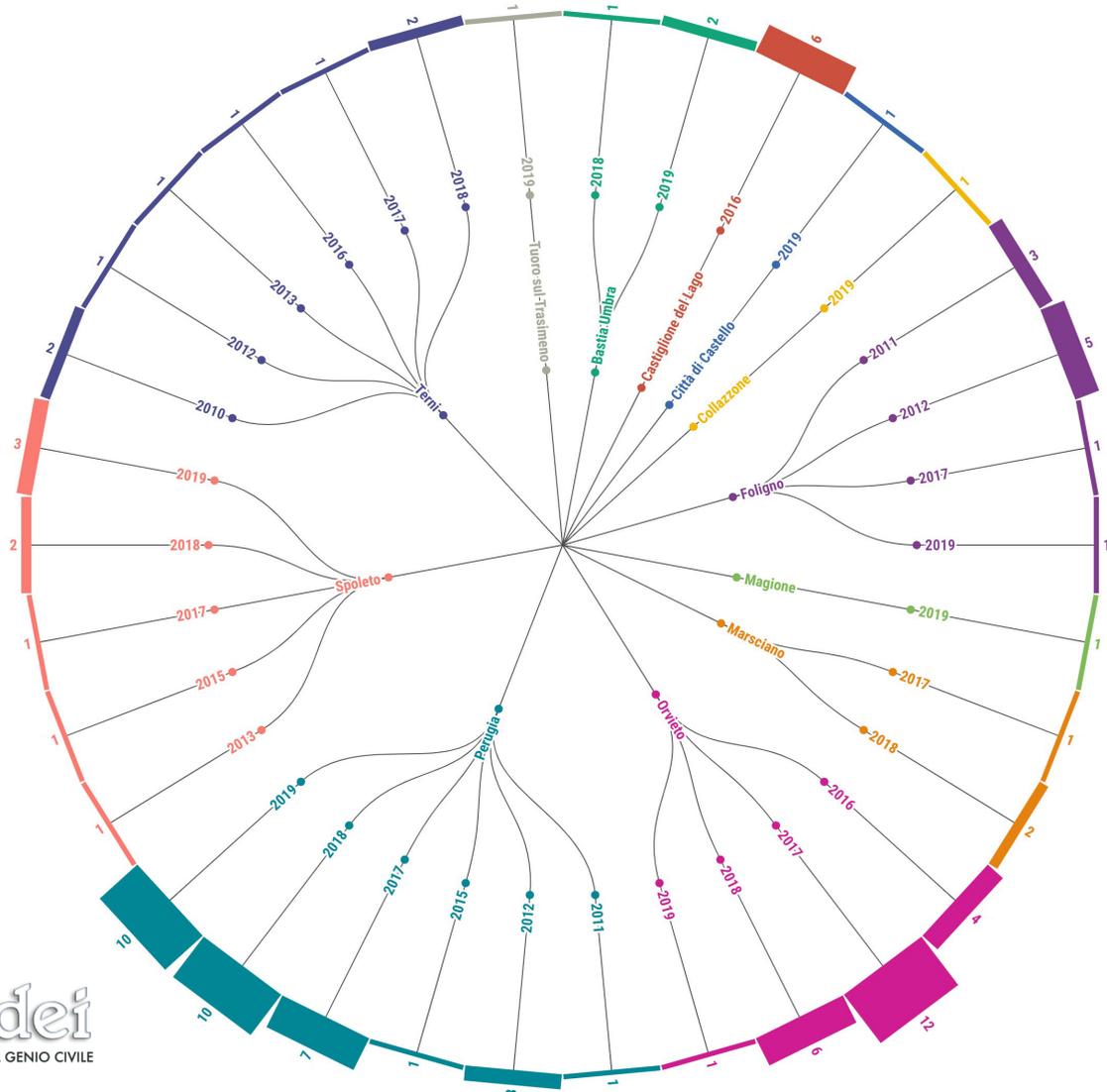




# Building Information Modeling, Data & Semantics

n.7 dicembre/december 2020






---

**INDICE/INDEX**


---

## EDITORIALE

**EDITORIAL**

*Sandro Parrinello, Massimiliano Lo Turco* 4

DALL'EDIFICIO AI MEDIA: VISUALIZZARE INFORMAZIONI IN OMA  
**FROM BUILDING TO MEDIA: ENVISIONING INFORMATION IN OMA**

*Fabio Colonnese* 8

INFORMAZIONI ACCESSIBILI. LA VISUALIZZAZIONE DATI NELL'EPOCA DEI BIG DATA,  
 DEGLI OPEN DATA E DEGLI OPEN TOOLS  
**ACCESSIBLE INFORMATIONS. VISUALIZING DATA IN THE AGE OF BIG DATA, OPEN DATA AND OPEN TOOLS**

*Enrico Cicalò, Valeria Menchetelli* 17

DAL TIPO AL DIAGRAMMA: LA RAPPRESENTAZIONE DEL DATO COME STRUMENTO EURISTICO  
 PER IL PROGETTO DI ARCHITETTURA  
**FROM TYPE TO DIAGRAM: DATA REPRESENTATION AS HEURISTIC TOOL FOR ARCHITECTURAL DESIGN**

*Michela Barosio, Rossella Gugliotta* 28

INFOGRAFICA E VISUALIZZAZIONE GRAFICA: NUOVI MODI PER LA RAPPRESENTAZIONE DEI DATI  
**GRAPHIC VISUALIZATION AND NEW WAYS TO REPRESENT DATA**

*Maurizio Marco Bocconcinò, Mariapaola Vozzola* 41

H-BIM: FLUSSI INFORMATIVI E PROCESSI DI DIGITALIZZAZIONE DEL DATO  
**H-BIM: INFORMATION FLOWS AND DATA DIGITIZATION PROCESSES**

*Anna Dell'Amico* 54

LA RAPPRESENTAZIONE DELLA CONOSCENZA UTILIZZANDO LE MAPPE COGNITIVE PER  
 FAVORIRE LA RICERCA COLLABORATIVA  
**KNOWLEDGE REPRESENTATION THROUGH COGNITIVE MAPS TO FOSTER COLLABORATIVE RESEARCH**

*Elena Gigliarelli, Filippo Calcerano, Michele Calvano, Stefano Cursi, Leo Lorenzi, Letizia Martinelli, Maurizio Sibilla* 68

DAGLI OPENDATA AI MODELLI DI CITTÀ: UN APPROCCIO ANTIFRAGILE PER IL CITY INFORMATION MODELING  
**FROM OPENDATA TO CITY MODELS: AN ANTIFRAGILE APPROACH FOR CITY INFORMATION MODELING**

*Federico Mario La Russa, Cettina Santagati* 83

RIFLESSIONI SULL'UTILIZZO DELL'HBIM A PARTIRE DA UNA SPERIMENTAZIONE SUL CAMPO  
**REFLECTIONS ON THE USE OF HBIM FROM EXPERIMENTS ON THE FIELD**

*Carlo Battini, Rita Vecchiattini* 96

LA DOCUMENTAZIONE DELLE SUPERFICI AFFRESCATE IN MODELLI HBIM  
**DOCUMENTATION OF FRESCOED SURFACES IN HBIM MODELS**

*Simona Scandurra* 108

COMUNICAZIONE GRAFICA DELLA TORRE DEI GRASSI AL 'PORTICO D'OTTAVIA' A ROMA  
**GRAPHICAL COMMUNICATION OF THE 'TORRE DEI GRASSI' AT THE 'PORTICO D'OTTAVIA' IN ROME**

*Giulia Pettoello* 118

LA MODELLAZIONE ALGORITMICA DELL'INFORMAZIONE (AIM) PER MAPPARE  
 IL DEGRADO: LA CHIESA DI SAN GIULIANO  
**AN ALGORITHMIC INFORMATION MODEL (AIM) FOR THE MAP OF DECAY: THE CHURCH OF SAN GIULIANO**

*Elisabetta Caterina Giovannini, Andrea Tomalini* 130

---

**Curatore del numero**

Editor in Chief

Sandro Parrinello, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*Massimiliano Lo Turco, *Politecnico di Torino, Torino, Italy***Direzione Scientifica**

Associated Editors

Cecilia Bolognesi, *Politecnico di Milano, Milano, Italy*Tommaso Empler, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*Massimiliano Lo Turco, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*Laura Inzerillo, *Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italy*Sandro Parrinello, *Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy*Francesco Ruperto, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*Cettina Santagati, *Università degli Studi di Catania, Catania, Italy*Graziano Mario Valenti, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy***Comitato Scientifico**

Scientific Committee

Pietro Baraton, *Provveditore Interregionale per le OO.PP. Lombardia ed E.Romagna*Angelo Ciribini, *Presidente ISTE, Università di Brescia, Brescia, Italy*Bruno Daniotti, *Project Manager InnovAnce, Politecnico di Milano, Milano, Italy*Alberto Pavan, *Coordinatore norma UNI 11337, Responsabile Scientifico InnovAnce, Politecnico di Milano, Milano, Italy*Gregorio Cangialosi, *BIM Manager and BIM Strategist, Studio CABE, Torino, Italy*Emmanuel di Giacomo, *EMEA BIM & AEC Ecosystem Business, France*Graziano Lento, *Anafyo Sagl, Ticino, Switzerland*Paolo Galli, *Implementation Consultant BIM, Milano, Italy*Diego Minato, *BIM Manager & Technical Consultant | BIM Strategist, Treviso, Italy*Orges Lesha, *BIM Manager, SA Architects, Sdn Bhd, Kuala Lumpur, Malaysia*Chiara Rizzarda, *Deputy BIM Manager at Antonio Citterio Patricia Viel, Milano, Italy*Yoseph Bausola Pagliero, *VPL and BIM expert, Roma/ Torino, Italy*Armando Casella, *Bimfactory, Brescia, Italy*Filippo Daniele, *Setin Roma, Italy*Yusuf Arayici, *Hasan Kalyoncu University, Gaziantep, Turkey*Maarten Bassier, *University of Leuven, Leuven, Belgium*Stefano Bertocci, *Università degli Studi di Firenze, Firenze, Italy*Carlo Bianchini, *Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*Maurizio Bocconcino, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*Frédéric Bosché, *Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom*Stefano Brusaporci, *Università degli Studi dell'Aquila, L'Aquila, Italy*Clark Cory, *Purdue University, Indianapolis, USA*Livio De Luca, *MAP/CNRS, Marseilles, France*Antonella Di Luggo, *Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Italy*Stephen Fai, *Carleton University, Ottawa, Canada*Pablo Lorenzo Eiroa, *Cooper Union, New York, USA*Andrea Giordano, *Università degli Studi di Padova, Padova, Italy*Antonio Gómez-Blanco Pontes, *Universidad de Granada, Granada, Spain*Sorin Hermon, *Cyprus Institute, Nicosia, Cyprus*Arto Kiviniemi, *University of Liverpool, Liverpool, United Kingdom*Giovanna Massari, *Università degli Studi di Trento, Trento, Italy*Maurice Murphy, *Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland*Anna Osello, *Politecnico di Torino, Torino, Italy*Livio Sacchi, *Università degli Studi "G. d'Annunzio", Chieti-Pescara, Italy*Andrew Sanders, *Penn University, Philadelphia, USA*Alberto Sdegno, *Università degli Studi di Trieste, Trieste, Italy*Jose Pedro Sousa, *Universidade do Porto, Porto, Portugal*Massimo Stefani, *Harpanceas*

La valutazione dei contributi pubblicati è avvenuta con la modalità del double blind review.

*Papers are published under double blind review mode.***Editore**

Direttore responsabile: Giuseppe Rufo

Progetto grafico: Ottavia Menzio, Alexandra Fusinetti. Copyright DEI Tipografia del Genio Civile, numero 1/2017 Direzione, Redazione e Pubblicità tel. 06/4416371 Ufficio Abbonamenti tel. 06/44163767 - 06/4416371 Fax 06/4403307 Periodico semestrale: Abbonamento annuo (2 numeri) 30,00 €: c/cp n. 65047003 intestato a: DEI Srl Tipografia del Genio Civile, via Cavour 179/A 00184 Roma Bonifico bancario: IT 91 O 03127 050110 0000 0019585 Unipol Banca. La Redazione è grata a tutti coloro che vorranno collaborare. I manoscritti, anche se non pubblicati, non si restituiscono. Le opinioni espresse dagli Autori non impegnano la rivista. Eventuali errori o imprecisioni non comportano responsabilità della Casa Editrice e della Direzione che ha posto comunemente la massima cura nella revisione dei testi e nella realizzazione dell'opera.

[www.dienne.org](http://www.dienne.org)



## Editoriale Editorial

Sandro Parrinello, Massimiliano Lo Turco

### // *Graphic excellence is nearly always multivariate* //

(Edward Tufte, *The Visual Display of Quantitative Information*, 1983)

Il settimo numero della rivista raccoglie una selezione ragionata dei contributi pervenuti in risposta alla call intitolata *“Le innumerevoli possibilità di rappresentazione del dato”*.

Ne è derivata una collezione di ricerche ed esperienze molto variegata, seppur riconducibile a due interessanti macrotemi riferibili alle molteplici forme di elaborazione grafica: l’infografica dei modelli digitali e lo sviluppo di modelli informativi.

In alcuni saggi si descrivono in modo dettagliato le potenzialità espressive di nuovi strumenti di rappresentazione infografica utili per una rappresentazione sintetica, anche di tipo statistico, per governare nuovi processi di conoscenza. Una conoscenza sempre più specialistica e specializzata descritta in molti contributi che si interrogano sulla risoluzione di sfide sempre più complesse, nella organizzazione di attributi di tipo eterogeneo e di natura non soltanto quantitativa, ampliando nei fatti le frontiere della disciplina del Disegno, come testimoniato anche dal successo di un importante evento interdisciplinare sul tema delle “gràfiche” svoltosi ad Alghero nel luglio 2019, in relazione alle diverse declinazioni ed aggettivazioni di ciò che afferisce alla sfera della -grafia, ovvero della *descrizione, dello studio, della scrittura, del disegno*. Una conoscenza aperta, interdisciplinare, come testimoniato dalle diverse anime che hanno contribuito alla realizzazione del nuovo numero della rivista.

*The journal’s seventh issue collects a selection of the contributions received in response to the call entitled “The wide possibilities of data representation.”*

*The result was a very diverse collection of research and experiences, albeit related to two interesting macro-themes referable to the multiple forms of graphic processing: the infographics of digital models and the development of information models. Some essays describe in detail the expressive potential of new infographic representation tools useful for a synthetic representation, also of a statistical type, to govern new knowledge processes.*

*An increasingly professional and specialized knowledge described in many contributions that question the resolution of increasingly complex challenges, in the organization of attributes of a heterogeneous type and not only quantitative in nature, broadening the frontiers of the Drawing discipline, as also testified by the success of an important interdisciplinary event on the theme of “graphics” held in Alghero in July 2019, concerning the different meanings of what pertains to the sphere of -graphics, as in description, study, writing, drawing. An open, interdisciplinary knowledge, as evidenced by the various figures who contributed to the achievement of the journal’s new issue.*

*Some contributions refer more precisely to this first issue, relating to methods and examples of data representation: the essay by **Fabio Colonnese** critically analyzes the role of architectural design in communications by the architecture firm OMA, to indicate a*

A questo prima tematica, relativa ai *metodi ed esempi di rappresentazione del dato*, si riferiscono più puntualmente alcuni contributi: il saggio di **Fabio Colonnese** analizza criticamente il ruolo del disegno di architettura nelle comunicazioni dello studio OMA, denotando una graduale migrazione verso l'uso dei diagrammi e rappresentazione visive schematiche quantitative prodotte da un sistematico incrocio di dati statistici, piante semplificate e schemi volumetrici integrati da testi, simboli e *patterns*, allo scopo di illustrare e spiegare il processo e la forma del progetto e le soluzioni funzionali. Sempre in merito di rappresentazione del progetto di architettura, il contributo di **Michela Barosio** e **Rossella Gugliotta** è teso a indagare il rapporto tra *tipo e diagramma*, spesso considerati quali mere semplificazioni della realtà analizzando le modalità con cui il diagramma si pone sempre con maggior forza quale strumento di concezione e di esplicitazione del processo progettuale. Le riflessioni del gruppo di lavoro di **Elena Gigliarelli** appaiono di natura interdisciplinare, ove si evidenzia la necessità di una sinergia tra ambiti di conoscenza diversi sottesa all'uso di un linguaggio di condivisione della conoscenza, mediante l'uso di mappe cognitive e codici grafici per la sintesi dei concetti. I contributi di **Enrico Cicalò** e **Valeria Menchetelli** e di **Maurizio Marco Bocconcino** e **Mariapaola Vozzola** presentano un approccio più teorico. Il primo analizza criticamente le potenzialità della *Data Visualization* nell'epoca dei *Big Data*, evidenziando come la grande disponibilità di *open data* e *open tools* rafforzi la necessità di un approccio scientifico *designer-based*; il secondo riflette sulla classificazione dei metodi di trattamento dei dati che aiutano a selezionare le modalità più efficaci di rappresentazione verificando le applicazioni, anche di carattere scientifico, che consentono di ottenere diverse tipologie di visualizzazione. Tale analisi è condotta commentando criticamente esempi di rappresentazione grafica che danno "informazione" a partire da ciò che è "dato".

I contributi che trattano più specificatamente lo sviluppo di modelli informativi si concentrano sul tema della *Data visualization* quale strumento di rappresentazione di sistemi complessi di dati, a cui si associano attività di *Data Collection*, illustrati attraverso approcci originali e innovativi.

*gradual migration towards the use of quantitative schematic diagrams and visual representations produced by a systematic crossing of statistical data, simplified plans and volumetric diagrams integrated by texts, symbols, and patterns, to illustrate and explain the process and the shape of the project and the functional solutions.*

*Moreover, concerning the representation of the architectural project, the contribution of **Michela Barosio** and **Rossella Gugliotta** is aimed at investigating the relationship between type and diagram, often considered as mere simplifications of reality by analyzing how the diagram is increasingly placed with greater force as a tool for conception and explanation of the design process.*

***Elena Gigliarelli**'s working group's reflections appear to be of an interdisciplinary nature. There is evidence of the need for a synergy between different fields of knowledge underlying the use of a knowledge-sharing language through cognitive maps and graphic codes for the synthesis of concepts.*

*The contributions of **Enrico Cicalò** with **Valeria Menchetelli** and **Maurizio Marco Bocconcino** with **Mariapaola Vozzola** present a more theoretical approach. The first critically analyzes the potential of *Data Visualization* in the era of *Big Data*, highlighting how the excellent availability of open data and open tools reinforces the need for a designer-based scientific approach; the second reflects on the classification of data processing methods that helps to select the most effective representation methods by verifying the applications, including the scientific ones, which make it possible to obtain different visualization types. This analysis is critically conducted by commenting on examples of graphic representation that give "information" starting from "data".*

*The contributions that deal more specifically with the development of information models focus on data visualization as a tool for the representation of complex data systems, joined with *Data Collection* activities, illustrated through original and innovative approaches.*

*In **Giulia Pettoello**'s contribution, the different ways an architectural asset can be documented and communicated are investigated. **Anna Dell'Amico** proposes the use of standard protocols for the management of shared models by employing a common language that facilitates the exchange of information. Although referring to the urban scale, the research by **Cettina Santagati** and **Federico Mario La Russa** investigates responsive models that*

Nel contributo di **Giulia Pettoello** si indagano le diverse modalità attraverso le quali poter documentare e comunicare un bene architettonico. **Anna Dell'Amico** propone l'utilizzo di protocolli standard per la gestione di modelli condivisi, attraverso l'uso di un linguaggio comune che renda agevole lo scambio delle informazioni. Seppur riferito alla scala urbana, la ricerca di **Cettina Santagati** e **Federico Mario La Russa** indaga su modelli responsivi che incrementino la quantità e la qualità dei dati riferibili a modelli di *City Information Modeling*.

Gli altri saggi forniscono lo spunto per riflettere sul ruolo dell'*Heritage BIM* cercando di comprendere, analizzandole, le difficoltà, i limiti e le potenzialità che il sistema può offrire nell'ambito della conservazione e della documentazione. In particolare, **Carlo Battini** e **Rita Vecchiatini** riflettono criticamente sulla possibilità di collezionare informazioni eterogenee come rilievi e modelli tridimensionali, fonti documentarie, cartografiche e iconografiche, informazioni testuali, di natura sia puntuale sia areale, aggregabili in un unico database, per la programmazione di interventi di conservazione e il relativo calcolo dei costi, senza trascurare la possibilità di estrazione di dati utili alla manutenzione ordinaria e in generale alla gestione dell'edificio. Il saggio di **Simona Scandurra** intende esaminare un possibile approccio alla documentazione del patrimonio architettonico nell'ambito dell'*HBIM*, con particolare riferimento alla memorizzazione e alla gestione dei dati relativi alle decorazioni parietali caratterizzanti le superfici murarie di alcuni manufatti storici. Infine, il contributo di **Elisabetta Caterina Giovannini** e **Andrea Tomalini** riflette sul connubio tra la modellazione tridimensionale e la modellazione delle informazioni, attraverso flussi di lavoro che includono approcci di programmazione con sistemi nodali e algoritmi di *machine learning* per la generazione di nuove componenti: partendo dai dati di acquisizione di un rilievo e il successivo *data processing*, si propongono soluzioni innovative per la classificazione e la creazione semiautomatica di elementi di degrado.

*increase the quantity and quality of data related to City Information Modeling models.*

*The other essays provide an opportunity to reflect on the role of the BIM Heritage by understanding and analyzing them, including the difficulties, limits, and the potential that the system can offer in the field of conservation and documentation.*

*In particular, Carlo Battini and Rita Vecchiatini critically reflect on the possibility of collecting heterogeneous information such as metric surveys and three-dimensional models, documentary, cartographic and iconographic sources, textual information, of both a punctual and spatial nature, which can be aggregated into a single database, for the planning of conservation interventions and the related cost calculation, without neglecting the possibility of extracting data useful for routine maintenance and in general for the building management.*

*Simona Scandurra's essay intends to examine a possible approach to the documentation of architectural heritage in the context of HBIM, with particular reference to the storage and management of data relating to wall decorations characterizing the wall surfaces of some historical artifacts.*

*In the end, the contribution of Elisabetta Caterina Giovannini and Andrea Tomalini reflects on the union between three-dimensional modeling and information modeling, through workflows that include programming approaches with nodal systems and machine learning algorithms for the generation of new components: starting from data acquisition of a survey and the subsequent data processing, innovative solutions for the classification and semiautomatic creation of degraded elements are proposed. Therefore heterogeneous contributions in their applicative experiences, albeit attributable to similar purposes, aimed at identifying models of representation of information useful for carrying out comparative readings. By developing digital models and data management structures, representation intends to favor more intuitive interpretations to exponentially expand the possibilities of relating complex data sets. The chance of associating heterogeneous data and developing comparisons will result in cultural enrichment, not only in technical and operational skills.*

Dunque contributi eterogenei nelle loro esperienze applicative, seppure riconducibili ad analoghe finalità, tese a individuare modelli di rappresentazione delle informazioni utili per operare letture comparate.

La rappresentazione, mediante lo sviluppo di modelli digitali e strutture di gestione dei dati, intende favorire interpretazioni più intuitive al fine di ampliare esponenzialmente le possibilità di porre in relazione insieme di dati complessi. Ad una possibilità di associare dati eterogenei e sviluppare confronti ne conseguirà un arricchimento culturale non solo in termini di capacità tecniche e operative. La rappresentazione esprime il valore umano dell'interpretazione del segno, pertanto qualificare modelli e sistemi informativi attraverso segni e simboli implica umanizzare un sistema informativo a vantaggio di una più naturale e sensibile relazione con una nuova complessità digitale.

*The drawing representation expresses the human value of the sign's interpretation; therefore, qualifying models and information systems through signs and symbols implies humanizing an information system to benefit a more natural and sensitive relationship with new digital complexity.*



# La rappresentazione della conoscenza utilizzando le mappe cognitive per favorire la ricerca collaborativa

Un'esperienza mirata al miglioramento energetico del patrimonio edilizio utilizzando tecnologie innovative

## Knowledge representation through cognitive maps to foster collaborative research

An application on the energy improvement of built heritage with innovative technologies

Elena Gigliarelli<sup>1</sup>, Filippo Calcerano<sup>1</sup>, Michele Calvano<sup>1</sup>, Stefano Cursi<sup>1</sup>, Leo Lorenzi<sup>1</sup>, Letizia Martinelli<sup>1</sup>, Maurizio Sibilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Heritage Science, National Research Council of Italy, <sup>2</sup>School of the built environment, Oxford Brookes University

e-mail: [filippo.calcerano@cnr.it](mailto:filippo.calcerano@cnr.it)

### □ Abstract

La ricerca sempre più si avvale di contributi multidisciplinari per raggiungere obiettivi validi e condivisi. La sinergia tra ambiti di conoscenza diversi è tanto maggiore quanto più chiaro è il linguaggio di condivisione. Le mappe cognitive, strumento appartenente alla sfera delle scienze cognitive, propongono un linguaggio per la condivisione della conoscenza avvalendosi di codici grafici per la sintesi dei concetti. Quest'articolo propone una revisione della "grammatica" generalmente utilizzata per la modellazione delle mappe cognitive, puntando verso una rappresentazione della conoscenza capace di rendere maggiormente accessibile le informazioni prodotte. Il prototipo di mappa è stato poi applicato per la condivisione dei contenuti nell'ambito del progetto PRIN TECH-START, nel quale si è svolto un seminario che ha coinvolto esperti di conservazione, rappresentazione dell'architettura, rappresentazione della conoscenza, fisica tecnica, computer science, IoT, valutazione ed estimo, tecnologia dell'architettura. I diversi settori disciplinari sono stati chiamati ad esprimersi sulle barriere all'impiego di nuove tecnologie abilitanti e di *smart environment* come supporto all'evoluzione dei processi per la gestione, conservazione, documentazione, controllo predittivo, diagnostica non distruttiva e miglioramento energetico degli edifici storici. L'impiego congiunto di questi strumenti produce infatti dati eterogenei complessi che richiedono un approccio interdisciplinare, nel quale sono coinvolti attori anche molto diversi fra loro con la comune necessità di condividere il proprio sapere.

### □ Abstract

*Research increasingly makes use of multidisciplinary contributions to achieve valid and shared results. The synergy between different areas of knowledge is greater the clearer the language of sharing. Cognitive maps, an instrument belonging in general to the sphere of cognitive sciences, propose a language for sharing knowledge using graphic codes for the synthesis of concepts. This article proposes a revision of the "grammar" generally used for the modelling of cognitive maps, aiming at a representation of knowledge capable of facilitating the access to the information produced.*

*The prototype map was then applied for content sharing as part of the PRIN TECH-START project, in which a seminar was held involving experts in conservation, representation of architecture, representation of knowledge, technical physics, computer science, IoT, evaluation and estimation, and the technology of architecture.*

*Different experts were asked to express their opinion on the barriers to the use of new enabling technologies and smart environments as a support to the evolution of processes for the management, conservation, documentation, predictive control, non-destructive diagnostics and energy improvement of historical buildings.*

*The joint use of these tools produces complex heterogeneous data that require an interdisciplinary approach, involving very different actors with the common need to share their knowledge.*

### □ Keywords

*Interdisciplinarity, knowledge representation, visual language, semantics, built heritage energy improvement.*

## □ Keywords

Interdisciplinarietà, rappresentazione della conoscenza, linguaggio visuale, semantica, miglioramento energetico degli edifici storici

## □ 1. Introduzione

Le strategie per il miglioramento energetico del patrimonio costruito [1] sono impegnative e richiedono un approccio interdisciplinare per gestire le complessità intrinseche [2]. Tuttavia, l'integrazione della conoscenza, che proviene da diversi *stakeholder* (ad esempio architetti, esperti di conservazione, esperti di diagnostica, storici, progettisti ambientali, fisici tecnici, ecc.) continua a essere un problema [3].

Al fine di promuovere un approccio interdisciplinare, questo studio ha adottato la tecnica di mappatura cognitiva (CMT). Questa tecnica per la rappresentazione della conoscenza non è nuova, di fatto, per molto tempo è stato un approccio confinato al settore dell'istruzione primaria [4]. Recentemente, alcuni studi hanno evidenziato la sua rilevanza per supportare ambienti di apprendimento interdisciplinare, sia nell'istruzione superiore che in contesti professionali. Tuttavia, pochi studi investigano il suo significato all'interno delle discipline dell'ambiente costruito. Ad esempio, nel design industriale [5], le CMT vengono utilizzate per promuovere la creatività individuale piuttosto che gli ambienti collaborativi. Al contrario, altri hanno elaborato un approccio innovativo, basato sulle tecniche di mappatura cognitiva, per affrontare l'interdisciplinarietà del passaggio alle basse emissioni di carbonio [6]. Questi studi si sono concentrati sulla produzione di conoscenza, trascurando le problematiche relative alla sua rappresentazione.

In questo contesto, lo studio proposto<sup>1</sup> è partito dal presupposto che una rappresentazione appropriata della conoscenza è una possibile soluzione per migliorare l'impatto delle CMT. Pertanto, è stato sviluppato un prototipo di mappa cognitiva basato su un nuovo modello di rappresentazione. Lo scopo è quello di fornire uno strumento innovativo per facilitare il processo di scambio e integrazione di conoscenze relative a problematiche specifiche, riguardanti l'inerzia che il settore del patrimonio costruito ha nei confronti delle innovazioni tecnologiche. In particolare, l'obiettivo principale è quello di migliorare la rappresentazione di di conoscenze trasversali, riducendo gli sforzi cognitivi degli utenti nel processo di integrazione e scambio.

<sup>1</sup>Questo studio fa parte del progetto TECH-START - key enabling TECHNOLOGIES and Smart environment in the Age of gReen economy. innovazioni convergenti nel sistema open space/building per la mitigazione del clima, nell'ambito dei Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale Italiano (PRIN) 2017.

## □ 1.Introduction

*Built heritage energy improvement strategies [1] are challenging and demand for an interdisciplinary approach to manage their inherent complexities [2]. However, the knowledge integration, which comes from different stakeholders (e.g. architects, conservation experts, diagnostic experts, historians, environmental designers, technical physicists, etc.) continues to be a problem [3].*

*In order to promote an interdisciplinary approach, this study adopted the cognitive mapping technique (CMT). This technique for knowledge representation is not new, but for a long time, this approach was confined to the sector of primary education [4]. Recently, some studies have pointed out its relevance to support interdisciplinary learning environments, both in higher education and professional contexts. Nevertheless, few studies have explored its significance within built environment disciplines. For example, in industrial design [5], CMT is used to promote individual creativity rather than collaborative tasks. In contrast, others elaborated an innovative approach, based on the CMT to deal with the interdisciplinarity of low carbon transition [6]. However, these prior studies focused on the production of knowledge, neglecting the issues of its representation.*

*Against this background, this study<sup>1</sup> moved from the assumption that an appropriate representation of knowledge is a possible solution to improve the impact of the CMT. Thus, it has developed a prototype of a cognitive map based on a new representation model. The scope is to provide an innovative tool to facilitate the process of knowledge exchange and integration related to specific problems, concerning the inertia of the built heritage sector towards technological innovations. Specifically, the main objective is to improve the representation of dynamic pieces of knowledge, reducing the users' cognitive efforts in the process of knowledge integration and exchange.*

## □ 2. Cognitive maps: methodology

*In order to develop the prototype of a new cognitive map, this study adopted a case study approach. This paper focused on the first step concerning the elaboration of the "Alpha" version of the prototype. The "Beta" version will be developed in the next phase of the research. The process to elaborate the "Alpha" version is summarised as follows:*

### GATHERING "TEXT AND AUDIO" INFORMATION.

*Experts were engaged in producing a list of concepts (i.e. 25 concepts), which represents the main topics related to their field of research. The scope of the list was to answer a specific focus question: "What are the barriers that hinder your applications of key enabling technologies and smart environments for the sustainable historical environment?". Then, among the list, they were invited*

<sup>1</sup> This study is part of the Project TECH-START - key enabling TECHNOLOGIES and Smart environment in the Age of gReen economy. convergent innovations in the open space/building system for climate mitigation, within the framework of the Italian Research Projects of Relevant National Interest (PRIN) 2017.

## □ 2. Mappe cognitive: metodologia

Per sviluppare il prototipo di una nuova mappa cognitiva, questo studio ha adottato un approccio basato sul caso studio. Il presente lavoro si è concentrato sul primo step riguardante l'elaborazione della versione "Alpha" del prototipo. La versione "Beta" sarà sviluppata in una fase successiva della ricerca. Il processo di elaborazione della versione "Alpha" è riassunto come segue:

### RACCOLTA DELLE INFORMAZIONI "TESTO E AUDIO".

Gli esperti sono stati impegnati nella redazione di una lista di 25 concetti, che rappresentano i principali argomenti relativi all'ambito di ricerca di ciascuno. Lo scopo della lista era quello di rispondere a una domanda specifica: "quali sono le barriere che ostano alle tue applicazioni di key enabling technologies e smart environment per l'ambiente storico sostenibile?". Successivamente gli esperti sono stati invitati a selezionare tra i 25, i tre concetti più rilevanti dal loro personale punto di vista. Dopodiché la lista e i tre concetti principali sono stati presentati in un *focus group*, organizzato come un'intervista semi-strutturata. Infine, le liste dei concetti sono state raccolte sotto forma di file di testo e presentazioni in *power-point*, mentre le interviste semi-strutturate sono state registrate, ricevendo il consenso dei partecipanti.

I seguenti sei gruppi di esperti sono stati coinvolti nell'attività che si è svolta il 16 luglio 2020 in un incontro online in cui ogni gruppo ha presentato la propria lista:

- Due gruppi del *Built Heritage Innovation Lab* dell'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale del Consiglio Nazionale delle Ricerche (uno con esperti in conservazione, progettazione ambientale e *audit* energetico, l'altro con esperti in modellazione e rappresentazione della conoscenza per l'architettura), entrambi composti da architetti e ingegneri;
- Un gruppo dell'Università di Xi'An Jiaotong-Liverpool, Dipartimento di Architettura e Design con competenze nella progettazione ambientale ed energetica;
- Due gruppi dell'Università di Ferrara (UniFe), il primo del Dipartimento di Architettura con competenze in tecnologia architettonica e miglioramento energetico-ambientale degli edifici storici, il secondo del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra con competenze in fotovoltaico, modellazione e progettazione di sensori, efficienza energetica e IoT;
- Un gruppo dell'Università di Venezia (IUAV) con competenze in materia di valutazione economico-finanziaria, economia immobiliare, studi di fattibilità, analisi e valutazione degli investimenti.

to select the three more relevant concepts from their point of view. Successively, the list and the three main concepts were presented in a *focus group*, organised as a semi-structured interview. Finally, the lists of concepts were collected as a text file and power-point presentations, while the semi-structured interviews were recorded, receiving the consent from participants.

The following six expert groups were involved in the activity, that took place on July 16th 2020 in an online meeting where every group presented its list:

- Two groups from the *Built Heritage Innovation Lab* of the Institute of Heritage Science, National Research Council of Italy (one with experts in conservation, environmental design and energy audit, the other with experts in modelling and representation of knowledge for architecture), both comprised of architects and engineers;
- One group from the Xi'An Jiaotong-Liverpool University, Department of Architecture and Design with expertise in environmental and energy design;
- Two groups from the University of Ferrara (UniFe), the first from the Department of Architecture with expertise on architectural technology and energy-environmental improvement of historic buildings, the second from the Department of Physics and Earth Sciences with expertise on photovoltaics, sensor modelling and design, energy efficiency and IoT;
- One group from the University of Venice (IUAV) with expertise on financial/economic evaluation, real estate economics, feasibility studies, investment analysis and appraisal.

### TRANSFERRING INFORMATION IN CONCEPT MAP.

In this step (Figure 1) the information gathered was transferred in the form of a cognitive map.

Firstly, the research team analysed the lists of concepts, producing a unitary list. This was done by incorporating synonyms and organising the concepts hierarchically, from generic to detailed. Secondly, the recordings were coded, to point out lexical patterns where the listed concepts had been included. Finally, the revealed lexical patterns were elaborated in the form of Novakian maps (i.e. concept – linking phrases – concept) [7], organising a meaningful discourse.

As a result, a set of thematic maps were produced, providing answers to the focus question.

### IDENTIFYING INTERDISCIPLINARY CONCEPTS.

The visual representation of the lexical patterns proposed by the stakeholders allowed the researchers to establish interactions among disciplinary fields. Experts' thematic maps were manipulated, articulated and adapted in order to integrate interdisciplinary concepts (Figure 2). This process was based on the Meaningful Learning Activities [8], whose association with the Novakian approach was already validated [9].

The research team managed the thematic maps' manipulation

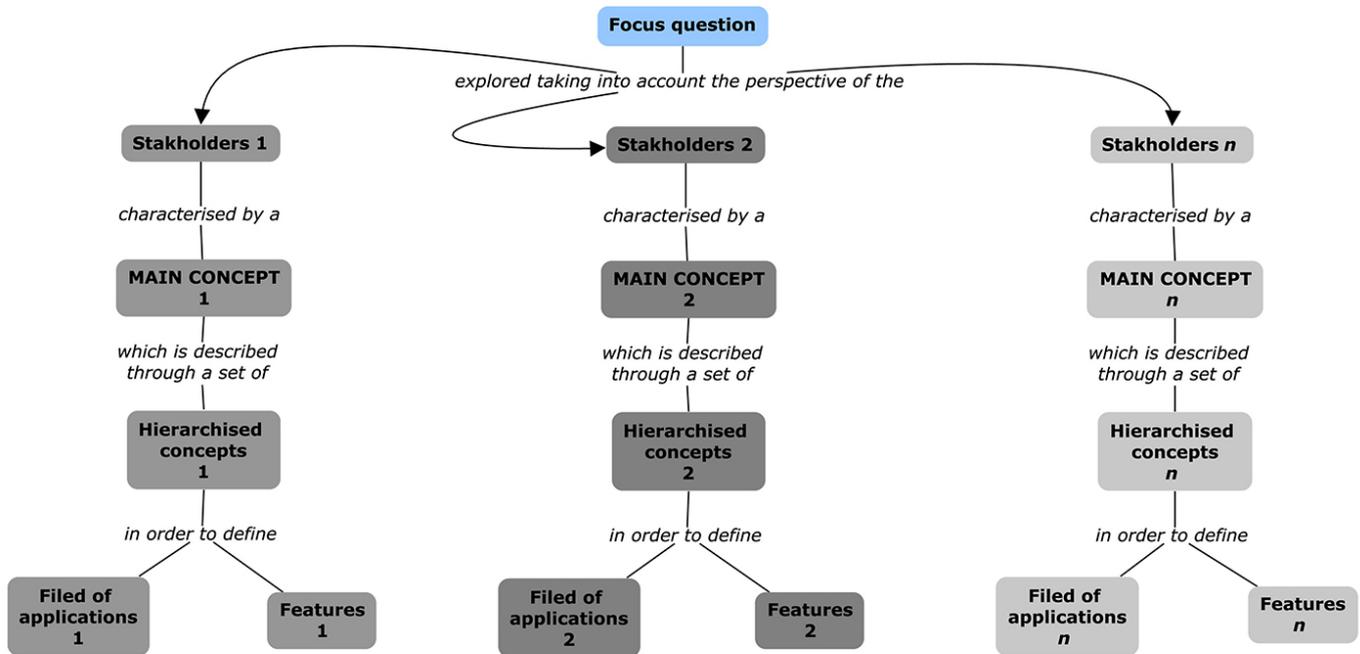


Fig.1 Informazioni raccolte nella mappa cognitiva per fornire una risposta alla domanda principale.

Fig.1 Information gathered in a cognitive map to provide an answer to the focus question.

#### TRASFERIMENTO DI INFORMAZIONI NELLA MAPPA CONCETTUALE.

In questa fase (Figura 1) le informazioni raccolte sono state trasferite sotto forma di mappa cognitiva. In primo luogo il gruppo di ricerca ha analizzato le liste di concetti, producendo un elenco unitario. Ciò è stato fatto incorporando i sinonimi e organizzando i concetti in modo gerarchico, dal generico al particolare. In secondo luogo, le registrazioni sono state codificate, per evidenziare gli schemi lessicali in cui i concetti elencati erano stati inclusi. Infine, gli schemi lessicali individuati sono stati elaborati sotto forma di mappe di Novak (concetto - frasi di collegamento - concetto) [7], organizzando un discorso significativo.

Come risultato, è stata prodotta una mappa tematica per ogni gruppo di esperti, che hanno fornito una risposta alla domanda principale.

#### IDENTIFICAZIONE DEI CONCETTI INTERDISCIPLINARI.

La rappresentazione visiva dei modelli lessicali proposti dagli stakeholder ha permesso ai ricercatori di stabilire le interazioni tra i campi disciplinari. Le mappe tematiche degli esperti sono state manipolate, articolate e adattate per integrare i concetti interdisciplinari (Figura 2). Questo processo si è basato sulle attività di apprendimento significative [8], la cui associazione con l'approccio di Novak era già stata convalidata [9].

to point out new perspectives and associations. As already mentioned, the connections proposed will be validated by the experts in the next step of the study to develop the "Beta version".

As a final step, a new common framework was delivered to promote new potential paths of connection to deal with the inertia of the built heritage sector towards technological innovations.

#### 2.1 A drawing proposal

It is appropriate to pay attention to the principles of Data Visualisation to enhance the dissemination role of cognitive maps through a review of their graphic grammar. Data Visualisation uses graphic representation to express abstract information and provide visual insights from heterogeneous data [10]. It is a crucial phase of knowledge dissemination, because it acts as an interface between disciplinary specialisms and a wider public. Within the study at hand, the Data Visualisation process was divided into two stages:

1. Data representation for specialised knowledge;
2. Data representation for shared knowledge.

Both stages were strongly related to the methodology for cognitive maps synthesis presented above (see § 2); however, we envisaged a different graphic solution for each of them, as they express an initially monodisciplinary and subsequently multidisciplinary overview.

The highlighted graphic grammar was primarily aimed at an expert audience, with specialised disciplinary knowledge, that also needs to understand the concepts expressed by the other disciplines participating in the research work.

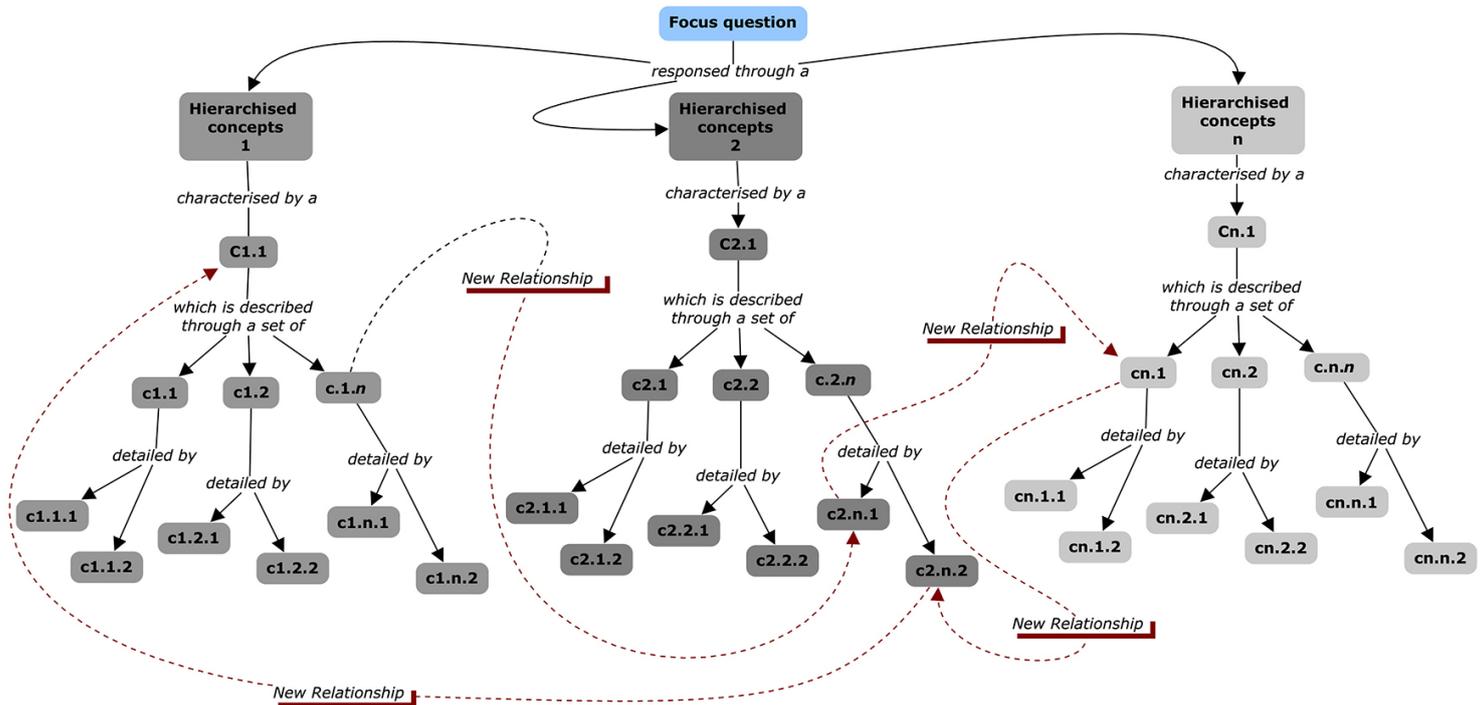


Fig.2 Le mappe tematiche degli stakeholder manipolate, articolate e adattate per integrare concetti interdisciplinari.

Fig.2 The Experts' thematic maps are manipulated, articulated and adapted in order to integrate interdisciplinary concepts.

Il team di ricerca ha gestito la manipolazione delle mappe tematiche per evidenziare nuove prospettive e associazioni. Come già detto, le connessioni proposte sono state convalidate dagli esperti nella successiva fase dello studio per lo sviluppo della “versione Beta”.

Come passo finale, è stato proposto un nuovo framework per promuovere nuovi potenziali percorsi di collegamento, in modo da affrontare l'inerzia del settore del patrimonio edilizio verso le innovazioni tecnologiche.

### 2.1 Una proposta di disegno

Per incrementare il fine divulgativo delle mappe cognitive attraverso una revisione della loro “grammatica” grafica, è opportuno prestare attenzione ai principi della *Data Visualization*, che utilizza la rappresentazione grafica per esprimere informazioni astratte e fornire intuizioni visive partendo da dati eterogenei [10].

La visualizzazione dei dati è una fase cruciale della diffusione della conoscenza, perché assume il ruolo di interfaccia tra le specializzazioni disciplinari e un pubblico più ampio. All'interno dello studio in esame, il processo di *Data Visualization* si divide in due fasi:

1. Rappresentazione dei dati per conoscenze specialistiche;
  2. Rappresentazione dei dati per conoscenza condivisa.
- Entrambe le fasi sono fortemente legate alla metodologia

### 2.2. Data representation for specialised knowledge

The graphic design phase postulates that the stakeholders possess a good abstraction ability and are trained to recognise shapes and other graphic elements (colours, shapes, lines and types of lines, arrows, etc.). The design of the graph proposed to represent the individual stakeholder's map (Figure 3) takes into account some basic principles of data visualisation [11]:

1. The need to provide a broader view of the information gravitating towards the focus question;
2. The definition of clear elements to access information;
3. The clear explanation of the relations between the concepts in their graphic representation.

According to the above listed concepts a graphic grammar, which provides a dynamic reading of information, was elaborated. The dynamism is not linked to the semantics of a graphic language, but to the progressive increase of knowledge, related to an initially subtractive reading of the information represented (from a general overview to the understanding of details) and consecutively additive reading (following the various connections among elements) to search for shared concepts.

Consistency with the first principle is achieved through the abstraction of the concepts selected by the experts, creating a sort of metadata useful to index their thought in hierarchical information levels. Through the metadata and the consecutive hierarchisation of

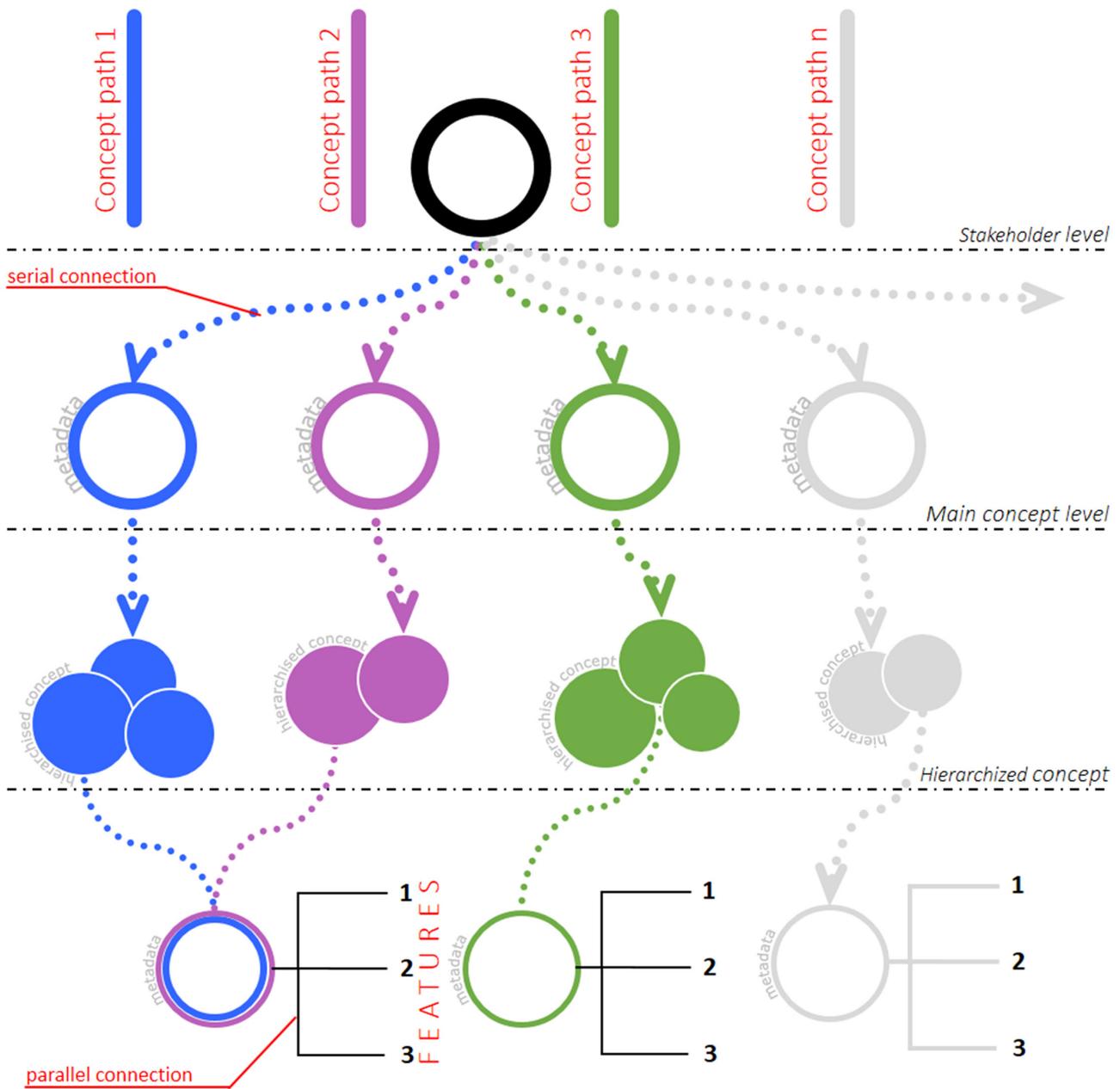


Fig.3 Proposta grafica per la rappresentazione della mappa cognitiva che illustra la conoscenza specialistica.

Fig.3 Graphic proposal for the representation of the cognitive map illustrating the specialised knowledge.

presentata (vedi § 2) per la sintesi delle mappe cognitive; tuttavia, è stata prevista una soluzione grafica diversa per ciascuna di esse, vista la necessità di esprimere una visione d'insieme inizialmente monodisciplinare e successivamente multidisciplinare.

La grammatica grafica evidenziata è rivolta principalmente ad un pubblico esperto, con conoscenze disciplinari specialistiche, che necessita anche di comprendere i concetti espressi dalle altre discipline che partecipano al lavoro di ricerca.

concepts, contents are sorted in a pyramidal structure. While comparing various knowledge domains, the identification of an equal number of hierarchical information levels enhances a clear visual comparison between the concepts expressed by the multidisciplinary working groups. This first condition has important repercussions on the design of elements to access information, supporting the use of metadata as a means of aggregation, grouping and filtering.

The second principle specifies the characterisation of information through the use of shapes and colours. Each hierarchical in-

## 2.2 Rappresentazione dei dati per la conoscenza specialistica

La fase di progettazione grafica presuppone che i soggetti interessati possiedano una buona capacità di astrazione e che abbiano familiarità con il riconoscimento di forme e altri elementi grafici (colori, forme, linee e tipi di linee, frecce, ecc.).

Il disegno del grafico proposto per rappresentare la mappa del singolo *stakeholder* (Figura 3) tiene conto di alcuni principi di base della visualizzazione dei dati [11]:

1. la necessità di fornire una visione più ampia delle informazioni che gravitano intorno alla domanda principale;
2. la definizione di elementi chiave per accedere alle informazioni;
3. la chiara esplicitazione delle relazioni tra i concetti operando sulla rappresentazione grafica delle connessioni.

Il rispetto dei concetti sopra elencati, permette di creare una “grammatica grafica” per la lettura dinamica delle informazioni. Il dinamismo non è dovuto alla semantica del linguaggio grafico, ma al progressivo aumento della conoscenza, legato ad una lettura inizialmente sottrattiva delle informazioni rappresentate (da una panoramica generale alla comprensione dei dettagli) e successivamente additiva (seguendo le varie connessioni tra gli elementi) per la ricerca di concetti condivisi.

La coerenza con il primo principio si ottiene attraverso l'astrazione dei concetti selezionati dagli esperti, creando una sorta di metadatozione utile a indicizzare il loro pensiero in livelli informativi gerarchici. Attraverso i metadati e la consecutiva gerarchizzazione dei concetti, i contenuti sono ordinati in una struttura piramidale. L'identificazione di un numero uguale di livelli informativi gerarchizzati, restituisce visivamente un chiaro confronto tra i concetti espressi dai diversi gruppi di lavoro.

Questa prima condizione ha importanti ripercussioni sulla progettazione degli elementi grafici per accedere alle informazioni, utilizzando i metadati come mezzo di aggregazione, raggruppamento e filtraggio.

Il secondo principio ha effetto sulla caratterizzazione delle informazioni attraverso l'uso di forme e colori. Ogni livello informativo gerarchico è contraddistinto da icone grafiche che facilitano il riconoscimento della stratigrafia dell'informazione (*layout* grafico verticale). Partendo dall'alto, abbiamo gli *stakeholder*, il cui simbolo grafico è una forma circolare con bordi spessi, in cui sono evidenziati i metadati (area disciplinare di riferimento). Al livello successivo, troviamo i concetti principali espressi all'interno del singolo dominio della conoscenza; da questo livello in poi, i metadati sono contrassegnati dal colore grigio. Le frasi con cui esprimere i concetti principali sono collocate all'interno di forme circolari con un bordo spesso ma con colori diversi, per sottolineare una organizzazione orizzontale aggiunta all'organizzazione verticale finora espressa.

*formation level is distinguished by graphic icons that facilitate the recognition of the information stratigraphy (vertical graphic layout). Starting from the top, we have the stakeholders, whose graphic symbol is a circular shape with thick borders, in which the metadata is highlighted (disciplinary area of reference). At the next level, we find the main concepts expressed within the single domain of knowledge. From this level on, the metadata is marked by the colour grey. The sentences with which to express the main concepts are placed within circular shapes with a thick border but with different colours, to underline a horizontal overview added to the vertical overview expressed so far.*

*In the next level, the main concepts are divided into hierarchical arguments; the latter quality is represented by full circular overlapping shapes, accompanied by metadata in grey.*

*The last level of the graph depicts the fields of expertise in which the concepts expressed can be further developed. At this level, the information can find areas of convergence, visually expressed by concentric circles with the same colour of the concepts they belong to. There are also direct connections with the characteristics deriving from the areas of expertise, expressed by listed text.*

*The third principle is solved by using curved connections, arrows and lines. The dashed curved lines create serial connections between the different hierarchical information levels; the arrows emphasise the unidirectionality of the information flow, while solid lines are used to connect information at the same hierarchical level.*

*By placing the various individual expert's maps side by side (Figure 4), an exploratory overview of the concepts expressed by the various disciplines emerges, and the first relations can be traced. The use of colours, shapes and signs conducts the reader to a selective investigation, following a path that subtractively leads to the answers of the stakeholders involved: therefore, he has a comparative overview of the problem, up to a specific understanding of the concepts and barriers of the individual disciplines, albeit in a synthetic way.*

## 2.3. Data representation for shared knowledge

*The work proceeds through a process of abstraction and synthesis, that allows for the connection of different disciplines, with the common goal of answering the focus question. The synthesis is an evolutionary process that is not the simple juxtaposition of individual expert's map; Figure 5 shows the generative process leading to the graphic grammar for the last synthetic map construction.*

*In this step, the attention shifts from disciplines to common concepts resulted from the critical observation process. This process is facilitated by a graphic representation, following the same rules of § 2.1. This shift influences the graphic grammar, in order to facilitate the knowledge sharing process (Figure 6). The hierarchical levels of information are reduced to the main concepts, common to the different disciplines. The new graphic code proposes solid coloured forms to highlight sentences that express common concepts, while their dimension is proportional to their persistence. At a lower level, empty shapes with coloured outlines represent the*

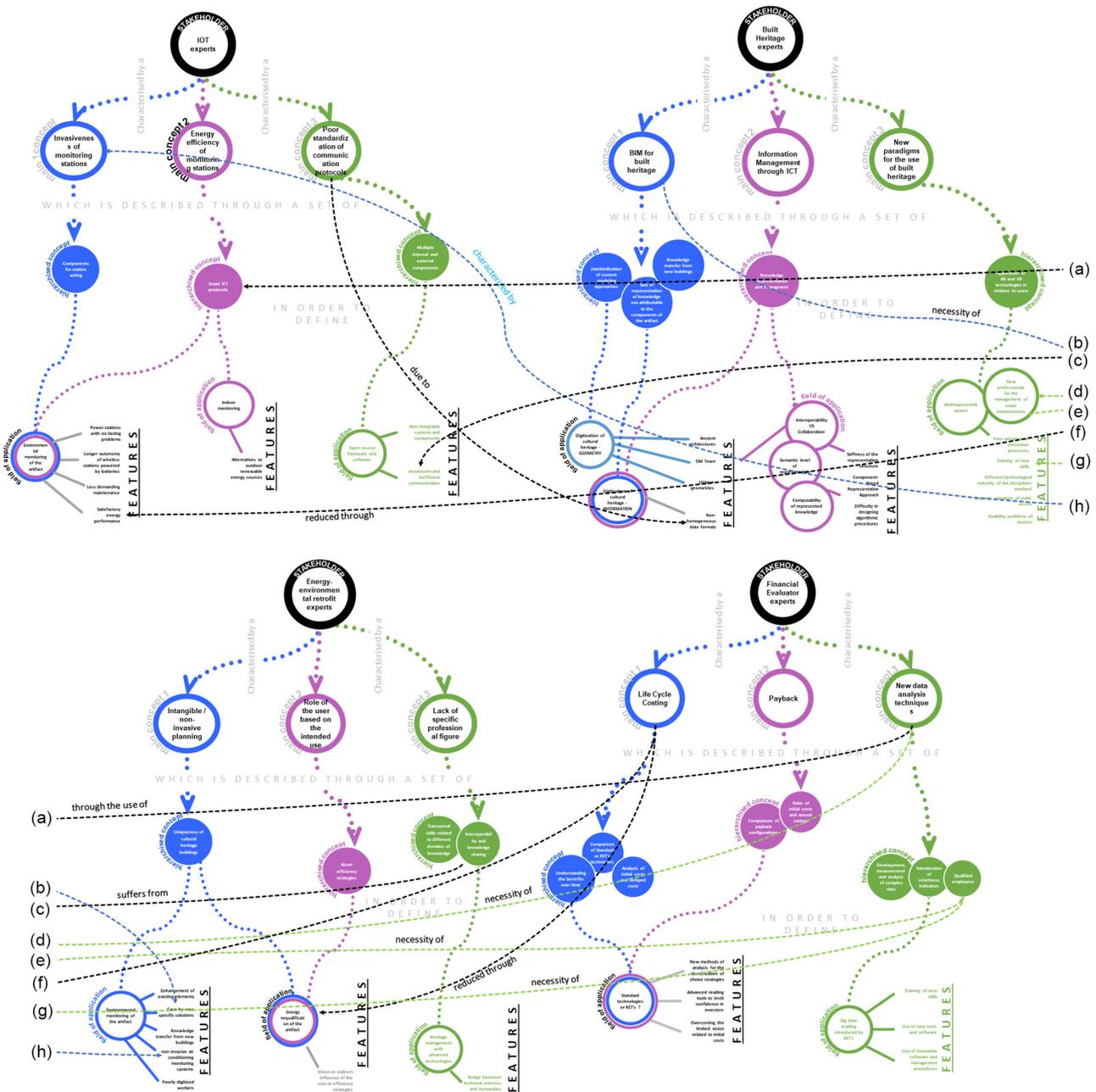


Fig.4 Concetti espressi dalle diverse discipline confrontati utilizzando il prototipo di mappa cognitiva elaborato.

Fig.4 Concepts expressed by the different disciplines compared using the elaborated cognitive map prototype.

Al livello successivo, i concetti principali sono suddivisi in argomenti ordinati; quest'ultima qualità è rappresentata da forme circolari completamente sovrapposte, accompagnate da metadati in grigio.

L'ultimo livello del grafico illustra i campi di competenza in cui i concetti espressi sono ulteriormente sviluppati. A questo livello, le informazioni possono trovare aree di convergenza, espresse visivamente da cerchi concentrici, con lo stesso colore dei concetti a cui appartengono. Vi sono anche collegamenti diretti con le caratteristiche derivanti dalle aree di competenza, espresse semplicemente da liste testuali.

Il terzo principio è risolto utilizzando connessioni curve,

fields of application, whose border colour evokes the main concepts from which they derive. Finally, the remaining elements are loose sentences. The significant part of this map consists of connections, which illustrate:

1. direct relations;
2. induced relations.

Direct relations between different hierarchical information levels are represented by continuous lines, while the relations following critical reflections due to observations on the map are drawn using dashed lines. The graphic differentiation allows to immediately identify direct relations between information deriving from experts' considerations arose from their communica-

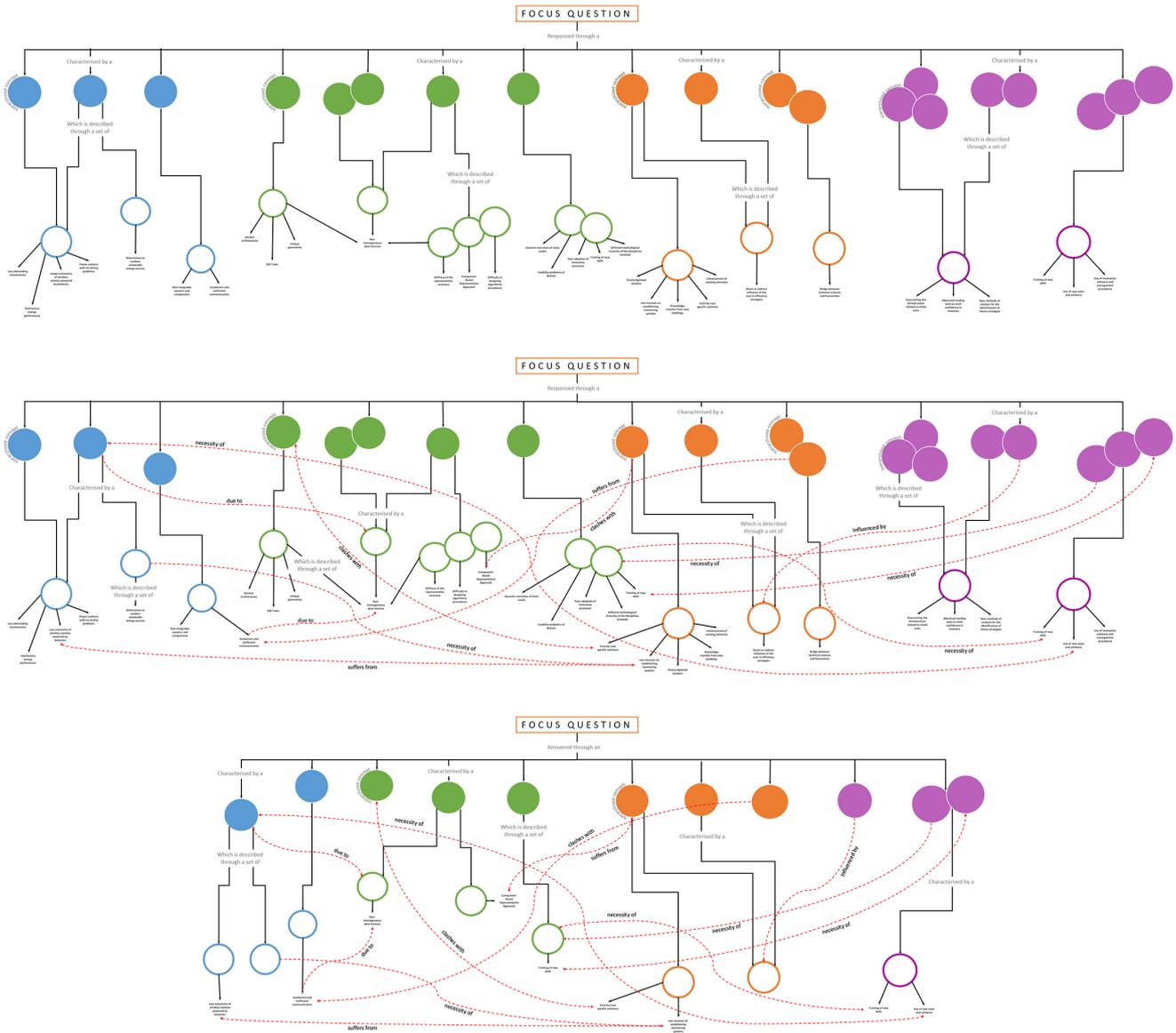


Fig.5 Processo generativo che porta alla “grammatica grafica” per la costruzione della mappa di sintesi.

Fig.5 Generative process leading to the graphic grammar for the last synthetic map construction.

frecce e linee. Le linee curve tratteggiate creano connessioni seriali tra i diversi livelli gerarchici di informazione; le frecce sottolineano l'unidirezionalità del flusso di informazioni, mentre le linee continue sono utilizzate per collegare le informazioni sullo stesso livello gerarchico.

Accostando le varie mappe dei singoli esperti (Figura 4), emerge una panoramica esplorativa dei concetti espressi dalle varie discipline e si possono tracciare le prime relazioni. L'uso dei colori, delle forme e dei segni conduce il lettore ad un'indagine selettiva, seguendo un percorso che in maniera sottrattiva conduce alle risposte dei soggetti coinvolti: seppur in modo sintetico, si ha quindi una visione comparativa del problema, fino ad una comprensione specifica dei concetti e delle barriere delle singole discipline.

tions, and the induced relations developed during rereading and final synthesis.

### 3. Application of the graphic prototype to the PRIN TECH-START

The prototype of representation was then tested in the experts' focus-group participating in the PRIN TECH-START research project. The recordings made during the presentations were listened to, after which we proceeded with the elaboration of the cognitive maps. The similarities between experts' issues led to the grouping of some of them in the same map; this operation reduced the areas of interest from six to four: financial evaluator experts, energy-environmental retrofit experts, built heritage experts, IoT experts.

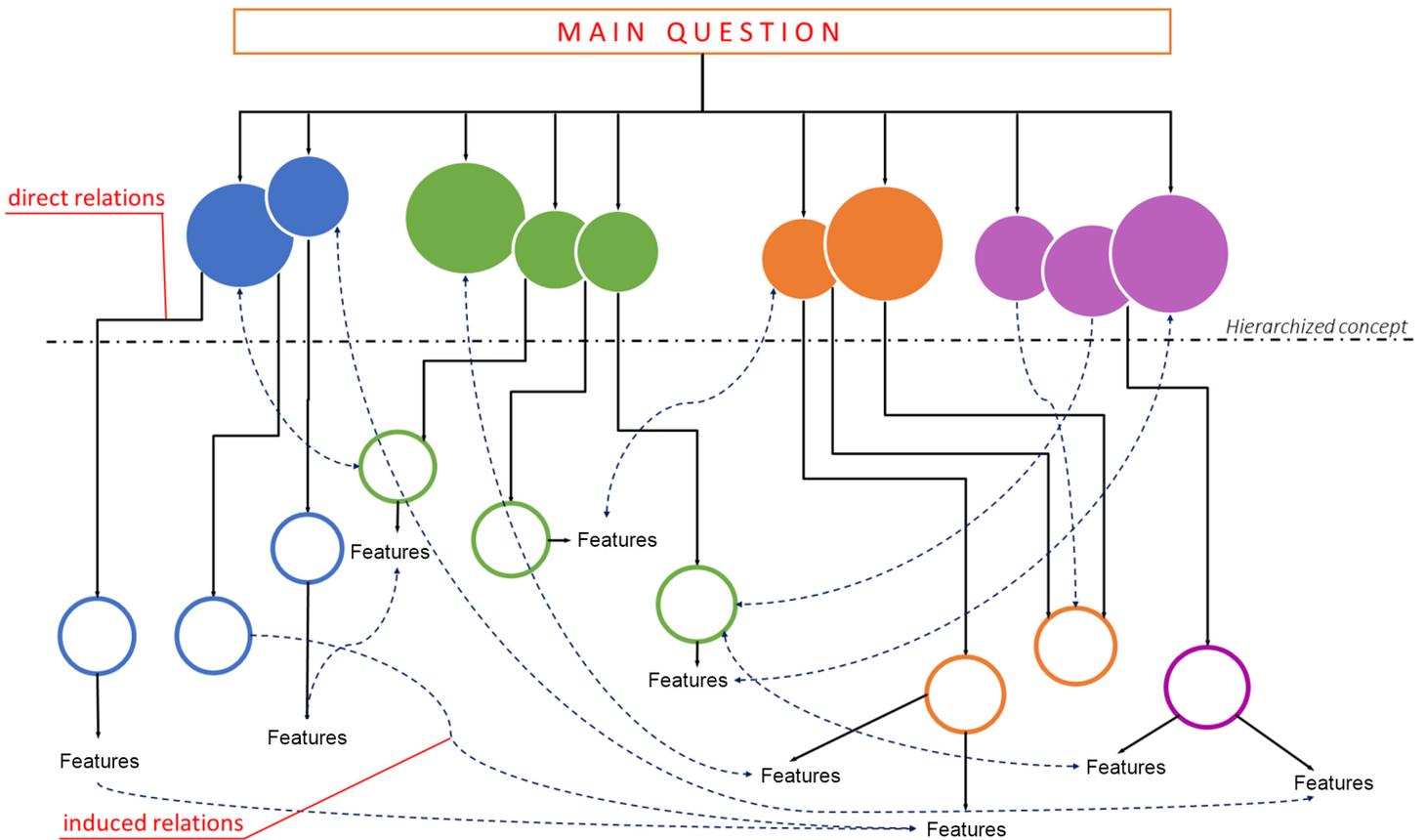


Fig. 6 Proposta grafica per la rappresentazione della mappa cognitiva che illustra la conoscenza condivisa.

Fig. 6 Graphic proposal for the representation of the cognitive map illustrating shared knowledge.

### 2.3 Rappresentazione dei dati per la conoscenza condivisa

Il lavoro procede attraverso un processo di astrazione e sintesi, che consente il collegamento di diverse discipline, con l'obiettivo di rispondere alla domanda comune. La sintesi è un processo evolutivo che non è limitato alla semplice giustapposizione della mappa del singolo esperto; la Figura 5 mostra il processo generativo che ha portato alla "grammatica grafica" per la costruzione della mappa di sintesi finale.

L'attenzione si sposta dalle discipline ai concetti comuni derivanti dal processo di osservazione critica, facilitato da una rappresentazione grafica che segue le stesse regole del § 2.1. Questo cambio di paradigma influenza la "grammatica grafica", per facilitare il processo di condivisione della conoscenza (Figura 6). I livelli gerarchici delle informazioni sono ridotti ai concetti principali, comuni alle diverse discipline. Il nuovo codice grafico propone forme dal colore pieno per evidenziare frasi che esprimono concetti comuni, mentre la loro dimensione è proporzionale alla loro persistenza. A un livello inferiore, forme vuote con contorni colorati rappresentano gli ambiti di applicazione, il cui colore del bordo evoca i concetti

The next step was to populate each stakeholders' map, following the hierarchy of information levels illustrated in § 2.2.

Taking as an example the processing of the built heritage experts (Figure 7), it is possible to identify a first deductive analysis activity, in which have been defined the macro themes emerged during the comparison between the groups involved. The concepts of "BIM for built heritage", "Information management through ICT" and "New paradigms for the use of built heritage" were associated with this expert group. The next phase for identifying the hierarchised concepts was faced by reviewing all the concepts listed by the experts, attributing each of them to the macro themes and finally, by grouping these concepts in a smaller number of entities. For example, for the issue of BIM applied to built heritage it was possible to identify various problems concerning:

- Standardisation of current modelling approaches;
- Lack of knowledge representation not attributable to the components of the artifact;
- Knowledge transfer from new buildings processes.

A further comparison within the topics presented during experts' meeting allowed us to identify the most representative "fields of application" for the knowledge domain in question and related

principali da cui derivano. Infine, gli elementi rimanenti sono frasi libere. La parte significativa di questa mappa è costituita da collegamenti che rappresentano:

1. relazioni dirette;
2. relazioni indotte.

Le relazioni dirette tra i diversi livelli gerarchici di informazione sono rappresentate da linee continue, mentre le relazioni che seguono riflessioni critiche dovute alle osservazioni sulla mappa sono disegnate utilizzando linee tratteggiate. La differenziazione grafica consente di individuare immediatamente le relazioni dirette tra le informazioni derivanti dalle considerazioni emerse dal confronto tra gli esperti, e le relazioni indotte sviluppate durante la rilettura e la sintesi finale.

### □ 3. Applicazione del prototipo grafico al PRIN TECH-START

Il prototipo di rappresentazione è stato poi testato nel focus-group di esperti partecipanti al progetto di ricerca PRIN TECH-START. Sono state ascoltate le registrazioni effettuate durante le presentazioni, dopodiché si è proceduto all'elaborazione delle mappe cognitive. Le somiglianze tra i problemi degli esperti hanno portato al raggruppamento di alcuni di essi nella stessa mappa; questa operazione ha ridotto le aree di interesse da sei a quattro: esperti valutatori finanziari, esperti di *retrofit* energetico-ambientale, esperti del patrimonio costruito, esperti di IoT.

Il passo successivo è stato quello di popolare la mappa di ogni *stakeholder*, seguendo la gerarchia dei livelli di informazione illustrata nel § 2.2.

Prendendo come esempio l'elaborazione riguardante gli esperti del patrimonio costruito (Figura 7) è possibile individuare una prima attività di analisi deduttiva, attraverso la quale sono stati definiti i macro temi emersi durante il confronto tra i gruppi coinvolti. A questo gruppo di esperti sono stati associati i concetti di "BIM per il patrimonio costruito", "Gestione delle informazioni attraverso le ITC" e "Nuovi paradigmi per l'uso del patrimonio costruito". La fase successiva per l'individuazione dei concetti gerarchizzati è stata affrontata revisionando tutti i concetti elencati dagli esperti, attribuendo ciascuno di essi ai macro temi e infine, raggruppando questi concetti in un numero più circoscritto di entità. Ad esempio, per il tema del BIM applicato al patrimonio costruito è stato possibile individuare diverse problematiche riguardanti:

- La standardizzazione degli attuali approcci di modellazione;
- Le difficoltà di rappresentazione della conoscenza non riconducibile alle componenti del manufatto;
- Il trasferimento di conoscenze dai processi riguardanti i nuovi edifici.

*to the entities of the hierarchised concepts (Figure 8). Some hierarchised concepts attributable to different main concepts have been merged into common fields of application. The final phase of cognitive maps' definition for the individual groups concerned the compilation of the "features", connected to the various "fields of application". The concepts chosen reflect the experts' conclusions; in the case of the built heritage experts, it was the concepts of: Non-homogeneous data formats, Unique geometries, Component-Based Representative Approach, etc.*

*The representation of shared knowledge, as described in § 2.3, was tackled by placing side by side the cognitive maps drawn up and eliminating the hierarchical levels relating to the experts and the main concepts. Therefore, a redistribution of the hierarchised concepts was carried out by grouping them into knowledge domains distinct from the colours attributed to the elements of the graph.*

*A final listening of the interventions made it possible to identify synonyms, redundancies, and to group concepts for the final shared map. As done for the concepts of "standardisation of current modelling approaches" and "case-by-case specific solutions" linked by the relation "clashes with", induced relations have therefore been made explicit.*

*The final cognitive map contains only the concepts connected by the new relationships created (Figure 9), revealing the most significant synergy between the involved disciplines.*

### □ Conclusion

*The proposed work had as its main purpose the graphic upgrade of a tool widely used in the context of knowledge sharing, even if in different fields than built heritage. The comparison of different existing software such as Mental Modeler, FCMapper, FCM Expert, has highlighted the input-output structure, in which the data is entered through a relational system of nodes. Through these nodes it is possible to extrapolate different types of output adaptable concerning the type of reading you want to give of the collected data. The improvement of the developed language is mainly to be found in the graphic clarity, enriched by a hierarchical and meta-dation structure. The case study highlighted the efficacy and potential of the proposed graphic solutions both in their explanatory function and as a tool to support the conceptualisation activity in the analysis of the domain of knowledge related to the specific problem.*

*Although the final map has been developed taking into account the information coming from stakeholders, the product has yet to be validated by them. Future developments include the integration of the interface with existing tools in order to combine the most significant potential in the writing phase, of the developed graphical interface, with the possibility of querying and filtering information of consolidated software for the drafting of cognitive maps.*

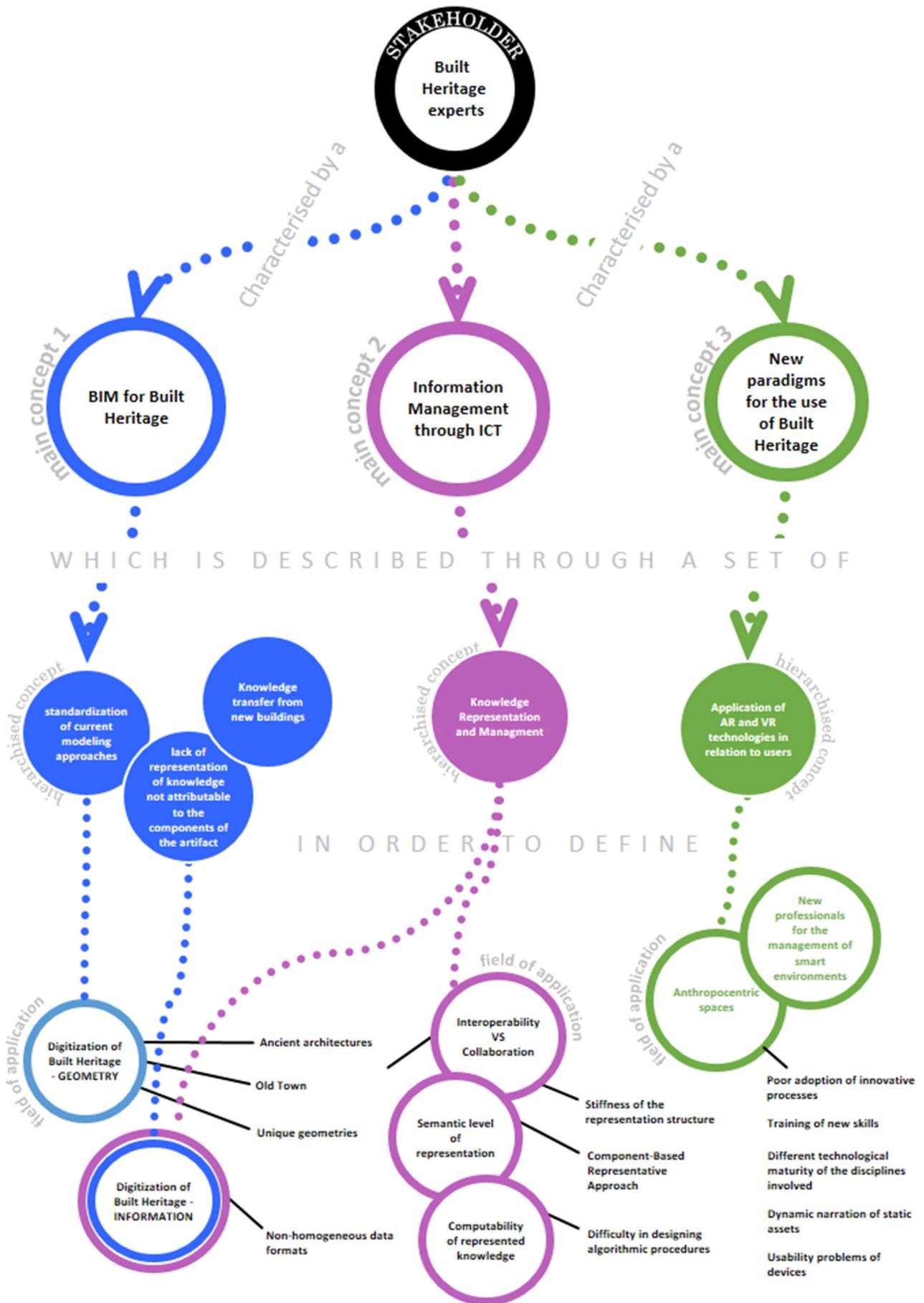


Fig.7 Mappa cognitiva che illustra le conoscenze specialistiche nel campo degli esperti del patrimonio costruito.

Fig.7 Cognitive map illustrating specialised knowledge in the field of Built heritage experts.

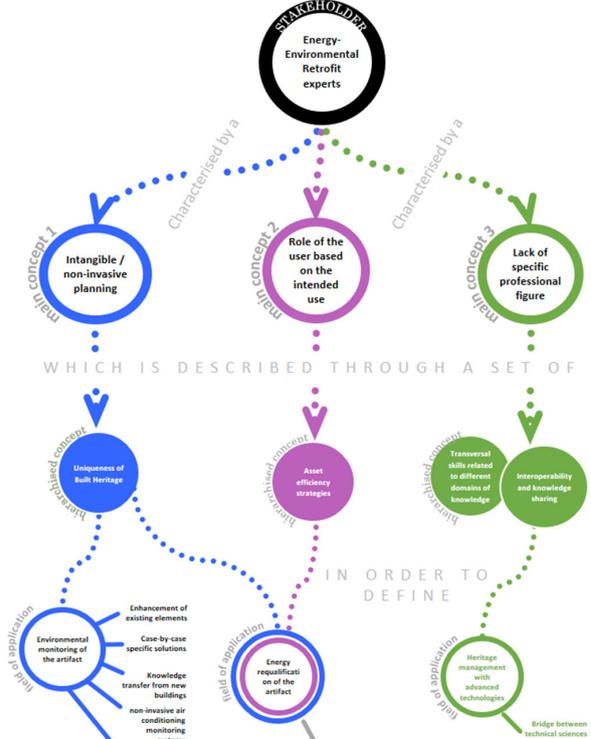
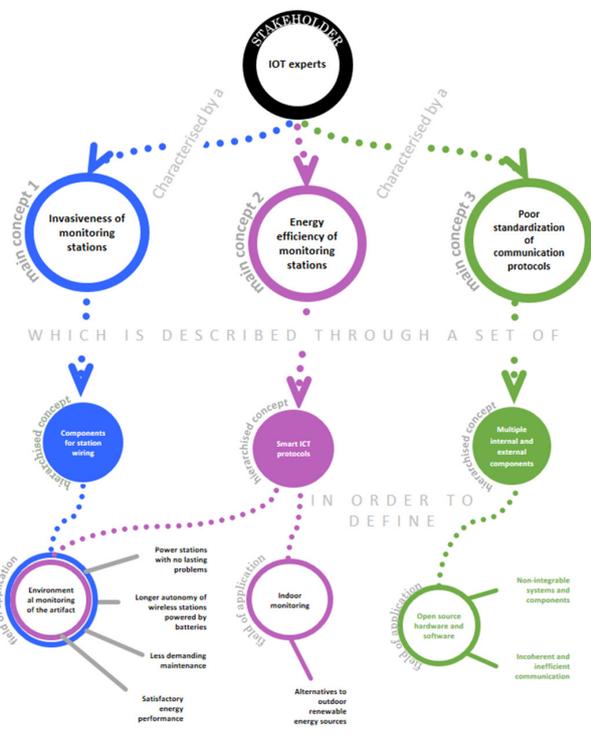
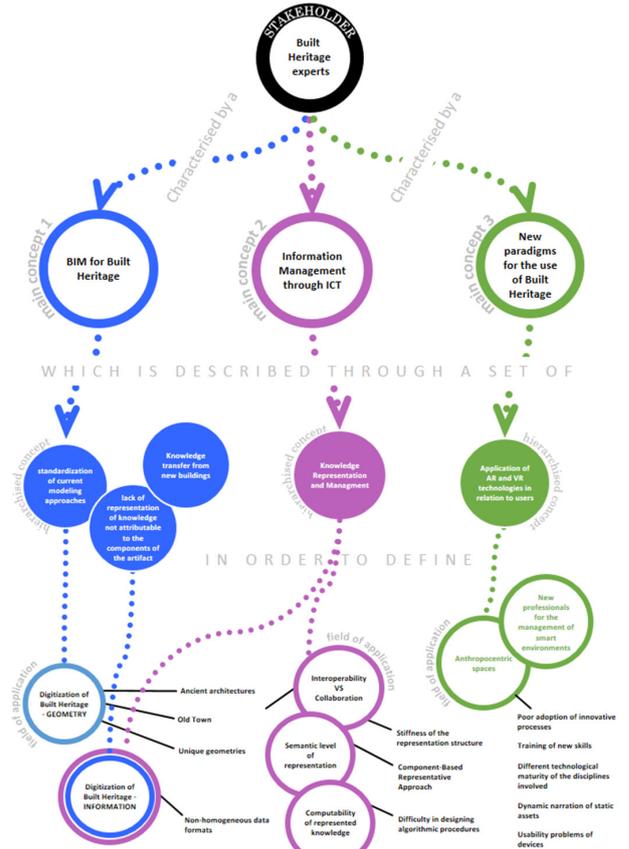
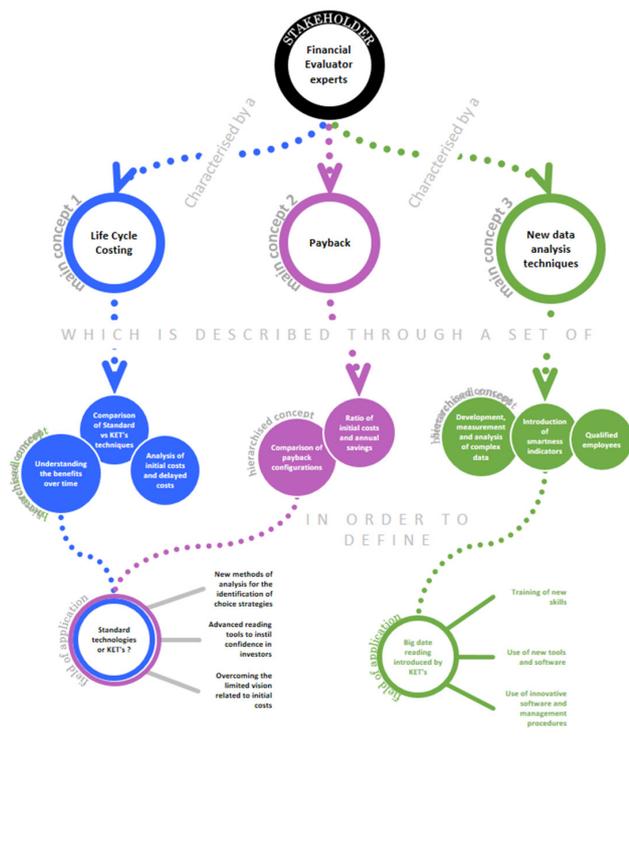


Fig.8 Mappa cognitiva che illustrano la conoscenza specialistica dei diversi domini disciplinari che hanno contribuito al focus group.

Fig.8 Cognitive maps illustrating the specialised knowledge of the different disciplinary domains that contributed to the focus group.

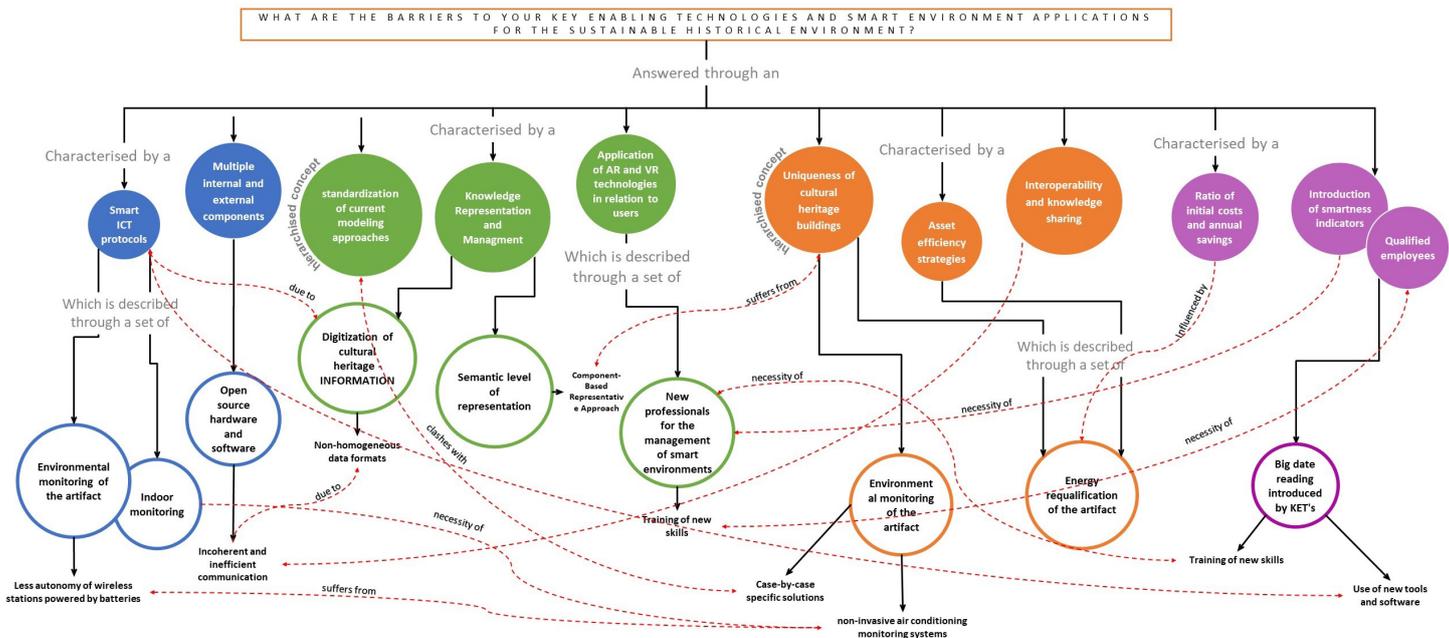


Fig.9 Mappa cognitiva che illustra la conoscenza condivisa dai diversi stakeholder nell'ambito delle questioni proposte dal workshop.

Fig.9 Cognitive map illustrating the knowledge shared by the different experts within the issues proposed by the workshop.

Un ulteriore confronto con i temi presentati durante la riunione tra gli esperti ha permesso di individuare i “campi di applicazione” più rappresentativi per il dominio della conoscenza in questione e relativi alle entità dei concetti gerarchizzati (Figura 8). Alcuni concetti gerarchizzati attribuibili a diversi concetti principali sono stati riuniti in campi di applicazione comuni. L’ultima fase di definizione delle mappe cognitive per i singoli gruppi ha riguardato la compilazione delle “caratteristiche”, connesse ai vari “campi di applicazione”. I concetti scelti riflettono le conclusioni degli esperti; nel caso degli esperti del patrimonio costruito si è trattato dei seguenti concetti: formati di dati non omogenei, geometrie uniche, approccio rappresentativo basato su componenti, ecc.

La rappresentazione della conoscenza condivisa, così come descritta nel § 2.3, è stata affrontata affiancando le mappe cognitive elaborate ed eliminando i livelli gerarchici relativi agli esperti e ai concetti principali. Pertanto, è stata effettuata una ridistribuzione dei concetti gerarchizzati raggruppandoli in domini di conoscenza distinti dai colori attribuiti agli elementi del grafico.

Un ascolto finale degli interventi ha consentito di individuare sinonimi, ridondanze e di raggruppare concetti per definire la mappa condivisa finale. Pertanto, come fatto per i concetti di “standardizzazione degli attuali approcci modellistici” e “soluzioni specifiche caso per caso” legati dalla relazione “si scontra con”, sono state esplicitate le relazioni indotte.

La mappa conoscitiva conclusiva del lavoro contiene solo i concetti collegati dalle nuove relazioni create (Figura 9) rivelando i punti di maggiore sinergia tra le discipline coinvolte.

## □ Acknowledgments

We acknowledge for the contribution to the organisation of the focus group the UniFe Department of Architecture and its Responsible Pietromaria Davoli, and members of the expert groups involved from each department. Special thanks to Marco Cimillo, Valentina Frighi, Valentina Modugno, Laura Gabrielli, Giulio Mangherni for presenting their group list at the event.

## □ Conclusioni

Il lavoro proposto ha avuto come scopo principale l'upgrade grafico di uno strumento largamente utilizzato nell'ambito della condivisione della conoscenza, anche se in campi diversi dal built heritage. La valutazione di diversi *software* in uso come ad esempio Mental Modeler, FCMapper, FCM Expert, ha evidenziato la struttura di *input - output* in cui l'immissione dei dati avviene attraverso un sistema relazionale di nodi attraverso il quale è possibile estrapolare diversi tipi di *output* adattabili in relazione al tipo di lettura che si vuole dare dei dati raccolti. L'avanzamento del linguaggio messo a punto, va principalmente ricercato in una maggiore chiarezza grafica arricchita da una struttura gerarchica e di metadateazione. Il caso studio ha messo in evidenza l'efficacia e le potenzialità delle soluzioni grafiche proposte sia nella loro funzione esplicativa sia per la valenza che il linguaggio ha come strumento di supporto alla attività di concettualizzazione nell'analisi del dominio delle conoscenze correlate al problema da affrontare.

Sebbene la mappa finale sia stata sviluppata tenendo in considerazione le informazioni provenienti dagli *stakeholder*, il prodotto deve ancora attraversare un ultimo *step* di validazione da parte degli stessi.

Futuri sviluppi prevedono l'integrazione dell'interfaccia con i *tools* esistenti in modo da unire le maggiori potenzialità in fase di scrittura dell'interfaccia grafica sviluppata con le possibilità di interrogazione e filtraggio informazioni dei *software* consolidati per la redazione delle mappe cognitive.

## □ Ringraziamenti

Ringraziamo il Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara per il contributo all'organizzazione dell'evento e il suo Principal Investigator Pietromaria Davoli, nonché gli esperti dei gruppi coinvolti in ciascun dipartimento. Un ringraziamento speciale a Marco Cimillo, Valentina Frighi, Valentina Modugno, Laura Gabrielli, Giulio Mangherni per aver presentato la loro lista di concetti all'evento.

## □ Bibliografia / References

[1] CARBONARA Giovanni, (2015), Energy efficiency as a protection tool, in *ENERGY AND BUILDINGS*. 95, 9–12. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.12.052>.

[2] ALLEN Peter M, (2008), The importance of complexity for the research agenda in the built environment, in *ARCHITECTURAL ENGINEERING AND DESIGN MANAGEMENT*. 4, 5–14. <https://doi.org/10.3763/aedm.2008.S907>.

[3] M. PEARCE Joshua, RUSSILL Chris, (2005), Interdisciplinary Environmental Education: Communicating and

Applying Energy Efficiency for Sustainability, *APPLIED ENVIRONMENTAL EDUCATION & COMMUNICATION*. 4, 65–72. <https://doi.org/10.1080/15330150590911412>.

[4] NOVAK J.D., (1991) Clarify with concept maps: A tool for students and teachers alike, *COMPUTER SCIENCE*.

[5] OXMAN Rivka, (2004), Think-maps: teaching design thinking in design education, *DESIGN STUDIES*. 25, 63–91. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(03\)00033-4](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(03)00033-4).

[6] SIBILLA Maurizio, KURUL Esra, (2020) Exploring transformative pedagogies for built environment disciplines: the case of interdisciplinarity in low carbon transition, *BUILDING RESEARCH & INFORMATION*, 1–14. <https://doi.org/10.1080/09613218.2020.1811076>.

[7] NOVAK J.D., (2011), A theory of education: meaningful learning underlies the constructive integration of thinking, feeling, and acting leading to empowerment for commitment and responsibility, *MEANINGFUL LEARNING REVIEW*, 1–14.

[8] JONASSEN David H., STROBEL Johannes, (2006), Modeling for Meaningful Learning, in *Engaged Learning with Emerging Technologies*, HUNG D., KHINE M.S. (Eds.), Springer Netherlands, Dordrecht, 1–27. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3669-8\\_1](https://doi.org/10.1007/1-4020-3669-8_1).

[9] SIBILLA Maurizio, (2017), A meaningful mapping approach for the complex design, *INTERNATIONAL JOURNAL OF DESIGN SCIENCES & TECHNOLOGY*. 23, 41–78.

[10] MASUD Luca, VALSECCHI Francesca, CIUCCARELLI Paolo, RICCI Donato, CAVIGLIA Giorgio, (2010), From Data to Knowledge - Visualizations as Transformation Processes within the Data-Information-Knowledge Continuum, in: *14TH INTERNATIONAL CONFERENCE INFORMATION VISUALISATION*, IEEE, London, TBD, United Kingdom, 445–449. <https://doi.org/10.1109/IV.2010.68>.

[11] SHNEIDERMAN B., (1996), The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations, in: *PROCEEDINGS IEEE SYMPOSIUM ON VISUAL*