

The CPM Ontological Model for Interoperability in Restoration and the Formal Representation of Carta del Rischio

Donatella Fiorani, Marta Acierno ('Sapienza' Università di Roma)

The article presents the outcome of the work aimed at defining an ontological model for the representation of the Risk Map for Historic Centres with a view to investigating what further areas can be reached by enhancing the interoperability of the system. Starting from the Conservation Process Model (CPM), conceived as an extension of the CIDOC-CRM, for the conceptual representation of the process of architectural conservation, the research has developed the formalization of new classes and properties, to complete the existing ones, and the definition of a series of other entities for the representation of the more specific aspects, collected in a domain ontology (CdRont). The specific needs of representation have led to the configuration of a model with a triple structure deriving from the three macro areas represented: the depiction of the built heritage, the description of its transformations and the critical assessment of the architectural consistency with respect to vulnerability. This structure is composed of a system of mereological and topological relationships, aimed at describing architecture and the connections with its context, of specific properties that explain the urban and architectural features through vocabularies consolidated within the discipline and, finally, of the use of the inferential logical capacity of ontology, capable of integrating quantitative, numerical information, with interpretative data.

Historic Preservation Foundation Classes

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

www.archistor.unirc.it

ArchHistoR EXTRA 12 (2024)

ISSN 2384-8898

Supplemento di ArchHistoR 19/2023

ISBN 978-88-85479-39-5

DOI: 10.14633/AHR436



Il modello ontologico CPM per l'interoperabilità nel restauro e la rappresentazione formale della Carta del Rischio

Donatella Fiorani, Marta Acierno

Introduzione

La costruzione di un modello ontologico che voglia costituirsi quale fondamento condiviso universale rappresenta un'attività complessa e potenzialmente illimitata. La formalizzazione del modello, infatti, deve consentire l'effettiva interoperabilità dei sistemi digitali curandone l'organizzazione interna e istituendo opportuni collegamenti con altre ontologie contigue. Si tratta, quindi, di governare la sfida, costantemente rinnovata, del confronto multiculturale, multidisciplinare e multitemporale.

Si vuole innanzitutto superare l'orizzonte ristretto offerto da soluzioni puntuali di volta in volta adatte a contesti applicativi contingenti, perseguendo piuttosto l'ambizioso obiettivo di offrire una logica concettuale convincente e condivisa ad ampio spettro. Occorre poi confrontarsi e relazionarsi con modelli formali avanzati di carattere più ampio e generale (collegamento 'verticale') e modelli concettuali specifici legati a domini prossimi a quello d'interesse (collegamento 'orizzontale').

Il lavoro sin qui effettuato¹ ha attraversato diverse tappe di questo percorso. Nato inizialmente

La stesura dell'articolo risulta riferibile a D. Fiorani per la parte introduttiva e *Centri storici, Unità e Spazi Urbani* e a M. Acierno per *La formalizzazione della scala architettonica: Unità Edilizia e Fronte Edilizio* e le conclusioni.

1. Il presente saggio raccoglie lo stato delle ricerche all'epoca della consegna del testo (novembre 2023). Il lavoro è stato successivamente ripreso ed elaborato in occasione della redazione di una monografia dedicata all'ontologia *Conservation Process Model*, vedi ACIERNO, FIORANI 2025. Data la natura dello studio svolto, si è ritenuto utile comunque lasciare traccia nel testo dei passaggi concettuali effettuati.

come modello concettuale ‘libero’, basato sulla formalizzazione di entità e processi legati al dominio dell’architettura storica, con particolare riferimento alle necessità del restauro², il *Conservation Process Model* (CPM) è stato successivamente indirizzato all’allineamento con l’ontologia ad oggi più sviluppata nel campo della conservazione, il CIDOC-CRM³. Questa scelta, motivata dalla volontà di consentire la massima interoperabilità dei diversi sistemi digitali riguardanti l’architettura storica, ha richiesto un periodo di studio e verifica di quanto sino ad allora sperimentato, oltre che la rinuncia ad alcune proposte che erano inizialmente apparse convincenti e condivisibili.

Nello specifico, è stata verificata l’applicazione, nel campo dello studio e della gestione conservativa degli edifici storici, della formalizzazione proposta dal CIDOC-CRM *core*, ontologia nata, come si sa, da un prioritario interesse legato alle problematiche conservative e gestionali poste dagli oggetti museali. Sono state poi vagliate parallelamente le estensioni del CIDOC-CRM sino ad oggi formulate, riconoscendo maggiori contiguità con i contenuti del CRMsci (*Scientific Observation Model*) e del CRMba (*Model for Archaeological Building*), nonché la necessità di collegamento con il CRMinf (*Argumentation Model*)⁴. Solo al termine del lavoro svolto per la formalizzazione della Carta del Rischio, in occasione della revisione finale del *Conservation Process Model* (CPM) per la sua definitiva pubblicazione⁵, nel rivedere la logica complessiva della modellazione per il restauro in architettura, si è deciso di sostituire alcune classi formalizzate dal CRMsci e dal CRMba con nuove classi autonome specificatamente legate all’architettura⁶.

Il sistema di lavoro originariamente utilizzato, seppur elaborato guardando alle problematiche di gestione dati riferiti all’architettura storica e alla sua conservazione tramite piattaforme BIM, aveva privilegiato una modellazione di tipo *top-down*, attenta agli scenari generali e alla metodologia di lavoro del restauro.

La valutazione della fattibilità e della modalità d’uso delle ontologie in relazione a strumenti informativi esistenti offre un’importante possibilità di verifica bottom-up delle proposte avanzate. In particolare, nell’ambito della ricerca *Historic Preservation Foundation Classes: Procedures and*

2. Vedi: ACIERNO, FIORANI 2017a; ACIERNO, FIORANI 2017b; ACIERNO ET ALII 2017.

3. Vedi, <https://www.cidoc-crm.org/> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

4. *Ibidem*.

5. Vedi ACIERNO, FIORANI 2025.

6. Dal lungo e paziente lavoro di revisione da punti di osservazione diversi si è quindi definitivamente consolidata la modellazione della Carta del Rischio che, rispetto a quanto presentato nel corso del Seminario *PRIN 2017 HPFC Historic Preservation Foundation Classes* (Bologna 17-17 gennaio 2023), ha eliminato le classi attinte dal CIDOC CRMba.

*Ontologies for the Interoperability in Historic Preservation (HPFC)*⁷, si è deciso di proseguire il lavoro sino ad allora sviluppato, in coerenza con gli obiettivi dello studio, affrontando la formalizzazione della piattaforma Carta del Rischio del Ministero della Cultura in riferimento alla schedatura dei Centri Storici⁸. Questo lavoro è alla base della soluzione proposta per i problemi di interoperabilità fra sistemi informativi dedicati alla documentazione e alla rappresentazione dell'architettura storica alla scala urbana, consentendo la trasmissione dei dati fra sistemi diversi, in particolare fra GIS e BIM⁹. Tale interoperabilità potrebbe permettere, fra l'altro, il passaggio di informazioni dalle schede di Carta del Rischio al modello 3D BIM, contribuendo all'uniformazione dei dati utilizzati e utilizzabili per l'intero tessuto storico-urbano, e dal BIM alla Carta del Rischio, consentendo l'aggiornamento costante dei parametri per il calcolo della vulnerabilità e della trasformazione degli edifici (fig. 1).

La formalizzazione della Carta del Rischio è stata pertanto sviluppata utilizzando e integrando fra loro tre tipi di ontologie:

- CIDOC-CRM core e la sua estensione CIDOC-CRMInf: utilizzate per modellare classi e proprietà al cui interno è possibile istanziare senza problemi numerosi dati della Carta del Rischio¹⁰.
- CPM: ontologia di dominio utilizzata per modellare classi e proprietà non esistenti nelle ontologie CIDOC, particolarmente rappresentative della formalizzazione nel restauro architettonico, ma utilizzabili anche in altri ambiti applicativi della digitalizzazione per i beni culturali. Le nuove classi del CPM sono state comunque concepite come sottoclassi del CIDOC-CRM core, così da mantenere la stretta relazione con l'ontologia madre di riferimento¹¹;

7. La ricerca fa capo a un Progetto di Rilevante Interesse Nazionale 2017.

8. La schedatura dei centri storici nella Carta del Rischio, progettata e pubblicata dal punto di vista dei contenuti scientifici in FIORANI 2019, è stata ingegnerizzata e dotata di apposite normative e studi esemplificativi, vedi: FIORANI *ET ALII* 2022; FIORANI *ET ALII* 2023.

9. Tale passaggio è stato oggetto di alcune applicazioni puntuali, non pienamente sviluppate dal punto di vista semantico e viceversa particolarmente attente al possibile impiego di applicativi diversi, come per esempio in BAIK, YAAGOUBI, BOEHM 2015. Sono state anche elaborate analisi delle relazioni istituibili fra GIS e HBIM, anche con proposte di *mapping*; uno dei contributi più recenti, che dà conto delle problematiche e dello stato dell'arte generale relativo agli standard City GML e IFC è COLUCCI *ET ALII* 2020.

10. Le classi e le proprietà CIDOC-CRM core, numerate progressivamente, sono definite da nomi che ne lasciano intendere il contenuto rispettivamente preceduti dalle sigle E e P.

11. Le classi e le proprietà CPM, numerate progressivamente, sono definite da nomi che ne lasciano intendere il contenuto rispettivamente preceduti dalle sigle CP e Pc.

- CdRont: ontologia dedicata di carattere locale, raccoglie proprietà necessarie unicamente a istanziare voci specifiche della Carta del Rischio¹².

Si precisa che la modellazione ontologica della CdR proposta si riferisce alla formalizzazione dei modelli schedografici e delle modalità di calcolo della vulnerabilità (e della trasformazione) dell'edificato urbano, ovvero di una parte dei contenuti della piattaforma, che ospita al suo interno altri modelli schedografici in grado d'illustrare ulteriori tipi di patrimonio e lavora in maniera interoperabile con altri sistemi per attingervi informazioni in merito a diversi tipi di pericolosità¹³. Gli argomenti affrontati sono infatti i più pertinenti agli interessi e alle specificità investigative degli architetti restauratori e i più vicini alle tematiche relative all'impiego di altri sistemi digitali, primo fra tutti il BIM.

Il lavoro di formalizzazione si accompagna quindi a filoni paralleli di ricerca più direttamente rivolta all'applicazione operativa su un caso di studio prescelto, corrispondente all'area della Lungara, un tratto urbano nella porzione occidentale del centro storico di Roma. La zona è stata infatti oggetto di schedatura della CdR, limitatamente ai modelli dedicati alle Unità Urbane, e di una modellazione BIM¹⁴, con l'obiettivo di verificare la possibilità di trasmettere dati da uno all'altro sistema anche utilizzando le ontologie proposte¹⁵.

12. L'ontologia CdRont contiene classi e proprietà che soddisfano le specifiche necessità di istanziare dati numerici della Carta del Rischio; esse sono definite da nomi che ne lasciano intendere il contenuto rispettivamente preceduti dalle sigle CR e Pr.

13. Si ricorda che il rischio viene definito in funzione della pericolosità del territorio e della vulnerabilità del bene ivi presente, nonché, eventualmente, di un fattore di "esposizione" che esprime problematiche esterne alle caratteristiche specifiche inerenti al territorio e al bene culturale, ma comunque ritenute importanti ai fini della valutazione, vedi FIORANI 2023.

14. In particolare, Maurizio Caperna, Maria Grazia Ercolino e Annarita Martello hanno approfondito l'analisi dell'area di studio prescelta ed effettuato la compilazione dei modelli schedografici in Carta del Rischio relativi al Centro Storico e alle Unità Urbane, mentre Silvia Cutarelli ha lavorato sulla modellazione in BIM della medesima area. La ricerca è integrata dal contributo di Carla Bartolomucci, Adalgisa Donatelli e Claudio Monardo, dedicato all'approfondimento della pericolosità antropica e del *reasoning* legato alla definizione del rischio di perdita per i centri storici tramite algoritmi.

15. Può essere utile evidenziare che, per quanto riguarda la formalizzazione più generale del rischio, si è pensato di aprire un ulteriore percorso di approfondimento, valutando la possibilità di formulare una nuova estensione CIDOC appositamente dedicata. Un primo modello è stato per la prima volta sviluppato in occasione del *54th CIDOC SIG-46th FRBR SIG* (Rome, September 12-16th, 2022) ma la ricerca condotta nel corso di un anno dalle autrici del presente contributo con Anaïs Guillem e Athanasios Velios ha infine prodotto una formalizzazione interamente sviluppata con gli strumenti del CIDOC-CRM core e della sua estensione CRMInf; tale formalizzazione è stata presentata nel corso del *57th CIDOC SIG-50th FRBR SIG* (Marseille, October 9-13th, 2023).

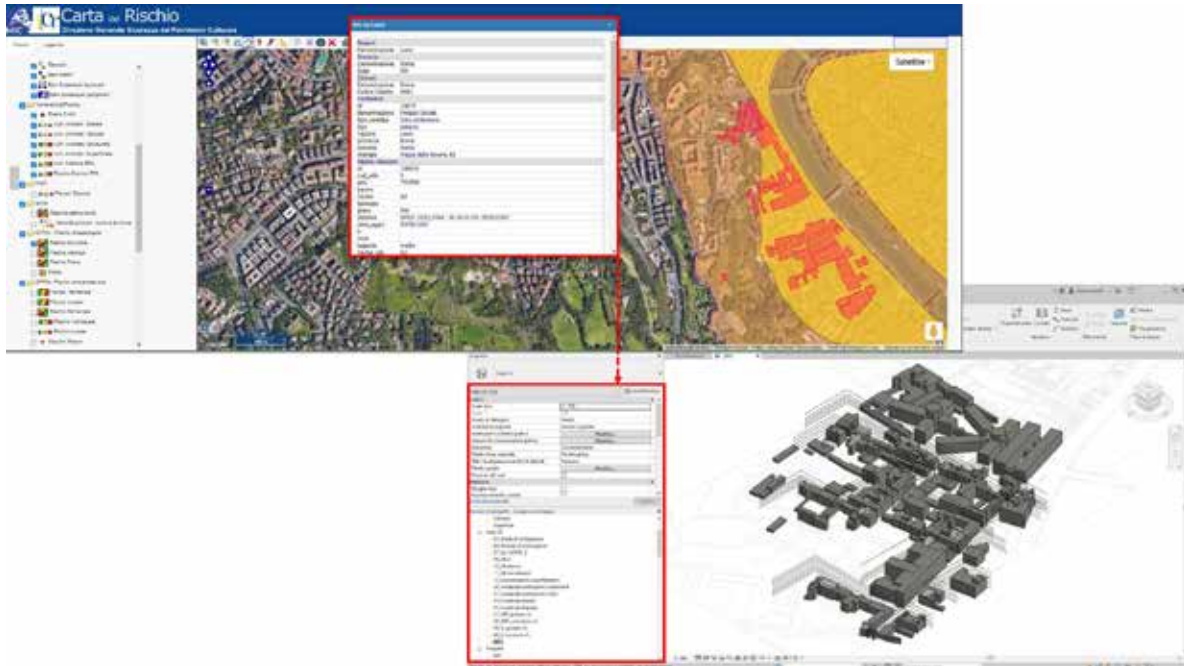


Figura 1. Schermata della Carta del Rischio con la zona di via della Lungara a Roma e immagine del modello BIM della stessa area urbana con le rispettive schede dati relative a Palazzo Salviati. La formalizzazione della Carta del Rischio tramite ontologie mira ad ampliare la possibilità di trasmettere dati da sistemi GIS e BIM (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Nei paragrafi successivi viene pertanto illustrata nei suoi tratti essenziali la formalizzazione dei sei modelli schedografici della Carta del Rischio, con la finalità prioritaria di esplicitare il metodo di lavoro e i passaggi concettuali più importanti.

Centri storici, Unità e Spazi Urbani

La modellazione della scheda Centro Storico della Carta del Rischio utilizza per gran parte classi e proprietà raccolte nel CIDOC-CRM *core* e in alcune delle sue estensioni (fig. 2): la maggior parte dei dati utili a consentirne l'identificazione, la localizzazione, la descrizione delle caratteristiche morfologiche fondamentali, le principali fasi di edificazione e trasformazione e, infine, gli indicatori relativi alla vulnerabilità e alla trasformazione può essere formalizzata tramite queste ontologie già esistenti, con limitate, ma fondamentali per noi, nuove integrazioni.

La prima questione, pertanto, ha riguardato la decisione d'identificare l'oggetto della schedatura, il centro storico (come avverrà per gli altri cinque modelli che consentono la completa descrizione dell'edilizia storica urbana), come nuova categoria a sé e individuarne la specifica gerarchia tramite la definizione di superclasse ed eventuali sottoclassi.

La classe CP21 HISTORIC CENTRE è stata definitivamente istituita, a differenza di quanto proposto in precedenza¹⁶, come sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME¹⁷, condividendo il fine di ricondurre questa entità alle sue caratteristiche morfologiche fisiche e costruttive in riferimento a intervalli temporali diversi. Con tale presupposto, il centro storico (CP21 HISTORIC CENTRE) può essere localizzato in un luogo definito grazie alla proprietà P161 *has spatial projection* che conduce a E53 PLACE, facendo riferimento a un E52 TIME SPAN corrispondente alla data di compilazione della scheda Carta del Rischio.

A partire da queste specificazioni, la maggior parte delle indicazioni relative alla parte "Anagrafica" (localizzazione, denominazione e caratteristiche fisiche del territorio) può essere istanziata utilizzando classi e proprietà CIDOC-CRM *core* (figg. 3-4). Solo la modellazione delle caratteristiche ambientali richiede l'impiego della classe CIDOC-CRMsci S15 OBSERVABLE ENTITY, connessa alla nuova classe CP30 HISTORIC CENTRE attraverso la nuova proprietà Pc1 *is subject to*.

16. In particolare, era stato proposto come superclasse SP2 *Phenomenal Place*, derivata dall'estensione CRMgeo (2015), vedi ACIERNO 2019.

17. I riferimenti a Classi e Proprietà del CIDOC-CRM prendono in considerazione l'ultima versione corrente dell'ontologia, vedi BEKIARI ET ALII 2023.

Va comunque evidenziato che la modalità di raccolta dei dati, per il centro storico come per tutte le schede della CdR, è strutturata in base alla descrizione delle caratteristiche più evidenti alle diverse scale. Ciò comporta da una parte l'esigenza di strutturare consistenti vocabolari organizzati tassonomicamente¹⁸, dall'altra il frequente ricorso alla classe E55 TYPE, talvolta ulteriormente specificate in sottotipi (E55 TYPE → P2 *has type* → E55 TYPE), e alle proprietà ad essa legate.

Il sottodominio relativo all'anagrafica e alla demografia ha richiesto l'impiego di una nuova proprietà CPM Pc5 *is used by* e di una proprietà dedicata di CdRont; esse consentono di esprimere il numero di abitanti derivante dai censimenti ISTAT in un centro storico inteso come sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME nella modalità che segue (fig. 5):


- CP21 HISTORIC CENTRE → Pc5 *is used by* → E74 GROUP → P2 *has type* → E55 TYPE (abitanti);
- E74 GROUP → P71i *is listed in (lists)* → E32 AUTHORITY DOCUMENT → P4 *has time span* → E52 TIME SPAN;
- E74 GROUP → Pr31 *has number of persons* → E60 NUMBER, con E55 TYPE che specifica il tipo di E32 AUTHORITY DOCUMENT.

L'istanziamento delle componenti costruite del centro storico effettivamente rilevate compilando scheda CdR è consentito dal loro collegamento con la classe E53 PLACE (già relazionata al CP21 HISTORIC CENTRE) tramite la proprietà P59 *has section* mentre, per la descrizione della configurazione urbana, la proprietà inversa P166i *had presence* istituisce il nesso con la classe E93 PRESENCE, permettendo la modellazione delle diverse fasi di realizzazione e di espansione dell'abitato, ognuna delle quali legata a un identificatore, un intervallo temporale ed, eventualmente, una particolare denominazione.

L'articolazione della porzione schedografica dedicata a "Cronologia e fonti" del centro storico è condivisa da tutte le sei schede della Carta del Rischio ed è pienamente "servita" da quanto già formalizzato dal CIDOC-CRM *core*, che del resto condivide gli obiettivi comuni della gestione e della conservazione dei beni culturali (fig. 6).

La classe CP21 HISTORIC CENTRE (come le classi relative a Unità e Spazi Urbani, a Unità e Fronti Edilizi) è legata tramite la proprietà P70 *is documented in* alla classe E32 DOCUMENT (per la quale il CIDOC-CRM *core* permette già di formalizzare le specificazioni di tipologie, attribuzioni critiche e riferimenti temporali). Il già citato collegamento con E53 PLACE consente inoltre di raggiungere,

18. Vedi: ACIERNO 2022; ACIERNO 2023.

Dettaglio Centro Storico (id: 11) 

Localizzazione Anagrafica Configurazione Urbana Beni Interiati Catalogo (2000) Catalogo Fatti Strumenti Urbanistici Alloggi

Denominazione	Roma	Altra Denominazione	
Codice Unico Regione (NCTR)		Codice Unico Catalogo (NCTR)	
Dalmine	Rocca abruzzese di città	Categorie Generali	altro
Acquisto			
Geografia	Collinare	Rio del Suolo (Contorno)	Area antropizzata
Condizioni Climatiche Previste	Temperato	Agenti Atmosferici Previsti	
Geologia			
UL5 - Rocce marnose, marnose argillose, argillose e limose talora contenenti modesta quantità di sabbie			
UL13 - Rocce effusive vulcanoclastiche, ignee e talvolta vulcanici			
UL14 - Rocce effusive fluidi (lava)			
Demografia			
Area di Contorno	20%	N° Abitanti nel Centro Storico	10882
N° Abitanti nel Centro Urbano	286347	Abitamento Demografico	
Caratteri Socio Economici			

Figura 3. Schermata della Piattaforma Carta del Rischio del Ministero della Cultura con le indicazioni relative alla parte anagrafica del Centro Storico (localizzazione, denominazione e caratteristiche fisiche del territorio), <http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

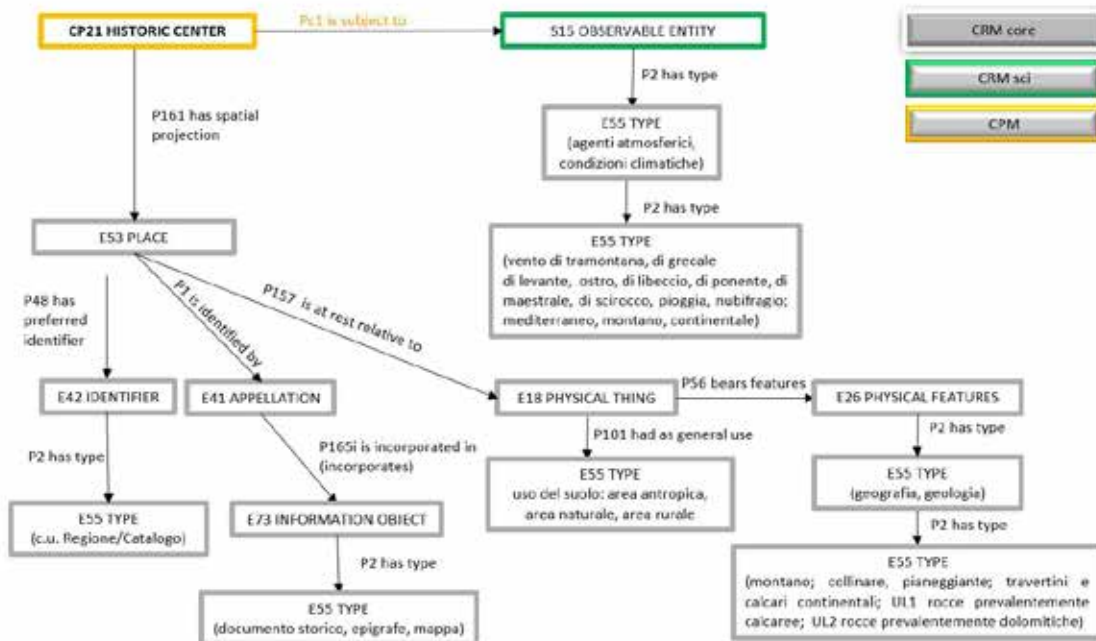


Figura 4. Formalizzazione della CdR relativa alle informazioni contenute nella scheda anagrafica alla figura precedente. Le classi e le proprietà CPM sono evidenziate in giallo, quelle relative al CIDOC-CRM core sono in grigio e nero. I riferimenti in alto a destra indicano le altre ontologie utilizzate, in questo caso l'estensione CIDOC-CRM-Sci (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

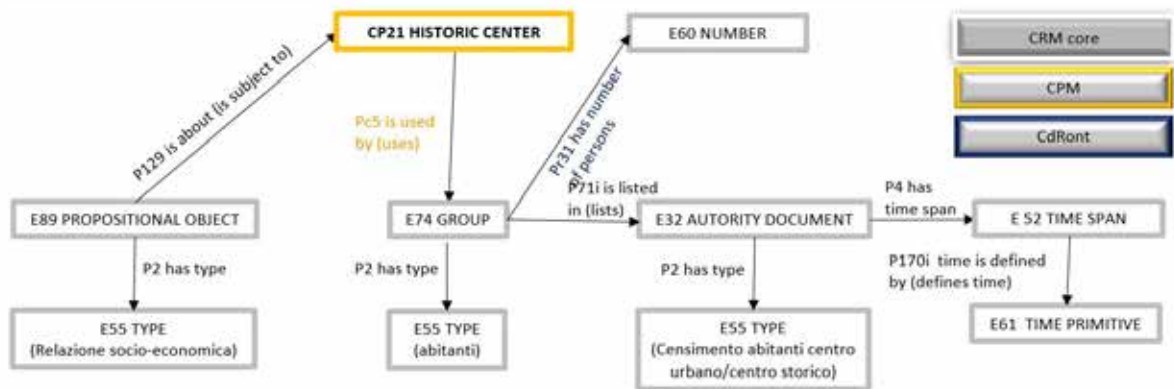


Figura 5. Formalizzazione della CdR relativa alle informazioni sulla demografia contenute nella scheda anagrafica. Le classi e le proprietà CPM sono evidenziate in giallo, quelle relative al CIDOC-CRM core sono in grigio e nero. I riferimenti in alto a destra indicano le altre Ontologie utilizzate, in questo caso la CdRont (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

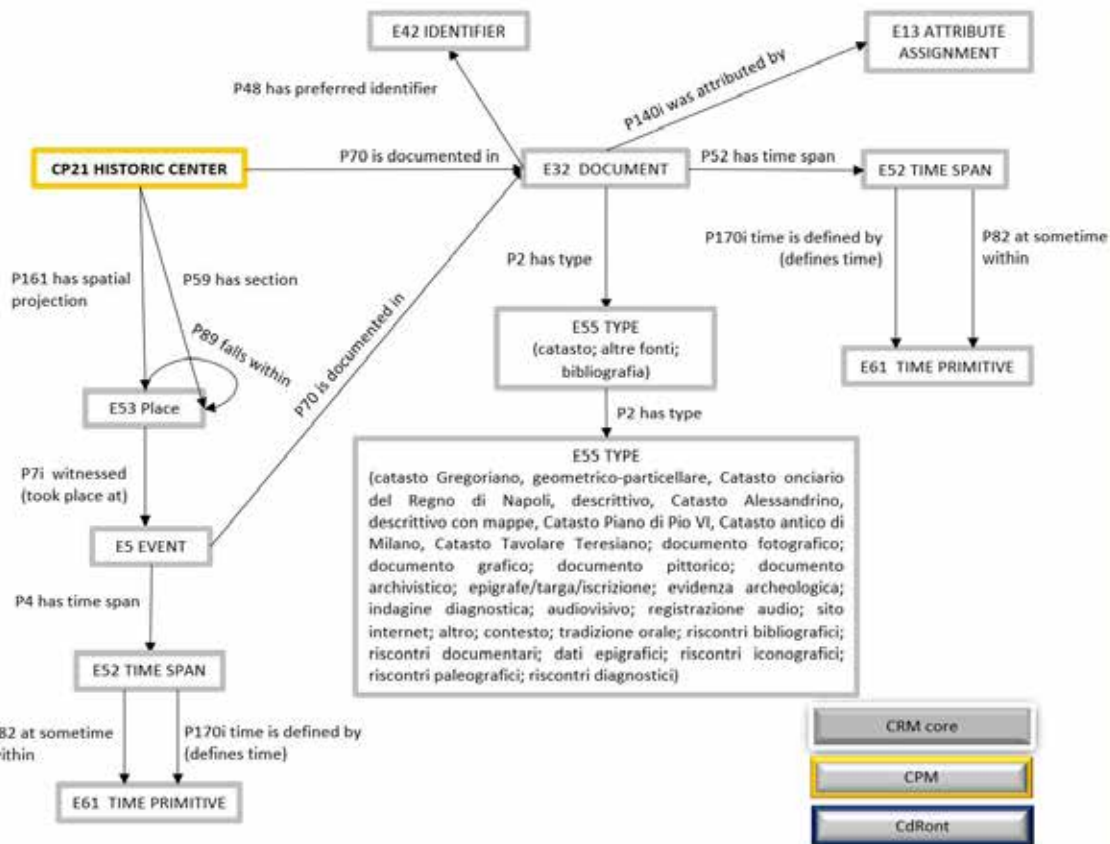


Figura 6. Formalizzazione della CdR relativa alla porzione schedografica dedicata a “Cronologia e fonti” del Centro Storico (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

tramite la proprietà inversa P7i *witnessed* la classe E5 EVENT, che può essere collegata alla documentazione specifica e temporalmente connotata.

Si ricorda qui come l'ontologia CIDOC-CRM *core* gestisca le informazioni dedicate alla datazione del bene oggetto di tutela, prevalentemente incardinata sulla classe E52 TIME SPAN, ovvero sul concetto d'intervallo temporale definibile con un diverso livello di approssimazione che accetta, al limite, anche la possibilità d'indicare una cronologia solo relativa, priva di riferimenti temporali assoluti¹⁹. Il collegamento fra la classe E52 TIME SPAN e la classe E61 TIME PRIMITIVE, che consente d'istanziare archi o specifici riferimenti temporali, viene effettuato, se in presenza di una data certa, tramite la proprietà inversa P170i *time is defined by*, mentre se si possiedono solo intervalli di datazione possibile si utilizza la proprietà P82 *at some time within*.

Completano la modellazione della scheda Centro storico della CdR i riferimenti agli strumenti urbanistici, facilmente risolti con il ricorso integrale alle classi CIDOC-CRM *core*, oltre che il calcolo degli indici di vulnerabilità e di trasformazione, che verranno trattati nel paragrafo successivo.

Come si è sopra accennato, le sei schede che descrivono il centro storico e le sue componenti consentendo di valutarne il livello di vulnerabilità e trasformazione hanno richiesto la creazione di sei nuove classi, ognuna delle quali dedicata al tema specifico della schedatura. Dal punto di vista concettuale, le sei entità schedate sono comunque diverse fra loro. Due di esse – relative al Centro Storico e allo Spazio Urbano –, per la particolare rilevanza assegnata ai vuoti nella specifica caratterizzazione, sono apparse meglio descrivibili sulla base della loro connotazione morfologica generale mutevole nel tempo; oltre, quindi, alla CP21 HISTORIC CENTRE, la classe CP22 SPACE ENSEMBLE nasce quale sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME.

Le altre quattro schede – relative alle due Unità Urbane, rispettivamente prodotte dall'aggregazione di componenti edilizie autonome (Unità Urbana Aggregato) o consistenti in un elemento architettonico omogeneo a grande scala (Unità Urbana Edilizia Residenziale Puntuale o Specialistica), le Unità Edilizie e i Fronti Edilizi – risultano piuttosto definite in base alla specifica connotazione materiale delle entità edilizie considerate.

Le classi che descrivono l'Unità Urbana-Aggregato, l'Unità Urbana-EPRS, l'Unità Edilizia e il Fronte Edilizio sono state viceversa identificate come sottoclassi di CP1 BUILT ENTITY, a sua volta sottoclasse

19. Nello *Scope Note* relativo alla classe E52 TIME SPAN si evidenzia infatti che “Since the knowledge of history is imperfect and physical phenomena are fuzzy in nature, the extent of phenomenal time-spans can only be described in approximation”, BEKIARI *ET ALII* 2023, p. 87. Per la spiegazione dei criteri della formalizzazione delle entità temporali vedi anche *Ivi*, pp. 35-38.

di E24 PHYSICAL HUMAN-MADE THING (CIDOC-CRM *core*). Più precisamente, la CP12 URBAN UNIT-AGGREGATE e la CP13 URBAN UNIT- SINGLE RESIDENTIAL OR SPECIALIST BUILDING, in particolare, sono sottoclassi di CP11 URBAN UNIT, che è sottoclasse di CP2 ARCHITECTURAL WORK, a sua volta sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY (fig. 2).

La relazione istituita fra le classi CP21 HISTORIC CENTRE e CP19 SPACE ENSEMBLE è pertanto direttamente veicolata dalla proprietà CIDOC-CRM core inversa P10i *contains*, mentre il rapporto fra CP21 HISTORIC CENTRE e le classi relative alle Unità Urbane viene mediato dal riferimento all'E53 PLACE tramite le proprietà P161 *has spatial projection* (la proiezione del volume spazio-temporale del centro storico su uno spazio di riferimento) e P59 *has section* (l'impronta spaziale della cosa fisica creata dall'uomo), ricorrendo alla P89 *falls within* per specificare la mutua correlazione spaziale delle due entità.

Alla formalizzazione della scheda della CdR relativa alla Unità Urbana-Aggregato è in gran parte anche riconducibile, con alcune riduzioni, la definizione della stessa Unità Urbana-EPRS. Essa presenta numerose affinità con quanto già descritto per il centro storico in termini di localizzazione, anagrafica, cronologia storica, dove vengono utilizzate quasi esclusivamente classi e proprietà del CIDOC-CRM *core*. La classe CP14 URBAN UNIT AGGREGATE è sottoclasse di CP13 URBAN UNIT anche se l'Unità Urbana non esiste infatti di per sé come *focus* di alcun modello schedografico; la definizione di quest'ultima classe è comunque necessaria a realizzare una corretta tassonomia nell'ontologia e dà ragione della possibilità di valutare congiuntamente vulnerabilità e trasformazione delle Unità Urbane Aggregato ed EPRS del Centro Storico (fig. 2).

La formalizzazione degli aspetti che connotano esplicitamente l'Unità Urbana, incentrati sulla descrizione del Sistema Edilizio, del Sistema Costruttivo e di Trasformazione presenta invece elementi di novità. Le due sezioni indicate sono contemporaneamente rivolte alla descrizione del complesso costruito e alla determinazione di alcuni indici, chiamati incidenze, il cui valore viene considerato all'interno degli algoritmi ai quali è stata affidata la determinazione della vulnerabilità e della trasformazione delle unità urbane. Ci si limita, per ora, ad analizzare i soli aspetti descrittivi.

La descrizione generale del sistema edilizio che caratterizza l'Unità Urbana definisce la configurazione dell'impianto e dell'attacco a terra, nonché l'indicazione della possibile presenza di recinto, anditi interni e possibili collegamenti esterni (fig. 7). Gli argomenti considerati attingono a concettualizzazioni di natura diversa e come tali sono stati formalizzati, mentre la loro specificazione viene sempre affidata all'impiego della classe E55 TYPE e dei relativi vocabolari (eventualmente anche fornendo specifiche a livelli successivi con E55 TYPE → P2 *has type* → E55 TYPE).

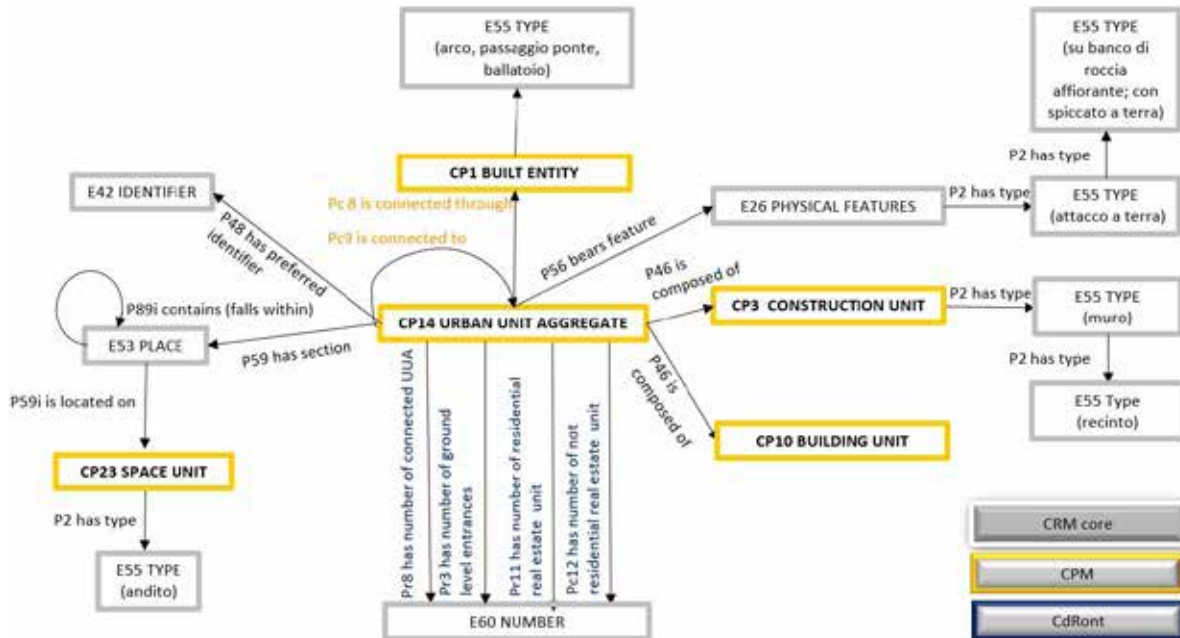


Figura 7. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione generale del sistema edilizio che caratterizza l'Unità Urbana (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Le componenti costruttive fanno riferimento alla classe CP3 CONSTRUCTION UNIT (sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY), esse sono legate alla classe CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE nel modo che segue:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P46 *is composed of* → CP3 CONSTRUCTION UNIT.

Tali componenti non devono essere confuse con le istanze formalizzate nella classe CP12 BUILDING UNIT, che rappresentano le singole unità edilizie componenti l'aggregato e si esprimono con la seguente formalizzazione:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P46 *is composed of* → CP12 BUILDING UNIT.

Le caratteristiche intrinseche alla conformazione dell'edificio, come l'attacco a terra dei fronti esterni, sono invece istanziabili nella classe E26 PHYSICAL FEATURE, con una relazione del tipo:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P56 *bears feature* → E26 PHYSICAL FEATURE.

La componente 'cava' dell'andito, ovvero del passaggio che separa fra loro due unità edilizie (talvolta chiuso e inglobato dalla fabbrica ai piani superiori in epoca più tarda), fa riferimento alla classe CP23 SPACE UNIT che, come si è visto, costituisce un volume spaziotemporale; la relazione fra questo e l'oggetto fisico si serve della mediazione legata alla reciproca localizzazione spaziale delle due entità:

- CP14 URBAN UNIT-AGGREGATE → P59 *has section* → E53 PLACE → P59i *is located on or within* → CP23 SPACE UNIT.

La formalizzazione legata all'enumerazione delle connessioni urbane dell'aggregato, degli ingressi al piano terreno, al numero di componenti edilizie di carattere residenziale viene affidata a proprietà elaborate per l'ontologia dedicata CdRont. La maggior parte di queste proprietà sono infatti finalizzate a collegare con la classe E60 NUMBER del CIDOC-CRM *core* alcune caratteristiche conteggiabili, molte delle quali utili al calcolo delle incidenze. Fra queste, per esempio, si considerano il numero dei vuoti edilizi interne all'Unità Urbana Aggregato, in quanto la dislocazione e la natura dei vuoti può avere ricadute dirette sulla vulnerabilità di essa, specie in riferimento alle problematiche sismiche. Anche la descrizione di molte componenti costruttive viene quasi sempre analizzate in riferimento alla loro distribuzione percentuale ed elaborata come incidenza; anche queste ultime sono espresse tramite proprietà formalizzate nell'ontologia specifica CdRont. Una particolare attenzione viene dedicata a finiture e infissi, che costituiscono gli elementi più sottoposti a degrado e sostituzione.

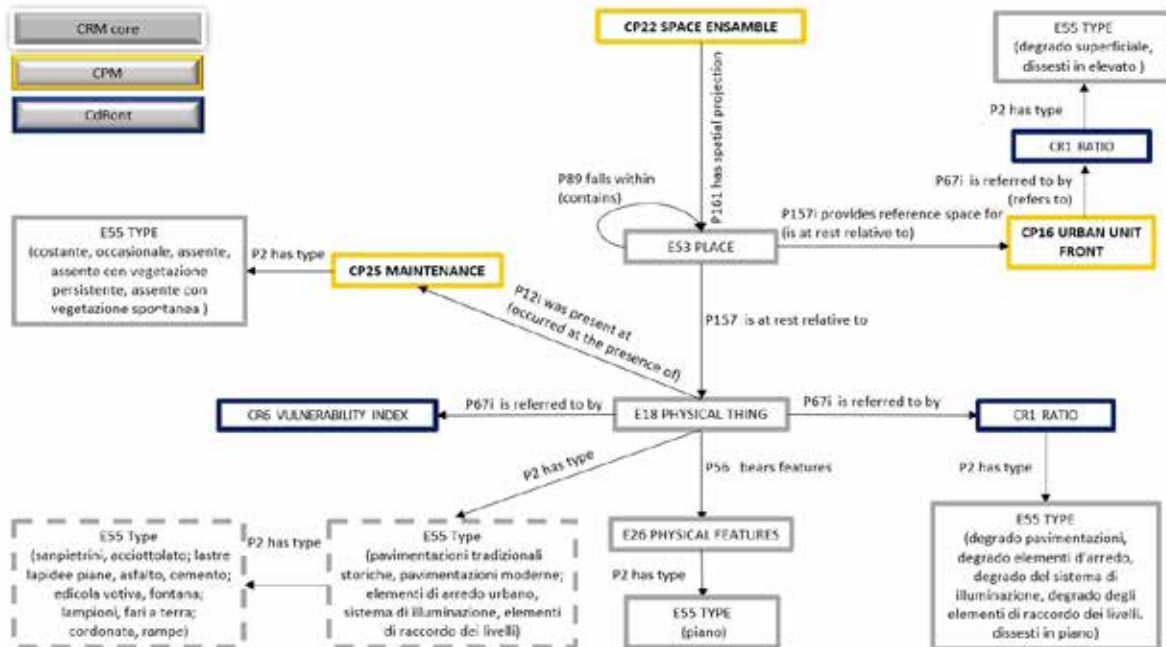


Figura 8. Formalizzazione della CdR relativa allo stato di conservazione dello Spazio Urbano (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

La definizione dello stato di conservazione richiede specifiche diverse che, per offrire una panoramica generale del lavoro compiuto guardando a tutti i modelli schedografici, s'illustrano qui in relazione a quanto accade per lo Spazio Urbano (fig. 8).

La formalizzazione di quest'ultima scheda è consentita a partire dalla classe CP22 SPACE ENSEMBLE, come già detto, sottoclasse di E92 SPACETIME VOLUME. La formalizzazione del degrado e dei dissesti richiede la già esplicitata relazione con il dato fisico attraverso il passaggio con la classe E53 PLACE, tutta interna al CIDOC-CRM core, fino ad arrivare alla definizione per tipo della singola componente dello spazio fisico considerato:

- CP31 SPACE ENSEMBLE → P16i *has spatial projection* → E53 PLACE → P157 *is at rest relative to* → E18 PHYSICAL THING → P2 *has type* → E55 TYPE.

Alla stessa ontologia CIDOC viene riferita anche la modalità di istanziare il degrado di queste componenti nella classe E26 PHYSICAL FEATURES:

- E18 PHYSICAL THING → P56 *bears features* → E55 TYPE.

Il degrado superficiale e i dissesti degli elevati che partecipano al calcolo della vulnerabilità dello spazio urbano sono quindi istanziati tramite la seguente formalizzazione:

- E53 PLACE → P157i *provides reference space for* → CP16 URBAN UNIT FRONT → P67i *is referred by* → CR1 RATIO → P2 *has type* → E55 TYPE.

Il degrado superficiale e i dissesti delle superfici a terra e degli elementi di arredo che partecipano al calcolo della vulnerabilità dello spazio urbano sono invece formalizzati come:

- E18 PHYSICAL THING → P67i *is referred by* → CR1 RATIO → P2 *has type* → E55 TYPE.

Rientra infine in questo ambito la formalizzazione della modalità di manutenzione dello spazio urbano tramite l'impiego della classe CP25 MAINTENANCE:

- E18 PHYSICAL THING → P12i *was present at* → CP25 MAINTENANCE → P2 *has type* → E55 TYPE.

La formalizzazione della scala architettonica: Unità Edilizia e Fronte Edilizio

La formalizzazione degli elementi architettonici oggetto di approfondimento in questo paragrafo, l'Unità Edilizia e il fronte edilizio, avviene attraverso le rispettive classi CPM CP10 BUILDING UNIT e CP11 BUILDING FRONT. La prima è concepita come sottoclasse di CP2 ARCHITECTURAL WORK mentre la seconda, essendo una componente dell'edificio, è concepita come sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY.

Gli elementi che definiscono la posizione amministrativa dell'Unità Urbana e del Fronte Edilizio sono in primis l'attribuzione di un identificatore all'interno del sistema. Quest'ultimo può essere facilmente istanziato nell'ambito del CIDOC-CRM core grazie alla classe E42 IDENTIFIER, riferita all'oggetto attraverso la proprietà P48 *has preferred identifier* e specificata con la proprietà P2 *has type*. Si ha così modo di definire l'identificativo rispetto a una struttura periferica, come può essere una banca dati (in questo caso, la Carta del Rischio) o rispetto a una struttura centralizzata, come per esempio il Catasto. L'identificatore può anche essere ulteriormente precisato tramite il riferimento a eventuali fonti documentarie descritte con la classe E32 AUTHORITY DOCUMENT, anche indicandone la validità temporale:

- E42 IDENTIFIER → P67 refers to → E32 AUTHORITY DOCUMENT → P4 has time span → E52 TIME SPAN.

L'identificazione viene completata tramite la specificazione dell'indirizzo, istanziato grazie alla classe E41 APPELLATION, riferita con la proprietà P1 *is identified by* alla classe E53 PLACE.

La componente anagrafica dell'Unità Edilizia viene ulteriormente specificata precisando la funzione (destinazione d'uso e indicazione quantitativa delle porzioni di edificio utilizzate in generale e come residenza) e lo stato di completezza della fabbrica. La destinazione d'uso è formalizzata come attività svolta e modellata con la classe E7 ACTIVITY. Questa viene descritta in senso qualitativo, attraverso due tesauri, uno relativo alle attività generiche (residenziali, a scopo educativo ecc.), l'altro a quelle specifiche (es. scuola primaria). Ne viene altresì specificata la proiezione nel tempo attraverso la proprietà P160 *has temporal projection* che la relaziona ad un arco temporale E52 TIME SPAN e ne specifica la durata con la classe E54 DURATION. La stessa attività viene altresì relazionata ai piani dell'edificio dove viene svolta, identificati con la classe CP12 BUILDING FLOOR concepita come sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY. Le quantificazioni, espresse rispetto alle porzioni di edificio

utilizzate sono descritte attraverso due nuove proprietà Pr2 *has current use-percentage* e Pr6 *has residential use-percentage*, che associano l'Unità Edilizia a un numero (E60 NUMBER).

La localizzazione geografica e il rapporto con il contesto urbano sono espressi mediante relazioni topologiche formalizzate nel CIDOC-CRM, in particolare con le proprietà P59i *is located on*, P122 *borders with*, P89 *falls within*. Queste ultime due proprietà descrivono relazioni spaziali tra entità fisiche, bidimensionali, formalizzate con la classe E53 PLACE; tuttavia, non sono rappresentative delle relazioni con elementi a tre o quattro dimensioni²⁰. Per ovviare a tale limite, le relazioni spaziali tra elementi come l'Unità Edilizia o il Fronte Edilizio, modellati con sottoclassi di CP1 BUILT ENTITY, sono state descritte attraverso le relazioni tra le superfici su cui possono idealmente proiettarsi tramite le proprietà P59i *is located on*. Parallelamente, come è stato illustrato nel primo paragrafo di questo saggio, gli elementi quadridimensionali come il Centro Storico o gli Spazi Urbani, modellati con sottoclassi di E92 SPACETIME VOLUME, sono stati riferiti ad entità bidimensionali tramite le proprietà P161 *has spatial projection*.

La descrizione della localizzazione dell'Unità Edilizia è completata con le informazioni riguardanti la sua accessibilità, formalizzata come condizione attraverso la classe E3 CONDITION STATE, ulteriormente specificata da un vocabolario associato, modellato con la classe E55 TYPE.

La rappresentazione dell'edificio, formalizzata attraverso l'ontologia CPM, è modellata attraverso classi specifiche legate tra loro da relazioni mereologiche²¹ che descrivono l'organismo architettonico e costruttivo come un intero composto di parti in relazione tra loro e con l'organismo stesso, mediante la proprietà P46 *is composed of* e la sua inversa P46i *is part of*. Le classi rappresentano la scala architettonica e costruttiva; quest'ultima è articolata in unità costruttive, componenti costruttive, elementi costruttivi e materiali. La natura di architettura completa e coerente dell'Unità Edilizia è modellata, come si è detto, con la classe CP10 BUILDING UNIT, sottoclasse di CP2 ARCHITECTURAL WORK, mentre il carattere di componente architettonica del fronte edilizio è formalizzata con la classe CP13 BUILDING FRONT sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY.

La formalizzazione dell'articolazione dell'Unità Edilizia (fig. 9) può schematizzarsi come segue:

- CP10 BUILDING UNIT → P46 *is composed of* → CP3 CONSTRUCTION UNIT
- CP10 BUILDING UNIT → P46 *is composed of* → CP12 BUILDING FLOOR

20. La formalizzazione delle relazioni topologiche spaziali è stata oggetto di un recente studio sviluppato da GUILLEM *et al.* 2023 in cui viene elaborata una lettura comparativa fra relazioni topologiche spaziali modellate dal CIDOC-CRM e relazioni spaziali codificate come RCC8 al fine di rappresentare entità diverse da due a quattro dimensioni.

21. Vedi VARZI 2007.

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P46 *is composed of* → CP4 CONSTRUCTION COMPONENT
- CP4 CONSTRUCTION COMPONENT → P46 *is composed of* → CP5 CONSTRUCTION ELEMENT-PLURAL
- CP5 CONSTRUCTION ELEMENT- PLURAL → P46 *is composed of* → CP6 CONSTRUCTION ELEMENT-SINGULAR.

Parallelamente la rappresentazione della tettonica del Fronte Edilizio (figg. 10-11) può essere descritta con le seguenti espressioni:

- CP13 BUILDING FRONT → P46i *is part of* → CP10 BUILDING UNIT → P46i *is part of* → CP14 URBAN UNIT AGGREGATE
- CP13 BUILDING FRONT → P46 *is composed of* → CP4 CONSTRUCTION COMPONENT
- CP13 BUILDING FRONT → P46 *is composed of* → CP 7 ARCHITECTURAL DECORATION (sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY)

Ogni classe viene ulteriormente specificata con tesauri che definiscono le caratteristiche degli elementi (fig. 12).

La descrizione si sviluppa ulteriormente con la rappresentazione delle relazioni topologiche spaziali dell'organismo, della configurazione dell'impianto e della tipologia edilizia, oltre a specificare la consistenza in termini di sviluppo in piani, unità abitative e dimensioni. Per quanto riguarda le relazioni topologiche spaziali dell'unità edilizia esse sono ulteriormente descritte rispetto alla semplice localizzazione iniziale. La scheda infatti specifica il rapporto con le fabbriche contigue formalizzato con il CPM attraverso la proprietà *Pc8 is connected to* – esplicitandone eventualmente anche il tipo di collegamento attraverso le proprietà *Pc7 is connected through* e *P2 has type*. La formalizzazione per l'Unità Edilizia si sviluppa dunque con le due espressioni:

- CP10 BUILDING UNIT → *Pc8 is connected to* → CP1 BUILT ENTITY
- CP10 BUILDING UNIT → *Pc7 is connected through* → CP1 BUILT ENTITY → *P2 has type* → E55 TYPE (es. ponte, loggia, setto murario, arco di contrasto etc.).

Le stesse espressioni possono scriversi nella descrizione del Fronte Edilizio.

La tipologia architettonica e la configurazione planimetrica dell'Unità Edilizia sono esplicitate attraverso due proprietà del CPM: *Pc15 shows plan configuration type* e *Pc21 shows architectural*

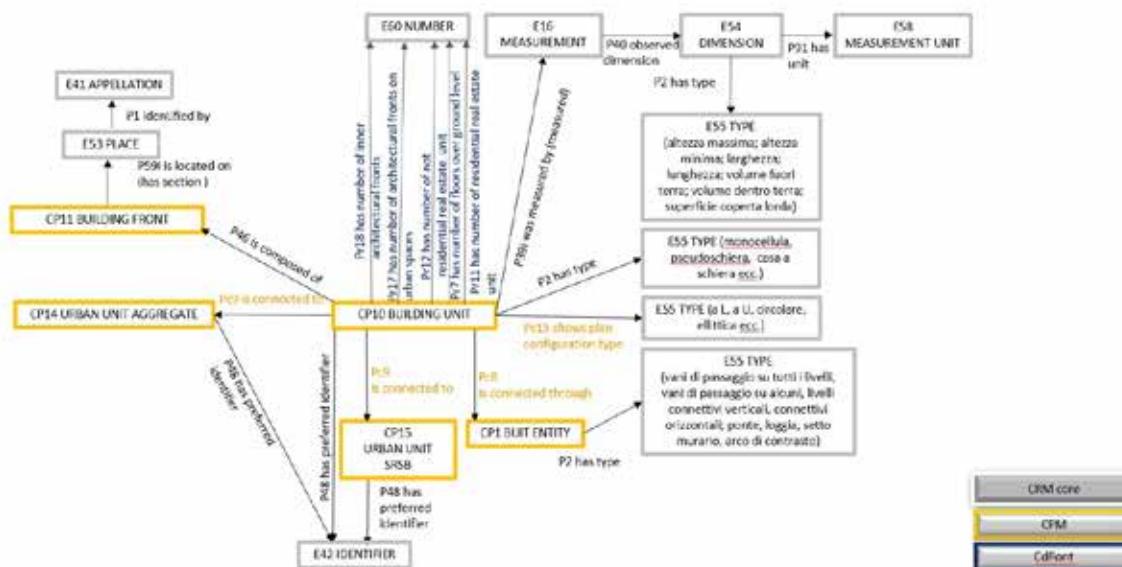


Figura 9. Formalizzazione della Cdr relativa alla descrizione generale del sistema edilizio che si struttura intorno alla classe CP10 Building Unit (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

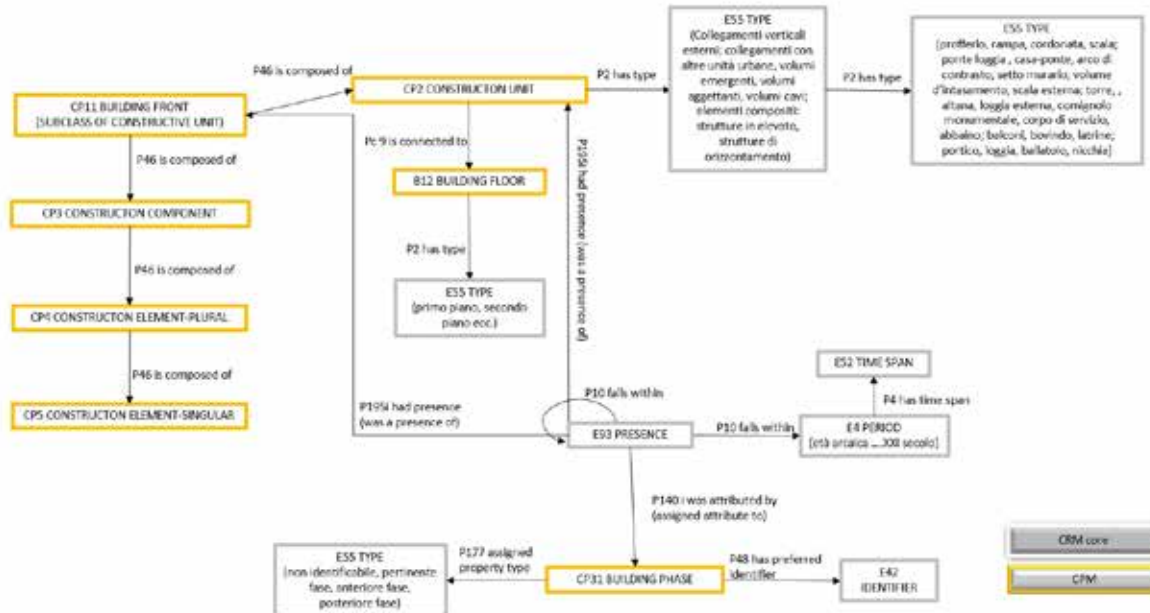



Figura 10. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione degli elementi costruttivi e di impianti ed elementi composti che caratterizza il Fronte Edilizio (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Dettaglio Fronte Edilizio (0/ 142)  SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Elementi Composti

ID	Elemento	Tipologia	Localizzazione	Pertinenza	Fase 1	Fase 2	Numero	Operatività			
Elementi Compositi											
ID Elem. Composito	Elemento	Tipologia	Morfologia	Localizzazione	Materiali	Pertinenza	Fase 1	Fase 2	Numero	Efficacia	Operatività
Elementi Individuali											
Elemento	Tipologia	Morfologia	Localizzazione	Materiali	Pertinenza	Fase 1	Fase 2	Numero	Efficacia	Operatività	
Struttura in elevato	struttura continua		piano 1, 2, 3 e 4	non visibile	pertinente	01					✓ ✕
Struttura in elevato	struttura continua		piano 5	non visibile	pertinente	01					✓ ✕
Spazio di governo	comune semplice		piano 5	Altre: stratigrafia non prevedibile	pertinente	01					✓ ✕
Wall di accesso	ad arco a tutto arco	articolato	piano 1		pertinente	01		2			✓ ✕
Wall di accesso	non articolato	articolato	piano 1		non identificabile			3			✓ ✕
Wall di finestre ad arco esterno	non articolato	lineare rettangolare	piano 2, 3, 4		pertinente	01		13			✓ ✕
Wall di finestre ad arco interno	non articolato	Altre: porta-finestra	piano 5		pertinente	01		9			✓ ✕

Figura 11. Schermata della Piattaforma Carta del Rischio del Ministero della Cultura relativa al sottodominio 'Elementi costruttivi e di impianti ed elementi composti' del Fronte Edilizio, <http://www.cartadelrischio.beniculturali.it/> (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

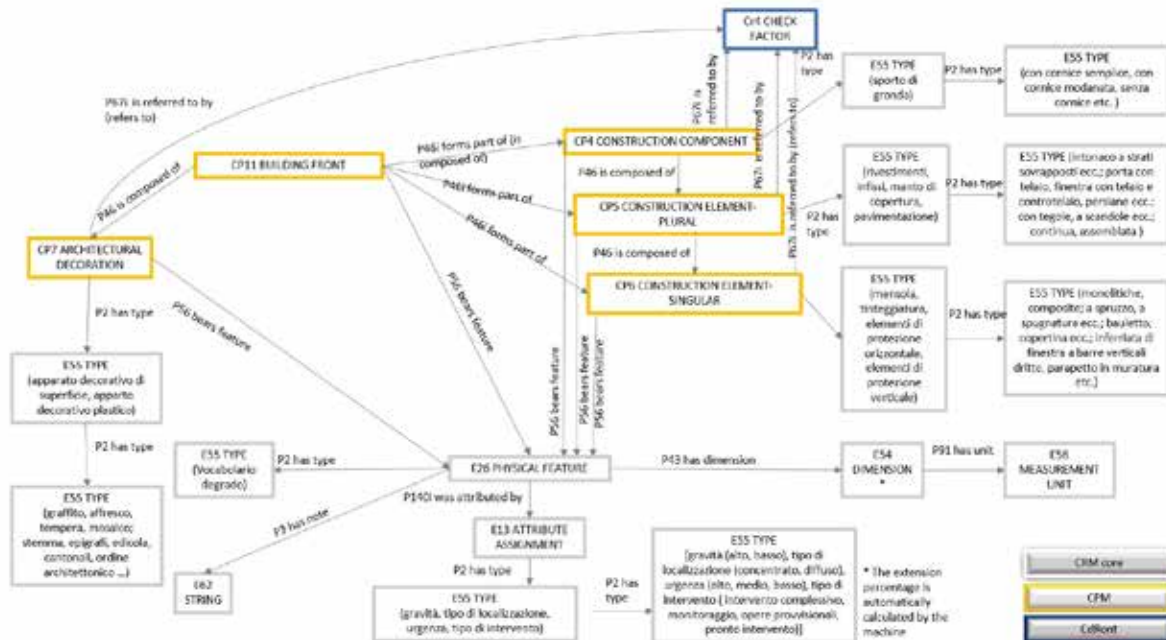


Figura 12. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione dello stato di conservazione del Fronte Edilizio. Si sottolinea in particolare come la descrizione sia arricchita tramite il riferimento ai vocabolari attraverso la proprietà *P2 has type* (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

type entrambe associate ad un tesoro che ne specifica i caratteri attraverso la proprietà *P2 has type*, mentre nel caso del Fronte Edilizio la descrizione è formalizzata come segue:

- CP13 BUILDING FRONT → *P2 has type* → E55 TYPE → *P2 has type* → E55 TYPE.

Lo stesso schema formale è impiegato per descrivere alcune caratteristiche, modellate con la classe E 26 PHYSICAL FEATURE, che connotano il fronte, per esempio relative all’attacco a terra o alla linea di gronda.

- E 26 PHYSICAL FEATURE → *P2 has type* → E55 TYPE

La relazione tra l’Unità Edilizia o il Fronte Edilizio e la caratteristica descritta è formalizzata come segue:

- CP13 BUILDING FRONT → *P56 bears feature* → E 26 PHYSICAL FEATURE.

Sul piano quantitativo la consistenza della fabbrica è espressa grazie a proprietà formalizzate nell’ontologia CdRont, concepite come sotto-proprietà della proprietà del CIDOC-CRM *core* *P57 has number of parts*, le quali legano CP10 BUILDING UNIT o CP13 BUILDING FRONT alla classe E60 NUMBER²², consentendo così di istanziare il numero dei piani totali, fuori terra e dentro terra, delle unità ad uso residenziale e non, nonché dei fronti interni e prospicienti sugli Spazi Urbani contigui²³. Infine, le dimensioni sono espresse come esito dell’attività di misurazione svolta sull’edificio e specificate attraverso un tesoro associato che consente di esplicitare i dati qualificanti l’edificio (altezza massima; altezza minima; larghezza; lunghezza; volume fuori terra; volume dentro terra; superficie coperta lorda). La formalizzazione si sviluppa per entrambi gli elementi architettonici considerati nel seguente modo:

- CP10 BUILDING UNIT o CP11 BUILDING FRONT → *P39i was measured by* → E16 MEASUREMENT → *P40 observed dimension (was observed in)* → E54 DIMENSION → *P2 has type* → E55 TYPE.

22. La classe E60 NUMBER comprende qualsiasi codifica di valori computabili algebrici.

23. In particolare, le proprietà sono: *Pr1 has total number of floors*; *Pr4 has number of underground floors*; *Pr13 has number of floors over ground*; *Pr12 has number of not residential real estate units*; *Pr11 has number of residential real estate units*; *Pr17 has number of architectural fronts on urban spaces*; *Pr18 has number of inner architectural fronts*.

La descrizione delle caratteristiche costruttive muove dall'ulteriore specificazione delle relazioni spaziali dell'Unità Edilizia descrivendone la posizione rispetto all'Unità Urbana di cui è parte. Tale descrizione avviene tramite la proprietà del CIDOC-CRM *core* P59 *has section*, tuttavia, come nel caso delle altre relazioni topologiche già considerate, anche questa è una proprietà che non relaziona tra loro oggetti tridimensionali, bensì prevede come dominio e codominio rispettivamente E18 PHYSICAL THING e E53 PLACE. Pertanto, volendo considerare le costruzioni, è necessario riferirsi alla loro proiezione ortogonale sull'area di sedime e la formalizzazione può svilupparsi identificando, in prima istanza, l'area occupata dall'Unità Edilizia come segue:

- CP10 BUILDING UNIT → P59 *has section* → E53 PLACE.

Successivamente viene specificato che tale area ha una posizione all'interno dell'aggregato di cui è parte:

- E53 Place → P59 *is located on* → CP14 URBAN UNIT AGGREGATE.

Infine, la rappresentazione qualifica la posizione all'interno dell'aggregato rimandando la descrizione ad un vocabolario di riferimento attraverso la proprietà P2 *has type* e la classe E55 TYPE:

- CP10 BUILDING UNIT → P59 *has section* → E53 PLACE → P2 *has type* → E55 TYPE.

Le caratteristiche costruttive e strutturali vengono fornite attraverso il calcolo delle incidenze, riguardanti elementi specifici (aperture, portici, loggiati), e dell'impatto di particolari caratteristiche costruttive sulle prestazioni statiche e dinamiche dell'edificio. Le incidenze sono formalizzate grazie alla classe CR1 RATIO, concepita come sottoclasse di E73 INFORMATION OBJECT e riferita a una scala di valori qualitativa. Si potrà dunque indicare che una particolare componente costruttiva costituisce una parte specifica dell'insieme delle componenti presenti o associarvi un giudizio qualitativo espresso tramite un tesoro (nessuna, poche, molte ecc.). Per esempio, volendo identificare l'incidenza delle coperture spingenti sull'Unità Edilizia considerata, si potrà procedere con:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P67 *is referred to by* → CR1 RATIO.

Volendo invece qualificare l'impatto della presenza di pareti libere con aperture irregolarmente distribuite all'interno di un'Unità Edilizia si potrà scrivere:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P67 *is referred to by* → CR1 RATIO → P2 *has type* → E55 TYPE.

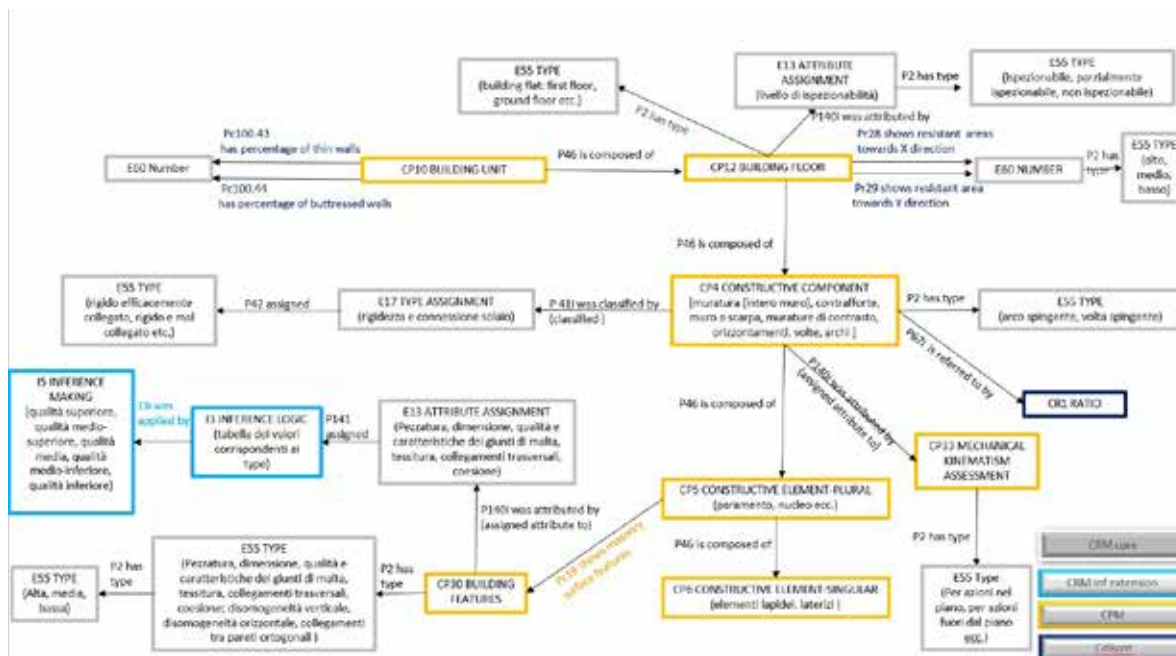


Figura 13. Formalizzazione della CdR relativa alla descrizione del sistema strutturale per piani che caratterizza l'Unità Edilizia. Si sottolinea in particolare come il modello esprima le valutazioni degli elementi costruttivi rilevanti attraverso la classe E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Per le parti in grado di contrastare le sollecitazioni orizzontali, le parti aggiunte e deformabili, gli oggetti si calcola direttamente l'impatto in termini di percentuali. Tali caratteristiche vengono osservate e quantificate rispetto alla porzione coinvolta. Si riporta una formalizzazione a titolo di esempio:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → Pr20 *has low opposed horizontal forces percentage* → E60 NUMBER;

Inoltre, la morfologia e l'omogeneità costruttiva sono descritte grazie alle due proprietà CPM Pc16 *shows morphology type* e Pc20 *shows building homogeneity*.

L'incidenza delle caratteristiche strettamente fisiche può essere espressa mediante un rapporto formalizzabile, come s'è visto, con la classe CR1 RATIO. Diversamente, per le caratteristiche dove la definizione dell'incidenza necessita una valutazione critica si deve ricorrere alla classe E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT a cui si associa un tesoro (sempre attraverso la proprietà P2 *has type*) così da specificarne le qualità. Tali caratteristiche condizionano la vulnerabilità strutturale e possono riguardare l'intero edificio o anche una sua parte (che sia un'unità o una componente costruttiva); esse si riferiscono alla rigidità e alla connessione della copertura alle pareti, alla regolarità dell'impianto, alla connessione dei muri e la distribuzione delle aperture. Per esempio, la valutazione della rigidità e connessione alle pareti potrà formalizzarsi come segue:

- CP3 CONSTRUCTION UNIT → P140i *was attributed by* → E 13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT → P2 *has type* → E55 TYPE.

La descrizione dei piani della fabbrica comporta la specificazione del livello d'ispezionabilità, delle componenti e degli elementi costruttivi e di una serie di caratteristiche che incidono sulla vulnerabilità dell'edificio. Come nel caso già illustrato, tali caratteristiche sono di due tipi, rispettivamente descritte rispetto alla qualità e alla quantità o identificate in base a un giudizio. Le prime sono espresse dalle proprietà: Pr24 *has percentage of thin walls*; Pr25 *has percentage of buttressed walls*; Pr28 *shows resistant areas towards X direction*; Pr29 *shows resistant area towards Y direction*; esse collegano l'Unità Edilizia o il singolo piano a un numero. Al secondo gruppo appartengono gli eventuali cinematismi e la qualità delle murature (fig. 13). Il cinematismo meccanico viene formalizzato dalla classe CP33 MECHANICAL KINEMATISM ASSESSMENT, concepita come sottoclasse di E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT e specificato attraverso un tesoro che descrive il tipo di azioni che lo hanno innescato.

- CP4 CONSTRUCTION COMPONENT → P140i *Was attributed by* → CP33 MECHANICAL KINEMATISM ASSESSMENT → P2 *has type* → E55 TYPE.

La muratura viene descritta in termini qualitativi grazie all'impiego di tesauri che ne specificano le caratteristiche e sfruttando la capacità inferenziale del modello ontologico. Attraverso le classi derivate dal CRMinf³ INFERENCE LOGIC e I5 INFERENCE MAKING viene formalizzata la corrispondenza tra tipologie costruttive e scala di valori espressa in termini di maggiore e minore vulnerabilità.

La modellazione dei fenomeni di degrado presenti sull'edificio avviene associando a unità, componenti ed elementi costruttivi una caratteristica specifica che ne esprime il danno. Tale modellazione segue quanto già descritto nel precedente capitolo rispetto alle unità urbane, ma è sviluppata a partire dalla descrizione dell'organismo architettonico e della sua consistenza materiale. Quest'ultima viene descritta grazie alla classe CP8 BUILDING MATERIAL, sottoclasse di CP1 BUILT ENTITY e alla proprietà Pr35 *shows as prevalent material*.

In aggiunta, il sottodominio sviluppa anche la modellazione dei fattori di confidenza e rilevanza, entrambi descritti con classi specifiche concepite come sottoclassi di E73 INFORMATION OBJECT cui gli elementi architettonici sono relazionati attraverso proprietà specifiche come Pr34 *shows relevance factor* e Pr33 *shows check factor*.

Le vicende costruttive della fabbrica sono espresse grazie alle classi già esistenti nel CIDOC-CRM *core* E11 MODIFICATION e E81 TRANSFORMATION a cui si aggiunge la classe del CPM CP28 TYPOLOGICAL VARIATION, concepita come sottoclasse di E81 TRANSFORMATION. Data la differenza dell'esito delle diverse attività esse si relazionano alla fabbrica mediante proprietà diverse. La prima esplicita l'azione con la proprietà P31i *was modified by* e l'effetto con Pc24 *occurred in*, le altre si relazionano con l'edificio originario mediante la relazione P124 *was transformed by* e con l'edificio trasformato mediante Pc30 *resulted in*. In aggiunta, l'esito delle trasformazioni è associato a una specifica fase costruttiva modellata, sia per l'Unità Edilizia che per il Fronte Edilizio, con la classe E93 PRESENCE ulteriormente esplicitata con la classe CP31 BUILDING PHASE (sottoclasse di E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT). La E93 è inoltre associata a un E52 TIME SPAN tramite la proprietà P164 *is temporally specified by (temporally specifies)*.

- CP11 BUILDING FRONT → P196 *defines* → E92 SPACETIME VOLUME → P166 *had presence* → E93 PRESENCE → P140i *was attributed by* → CP31 BUILDING PHASE;
- E93 PRESENCE → P10 *falls within* → E4 PERIOD → P4i *has time span* → E52 TIME SPAN.

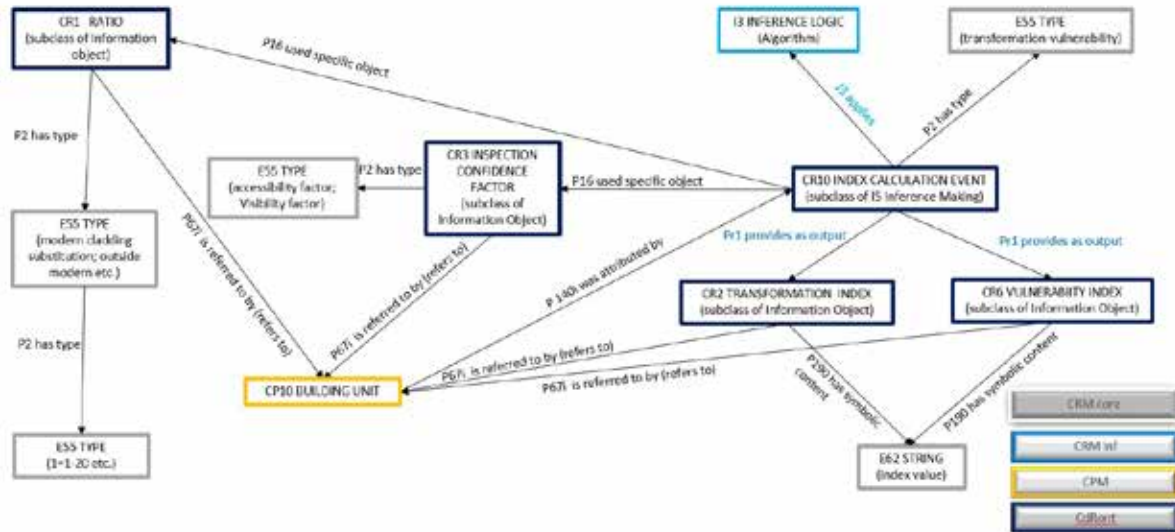


Figura 14. Formalizzazione della CdR relativa agli indici di vulnerabilità e trasformazione dell'Unità Edilizia (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

Completa la rappresentazione del sottodominio la definizione dell'indice di trasformazione e dell'indice di vulnerabilità (fig. 14). Entrambi sono concepiti come risultato di CR10 CALCULATION EVENT (sottoclasse di I5 INFERENCE MAKING, al quale è associato un valore che costituisce l'esito di una inferenza) elaborata sulla base di dati dedotti a loro volta da un'attività di studio diretto della fabbrica²⁴.

Anche la formalizzazione delle fasi di pertinenza e delle fasi costruttive segue lo stesso modello. Il fronte edilizio viene associato alla sua qualità spazio-temporale grazie alla classe E92 SPACE TIME VOLUME e ricondotto a una specifica consistenza formalizzata con la classe E93 PRESENCE. Quest'ultima è parallelamente definita in termini temporali e ricondotta a una fase costruttiva peculiare.

Conclusioni

La proposta definire un modello ontologico per la Carta del Rischio amplia ulteriormente la capacità relazionale del sistema con altri contesti, potenziandone così le possibilità di applicazione. L'intero processo di modellazione ha messo in luce, da un lato, quali possano essere tali contesti, chiarendo le opportunità di sviluppo sia sul piano operativo che su quello della ricerca, dall'altro come tali connessioni possano essere estese a qualunque ambito di rappresentazione ontologica. I sottodomini che la formalizzazione della CdR coinvolge sono relativi a tre macro-ambiti: l'illustrazione della fabbrica, la descrizione delle sue trasformazioni e la valutazione critica della consistenza architettonica rispetto alla vulnerabilità (fig. 15).

I primi due macro-ambiti sono incardinati sul concetto di organismo composto di parti, ognuna con una propria identità e uno specifico sistema di relazioni, declinato rispetto alla fabbrica in sé e in riferimento al suo intorno. Tale sistema di relazioni è di natura mereologica in riferimento all'identificazione del rapporto esistente tra parti componenti l'organismo architettonico e di natura topologico-spaziale in ordine alla posizione reciproca delle parti²⁵. La configurazione risultante riflette

24. Tale formalizzazione è tuttavia oggetto di una ricerca ancora in corso e suscettibile di approfondimenti, vedi nota 14.

25. Il confronto fra lettura dell'organismo architettonico e ragionamento logico sulle relazioni spaziali di un oggetto sviluppata in filosofia è di aiuto per la strutturazione del sottodominio. In particolare, Achille Varzi (vedi VARZI 2007) distingue le componenti mereologica (relazione delle parti con l'intero), topografica (relazione dell'oggetto con il luogo su cui insiste) e localizzazione (reazione dell'oggetto con lo spazio circostante) proponendo una classificazione che mostra una significativa similitudine con il modello di rappresentazione della Carta del Rischio.

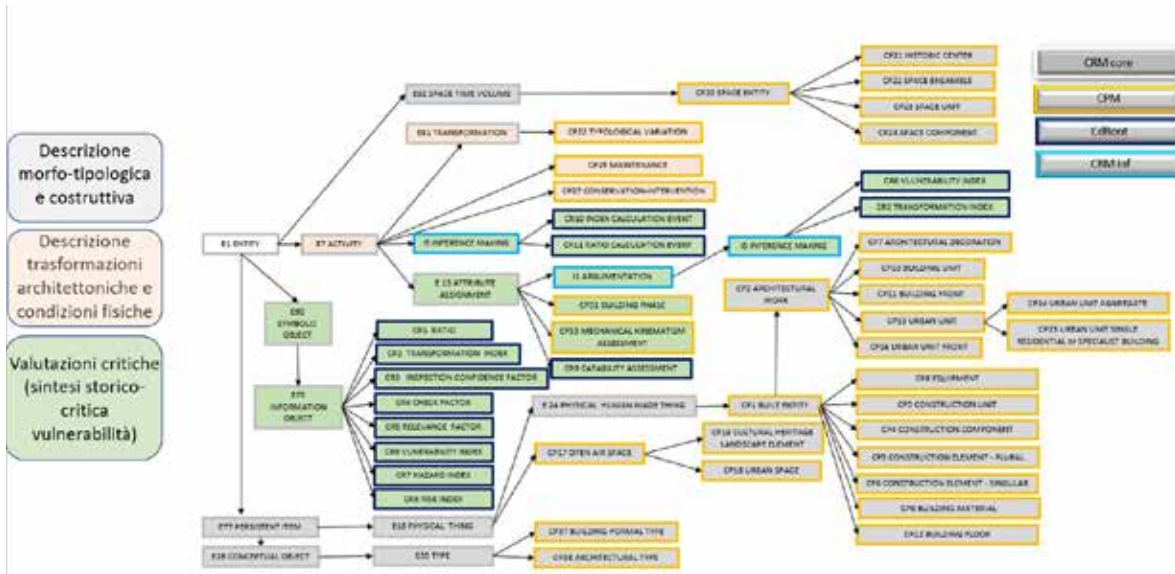


Figura 15. Visualizzazione della gerarchia delle classi dei modelli CPM e CDRont e identificazione dei 3 macro-ambiti formalizzati (elaborazione D. Fiorani, M. Acierno, 2023).

la struttura dell'ambiente BIM, proprio dell'ambito professionale, e ne consente la connessione aprendo la strada alla soluzione dei noti problemi di interoperabilità e insufficienza semantica²⁶.

La letteratura recente ha messo in luce come gli strumenti del web semantico costituiscano una delle prospettive più promettenti per potenziare la capacità descrittiva degli ambienti informatici finalizzati alla rappresentazione del progetto di architettura e alla gestione del ciclo di vita dell'edificio.

Tale prospettiva appare assicurata, in particolare, dai modelli basati sulle ontologie in ragione delle loro caratteristiche intrinseche, quali l'attitudine a relazionarsi con più sistemi di organizzazione della conoscenza, la capacità di gestire ampie quantità di dati e l'abilità di automatizzare determinati processi di progettazione tramite tecnologie di tipo logico e inferenziale. In quest'ottica, il modello ontologico proposto può inserirsi nel processo d'integrazione tra sistemi diversi già avviato con l'introduzione del modello IfcOWL, traduzione in linguaggio RDF del noto modello IFC²⁷. In particolare, il processo di formalizzazione ha messo in luce come il sottodominio della descrizione della fabbrica, costituito dall'insieme di classi e proprietà definite per l'identificazione delle diverse componenti l'organismo architettonico, possa connettersi al sistema di classi IFC proprio dell'ambiente BIM e, conseguentemente, come quest'ultimo possa essere esteso a uno scenario descrittivo più ampio, in grado di considerare gli aspetti topografici e di relazione con il contesto urbano. In tale prospettiva emerge la complessità di un sistema che voglia al tempo stesso gestire la rappresentazione delle relazioni topologiche e mereologiche espresse in due dimensioni a cui molti modelli ontologici come il CRMgeo o il geoSPARQL (OGC standard) fanno riferimento e, allo stesso tempo, la documentazione di relazioni tra entità a tre e quattro dimensioni proprie dei sistemi di organizzazione della conoscenza dedicati all'architettura.

Un'ulteriore estensione di scenario è possibile, oltre che attraverso il collegamento al modello ontologico, anche grazie alla possibilità di connessione con i vocabolari specifici delle diverse discipline coinvolte. Attraverso la tipizzazione dei concetti, formalizzata con la proprietà *P2 has type* e la conseguente precisazione del tipo, si ha la possibilità di relazionare un tesauruso organizzato in modo tassonomico a qualsiasi concetto. La descrizione della fabbrica, a partire dal suo assetto

26. Il dibattito attuale riguardo l'inadeguatezza semantica dell'ambiente BIM per la rappresentazione e la gestione dell'architettura storica e la letteratura corrente è ancora molto vivace e mostra come l'indagine sull'integrazione dei dati provenienti da contesti documentari eterogenei risulti particolarmente attiva sia rispetto agli strumenti di acquisizione dei dati sia in riferimento alla loro rappresentazione. Vedi: CROCE ET ALII 2021; ZHANG, BEETZ, DE VRIES, 2014; DEMETRESCU, FERDANI 2021.

27. Il modello IFC è uno standard definito per rappresentare dati relativi alle costruzioni, in particolare è stato codificato con la norma ISO 10303-11 in linguaggio Express.

morfo-tipologico - esplicitato attraverso le proprietà riferite a CP2 ARCHITECTURAL WORK Pc15 *shows plan configuration type* e Pc20 *shows typology* - e a seguire con la specificazione delle diverse caratteristiche figurative e costruttive - espresse dalla proprietà ricondotte a CP1 BUILT WORK Pc16 *shows morphology type* - è prevalentemente descritta attraverso vocabolari chiusi propri della Carta del Rischio, che possono comunque potenzialmente estendersi ad altri tesauri esistenti in letteratura e in rete.

Il terzo macro-ambito definito dalla formalizzazione della Carta del Rischio riguarda la componente valutativa che conduce alla definizione della vulnerabilità stessa.

Tale componente si esprime attraverso dati quantitativi e qualitativi. Come s'è visto, i primi sono espressi grazie a proprietà, riferite all'edificio, che esplicitano la consistenza numerica di determinate caratteristiche (es. Pr27 *has number of outer doors and windows* o Pr21 *has percentage of thrusting extensions*); i secondi, invece, si servono della classe E13 ATTRIBUTE ASSIGNMENT e della proprietà P 140i *was attributed by*, esprimendo dati di natura soggettiva. Nella Carta del Rischio tali dati sono poi ulteriormente elaborati attraverso un algoritmo che identifica l'indice di vulnerabilità. Il processo che dai dati giunge a definire la vulnerabilità si serve della capacità logica inferenziale dell'ontologia, in grado d'integrare informazioni quantitative, numeriche, con dati interpretativi. Questa specificità consente di uscire dalla logica riduttiva del sistema esperto, aprendo alla possibilità di gestire dati interpretativi e critici attraverso la modellazione informatica.

La modellazione ontologica della CdR per i centri storici è stata sviluppata, come si è detto, all'interno di progetto di ricerca più ampio che ha affrontato il tema dell'interoperabilità tra i vari sistemi di organizzazione della conoscenza rivolti al restauro e alla tutela del patrimonio culturale. In particolare, attraverso il lavoro svolto, si è potuto ulteriormente mettere in evidenza quanto possa essere efficace una rappresentazione che gestisca in modo integrato i diversi aspetti dell'architettura, quali la rappresentazione degli aspetti costruttivi, topografici e localizzativi correlati alle valutazioni critiche proprie del rilevamento dello stato di conservazione e, più in generale, della vulnerabilità, intesa rispetto al rischio di perdita del patrimonio. Parallelamente, lo sviluppo della rappresentazione formale del sistema CdR ha permesso un ulteriore approfondimento della struttura teorica e logica che ne è alla base, delineando un percorso di ricerca che vuole sviluppare contenuti ancora non completamente rappresentati dagli ambienti informatici esistenti. La scelta di sviluppare modelli formali, per la valutazione del rischio e, più in generale, per il restauro e la tutela dell'architettura, è motivata da sollecitazioni urgenti, legate alla gestione integrata delle grandi quantità di dati potenzialmente disponibili e alla ricerca di una piena condivisione delle informazioni tra i diversi livelli operativi, indispensabile a una protezione del patrimonio architettonico realmente efficace.

Bibliografia

ACIERNO 2019 - M. ACIERNO, *Ontologie per i centri storici*, in FIORANI 2019, pp. 179-188.

ACIERNO 2022 - M. ACIERNO, *I vocabolari della Carta del Rischio per i centri storici: un possibile raccordo tra lessico specialistico e interoperabilità*, in FIORANI ET ALII 2022, pp. 21-34.

ACIERNO 2023 - M. ACIERNO, *I vocabolari della Carta del Rischio per i centri storici: tra lettura del contesto e organizzazione della conoscenza*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 29-42.

ACIERNO ET ALII 2017 - M. ACIERNO, S. CURSI, D. FIORANI, D. SIMEONE, *Architectural Heritage Knowledge Modelling: an Ontology-Based Framework for Conservation Process*, in «Journal of Cultural Heritage», 22017, 4C, pp. 124-133.

ACIERNO, FIORANI 2017a - M. ACIERNO, D. FIORANI, *Drawing, information and design: tools and perspective for conservation*, in A. IPPOLITO (eds.), *Handbook of Research on Emerging Technologies for Architectural and Archaeological Heritage*, IGI Global, Hershey (Pennsylvania) 2017, pp. 355-386.

ACIERNO, FIORANI 2017b - M. ACIERNO, D. FIORANI, *Conservation process model (CPM): a twofold scientific research scope in the information modelling for cultural heritage*, in «ISPRS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», GEOMATICS & RESTORATION – Conservation of Cultural Heritage in the Digital Era, 2017, XLII-5/W1, pp. 283-290.

ACIERNO, FIORANI 2025 - M. ACIERNO, D. FIORANI, *Conservation Process Model: an Ontology for Conservation in Architecture*, SUE, Roma 2025.

BAIK, YAAGOUBI, BOEHM 2015 - A. BAIK, R. YAAGOUBI, J. BOEHM, *Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument*, in «ISPRS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences», XL(2015), 40, pp. 29-34.

BEKIARI ET ALII 2023 - C. BEKIARI, G. BRUSEKER, E. CANNING, M. DOERR, P. MICHON, C.E. ORE, S. STEAD, A. VELIOS, *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model, Version 7.2.3*, May 2023, disponibile online: https://cidoc-crm.org/sites/default/files/cidoc_crm_version_7.2.3%5B4%20Sep%202023%5D.pdf (ultimo accesso 12 dicembre 2023).

COLUCCI ET ALII 2020 - E. COLUCCI, V. DE RUVO, A. LINGUE, F. MATRONE, G. RIZZO, *HBIM-GIS Integration: From IFC to City GML Standard for damaged Cultural Heritage in a Multiscale 3D GIS*, in «Applied Sciences», X(2020), 4, pp. 1-20.

CROCE ET ALII 2021 - V. CROCE, G. CAROTI, L. DE LUCA, K. JACQUOT, A. PIEMONTE, P. VÉRON, *From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning*, in «Remote Sensing», 2021, 13, p. 461.

DEMETRESCU, FERDANI 2021 - E. DEMETRESCU, D. FERDANI, *From Field Archaeology to Virtual Reconstruction: A Five Steps Method Using the Extended Matrix*, in «Applied Sciences», 2021, 11. DOI: 10.3390/app11115206.

FIORANI 2019 - D. FIORANI, *Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa*, Quasar, Roma 2019.

FIORANI 2023 - D. FIORANI, *Vulnerabilità, Pericolo e Rischio. Il ruolo della digitalizzazione nel governo di uno scenario complesso*, in FIORANI ET ALII 2023, pp. 11-28.

FIORANI ET ALII 2022 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione restauro. Applicazioni e prime normative della Carta del Rischio*, SUE, Roma 2022.

FIORANI ET ALII 2023 - D. FIORANI, M. ACIERNO, A. DONATELLI, A. MARTELLO, S. CUTARELLI, *Centri storici, digitalizzazione restauro. Applicazioni e ultime normative della Carta del Rischio*, SUE, Roma 2023.

GUILLEM ET ALII 2023 - A. GUILLEM, A. GROS, K. RÉBY, V. ABERGEL, L. DE LUCA, *RCC8 for CIDOC CRM: Semantic Modeling of Mereological and Topological Spatial Relations in Notre-Dame de Paris*, in A. BIKAKIS, R. FERRARIO, S. JEAN, B. MARKHOFF,

A. MOSCA, M.N. ASMUNDO (eds.), *SWODCH'23: International Workshop on Semantic Web and Ontology Design for Cultural Heritage, 2023*, in «CEUR Workshop Proceedings», 2023, 3540, disponibile online: <https://ceur-ws.org/Vol-3540/paper2.pdf> (ultimo accesso 12 Dicembre 2023).

VARZI 2007 - A.C. VARZI, *Spatial reasoning and ontology: parts, wholes, and locations*, in M. AIELLO, I. PRATT-HARTMANN, J. VAN BENTHEM (eds.), *Handbook of Spatial Logics*, Springer-Verlag, Berlin 2007, pp. 945-1038.

ZHANG, BEETZ, DE VRIES 2015 - C. ZHANG, J. BEETZ, B. DE VRIES, *An Ontological Approach for Semantic Validation of IFC Model*, Curran Associates, New York 2015, pp. 62-70.