

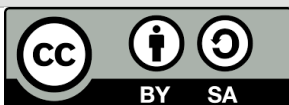
## L1.3 Standard dei dati 3D

### Note della lezione

#### **Autore(i)/Organizzazione(i):**

Ariana Kubart, Ocellus Information Systems AB

#### **Licenza**



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

#### **Versione**

Versione 1.0

Data: Aprile 2024

#### **Sintesi**

L'ultima lezione di questo blocco descrive i modelli urbani 3D a livello di dati. Introduce lo studente nel modello concettuale CityGML e descrive i suoi moduli e il modo in cui possono essere utilizzati in diversi aspetti della modellazione della città. Approfondisce alcune rappresentazioni, ad esempio geometriche, topologiche o temporali, perché la loro conoscenza è importante per comprendere il processo di integrazione BIM-GIS. Inoltre, la lezione fornisce informazioni sulle diverse codifiche CityGML e su altri formati 3D.

#### **Risultati di apprendimento**

Al termine di questa lezione, lo studente dovrà essere in grado di

- Indicare diversi modi in cui i dati 3D possono essere memorizzati, con particolare attenzione alle codifiche CityGML.
- Riassumere le parti principali del modello concettuale CityGML e come possono essere utilizzate.
- Comprendere gli aspetti di CityGML che sono importanti per la conversione da e verso il BIM.

### **Competenze attese per l'accesso alla lezione**

Conoscenze GIS intermedie

L1.1 Concetti di modellazione 3D

L1.2 Modelli di città semantica

### **Carico di lavoro previsto**

26 diapositive con contenuti didattici, circa 5 ore

### **Dichiarazione di non responsabilità**

*Finanziato dall'Unione europea. Le opinioni espresse appartengono, tuttavia, al solo o ai soli autori e non riflettono necessariamente le opinioni dell'Unione europea o dell'Agenzia esecutiva europea per l'istruzione e la cultura (EACEA). Né l'Unione europea né l'EACEA possono esserne ritenute responsabili*

## Contenuti

<b>Modelli Urbani 3D Semantici.....</b>	<b>4</b>
<b>Standard CityGLM.....</b>	<b>5</b>
<b>Modello concettuale CityGLM .....</b>	<b>6</b>
<b>Moduli di Classe in un Modello Concettuale.....</b>	<b>7</b>
<b>Moduli Specifici di Aspetto in CM .....</b>	<b>8</b>
<b>Informazioni semantiche nei modelli 3D .....</b>	<b>9</b>
<b>Schema di aggregazione.....</b>	<b>10</b>
<b>Modellazione semantica-geometrica coerente .....</b>	<b>11</b>
<b>Livelli di Dettaglio, LODs, nel CityGML .....</b>	<b>12</b>
<b>Livello di Dettaglio, LoD II .....</b>	<b>13</b>
<b>Versioni precedenti di CityGML, 1.0 e 2.0 .....</b>	<b>14</b>
<b>Rappresentazione della geometria .....</b>	<b>15</b>
<b>Rappresentazione della topologia nel CityGML 3.0 .....</b>	<b>16</b>
<b>Spazi fisici e logici .....</b>	<b>17</b>
<b>Esterni, interni e gerarchie.....</b>	<b>18</b>
<b>4D – dimensione temporale .....</b>	<b>20</b>
<b>Estensioni del dominio di applicazione, ADEs nel CityGML.....</b>	<b>21</b>
<b>Qualità dei dati .....</b>	<b>22</b>
<b>Codifiche di CityGML.....</b>	<b>23</b>
<b>Codifica XML .....</b>	<b>24</b>
<b>Codifica CityJSON I .....</b>	<b>25</b>
<b>Codifica CityJSON II .....</b>	<b>26</b>
<b>Codifica del database delle città 3D.....</b>	<b>27</b>
<b>Altri formati 3D .....</b>	<b>28</b>
<b>LandInfra.....</b>	<b>29</b>
<b>Edifici 3D Inspire .....</b>	<b>30</b>
<b>Riferimenti .....</b>	<b>31</b>

## Standard dei dati 3D

### Modelli Urbani 3D Semantici

- Forniscono informazioni geografiche, topografiche e semantiche sugli oggetti
- Interazioni tra gli oggetti
- Scomposizione gerarchica in parti più piccole (ad es. edificio-parete-finestra)
- Può essere complesso e coprire grandi aree



È possibile aggiungere molte informazioni semantiche a un modello 3D.  
Modello 3D di Nancy, Francia, Google Earth

4



### Modelli Urbani 3D Semantici

I modelli urbani semantici forniscono informazioni geografiche, topografiche e semantiche sugli oggetti presenti nelle aree urbane (cfr. lezione 1.2). Gli oggetti semantici possono essere rappresentati spazialmente da geometrie multiple e in diversi livelli di dettaglio (LOD). Inoltre, gli oggetti possono essere scomposti in parti più piccole a diversi livelli e questa scomposizione è gerarchica (ad esempio, edificio-parete-finestra).

I modelli 3D pronti all'uso devono essere memorizzati da qualche parte e accessibili agli utenti finali. Allo stesso tempo, i modelli semantici possono essere molto complessi e coprire vaste aree.

Ciò significa che un geodatabase per un modello 3D deve essere in grado di gestire sia la gerarchia semantica che quella geometrica, per gestire il grande insieme di dati e consentire l'accesso, l'aggiornamento e l'interrogazione dei dati.

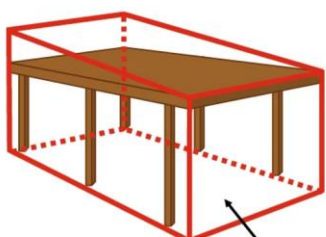
Standard dei dati 3D


 Cofinanziato dall'Unione europea

**Standard CityGML**

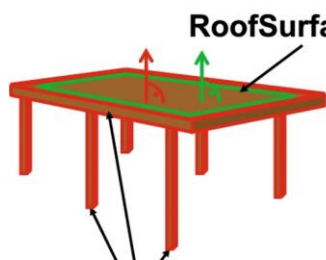
- CityGML è un modello di dati aperto dell'Open Geospatial Consortium (OGC)
- Obiettivo: rappresentare modelli 3D semantici
- La versione corrente è la 3.0, approvata nel 2021

**Carport in LOD1**



**OccupiedSpace**

**Carport in LOD2/3**



**RoofSurface**

**OccupiedSpace**

Rappresentazione di una tettoia come OccupiedSpace in diversi LOD. Da: [CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications](#)

5

## Standard CityGLM

Come viene codificato tutto questo nel computer?

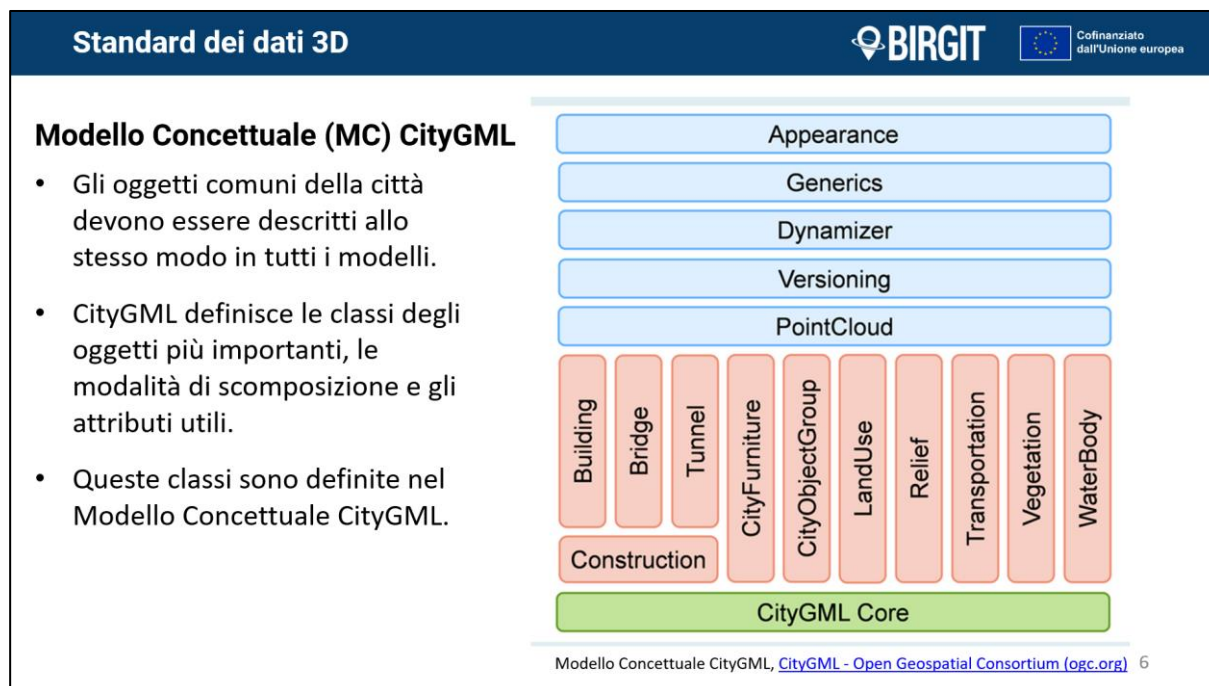
Esiste un modello di dati aperto standardizzato dall'Open Geospatial Consortium (OGC), volto a rappresentare i modelli urbani 3D semantici. Lo standard si chiama CityGML e la versione attuale è la 3.0, approvata nel 2021.

La definizione dell'OGC suona: "Il CityGML è un modello informativo semantico comune per la rappresentazione di oggetti urbani 3D che può essere condiviso da diverse applicazioni".

Come funziona? Lo vedremo più da vicino in questa lezione.

[CityGML - Open Geospatial Consortium \(ogc.org\)](https://ogc.org/)

[CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications | PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science \(springer.com\)](#)



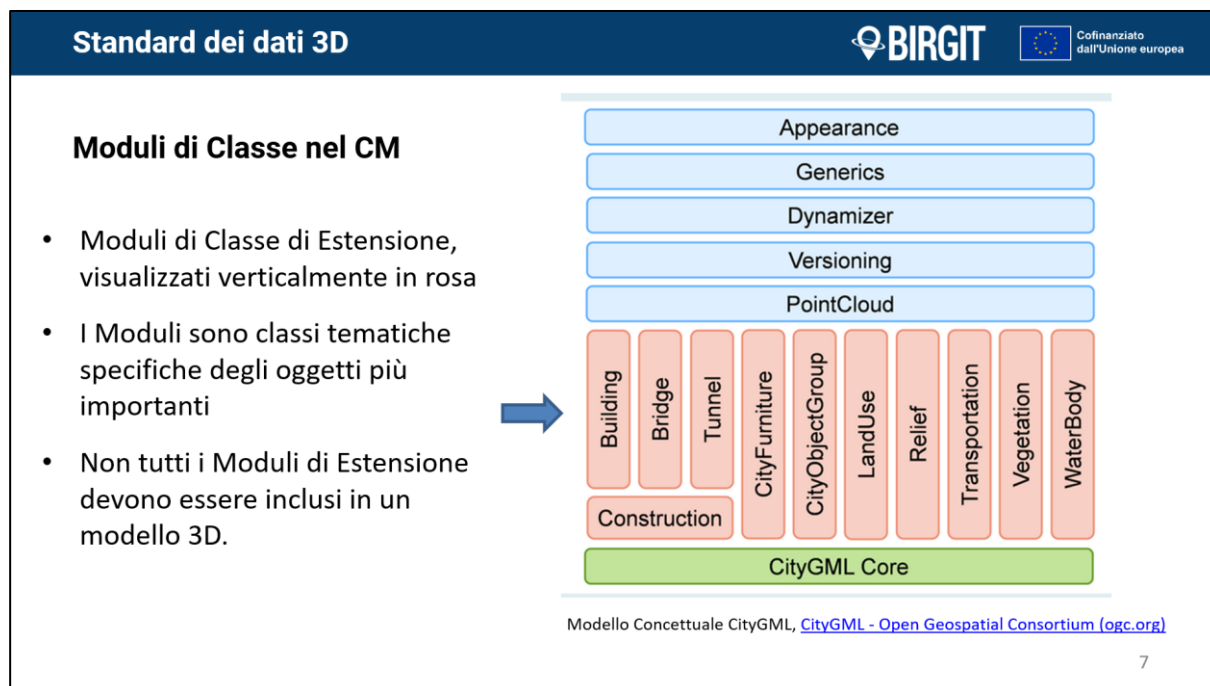
## Modello concettuale CityGLM

Molti oggetti, come edifici, strade o ponti, sono comuni a tutte le città. Pertanto, dovrebbero essere descritti allo stesso modo in tutti i modelli. Altrimenti, ad esempio, gli "edifici" potrebbero essere chiamati "case" in un'altra città e non ci sarebbe interoperabilità.

Per questo motivo CityGML definisce le proprie classi di oggetti più importanti, le modalità di scomposizione e spesso alcuni attributi utili da includere. Queste classi sono definite nel Modello Concettuale di CityGML (MC).

Il Modello concettuale è visualizzato nella figura della diapositiva.

La parte fondamentale del Modello Concettuale è il modulo Core, indicato in basso in verde. Il modulo Core comprende i concetti e i componenti di base di una città virtuale. Pertanto, deve sempre essere implementato in qualsiasi modello di città 3D.



## Moduli di Classe in un Modello Concettuale

Ogni modulo di estensione copre una classe tematica specifica per gli oggetti più importanti della città virtuale 3D. Questi includono costruzioni, rilievi, ad esempio sotto forma di DTM (modello digitale del terreno), corpi idrici e così via, come mostrato nella figura.

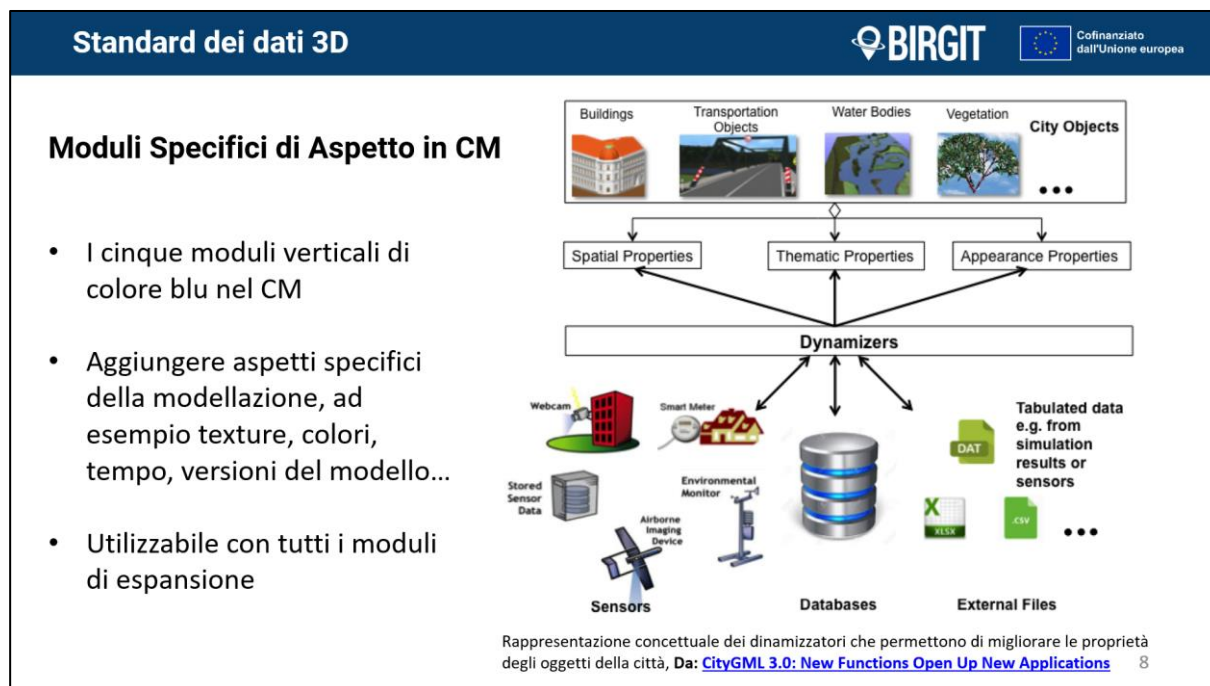
I tre moduli *Building* (Edificio), *Bridge* (Ponte), and *Tunnel* (Galleria) modellano le strutture civili e condividono concetti comuni. Per questo motivo sono raggruppati nel modulo *Construction* (Costruzioni).

Il modulo *Transportation* (Trasporti) definisce le classi per la rappresentazione dell'infrastruttura stradale. Consente di utilizzare CityGML per le simulazioni di traffico e di guida, per i sistemi di assistenza alla guida, per la guida autonoma e per i sistemi di gestione delle infrastrutture stradali e ferroviarie.

Non è necessario che un modello urbano supporti tutte le classi (=moduli di estensione). Può utilizzarne solo un sottoinsieme in base alle esigenze specifiche del modello.

Ad esempio, se un'applicazione lavora esclusivamente con i dati degli edifici, è sufficiente che siano presenti solo i moduli *Core*, *Construction* e *Building*.





## Moduli Specifici di Aspetto in CM

I cinque moduli colorati in blu aggiungono aspetti di modellazione specifici. Questi possono essere utilizzati insieme a tutti i moduli di estensione.

Il modulo *Appearance* rappresenta, ad esempio, le texture e i colori degli oggetti della città.

Il modulo *PointCloud* fornisce concetti per rappresentare la geometria degli oggetti tramite nuvole di punti 3D.

Il modulo *Generics* definisce oggetti generici, attributi e relazioni. Gli oggetti generici rappresentano oggetti 3D che non sono coperti dalle classi modellate esplicitamente. Allo stesso modo, gli attributi generici e le relazioni sono quelli aggiuntivi.

Il modulo *Versioning* aggiunge concetti per la rappresentazione di versioni concorrenti degli oggetti.

Il modulo *Dynamizer* permette di rappresentare le proprietà degli oggetti tramite dati di serie temporali e di collegarli a sensori o a file esterni.



## Standard dei dati 3D

### Informazioni semantiche nei modelli 3D

- Tutti gli oggetti appartengono a una classe o possono essere definiti come oggetti "generici".
- L'oggetto può essere rappresentato dalla semantica (= proprietà non spaziali), dalla geometria 3D, dalla topologia 3D, dalle apparenze e dai cambiamenti nel tempo.
- *featureID* univoco e obbligatorio per ogni oggetto



TU Delft esempio di cinque tipi di tetti: piatto, a capanna, a falde, piramidale e a shed.

[GitHub - tudelft3d/3dbook](https://github.com/tudelft3d/3dbook): Book for the course GEO1004: 3D modelling of the built environment

9

### Informazioni semantiche nei modelli 3D

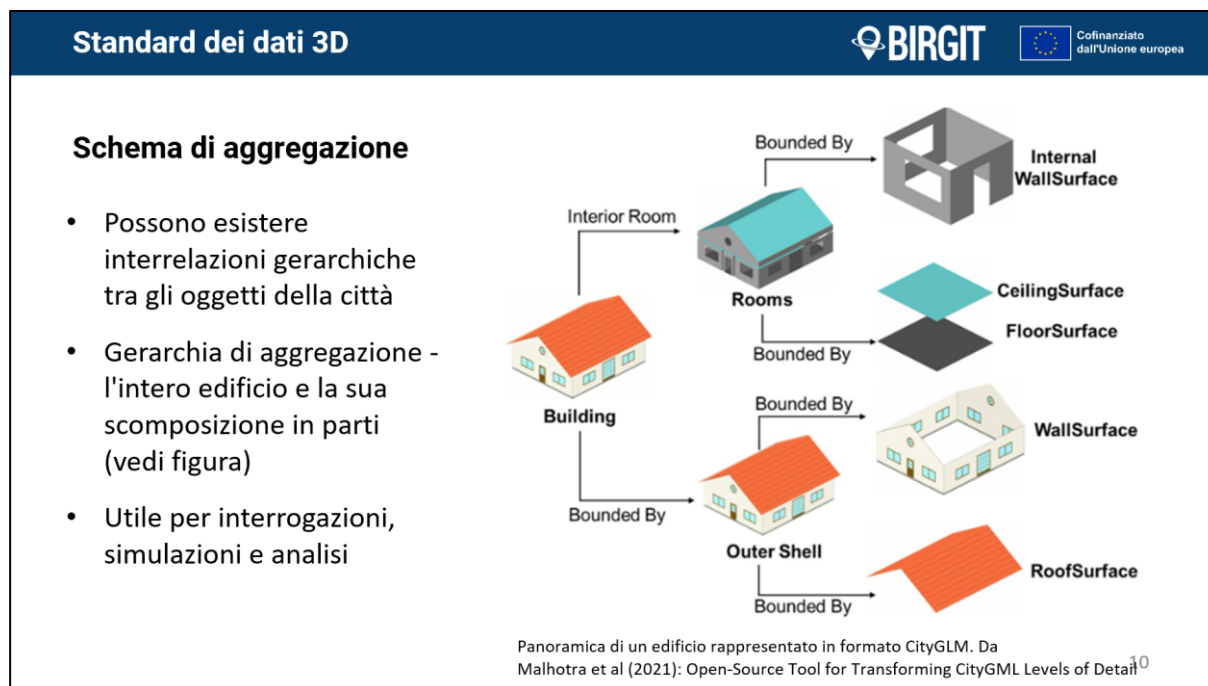
In CityGML, tutti gli oggetti urbani sono modellati dalle classi, come abbiamo visto in precedenza. Questi oggetti, quindi, "sanno" cosa sono e dove sono.

Combinando i diversi moduli di CityGML, ogni oggetto può essere rappresentato attraverso la sua semantica (= proprietà non spaziali), la geometria 3D, la topologia 3D, le apparenze (ad esempio, le caratteristiche della superficie) e i suoi cambiamenti nel tempo.

Ogni oggetto ha una *featureID* unica e obbligatoria. Può anche avere un identificatore opzionale. L'identificatore è identico per tutte le versioni dello stesso oggetto, come una finestra o una tabella. Questo facilita le interrogazioni tematiche, le attività di analisi e l'estrazione di dati spaziali, ben oltre la visualizzazione.

Gli attributi per la classificazione degli oggetti sono spesso limitati a un insieme di valori discreti. Ad esempio, esiste solo un numero limitato di tipi di tetto. Questi sono specificati come elenchi di codici esterni. Tuttavia, l'utente può ridefinire questi elenchi di codici esterni.

Inoltre, gli oggetti che non sono esplicitamente coperti dalle classi del modello concettuale possono essere rappresentati come oggetti generici e attributi generici.



## Schema di aggregazione

I modelli urbani devono riflettere la complessità degli oggetti della città e delle loro interrelazioni.

In CityGML gli oggetti possono essere correlati tra loro da diversi tipi di relazioni, che di solito sono gerarchiche.

Gli oggetti complessi, come gli edifici o gli oggetti di trasporto, sono tipicamente costituiti da parti. Queste parti sono singole entità a sé stanti e possono essere ulteriormente scomposte. Abbiamo già menzionato in L1.2 un esempio di gerarchia edificio - parte dell'edificio - superficie del tetto, superficie del muro e installazione dell'edificio - porta, finestra come sottocategoria della superficie del muro. Si tratta di gerarchie di aggregazione di componenti che, in altre parole, definiscono le relazioni parte-insieme tra le caratteristiche.

Non è solo un oggetto che può essere scomposto. Anche un'intera area urbana può essere semanticamente scomposta, ad esempio, in uso del suolo, copertura vegetale, edifici.

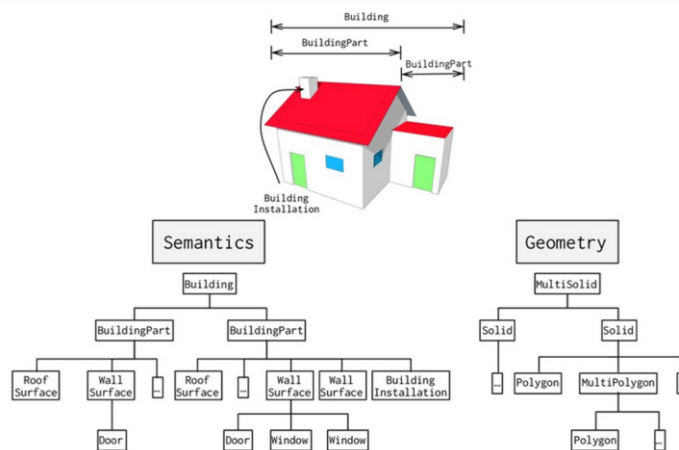
Questa struttura gerarchica è necessaria per le interrogazioni, le simulazioni e le analisi.

## Standard dei dati 3D

### Modellazione semantica-geometrica coerente

- Edificio e sue parti = gerarchia di aggregazione semantica
- Esiste anche una gerarchia geometrica - posizione, forma, estensione...
- È fondamentale che la semantica e la geometria degli oggetti corrispondenti siano collegate tra loro.

### Spatio-semantic coherence



Da Ledoux (2018): CityGML and its two encodings CityGML and CityJSON

11

## Modellazione semantica-geometrica coerente



Di conseguenza, gli oggetti urbani sono rappresentati da caratteristiche, come edifici o finestre. Possono anche includere attributi, relazioni e gerarchie tra le caratteristiche. Tutto ciò costituisce l'informazione semantica.

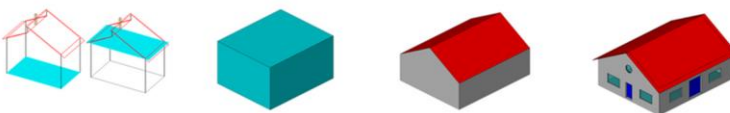
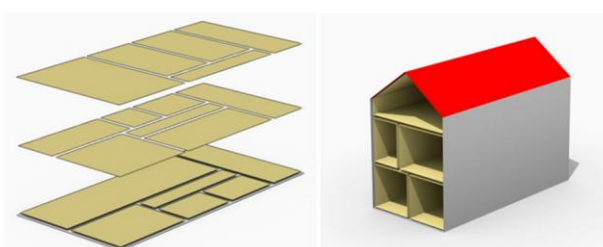
Tuttavia, agli oggetti vengono assegnate anche la posizione, la forma e l'estensione, cioè la loro geometria.

Il modello è quindi costituito da due gerarchie: quella semantica e quella geometrica, come mostrato in figura. Gli oggetti corrispondenti (e le loro parti) sono collegati da relazioni. È fondamentale che questi collegamenti corrispondano e che si adattino tra loro.

È possibile navigare in entrambe le gerarchie e tra di esse in modo arbitrario, per rispondere a interrogazioni tematiche e geometriche o per eseguire analisi.

Standard dei dati 3D


 Cofinanziato dall'Unione europea

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3
<b>Livello di Dettaglio, LoD I</b>  LOD0 – Modello altamente generalizzato  LOD1 – Modello a blocchi / oggetti di estrusione  LOD2 – Modello realistico, ma ancora generalizzato  LOD3 – Modello altamente dettagliato	 <p>Rappresentazione dello stesso edificio reale nei livelli di dettaglio 0-3</p>			
	 <p>Rappresentazione della planimetria in LoD0 (sinistra) e in LoD2 (destra). Da: <a href="https://www.gim-international.com/content/news/citygml-3-0-conceptual-model-approved-as-official-ogc-standard">https://www.gim-international.com/content/news/citygml-3-0-conceptual-model-approved-as-official-ogc-standard</a></p>			

12

## Livelli di Dettaglio, LODs, nel CityGML

Ogni oggetto può avere diverse rappresentazioni spaziali contemporaneamente. È fornito da quattro livelli di dettaglio predefiniti (LOD 0-3).

In breve, il livello di dettaglio è la quantità di informazioni del modello che rappresenta il mondo reale.

I LOD sono:

LOD0 - Modello altamente generalizzato;



LOD1 - Modello a blocchi / oggetti ad estrusione;

LOD2 - Modello realistico, ma ancora generalizzato;

LOD3 - Modello altamente dettagliato.


Ad esempio, un edificio può essere rappresentato da una traccia in pianta o da un profilo del tetto (LOD0), da un solido 3D con tetto piatto (LOD1) fino alla visualizzazione dettagliata in LOD3.

**Standard dei dati 3D**



 Cofinanziato dall'Unione europea

### Livello di Dettaglio, LoD II

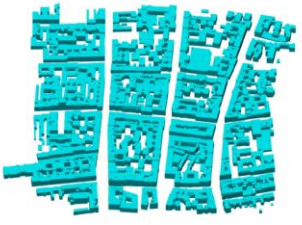
- I LoD sono applicabili sia agli interni che agli esterni.
- Singoli edifici o interi quartieri
- Possibilità di combinare diversi LOD nello stesso modello




(a)



(b)



(c)



(d)

Rappresentazione visiva di diversi blocchi abitativi a Vienna (a) immagine sottostante da Google Maps, (b) rappresentazione del modello aperto LoD2 CityGML, (c) modello LoD1 trasformato da LoD2, (d) modelli LoD0 CityGML. Da Malhotra et al (2021)

13

## Livello di Dettaglio, LoD II

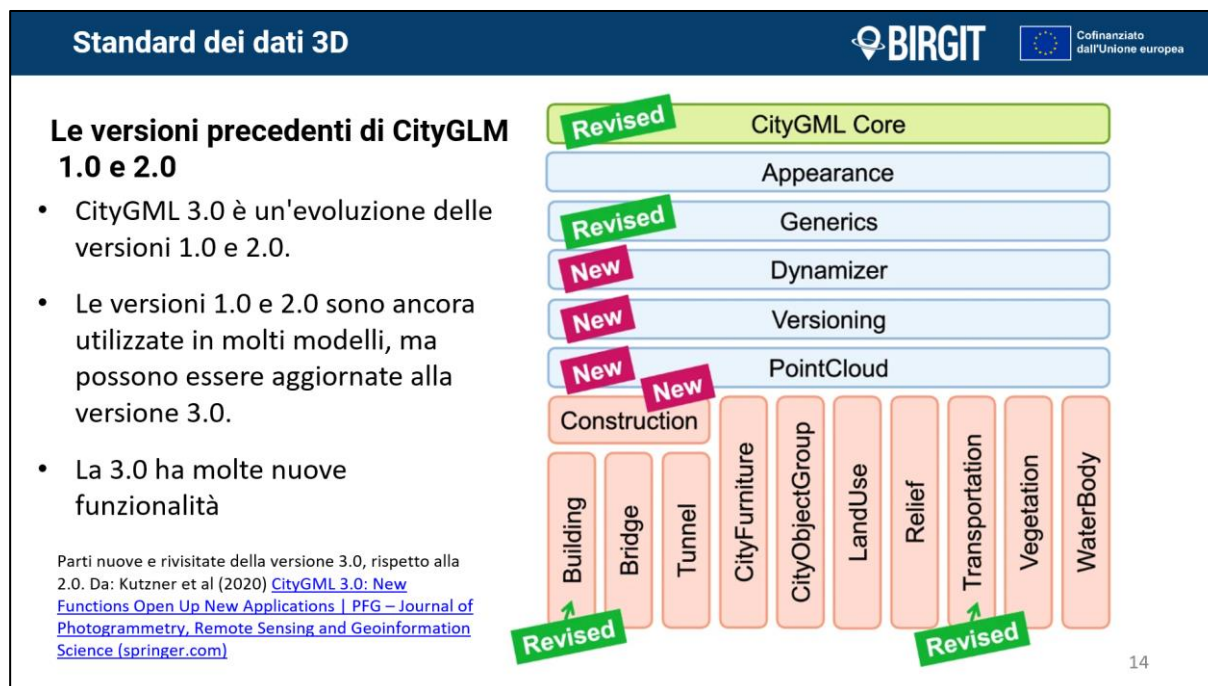
I modelli LoD1 sono facili da ricostruire: la pianta di un edificio può essere estrusa fino alla sua altezza. Questa altezza può essere, ad esempio, la media di tutti i punti LIDAR all'interno della pianta.

LoD2 include la forma generalizzata del tetto. Per questo motivo, i modelli LoD2 sono utili per stimare il potenziale fotovoltaico. Di solito sono ottenuti con tecniche fotogrammetriche e derivati automaticamente.

LoD3 è un modello dettagliato contenente aperture (finestre e porte), camini e altri dettagli della facciata. I modelli a LoD3 sono solitamente ottenuti con una conversione da modelli BIM o da scansioni laser terrestri. La presenza di finestre e altri dettagli li rende utili in applicazioni come le simulazioni energetiche.

Questi LOD sono applicabili sia agli interni che agli esterni e possono essere combinati. I piani degli edifici sono rappresentazioni LOD0 degli interni degli edifici.

È possibile combinare diversi LOD nello stesso modello 3D. Ad esempio, l'involucro esterno di un edificio può essere rappresentato in LOD2 e gli elementi interni, come stanze o scale, in LOD1. È anche possibile modellare l'involucro esterno di un edificio in LOD1 e rappresentare la struttura interna in LOD2 o LoD3.



## Versioni precedenti di CityGML, 1.0 e 2.0

CityGML 3.0 è un'evoluzione delle precedenti versioni 1.0 e 2.0.

Presenta molte nuove funzionalità. Tra queste, una migliore integrazione con il BIM, la possibilità di rappresentare gli spazi interni in diversi livelli di dettaglio (LOD), il supporto per i dati dinamici dei sensori e la capacità di estendere il modello informativo in Estensioni del Dominio Applicativo (ADE) (come vedremo in seguito).

Poiché esistono molti modelli creati con CityGML 1.0 e 2.0, queste specifiche non saranno deprecate. Tuttavia, i dati CityGML esistenti possono essere aggiornati a CityGML 3.0 per poter sfruttare le nuove possibilità.



Standard dei dati 3D


 Cofinanziato dall'Unione europea

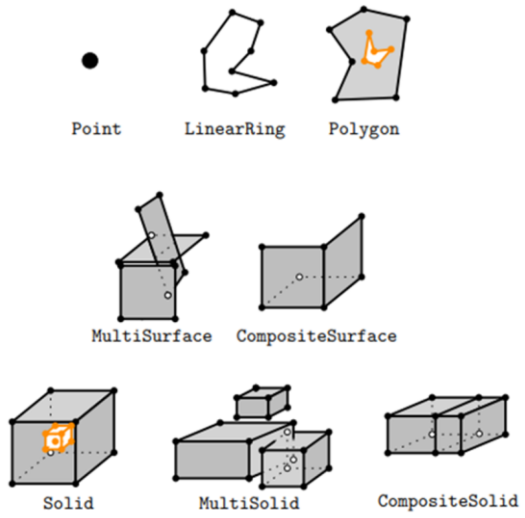
### Rappresentazione della geometria

Le proprietà spaziali di tutti gli oggetti CityGML sono rappresentate da classi geometriche definite in ISO 19107

Queste includono :

- geometrie primitive - punti, curve, superfici e solidi
- diversi tipi di geometrie aggregate

Tutte le geometrie salvate nel modulo Core



Alcune delle primitive di CityGML, tra cui gli aggregati e i composti. Da Ohori et al (2020-2022) [Releases · tudelft3d/3dbook \(github.com\)](https://github.com/tudelft3d/3dbook) 15

## Rappresentazione della geometria

Le proprietà spaziali di tutti gli oggetti CityGML sono rappresentate utilizzando le classi geometriche definite nella norma ISO 19107. Queste includono geometrie primitive, cioè singoli punti, curve, superfici e solidi.

Inoltre, esistono diversi tipi di geometrie aggregate: aggregati spaziali (*MultiPoint*, *MultiCurve*, *MultiSurface*, *MultiSolid*) e composti (*CompositeCurve*, *CompositeSurface*, *CompositeSolid*).

Gli oggetti sono definiti da attributi che definiscono i loro sotto-elementi. Questi sotto-elementi vengono poi combinati per formare l'oggetto completo. Sembra complicato, quindi lo illustriamo con una figura



[GitHub - tudelft3d/3dbook: Book for the course GEO1004: 3D modelling of the built environment](https://github.com/tudelft3d/3dbook)

La geometria di questo edificio è composta dalla geometria della casa (*CompositeSolid*) e dal garage/annesso a destra (*Solid*). La geometria della casa è ulteriormente scomposta nella geometria del tetto (*Solid*) e nella geometria del corpo della casa (*Solid*).

In CityGML 3.0 tutte le rappresentazioni geometriche sono definite solo nel modulo Core.



## Standard dei dati 3D

### Rappresentazione della topologia



Schema CityGML che mostra la relazione tra la finestra e la stanza e l'edificio.  
Da: Salheb (2019) Automatic Conversion of CityGML to IFC

- La topologia segue la scomposizione completa, in modo simile alla geometria.
- Relazioni tra gli elementi ben definite in CityGLM 3.0
- Spazi - oggetti del mondo reale
- Confini dello spazio - delimitano e collegano gli spazi (ad es. superficie del muro, superficie stradale...)

16

### Rappresentazione della topologia nel CityGML 3.0

Il modello topologico di CityGML3.0 segue la scomposizione completa delle topologie n-dimensionali fino al livello dei nodi, analogamente alla scomposizione geometrica.

Lo schema delle relazioni tra gli elementi è ben definito. Ad esempio, la relazione tra una finestra e una stanza è definita nello schema mostrato in figura.

CityGML 3.0 mappa anche tutti gli oggetti urbani su due concetti semantici: questi due sono "spazio" e "confine dello spazio".

Uno *Spazio* è un oggetto del mondo reale con estensione volumetrica, come edifici, corpi idrici, alberi, stanze e spazi di circolazione.

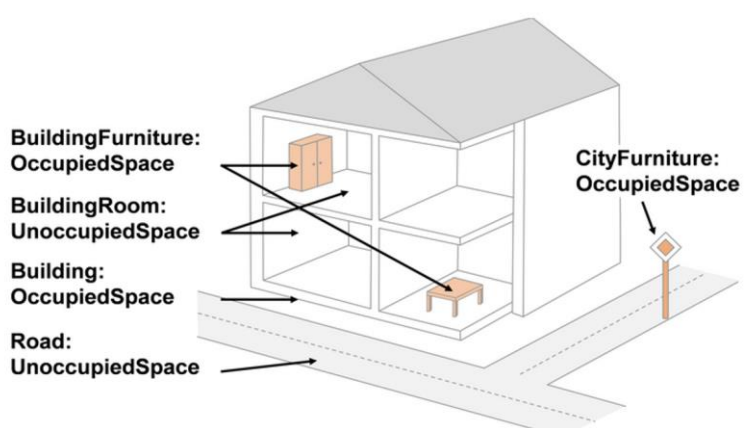
I *Confini dello spazio* delimitano e collegano gli *Spazi*. Esempi sono le superfici dei muri e dei tetti che delimitano un edificio, la superficie dell'acqua come confine tra il corpo idrico e l'aria, la superficie stradale o il modello digitale del terreno.

Questo è importante quando si converte CityGML in IFC (il formato BIM aperto).

**Standard dei dati 3D**

**Spazi fisici e logici**

- Gli spazi fisici sono delimitati da oggetti fisici, ad esempio edifici, alberi...
- Occupati o non occupati (vedi figura)
- Spazi logici - tematici, ad esempio quartiere cittadino, unità immobiliare



BuildingFurniture: OccupiedSpace  
BuildingRoom: UnoccupiedSpace  
Building: OccupiedSpace  
Road: UnoccupiedSpace  
CityFurniture: OccupiedSpace

Spazi occupati e non occupati. Da: Kutzner et al (2020) CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications

17

## Spazi fisici e logici

Gli spazi sono ulteriormente suddivisi in spazi fisici e spazi logici.



Gli spazi fisici sono delimitati completamente o parzialmente da oggetti fisici. Gli edifici e le stanze sono spazi fisici in quanto delimitati da muri e soffitti. Gli spazi di circolazione delle strade sono spazi fisici in quanto delimitati dalle superfici stradali contro il terreno.

Gli spazi logici, invece, sono definiti in base a considerazioni tematiche, come l'unità edilizia, i distretti cittadini e le zone di sicurezza negli aeroporti.

Gli spazi fisici sono ulteriormente classificati in spazi occupati e spazi non occupati.

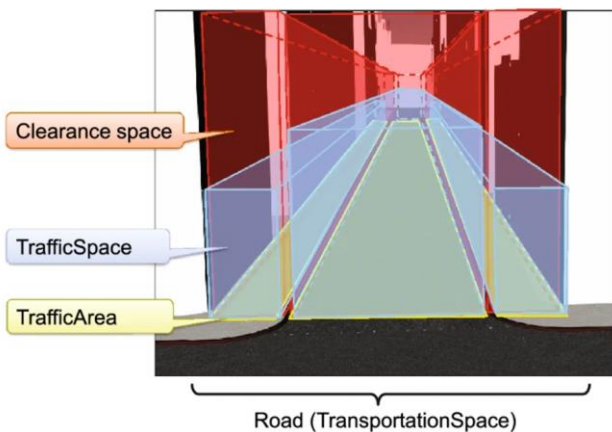
Gli spazi occupati rappresentano oggetti fisici volumetrici, ad esempio edifici, ponti, alberi, arredi urbani e corpi idrici. Gli spazi non occupati sono le stanze degli edifici e gli spazi per il traffico. Si veda la Figura.

**Standard dei dati 3D**

  Cofinanziato  
dall'Unione europea

### Esterni, interni e gerarchie

- Ogni edificio può avere esterni, interni e sotterranei
- Classificazione e scomposizione automatica possibile solo per le parti esterne (visibili), non per quelle interne
- Le applicazioni richiedono informazioni più dettagliate
- Possibilità di classificazione semiautomatica per unità più piccole



Clearance space

TrafficSpace

TrafficArea

Road (TransportationSpace)

Scomposizione dello spazio di trasporto; è difficile ottenerla in modo completamente automatizzato. Da: Kutzner et al (2020) CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications

18

## Esterni, interni e gerarchie

Sia l'esterno che l'interno di un edificio possono essere descritti tramite CityGML.

Inoltre, l'interno di un edificio può avere diverse stanze (BuildingRoom), diversi piani o unità (BuildingStorey e BuildingUnit), ma anche installazioni (ad esempio camini, antenne, balconi, ecc.).

È possibile modellare anche il sottosuolo, come le cavità e gli strati geologici, utilizzando il concetto di spazi e confini spaziali.

Uno dei problemi principali per l'applicazione è come aggiungere le gerarchie degli oggetti, cioè come scomporli nelle parti di base e come gestire gli interni. Poiché le nuvole di punti registrano parti osservabili, le scomposizioni degli oggetti sono possibili solo per le superfici visibili. Ad esempio, gli edifici possono essere scomposti in pareti, tetto e superfici del terreno in modo più o meno automatico. È anche relativamente facile classificare gli altri oggetti urbani, come la vegetazione o i corpi idrici. Questi possono essere convertiti in classi GML.

Tuttavia, diverse applicazioni, come i gemelli digitali utilizzati per simulazioni e analisi, richiedono una conoscenza semantica più dettagliata. Nel migliore dei casi, si dovrebbe trattare di modelli urbani 3D semantici completi, contenenti informazioni semantiche e spaziali gerarchicamente strutturate. Purtroppo, è ancora una sfida fondamentale ottenerli attraverso l'elaborazione automatica delle immagini.

Una soluzione per aree più piccole o singoli edifici è quella di definire le gerarchie (semi)manualmente.

## Standard dei dati 3D

### Coordinate e quota

Tutte le geometrie in CityGML devono :

- utilizzare valori di coordinate 3D
- essere assolutamente georeferenziate

Possono includere modelli di terreno

2.5D - una sola coordinata Z per tutti gli edifici



Schermata di ArcGIS Pro che utilizza i dati di formazione di Esri.

19

### Coordinate e quota

Tutte le geometrie in CityGML devono utilizzare valori di coordinate 3D. Ogni punto 3D è assolutamente georeferenziato. Ciò significa che tutte le coordinate appartengono a un sistema di riferimento di coordinate (CRS) e non sono consentite trasformazioni locali.

Ciò è in contrasto con il BIM, dove l'uso di coordinate locali è comune.

CityGML può includere la rappresentazione di modelli digitali del terreno (DTM), ad esempio come nuvole di punti su dati raster o TIN. Il concetto di LOD permette anche di combinare diverse varianti di terreno in diverse risoluzioni. Può trattarsi, ad esempio, di un TIN a risoluzione fine incorporata in un DTM grigliato di una grande area.

A volte si incontra il termine dati 2,5D. In questo caso, c'è la stessa Z per ogni posizione (X,Y). Questi modelli 2.5D consentono di contenere i costi rispetto ai modelli 3D, ma sono ancora più utili per le analisi spaziali rispetto ai dati 2D.

**Standard dei dati 3D**
 **BIRGIT**
 Cofinanziato dall'Unione europea

### 4D – Dimensione temporale

- Importante in Città intelligenti, Gemelli digitali
- Modulo di versioning - modifiche lente
- Modulo Dynamizer - modifiche rapide, ad es. dati dei sensori

```

<cityObjectMember>
  <Building gml:id="B1020_t1">
    <identifier>B1020</identifier>
    <consistsOfBuildingPart>
      <BuildingPart xlink:href="//identifier(text()='BP12' )"/>
    </consistsOfBuildingPart>
    <creationDate>2012-08-02</creationDate>
    <terminationDate>2013-10-10</terminationDate>
    <function>Office</function>
  </Building>
</cityObjectMember>
<cityObjectMember>
  <Building gml:id="B1020_t2">
    <identifier>B1020</identifier>
    <consistsOfBuildingPart>
      <BuildingPart xlink:href="//identifier(text()='BP12' )"/>
    </consistsOfBuildingPart>
    <creationDate>2013-10-10</creationDate>
    <function>Living</function>
  </Building>
</cityObjectMember>

```

Esempio di versioni che rappresentano le modifiche di un edificio (in alto)  
Rappresentazione di diverse versioni di oggetti cittadini all'interno di un dataset CityGML codificato in GML (a sinistra)  
Da : Kutzner et al (2020) CityGML 3.0: New Functions Open Up New Applications

20

## 4D – dimensione temporale

La dimensione temporale è sempre più importante in applicazioni come le città intelligenti (smart city) e i gemelli digitali (digital twins).

Le proprietà dipendenti dal tempo sono gestite dal modulo Versioning e dal modulo Dynamizer, due dei moduli specifici blu del modello concettuale (Fig. XX).



Il modulo Versioning gestisce i cambiamenti qualitativi di natura più lenta.

Tutte le caratteristiche possono avere gli attributi data di creazione e data di cessazione, nonché *validFrom* e *validTo*. Questi rappresentano una versione specifica di un oggetto in un determinato momento. In questo modo, il dataset CityGML può essere interrogato per conoscere l'aspetto del modello urbano in un determinato momento.

Il modulo Dynamizer gestisce i cambiamenti quantitativi con variazioni frequenti o dinamiche delle proprietà degli oggetti. Queste possono essere osservazioni di sensori in tempo reale, dati provenienti da dispositivi IoT o da simulazioni. Esempi sono la densità del traffico, l'inquinamento atmosferico, il consumo di elettricità, l'irradiazione solare o la posizione di oggetti in movimento.

In questo caso, solo alcune delle proprietà di oggetti altrimenti statici devono avere valori variabili nel tempo.

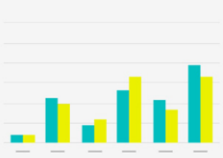
Standard dei dati 3D


 Cofinanziato dall'Unione europea

### Estensioni del dominio di applicazione, ADE

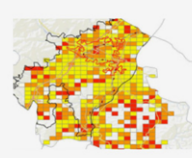
Data added using the CityGML ADE feature

LOD (-2)  
Graphs and charts




- National level, city level
- Indexing and projecting
- National government Income and expenditures/economic activity

LOD (-1)  
Heat maps



- Subregions/grids/administrative divisions
- Aggregate values for indices/areas
- Population/aging rates/road-to-area ratios, etc.
- Comparisons between cities/city analysis
- GIS/-Urban Revitalization/e-Stat

LOD 0  
Basic city planning maps



- Buildings/land (flat)
- Topographic models (height data)
- Building use/structure/area
- City plan studies/analysis
- GIS data

- Le ADE facilitano l'aggiunta di nuove classi, attributi o relazioni.
- Ad esempio, l'ADE Energia
- Utility network ADE

[3d-urban-models-04en.png \(1200x650\) \(murata.com\)](#)
21

## Estensioni del dominio di applicazione, ADEs nel CityGML

Il modello dati principale di CityGML 3.0 può essere esteso dalle ADE, Application Domain Extensions (Estensioni del Dominio di Applicazione).

Le ADE facilitano l'estensione sistematica del modello concettuale CityGML con nuove classi, attributi e relazioni per domini applicativi specifici.

In altre parole, le ADE vengono utilizzate quando i professionisti vogliono modellare caratteristiche aggiuntive e quando i GenericCityObjects e gli attributi generici non sono sufficientemente sistematici per lo scopo.

Sono state sviluppate molte ADE per diverse applicazioni; ad esempio, l'ADE Energy per supportare le analisi energetiche degli edifici o l'ADE Utility Network per la rappresentazione e l'analisi di multiple reti.

Con CityGML 3.0, le ADE diventano modelli indipendenti dalla piattaforma a livello concettuale. In quanto tali, possono essere liberamente combinati con le classi di modelli concettuali originali.

Una discussione completa delle ADE CityGML esistenti è fornita da Biljecki et al. (2018) CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments, Open Geospatial Data, Software and Standards, DOI: [10.1186/s40965-018-0055-6](https://doi.org/10.1186/s40965-018-0055-6).



Standard dei dati 3D


 Cofinanziato dall'Unione europea

### Qualità dei dati

I modelli urbani sono complessi insiemi di dati di grandi dimensioni

La qualità dei dati è un aspetto cruciale

- Precisione
- Completezza
- Usabilità
- Coerenza
- Unicità



Modello 3D semantico di Zagabria, Croazia. Schermata di ArcGIS Pro.

22

## Qualità dei dati

I modelli urbani sono molto complessi, con enormi set di dati e molte informazioni provenienti da più fonti. La qualità dei dati è quindi un aspetto cruciale da considerare. Da dati scadenti derivano decisioni sbagliate.

La qualità dei dati ha molteplici dimensioni. Queste dimensioni possono avere pesi uguali o diversi, ma tutte dovrebbero essere prese in considerazione.

Nel caso dei dati spaziali, le principali dimensioni della qualità sono l'accuratezza e la completezza.

**Accuratezza posizionale:** Le coordinate geografiche di un elemento corrispondono alle coordinate dell'oggetto nel mondo reale? Naturalmente all'interno dello stesso sistema di riferimento.

**Accuratezza tematica:** I dati rappresentano correttamente le classificazioni associate a luoghi o oggetti? Ad esempio, un fiume nel modello è davvero un fiume nella realtà?

**Accuratezza temporale:** I dati sono aggiornati e rappresentano la realtà per un determinato periodo di tempo?

**Accuratezza topologica:** Le relazioni spaziali tra gli elementi riflettono correttamente la loro posizione nel mondo reale?



Completezza: Tutti i punti dati disponibili sono presenti nel database; ci sono molti valori mancanti per qualsiasi dato richiesto?



Possiamo aggiungere anche altre dimensioni come:

Usabilità: I dati sono in linea con le esigenze dell'utente finale? Il livello di dettaglio è adeguato allo scopo?

Coerenza: I dati sono sincronizzati in tutte le fonti di dati? Ci sono valori non possibili?

Unicità: ci sono duplicati nei dati? Tutti utilizzano lo stesso dataset?

**Standard dei dati 3D**

### Codifiche di CityGML




GML – Geography Markup Language

CityGML è un nome sia per:  
codifica GML basata su XML  
modello concettuale di dati

Rilasciato da Open Geospatial  
Consortium (OGC)

CityGML 3 permette di codificare i  
dati in XML, in JSON o in schemi di  
database

Three encodings:

- XML-based → 
- JSON-based → 
- SQL-based → 

23

## Codifiche di CityGML

Innanzitutto, dovremmo notare che CityGML è il nome sia per la codifica GML che per il modello di dati.

GML sta per [Geography Markup Language version 3.1.1 \(GML3\)](#). È lo standard internazionale estensibile per lo scambio di dati spaziali pubblicato dall'Open Geospatial Consortium (OGC) e dall'ISO TC211, che consente un accesso facile e gratuito a tutta la comunità internazionale.

CityGML 3 consente di codificare i dati in GML/XML, ma anche in JSON o negli schemi di database.

## Standard dei dati 3D

### Codifica XML

Codifica originale del CityGLM

- Verboso
- Gerarchico
- Complesso
- non adatto al web

Non è più molto utilizzato

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <CityModel xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
3   xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
4   xmlns="http://www.opengis.net/citygml/2.0"
5   xmlns:bldg="http://www.opengis.net/citygml/building/2.0"
6   xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/citygml/2.0">
7   <cityObjectMember>
8     <bldg:Building gml:id="9a06451677c7">
9       <bldg:function>1070</bldg:function>
10      <bldg:lod1Solid>
11        <gml:Solid>
12          <gml:exterior>
13            <gml:CompositeSurface>
14              <gml:surfaceMember>
15                <gml:Polygon>
16                  <gml:exterior>
17                    <gml:LinearRing>
18                      <gml:pos>0.0 0.0 0.0</gml:pos>
19                      <gml:pos>0.0 1.0 0.0</gml:pos>
20                      <gml:pos>1.0 1.0 0.0</gml:pos>
21                      <gml:pos>1.0 0.0 0.0</gml:pos>
22                      <gml:pos>0.0 0.0 0.0</gml:pos>
23                    </gml:LinearRing>
24                  </gml:exterior>
25                </gml:Polygon>
26              </gml:surfaceMember>
27            ...
28          </bldg:Building>
29          <bldg:Building gml:id="jdh76sa">
30            ...
31          </bldg:Building>
32        </cityObjectMember>
33      </CityModel>
```

24

### Codifica XML

Originariamente, i CityGML erano file XML. Un esempio è riportato nella figura. Come si può notare, la codifica XML è prolissa, gerarchica, complessa e non adatta al web. Pertanto, non è più molto utilizzata (in CityGML 3).

## Standard dei dati 3D

### Codifica CityJSON I

- l'alternativa più utilizzata alla codifica XML  
JSON - JavaScript Object Notation
- anche CityJSON è uno standard OGC
- le coordinate sono memorizzate in un solo  
posto, in un array separato, cioè i "vertici".

CityJSON consente una compressione  
completa e semplifica la struttura dei file  
rispetto alla codifica XML (figura a  
destra).  
Esempio di coordinate in CityJSON (figura  
a sinistra)

```
1 "vertices": [  
2   [23234, 111009, 1392],  
3   [29456, 115134, 1007],  
4   [54508, 229995, 1961],  
5   ...  
6   [23134, 625134, 203]  
7 ]
```

```
1 "CityObjects": {  
2   "id-1": {  
3     "type": "Building",  
4     "attributes": {...},  
5     "children": ["id-2", "id-3"],  
6     "geometry": [{...}]  
7   },  
8   "id-2": {  
9     "type": "BuildingPart",  
10    "parents": ["id-1"],  
11    "geometry": [{...}]  
12    ...  
13  },  
14  "id-3": {  
15    "type": "BuildingPart",  
16    "parents": ["id-1"],  
17    "geometry": [{...}]  
18    ...  
19  }  
20 }
```

25

### Codifica CityJSON I



Attualmente, l'alternativa più utilizzata alla codifica XML di CityGML è CityJSON (JavaScript Object Notation).

Anche CityJSON è uno standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC). La versione attuale di CityJSON è la 1.1.3 e offre una serie di vantaggi rispetto a CityGML-XML.

#### [CityJSON Specifications 1.1.3](#)

Innanzitutto, le coordinate sono memorizzate in un solo posto, in un array separato, cioè nella proprietà "vertices" dell'oggetto CityJSON. Le primitive geometriche fanno quindi riferimento alla posizione di un vertice nell'array.

Standard dei dati 3D

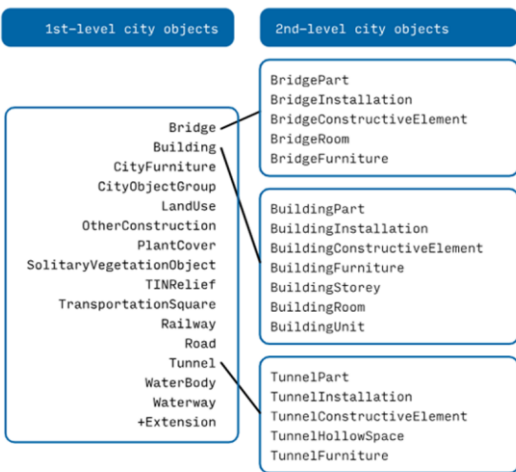

 Cofinanziato dall'Unione europea

### Codifica CityJSON II

CityJSON:

- è adatto alle applicazioni web
- riduce le dimensioni dei dati: il file JSON occupa circa 6 volte meno spazio rispetto all'XML
- può essere memorizzato sia in database relazionali sia in database no-SQL

Due tipi di oggetti urbani - 1° e 2° livello (genitori e figli)



[CityJSON Specifications 1.1.3](#)

26

## Codifica CityJSON II

Inoltre, JSON domina il web, rendendo facile lo scambio di dati tra le applicazioni.

In terzo luogo, JSON riduce le dimensioni dei dati; un file JSON occupa circa 6 volte meno spazio rispetto all'XML.

Infine, i file JSON possono essere memorizzati sia in database relazionali sia in database no-SQL.

In JSON, lo schema di CityGML è stato appiattito rispetto alla codifica XML, come dimostra la figura.

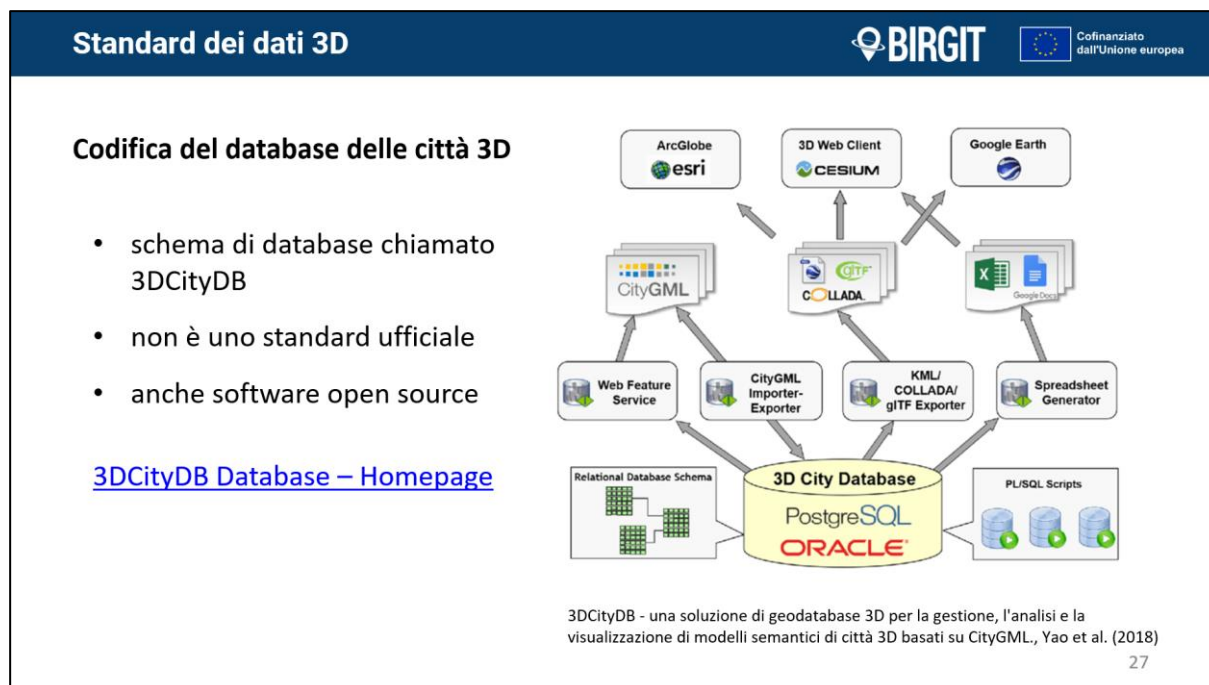
In CityJSON ci sono due tipi di oggetti urbani: di primo livello, o genitori, che possono esistere da soli, come edifici, ponti o specchi d'acqua.

E di secondo livello, o figli, che devono avere un "genitore" per esistere. Esempi possono essere una parte dell'edificio, un mobile o una stanza. Altri esempi sono mostrati in figura. Gli oggetti urbani di primo e secondo livello sono memorizzati nel dizionario "CityObjects".

Un oggetto urbano deve avere almeno una proprietà "geometria". Se si vogliono memorizzare degli attributi, questi devono essere contenuti nella proprietà "attributes". Questo semplifica il lavoro dello sviluppatore, perché c'è un unico punto di ingresso per tutte le geometrie e gli attributi (a differenza di CityGML codificato in XML).

Per esplorare un semplice modello CityJSON, potete andare su: <https://ninja.cityjson.org/> che è un visualizzatore di JSON online gratuito, e caricare il file LoD3\_Railway.city.json, disponibile

con la lezione. In alternativa, è possibile scaricarlo da: [Datasets | CityJSON](#), insieme ad altri file .json.



## Codifica del database delle città 3D

La terza codifica CityGML è uno schema di database chiamato 3DCityDB. Può essere implementato sia per PostgreSQL che per Oracle Spatial. È un software Open Source e, sebbene non sia uno standard ufficiale, è utilizzato da diverse municipalità in tutto il mondo.

Un pacchetto software ampiamente utilizzato per gestire i modelli 3D si chiama 3D City Database, abbreviato in 3DCityDB. Si tratta di uno schema di database gratuito e open-source per sistemi di gestione di database relazionali con funzionalità spaziali, come ORACLE Spatial o PostgreSQL/PostGIS.

Oltre al sistema di database, 3DCityDB fornisce tutti gli strumenti necessari, compresa la manutenzione e la visualizzazione web dei modelli urbani 3D.

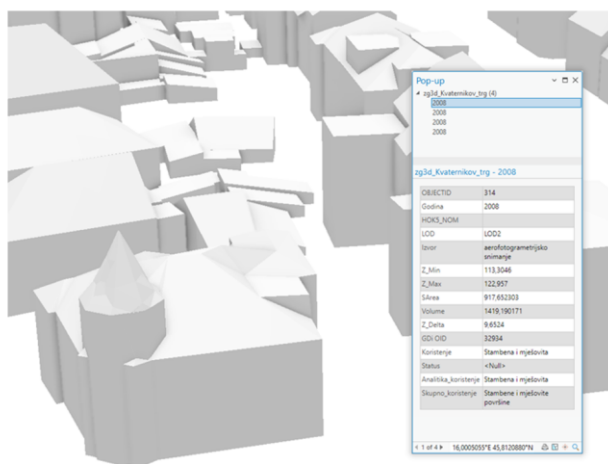
Per le esercitazioni e i corsi consultare il sito [http://www.3dcitydb.net/3dcitydb/fileadmin/TUM\\_Workshop/Documents/Tutorial.pdf](http://www.3dcitydb.net/3dcitydb/fileadmin/TUM_Workshop/Documents/Tutorial.pdf)

## Standard dei dati 3D

### Altri formati 3D

Il GML può essere combinato con molti altri formati

- Web Feature Service (WFS)
- Web Processing Service (WPS)
- KML/COLLADA o X3D files
- Web 3D Service (W3DS)
- Web Terrain Service (WTS)
- Indoor GLM



Esempio di modello 3D

28



### Altri formati 3D

In quanto standard OGC, GML3 può essere combinato con l'intera gamma di altri standard OGC. Il Web Feature Service (WFS), il Catalog Service (CS-W), il Web Coordinate Transformation Service (WCTS) e il Web Processing Service (WPS) sono particolarmente importanti per accedere, elaborare e identificare le risorse CityGML.

Per la visualizzazione 3D, CityGML è un formato di base da cui si possono facilmente derivare formati grafici 3D. Le ricche informazioni semantiche degli oggetti CityGML aiutano anche nella generalizzazione cartografica automatica e nella simbolizzazione. È inoltre adatto per generare grafica computerizzata rappresentata, ad esempio, come file KML/COLLADA o X3D. I servizi di raffigurazione OGC corrispondenti sono il Web 3D Service (W3DS) e il Web Terrain Service (WTS).


Esiste anche Indoor GML per la modellazione e la navigazione dei dati degli spazi interni. Ha una sovrapposizione minima con CityGML, ma è possibile combinare i due (CityGML e Indoor GLM) in un unico modello, se necessario.

**Standard dei dati 3D**

  Cofinanziato  
dall'Unione europea

### LandInfra

- Un altro standard di dati 3D
- Ingegneria del territorio e civile
- Alcune sovrapposizioni con CityGML
- Include caratteristiche non disponibili in CityGML



The diagram compares three standards: IFC, CityGML, and LandInfra. Each standard is represented by a grid of icons. IFC and CityGML have identical grids of 16 icons each, while LandInfra has a grid of 15 icons, missing the bottom-right icon. The icons represent various infrastructure elements like buildings, roads, and utilities.

[Comparison between IFC, CityGML and LandInfra. Source: LandInfra BIM\\_GIS.pdf](#)

29

## LandInfra

Oltre a CityGML, esiste un altro standard di dati 3D chiamato LandInfra.

Si tratta di un modello concettuale per le infrastrutture del territorio e dell'ingegneria civile. In quanto tale, viene pubblicato per casi d'uso predeterminati, come strutture, progetti, strade, ferrovie, rilievi, divisioni fondiari, sistemi di distribuzione delle acque reflue o dell'acqua.

LandInfra ha alcune potenziali sovrapposizioni con CityGML, ma non supporta ADE e LOD.

D'altra parte, include alcune funzionalità che non sono disponibili in CityGML. Tra queste: una migliore modellazione dei dati del sottosuolo, un quadro di riferimento per la modellazione delle informazioni legali e l'archiviazione delle informazioni relative ai rilievi.

Si sovrappone anche in parte a .ifc, ma non è ancora utilizzato per colmare il divario tra BIM e GIS.

Per saperne di più, potete leggere l'articolo [LandInfra BIM\\_GIS.pdf](#)



 Cofinanziato dall'Unione europea

## A 3D CAD model of a mechanical assembly. The assembly consists of several parts: a large green cylindrical component with a textured surface, a green base plate with a central hole, a green rectangular block with a central hole, and a green rectangular block with a central hole. The green parts are connected by a green rod. An orange rectangular block with a central hole is positioned to the right of the green assembly. The entire assembly is shown on a light gray background.

Requisiti delle direttive  
UE (ad es. rumore,  
prestazioni energetiche)

Property	Value
Feature Type	BuildingFoot
Coordinate System	EPSG:26912
Dimension	3D
Number of Vertices	30
Max Elevation	83070.943999999999, 45245.1377, 0.0
Min Elevation	6008.2469999999999, 45500.672000000001, 15.30088400000001
Attributes (12)	
beginAngleExpression (enclosed utf-8)	2031.01 137000.0000
conditionOfConstruction (enclosed utf-8)	True
conditionOfConstruction_nz (enclosed utf-8)	True
line_geometry (string)	line, aggregate
line_type (string)	line
geometryType (enclosed BuildingGeometry, IRI, enclosed horizontalGeometry, enclosed BuildingGeometry, IRI, enclosed horizontalGeometry, enclosed utf-8)	1.0
geometryType (enclosed BuildingGeometry, IRI, enclosed horizontalGeometry, enclosed BuildingGeometry, IRI, enclosed horizontalGeometry, enclosed utf-8)	geometryType:1231:1378-4-ab-a2-6-a2-6-2529252
gml_geometry (enclosed, system (enclosed utf-8))	EPSG:26912
gml_geometryName (enclosed, system (enclosed utf-8))	geometryType:1231:1378-4-ab-a2-6-a2-6-2529252
impzoidIdentifierNameSpace (enclosed utf-8)	ILRC BC
url (string)	
URI:Name (1231 Features)	
Name (enclosed utf-8)	geometryType:1231:1378-4-ab-a2-6-a2-6-2529252
> Geometry Types (1)	
> Part 1: Polygons	surfaceMember
>> Name (enclosed utf-8)	
>>> Geometry Types (1)	
>>>> gml:of (enclosed utf-8)	True
>>>>> Linear Boundary	True
>>>>>> Name (enclosed utf-8)	Right Hand Rule
>>>>>>> Boundary 1:LineLine (4 Coordinates)	gml:of:1649720999999, 45461.867299999999, 12.2963212999999999, 0
>>>>>>>> Closed	True
>>>>>>>>> Coordinates (6)	Coordinates Dimension 3
>>>>>>>>>> 0	83070.943999999999, 45461.867299999999, 12.2963212999999999
>>>>>>>>>> 1	83070.943999999999, 45461.867299999999, 12.2963212999999999
>>>>>>>>>> 2	83070.943999999999, 45461.867299999999, 12.2963212999999999
>>>>>>>>>> 3	83070.943999999999, 45461.867299999999, 12.2963212999999999
>>>>>>>>>> 4	83070.943999999999, 45461.867299999999, 12.2963212999999999
>>>>>>>>>> 5	83070.943999999999, 45461.867299999999, 12.2963212999999999
> Part 1: Polygons (1)	surfaceMember
>> Name (enclosed utf-8)	True
>>> Geometry Types (1)	True
>>>> gml:of (enclosed utf-8)	True
>>>>> Linear Boundary	True
>>>>>> Name (enclosed utf-8)	Right Hand Rule
>>>>>>> Boundary 1:LineLine (5 Coordinates)	gml:of:1649720999999, 45473.047000000000, 12.2963212999999999, 0

Edifici INSPIRE GML visualizzati con Data Inspector. Da : [Converting CityGML to INSPIRE 3D Buildings \(Annex III\) \(safe.com\)](#)

30

Le specifiche dei dati INSPIRE non richiedono la raccolta di nuovi dati. Il loro obiettivo è garantire l'interoperabilità dei dati e dei servizi territoriali di diversi Paesi dell'UE. Ciò risponde a requisiti legati alla reportistica europea, come la Direttiva sul rumore, la Direttiva sulla qualità dell'aria o la Direttiva sul rendimento energetico degli edifici.

## Riferimenti bibliografici

Malhotra et al. (2022) Information modelling for urban building energy simulation—A taxonomic review. Building and Environment 208, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108552>

Ledoux (2018) CityGML and its two encodings CityGML and CityJSON, presentation Delft University

Ken Arroyo Ohori, Hugo Ledoux, and Ravi Peters (2020–2022): 3D modelling of the built environment, available at: [Releases · tudelft3d/3dbook \(github.com\)](https://github.com/tudelft3d/3dbook)

Sahleb (2019) Automatic Conversion of CityGML to IFC, TU Delft, MSc. thesis