

**ŞCOALA DOCTORALĂ INTERDISCIPLINARĂ**

**Facultatea de Design de Produs și Mediu**

**Nicolaie CIUBOTARU (Constantinescu)**

**TITLU (română): Sisteme și API-uri de agregare și  
prezentare a datelor de cercetare și a metadatelor  
folosind tehnologiile Open Web Platform**

**TITLU (engleză): Systems and APIs for aggregation and presentation  
of research data and metadata using Open Web Platform**

**REZUMAT / ABSTRACT**

**Conducător științific**

**Prof.dr.ing., dr.marketing Angela REPANOVICI**

**BRAȘOV, 2023**

D-lui (D-nei) .....

## COMPONENȚA

Comisiei de doctorat

Numită prin ordinul Rectorului Universității Transilvania din Braşov

Nr. 12886 din 11.12.2023

### Comisia de susținere:

Prof. dr. ing. Codruța JALIU                      Președinte, Decan Facultatea de Design de Produs și Mediu,  
Universitatea Transilvania din Braşov

Prof.dr.ing., dr. marketing Angela REPANOVICI Conducător științific, Universitatea Transilvania din  
Braşov

Assoc.Prof. dr. Joumana BOUSTANY Referent oficial, Universite Gustave Eiffel, Paris, Franța

Prof. dr. emerit Mircea REGNEALĂ              Referent oficial, Universitatea din București

Prof. dr. ing. Anca DRĂGHICI                      Referent oficial, Universitatea Politehnica Timișoara

Data, ora și locul susținerii publice a tezei de doctorat: 19 februarie 2023, ora....., sala .....

Totodată, vă invităm să luați parte la ședința publică de susținere a tezei de doctorat.

Vă mulțumim.

## Introducere

Tehnologiile care sunt folosite pentru a realiza comunicarea între resursele digitale sunt părțile componente ale tandemului Internet - Worlds Wide Web (WWW). Ulterior debutului World Wide Web la începutul decadei 90 a secolului trecut, mediul academic a căutat modele de organizare, management și exploatare pentru reprezentările digitale ale operelor științifice pe care le creau. Domeniul patrimoniului cultural avea aceleași preocupări din dorința de a expune reprezentările digitale ale marilor opere ale umanității. Ambele zone aveau nevoie de un model de organizare, care poate fi redus la necesitatea de a descrie resursa folosind metadate, identificarea unică a resursei, precum și conectarea acesteia cu altele înrudite sau care le completează.

Odată cu maturizarea World Wide Web apare o consolidare a standardelor care guvernează componentele. Mare parte din acestea sunt cunoscute sub numele de Open Web Platform. Cercetarea desfășurată s-a aplecat asupra mecanismelor de comunicare a acestor resurse. Prin comunicare am redus întreg spectrul la elementele care permit interconectarea resurselor digitale, care în contextele administrative ale așa-numitelor depozite digitale, devin obiecte digitale. Au fost studiate aspectele care privesc Application Programming Interfaces, adică API-urile ca prim instrumente de realizare a depozitelor digitale și care permit implementarea unor mecanisme de conectare la colecții întregi de obiecte digitale fără a mai fi necesară intermedierea prin interfețele grafice. Application Programming Interfaces, adică API-urile sunt în acest moment modelul de bază pentru exploatarea resurselor digitale. Având aceeași denumire generică de API, avem la îndemână și instrumente care permit interacțiunea cu pachete software care expun interfețe care facilitează accesul programatorului la funcționalități.

În lucrarea de față sunt tratate cu precădere tehnologiile și modelele de lucru/arhitecturile care implică API-urile web, dar acolo unde acestea sunt în prelungirea sau sunt îngemănate cu API-urile software, vor fi descrise fără a face o distincție voită. API-urile software pot fi privite precum un tablou de bord prin care putem interacționa cu pachete software complexe fără a fi nevoiți să înțelegem întreaga arhitectură care este *ascunsă* în spatele unei interfețe. API-urile web pot fi privite ca porturile maritime ale oceanului planetar gata de a primi resurse/date transportate prin intermediul Internetului.

API-urile web și cele expuse prin diferite servicii ale unor componente software este tema principală a tezei.

## Obiectivele cercetării

Cercetarea sistemelor și a API-urilor actuale care oferă accesul la rezultatele de cercetare științifică, precum și la datele din domeniul patrimoniului cultural este o necesitate în contextul apariției unor modificări privind modul în care se face accesul la datele și metadatele specifice resurselor expuse folosind World Wide Web (WWW).

În acest moment, modificările se referă pe de o parte la modul în care sunt create reprezentările resurselor, fiind urmate rețete prescrise de politicile naționale sau instituționale, iar pe altă parte,

tehnologiile disponibile pentru a face implementări care să ușureze accesul la o gamă variată de reprezentări se modifică incorporând pe cele specifice Web-ului Semantic.

Alte tehnologii care s-au dezvoltat în ultimii 15 ani, precum peer-to-peer și blockchain privesc direct articularea unor noi tipuri de spații informaționale, unde accentul se pune pe autenticitate, securitate și identificare unică nu numai a resurselor, ci și a tranzacțiilor realizate în lanțuri specifice unei suite de protocoale care stau la baza acestor noi spații.

Obiectivul principal al tezei de doctorat este crearea unui model al unui spațiu informațional pentru valorificarea datelor și metadatelor prin API-uri care comunică cu Web2 și Web3.

Pentru a atinge obiectivul principal, următoarele obiective specifice sunt vizate:

01. Studiarea literaturii de specialitate pentru a stabili care este rolul pe care API-urile îl joacă în realizarea sistemelor de management a datelor și metadatelor de cercetare și din domeniul patrimoniului cultural.

02. Investigarea ecosistemului informațional în care datele sub forma obiectelor digitale sunt descrise și distribuite prin intermediul soluțiilor specializate. Investigarea caută o bună fundamentare a componentelor funcționale existente.

03. Studiarea API-urilor existente și a contextului în care acestea sunt utilizate.

04. Studiarea arhitecturii Web3 celei mai potrivite pentru distribuirea de date și realizarea unui model care să beneficieze de avantajele funcționale.

05. Explorarea oportunităților de comunicare a datelor și metadatelor prin implementarea software a unui model funcțional pentru stocarea distribuită folosind tehnologiile Web3 aplicând instrumentele Open Web Platform.

Pentru a atinge cele cinci obiective au fost investigate tehnologiile Open Web Platform<sup>1</sup>, API-urile web, precum și implementările acestora pentru a identifica modele de reprezentare a unor resurse hypermedia (date și metadata) utilizate curent în comunicarea agenților (umani sau mașini). A fost căutată și identificarea unui posibil model care să ofere un nou mod de interacțiune utilizând tehnologiile pe care protocoalele hypermedia peer-to-peer (Web3 – Web-ul descentralizat) le pun la dispoziție. W3C definește Open Web Platform drept „o colecție de tehnologii deschise (fără costuri) care alcătuiesc Web-ul”. Tehnologiile primordiale enumerate de W3C sunt cele care permit crearea hyperdocumentelor: HyperText Markup Language (HTML), CSS (Cascading Style Sheets), DOM (Document Object Model), SVG (Scalable Vector Graphics), MathML, EcmaScript/JavaScript, Web APIs, HTTP, URI și MediaAccessibilityChecklist. Lucrarea nu va investiga aspectele ce țin de programarea API-urilor web, limitându-se doar la evidențierea blocurilor constructive la nivel arhitectural, precum și suita de protocoale și tehnologii care sunt necesare realizării acestor blocuri.

---

1 [https://www.w3.org/wiki/Open\\_Web\\_Platform](https://www.w3.org/wiki/Open_Web_Platform)

Au fost inventariate și evidențiate principalele caracteristici ale actualelor modele pe care implementările existente le oferă, precum și inventarierea datelor (resurse) și metadatelor (reprezentările) pentru a dezvolta un posibil viitor model de interacțiune folosind stiva tehnologică a Web-ului actual cu o privire peste oportunitățile pe care Web3 le pune la dispoziție (obiectivele 2,3 și 4).

Finalitatea este un posibil model de organizare și acces la date și metadata, folosindu-se nu doar tehnologiile API-urilor web existente, fie acestea ca mijloace de acces și interconectare, fie ca mijloace pentru realizarea interfețelor de gestiune, dar și a tehnologiilor distribuite pe care Web3 le propune de mai bine de zece ani deja (obiectivul 4).

Noul model dorește să răspundă nevoilor de interconectare a datelor într-un mod mai eficient. Datele din domeniul cercetării și al patrimoniului cultural sunt ținta acestor studii în contextul în care la nivel european se discută de conservarea unui adevărat patrimoniu digital, iar domeniul cercetării științifice are nevoie să lucreze cu date FAIR (Findable, Accessible, Interoperable and Reusable). Se va analiza care este natura unui obiect digital, ce este acesta atunci când este creat/folosit/tranzacționat în procesele de cercetare (FAIR data objects – research data objects) și cum sunt utilizate obiectele de patrimoniu digital. Tehnologiile care sunt folosite pentru stocarea/descrierea și interconectarea acestor obiecte vor fi investigate pentru a crea contextul tehnologic și al bunelor practici curente.

Modelul rezultat aduce o posibilă reducere a numărului aplicațiilor software și a participanților în tranzacționarea și exploatarea resurselor web sau cele aflate în lanțuri valorice ale tehnologiilor distribuite (obiectivul 4). În cazul metadatelor, se va urmări o posibilă valorificare a experiențelor în lucrul cu datele pe care Web-ul semantic le expune. În acest sens, vor fi examinate tehnologiile Web-ului Semantic și se va contura o perspectivă a modului în care aceste tehnologii joacă un rol în tranzacționarea datelor.

Sistemele actuale sunt investigate pentru a fi extrase experiențe de natură organizatorică, precum și modele de eficiență ce vor fi incorporate în modelul final, precum și în cel de tranziție realizat în obiectivul cinci. Tehnologiile evidențiate au fost puse în aplicare pentru construirea unui model funcțional a unei aplicații care poate gestiona obiecte digitale folosind suita tehnologiilor Open Web Platform.

## **Structura tezei**

Lucrarea este structurată pe trei planuri principale desfășurate în cinci capitole.

Primul plan a fost dedicat investigării literaturii științifice folosind instrumente de analiză bibliometrică însoțit de o investigare a fundamentelor sistemelor existente care sunt angrenate în comunicarea obiectelor digitale. Acest pas a fost necesar pentru a delimita cercetarea și pentru a înțelege contextul preocupărilor pentru temă în contextul internațional al cercetării științifice dedicată temei (capitolul 1). Sunt investigate obiectele digitale pornind de la tipurile de date, natura

acestora din perspectiva managementului și a prezervării digitale, metadatele necesare descrierii, precum și evoluția arhitecturilor și a soluțiilor necesare agregării și prezervării digitale ale acestora (capitolul 2).

Al doilea plan privește tehnologiile prin care sunt realizate tehnic componentele de comunicare ale depozitelor digitale. Un punct de interes este și modul în prin care sunt sprijinite prin politici la nivel european eforturile pentru deschiderea „silozurilor de date”. Investigația începe cu standardele existente, fiind analizat felul în care API-urile web sunt modelate prin protocoale și modele arhitecturale specifice. Standardizarea nu este privită doar la nivelul tehnologiilor Open Web Platform, ci merge mai departe spre necesitățile de standardizare pentru API-urile web în sine (capitolul 3). O bună perspectivă asupra API-urilor existente a fost realizată investigând un set de implementări utilizate curent pentru accesarea datelor și metadatelor domeniului cercetării științifice și a patrimoniului cultural (capitolul 4). În capitolul 3 este exemplificat modul în care API-urile pot fi accesate prin apeluri care returnează datele/metadatele dorite acestea putând fi prelucrate în adevărate lanțuri de operațiuni.

Al treilea plan vizează standardele utilizate pentru descrierea obiectelor digitale care sunt accesibile prin intermediul API-urilor web, precum și oportunitățile pe care tehnologiile Web3 le expun pentru a realiza noi modele de conectare și diseminare. Acest plan vizează investigarea Web-ului Semantic pentru a identifica modelele folosite în descrierea și identificarea obiectelor digitale. Accentul este pus pe oportunitățile de agregare pe care grafurile semantice le oferă într-un mod standardizat în acest moment (capitolul 3 și 4). Din panopia tehnologiilor dezvoltate sub denumirea generică de Web3, a fost analizat IPFS (Interplanetary File System). Analiza a inclus modul în care datele sunt agregate (Merkle Dag-uri) și identificate (CID-uri – Content Identifiers). Totodată a fost realizat și un model funcțional pentru API-urile capabile să fie extinse în domeniul Web3 (capitolul 5).

## Organizarea tezei pe capitole

**Primul capitol** este introductiv, precizând scopul și obiectivele lucrării. Este capitolul în care este făcută analiza bibliometrică pe un eșantion important de lucrări de cercetare științifică (5089 articole) de actualitate din spațiul euro-atlantic. Analiza a revelat o bună conectare a conceptelor privind API-rile cu restul descriptorilor extrași din articole. Acest lucru indică faptul că API-urile doar aparent nu sunt un subiect central pentru domeniul managementului datelor și a rezultatelor de cercetare. De fapt, în cele mai multe cazuri API-uri sunt mecanisme care se află în subsidiar, prezența lor nu este necesar a fi scoasă în evidență, fapt care le oferă importanță aparent redusă. Cuplat cu un studiu expus în lucrare, care analizează un set de API-uri ale căror descriere și caracteristici au fost completate drept atribute descriptive, aceste mecanisme de conectare devin elemente centrale în distribuirea/interconectarea datelor. Ca o concluzie finală a analizei literaturii de cercetare științifică, API-urile sunt o componentă a serviciilor de management a datelor care este prezentă în contextul obținerii de metadate ce descriu entitățile/obiectele digitale. API-urile sunt construite ca părți componente ale soluțiilor software. Fiecare API este adaptat local la necesități punctuale. Nu există o armonizare a implementărilor alta decât prescripțiile oferite de W3C sau industrie.

**Capitolul 2** a căutat să contureze o imagine completă asupra tehnologiei și evoluției acestora în ultimii treizeci de ani. Au fost aduse în analiză principalele standarde folosite în serializarea datelor pentru că acestea sunt cele care sunt utilizate pentru compunerea descrierilor sub formă de metadate. Au fost lămurite multe dintre conceptele de lucru, care realizează un context bogat pentru înțelegerea în adâncime a modelului de expunere a datelor folosind API-urile web. Au fost aduse în prim plan standardele de bună practică care privesc conectarea datelor prin WWW. Acest punct a fost cu atât mai util cu cât metadatele sunt de fapt date în sine. Aceste date care au diferite roluri, de la cel administrativ, până la cel descriptiv, sunt datele care sunt cel mai des expuse prin endpoint-urile API-urilor. O fost necesară investigarea standardelor și a practicilor care implică vocabularele și ontologiile disponibile pentru a scrie metadate care să realizeze un nivel de interoperabilitate crescut. Acesta este capitolul în care se lămurește conceptul de obiecte digitale ca premiză pentru clarificarea naturii obiectelor digitale FAIR. În contextul valorificării cercetării științifice și a patrimoniului cultural digital, aceste entități se numesc obiecte de cercetare (*research objects*) sau Obiecte Culturale de Patrimoniu - Cultural Heritage Objects (CHO). Capitolul este completat de o perspectivă care are și un corespondent în aplicația practică realizată pentru a susține cercetarea. Aceasta este cea a Obiectelor de Învățare Reutilizabile (RLO – Reusable Learning Objects). Dimensiunea practică din domeniul educației a implicat o adâncire a studiului privind arhitecturile depozitelor digitale, care sunt aplicațiile ce au drept misiune agregarea, descrierea, administrarea, precum și asigurarea accesului la obiectele digitale. Acest lucru a fost necesar deoarece în ultimii ani ai deceniului al doilea și începutul celui de-al treilea, comunitatea se orientează către instrumente mai flexibile, date mai bine interconectate. Ținta finală este ca acestea să poată fi ușor de găsit și rapid de introdus în fluxuri de prelucrare complexe. Bineînțeles, partea care va cataliza aceste schimbări se leagă în mod direct de modul în care componentele depozitelor digitale care implementează API-uri web, vor fi îndeajuns de reactive, îndeajuns de ușor de integrat în fluxurile de prelucrare ale unor instrumente terțe. Din această perspectivă, a fost necesară investigarea tehnologiilor pentru comunicarea datelor și a metadatelor. Un studiu cât mai complet privind instrumentele existente (cu sursă deschisă în funcție de rata de adopție) nu putea ignora dimensiunea prezervării digitale, care oferă cel mai căutat atribut pentru un depozit digital în acest moment: încrederea.

**Capitolul trei** este dedicat modului în care se realizează interconectarea datelor. Acesta este și cel mai tehnic conținut, fiind analizate în detaliu arhitecturile și protocoalele care stau la baza implementărilor software ale API-urilor web și nu numai. Au fost introduse în analiză API-uri bazate pe cerere-răspuns, dar și cele care se bazează pe evenimente. Această analiză a fost cuplată cu studiul RFC-urilor (Request for Comments), adevăratele standarde care fundamentează tehnologiile WWW care sunt gestionate de IETF (Internet Engineering Task Force, <https://www.ietf.org/>). O analiză a activității IETF a revelat existența unui grup dedicat standardizării comunicării între mașini folosind API-urile web: *Building Blocks for HTTP APIs Working Group*. Au fost investigate modelele actuale de comunicare a metadatelor în biblioteci și organizațiile care întrețin depozite digitale: Z39.50 și OAI-PMH. Pentru continentul european, au fost evaluate serviciile pe care le pun la dispoziție bibliotecile naționale. Acest tur european a fost necesar pentru a contura practicile existente privind comunicarea între cataloage, dar și accesarea datelor de la distanță. Acest tur de

orizont european revelează succesul standardului OAI-PMH, dar povestea pe care o spune cu adevărat este cea a unei stăruinţe în utilizarea tehnologiilor odată ce acestea au fost adoptate. Mai mult, pentru instituțiile de memorie, în special bibliotecile, ceea ce capitolul trei dezvăluie este faptul că din momentul ce o tehnologie a fost adoptată aceasta va fi menținută în viață chiar dacă în paralel sunt adoptate și altele care se bucură de un succes similar sau care oferă un avantaj competitiv net superior.

Studiul este completat și prin evaluarea modelelor de implementare a aplicațiilor web moderne care sunt găzduite și administrate folosind servicii cloud. Arhitectura internă a acestor aplicații indică o preferință către microservicii în tandem cu tehnologiile de virtualizare.

Tot acest capitol clarifică detaliile privind eforturile de standardizare a API-urilor investigând soluția care s-a impus mai întâi ca bună practică sub numele de Swagger și mai recent specificația unanim acceptată intitulată OpenAPI. Partea tehnică care privește API-urile este utilă doar dacă poate fi încadrată în politici care să ofere perspectiva continuității și astfel a finanțării. Din această perspectivă, studiul ajuns în acest punct ia în considerare politicile la nivel european care vizează realizarea unei piețe unice și pentru date cu o perspectivă care privește tehnologiile blockchain. Unul din aspectele importante în realizarea unor spații informaționale noi în care datele sunt articulate prin API-uri se referă la aplicarea ontologiilor în contextul grafurilor de cunoaștere, precum și a principiilor Datelor Conectate (Linked Data).

**Capitolul patru** are în vedere construirea unui nou model care să implice tehnologiile Web2 și Web3. Totodată acest model exploratoriu își are fundamentele în concluziile trase în urma unei analize a unui set de date care include API-urile cele mai folosite în acest moment.

Sunt analizate conceptele principale ale sistemelor distribuite care fac parte din Web3. Acest parcurs conduce la înțelegerea posibilelor oportunități de extindere a serviciilor depozitelor digitale câtă vreme aceste devin noduri ale Web3. Este analizată paleta de oportunități pe care Interplanetary File System le propune în vederea integrării și accesului mai rapid eliminând cât mai mulți intermediari țintind un mediu cât mai sigur de exploatare. Sunt evaluate avantajele și arhitectura IPFS. O atenție deosebită a fost dată modului în care datele sunt tratate și mai ales identificate în contextul IPFS.

Modelul propus privește un obiect digital din perspectiva necesităților ca acesta să fie unul dinamic. Să aibă capacitatea de a se conecta și de a răspunde nativ unor cerințe de valorificare. Este introdus un concept nou care are în vedere transformarea unui obiect digital pasiv așa cum modelele actuale îl tratează, într-unul reactiv. Realizarea acestui nivel de *reactivitate* implică tehnologiile blockchain precum smart contracts, dar și capacități de a interacționa prin API-uri cu infrastructura deja existentă.

**Capitolul cinci** vizează realizarea unui model funcțional pentru API-uri integrate cu Web3. Pentru a ajunge la concluziile necesare din punct de vedere al implementării software, am ales să explorez două soluții de integrare a obiectelor digitale. Prima este implementarea unui depozit digital specializat la Biblioteca Națională de Fizică de la Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizica și Inginerie Nucleară "Horia Hulubei" – IFIN-HH, iar cea de-a doua este o soluție creată special pentru a agrega obiecte digitale din domeniul educației (Resurse Educaționale Deschise). Cele două abordări, prima legată de integrarea unor resurse existente folosind o aplicație open



source și cea de-a doua construită de la zero, au oferit o perspectivă completă asupra capacităților, precum și a limitărilor stivei tehnologiilor Open Web Platform.

Au fost prezentate două soluții software la care am lucrat pe toată durata programului doctoral. Prima implică implementarea unei soluții software existente care este adoptată pe scară largă pentru a semantiza conținuturile agregate (Omeka S), iar cea de-a doua soluție este una originală dedicată agregării de Resurse Educaționale Deschise.

Capitolul șase și șapte sunt dedicate discuțiilor și concluziilor finale.

## Metodologia de cercetare

Teza are la bază două studii principale. Primul este o analiză bibliometrică extinsă pe mai multe colecții de articole de cercetare științifică provenite din activitatea unor conferințe și reviste de prestigiu din domeniu, iar cel de-al doilea pe un set de API-uri cu scopul de a găsi elementele care definesc implementările existente.

În primul studiu au fost investigate peste cinci mii de articole de cercetare pentru a contura un state of the art și pentru a evalua cât mai corect zona în care se află preocupările pentru API-uri în contextul valorificării cercetării științifice și a patrimoniului cultural. Acestea sunt:

- ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL - <https://www.jcdl.org/>)
- Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH - <https://dl.acm.org/journal/jocch>)
- Semantic Web in Libraries (SWIB - <https://swib.org/>)
- Research and Advanced Technology for Digital Libraries (ECDL/TPDL - <https://link.springer.com/conference/tpdl>)
- Internațional Journal of Digital Libraries (JODL - <https://www.springer.com/journal/799>)
- Code4Lib - <https://code4lib.org/>

Aceste repere au fost alese pentru valoarea lucrărilor publicate, pentru complexitatea sporită a soluțiilor prezentate în articolele de cercetare, precum și pentru dimensiunea istorică. Acest ultim aspect s-a dovedit foarte util pentru a contura un context ce a mijlocit înțelegerea unor aspecte privind evoluția soluțiilor și a unor sisteme utilizate astăzi.

S-a procedat la citirea tuturor abstractelor după care s-a făcut o indexare manuală (așa numitul *golden standard*), fiind extrase conceptele principale tratate în articolul/lucrarea de cercetare. Nu au fost întrebunțate mijloace de extragere automată din necesitatea de a explora complet și aprofundat întregul corp al literaturii științifice. Focalizarea a fost pe identificarea întregii literaturi științifice care să fie descrisă de următoarele concepte: Application Programming Interface, API, RESTful sau APIs.

Pentru a realiza investigația, au fost folosite pachete software existente așa cum este Zotero, VosViewer și Obsidian, dar pentru că datele aveau nevoie să fie modelate în anumite etape intermediare, au fost scrise două pachete software care sunt disponibile cu sursă deschisă.

Pachetele software cu sursă deschisă care au fost utilizate sunt:

- **Obsidian** (<https://obsidian.md/>) - o aplicație folosită pentru luarea de notițe personalizate, dar care a fost folosită pentru a strânge, curatoria și adnota datele articolelor de cercetare. Pentru salvarea datelor au fost folosite plugin-urile Dataview, DB Folder, JSON/CSV Importer;

- **Zotero** (<https://www.zotero.org/>) - o aplicație folosită pentru a colecta, organiza și formata citările lucrărilor de cercetare. Acest pachet software a fost folosit în dublu rol. Primul fiind de filtrare a datelor bibliografice extrase din Obsidian după ce acestea au fost colectate. Al doilea rol a fost cel de organizator al notelor bibliografice pentru lucrarea de față;
- **LibreOffice Calc** (<https://www.libreoffice.org/>) – pachet de lucru cu foi de calcul tabelar pentru a reformata rapid conținutul fișierelor CSV;
- **OpenRefine** (<https://openrefine.org/>) - pachet folosit pentru curățarea și formatarea datelor;
- **Gephi** (<https://gephi.org/>) a fost utilizat ca soluție de clusterizare și vizualizare a grafului rezultat;
- **VOSviewer** (<https://www.vosviewer.com/>) a fost folosit folosit pentru a investiga rapid datele bibliografice.

Aplicațiile software care au fost scrise special pentru a prelucra datele bibliografice necesare analizei sunt cinci din care două au un caracter privat, iar restul de trei pot fi consultate și folosite liber accesând următoarele repo-uri de la Github ce conțin software create special pentru necesitățile de transformare și analiză ale acestui studiu:

- **obsidian-auto-metadata** (<https://github.com/kosson/obsidian-auto-metadata>), fiind o aplicație care îmbogățește cu metadate note de Obsidian pentru articole de conferințe sau de revistă. Din nefericire, Obsidian-ul nu este îndeajuns cu propriile instrumente în ceea ce privește generarea de metadate. Din acest motiv, am creat această aplicație care în baza structurii unei note Obsidian, fiind un fișier Markdown, colectează datele primare ale acestuia (titlu, autori și abstract) pe care le scrie în zona metadatelor în format YAML, îmbogățind astfel nota care abia după această prelucrare este gata de a fi expusă unor completări ulterioare și apoi a recoltării acestor date pentru a constitui setul necesar în format CSV;
- **csv-to-ris** (<https://github.com/kosson/csv-to-ris>) transformă o structură simplă a datelor bibliografice aflate în format CSV într-un fișier RIS necesar importului fie în Zotero, fie în VOSviewer. Această versiune permite includerea abstractului dacă se dorește;
- **GnodEdge** (<https://github.com/kosson/GnodEdge>) transformă un set de date bibliografice într-un graf pregătit să fie explorat cu pachetul specializat Gephi. Acest pachet aplică transformări repetate datele pentru a detecta care descriptori (cuvânt cheie/concept) identifică cele mai multe lucrări de cercetare.

Datele bibliografice au avut un parcurs dictat de necesitatea finală a unei analize asistate de pachetele Gephi și VOSviewer implicând metadatele de natură bibliografică. Pentru a realiza o perspectivă cât mai completă asupra resurselor de cercetare investigate, a fost realizată o bază de cunoștințe locală (personal knowledge base) folosind aplicația Obsidian (obsidian.md). Această aplicație a fost aleasă pentru simplitatea și expresivitatea oferită în efortul de a crea și analiza notele de studiu personale. Trecând peste detaliile tehnice, Obsidian a fost folosit drept bază de date ad-hoc pentru a investiga resursele bibliografice, pentru a organiza resursele de cercetare, pentru a extrage note utile investigației și pentru a obține un graf de cunoaștere înalt conectat prin crearea de resurse suplimentare: o bază de acronime, un glosar și o bază dedicată cercetătorilor implicați/descoperiți pe parcursul parcurgerii literaturii științifice. Fiecare revistă are propriul director, fiecare articol beneficiază de propria notă în care în afară de zona metadatelor care este vitală, conține cel puțin abstractul. Un motiv foarte important pentru care a fost aleasă soluția

Obsidian este cel legat de capacităţile de analiză pe care le oferă prin diferite mecanisme de filtrare a datelor, dar mai ales pentru capacităţile de import şi export a datelor şi metadatelor. Datele au fost importate în Zotero ca mai apoi Zotero să fie folosit ca un dispecer de date formate folosind diferite formate pentru distribuirea datelor bibliografice. De exemplu, pentru analiza datelor folosind VOSviewer, am exportat datele din Zotero în format RIS.

Subiectele alese pentru alegerea domeniului de investigare au fost legate de contextul în care API-urile îşi găsesc utilitatea: depozitele digitale, bibliotecile digitale şi tehnologiile utilizate pentru a realiza implementări software pentru acestea. Din această perspectivă, am ales sfera metadatelor, care au un pilon solid acorat în domeniul tehnologiilor web-ului semantic. S-a procedat la citirea tuturor abstractelor după care s-a făcut o indexare manuală (aşa numitul *golden standard*), fiind extrase conceptele principale tratate în articolul/lucrarea de cercetare. Nu au fost întrebuiţate mijloace de extragere automată din necesitatea de a explora complet şi aprofundat întregul corp al literaturii ştiinţifice. Focalizarea a fost pe identificarea întregii literaturi ştiinţifice care să fie descrisă de următoarele concepte: Application Programming Interface, API, RESTful sau APIs. Acest efort nu a fost singular, ci a fost însoţit de investigaţii suplimentare folosind aplicaţii care realizează o filtrare a informaţiei după termenii de indexare vizaţi.

Explorarea şi vizualizarea datelor a fost realizată şi cu Gephi, un pachet software recunoscut pentru perspectivele sintetice asupra unui graf în care sunt organizate datele. Pentru a construi un graf viabil în Gephi, acesta are nevoie de două fişiere distincte, unul care cuprinde toate entităţile aflate în graf, iar cel de-al doilea toate muchiile grafului, mai exact care entitate se leagă de alta şi care sunt atributele acestei conexiuni. Deoarece, pentru analiza înregistrărilor bibliografice nu există un instrument care să creeze fişierele mai sus amintite, am creat un software specializat numit GnodEdge, care poate fi consultat la adresa: <https://github.com/kosson/GnodEdge>.

Setul de date consolidat a fost supus transformărilor menţionate în ghidul de la <https://github.com/kosson/GnodEdge/blob/main/DOCS/preparingdata.md> şi apoi au trecut printr-o etapă manuală de prelucrare, după care, conform ghidului aplicaţiei create accesibil de la <https://github.com/kosson/GnodEdge/blob/main/DOCS/operations.md>, resursele necesare construcţiei grafului în Gephi au fost disponibile gata de a fi transformate într-un graf util. Odată importate în aplicaţie, datele au fost îmbogăţite cu indici statistici obţinuţi prin aplicare unor algoritmi caracteristici grafulor. Scopul acestei prelucrări a fost acela de a înţelege contextul în care topicurile legate de API-uri stabilesc legături cu descriptorii centrali descoperiţi la indexarea corpului de literatură ştiinţifică.

Pentru a contura mai temeinic aceste concluzii, am căutat să investighez dinamic şi Wikipedia, tratând fiecare pagină dedicată unui subiect de interes ca pe un potenţial nod al unui graf capabil să releveze legături ce confirmă ori diminuează cele aflate. În acest scop am folosit o aplicaţie numită Seealsology care poate fi accesată de la următorul link <https://densitydesign.github.io/strumentalia-seealsology/>. Drept set de date de lucru, au fost oferite trei liste care diferă prin potenţialul revelatoriu al setului de conexiuni.

În ceea ce priveşte analiza API-urilor existente, a fost folosit Google Forms pentru a crea un formular special, care în zona administrativă creează un Google Sheet cu datele culese. Astfel, Google Forms în completare cu Google Sheets au fost utilizate pentru a crea o mini bază de date.

Această soluție a fost aleasă pentru flexibilitate și pentru posibilitățile analitice native ale lui Google Forms.

Pentru a crea un context cuprinzător și bine fundamentat, au fost cercetate standardele tehnologiilor Open Web Platform cu extindere către Web-ul Semantic și Web3. În același scop au fost investigate și bunele practici în ceea ce privește expunerea și conectarea la date folosind World Wide Web. Aceste adevărate premise au catalizat un studiu care a avut în centru conceptul de Obiect digital și prin extindere Obiectele Digitale FAIR.

Datele au fost colectate pe parcursul a cinci luni, începând cu februarie 2023, până la începutul lunii iunie a aceluiași an. S-a căutat un echilibru bun în ceea ce privește instituțiile implicate în acest studiu. Domeniile de comunicare academică și patrimoniu cultural au fost alese deoarece datele care provin din API-urile lor au potențialul de a se conecta și de a deveni părți ale lanțurilor/fluxurilor de lucru de exploatare. Toate API-urile au fost investigate accesând site-urile instituțiilor lor, citind paginile de ajutor și întrebări frecvente. Pentru majoritatea API-urilor descoperite, au fost create conturi care analizează posibilitățile de acces direct la date și metadata. După ce au fost create conturi pentru punctele de desfacere care necesită această abordare, a fost creată o colecție în software-ul specializat Postman cu scopul de a extrage date mostre pentru analize ulterioare. Analiza acestor eșantioane a fost făcută pentru a găsi identificatorii utilizați în metadatale returnate drept date. Acești identificatori ar constitui tot atâtea puncte de legătură cu entități ce ar îmbogăți contextul, fie acestea înregistrări bibliografice, fie obiecte digitale care aparțin unor domenii (namespace-uri) bine-cunoscute sau chiar datele accesibile direct.

Aceste API-uri au fost investigate la nivelul metadatelor expuse în înregistrări mostră, iar în cazurile în care documentația nu le-a furnizat, au fost create conturi urmând îndrumarea furnizorilor pentru a obține token-uri de acces în vederea autentificării. Următorii furnizori au fost explorați urmând documentația pusă la dispoziție pentru a obține eșantioane de metadata folosind binecunoscutul software Postman: arXiv, Orcid, Springer Nature, FAIRSharing API, DPLA (Digital Public Library of America), New York Times, and Elsevier.

Datele au fost colectate pentru a poziționa cât mai bine serviciul API în contextul serviciilor digitale în care este integrat și din acest motiv, au fost colectate date privind locația documentației, linkul direct către serviciul API acolo unde acesta există pentru că uneori accesul se face prin intermediul precizărilor din documentație, instituția tutelară sau departamentul acolo unde a fost cazul și o descriere. Acestea au fost urmate de mai multe detalii de natură tehnică pe care le vom analiza după cum urmează. Portalurile de date naționale și internaționale dedicate cataloagelor cu date provenind de la instituțiile care furnizează informații din sectorul public nu au fost incluse în acest studiu pentru a nu crea o suprapunere a profilului instituțiilor de memorie și de cercetare cu a celor care creează puncte de agregare pentru datele de interes general ale tuturor domeniilor de activitate umană.

## Repere ale parcursului de cercetare

Efortul de cercetare poate fi jalonat prin câteva concluzii privind fiecare dintre etapele parcurse în fiecare capitol. Aceste concluzii punctează efortul de investigație care a vizat toate reperele tehnice, de bună practică și politice.

Analiza literaturii științifice a revelat o bună conectare a conceptelor privind API-urile cu restul descriptorilor extrași din articole. Acest lucru indică faptul că API-urile doar aparent nu sunt un subiect central pentru domeniul managementului datelor și a rezultatelor de cercetare. De fapt, în cele mai multe cazuri API-uri sunt mecanisme care se află în subsidiar, prezența lor nu este necesar a fi scoasă în evidență, fapt care le oferă importanță aparent redusă. Cuplat cu un studiu expus în lucrare, care analizează un set de API-uri ale căror descriere și caracteristici au fost completate drept atribute descriptive, aceste mecanisme de conectare devin elemente centrale în distribuirea/interconectarea datelor. Ca o concluzie finală a analizei literaturii de cercetare științifică, API-urile sunt o componentă a serviciilor de management a datelor care este prezentă în contextul obținerii de metadate ce descriu entitățile/obiectele digitale. API-urile sunt construite ca părți componente ale soluțiilor software. Fiecare API este adaptat local la necesități punctuale. Nu există o armonizare a implementărilor alta decât prescripțiile oferite de W3C sau industrie.

Protocolul HTTP se comportă ca un liant fundamental al comunicării în WWW, fapt care îl poziționează în centrul spațiului informațional din care și API-urile web fac parte. HTTP/1.1 a fost publicat în 1998, iar doi ani mai târziu Roy Thomas Fielding de la Universitatea din California, Irvine propune un nou stil arhitectural pentru sistemele software care realizau distribuirea de hypermedia. Acest nou stil arhitectural numit Representational State Transfer - REST devine o arhitectură esențială pentru toate API-urile web realizate în ultimii 20 de ani. Analiza API-urilor nu se poate face fără o analiză a modului în care datele pe care un API le pune la dispoziție sunt serializate într-un aranjament de text a cărui sintaxă urmează regulile unor standarde folosite universal. Putem spune că resursele web pe care le putem accesa printr-un API sunt niște reprezentări ale datelor, o reprezentare a stării în care acestea se aflau înainte de a fi solicitate. Înainte de a fi trimise celui ce le-a cerut, datele sunt transformate în documente tip text prin procesul de serializare, rămânând la latitudinea programatorilor să aleagă un format care să fie îndeajuns de expresiv pentru a codifica înregistrări a căror complexitate uneori este foarte mare.

Obiectele digitale sunt fundamentul înțelegerii arhitecturilor moderne ale componentelor rețelelor de valorificare și distribuire a rezultatelor de cercetare științifică, precum și a obiectelor aparținând patrimoniului cultural digital. Înțelegerea acestora se dovedește absolut necesară pentru a realiza contextul serviciilor și acțiunilor curatoriale necesare managementului și pentru realizarea unei prezervări digitale ale acestora.

Entitățile implicate în tranzacțiile de date folosind API-urile sunt obiecte digitale serializate, care folosesc *stiva de protocoale*<sup>2</sup> și componentele *Modelului OSI*<sup>3</sup> pentru ca împreună cu tehnologiile Open Web Platform<sup>4</sup> să realizeze transferul datelor dintr-un sistem de calcul în altul aflat la distanță, cu scopul de a satisface necesități de prelucrare sau afișare a informației. În contextul valorificării cercetării științifice și a patrimoniului cultural digital, aceste entități se numesc obiecte de cercetare (*research objects*) sau Obiecte Culturale de Patrimoniu - Cultural Heritage Objects (CHO). Congruent cu aceste eforturi pentru a contura

2 [https://en.wikipedia.org/wiki/Protocol\\_stack](https://en.wikipedia.org/wiki/Protocol_stack)

3 [https://en.wikipedia.org/wiki/OSI\\_model](https://en.wikipedia.org/wiki/OSI_model)

4 [https://en.wikipedia.org/wiki/Web\\_platform](https://en.wikipedia.org/wiki/Web_platform)

o entitate digitală capabilă să satisfacă mai multe cerințe tehnice și conceptuale în domeniul valorificării cercetării științifice, există un domeniu care deja a acumulat propriile experiențe bogate în gestionarea unor obiecte digitale de o complexitate crescută. Acest domeniu este cel al educației, care are nevoi similare în ceea ce privește *împachetarea* obiectelor educaționale, fie acestea în contexte izolate de învățare, fie Resurse Educaționale Deschise. Pentru a studia experiența de lucru cu obiecte digitale de înaltă complexitate și heterogenitate, a fost investigat domeniul educațional care a revelat o experiență din care se pot extrage multe concluzii importante privind gestionarea, conectarea și distribuirea acestora folosind API-uri.

Rezultatele cercetării științifice sunt înțelese drept obiecte digitale, care indiferent de format și dimensiune trebuie să devină parte a rețelelor de valorizare inițiate de Comisia Europeană prin înființarea Spațiului European de Cercetare, o piață internă pentru cercetare. Crearea acestei piețe, în fond, o placă turnantă pentru cercetare, este un obiectiv specific al Uniunii Europene, a cărui catalizator este Știința Deschisă, conform comunicării *O nouă ERA pentru cercetare și inovare* din 2020. Conform cerințelor pentru integrarea în structurile de cercetare interoperabile ale European Open Science Cloud, datele de cercetare trebuie să fie conforme principiilor FAIR<sup>5</sup> (Find, Access, Interoperate, and Reuse), ceea ce le transformă în FAIR Digital Objects (EOSC Executive Board and Directorate-General for Research and Innovation (European Commission), 2020). Ușor de observat este rolul central pe care metadatele îl joacă, acesta având un rol primordial pentru realizarea interconectării datelor. Rolul acestor documente legate de integrarea principiilor FAIR în toate activitățile legate de cercetarea științifică ale Uniunii Europene trimit direct la necesitatea de a înțelege ce este un obiect digital de cercetare așa cum se desprinde din textele investigate. Aceste entități digitale pot constitui părțile necesare dintr-un flux de prelucrare (*workflow*). În acest moment, pentru a ajunge la rezultatele unui studiu de cercetare, ar trebui ca toate etapele de prelucrare a datelor experimentale să fie recreate. Util ar fi dacă întreg fluxul de prelucrare ar putea fi memorat într-un anumit fel pentru a fi inițiat ori de câte ori este necesar să se ajungă la rezultat. API-urile pot juca un rol esențial în obținerea resurselor care constituie obiectul digital de cercetare.

Research Data Alliance propune un set de indicatori măsurabili derivați din principiile FAIR pentru a răspunde la întrebarea „ce trebuie măsurat pentru a vedea gradul de conformitatea FAIR a unui obiect digital”. Astfel, au fost creați patruzeci și unu de indicatori, care împreună constituie un model ce poate fi implementat mai departe în instrumente capabile să evalueze un set de date dacă respectă principiile. O examinare atentă a Modelului va revela faptul că toți indicatorii sunt foarte importanți în economia accesării obiectelor digitale folosind API-urile. Putem spune că aceștia creează un adevărat parcurs de verificare pentru cei care creează API-uri, cât și pentru cei care le accesează dincolo de soluțiile tehnice de la baza implementărilor.

---

5 <https://www.eoscsecretariat.eu/working-groups/fair-working-group>

Metadatele sunt partea cea mai valoroasă în economia interconectării seturilor de date. Metadatele se disting unele de celelalte prin faptul că servesc unor aspecte tehnice diferite. Unele vizează palierul administrativ, altele oferă informație privind structura datelor, iar cele care privesc natura, utilitatea și contextul în care pot fi utilizate sunt cele descriptive. Importanța metadatelor este relevată prin faptul că acestea sunt cele care fac diferența dintre o simplă agregare de resurse electronice și un obiect complex care prin modul de realizare a conexiunilor cu părțile devine înalt funcțional și astfel, reutilizabil. Conform principiilor FAIR, metadatele trebuie să fie bogate, să fie identificate unic, să includă identificatorii obiectelor digitale pe cărora le sunt atașate și să fie indexate folosind un mecanism care le expune persoanelor interesate sau agenților.

Un depozit digital este o entitate care permite căutarea și interogarea, fiind capabil să stocheze, să gestioneze și să cureze (cu înțeles de administrare) Date/Obiecte Digitale (Research Data Alliance). Depozitele digitale sunt structuri de servicii care oferă soluții optime pentru organizarea resurselor digitale. În contextul spațiului informațional al WWW, obiectele digitale sunt numite resurse. Funcționalitățile de bază ale unui depozit digital:

- căutare/regăsire
- comunicarea și/sau interconectarea obiectelor prin metadata
- integrarea facilă a obiectelor din alte depozite

Depozitele digitale sunt un set de capacități și modele administrative peste un set sau mai multe de obiecte digitale și seturi de date.

La începutul anilor 2000, depozitele digitale concentrau dezvoltarea în jurul instituțiilor („a «silo» trend”) care mai apoi s-au extins datorită proiectelor internaționale care aveau în vedere agregarea colecțiilor peste care să existe servicii de căutare federată. Aceasta este decada în care se cristalizează arhitecturile soluțiilor software cum ar fi Fedora, DSpace sau EPrints. Mișcarea Accesului Deschis devine un catalizator pentru soluții de management eficiente a rezultatelor de cercetare.

Bibliotecile digitale sunt servicii cu înaltă specializare construite pe depozite digitale care oferă serviciile de bază pentru gestionarea resurselor digitale. Resursele digitale sunt informațiile structurate în fișiere după tipurile și funcționalitățile lor. Toate resursele digitale care se supun rigorilor de organizare prin depozite digitale trebuie să fie descrise după standarde specifice. Acest lucru este vizibil atunci când accesăm un depozit digital constituit pentru a servi comunitatea arhiviștilor, o altă organizare ne oferă un depozit digital realizat de comunitatea bibliotecarilor. Aceste posibile forme de organizare a resurselor nu se mărginesc doar la comunitățile menționate, ci sunt extinse tuturor persoanelor fizice și juridice care au nevoie să-și structureze riguros colecțiile, fie acestea fizice, fie exclusiv digitale.

Rolurile și responsabilitățile instituțiilor de memorie în ceea ce privește rezultatele cercetării și patrimoniul cultural evoluează în contextul unei lupte dificile cu creșterea colecțiilor digitale și scăderea alocării bugetare. Această lucrare caută să găsească

aspectele importante ale modului în care practicile de conservare digitală sunt încorporate activ în acţiunile și politicile de gestionare a depozitelor digitale. Investigația a luat în considerare documentele majore emise de cele mai respectabile instituții europene și internaționale, cu un interes deosebit pentru strategii, cadre de formare și cadre de politici dedicate care caută soluții pentru preservare de lungă durată.

Application Programming Interfaces (APIs) este un mecanism modern care permite interconectarea datelor și a serviciilor discrete în contextul necesității crescute de a realiza spații informaționale articulate prin intermediul cărora sunt vehiculate și/sau prelucrate automat sau semi-automat date. API - Application Programming Interface realizează comunicarea între computere prin expunerea unor mecanisme de interacțiune cu software-ul acestora. Un API nu este o interfață ce asigură interacțiunea unui utilizator cu software-ul în înțelesul interfețelor grafice. Este o facilitate pusă la dispoziția programatorilor pentru a integra datele și serviciile API-urilor în propriile aplicații. Natura profundă a API-urilor este comunicarea și accesul la date. Din această perspectivă a comunicării, API-urile sunt create după paradigma cerere-răspuns (request/response APIs) sau ca mecanisme de lucru cu evenimente (event-driven APIs).

În esență, ceea ce se realizează folosind API-urile este o integrare a diferitelor pachete software care comunică. Ba mai mult, se realizează o comunicare a sistemelor distribuite. Tehnic privind, API-urile simplifică foarte mult programarea sistemelor pentru că mută efortul într-un plan abstract, iar focalizarea se face pe datele/obiectele care sunt prelucrate/transmise. Acest plan abstract este numit uzual astfel pentru că izolează mecanismele necesare interacțiunii cu datele în comenzi/instrucțiuni simple. Dincolo de interfața prin care le acționezi, acestea au un ciclu de viață propriu, incluzând pachete software acționate, procesele inițializate, ș.a.m.d. Abstractizările în contextul API-urilor sunt acțiuni simple care ascund procese complexe. API-urile se comportă ca un punct de contact al programatorilor cu un sistem software. API-ul ascunde detaliile unei anumite implementări (funcții, proceduri, clase). Ceea ce expune este un set redus de mecanisme care sunt bine documentate prin intermediul cărora se poate interacționa într-o manieră consistentă în timp cu o aplicație software. Este posibil ca modul în care se face implementarea să se modifice în timp, dar dacă mecanismele de apel ale API-ului rămân aceleași, având același efect, se atinge un nivel de exploatare stabil și predictibil. Astfel, API-urile pot deveni componentele unui sistem mai mare, iar întreținerea acestuia este mult mai ușoară în timp. Oricare API are o specificație care precizează modul în care funcționează. În acest moment, adoptarea cvasi-universală a API-urilor ca model de expunere a datelor a condus la organizarea aplicațiilor software ca microservicii. Acest model, împreună cu atingerea unui nivel de maturitate a tehnologiilor de virtualizare și a dezvoltării cloud computing-ului, constituie paradigma prevalentă privind dezvoltarea de aplicații web. În schimb, multe dintre acestea au la bază o arhitectură caracteristică unei aplicații cloud, ceea ce implică o bună orchestrare a componentelor numite curent *servicii*. Fiecare serviciu poate reprezenta câte o funcție a aplicației. Aceasta poate beneficia de propria implementare software ceea ce permite un grad de flexibilitate pentru programatori. Toate aceste componente comunică folosind protocoalele REST API-urilor sau prin medierea mesajelor (*brokering*), utilizând servicii oferite de terți. Astfel, aspectul monolitic (*tight integration*) cu care am fost obișnuiți începe să cedeze presiunii unor arhitecturi mult mai flexibile (*loosely coupled*) și mai ușor de întreținut.



API-urile web au devenit din ce în ce mai populare în ultimii zece ani, fapt care a condus la necesitatea de a standardiza modul în care acestea sunt construite. Cel mai folosit standard în acest moment este OpenAPI care este investigat pentru a contura aspectele care i-au propulsat succesul. OpenAPI Specification (OAS)<sup>6</sup> defineşte un mod standardizat de a descrie interfaţa prin care se face accesul la un API bazat pe HTTP cu scopul de a permite clienţilor să înţeleagă ceea ce oferă API-ul fără a fi necesar să accesezi codul sursă al serviciului respectiv ori documentaţia aferentă. Realizarea unui API care se conformează standardului OpenAPI Specification (OAS) elimină ambiguităţile şi eforturile de a aproxima detaliile necesare pentru a face apeluri HTTP reuşite către punctele de acces ale serviciului (*endpoints*).

### ***Palierul european de sprijin politic***

Strategia Europeană pentru Date ţinteşte să transforme Uniunea Europeană într-un lider al societăţii bazate pe date prin realizarea unei pieţe unice dedicate acestora, în care este garantată libera lor circulaţie inter-sectorială cu beneficii directe pentru mediul de afaceri, cercetare şi administraţia publică. Cel mai important aspect care merită a fi ţinut mereu în atenţie este acela că oamenii trebuie să fie în centrul tuturor preocupărilor legate de această strategie în contextul mai larg al *Decadei digitale*<sup>7</sup>. Strategia europeană pentru date mai implică şi crearea de spaţii pentru date (*data spaces*) în diferitele domenii şi sectoare de activitate. Conform Data Spaces Support Centre (<https://dssc.eu/> - DSSC) creat de curând în sprijinul implementării acestor spaţii de date, acestea sunt infrastructuri care mijlocesc tranzacţionarea de date.

În considerentul 27 al Directivei 1024 din 20 iunie 2019 se face o separare a datelor de cercetare de articolele de cercetare ştiinţifică în contextul publicării cu Acces Deschis, dar cel mai important aspect este cel al importanţei pe care o capătă planul de management al datelor care se doreşte a fi integrat în practica ştiinţifică. Nu lipseşte calificarea datelor ce trebuie să respecte principiile FAIR. Mai mult, în considerentul 28, Statele Membre ar trebui să se oblige la adoptarea unor politici privind Accesul Deschis la datele de cercetare. O altă precizare foarte importantă este legată de faptul că datele nu trebuie neapărat să fie agregate în depozite digitale specializate, prevederile directivei fiind extinse şi la cele care sunt ataşate articolelor de cercetare publicate într-o revistă sau chiar în publicaţii seriale dedicate publicării documentelor cu date incluse. Considerentul 30 este dedicat stabilirii unei definiţii pentru termenul de *document*<sup>8</sup>, iar la considerentul 31, pentru datele colectate în mod dinamic este indicat drept mecanism de acces API-urile. API-urile capătă valoarea instrumentului de valorificare a *potenţialului economic*. Acest pas este foarte important pentru că include şi atribute care pot descrie foarte bine şi datele. În considerentul 32 este oferit iţie a API-ului: *un API este un set de funcţii, proceduri, definiţii şi protocoale pentru comunicarea între maşini şi distribuirea fără limitări a datelor*. Un accent important este pus pe calitatea documentării API-urilor şi chiar este indicat fără a numi specific standardizarea API-urilor folosind OpenAPI.

6 <https://spec.openapis.org/oas/latest.html> şi GitHub: <https://github.com/OAI/OpenAPI-Specification>

7 <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/europes-digital-decade>

8 Prezenta directivă prevede definiţia termenului „document”, iar definiţia respectivă ar trebui să includă orice parte a unui document. Termenul „document” ar trebui să cuprindă orice reprezentare a unor acte, fapte sau informaţii şi orice compilaţie a unor astfel de acte, fapte sau informaţii, indiferent de mediul de stocare (pe hârtie, în formă electronică sau sub forma unei înregistrări audio, video sau audiovizuale). Nu se intenţionează ca definiţia termenului „document” să cuprindă programele informatice. Statele membre pot extinde aplicarea prezentei directive la programe informatice.

Joint Research Centre (JRC) a publicat în 2020 un Raport intitulat Application Programming Interfaces în Governments: why, what and how (Vaccari et al., 2020) și în 2022 un Raport tehnic intitulat API strategy essentials for Public Sector Innovation (Posada et al., 2022). Raportul Application Programming Interfaces în Governments: why, what and how prezintă rezultatele studiului Application Programming Interfaces for Digital Government (APIs4DGov) întreprins de Comisia Europeană pentru a înțelege rolul API-urilor în sectorul public precum și posibila adoptare pe scară largă de arcul instituțional guvernamental al fiecărui Stat membru. Obiectivele raportului din 2020 au fost dictate de necesitatea de a evalua relevanța și gradul de adoptare al API-urilor în contextul mai larg al necesităților de digitalizarea ale guvernelor. Politicile europene au în vedere realizarea de ecosisteme digitale (A Europe Fit for the Digital Age), vizând o transformare a relațiilor dintre participanți în contextul unei economii transformate calificată drept o economie dinamică bazată pe date (data-agile economy). Câteva concluzii ale raportului din 2020 afirmă necesitatea introducerii API-urilor ca o componentă a digitalizării datorită modularității și al gradului ridicat de reutilizare. La nivel european, adoptarea API-urilor ar trebui făcută într-un mod coordonat pentru a evita efectele negative pe care adoptarea ad-hoc le aduce în exploatarea de lungă durată. Un aspect foarte bine surprins de raport este faptul că API-urile permit instituțiilor să evite efectul de „siloz” de date. Studiul oferă și o definiție a API-ului pe care o vom adopta drept reper de înțelegere pentru această lucrare: Application programming interfaces (APIs) sunt interfețe digitale care ușurează schimbul de date și servicii (funcționalități).

Rolul API-urilor este în creștere odată cu infrastructura utilizată pentru gestionarea metadatelor. Infrastructura trebuie să satisfacă preocupările tot mai mari privind conservarea digitală pe termen lung. Pentru toate cercetările efectuate în cadrul Orizont 2020, cercetătorii trebuie să depună lucrările (într-un format care poate fi citit de mașină) și datele în „depozite de încredere”, conform articolului 17 din modelul de acord de grant (Acordul de Grant adnotat). Această cerință este, de asemenea, pătrunsă în ghidurile de publicare ale Open Research Europe, serviciul european de publicare cu acces deschis oferit cercetătorilor implicați în proiectul Orizont 2020. Din acest motiv, setul de date furnizat de CoreTrustSeal a fost luat în considerare pentru analiză. CoreTrustSeal este un set de cerințe pentru depozitele care poartă numele complet CoreTrustSeal Trustworthy Digital Repository (TDR) Requirements. Acesta este efortul de colaborare al Data Seal of Approval (DSA) și World Data System, o parte a International Science Council (WDS), care lucrează împreună sub Research Data Alliance (RDA). Acesta este un instrument prin care depozitele digitale sunt analizate dacă respectă specificațiile. Atâta timp cât toate criteriile sunt îndeplinite, infrastructura digitală este declarată capabilă să ofere servicii de conservare pe termen lung.

Datele spun o poveste interesantă despre importanța dezvoltării și menținerii unui API. Aproape o treime din depozitele CoreTrustSeal au un API. Restul nu au puncte finale publice.

## **Repere și discuții privind API-urile și modele care includ tehnologiile Web3**

API-urile sunt mecanismele cele mai utile în realizarea racordurilor funcționale dintre diferitele silozuri de date aflate pe Web. În raportul din 2020 (Vaccari et al., 2020) există o caracterizare a API-urilor care reasează înțelegerea valorii API-urilor din altă perspectivă: API-urile sunt contracte

tehnice care pot fi văzute drept produse software care au un lanț valoric. Punctul cel mai important care poate fi surprins este acela al necesității de a privi API-urile ca mecanisme de comunicare între mașini. Dar pentru ca acest lucru să fie posibil ar trebui ca API-urile să fie construite și să desfășoare tranzacțiile în baza unor adevărate contracte. Cele mai utile izvoare de informație s-au dovedit notele tehnice RFC (Request for Comments), care au rolul de standardizare a modului în care tehnologiile trebuie implementate pe Internet și în spațiul informațional World Wide Web. Din paleta largă a API-urilor, au fost individualizate API-urile web pentru studiul tezei pentru că acestea sunt folosite pentru comunicarea și diseminarea datelor și a metadatelor. Un alt criteriu important pentru focalizarea pe API-urile web este legat de faptul că implementează tehnologii care fac parte din Open Web Platform.

După conturarea unui profil util al API-urilor web completat de standardizarea acestora, au fost căutate contextele în care sunt utilizate. Relevant a fost revelarea faptului că API-urile nu au o poziție de flanc într-o arhitectură, ci au devenit ele însele componente centrale în digitalizarea europeană, de exemplu. API-urile sunt poziționate central chiar în politicile centrale care privesc realizarea și funcționarea Pieței Unice de Date.

Web3 este o nouă organizare a unor spații informaționale specializate prin utilizarea de protocoale axate pe restabilirea încrederii în datele comunicate, având la bază mijloace criptografice. Atributul principal al unei rețele Web3 este **încrederea**. Această încredere este derivată din faptul că tehnologiile Web3 permit verificarea în orice moment a stării tranzacțiilor care se petrec în rețea. Astfel, domeniile de aplicare sunt cel al finanțelor, dar cel mai sensibil ar fi cel al managementului identității. Premiza de la care se pornește este că niciun actor al rețelei nu poate fi de încredere. Realizarea nivelului de încredere se face prin utilizarea blockchain-ului. Modelul distribuit este necesar pentru a actualiza blockchain-ul cu starea actuală sau mai bine spus, cu ultima stare a unei tranzacții. Până mai ieri acest rol îl împlinea o bază de date. Participanții într-un blockchain-ul sunt servere, nu clienți. Au apărut servicii specializate care mijlocesc accesul clienților la blockchain printr-un nivel de intermediere realizat folosindu-se API-uri dedicate.

Unul din mecanismele importante pe care studiul îl vizează este smart contracts. Pentru a comunica cu un smart contract este nevoie de un intermediar care preia semnalele ce indică o modificare necesară pentru a le trimite sub formă de date pe care smart contract-ul să le înțeleagă și să creeze modificările necesare. Avantajul cel mai mare al unui contract inteligent este că reacționează la schimbări, fiind un software care se execută atunci când aceste schimbări apar. Modificările sunt ireversibile și ușor de urmărit datorită naturii constructive a blockchain-ului. Din acest motiv, contractele inteligente pot fi luate în calcul cel puțin pentru evidența rezultatelor de cercetare. O altă componentă importantă care a fost luată în calcul pentru realizarea modelului de care teza îl propune, este IPFS – Interplanetary File System. Interplanetary File System<sup>9</sup> este o suită de protocoale care rezolvă problema accesului, adresării și identificării cu adevărat unice a conținutului. IPFS poate fi privit drept un sistem de fișiere care în loc să stocheze datele în mod convențional prin menținerea unor înregistrări localizate, folosește un DHT – Distributed Hash Table<sup>10</sup> într-o arhitectură peer-to-peer. DHT-ul este o modalitate de a cupla valorile unor chei într-un model distribuit. În IPFS este nucleul sistemului de rutare a cererilor prin care este descoperit un

---

9 <https://ipfs.tech/>

10 <https://docs.ipfs.tech/concepts/dht/>

anumit hash. Pentru a-l înţelege mai uşor, putem spune că este un catalog al resurselor care se află în nodurile active ale IPFS. Modelul de date este un arbore Merkle DAG<sup>11</sup> care foloseşte mecanismele web-ului descentralizat. IPFS este o reţea globală de noduri cu ajutorul cărora sunt tranzacţionate resursele.

Pentru a interacţiona cu această reţea sunt puse la dispoziţie de către Protocol Labs (<https://protocol.ai/>) câteva API1-uri şi o aplicaţie desktop.

Revenind la modelul de interacţiune, în acest moment pot fi identificate trei folosind Internetul: centralizat, descentralizat şi distribuit.

Modelul distribuit rezolvă următoarele probleme:

- datele aparţin posesorilor lor – nu rezidă pe servere dincolo de controlul acestora;
- datele sunt foarte uşor de verificat datorită semnăturii criptografice (content identifier - CID), ceea ce înseamnă un nivel ridicat de securitate;
- distribuirea datelor este uşor scalabilă;
- datele sunt rezistente la trecerea prin medii care nu prezintă siguranţă;
- datele care sunt duplicate sunt gestionate fără a fi multiplicare;
- nu există puncte centrale în reţea care odată ce sunt compromise produc un efect în cascadă.

În acest moment interacţiunea cu această reţea distribuită se realizează prin intermediul API-urilor specifice mai multor limbaje de programare. Pentru a înţelege entităţile de lucru, vom parcurge blocurile constructive ale IPFS cu scopul de a contura caracteristicile funcţionale, dar mai cu seamă oportunităţile pe care această tehnologie le oferă pentru a lucra cu obiecte digitale din care mai diverse.

Pentru a avea o perspectivă de ansamblu, a fost necesară investigarea soluţiilor şi modelelor actuale. Dincolo de părţile active deja analizate, API-urile sunt mecanismele de interacţiune cu implementările Web 3. Cheia unui nou model posibil de creştere propus mai jos îşi are rădăcinile în tehnologiile oferite de Web 3, astfel încât tranzacţiile API să folosească date stocate în grafuri care sunt găzduite de soluţii distribuite şi nu în silozuri în lumina practicilor menţionate în lucrare. Am văzut că în comportamentele prevăzute pentru depozitele digitale ale viitorului există o cerinţă prin care actualizarea unei resurse să declanşeze lansarea unor înştiinţări cu privire la ce s-a modificat. Această necesitate se va reflecta în viitor prin elaborarea unor mecanisme reactive ce vor asigura acest comportament. Unul din mecanismele acestea poate fi un smart contract într-un anumit blockchain. În cazul în care structura obiectului de cercetare se modifică (versionează), smart contract-ul va fi înştiinţat şi acesta se va executa declanşând o cascadă de evenimente prevăzute pentru fiecare tip de înştiinţare. Aceste înştiinţări pot fi legate de modificarea obiectului de cercetare, introducerea sa într-un workflow (flux de lucru) sau chiar la accesarea sa prin interacţiunea cu servicii terţe. Ba mai mult, ori de câte ori obiectul de cercetare este citat, smart contract-ul poate primi o înştiinţare şi astfel, acesta să se execute.

Într-un viitor nu prea îndepărtat este posibil ca articolele de cercetare ştiinţifică să se transforme în metadatele obiectului de cercetare care va fi o entitate reactivă. Acest lucru poate fi realizat prin transformarea articolului, fie prin codarea folosind TEI (Text Encoding Initiative), ori prin transformarea integrală într-un notebook (Jupyter Notebook). Cel mai apropiat model întâlnit care

---

11 Merkle Acyclic Graph (DAG)

se apropie de entitatea reactivă pe care o descriem este RO-Crate, care oferă o structură de suport pentru date îndeajuns de flexibilă, dar care încă aşteaptă pasiv să fie integrată unui flux de lucru. În acest moment, tehnologiile Web3 sunt cele care permit transformarea unor obiecte digitale de cercetare sau de patrimoniu cultural inerte, a căror nivel de interacţiune se realizează prin aplicaţia care la gestionează, în adevărate obiecte digitale reactive.

În modelul general prezentat, premiza este că obiectele digitale (entităţi reactive), precum şi metadatele sunt considerate obiecte identificabile unic prin CID-ul propriu, dar şi cel al agregării din care fac parte. Astfel, mecanismele de evidenţă vor beneficia de expunerea unei granularităţi sporite, dar mai mult de atât, de noi modalităţi de stocare distribuită. Nu trebuie uitat niciun moment faptul că depăşim limitele modelului WWW. Agregarea resurselor în obiecte digitale complexe aşa cum sunt RO-Crate-urile se va reflecta printr-un graf distinct de tip Interplanetary Linked Data, care va putea fi exploatat şi interconectat cu alte grafuri similare sau curent utilizate prin implementări ale tehnologiilor Web-ului Semantic. Dincolo de obiectele digitale în sine, chiar clasele şi subclasele ontologiilor, ba chiar ontologiile în sine vor putea fi reprezentate prin grafuri IPLD. Vocabularele vor fi primele care vor beneficia de o reprezentare în spaţiul informaţional Interplanetary Linked Data. Fiecare termen va căpăta propriul CID, iar relaţiile complexe pe care le stabilesc, pot fi reprezentate IPLD aşa cum este cazul tezaurilor, de exemplu. Cel mai important câştig este legat de faptul că identificarea unică va fi dată de un CID, nu de un link. CID-ul nu este legat de nicio locaţie web, singura sa dependenţă fiind totuşi arhitectura IPFS. Managementul poate fi instrumentat prin crearea de Dapp-uri specializate. Dapp-urile vor juca un rol de orchestrare a acestor resurse. Va reglementa accesul, va determina autenticitatea şi va permite interacţiunea cu diferite obiecte digitale în baza seturilor de reguli scrise în smart contract.

Pentru că anterior proiectam viitorul obiect de cercetare ca fiind unul reactiv, din perspectiva Web3, fiecare dintre acestea pot fi câte un smart contract. Acest lucru le va asigura propria independenţă şi un nivel sporit de interacţiune. Putem imagina un scenariu în care un articol de cercetare ştiinţifică este de fapt un smart contract, adică o entitate reactivă a cărei ciclu de viaţă este reglementat de reguli. Această entitate, poate primi semnale privind anumite metrici precum de câte ori este citat. Aceste date vor fi scrise în blockchain şi vor fi sigure, rezistente la falsificare. O altă interacţiune poate fi între articolul de cercetare şi setul de date care îl însoţeşte. Setul de date poate fi la rândul său o entitate reactivă, adică ciclul său de viaţă poate fi reglementat prin regulile înscrise în smart contract. Într-un scenariu de interacţiune a articolului ştiinţific cu setul de date, putem foarte uşor să obţinem date foarte utile privind modul în care setul de date a fost utilizat. În cazul în care şi acesta este o entitate reactivă, putem scrie în blockchain metrici de utilizare foarte utile. Ba mai mult, precum în cazul RO-Crate-urilor am putea introduce în smart contract regulile de utilizare în fluxurile de prelucrare permise.

## Sumar

Lucrarea creează întregul context necesar înţelegerii modului în care API-urile (Application Programming Interfaces) sunt folosite în acest moment pentru a accesa datele şi metadatele obiectelor digitale.

Investigarea literaturii științifice ca parte a capitolului introductiv a revelat faptul că API-urile nu constituie o preocupare directă a părților implicate în gestionarea obiectelor digitale. Potențialul de liant pe care îl au pentru diferitele silozuri de date, este limitat doar la funcția de operare cu resursele, de la crearea acestora, până la modificarea lor. API-urile sunt privite ca mecanism implementat la nivel software pentru a oferi un mecanism programatic de acces la date pe lângă interfața grafică, dar sunt prea puține cazurile în care specialiștii implicați le-au văzut potențialul de conectori între seturile de date, între obiectele digitale FAIR. În acest moment, au doar rol de conectori ai silozurilor de date.

Rolul pe care îl au API-urile pare a fi unul secundar sau asimilat cerințelor funcționale ale implementărilor software. Acestea sunt realizate respectându-se standardele industriei și modelele pe care practica RESTful a impus-o începând cu anul 2000.

Tot în capitolul introductiv, secțiunea 1.3 dedicată analizei literaturii de cercetare științifică relevă faptul că specialiștii preferă să lucreze și cu API-uri externe pentru a rezolva sarcini punctuale, fie acestea ce privesc prelucrarea de date, fie pentru a accesa date.

În cel de-al doilea capitol care privește Fundamentele sistemelor de agregare și prezentare a datelor de cercetare și a metadatelor, a fost edificat contextul necesar înțelegerii componentelor implicate în lucrul cu API-urile. S-a pornit de la analiza datelor cu formatele de serializare (forma în care datele ajung să fie extrase din memoria computerului, fiind stocate într-un fișier) în care acestea ajung să fie materia primă de lucru a API-urilor. Au fost identificate cele mai utilizate formate de serializare și s-au căutat standardele și bunele practici care guvernează în acest moment distribuția și interconectarea datelor folosind tehnologiile WWW și cele specifice Open Web Platform. De la analiza datelor s-a pășit la investigarea modului în care acestea creează obiecte digitale. Aceste entități sunt cele care sunt tranzacționate în rețelele de valorificare a cercetării și a patrimoniului cultural digital. Analiza a cuprins o parte de teoretizare a obiectelor digitale, unde s-a căutat o conturare cât mai bună a ceea ce înseamnă un obiect digital. S-a căutat individualizarea atributelor acestor obiecte digitale. Această delimitare conceptuală a fost urmată de un studiu al unor obiecte digitale care sunt folosite în domeniul educațional, spațiu de cercetare care a relevat multe modele dictate de necesitatea organizării materialelor de instruire care urmează un scop pedagogic. Aceste obiecte de învățare sunt relevante prin felul în care sunt create și a scopurilor pe care le servesc și obiectelor de cercetare care respectă principiile FAIR (Findable, Accessible, Identifiable, Reusable). Ultima secțiune a capitolului este dedicată metadatelor care însoțesc obiectele digitale, unde sunt analizate cele mai vizibile scheme utilizate. Metadatele sunt tot date, dar au rol de contextualizare a obiectelor digitale pe care le însoțesc și le descriu.

Pentru o încadrare corectă a API-urilor, au fost analizate și depozitele digitale, precum și aspectele ce țin de realizarea bibliotecilor digitale. O bună înțelegere a acestora conduce la un contur clar al așteptărilor privind implementarea unui API aferent. Astfel, au fost căutate cele mai relevante definiții, a fost analizată conectarea depozitelor digitale, a fost investigat un model de referință la care au aderat majoritatea celor care realizează implementările software și în final, am investigat ce înseamnă ca un depozit digital să fie unul de încredere. O parte importantă a aspectelor ce țin de administrarea obiectelor digitale este cea legată de prezervarea digitală.

Cel de-al doilea capitol se încheie cu o succintă analiză a unui model de realizare a software-ului care implementează cerințele funcționale ale depozitelor digitale/bibliotecilor digitale.

În al treilea capitol studiul și-a îndreptat atenția către modul în care datele se conectează prin API-uri, dar și felul în care grafurile devin modele preferate de stocare a datelor. În deschiderea capitolului, este jalonat un parcurs evolutiv, fiind analizate din punct de vedere funcțional API-urile web. Pentru că API-urile sunt considerate chiar de Comisia Europeană a fi un liant al serviciilor unei societăți digitalizate, au fost analizate cele mai importante documente de politici publice europene pentru a delimita și identifica unde API-urile devin relevante și mai ales care este valoarea acestora. Acestea joacă un rol esențial în realizarea planurilor interoperabile și sunt nelipsite din recomandările și implementările politicilor și inițiativelor. Chiar fac parte integrantă din directive ceea ce le conferă o poziție cheie în arhitecturile care vor crea serviciile digitale europene.

În țesătura descriptivă a mantalei realizată de metadata sunt îmbinate tehnologiile Web-ului Semantic, fie că vorbim despre vocabulare, fie că întâlnim implementări ale unor ontologii necesare organizării unui spațiu informațional ce servește unui anumit domeniu ori scop. Din acest motiv, capitolul trei se încheie cu o analiză a acestor tehnologii și a modului de organizare a datelor folosind grafuri ca preambul al modelului pe care capitolul patru îl propune.

Ultimul capitol este cel în care este studiat un set de cincizeci și unu de API-uri inventariate din domeniul cercetării și al valorificării patrimoniului cultural digital. Acest set de date a fost investigat din perspectiva formatelor de serializare folosite, a vocabularelor utilizate, a modului în care este permis accesul la date, după profilul instituției care l-a creat și după domeniul în care acestea activează.

După această analiză care a creat contextul explorator propice avansării unui posibil nou model, a fost analizat noul spațiu informațional cunoscut generic ca Web3. World Wide Web și Web3 sunt două spații informaționale care în acest moment funcționează simbiotic. Modelul propus se bazează pe tehnologiile amândurora. În analiza Web3 s-au inventariat tehnologiile care îl compun, fiind investigate grafurile de date, contractele inteligente (smart contracts), Dapp-urile, funcția bazelor de date în acest model, precum și IPFS (InterPlanetary File System) în rolul de model integrator pentru datele identificate unic după chei generate criptografic în baza analizei conținutului.

În final, este elaborat un posibil model care are drept țintă transformarea obiectelor digitale din obiecte pasive care sunt subiectul unor operațiuni, în obiecte digitale reactive, care să pună la dispoziție mecanisme ce permit o interacțiune crescută, ba chiar un grad de autonomie în baza operațiunilor algoritmice pe care contractele inteligente (smart contracts) le oferă. Sunt prezentate avantajele unui astfel de model. Majoritatea acestora derivă din modul în care Web3 funcționează, dar care cumulate, prin atribuirea unui obiect digital, pot să-l transforme într-o entitate dinamică, înalt funcțională prin nivelul de reactivitate menționat, beneficiind de cele mai bune caracteristici privind siguranța și proveniența pe care sistemele distribuite așa cum este blockchain-ul le pune la dispoziție.

Capitolele discuțiilor și al concluziilor vin să contureze demersul lucrării îndreptat către viitorul obiectelor digitale reactive, niște entități digitale semi-autonome prinse în mecanisme administrative și manageriale care oferă mijloacele pentru ca acestea să poată fi orchestrate într-un nou spațiu informațional în care omul și mașina să fie cetățeni de prim rang.

În final, a fost creată și o aplicație software cu rol demonstrativ, care prin folosirea tehnologiilor Open Web Platform, a reușit o implementare a comunicării obiectelor digitale din World Wide Web în Web3. Acesta este un pas important pentru realizarea nivelului de interacțiune pe care în viitor obiectele digitale FAIR îl vor dobândi din necesitate. Depozitele digitale nu trebuie să se mai

comporte precum silozuri de date, ci mai degrabă să faciliteze interacțiunea dintre obiecte digitale reactive.

## Contribuții personale și originale

Teza cercetează pentru prima dată contextul tehnologiilor și a politicilor în care se află Obiectele digitale FAIR. Acest lucru conduce către posibile dezvoltări ale unor politici la nivel național sau consorțiale. Pentru prima dată, tehnologiile blockchain și cele distribuite sunt investigate pentru a găsi oportunități de valorificare a rezultatelor de cercetare științifică dincolo de *silozurile* pe care depozite digitale actuale încă le menține ca paradigmă. Acest studiu a creat și baza experimentală necesară realizării unui model demonstrativ prin software-ul original creat.

Contribuția la dezvoltarea cunoașterii științifice poate fi evaluată prin aportul adus din diferite perspective ale cercetării științifice. Acestea sunt concretizate în:

### A. Contribuții cu caracter de sinteză

- Cercetarea teoretică privind natura datelor și a metadatelor pe care API-urile le tranzacționează/distribuie;
- Identificarea poziției pe care o au API-urile în economia depozitelor digitale folosite în domeniul cercetării și pentru valorificarea patrimoniului cultural;
- Investigarea mecanismelor și tipologiilor obiectelor digitale în API-urile folosite curent.
- Analiza API-urilor pentru identificarea unor caracteristici comune și pentru a căuta potențiale soluții de valorificare și interconectare prin metadatele expuse;
- Analiza tehnologiilor și a soluțiilor software care stau la baza sistemelor care oferă acces la metadate și date prin API-uri;
- Analiza evoluției și a modului în care sunt reprezentate obiectele digitale din domeniul cercetării și a patrimoniului cultural;
- Exporarea contextului politicilor europene care solicită și mijlocesc dezvoltarea de API-uri.

### B. Contribuții cu caracter teoretic și experimental

- Realizarea unui model general pentru agregarea de date și metadate utilizând World Wide Web și Web3;
- Realizarea unui model funcțional pentru integrarea API-urilor cu Web3 prin depozitarea obiectelor digitale în IPFS ca parte a soluției software prezentare

### C. Contribuții cu caracter științific curricular

- Elaborarea rapoartelor de cercetare științifică din cadrul programului de cercetare la doctorat;
- Finalizarea tezei de doctorat;
- Stadiul actual al cercetărilor.

### D. Noutatea tezei de doctorat

Teza aliniază obiectivele pentru a contura următoarele aspecte:

- Poziționează API-urile ca preocupare în ecosistemul datelor de cercetare FAIR și a sectorului de valorificare a patrimoniului cultural digital printr-o vastă analiză bibliometrică a literaturii de specialitate;
- Clarifică ce înseamnă un obiect digital în general și un obiect digital FAIR în particular;



- Lămureşte valoarea API-urilor din perspectiva preocupărilor europene la nivel de politici și inițiative;

- Construiește o perspectivă asupra ultimilor treizeci de ani în ceea ce privește sistemele de valorificare a cercetării științifice utilizând depozite digitale;

- Propune un model nou care propune tranziția practicilor de distribuire a datelor, de la depozite digitale care au comportamentul unor silozuri, la noduri conectare într-un continuum al datelor folosind IPFS (Web3).