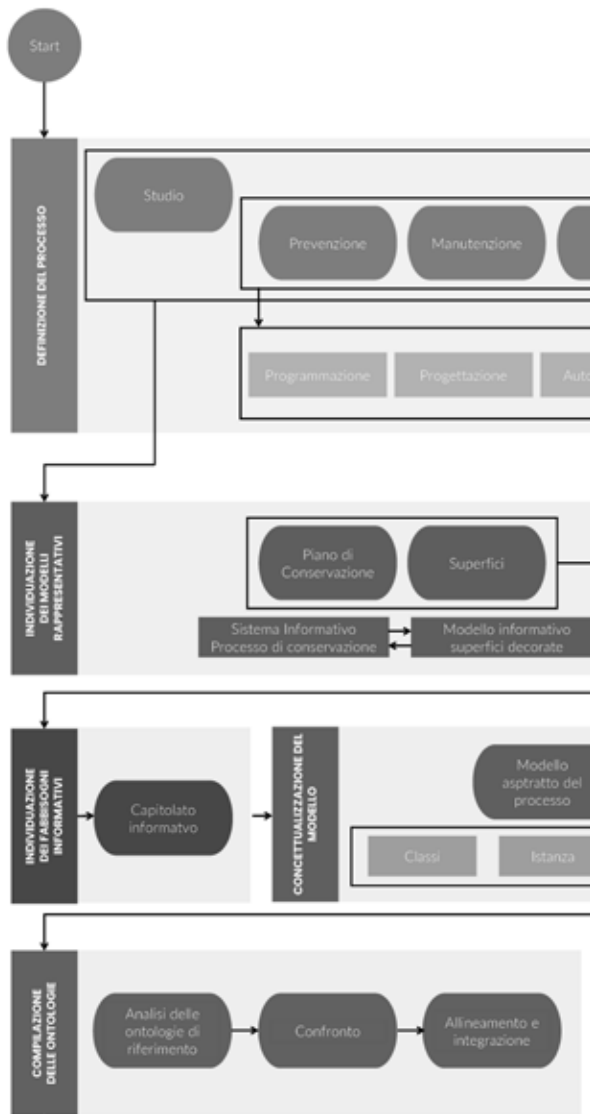


Historic Preservation Foundation Classes

a cura di Marco Pretelli
e Alessia Zampini



Knowledge management: ontologies and practical tools for the preservation of cultural heritage

Alessandra Pili (Politecnico di Milano)

The digitalization process started in Italy has given a further boost to the already active scientific research about the use of information tools for the cultural heritage sector. Among the innovations launched, one provides the mandatory use of BIM for the public procurement sector, finding further confirmation and definition in the latest version of the Public Contracts Code. Similarly, the approach according to preventive and planned conservation is confirmed within the same regulatory text.

Information modeling in the new construction sector has reached very high levels. While, for the cultural heritage sector, scientific research has revealed that the use of such tools is not adequate for managing the complexity that characterizes historical buildings.

The crucial issue is the recognition of the need to have multiple interoperable models to manage the information complexity that characterizes cultural heritage. The definition of specific ontologies for cultural heritage is the basis of interoperability.

The contribution illustrates a method of defining ontologies to describe the conservation process activities; furthermore, it develops an operational tool capable of managing such data and information using free and open-source software.

Historic Preservation Foundation Classes

Procedure e ontologie per l'interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico

www.archistor.unirc.it

ArchistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR444



Gestire la conoscenza: ontologie e strumenti operativi per la conservazione del patrimonio culturale

Alessandra Pili

Il contributo affronta il tema della gestione della conoscenza, in quanto fondamento di una efficace conservazione, che come ormai condiviso nei testi di legge non può che pensarsi come “conservazione programmata”. Perché le attività conservative siano coerenti, coordinate e programmate devono essere superate barriere procedurali e cognitive, il che può avvenire soltanto attraverso la digitalizzazione del processo, ovvero attraverso la definizione di strumenti innovativi digitali.

In particolare, viene illustrato il metodo utilizzato per la definizione di ontologie specifiche per il processo di conservazione del patrimonio culturale e la creazione di uno strumento operativo per la gestione delle informazioni relative alle attività di conservazione sviluppato mediato l'utilizzo di software free e open-source.

Nel 2005 in Italia si è dato avvio al processo di digitalizzazione della Pubblica Amministrazione attraverso la pubblicazione del D.L. 82 – Codice dell'Amministrazione Digitale (CAD). L'obiettivo primario è la creazione di nuove strategie per la gestione delle attività della Pubblica Amministrazione attraverso l'utilizzo di infrastrutture innovative e digitali capaci di semplificare e rendere maggiormente sicuro l'accesso alle informazioni. L'ente preposto a garantire il raggiungimento degli obiettivi è l'Agenzia per l'Italia Digitale (AgID) la quale si occupa di contribuire alla diffusione delle tecnologie di scambio attraverso l'uso di strumenti e procedure innovative. La sua attività si sviluppa anche attraverso

l’emanazione di linee guida. In particolare, nelle “Linee guida acquisizione e riuso software PA” sono contenuti gli indirizzi per un utilizzo esteso di tecnologie *software free* e *open-source* (FOSS). L’obiettivo è generare un flusso virtuoso di scambio di strumenti aperti e riutilizzabili tra le amministrazioni, mettendo a fattor comune le risorse impegnate e gli investimenti, incrementando così la sostenibilità economica del processo. Tra le innovazioni indicate dal processo di digitalizzazione, una in particolare interessa il settore degli appalti pubblici, con l’introduzione graduale dell’obbligatorietà dell’uso del BIM. Tale procedura ha trovato ulteriore conferma e definizione nell’ultima versione del Codice dei contratti pubblici (D. Lgs 36/2023), il quale nell’art. 3 comma 2 dell’allegato I.7 sancisce che il Capitolato Informativo è parte sostanziale del Documento di Indirizzo alla Progettazione.

Il tema della conservazione preventiva e programmata è argomento che affonda le radici teoriche negli anni Settanta del secolo scorso e si è affermato in ambito legislativo nel 2004 nel Codice dei beni culturali e del paesaggio, trovando conferma anche nell’ultimo aggiornamento del Codice dei contratti pubblici nell’art. 3 dell’All. II.18, il quale definisce che i lavori sui beni culturali devono essere eseguiti secondo i tempi, le priorità e le altre indicazioni derivanti dal criterio della conservazione programmata.

Relativamente più recente è, invece, il fermento scientifico in ambito nazionale e internazionale sull’uso di strumenti digitali per la modellazione informativa (*Building Information Modeling*) in applicazione al patrimonio culturale.

Se da un lato è accertato l’alto livello raggiunto dall’uso della modellazione informativa nel settore delle nuove costruzioni, dall’altro lato la ricerca scientifica ha rivelato che l’uso di tali strumenti nell’ambito del patrimonio culturale non è adeguato alla gestione della complessità che caratterizza il costruito storico, riducendo la modellazione e la gestione delle informazioni ad essa correlata a forzati adeguamenti. Il risultato è la creazione di prodotti finali che si caratterizzano come surrogati, sviluppati cercando di adattare le esigenze del patrimonio culturale architettonico agli strumenti disponibili. L’obiettivo da raggiungere è il ribaltamento di questa condizione, ovvero l’adeguamento degli strumenti alle esigenze del patrimonio culturale. Il superamento di tale limite sarà possibile solo risolvendo il problema dello scambio delle informazioni tra i differenti soggetti coinvolti nel processo di conservazione, in altri termini, quando sarà realizzata l’interoperabilità tra i modelli informativi che concorrono alla rappresentazione dell’entità reale e che scambiano i dati all’interno di un ambiente comune di condivisione.

Il punto cruciale è quindi il riconoscimento della necessità di avere più modelli informativi per i diversi aspetti, compresi, quindi, quelli che caratterizzano il patrimonio culturale, tra i quali avviene

un continuo scambio di dati e informazioni. Il flusso di dati e informazioni si svolge correttamente se ogni modello è in grado di comprendere ed essere compreso correttamente, cioè se i modelli sono interoperabili tra loro.

L'interoperabilità nel settore delle costruzioni e del Facility è garantita dagli standard IFC (*Industry Foundation Classes*) rilasciati ufficialmente da *buildingSMART International*. La mancanza, all'interno di tali standard, dei contenuti specifici e caratterizzanti il patrimonio storico, decreta l'incapacità di scambiare e comprendere correttamente tali informazioni e dunque l'inadeguatezza degli strumenti. Dove le informazioni e i dati interessano tanto la modellazione geometrica quanto quella non geometrica presente in altri modelli e/o sistemi informativi esterni, comprendendo quindi la gestione dei dati derivanti dalle attività di conservazione che presentano differenze sostanziali rispetto al nuovo costruito. Risulta quindi necessario il riconoscimento e la standardizzazione di tali dati da parte degli enti preposti, facendo chiaramente riferimento a *buildingSMART International* al fine di integrare in maniera totale ed efficace i differenti apporti informativi.

Affinché sia raggiunto un effettivo ed efficace scambio di informazioni tra diversi modelli all'interno di un *Common Data Environment* (CDE), occorre definire in maniera univoca i significati semantici dei dati scambiati.

Nel settore informatico le ontologie hanno un ruolo primario nel processo di rappresentazione della conoscenza. Diversi autori hanno fornito una definizione di ontologie, come ad esempio Borst¹, Guarino², Neches³, Bernars⁴; quella elaborata da Gruber⁵ nel 1993 è probabilmente la più chiara. Gruber definisce che "*Ontology is a formal and explicit specification of a shared conceptualization*". Ovvero, attraverso la concettualizzazione vengono creati dei modelli astratti di un determinato dominio di conoscenza per rappresentare la realtà attraverso delle classi, istanze, funzioni, relazioni e assiomi che rispettano regole strutturali e significati comuni a più sistemi. È proprio la condivisione delle regole e dei significati che rende i sistemi interoperabili.

Appare chiaro, dunque, come il concetto di interoperabilità sia fortemente legato alla definizione di ontologie in grado di descrivere in maniera univoca entità e concetti reali.

Il contributo proposto illustra le attività svolte nel dottorato di ricerca "Integrate BIM process for

1. Vedi BORST 1997.

2. Vedi GUARINO 1998.

3. NECHES ET ALII 1991, pp. 35-56.

4. BERNARAS, LARESGOITI, CORERA 1996, pp. 298-302.

5. Vedi GRUBER 1993.

Cultural Heritage: Ontologies and Interoperability for information interchange”⁶ e all’interno delle attività dell’unità di ricerca del Politecnico di Milano nel progetto PRIN 2017 “Historic Preservation Foundation Classes: Procedure e ontologie per l’interoperabilità nella tutela del patrimonio storico architettonico”⁷.

Entrambi i progetti ereditavano le esperienze scientifiche sviluppate in ambito nazionale e internazionale negli anni precedenti, come ad esempio il progetto BHIMM⁸ dalle quali sono nati interessanti sperimentazioni, e dove, anche le difficoltà riscontrate, sono state di rilevante importanza per capire quale fosse la via giusta da percorrere per il raggiungimento degli obiettivi. Numerosi sono attualmente i contributi scientifici sul tema delle ontologie e degli strumenti di gestione e scambio di dati nell’ambito del patrimonio culturale⁹.

Nell’ottica di una coerenza di metodo e di ottimizzazione del lavoro, il punto di partenza delle attività svolte è quanto già sviluppato per il settore delle costruzioni e del patrimonio culturale.

Relativamente al settore delle costruzioni, sono stati considerati gli standard IFC¹⁰ e il metodo di definizione dei contenuti informativi come indicato all’interno delle norme UNI e ISO¹¹. Gli standard IFC presentano una struttura gerarchica divisa in quattro livelli denominati Dominio, Interoperabilità, Core e Risorse. All’interno del Dominio (il livello più alto che non afferisce a nessun altro livello superiore) sono contenuti, appunto, i domini di definizione che rappresentano gli ambiti disciplinari, in sostanza quei modelli eterogenei che, messi in relazione, concorrono alla descrizione della complessità dell’oggetto reale. Osservando la rappresentazione grafica della struttura degli IFC (fig. 1) emerge l’assenza di un dominio specifico e dei livelli gerarchici sottostanti dedicati alla gestione di dati relativi al costruito storico. Pertanto, per il raggiungimento della ricercata interoperabilità tra i modelli all’interno di un processo di gestione della conservazione del costruito storico, occorre implementare la struttura degli standard con i contenuti specifici del settore culturale. Attività propedeutica alla scrittura dei codici di interoperabilità, che il progetto di ricerca qui presentato

6. Vedi PILI 2023.

7. Politecnico di Milano – Dipartimento ABC (PI e responsabile dell’UR Prof. Stefano Della Torre), Università degli Studi di Genova (responsabile scientifico dell’UR Prof. Stefano F. Musso), Alma Mater Studiorum - Università di Bologna (responsabile scientifico dell’UR Prof. Marco Pretelli), Università di Roma La Sapienza (responsabile scientifico dell’UR Prof. ssa Donatella Fiorani).

8. Vedi DELLA TORRE 2017.

9. Vedi MOYANO *ET ALII* 2023.

10. Vedi ISO 16739-1: 2020.

11. Vedi: UNI EN ISO 19650; UNI 11337; UNI EN 17412.

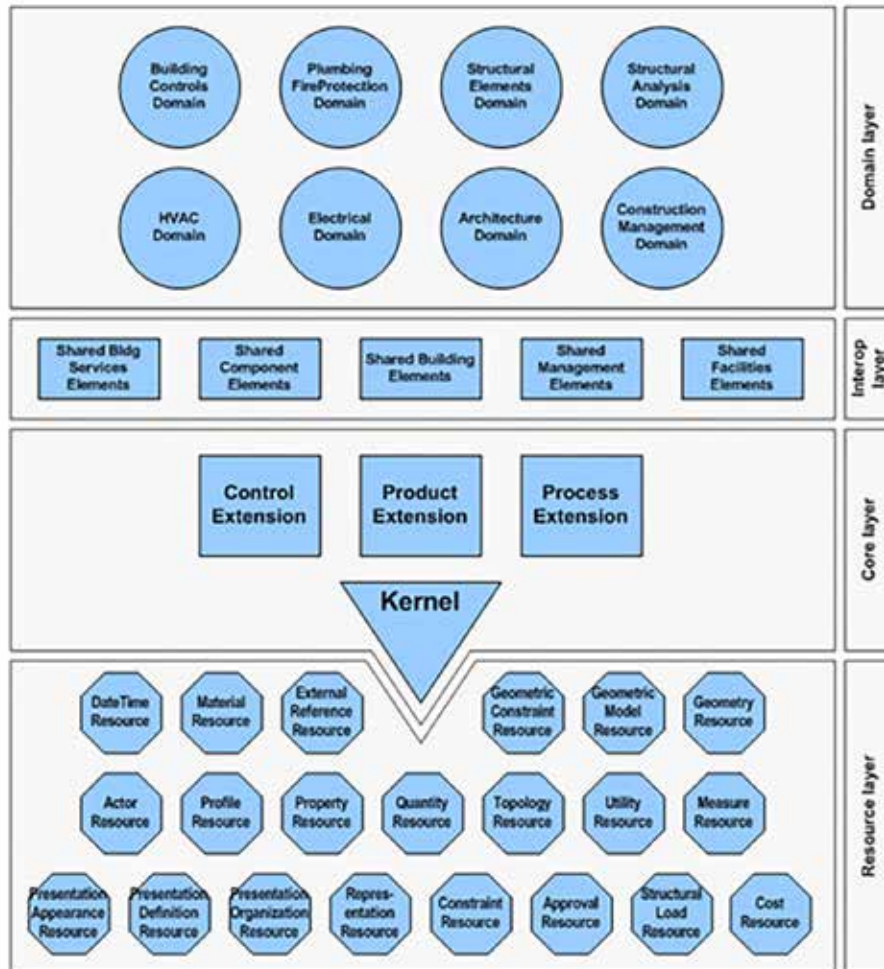


Figura 1. Struttura gerarchica e livelli concettuali degli standard IFC (fonte: buildingSMART).

ha chiamato HPFC (*Historic Preservation Foundation Classes*) specificando così la differenziazione dall'Industry degli IFC, è la compilazione di ontologie semantiche in grado di rappresentare la conoscenza.

CIDOC-CRM (*Conceptual Reference Model*)¹² è il modello concettuale ontologico di riferimento per i beni culturali. In Italia, l'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione in collaborazione con l'Istituto di scienze e tecnologie della cognizione del CNR ha sviluppato un sistema ontologico denominato ArCo (Architettura della Conoscenza), in grado di descrivere l'oggetto culturale nella sua complessità garantendo l'interoperabilità attraverso l'allineamento con altre ontologie specifiche del settore, tra cui le ontologie CIDOC. Le ontologie ArCo presentano al loro interno contenuti semantici (classi e relazioni) affini a quelli del processo di conservazione come definito nell'art. 29 del codice dei Beni Culturali, costituendo dunque un'ottima base di partenza per la compilazione delle ontologie qui presentate.

Flusso di lavoro

Le attività svolte sono suddivise in fasi di lavoro che possono essere così sintetizzate: definizione del processo e dei suoi contenuti; individuazione dei modelli rappresentativi; individuazione dei fabbisogni informativi; concettualizzazione del modello specifico per il settore culturale; compilazione delle ontologie; sviluppo dello strumento di gestione dei dati (fig. 2).



Figura 2. Flusso di lavoro: specifica delle attività e dei contenuti (elaborazione A. Pili, 2024).

12. Vedi ISO 21127: 2014

Dalla definizione del processo alle ontologie (fig. 3)

Il processo di conservazione è definito dall'art. 29 del Codice di Beni Culturali e del Paesaggio come un «coerente coordinata e programmata attività di studio, prevenzione, manutenzione e restauro». La fase di studio comprende attività finalizzate alla conoscenza quali: ricerca, rilievo e rappresentazione/modellazione. In un primo momento, la fase di studio consente di conoscere l'edificio, mentre nelle fasi successive del processo, la fase di studio consente la stratificazione delle informazioni. Prevenzione, manutenzione e restauro rappresentano diversi livelli di attività: la prevenzione rappresenta attività a basso impatto, la manutenzione limita l'attivazione di condizioni potenzialmente dannose, il restauro comporta attività più incisive e dirette sul bene¹³. Prevenzione, manutenzione e restauro sono costituiti da analisi, programmazione, progettazione, autorizzazione, esecuzione e collaudo. Per ogni livello di scomposizione del processo di conservazione sono individuati gli obiettivi che consentono l'individuazione dei modelli informativi necessari per la gestione integrale di dati e informazioni. Confermando la valenza di modelli e sistemi informativi già in uso per il settore delle costruzioni (come strutture, impianti, facility e property management, ...), è emersa la necessità di avere due modelli informativi specifici per il settore culturale che sono stati denominati Piano di Conservazione e Superfici. Il primo gestisce e condivide i dati relativi al processo di conservazione, il secondo quelli più specifici e di dettaglio relativi alle superfici decorate. I due modelli sono intrinsecamente correlati tra loro.

Successivamente all'individuazione dei modelli rappresentativi, per ognuno di essi sono stati definiti gli usi e gli obiettivi sviluppati secondo gli ambiti disciplinari coinvolti e individuati i fabbisogni informativi che i modelli devono soddisfare. Il sistema dei fabbisogni informativi fornisce la base di selezione per la definizione del Capitolato Informativo precedentemente citato.

La definizione del modello concettuale consente di creare un modello astratto (definito da classi, istanze, funzioni, relazioni e assiomi) capace di rappresentare la conoscenza di un determinato dominio reale. L'operazione di scomposizione in livelli del processo di conservazione (dominio principale) ha consentito di individuare i sottodomini del modello ontologico. Dal modello concettuale del processo di conservazione è stato sviluppato il modello concettuale del Piano di Conservazione, precedentemente individuato tra i modelli necessari per la gestione delle informazioni secondo la definizione delle attività elencate nell'art. 29 del codice dei beni culturali. Il piano di conservazione è lo strumento operativo della conservazione preventiva e programmata; pertanto, il passaggio dal

13. Vedi DELLA TORRE 2003.

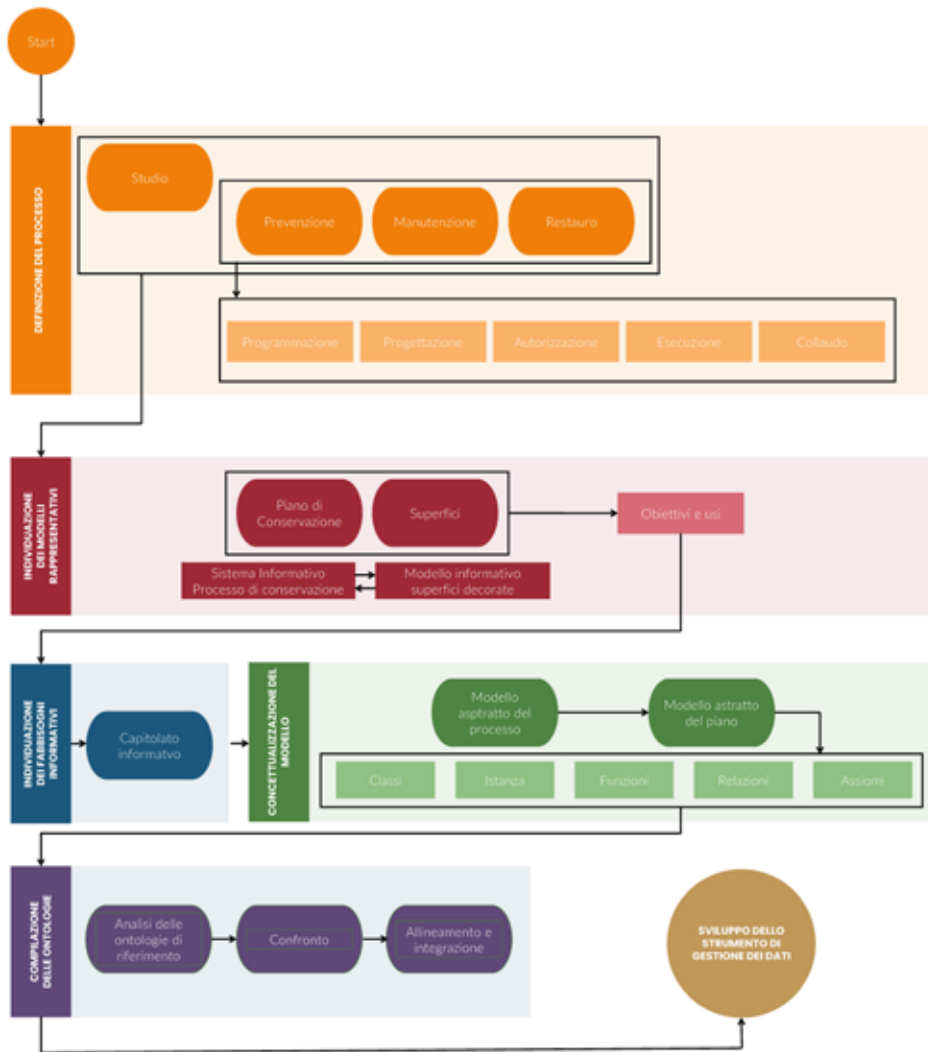


Figura 3. Flusso di lavoro: specifica delle attività e dei contenuti (elaborazione A. Pili, 2024).

modello concettuale del processo di conservazione al modello concettuale del piano ha consentito la riorganizzazione dei contenuti informativi secondo i documenti che costituiscono il piano di conservazione (figg. 4-5).

L'ultima fase relativa alla compilazione delle ontologie si sviluppa in tre sottofasi che prevedono: l'analisi delle ontologie di riferimento; il confronto; infine, l'allineamento e integrazione, i quali costituiscono la compilazione vera e propria delle ontologie per il processo di conservazione che sono state chiamate *Conservation Process Ontology* (CPO). Per lo svolgimento di questa parte di attività è stata utilizzata la piattaforma *FOSS Protégé* sviluppata dalla Stanford University School of Medicine per costruire modelli di dominio e consente la creazione, visualizzazione e gestione di ontologie.

Considerare ontologie come riferimento significa che altre ontologie (o parti di esse) già predisposte sono riutilizzate. Tra i vantaggi del riuso c'è sicuramente l'ottimizzazione di tempo e lavoro, ma richiede una attenta analisi per comprendere correttamente la struttura, le relazioni tra le entità e i significati al fine di individuare eventuali disallineamenti semantici e di sintassi tra le ontologie di riferimento (reciprocamente, se sono più di una) e di queste con le nuove ontologie.

Come accennato precedentemente, la compilazione delle CPO ha previsto il riutilizzo delle ontologie CIDOC, ArCo (già allineate con le CIDOC) e degli standard IFC.

Operativamente si è proceduto con la creazione all'interno di Protégé di un nuovo file dove sono state richiamate le ontologie di riferimento ed è stata creata la struttura del modello concettuale delle CPO.

Relativamente alla struttura delle CPO, si è proceduto con la definizione delle classi del modello concettuale del piano di conservazione definito secondo domini e sottodomini (elemento, materiali, degni, valutazione del rischio, diagnostica e monitoraggio, attività, costi, ...).

Conclusa la parte di definizione della struttura delle CPO, e la relativa compilazione della descrizione semantica delle classi, si è proceduto con la definizione delle relazioni sia con le ontologie di riferimento sia all'interno delle stesse CPO. L'analisi delle ontologie di riferimento ha consentito di individuare le classi che presentano corrispondenza semantica con le classi del processo di conservazione. In particolare, per le CIDOC sono state individuate le classi E14, E24, E29, E35, E39, E57, E58; per le ontologie ArCo le classi "Descrizione Bene Culturale", "Specifiche del Bene Culturale", "Uso", "Oggetto spaziale", "Bibliografia"; per gli standard IFC le classi `ifcBuildingElement`, `ifcActor`, `ifcSchedulingTime`. In alcuni casi è stato necessario definire delle sottoclassi per meglio definire concetti semantici differenti come nel caso della classe "bene architettonico e del paesaggio" delle ontologie ArCo che è stata divisa nelle due subclassi "CPO_architectural_heritage" e "CPO_landscape_

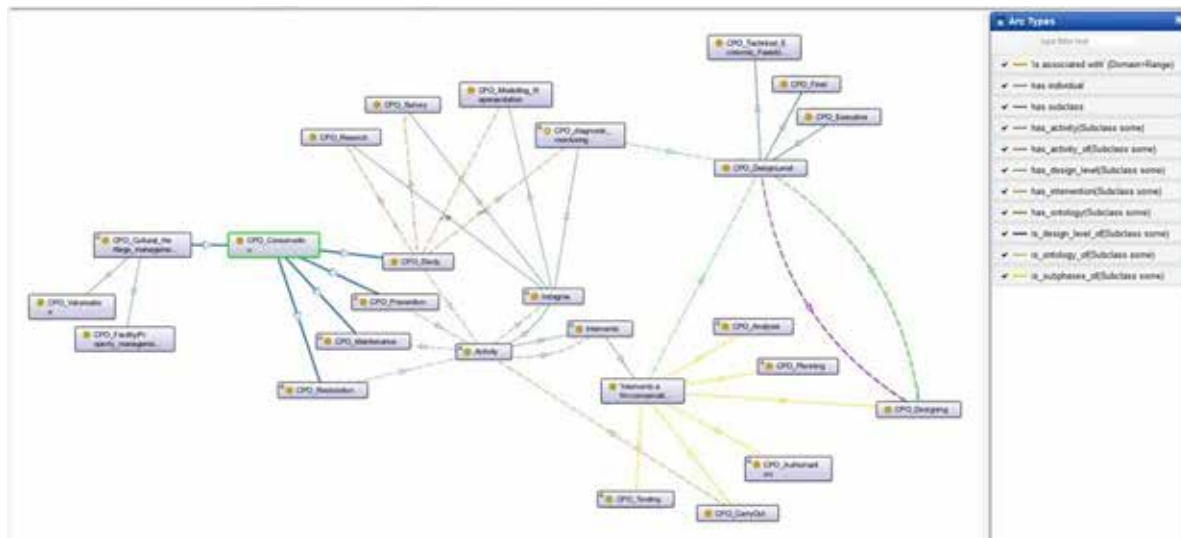


Figura 4. Modello concettuale del processo di conservazione (elaborazione A. Pili, 2024).

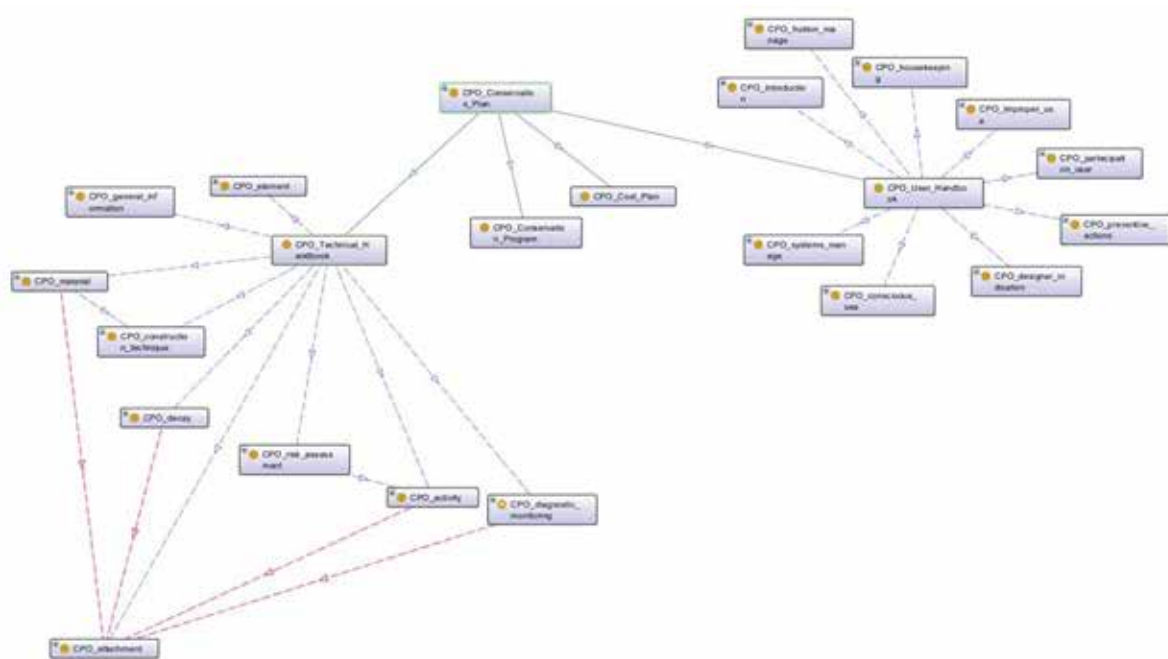


Figura 5. Modello concettuale del piano di conservazione (elaborazione A. Pili, 2024).

heritage"; la classe 'indagini' è stata definita con le subclassi "CPO_Survey", "CPO_Research", "CPO_Modeling/Representation", e "CPO_diagnostic_monitoring"; la classe "ispezioni" è stata specificata con le subclassi "CPO_visual_inspection", "CPO_empirical_control", e "CPO_instrumental_control"; e, infine, la classe "interventi ai fini conservativi" è stata specificata con le subclassi "CPO_preventive_actions", "CPO_maintenance_intervention", e "CPO_restoration_intervention".

Altre integrazioni hanno riguardato le istanze delle classi delle ontologie di riferimento, come per esempio l'inserimento della figura del "restauratore" all'interno della classe "ifcRoleEnum" degli standard IFC la quale contiene l'elenco dei soggetti coinvolti nel processo e dove, evidentemente, la presenza di tale figura non è prevista per le nuove costruzioni.

Uno strumento free e open source per la conservazione

Affinché le ontologie siano effettivamente operative, è necessario dotarsi di uno strumento che sia in grado di gestire i dati e le informazioni che definiscono i contenuti informativi di un modello.

Come precedentemente detto, gli attuali strumenti di modellazione informativa non consentono la gestione delle informazioni relative al processo di conservazione.

In accordo con i principi dell'innovazione digitale in atto che incentiva l'uso di formati aperti e di FOSS, per lo sviluppo dello strumento operativo è stato utilizzato FreeCAD. FreeCAD è un modellatore parametrico FOSS utilizzato in diversi ambiti disciplinari. Le funzioni variano a seconda del settore di utilizzo e sono definite all'interno di moduli applicativi chiamati *workbenches*. Il software è dotato di moduli base e moduli aggiuntivi sviluppati dagli utenti della community in base alle proprie esigenze di utilizzo. La programmazione dei *workbenches* è sviluppata in ambiente Python.

Oltre ai moduli base utilizzati per la modellazione parametrica, tra i moduli aggiuntivi disponibili c'è il *workbench* BIM che fa riferimento agli standard IFC e consente l'importazione e l'esportazione in formato ".ifc".

È stato dunque creato il modulo denominato "ConservationProcess" all'interno del quale sono state generate le funzioni per l'implementazione dei dati e informazioni inerenti al processo di conservazione precedentemente definiti nelle ontologie sviluppate.

L'immagine (fig. 6) mostra la compilazione del file "InitGUI.py" che contiene le istruzioni per la creazione del *workbench* e richiama i file di programmazione delle funzioni specifiche. L'immagine (fig. 7) mostra il modulo e le relative funzioni all'interno del programma FreeCAD. L'interfaccia grafica è stata sviluppata mediante progettazione di *widget* in ambiente Qt (figg. 8-9).

Lavori in corso e futuri

Attualmente è in corso lo sviluppo di un Sistema Informativo Integrato (S.I.I.) basato sulle ontologie CPO, capace quindi di gestire efficacemente i dati del processo di conservazione. Il sistema è definito integrato in virtù dell'integrazione, appunto, di questo con modelli BIM e GIS. L'integrazione sarà realizzata mediante relazione di corrispondenza tra l'ID dell'oggetto nel modello e l'ID dell'oggetto nel S.I.I. Al termine dello sviluppo del S.I.I. sarà possibile procedere con la verifica delle funzionalità del sistema. È evidente che l'interoperabilità tra il Sistema Informativo e altri modelli sarà effettiva solo nel momento in cui saranno resi disponibili degli standard al pari degli IFC. La soluzione di integrazione che si sta portando avanti, per quanto non perfettamente rispondente ai criteri di interoperabilità, consentirà non solo di verificare le funzionalità del sistema, ma anche di validare le ontologie CPO che hanno definito la struttura del sistema.

Conclusioni

La gestione della conoscenza, intesa come stratificazione di dati e informazioni, è requisito fondamentale per la conservazione del patrimonio culturale. L'interdisciplinarietà che caratterizza il processo di conservazione richiede la definizione di concetti specifici univocamente compresi dai differenti soggetti che partecipano al processo e dai modelli che rappresentano l'entità reale. Dotarsi di ontologie specifiche per il patrimonio culturale si configura come condizione propedeutica per raggiungere l'interoperabilità tra modelli informativi che scambiano informazioni all'interno di un ambiente comune di condivisione e archiviazione dei dati.

Il lavoro qui presentato ha affrontato il tema della definizione di strumenti (nella duplice valenza concettuale e operativa) per la gestione del processo di conservazione, in accordo con i principi della conservazione preventiva e programmata definita dal codice dei beni culturali e del paesaggio, e fornendo al tempo stesso risposta alle spingenti esigenze derivanti transizione digitale.

Il lavoro pone le basi per le attività future di compilazione di standard aperti e condivisi dedicati al patrimonio culturale ai quali i modelli informativi dovranno fare riferimento al fine di raggiungere la necessaria interoperabilità. Lo sviluppo del Sistema Informativo Integrato è un punto di partenza e si auspica di poter avviare in futuro il processo di standardizzazione e quindi il raggiungimento dell'effettiva interoperabilità anche per i dati e informazioni specifici per il patrimonio culturale.

Bibliografia

- BERNARAS, LARESGOITI, CORERA 1996 - A. BERNARAS, I. LARESGOITI, J. CORERA, *Building and Reusing Ontologies for Electrical Network Applications. 12th European Conference on Artificial Intelligence*, John Wiley Sons, Chichester (England) 1996.
- BORST 1997 - W. BORST, *Construction of Engineering Ontologies*, PhD thesis, University of Twente, Institute for Telematica and Information Technology, Enschede 1997.
- DELLA TORRE 2003 - S. DELLA TORRE, *La conservazione programmata del patrimonio storico architettonico. Linee guida per il piano di manutenzione e il consuntivo scientifico*, Angelo Guerini e associati, Milano 2003.
- DELLA TORRE 2017 - S. DELLA TORRE, *Un bilancio per il progetto BHIMM. Built Heritage Information Modelling/Management - BHIMM - PRIN 2010-2011*, Atti del convegno, Milano, 21-22 giugno 2016, Milano 2017.
- GRUBER 1993 - T. GRUBER, *A Translation Approach to Portable Ontology Specifications*, Stanford University, Computer Science Department, Stanford, California 1993.
- GUARINO 1998 - N. GUARINO, *Formal Ontology in Information Systems*, IOS Press, Amsterdam 1998.
- MOYANO ET ALII 2023 - J. MOYANO, A. PILI, J. NIETO, S. DELLA TORRE, S. BRUNO, *Semantic interoperability for cultural heritage conservation: Workflow from ontologies to a tool for managing and sharing data*, in «Journal of Building Engineering», 2023, 80. DOI: 10.1016/j.job.2023.107965.
- NECHES ET ALII 1991 - R. NECHES, R. FIKES, T. FININ, T. GRUBER, R. PATIL, T. SENATOR, W. SWARTOUT, *Enabling Technology for Knowledge Sharing and Reuse*, in «AI Magazine», 1991, 12, 3, pp. 36-56. DOI: 10.1609/aimag.v12i3.902.
- PILI 2023 - A. PILI, *Integrated BIM process for Cultural Heritage: Ontologies and Interoperability for information interchange*, Tesi di dottorato, XXXIV ciclo, Politecnico di Milano - Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Milano 2023.