virtualmente i bifogli, proponendo così una possibile soluzione al problema delle “pagine fluttuanti” tipico delle rappresentazioni digitali.

Come indicato, il fascicolo è l'unità di base dei libri in formato codice, ma una complessa serie di altre strutture ed elementi formano un libro completo di cucitura e legatura. Gli archeologi del libro seguono metodologie rigorose per descrivere in modo consistente le legature. Queste metodologie variano, ma un approccio particolarmente efficiente segue il processo stesso di creazione del libro (dalla piegatura dei fascicoli per finire con la coperta) e crea una gerarchia di dati che facilita l'archiviazione e la manipolazione elettronica, rimediando nel digitale un insieme considerevole di caratteristiche altrimenti non trasferibili. Un esempio di questa metodologia è il database del Progetto di Conservazione della Biblioteca di Santa Caterina (Sinai, Egitto), ideato dal Ligatus Research Centre (University of the Arts London) ([53]; [54]). Il progetto, attivo tra il 2001 e il 2007, ha portato alla descrizione dettagliata delle legature dei manoscritti e dei libri a stampa della biblioteca. Pur essendo destinato a coprire le strutture tipicamente presenti in questa collezione, e quindi non esaustivo, lo schema, disponibile sul sito web di Ligatus,⁷ rimane uno dei migliori modelli di descrizione delle legature. Se guardiamo la letteratura però, le descrizioni delle strutture di legatura sono tipicamente accompagnate da disegni e diagrammi, poiché questi, come si osserva anche per la fascicolazione, possono mostrare senza sforzo le relazioni spaziali dei vari elementi e offrono indubbi vantaggi espressivi rispetto alle descrizioni testuali. La validità del modello di Ligatus è confermata dal fatto che i dati così raccolti, applicando una metodologia simile a quella di VisColl, possono essere trasformati automaticamente in diagrammi, imitando i modi di comunicazione tipici di questo ambito di ricerca, senza comprometterne la computabilità e l'usabilità ([9]; [10]) (Figura 9).

⁷ <http://www.ligatus.org.uk/stcatherines/node/1052/>.

Sulla base dell'esperienza acquisita durante il progetto di Santa Caterina, Ligatus ha poi pubblicato il Language of Bindings (LoB),⁸ un tesoro di termini di legatura pronto per le tecnologie Linked Data ([55]).⁹ Più recentemente, Ligatus ha co-diretto assieme al dipartimento di Restauro delle biblioteche dell'Università di Stanford (San Francisco, USA) un progetto pilota, Linked Conservation Data (LCD),¹⁰ sperimentando l'integrazione e la modellizzazione dei dati di descrizione delle legature sulla base del CIDOC-CRM e il LoB. I record così mappati sono poi stati pubblicati su ResearchSpace,¹¹ un sistema sviluppato dal British Museum per modellare e visualizzare conoscenze tecniche e processi ([52]) (Figura 10). Seguendo gli stessi principi, The National Archives (TNA), un partner chiave di LCD, ha da poco sviluppato e adottato un nuovo sistema digitale istituzionale nel dipartimento di Collection Care utilizzando Linked Data e ResearchSpace ([51]; comunicazione personale, Sonja Schwoil, TNA, 27 gennaio 2023, e-mail). Questi progetti hanno così posto le basi per una descrizione delle legature che ha il potenziale di superare i classici silos informativi e arricchire cataloghi, biblioteche digitali, e progetti di digitalizzazione.

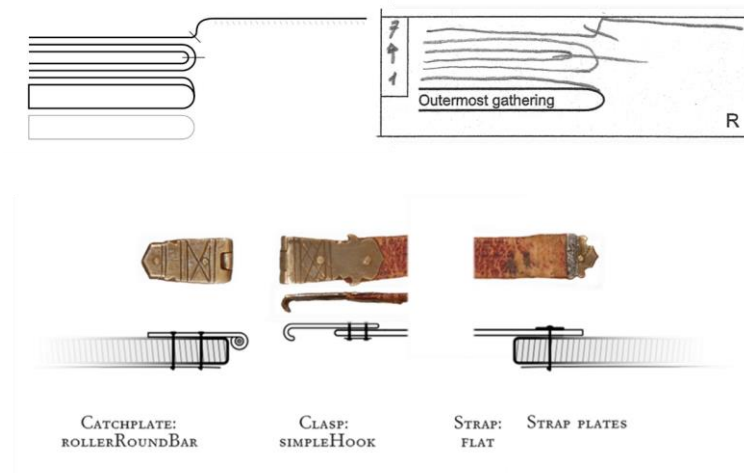


Figura 9. Esempi di diagrammi automatizzati basati sui dati raccolti durante il Progetto di Conservazione della Biblioteca di Santa Caterina sul Sinai di Ligatus. In alto, diagramma dei fogli di guardia posteriori del volume 4725.3162 generato automaticamente (sinistra) posto a fianco del disegno eseguito a mano durante la descrizione (destra). In basso, fermagli del volume 3706.2677 (fotografia e diagramma).

⁸ <http://www.ligatus.org.uk/lob/>.

⁹ Il “Language of Bindings” non è certamente il solo tesoro di termini codicologici online, si pensi alla versione digitale e multilingue del “Vocabulaire codicologique” di Muzerelle ([38]; [29]), ma il LoB si distingue perché basato su tecnologie del web semantico.

¹⁰ <https://www.ligatus.org.uk/lcd/>.

¹¹ <https://researchspace.org/>.

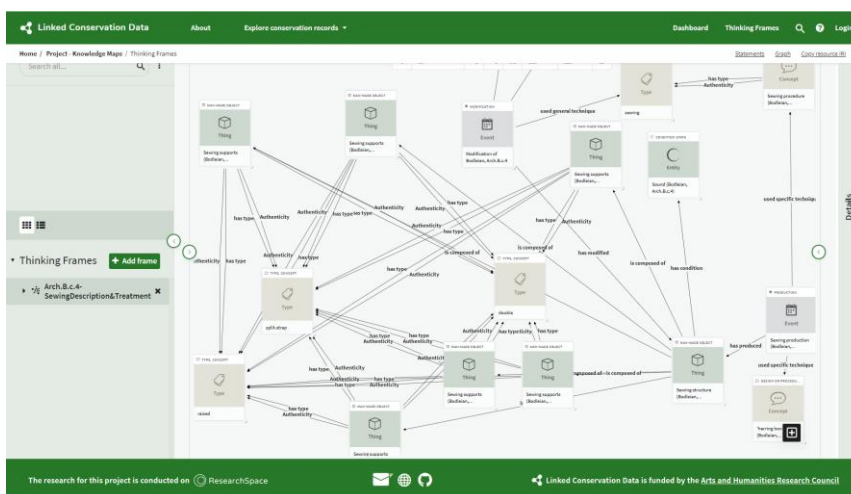


Figura 10. Mindmap di un intervento di restauro sulla cucitura di un volume in ResearchSpace per Linked Conservation Data.

Conclusioni: verso una codicologia digitale

La disponibilità di fonti primarie in formato digitale ha avuto un enorme impatto sugli studi testuali e, grazie alla computer vision e la lettura algoritmica, ha comportato l'elaborazione di tecniche innovative e sofisticate come *distant reading*, *topic modelling* o *Natural Language Processing*. Anche gli storici del libro, abitualmente, mirano a una lettura a distanza delle loro fonti per stabilire prospettive storiche e definire modelli e schemi di studio; tuttavia, la mancanza di informazioni sulla materialità degli oggetti nei progetti digitali implica la sostanziale impraticabilità di letture a distanza degli oggetti libro come fonti primarie. La produzione di surrogati digitali più completi che combinano caratteristiche non trasferibili con le informazioni tradizionali potrebbe infine consentirci di implementare metodologie di lettura algoritmica anche per i libri ([12], 56–60).

Le caratteristiche materiali dei libri pre-digitali sono proprietà emergenti che risultano dalla mediazione e interpretazione umana in un'azione finalizzata all'identificazione e al discernimento delle caratteristiche informative che sono sì separate dal contenuto, ma che sono anche in grado di complementare le informazioni testuali. Drucker distingue tra il *libro letterale*—l'idea tradizionale del codice fatto di pagine legate in una sequenza finita e generalmente fissa—e il *libro fenomenico*—il processo di produzione di significato che dipende dall'interazione dinamica dell'utente/lettore con l'oggetto ([20], 221). La stessa dualità si applica alla digitalizzazione dei libri come oggetti. Anche l'entità fisica libro intesa come oggetto, infatti, ha una duplice natura, e quella fenomenica cambia con ogni nuova interazione a causa della qualità emergente delle sue materialità, il che significa che nessuna rappresentazione virtuale può essere definitiva e assoluta. Le rappresentazioni digitali dei libri sono quindi

necessariamente dinamiche e incomplete, ma anche sempre arricchibili da nuovi dati e rappresentazioni man mano che emergono nuove letture.

Ogni nuovo strato informativo aggiunge dettagli e dimensioni alla rappresentazione, ma la generazione di questi surrogati digitali archetipici richiede il contributo di figure professionali diverse, poiché la loro creazione non può essere realizzata in isolamento. Curatori, ricercatori, restauratori, heritage e data scientist—ognuno portando le proprie prospettive e conoscenze—devono collaborare, ed è proprio la loro sinergia che può promuovere modelli capaci di registrare un insieme di informazioni più completo e interoperabile. A loro volta, questi modelli evidenziano immancabilmente ulteriori interessi di ricerca e di volta in volta possono funzionare come rappresentazioni più complete e utili. Questi modelli ricombinanti possono eventualmente consentire agli studiosi di accedere alle informazioni materiali su documenti originali anche a distanza, favorendo processi di distant reading.

Sebbene certamente non debbano e non possano essere considerati sostituti completi degli oggetti originali, gli oggetti culturali digitali li possono però superare in molti aspetti. Come Benjamin ha evidenziato analizzando gli effetti delle riproduzioni meccaniche (analogiche), i surrogati consentono forme di interazione, significato e recupero di informazioni non altrimenti possibili ([6], 20–22). In modo corrispondente, i surrogati digitali possono permetterci di risolvere problemi e questioni che non possono essere affrontati con la stessa facilità lavorando con l'originale. Si pensi, ad esempio, ai libri troppo danneggiati per essere maneggiati in sicurezza o allo studio delle strutture di fascicolazione alternative per ricostruire storie e versioni diverse. Idealmente, questi surrogati dovrebbero aggregare senza soluzione di continuità tutti i set di dati di immagini, analisi scientifiche, e il maggior numero possibile di altre informazioni, mirando a illustrare le caratteristiche (non trasferibili) dell'oggetto. Sperare di raccogliere tutti questi dati in una volta sola è irrealistico e impraticabile, ma le tecnologie moderne, a differenza della pubblicazione tradizionale su carta, consentono di lavorare per fasi, e di aggiungere informazioni man mano che queste diventano disponibili. Ciò che è necessario fin dall'inizio è una strategia tecnologica flessibile e rigorosa in grado di aggregare e accogliere il flusso continuo di dati che caratterizza gli oggetti culturali digitali. In aggiunta, pensare ai prodotti digitali come incompiuti e in continua evoluzione—accumulando informazioni man mano che queste diventano disponibili—crea un circolo virtuoso che va dall'oggetto originale al surrogato digitale e viceversa, in continua evoluzione, man mano che emergono nuovi interessi di ricerca. Questo porta un nuovo equilibrio inedito tra l'originale e il digitale che spesso non viene pienamente compreso. Sebbene l'originale debba rimanere l'oggetto primario, la natura trasformativa della digitalizzazione—sia attraverso immagini, sia dati, modelli e metadati—consente di studiare i libri in modi nuovi e inaspettati, portando alla luce caratteristiche nascoste e presentando nuovi dati che, a loro volta, possono essere ricondotti all'originale, facendo ripartire il ciclo. Sebbene non ci siano ancora infrastrutture digitali di questo tipo che possano soddisfare tutti i punti espressi qui, il modello “M3R – Multimodal Manuscript Representation”¹² in fase di sviluppo presso l'Università Karl-Franzens di Graz (Austria) nell'ambito del progetto “Digital Transformation of the Austrian Humanities” (DiTAH) e i modelli sviluppati ai TNA sono ottimi esempi preliminari di sistemi digitali cumulativi e dinamici per la produzione e lo studio di oggetti culturali digitali.

Non è un caso, quindi, che ancora non si possa parlare a pieno diritto di codicologia digitale, mancando ancora sufficienti dataset per sfruttare appieno le potenzialità trasformative e di

¹² <https://glossa.uni-graz.at/context:mmmr>

calcolo delle tecnologie digitali. Visti però gli sviluppi recenti e l'interesse sempre maggiore per la materialità dei testi ([14]) è auspicabile che gli sforzi di digitalizzazione portino alla creazione di surrogati digitali sempre più granulari in grado di sfruttare il potenziale ricombinante della digitalizzazione, esponendo sempre di più le caratteristiche fisiche dei documenti così che questi possano essere studiati digitalmente come l'oggetto complesso che sono nel nostro mondo fisico e pre-digitale. Si potrà quindi cominciare a pensare a metodologie di distant reading anche per la materialità del codice e non per il suo contenuto, delineando tendenze e modelli più ampi che non sono altrimenti evidenziabili, arricchendo così la nostra conoscenza della produzione libraria del passato.

References

- [1] AIB. 2020. «Nuovo Manifesto per le biblioteche digitali». Online. Roma: Associazione Italiana Biblioteche. <https://www.aib.it/struttura/commissioni-e-gruppi/gruppo-di-lavoro-biblioteche-digitali/2020/82764-nuovo-manifesto-per-le-biblioteche-digitali/>.
- [2] Albertin, Fauzia. 2022. «X-Ray Tomography for Manuscripts». *Umanistica Digitale*, fasc. 12 (giugno): 39–64. <https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/14399>.
- [3] Andrist, Patrick, Paul Canart, e Marilena Maniaci. 2010. «L'analyse structurelle du codex, clef de sa genèse et de son histoire». In *The Legacy of Bernard de Montfaucon: Three Hundred Years of Studies on Greek Handwriting. Proceedings of the Seventh International Colloquium of Greek Palaeography (Madrid-Salamanca, 15-20 September 2008)*, 289–99. Bibliologia 31A. Turnhout: Brepols. <https://doi.org/10.1484/M.BIB-EB.3.4533>.
- [4] Andrist, Patrick, Paul Canart, e Marilena Maniaci. 2013. *La syntaxe du codex: essai de codicologie structurale*. Bibliologia 34. Turnhout: Brepols.
- [5] Bateson, Gregory. 1972. *Steps to an ecology of mind: Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology*. Lanham (MD): Jason Aronson.
- [6] Benjamin, Walter. (1968) 2007. «The work of art in the age of mechanical reproduction». In *Illuminations. Essays and reflections*, a cura di Hannah Arendt, tradotto da Harry Zohn, 217–51. New York (NY): Schocken books.
- [7] Biagetti, Maria Teresa. 2019. *Le biblioteche digitali: tipologie, funzionalità e modelli di sviluppo*. Milano: FrancoAngeli.
- [8] Bozzolo, Carla, e Ezio Ornato. 1980. *Pour une histoire du livre manuscrit au Moyen Âge: trois essais de codicologie quantitative*. Paris: Centre national de la recherche scientifique.
- [9] Campagnolo, Alberto. 2015. «Transforming Structured Descriptions to Visual Representations. An Automated Visualization of Historical Bookbinding

- Structures». Ph.D. Thesis, London: University of the Arts London. <http://ualresearchonline.arts.ac.uk/8749/>.
- [10] Campagnolo, Alberto. 2016. «Errata (per Oculos) Corrige. Visual Identification of Meaningless Data in Database Records of Bookbinding Structures». In *Care and Conservation of Manuscripts 15*, a cura di Matthew J. Driscoll, 79–88. Copenhagen: Museum Tusulanum Press; University of Copenhagen and the Royal Library of Denmark.
- [11] Campagnolo, Alberto. 2020. «Understanding the Artifactual Value of Books». In *Book Conservation and Digitization. The Challenges of Dialogue and Collaboration*, a cura di Alberto Campagnolo, 17–48. Collection Development, Cultural Heritage, and Digital Humanities. Leeds: Arc Humanities Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv13gvhxx.5>.
- [12] Campagnolo, Alberto. 2021. «Insides and Outsides». In *The Unfinished Book*, a cura di Alexandra Gillespie e Deidre Lynch, 47–61. Oxford Twenty-First Century Approaches to Literature. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198830801.013.4>.
- [13] Campagnolo, Alberto, Erin Connelly, e Heather Wacha. 2019. «Labeculae Vivae: Building a Reference Library of Stains for Medieval and Early Modern Manuscripts». *Manuscript Studies: A Journal of the Schoenberg Institute for Manuscript Studies* 4 (2): 401–16. <https://doi.org/10.1353/mns.2019.0018>.
- [14] Cappellotto, Anna. 2020. «From Codex to Apps: The Medieval Manuscript in the Age of Its Digital Reproduction». *Umanistica Digitale*, fasc. 9 (dicembre): 1–18. <https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/11459>.
- [15] Cazes, Hélène, e J. Matthew Huculak. 2016. «Understanding the Pre-Digital Book». In *Doing Digital Humanities: Practice, Training, Research*, a cura di Constance Crompton, Richard J. Lane, e Raymond George Siemens, 48–65. Abingdon-on-Thames: Routledge.
- [16] Ciula, Arianna. 2017. «Digital palaeography: What is digital about it?» *Digital Scholarship in the Humanities* 32 (suppl_2): ii89–105. <https://doi.org/10.1093/llc/fqx042>.
- [17] Clarkson, Christopher. 1996. «Further Studies in Anglos-Saxon and Norman Bookbinding: Board Attachment Methods Re-examined». In *Roger Powell, the complete binder: Liber Amicorum*, a cura di John Lawrence Sharpe, 154–214. Bibliologia: Elementa ad Librorum Studia Pertinentia 14. Turnhout: Brepols.
- [18] Craig-McFeely, Julia. 2020. «Restoration, Reconstruction, and Revisionism: Altering Our Virtual Perception of Damaged Manuscripts». In *Disiecta Membra Musicae: Studies in Musical Fragmentology*, a cura di Giovanni Varelli, 323–66. Berlin; Boston (MA): De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110717884>.
- [19] Dilley, Paul C., Christy Chapman, C. Seth Parker, e W. Brent Seales. 2022. «The X-Ray Micro-CT of a Full Parchment Codex to Recover Hidden Text: Morgan

- Library M.910, an Early Coptic Acts of the Apostles Manuscript». *Manuscript Studies: A Journal of the Schoenberg Institute for Manuscript Studies* 7 (1): 162–74. <https://doi.org/10.1353/mns.2022.0003>.
- [20] Drucker, Johanna. 2013. «The Virtual Codex from Page Space to E-Space». In *A Companion to Digital Literary Studies*, a cura di Ray Siemens e Susan Schreibman, 216–32. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781405177504.ch11>.
- [21] Endres, Bill. 2019. *Digitizing Medieval Manuscripts: The St. Chad Gospels, Materiality, Recoveries, and Representation in 2D and 3D*. Medieval Media Cultures. Leeds: Arc Humanities Press.
- [22] Fazion, Sara, Riccardo Gasperina Geroni, Sara Obbiso, Carolina Rossi, e Giacomo Ventura. 2022. «L'imaging multispettrale sui manoscritti. Casi di studio da Petrarca a Carlo Levi». *Umanistica Digitale*, fasc. 12 (giugno): 3–38. <https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/14397>.
- [23] France, Fenella G. 2016. «Spectral Imaging: Capturing and Retrieving Information You Didn't Know Your Library Collections Contained». In *What Do We Lose When We Lose a Library?*, a cura di Lieve Watteuw e Mel Collier, 189–97. Leuven: KU Leuven University Library. <https://www.goethe.de/resources/files/pdf94/streamgate.pdf>.
- [24] France, Fenella G. 2020. «Spectral Imaging to Aid Preservation and Conservation of Cultural Heritage». In *Book Conservation and Digitization. The Challenges of Dialogue and Collaboration*, a cura di Alberto Campagnolo, 169–78. Collection Development, Cultural Heritage, and Digital Humanities. Leeds: Arc Humanities Press.
- [25] Geismar, Haidy. 2018. *Museum Object Lessons for the Digital Age*. London: UCL Press. <https://www.uclpress.co.uk/products/108452>.
- [26] Gruijs, Albert. 1972. «Codicology or the Archaeology of the Book? A False Dilemma». *Quaerendo* 2 (2): 87–108. <https://doi.org/10.1163/157006972X00201>.
- [27] Hammond, Adam. 2020. «Remediation». In *Oxford Research Encyclopedia of Literature*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190201098.013.1087>.
- [28] Hayles, N. Katherine. 2012. *How We Think: Digital Media and Contemporary Technogenesis*. Chicago (IL); London: University of Chicago Press.
- [29] IRHT. 2011. «Glossaires Codicologiques». 2011. <https://codicologia.irht.cnrs.fr/>.
- [30] Italia, Paola, Sara Obbiso, e Roberta Priore. 2022. «Analisi stratigrafiche e 3D. Casi di studio da Dante a Leopardi». *Umanistica Digitale*, fasc. 12 (giugno): 65–86. <https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/14418>.
- [31] Johri, Prashant, Sunil K. Khatri, Ahmad T. Al-Taani, Munish Sabharwal, Shakhzod Suvanov, e Avneesh Kumar. 2021. «Natural Language Processing: History,

- Evolution, Application, and Future Work». In *Proceedings of 3rd International Conference on Computing Informatics and Networks*, a cura di Ajith Abraham, Oscar Castillo, e Deepali Virmani, 365–75. Lecture Notes in Networks and Systems. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9712-1_31.
- [32] Kestemont, Mike, Vincent Christlein, e Dominique Stutzmann. 2017. «Artificial Paleography: Computational Approaches to Identifying Script Types in Medieval Manuscripts». *Speculum* 92 (S1): S86–109. <https://doi.org/10.1086/694112>.
- [33] Landow, George P. 2006. *Hypertext 3.0: Critical Theory and New Media in an Era of Globalization*. Baltimore (MD): Johns Hopkins University Press.
- [34] Levy, David M., e Catherine C. Marshall. 1995. «Going digital: a look at assumptions underlying digital libraries». *Communications of the ACM* 38 (4): 77–84. <https://doi.org/10.1145/205323.205346>.
- [35] Lit, L. W. C. van. 2019. *Among Digitized Manuscripts. Philology, Codicology, Paleography in a Digital World*. Leiden; Boston (MA): Brill. <https://brill.com/display/title/56196>.
- [36] McCarty, Willard. 2005. *Humanities computing*. Houndmills, Basingstoke, Hampshire; New York (NY): Palgrave Macmillan.
- [37] McKitterick, David. 2013. *Old Books, New Technologies: The Representation, Conservation and Transformation of Books since 1700*. Cambridge; New York (NY): Cambridge University Press.
- [38] Muzerelle, Denis. 2002. *Vocabulaire codicologique: répertoire méthodique des termes français relatifs aux manuscrits avec leurs équivalents en anglais, italien, espagnol*. Edition hypertextuelle, Version 1.1. Paris: Institut de recherche et d'histoire des textes, CNRS. <http://vocabulaire.irht.cnrs.fr/>.
- [39] Netz, Reviel, William Noel, Natalie Tchernetska, e Nigel G Wilson, a c. di. 2011. *The Archimedes Palimpsest*. 2 voll. Archimedes Palimpsest Publications. New York (NY): Published for the Walters Art Museum by Cambridge University Press. <http://external.dandelon.com/download/attachments/dandelon/ids/DE00470DE09FB505B1A57C125795F00524955.pdf>.
- [40] Nisco, Nicola De, Sandra Gorla, e Alessia Valenti. 2021. «Una Banca Dati per Petrarca e Il Suo Tempo: Criteri, Modelli e Obiettivi». *Digitalia*, fasc. 2 (gennaio). <https://doi.org/10.36181/digitalia-00037>.
- [41] Nunberg, Geoffrey, a c. di. 1996. *The Future of the Book*. Berkeley: University of California Press.
- [42] Nyhan, Julianne, e Marco Passarotti. 2020. «Introduction, or Why Busa Still Matters». In *One Origin of Digital Humanities: Fr Roberto Busa in His Own Words*, a cura di Julianne Nyhan e Marco Passarotti, 1–17. Cham: Springer.
- [43] Ouy, Gilbert. 1970. «Quelques problèmes posés par le projet de code descriptif pour les manuscrits médiévaux (“Questionnaire codicologique”)». *Revue de l'Organisation internationale pour l'étude des langues anciennes par ordinateur* 3: 19–38.

- [44] Pal, Kazim, Nicola Avery, Pete Boston, Alberto Campagnolo, Caroline De Stefani, Helen Matheson-Pollock, Daniele Panozzo, et al. 2017. «Digitally Reconstructing the Great Parchment Book: 3D Recovery of Fire-Damaged Historical Documents». *Digital Scholarship in the Humanities* 32 (4): 887–917. <https://doi.org/10.1093/llc/fqw057>.
- [45] Polder, Gerrit, e Aoife Gowen. 2021. «The Hype in Spectral Imaging». *Spectroscopy Europe* 33 (3): 12–14.
- [46] Pollard, Graham. 1975. «Some Anglo-Saxon Bookbindings». *The Book Collector* 24 (1): 130–59.
- [47] Porter, Dot, Alberto Campagnolo, e Erin Connelly. 2017. «VisColl: A New Collation Tool for Manuscript Studies». In *Kodikologie & Paläographie Im Digitalen Zeitalter 4 | Codicology & Palaeography in the Digital Age 4*, a cura di Hannah Busch, Franz Fischer, e Patrick Sahle, 81–100. Schriften Des Instituts Für Dokumentologie Und Editorik 11. Norderstedt: Books on Demand GmbH. <https://kups.uni-koeln.de/7782/>.
- [48] Roberts, Colin H., e T. C. Skeat. 1983. *The Birth of the Codex*. London; New York: Published for the British Academy by the Oxford University Press.
- [49] Sargan, J. D., Jessica J. Lockhart, Andrew J. Nelson, D. L. Meert-Williston, e Alexandra Gillespie. 2022. «The Ghosts of Bindings Past: Micro-Computed X-Ray Tomography for the Study of Bookbinding». *Digital Philology: A Journal of Medieval Cultures* 11 (1): 142–73. <https://doi.org/10.1353/dph.2022.0009>.
- [50] Snyderman, Stuart K. 2015. «The International Image Interoperability Framework (IIIF): A Community & Technology Approach for Web-Based Images». In *IS&T Archiving Conference 2015 (ARCHIVING 2015). Proceedings of a Meeting Held 19-22 May 2015, Los Angeles, California, USA*. Springfield (VA): Society for Imaging Science and Technology (IS&T).
- [51] The National Archives. 2021. «The National Archives Implement the ResearchSpace Platform». *ResearchSpace* (blog). 8 novembre 2021. https://researchspace.org/blog/national_archives_researchspace/.
- [52] Velios, Athanasios. 2021. «Towards an open conservation documentation service». *Journal of the Institute of Conservation* 44 (1): 66–78. <https://doi.org/10.1080/19455224.2020.1865176>.
- [53] Velios, Athanasios, e Nicholas Pickwood. 2005. «Current Use and Future Development of the Database of the St. Catherine’s Library Conservation Project». *The Paper Conservator* 29 (1): 39–53.
- [54] Velios, Athanasios, e Nicholas Pickwood. 2020a. «The Development of the Language of Bindings Thesaurus». In *Book Conservation and Digitization. The Challenges of Dialogue and Collaboration*, a cura di Alberto Campagnolo, 157–68. Collection

Development, Cultural Heritage, and Digital Humanities. Leeds: Arc Humanities Press.

- [55] Velios, Athanasios, e Nicholas Pickwoad. 2020b. «Versioning Materiality: Documenting Evidence of Past Binding Structures». In *Versioning Cultural Objects. Digital Approaches*, a cura di Roman Bleier e Sean M. Winslow, 109–34. Schriften des Instituts für Dokumentologie und Editorik 13. Norderstedt: Books on Demand.
- [56] Watteeuw, Lieve, Marina Van Bos, Tatiana Gersten, Bruno Vandermeulen, e Hendrik Hameeuw. 2020. «An Applied Complementary Use of Macro X-Ray Fluorescence Scanning and Multi-Light Reflectance Imaging to Study Medieval Illuminated Manuscripts. The Rijmbijbel of Jacob van Maerlant». *Microchemical Journal* 155 (giugno): 14582. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104582>.