



PROPOSTE METODOLOGICHE E TECNOLOGIE INNOVATIVE
PER LA RAPPRESENTAZIONE DELLA CONOSCENZA
NEI SITI ARCHEOLOGICO-INDUSTRIALI COMPLESSI

Cassia De Lian Cui

CASSIA DE LIAN CUI

TESI DI DOTTORATO

2025

In copertina: serie Fidenza #725 di Tyler Hobbs.

Le sue opere si concentrano sull'estetica computazionale ed indagano il dialogo tra l'ordine algoritmico dell'intelligenza artificiale generativa e il caos organico della natura e dell'essere umano. Questa tensione si manifesta in un flusso apparentemente caotico, che viene ricomposto in un sistema equilibrato e comprensibile, come per il processo di conoscenza, che in questo lavoro si struttura in un modello digitale e computabile.

Algoritmo basato su concetti di noice flow fields

METHODOLOGICAL FRAMEWORKS
AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES
FOR KNOWLEDGE REPRESENTATION
IN COMPLEX ARCHAEOLOGICAL AND INDUSTRIAL SITES

Dottorato in Ingegneria dell'Architettura e dell'Urbanistica
XXXVII Ciclo
Curriculum Edile-Architettura

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale DICEA
Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale
Sapienza Università di Roma

Tutti i diritti riservati

PROPOSTE METODOLOGICHE E TECNOLOGIE INNOVATIVE
PER LA RAPPRESENTAZIONE DELLA CONOSCENZA
NEI SITI ARCHEOLOGICO-INDUSTRIALI COMPLESSI

Cassia De Lian Cui

Supervisore: Prof. Ing. Edoardo Currà
co-Supervisore: Prof. Ing. Antonio Fioravanti

INDICE

ABSTRACT	13
<i>ABSTRACT</i>	15

1 INTRODUZIONE AGLI OBIETTIVI, ALL'IMPIANTO METODOLOGICO E ALLA STRUTTURA DELLA TESI

1.1.	Campo della ricerca	17
1.2.	Interrogativi della ricerca	21
1.3.	Obiettivo generale e obiettivi specifici	23
1.4.	Metodologia e strumenti proposti	24
1.5.	Risultati attesi	28
1.6.	Struttura della tesi	29
	Note bibliografiche	31

PARTE 1

ARCHEOLOGIA INDUSTRIALE NEI CONTESTI STRATIFICATI E MODELLI DIGITALI DI CONOSCENZA: STATO DELL'ARTE E PROSPETTIVE DI RICERCA

2 PALINSESTI COMPLESSI DI ARCHEOLOGIE MULTIPLE

2.1.	Specificità dell'archeologia industriale e delle altre discipline archeologiche	35
2.2.	Casi di archeologie stratificate nel contesto di area romana	41
2.3.	Processi di ricerca, documentazione e indagine. Una commistione di saperi e discipline	51
2.4.	Riconoscimento dei valori alla base dei patrimoni archeologici e industriali	53
2.5.	Complessità delle archeologie e dell'archeologia industriale	56
2.6.	Conclusioni e risultati parziali	58
	Note bibliografiche	60

3	L'INNOVAZIONE NEGLI STRUMENTI DIGITALI PER IL PROCESSO EDILIZIO DEL PATRIMONIO ARCHITETTONICO	
3.1.	Modello digitale del patrimonio architettonico come fonte informativa computabile	65
3.2.	Il mondo ICT per l' <i>heritage</i> tra discipline e finalità	67
3.3.	Attuali processi digitali di indagine e di documentazione	70
3.4.	Applicazione a casi studio di archeologie classiche e industriali	84
3.5.	Normative e protocolli di riferimento	87
3.6.	Conclusioni e risultati parziali	90
	Note bibliografiche	91
 4	 LE FRONTIERE DEI MODELLI DI CONOSCENZA E DEI MODELLI LINGUISTICI GENERATIVI	
4.1.	Digitalizzare la conoscenza per rappresentare la complessità del reale: dai dati all'interpretazione	101
4.2.	Raccolta e strutturazione dei dati in modelli di conoscenza. Problematiche e questioni aperte	102
4.3.	Analisi, valutazione e interpretazione della conoscenza tramite le tecnologie del web semantico. Limiti della tecnologia	112
4.4.	Ragionamenti ed inferenze: il ragionamento simbolico e il ruolo dell'Intelligenza Artificiale generativa e i <i>LLMs</i> (<i>Large Language Models</i>)	120
4.5.	<i>Prompt Engineering, Fine-Tuning e AI Assistant API</i> : Ottimizzazione dei modelli AI per il patrimonio storico-architettonico	128
4.6.	Conclusioni e risultati parziali	131
	Note bibliografiche	132

PARTE 2

GESTIONE INNOVATIVA DELLA CONOSCENZA

5	CARATTERIZZARE LE ONTOLOGIE INFORMATICHE PER LA RAPPRESENTAZIONE E GESTIONE DELLA CONOSCENZA DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE	
5.1.	Individuazione di una metodologia per la strutturazione della conoscenza nei processi di documentazione e di ragionamento	139
5.2.	Definizione del caso d'uso e specifiche del sito prescelto	142
5.3.	Domini di interesse per la modellazione dell'apparato industriale in relazione alle archeologie presenti	147
5.4.	Ontologia: concettualizzazione, acquisizione e riuso, nuova codifica e integrazione	150
5.5.	Principi teorici di raccolta, acquisizione e processamento delle informazioni per il popolamento dell'ontologia e per la creazione del modello informativo	165
5.6.	Conclusioni e risultati parziali	171
	Note bibliografiche	173
6	UN SISTEMA INTEGRATO PER LA RAPPRESENTAZIONE E GESTIONE DELLA CONOSCENZA DIGITALE DEL PATRIMONIO ARCHEOLOGICO-INDUSTRIALE	
6.1.	Problematiche aperte. Gestione dell'incertezza, integrazione di modelli HBIM - strutture di conoscenza <i>ontology-based</i> e inferenza tramite LLMs	177
6.2.	Incertezze: nuova linfa per la logica <i>fuzzy</i> e nuove opportunità dalla logica <i>fuzzy</i>	177
6.3.	Integrazione semantica bidirezionale: dai dati del processo HBIM alla base di conoscenza	184
6.4.	Ragionamenti e quesiti: inferenza e LLMs	195
6.5.	Validazione e verifica del conoscenza generata	205
6.6.	Conclusioni e risultati parziali	207
	Note bibliografiche	208

PARTE 3

APPLICAZIONE SPERIMENTALE, RISULTATI E CONCLUSIONI

7	MODELLI SEMANTICI PER LE ARCHEOLOGIE INDUSTRIALI: IL CASO STUDIO DEL SANTUARIO DI ERCOLE VINCITORE	
7.1.	Applicazione al caso studio: le archeologie industriali all'interno del Santuario di Ercole Vincitore	211
7.2.	Introduzione al caso studio	211
7.3.	Raccolta e acquisizione dei dati: una prima strutturazione della base di conoscenza	218
7.4.	Classificazione e modellazione dei dati industriali e archeologici	222
7.5.	Implementazione del modello e SPARQL <i>queries</i>	231
7.6.	Conclusioni e risultati parziali	238
	Note bibliografiche	239
8	APPROCCIO AVANZATO ALLA GESTIONE DEL PATRIMONIO: INTEGRAZIONE DI MODELLI HBIM, ONTOLOGIE E INTELLIGENZA ARTIFICIALE GENERATIVA	
8.1.	Il sistema HBIM e ontologie specifiche per il caso studio	243
8.2.	Interrogazione SPARQL	253
8.3.	Gestione dell'incertezza: l'uso dell'estensione <i>fuzzy</i> dell'ontologia nel caso studio	255
8.4.	Interrogazione dei dati tramite LLMs (modelli GPT customizzati)	262
8.5.	Creazione di un assistente OpenAI API	268
8.6.	Conclusioni e risultati parziali	273
	Note bibliografiche	275
9	CONCLUSIONI E PROSPETTIVE FUTURE	279
9.1.	Conclusioni	279
9.2.	Prospettive future e sviluppi oltre il lavoro svolto	281

Glossario	285
Bibliografia	293
Appendici	311
Pubblicazioni e attività svolte durante il dottorato	359

ABSTRACT

Il fenomeno di patrimonializzazione nel campo architettonico innesca processi di conoscenza e di indagine strettamente correlati alla natura intrinseca di questi beni. Elementi di permanenza, sono portatori di significati e di messaggi di potenzialità evolutiva, il cui sistema di valori, nei processi di recupero e di valorizzazione, dovrebbe assumere il ruolo di promotore di sviluppo socio-economico e culturale delle comunità.

Nel contesto attuale, la riflessione critica sui metodi e mezzi di acquisizione delle conoscenze impiega necessariamente il coinvolgimento di nuovi campi e strumenti di indagine tramite le tecnologie digitali grazie alle quali si avvia il dibattito con riguardo alla qualità scientifica delle metodologie, delle procedure e delle tecniche utilizzate, accompagnate dalla definizione degli scopi e degli obiettivi della loro applicazione.

Questo lavoro di tesi si interroga, all'interno di un campo specifico delle archeologie stratificate di area romana, sulla possibilità di delineare un approccio digitale diacronico che possa andare a ricostruire l'evoluzione nel lungo periodo dell'identità di un territorio. In particolare, con la finalità di riscoprire e ritessere i legami valoriali tra l'archeologia industriale e le altre archeologie in un paesaggio stratificato e complesso che evolve per strutture integrate tra di loro.

La ricerca, quindi, si propone di definire e di declinare un flusso di lavoro innovativo di conoscenza digitale al fine di creare un sistema informativo prototipale per la rappresentazione e gestione della conoscenza, composto da modelli geometrici di varia natura e di informazioni e dati specifici, a seconda delle finalità direttamente interrogabili tramite linguaggio naturale e linguaggi informatici. L'intento è quello di riuscire ad evidenziare gli aspetti tangibili e immateriali che concorrono alla formulazione di un giudizio di valore a supporto di tutte quelle attività di intervento sul bene oggetto di studio.

Tale sistema informativo è applicato all'unicum di Tivoli, grazie al quale vengono evidenziati alcuni tratti caratterizzanti del processo di digitalizzazione proposto nell'ottica di superare le limitazioni nelle pratiche correnti. Da un lato, dunque, si cerca di colmare il divario presente a livello contenutistico per quello che concerne gli aspetti di definizione e gestione semantica delle informazioni di questa specifica tipologia di bene architettonico e dall'altro, di rinnovare le metodiche attuali e gli strumenti attraverso un'integrazione tra modellazione informativa e parametrica, ontologie informatiche e modelli generativi di linguaggio naturale nel contesto dell'intelligenza artificiale.

L'innovatività contenutistica procede di pari passo con quella strumentale, affinché questo lavoro possa rappresentare un nuovo punto di partenza per future ricerche ed approfondimenti nell'ambito dei processi digitali applicati al patrimonio architettonico.

ABSTRACT

The phenomenon of heritage preservation within the architectural field triggers processes of knowledge and inquiry closely linked to the intrinsic nature of these assets. As enduring elements, they carry significant meanings and messages of potential for development, with their value systems playing a critical role in fostering socio-economic and cultural advancement in local communities through recovery and enhancement processes.

In the current context, critical reflection on methods and means of knowledge acquisition requires the integration of new fields and investigative tools, particularly through digital technologies. These tools initiate a debate regarding the scientific quality of methodologies, procedures, and techniques, which are accompanied by the definition of their goals and objectives.

This thesis explores, within the specific field of Roman stratified archaeology, the possibility of creating a diachronic digital approach that could reconstruct the long-term evolution of a territory's identity. The aim is to rediscover and reconnect the value connections between industrial archaeology and other forms of archaeology within a layered and complex landscape that evolves through interconnected structures

The research thus aims to define and implement an innovative digital workflow for knowledge creation, with the goal of developing a prototype information system for the representation and management of knowledge. This system would be composed of geometric models of various types, along with specific data and information that can be accessed through natural language and computational languages. The objective is to highlight both tangible and intangible aspects contributing to the formulation of value judgments that support interventions on the studied asset.

This information system is applied to the unique case of Tivoli, where key features of the proposed digitalization process are highlighted, aiming to overcome limitations in current practices. First, the research seeks to bridge the content gap concerning the definition and semantic management of information related to this specific type of architectural asset. On the other hand, it aims to renew current methodologies and tools through an integration of information and parametric modeling, computational ontologies, and generative natural language models within the context of artificial intelligence. The content innovation progresses alongside the instrumental one, positioning this work as a potential starting point for future research and in-depth studies within the realm of digital processes applied to architectural heritage

