

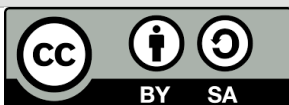
## L1.1 Concetti di modellazione 3D

### 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**

Questa lezione fornisce un'introduzione alla modellazione geografica 3D e può essere seguita anche senza una precedente conoscenza dei GIS 3D. Inizia con diversi concetti di visualizzazione 3D e spiega come si differenziano a seconda dell'area di utilizzo. Lo studente apprende brevemente i modelli voxel e più approfonditamente la creazione di modelli a maglia della realtà, con esempi reali.

### **Risultati di apprendimento**

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

- Comprendere i concetti principali e i diversi tipi di modellazione geografica 3D.
- Comprendere i principi dei modelli 3D raster / voxel
- Descrivere la creazione e i vantaggi dei modelli a maglie della realtà (reality-mesh models)

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

Conoscenze di base di GIS

### **Carico di lavoro previsto**

10 diapositive con contenuti didattici, circa 2 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*

## Contenuto della lezione

<b>Perchè il 3D?</b> .....	<b>4</b>
<b>Modelli digitali di ambiente costruito</b> .....	<b>5</b>
<b>Ottenere dati 3D</b> .....	<b>6</b>
<b>Diverse rappresentazioni 3D</b> .....	<b>7</b>
<b>Modelli 3D ad alta grafica</b> .....	<b>8</b>
<b>Modelli del settore AEC</b> .....	<b>9</b>
<b>Modelli 3D geomatici / GIS</b> .....	<b>10</b>
<b>Raster 3D = modello voxel</b> .....	<b>11</b>
<b>Voxel nella modellazione delle città</b> .....	<b>12</b>
<b>Modelli di città a maglie reali I</b> .....	<b>13</b>
<b>Modelli di città a maglie reali II</b> .....	<b>14</b>
<b>Riferimenti</b> .....	<b>15</b>

## Concetti di modellazione 3D

### Perché il 3D?

- Il mondo è in 3D
- Assi x, y e z

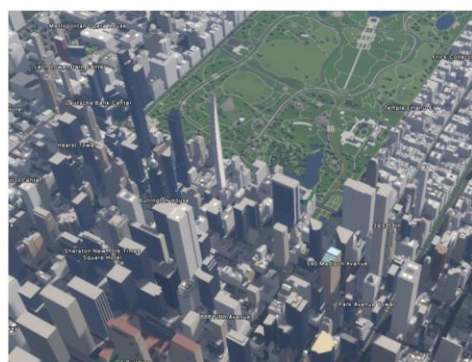
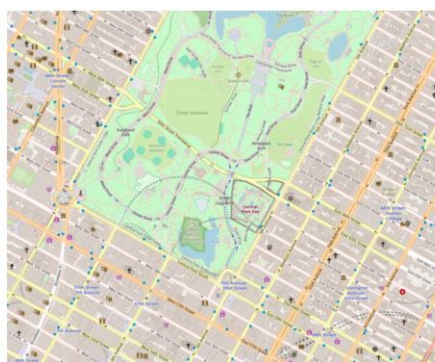


Figure - il centro di New York su mappa 2D e come modello 3D (entrambi basati su Open Street Maps)

Migliore comprensione delle forme degli oggetti e delle relazioni spaziali

Molte analisi sono possibili solo in 3D (ad es. rumore, inondazioni)

4

### Perché il 3D?

Il mondo è tridimensionale. Pertanto, il modello 3D migliora la visualizzazione del mondo reale rispetto alla mappa bidimensionale.

Possiamo notare le differenze nelle figure. Entrambe mostrano la zona centrale di New York e sono basate su Open Street Map.

Come sappiamo, lo spazio 2D ha gli assi x e y. Lo spazio 3D ha anche un asse z, insieme agli assi x e y. L'asse z indica l'altezza dell'oggetto.

L'aggiunta di questa terza dimensione ci aiuta a comprendere meglio la distribuzione degli oggetti e la relazione spaziale tra di essi. Sono quindi molte le applicazioni possibili solo in 3D, come le analisi del rumore, dell'ombreggiatura o delle inondazioni.

Edifici, terreni e infrastrutture possono essere modellati in 3D. In questo corso ci concentreremo sulla rappresentazione tridimensionale dell'ambiente costruito.

## Concetti di modellazione 3D

### Modelli digitali di ambiente costruito

Diverse tecniche per creare modelli 3D

Informazioni 3D :

- Geometriche
- Topologiche
- Semantiche

Astrazione - limitare la complessità del modello, ad esempio le parti interne.



[https://static.turbosquid.com/Preview/2018/11/07\\_\\_08\\_45\\_37/1.jpgF16C9D5E-43CF-473A-9052-87F6D4FCEF1DZoom.jpg](https://static.turbosquid.com/Preview/2018/11/07__08_45_37/1.jpgF16C9D5E-43CF-473A-9052-87F6D4FCEF1DZoom.jpg)

5

### Modelli digitali di ambiente costruito

I modelli 3D urbani possono derivare da diverse tecniche di acquisizione. Per questo motivo possono variare notevolmente nella struttura, nel formato e nelle caratteristiche (come vedremo in seguito).

In ogni caso, i modelli 3D possono combinare un mix di informazioni geometriche, topologiche e semantiche.

Le informazioni geometriche descrivono la forma.

Le informazioni topologiche mostrano le adiacenze e la connettività.

Quelle semantiche descrivono gli attributi e le altre proprietà dell'oggetto.

In pratica, però, è auspicabile limitare la complessità solo agli aspetti realmente necessari per le applicazioni previste. Un esempio può essere la rimozione delle parti interne degli edifici, quando tali informazioni non sono necessarie.

Questa limitazione della complessità è chiamata astrazione.

## Concetti di modellazione 3D

### Ottenere dati 3D

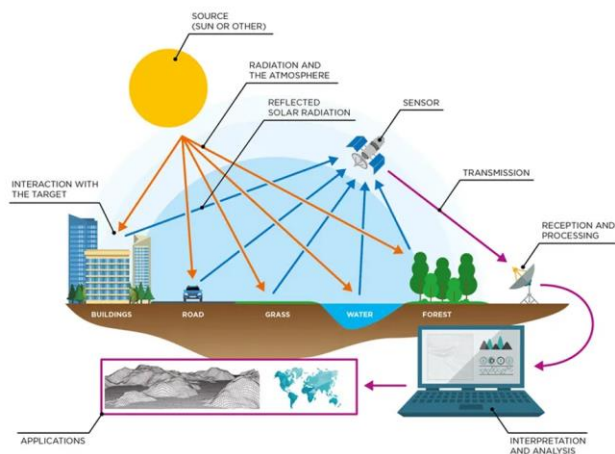
Metodi tradizionali - laser scanner fissi

Telerilevamento - laser, radar, mappatura mobile

Fotogrammetria - immagini digitali, fotografia aerea

Estrazione da planimetrie 2D

Conversione da modelli architettonici



Telerilevamento. Fonte :<https://i0.wp.com/geolearn.in/wp-content/uploads/2022/09/Remote-Sensing-Process.jpg>

6

### Ottenere dati 3D

Avremo un intero corso specializzato sull'acquisizione dei dati 3D (2. Elaborazione dei dati 3D). Ma qui riassumiamo brevemente i metodi:

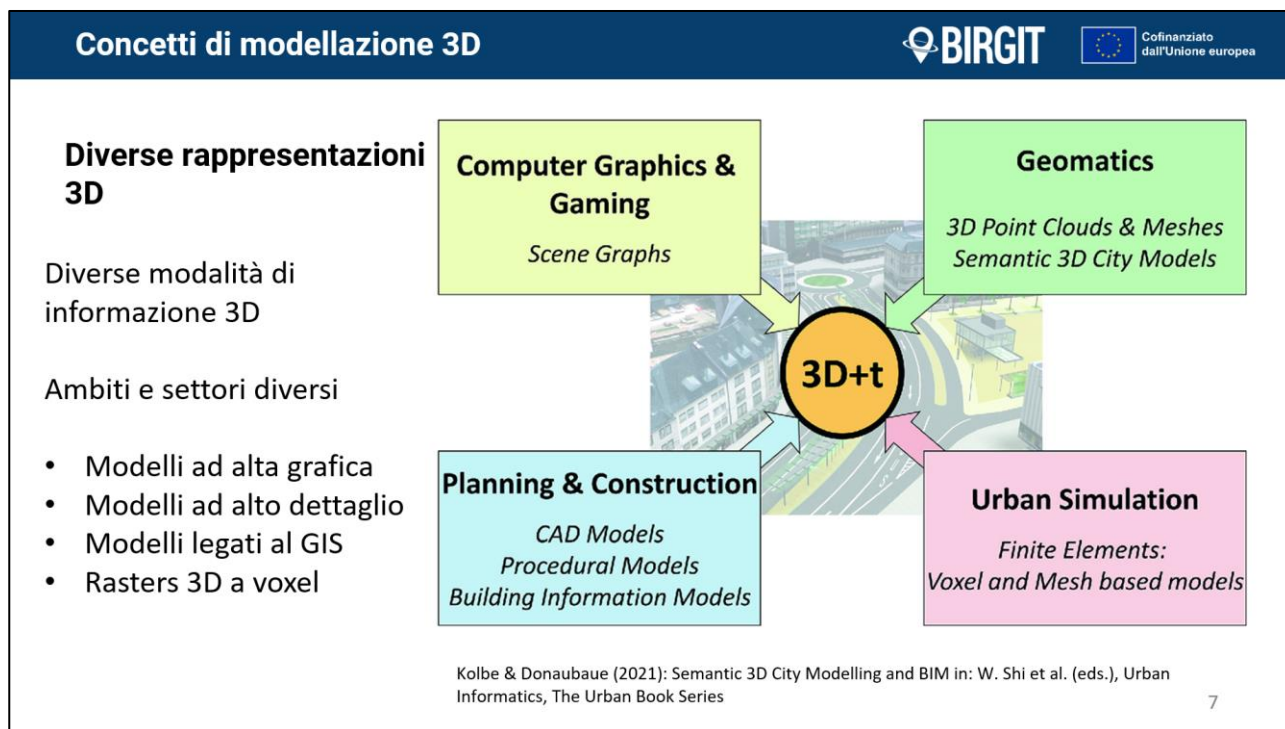
Innanzitutto, ci sono le misurazioni tradizionali, come l'utilizzo di laser scanner fissi.

Ci sono poi i metodi basati sul telerilevamento, cioè sulla riflessione delle onde elettromagnetiche, tra cui la scansione laser (detta anche LiDAR), il radar o i sistemi di mappatura mobile (come le auto di Google con scanner LiDAR).

La terza tecnica comune è la fotogrammetria, cioè la ricostruzione da immagini digitali.

Queste misure "grezze" vengono poi elaborate e assemblate per creare oggetti 3D più complessi.

Inoltre, i modelli di città 3D possono essere estratti da planimetrie 2D o convertiti da disegni architettonici.



## Diverse rappresentazioni 3D

La modellazione tridimensionale di edifici e città è stata affrontata in diversi modi. Questi approcci differiscono per l'obiettivo, la struttura del modello e il formato di scambio, come riassunto in figura.

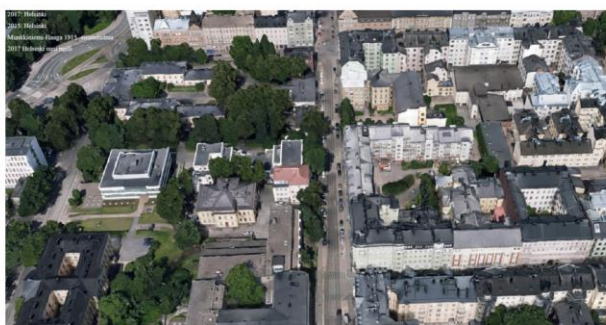
Possiamo notare che ci sono modelli visivi con grafica altamente avanzata, modelli altamente dettagliati dell'industria AEC (Architettura, Ingegneria e Costruzione), modelli correlati ai GIS e raster tridimensionali.



## Concetti di modellazione 3D

### Modelli 3D ad alta grafica

Modelli 3D incentrati su una  
visualizzazione di alta qualità



<https://kartta.hel.fi/3d/mesh/>



[3d-environment-design-for-game-3d-model-low-poly-animated-fbx-uasset.jpg \(2688x1512\) \(cgtrader.com\)](#)

Comune come ambiente di gioco  
Alcuni modelli di città

8

### Modelli 3D ad alta grafica

In primo luogo possiamo citare i modelli tridimensionali visuali. Essi mirano a una visualizzazione 3D di alta qualità, ma non suddividono l'ambiente in singoli oggetti e, in quanto tali, non forniscono informazioni sulle proprietà degli oggetti.

Tali modelli sono spesso sviluppati e utilizzati nella grafica computerizzata e nei videogiochi.

Esempi reali di modelli visuali sono alcuni modelli di città, ad esempio il modello a maglia di Helsinki, o i modelli di Berlino, Stoccolma, ecc. Torneremo su questi modelli di città più avanti nel corso.

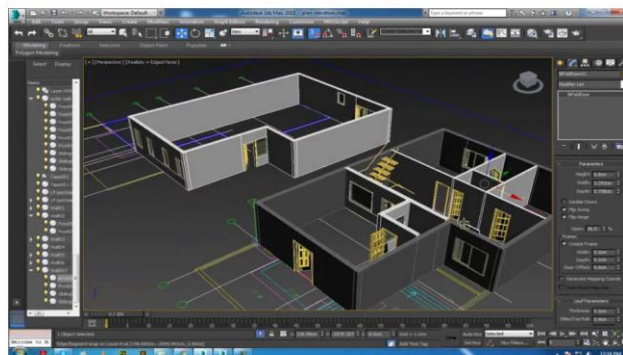




## Concetti di modellazione 3D

### Modelli del settore AEC

- Attenzione ai dettagli
- Piccola scala (solo un'attività)
- Molte informazioni sugli oggetti
- Modelli CAD e BIM



Sopra: Modello 3D in AutoCAD  
<https://cougardrafting.com/wp-content/uploads/2020/05/maxresdefault2.jpg>

A sinistra: modello BIM

<https://www.ckvango.com/wp-content/uploads/2015/11/bim-modeling-rendering.jpg>

9

### Modelli del settore AEC

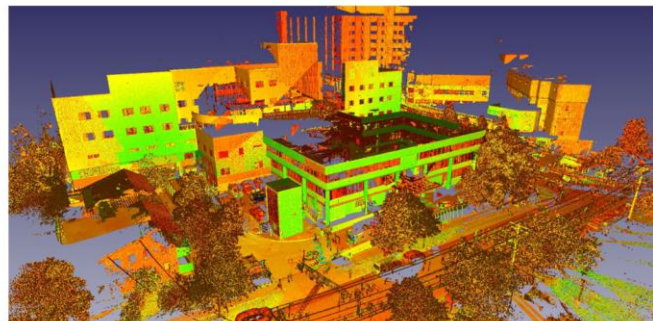
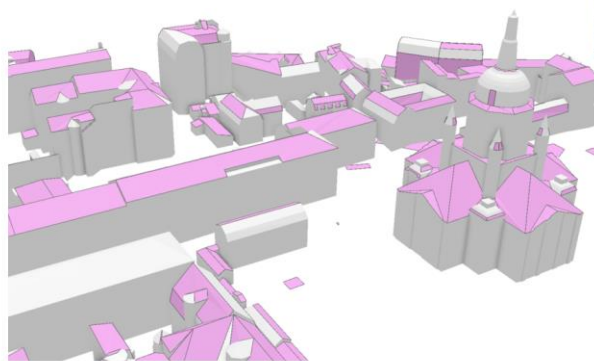
Anche i modelli dell'industria AEC (Architettura, Ingegneria e Costruzioni) sono altamente grafici, ma si concentrano soprattutto sui dettagli e sui singoli oggetti. Forniscono inoltre informazioni altamente dettagliate sulla geometria e sulle proprietà degli oggetti, necessarie per gli obiettivi di pianificazione e di costruzione.

Il Building Information Modelling (BIM, a sinistra nella diapositiva) appartiene a questa categoria ed è oggetto di un modulo separato del nostro corso (Introduzione al BIM). A destra della diapositiva, c'è anche un modello CAD (Computer Aided Design). Sebbene il CAD sia ancora utilizzato nell'AEC, il BIM è attualmente la tecnologia all'avanguardia.

## Concetti di modellazione 3D

### Modelli geomatici / GIS

- Nuvole di punti 3D
- Maglie 3D
- Modelli di città semantica - singoli oggetti e proprietà



Sopra: nuvola di punti da scansione laser

<https://www.laserscanning.com.au/files/2014/04/6736-Image-3.jpg>

A sinistra: modello di città semantica di Stoccolma

Scaricato da: [Dataportalen \(stockholm.se\)](http://Dataportalen.stockholm.se)

10

### Modelli 3D geomatici / GIS

Il terzo ambito della modellazione 3D è quello correlato al GIS.

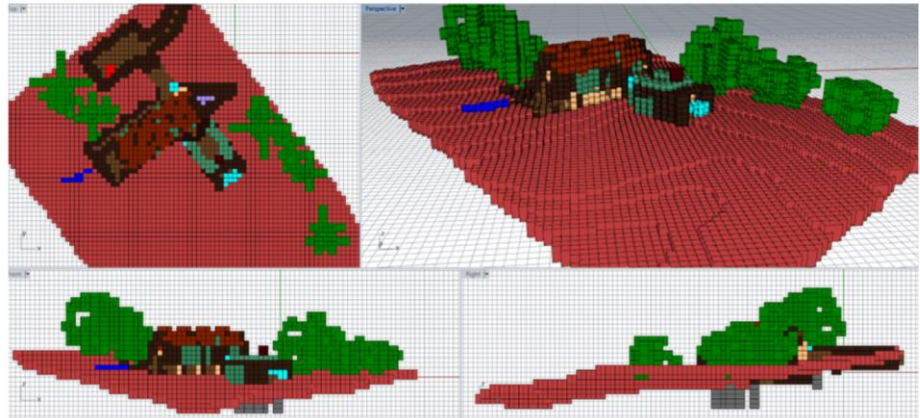
Include i tipici modelli tridimensionali delle città, che visualizzano la geometria 3D, la topologia 3D e, nel migliore dei casi, anche gli attributi tematici e le interrelazioni logiche tra gli oggetti. Se questi attributi, cioè le informazioni semantiche, sono inclusi, i modelli vengono definiti modelli semantici di città 3D. I modelli semantici sono l'obiettivo principale di questa parte del corso.

Per saperne di più sulla fotogrammetria, la scansione laser e le nuvole di punti 3D, consultate il secondo blocco di questo corso, denominato Elaborazione dei dati 3D.

## Concetti di modellazione 3D

### raster 3D = modello voxel

- Il voxel è un pixel 3D parallelo al pixel 2D di una mappa raster.
- I modelli voxel sono l'equivalente 3D dei raster 2D.
- precisione in base alle dimensioni della griglia
- Distribuzione e simulazioni di variabili continue (ad es. velocità del vento, temperatura dell'aria)



Da: Ohori, Ledoux, and Peters (2020-2022): 3D modelling of the built environment, page 31

11

### Raster 3D = modello voxel

L'ultima della lista delle diverse rappresentazioni tridimensionali è il raster 3D, chiamato anche modello voxel.

Un voxel è un pixel 3D parallelo a un pixel 2D in una mappa raster 2D. I modelli a voxel sono quindi l'equivalente 3D dei raster 2D.

Analogamente ai raster 2D, i modelli voxel 3D hanno una precisione limitata in base alla dimensione della griglia. Diminuendo la dimensione della griglia si aumenta la precisione, ma si arriva anche a dimensioni molto grandi in termini di memoria.

La voxelizzazione si basa sulla scomposizione dello spazio urbano in elementi finiti. Possiamo immaginarla come una suddivisione dell'intero spazio in cubi equivalenti di un determinato volume.

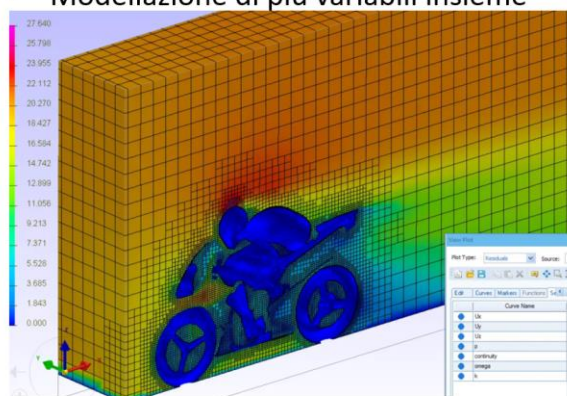
I modelli a voxel sono facili da creare e da capire, rispetto ad esempio ai modelli a rete o tridimensionali semantici. Anche i calcoli che utilizzano i voxel sono molto più semplici di quelli che utilizzano altre rappresentazioni.

Un altro importante vantaggio dei voxel è che possono rappresentare la distribuzione tridimensionale di variabili continue. (Si tratta di variabili quantitative che possono assumere qualsiasi valore all'interno di un certo intervallo). Come esempi possiamo citare la velocità del vento, l'umidità del suolo, l'inquinamento atmosferico, la salinità dell'acqua, ecc.

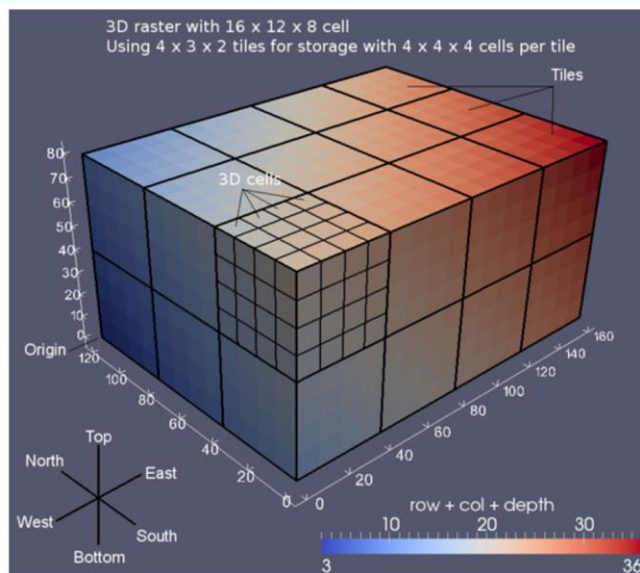
## Concetti di modellazione 3D

### Voxel nella modellazione delle città

- Sia gli spazi costruiti che quelli vuoti possono essere visualizzati da voxel per coprire tutto lo spazio.
- Modellazione di più variabili insieme



<https://www.techyv.com/sites/default/users/Images-Folder/OpenFOAM-1.png>



[https://grass.osgeo.org/grass82/manuals/raster3d\\_layout.png](https://grass.osgeo.org/grass82/manuals/raster3d_layout.png)

12

### Voxel nella modellazione delle città

Tutte le caratteristiche urbane, cioè gli spazi costruiti e quelli circostanti, possono essere rappresentate da voxel.

I valori di più variabili (sia qualitative che quantitative, <https://www.mygreatlearning.com/blog/types-of-data/>) possono essere definiti per ciascun pixel e utilizzati nei calcoli.

Un esempio di tale simulazione può essere la modellazione della dispersione dell'inquinamento. Tutti i voxel che rappresentano lo spazio aereo urbano hanno un vettore di parametri per la direzione del vento, la velocità del vento, la temperatura dell'aria e le concentrazioni di specifici inquinanti.

Un altro esempio è la simulazione della domanda di energia termica degli edifici. I voxel degli edifici forniscono informazioni sul tipo di utilizzo e sulla fisica dell'edificio, come l'isolamento di pareti, tetto e finestre. Queste informazioni possono essere combinate con le proprietà dello spazio aereo intorno all'edificio.

Infine, è possibile utilizzare anche unità temporali, in modo da poter simulare il raster 3D in tempi diversi.



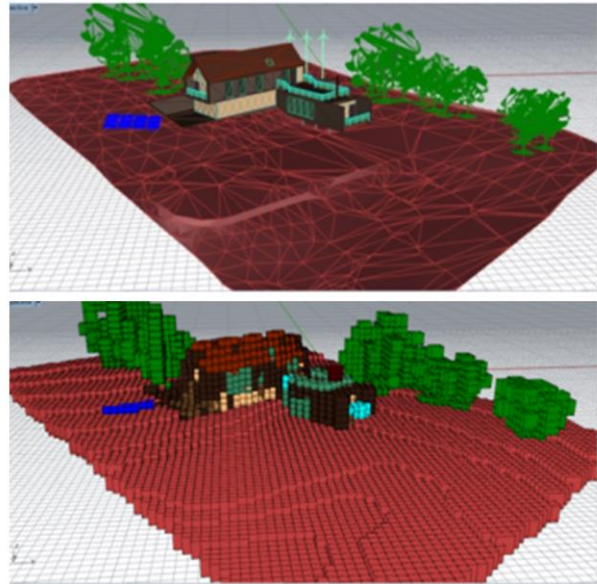
## Concetti di modellazione 3D

### Modelli di città a maglie reali I

Se i voxel non sono idonei :

- Suddivisione delle superfici in triangoli = meshing
- Caratteristiche decise, ad esempio angoli minimi - anche metodo agli elementi finiti
- Figure - confronto tra mesh (in alto) e voxel (in basso) per gli stessi oggetti

Da: Ohori, Ledoux, and Peters (2020-2022): 3D modelling of the built environment, pag 31



13

### Modelli di città a maglie reali I

Per certe simulazioni il modello voxel non è ottimale ed è meglio utilizzare modelli geometrici altamente dettagliati e fotorealistici.

Tali modelli si basano su foto aeree, nuvole di punti LiDAR o su una combinazione di questi due elementi. I dati vengono assemblati nel modello della città utilizzando software specializzati.

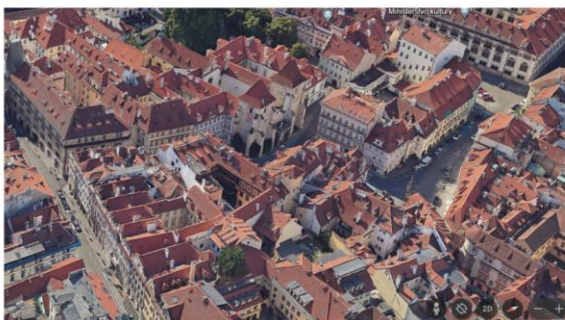
Il tetto, le pareti e le altre superfici possono quindi essere suddivise in triangoli in un processo chiamato retinatura (meshing). Le figure mostrano il confronto tra un modello basato su voxel e uno basato su mesh.

Si possono decidere alcune caratteristiche della divisione, come gli angoli minimi. Pertanto, la retinatura è anche considerata un metodo agli elementi finiti.

## Concetti di modellazione 3D

### Modelli di città a maglie reali II

- I modelli a maglia triangolare sono veloci e economici da creare
- Prima generazione di modelli urbani
- Google Earth



Sopra: Maglia reale del modello della città di Helsinki  
Da: Ohori, Ledoux, and Peters (2020-2022): 3D modelling of the built environment, pag. 91

A sinistra: modello basato su mesh da Google Earth  
Esempio di Praga, [Google Earth](#)

14

### Modelli di città a maglie reali II

L'astrazione delle superfici in maglie triangolari è veloce ed economica. È possibile creare modelli geometrici e fotorealistici per intere città in modo automatizzato.

I modelli basati su mesh sono disponibili per molte città e di solito possono essere navigati liberamente attraverso le pagine web delle città. Anche Google Earth utilizza modelli a maglia, anch'essi liberamente disponibili.

Possiamo dire che la prima generazione di modelli di città in 3D era costituita da modelli a maglie della realtà. Tuttavia, molte applicazioni non hanno bisogno solo di dati sulla geometria 3D delle superfici e sulle loro caratteristiche grafiche (come in un modello mesh).

Per molte applicazioni è necessario dividere il modello in singoli oggetti. Per esempio, per definire: questa è una casa e questa è un'altra casa, e questo è un albero

Tali modelli, in cui le cose del mondo reale sono caratterizzate come singoli oggetti, sono chiamati "semantici". Nel migliore dei casi, gli oggetti dei modelli semantici hanno anche proprietà specifiche e interrelazioni definite. Questi modelli semantici sono l'argomento della prossima lezione.



## Riferimenti bibliografici

Ken Arroyo Ohori, Hugo Ledoux, and Ravi Peters (2020-2022): 3D modelling of the built environment

L'ultima versione di questo libro può essere scaricata in formato PDF all'indirizzo <https://github.com/tudelft3d/3dbook/releases>

Thomas H. Kolbe and Andreas Donaubaue (2021): Semantic 3D City Modeling and BIM in: W. Shi et al. (eds.), Urban Informatics, The Urban Book Series