

CityGML per un piano di gestione dei borghi storici

Francesco Di Stefano¹[0000-0002-0604-7163], Lucrezia Gorgoglione¹[0000-0003-2491-9380]
e Eva Savina Malinverni¹[0000-0001-6582-2943]

¹ DICEA, Università Politecnica delle Marche, Ancona (Italia),
f.distefano@staff.univpm.it, l.gorgoglione@pm.univpm.it, e.s.malinverni@staff.univpm.it

Abstract. Negli ultimi decenni, i borghi storici sono stati rivalutati per il loro doppio ruolo: come patrimonio culturale da preservare e come realtà urbane da pianificare. Ciò richiede un approccio multidisciplinare e strumenti multi-scala per gestire la crescente quantità di informazioni, valorizzando la semantica dei dati e la modellazione 3D. Lo studio propone la creazione di un database geo-spaziale 3D basato su CityGML per supportare le decisioni gestionali. Utilizzando dati cartografici e rilievi geomatici, il processo è testato su due borghi marchigiani, Morro d'Alba e San Ginesio, attraverso modelli 3D nei LOD1 e LOD2. Il risultato è un GIS 3D con un database relazionale che organizza e gestisce le informazioni degli ambienti costruiti di questi borghi.

Parole chiave. Borghi storici, CityGML, CityModel

1. Introduzione

Negli ultimi decenni vi è una rinnovata attenzione ai borghi storici, evidenziando il duplice ruolo che essi svolgono nel contesto urbano: come valore culturale, da proteggere e valorizzare, e come città esistenti, da pianificare e migliorarne l'accessibilità. Tale dicotomia introduce una questione complessa che costringe le amministrazioni locali a gestire queste realtà urbane come sistemi articolati. Si tratta quindi di un approccio multidisciplinare che interessa sia il territorio che l'ambito urbano fino ai singoli edifici. Questo richiede l'implementazione di strumenti multi-scala e la definizione di banche dati ormai digitali, che devono però essere sempre più accessibili e condivise, per la gestione delle informazioni. Inoltre, la quantità di informazioni eterogenee da gestire è in costante crescita, rendendo il tema della semantica dei dati cruciale e di pari passo con la modellazione 3D del costruito così da poter implementare un sistema informativo dedicato alla scala adeguata [1]. Le nuove applicazioni informatiche che fanno riferimento al GIS e in particolare al CityGML rendono oggi sempre più possibile gestire le informazioni semantiche affinché possano essere condivise e correttamente interpretate. Attualmente, i principali campi di applicazione dei Sistemi Informativi per il contesto urbano includono la pianificazione [2], la valutazione dei rischi [3] e le analisi energetiche [4]. In alcuni casi è già stata testata la sua applicazione al patrimonio culturale, ma le opportunità in questo settore non sono ancora adeguatamente sfruttate ed operative [5], soprattutto perché la modellazione geometrica 3D degli oggetti costruiti a grande scala richiede un dettaglio e una conoscenza non sempre disponibile a livello cartografico.

In questo contesto, lo studio propone la creazione di un database geo-spaziale 3D in grado di gestire l'ambiente costruito mediante un Sistema Informativo dedicato che possa rappresentare un valido supporto per il raggiungimento di processi decisionali più informati ed efficaci per un piano di gestione dei borghi storici. Viene proposta una metodologia di lavoro basata su CityGML. Lo standard OGC è stato scelto in virtù della sua capacità di rappresentare gli oggetti con le loro proprietà geometriche, topologiche e semantiche, specificando le loro relazioni in un ambiente gerarchico [6]. Con l'obiettivo di sviluppare un modello che possa essere replicato in vari contesti, l'intero processo parte dall'analisi di dati relativi al contesto urbano, quali cartografie a grande/grandissima scala, rilievi geomatici a supporto dell'integrazione di un dato 3D, e utilizza un modello informativo standard ed interoperabile. Per testare e validare il processo viene presentato il caso studio di due borghi marchigiani, Morro d'Alba (AN) e San Ginesio (MC), come esperimenti a scala urbana, attraverso una rappresentazione 3D con LOD1 e LOD2. Il workflow segue un processo in diverse fasi: il recupero dei dati di input, la modellazione geometrica 3D del modello urbano con terreno, edificato, infrastrutture e aree verdi, la modellazione informativa in ambiente GIS basata sullo schema CityGML e la definizione di un database relazionale interrogabile. Come risultato, viene implementato un GIS 3D espresso anche in CityGML basato su un database geo-spaziale relazionale 3D in un modello multi-scala e multi-livello di dati standard, capace di archiviare e organizzare le informazioni [7] relative ai componenti di un ambiente costruito che costituisce un borgo storico.

2. Metodologia

La metodologia di lavoro adottata per l'implementazione di un sistema informativo basato su CityGML, illustrata nella Figura 1, si articola in diverse fasi.

Si parte dall'acquisizione di dati di input non strutturati, come cartografie regionale e comunale, e rilievi ottenuti tramite tecnologie geomatiche.

Questi dati vengono poi strutturati attraverso la definizione di un modello ontologico dedicato al borgo storico, basato sullo schema CityGML, che include il terreno, l'edificato, altri elementi del contesto costruito, quali le infrastrutture, e le aree verdi. Un passaggio chiave è l'individuazione del livello di dettaglio richiesto dal progetto, valutando se i dati di input disponibili consentano di soddisfare tali requisiti.

Successivamente si procede alla modellazione 3D del borgo storico, generando dapprima il DTM (Digital Terrain Model) a partire dalla cartografia e creando successivamente i blocchi 3D degli edifici. Altri elementi, di particolare valenza storico-architettonica, che sono stati rilevati con tecnologie geomatiche vengono modellati in software parametrici, seguendo un approccio simile all'HBIM, basato sul modello ontologico precedentemente definito.

Infine, i dati vengono integrati in un ambiente GIS 3D (ArcGIS Pro), dove un geodatabase raccoglie informazioni geometriche, semantiche e topologiche di ogni componente del modello urbano 3D, rispettando la struttura del modello ontologico. Questo CityModel diventa uno strumento informativo interrogabile attraverso *queries*, consentendo una gestione e analisi avanzata dei dati (CityEngine).

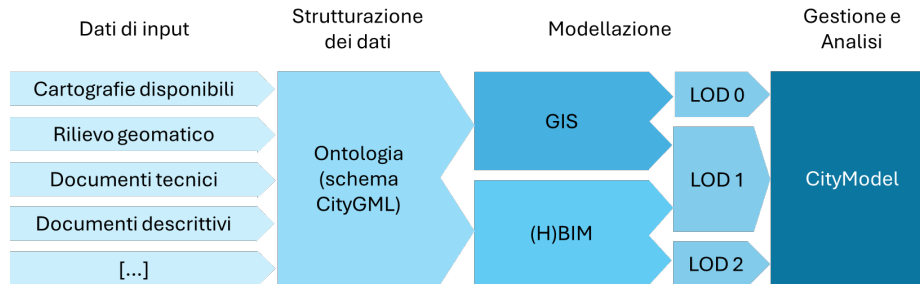


Fig. 1. Workflow metodologico

3. Risultati

Per la definizione di un'ontologia dedicata a un borgo storico non esistono prescrizioni precise di riferimento. Lo standard CIDOC-CRM (ISO 21127:2014) [8] si basa su un sistema di classi che rappresentano concetti primitivi, il cui significato non è deducibile logicamente da altri concetti. Questo standard pone particolare enfasi sulle proprietà o relazioni delle o tra le classi piuttosto che sulle classi stesse. Nel definire un modello ontologico per il borgo storico, si è scelto di utilizzare lo standard CityGML adattandolo al contesto storico-architettonico. A questo fine, sono stati considerati i riferimenti teorici e normativi come le definizioni di centro storico contenute nella Carta di Washington (1987) [9], i Principi di La Valletta (ICOMOS 2011) [10] e il concetto di Historic Urban Landscape (HUL) promosso dall'UNESCO (2011) [11]. Questi documenti offrono una base concettuale che integra il contesto storico e culturale nelle specifiche tecniche del modello ontologico.

Il modello ontologico realizzato segue fedelmente la struttura dello schema CityGML, distinguendo celle corrispondenti a diverse classi e sottoclassi, collegate tra loro da frecce che rappresentano relazioni di appartenenza o composizione (Fig. 2).

Lo schema parte dalla classe generale *CityModel*, che racchiude tutte le altre. Al livello successivo si trova il *CityObject*, suddiviso in *Historical Centre*, la zona di interesse specifico, e *Surroundings*. All'interno dell'*Historical Centre* sono state modellate diverse *features*, tra cui la *Built Area*, suddivisa nelle sottoclassi *Building Block*, che comprende gli edifici comuni, e *Monument*, che include elementi del patrimonio storico-architettonico. I *Transportation Objects* sono articolati nelle sottoclassi di *Walkway*, *Road* e *Square*, mentre la *Vegetation* include i *Park*. Infine, il *Relief* rappresenta il terreno, ulteriormente suddiviso nei suoi elementi costitutivi. Ogni classe è collegata a una singola cella che rappresenta la *Geometry*.

Gli attributi di ciascun elemento modellato sono stati inseriti all'interno delle rispettive celle, con nomi che vengono ripresi nella Tabella degli Attributi nel GIS. Inoltre, è stato associato un campo chiave ad albero per identificare rapidamente l'appartenenza di ogni elemento alla propria classe.

Per definire il *Level of Detail* (LOD) raggiungibili, sono stati utilizzati riquadri per raggruppare gli elementi in base al LOD specifico: LOD0 per il terreno; LOD1 per l'area costruita e un LOD2 per la definizione dei tetti dell'agglomerato urbano storico; LOD0 per le infrastrutture e aree verdi.

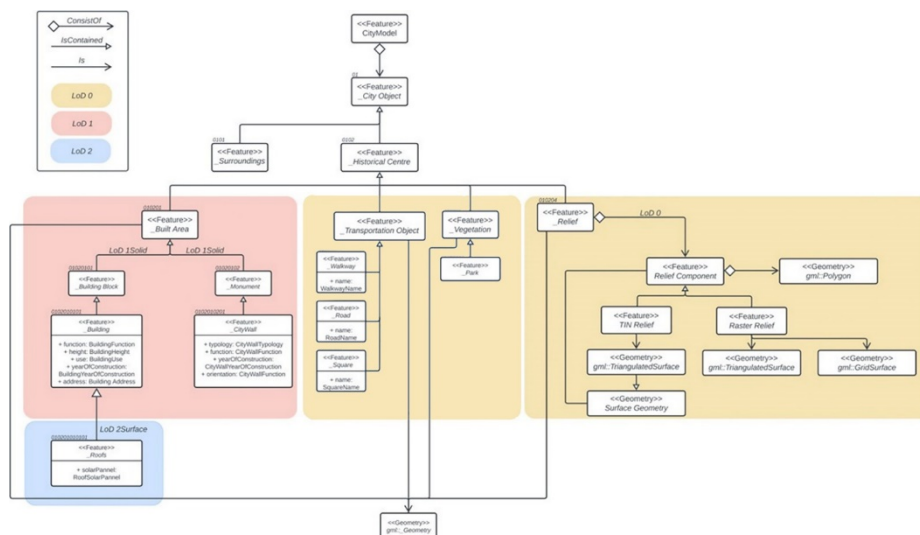


Fig. 2. Esempio di schema ontologico CityGML applicato ai borghi storici con diversi LOD.

Il processo di creazione del modello 3D (Fig. 3) ha avuto inizio con una fase di raccolta dei materiali a disposizione dalle cartografie territoriali e dai dati del rilievo geomtico. Come primo step, è stato modellato il DTM direttamente nel software GIS, partendo dai dati cartografici combinando le mappe regionale (1:10.000) e comunale (1:2.000). Il terreno, georeferenziato in un determinato sistema di riferimento, viene rappresentato nel LOD0 dove edifici e infrastrutture vengono mostrati con contorni bidimensionali ed appoggiato su di esso.

Per la modellazione del costruito, riferito al centro storico, sono stati utilizzati software di modellazione parametrica con approccio HBIM come Autodesk Revit e Rhinoceros 3D [12-13]. Importando tali modelli 3D nel GIS vengono integrati ad altri elementi dell'ambiente urbano costruito. Viene quindi ottenuto il LOD1 che permette di avere una comprensione generale della struttura urbana con modello 3D efficiente e a bassa risoluzione. La rappresentazione del LOD2 comporta un maggiore realismo, infatti la progettazione dettagliata delle forme dei tetti e delle facciate rende i modelli più realistici e utili per applicazioni urbanistiche, di pianificazione e analisi.

Per quanto concerne le strade, così come le aree verdi pubbliche e le piazze, sono state modellate a partire dalle mappe disponibili su OpenStreetMap, trasformate in poligoni (LOD0) importate nel modello su CityEngine (ESRI).

Per ogni *feature*, sono stati implementati i relativi attributi attraverso tabelle. In queste tabelle, ogni riga rappresenta un elemento fisico del modello 3D, mentre le colonne contengono le descrizioni degli attributi corrispondenti a quella *feature*, con una colonna per ogni attributo individuato nel modello ontologico. La prima colonna riporta un numero progressivo ("ID") che identifica univocamente ogni oggetto nel modello 3D, mentre la seconda colonna contiene il "Code", comune a tutti gli elementi della stessa *feature*, che ne facilita l'identificazione. La Tabella degli Attributi riporta poi informazioni relative a: "LOD", che indica il Level Of Detail dell'elemento; "Function"

e “Use” che descrivono le funzioni e le destinazioni d’uso dell’elemento; “YearOfConstruction”, che corrisponde all’anno di costruzione; “Address” o “Name”, che indica l’indirizzo in cui l’elemento si trova o il nome della piazza, della strada o dell’area verde.



Fig. 3. Esempio del modello 3D del borgo di Morro d’Alba (AN) in ambiente CityEngine (ESRI) e il raggiungimento del LOD 2 dell’agglomerato riferito al centro storico.

In un ambiente GIS 3D come ArcGIS o CityEngine (ESRI), una delle funzionalità utili, dopo aver definito le relazioni e associato attributi alle *features*, è la possibilità di interrogare il modello 3D tramite *queries* formulate con codice Python per verificare la corretta gestione delle informazioni in esso contenute, in particolare informazioni generali sull’ambiente costruito urbano e sull’intersezione tra geometrie (Fig. 4).

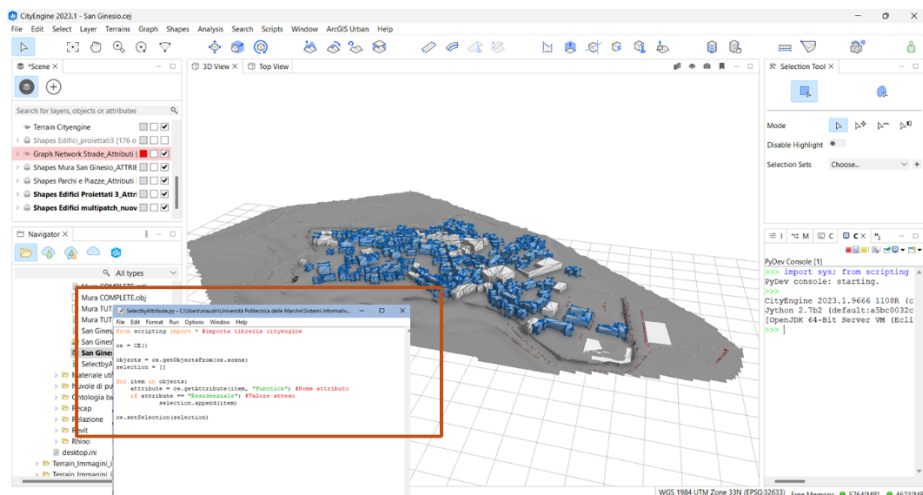


Fig. 4. Esempio del modello 3D CityGML del borgo storico di San Ginesio (MC) in ambiente CityEngine (ESRI) con visualizzazione della risposta da *query* implementata.

4. Discussioni

I centri storici urbani spesso mancano di una documentazione adeguata, che fornisca la ricchezza e il livello di dettaglio necessari per gestire interventi di gestione e pianificazione complessi [1]. Le informazioni richieste sono talvolta già disponibili, ma disperse tra diverse fonti eterogenee (come mappe, geoportali, documenti tecnici e descrittivi, ecc.), gestite da vari enti [14]. I diversi settori tra loro interconnessi che riguardano i piccoli centri urbani come la conservazione del patrimonio architettonico, la pianificazione urbana, la gestione delle emergenze, lo sviluppo sostenibile e il turismo, vengono definiti a diversi livelli (internazionale, nazionale, regionale), da varie organizzazioni e normative, e comprendono numerosi aspetti (ambiente naturale e costruito, infrastrutture e spazi aperti, processi sociali, economici e culturali, patrimonio tangibile e intangibile) e affrontano diverse sfide (urbanizzazione, globalizzazione, turismo di massa, cambiamento climatico, ecc.). Tali processi necessitano di informazioni diverse come base di riferimento e possono essere ottimamente facilitati dalla digitalizzazione e da una rappresentazione efficace dei dati [15], che comprenda aspetti semantici, spaziali e temporali. Questo ha portato a riscontrare vantaggi e problematiche legati alla gestione dell'informazione dei borghi storici. In questo scenario, le ontologie dedicate possono essere strumenti utili per raccogliere, strutturare e integrare queste informazioni multi-scala e muti-livello provenienti da più fonti. Nonostante esista una continua attività di ricerca che si basa su diversi risultati ottenuti nel tempo per la definizione di un'ontologia semantica applicata al patrimonio storico, ad oggi non è ancora disponibile una rappresentazione unitaria e sistematica di tale patrimonio. In particolare, per quanto riguarda i borghi storici intesi come patrimonio culturale, non esiste un'ontologia specifica che permetta una gestione integrata dei dati eterogenei relativi a questi luoghi [16]. L'uso di CityGML per centri storici è ancora poco diffuso, sottolineando la necessità di ulteriori sviluppi metodologici e tecnologici per migliorare la qualità e l'efficacia di tali modelli [17].

Inoltre, la complessità della modellazione 3D del patrimonio storico, in particolare a livello urbano, mette in luce la carenza di linee guida chiare e condivise per stabilire il livello di dettaglio più appropriato da adottare. Questa mancanza diventa ancora più critica quando si considerano i dati di input disponibili, che possono variare in qualità e completezza, e gli obiettivi specifici di ciascun progetto dedicato alla gestione dei borghi storici. L'assenza di standard uniformi rende difficile definire con precisione quale grado di dettaglio sia necessario per garantire una rappresentazione accurata e funzionale. Di conseguenza, il processo di modellazione spesso richiede decisioni soggettive che influenzano la qualità e l'efficacia delle soluzioni sviluppate.

Si può comunque affermare che il GIS 3D applicato ai borghi storici offre il vantaggio di fornire una visione complessiva e dettagliata della realtà urbana, consentendo di analizzare e comprendere meglio la complessità spaziale e morfologica di questi contesti. Con il continuo sviluppo tecnologico dei software GIS, è possibile eseguire operazioni di inserimento, visualizzazione e interrogazione dei dati in modo efficiente, facilitando la gestione delle informazioni e migliorando le decisioni legate alla conservazione, pianificazione e valorizzazione dei borghi storici.

5. Conclusioni

Questo lavoro mira a fornire una metodologia strutturata per la raccolta e l'organizzazione gerarchica, offerta dallo standard CityGML, della conoscenza relativa del borgo storico, andando oltre le semplici informazioni geometriche 3D e integrando un sistema completo di dati. Tale approccio consente di creare un Sistema Informativo coerente e scientificamente valido, utile non solo per la documentazione, ma anche per la conservazione e valorizzazione del patrimonio stesso. L'evoluzione di un modello urbano 3D ne aumenta progressivamente il valore, favorendo l'adozione di questo paradigma e il riutilizzo dei dati nel corso del ciclo di vita. Un sistema 3D CityModel all'interno del GIS può fornire un ambiente sicuro, interoperabile e scalabile per gestire tutte le informazioni e risorse infrastrutturali, supportando una collaborazione efficiente tra le parti coinvolte nella gestione di piano urbano sostenibile del borgo storico.

Questo progetto getta le fondamenta per uno sviluppo futuro, arricchendo di nuove informazioni geo-spaziali il Sistema Informativo con l'individuazione degli ostacoli legati all'accessibilità, come le barriere architettoniche. Tale processo richiederà un livello di informazione più elevato su alcune componenti dell'assetto urbano, che saranno identificate e rilevate mediante adeguate tecniche di rilievo *ground-based*, al fine di garantire un maggiore approfondimento geometrico.

Riferimenti bibliografici

1. Kokla, M., Mostafavi, M. A., Noardo, F., & Spanò, A.: Towards building a semantic formalization of (small) historical centres. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 675-683 (2019).
2. Gorgoglione, L., Malinverni, E. S., Smaniotto Costa, C., Pierdicca, R., & Di Stefano, F.: Exploiting 2D/3D Geomatics Data for the Management, Promotion, and Valorization of Underground Built Heritage. *Smart Cities*, 6(1), 243-262 (2023).
3. Piccinini, F., Gorreja, A., Di Stefano, F., Pierdicca, R., Sanchez Aparicio, L. J., & Malinverni, E. S.: Preservation of Villages in Central Italy: Geomatic Techniques' Integration and GIS Strategies for the Post-Earthquake Assessment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), 291 (2022).
4. Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A.: Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889 (2015).
5. Dore, C., & Murphy, M.: Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for recording and managing cultural heritage sites. In 2012 18th International conference on virtual systems and multimedia (pp. 369-376). IEEE (2012).
6. Biljecki, F., Kumar, K., & Nagel, C.: CityGML Application Domain Extension (ADE): Overview of developments. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1), 13 (2018).
7. Kasprzyk, J. P., Nys, G. A., & Billen, R.: Towards a multi-database CityGML environment adapted to big geodata issues of urban digital twins. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 101-106 (2024).
8. CIDOC CRM. Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model. Chrissyoula Bekiari, George Bruseker, Martin Doerr, Christian-Emil Ore, Stephen Stead, Athanasios Velios.

- http://www.cidoccrm.org/sites/default/files/CIDOC%20CRM_v.7.1%20%5B8%20March%202021%5D.pdf, ultimo accesso 2024/10/16.
9. ICOMOS. 1987. "Charter for the Conservation of Historic Towns and Urban Areas - Washington Charter." ICOMOS. <https://www.icomos.org/en/what-we-do/focus/179-articlesenfrancais/ressources/charters-and-standards/159-charter-forthe-conservation-of-historic-towns-and-urban-areas>, ultimo accesso 2024/10/16.
 10. ICOMOS. 2011. "The Valletta Principles for the Safeguarding and Management of Historic Cities, Towns and Urban areas." http://www.international.icomos.org/Paris2011/GA2011_CIVVIH_text_EN_FR_final_20120110.pdf, ultimo accesso 2024/10/16
 11. UNESCO. 2011. Recommendation on the Historic Urban Landscape. Paris: UNESCO World Heritage Centre. <https://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity638-98.pdf>, ultimo accesso 2024/10/16.
 12. Malinverni, E. S., Mariano, F., Di Stefano, F., Petetta, L., & Onori, F.: Modelling in HBIM to document materials decay by a thematic mapping to manage the cultural heritage: the case of "Chiesa della Pietà" in Fermo. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 42, 777-784 (2019).
 13. Di Stefano, F., Gorreja, A., Malinverni, E. S., & Mariotti, C.: Knowledge modeling for heritage conservation process: From survey to HBIM implementation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 44, 19-26 (2020).
 14. Colucci, E., Kokla, M., & Noardo, F.: Ontology-based data mapping to support planning in historical urban centres. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives*, 43(B4-2021), 39-45 (2021).
 15. Fiorani, D.: Il futuro dei centri storici. Digitalizzazione e strategia conservativa, Quasar, Roma (2019).
 16. Trizio, L., Marra, A., Savini, F., & Ruggieri, A.: L'architettura vernacolare ei suoi linguaggi: Verso un'ontologia dei centri storici minori. *Connettere. Un Disegno per Annodare e Tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie*; Arena, A., Arena, M., Brandolino, RG, Colistra, D., Ginex, G., Mediati, D., Raffa, P., Eds, 1198-1215 (2021).
 17. Costamagna E, Spanò A.: CityGML for Architectural Heritage. In: *Developments in Multidimensional Spatial Data Models*. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 219–237 (2013).