

Sistemi Informativi Territoriali

Introduzione ai GIS 3D

Verso i GIS 3D

- I GIS tradizionali sono legati a
 - 2D
 - 2D + tempo
- Ci si sta muovendo verso il **multidimensionale**:
 - 2,5D
 - 2,5D + tempo
 - **3D**
 - 3D + tempo
 - N-dimensionale

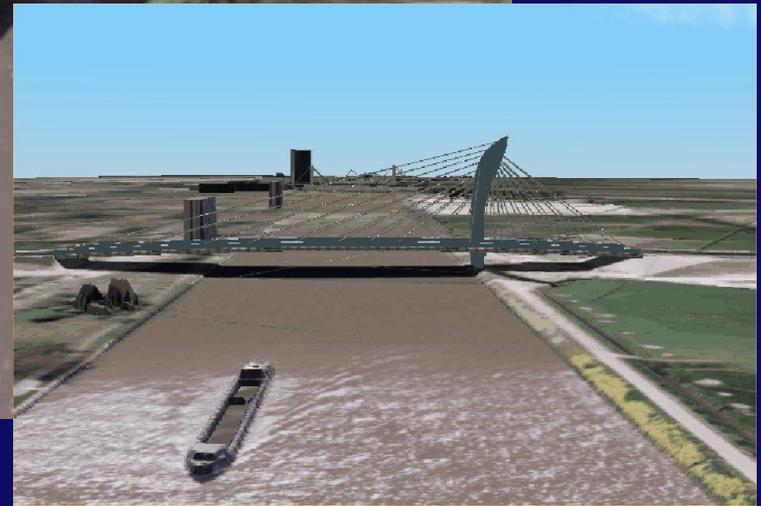
Cosa sono i GIS 3D

- Sistemi GIS che operano nelle tre dimensioni dello spazio.
- Non viene considerato il tempo come fattore di modellazione.

Motivazioni

- Aumento del **realismo** e **immediatezza**
- Soluzioni per
 - Pianificazione urbana
 - Catasto
 - Gestione del rischio e delle emergenze
 - Monitoraggio ambientale
 - Telecomunicazioni
 - Turismo
 - Mercato immobiliare
 - Sistemi per la partecipazione
 - Gestione delle utility

Pianificazione urbana (+ CAD)

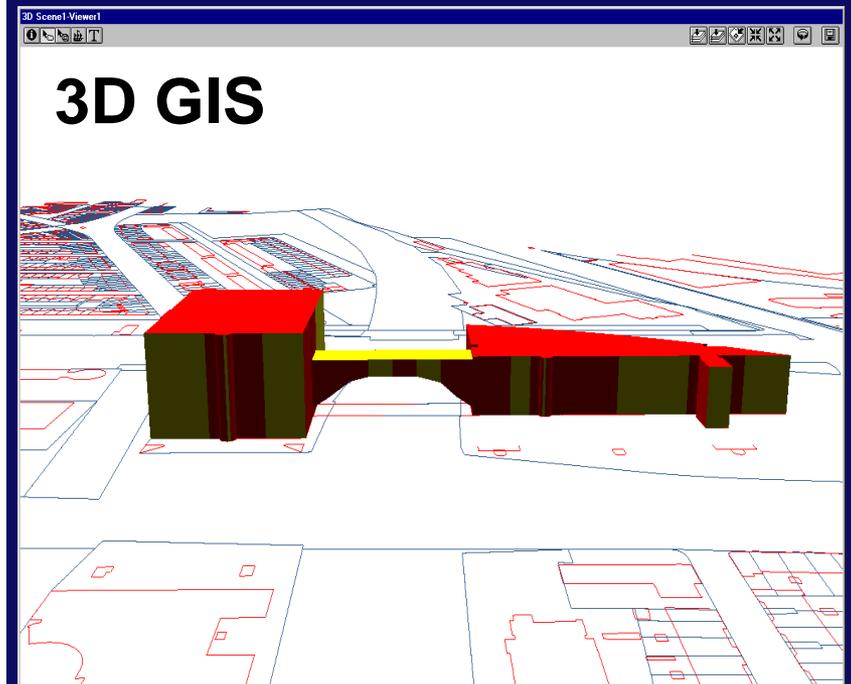


Progetti infrastrutturali

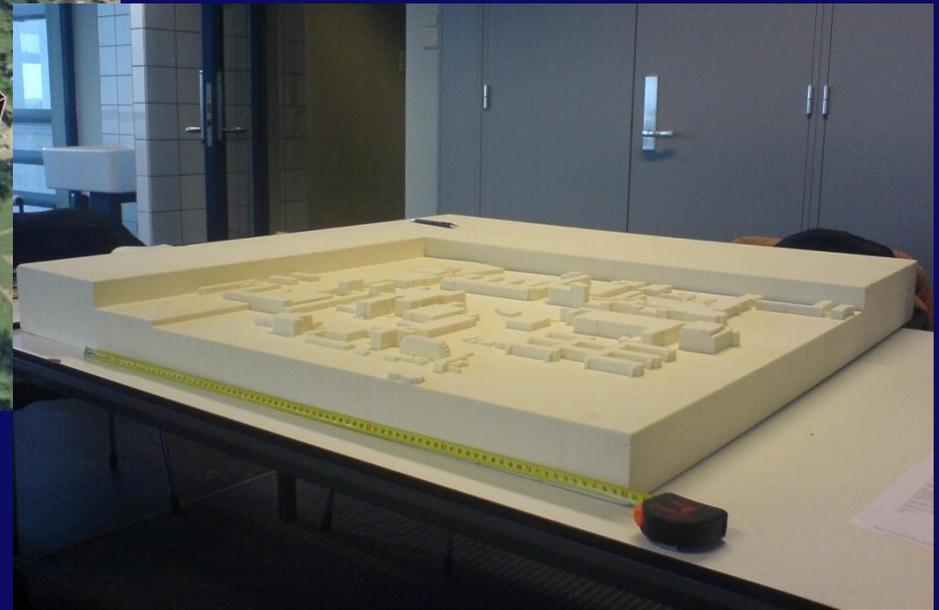


Catasto urbano

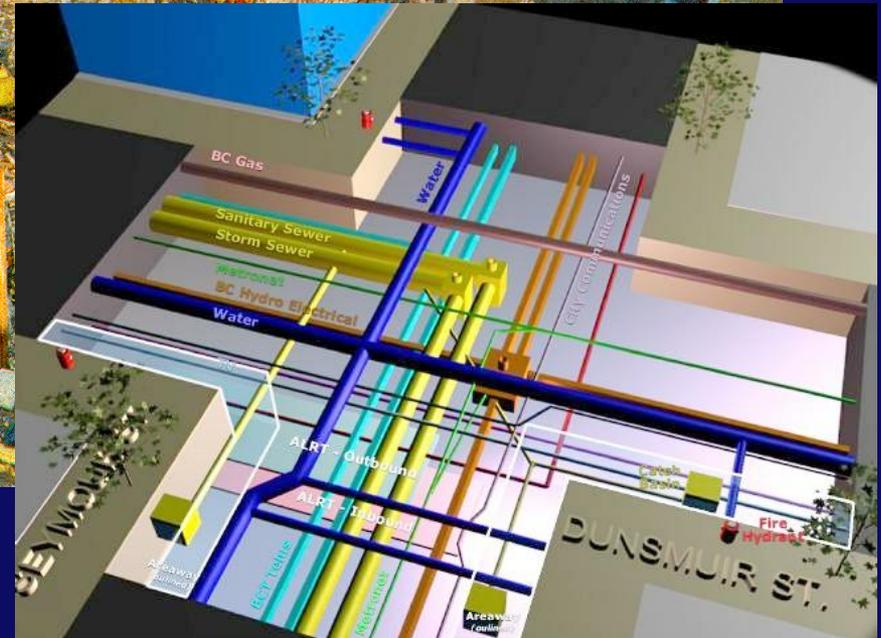
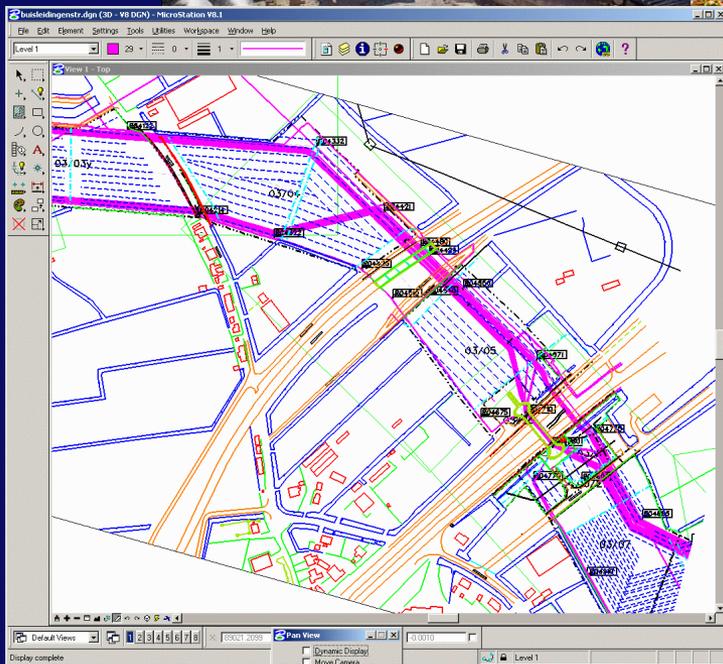
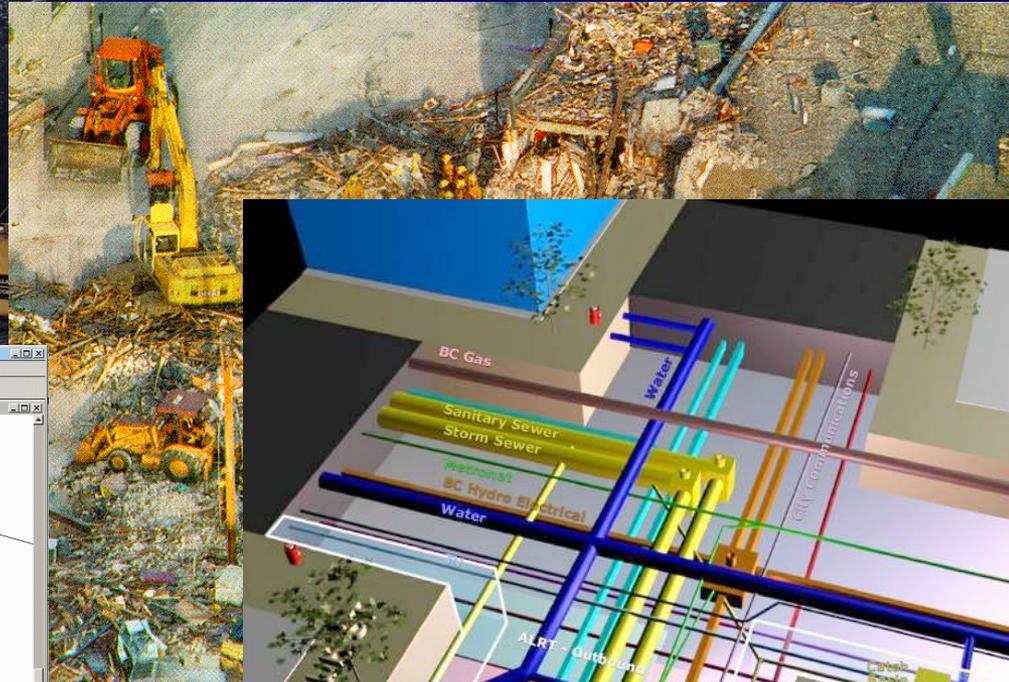
Tradizionale



Pianificazione urbana, architettura



Gestione dei servizi (utility)



Gestione del rischio



Software GIS 3D

- Google Earth
- Microsoft Virtual Earth
- Navigatori satellitari
 - Svincoli autostradali 3D / monumenti
- Tour virtuali / applicazioni turistiche

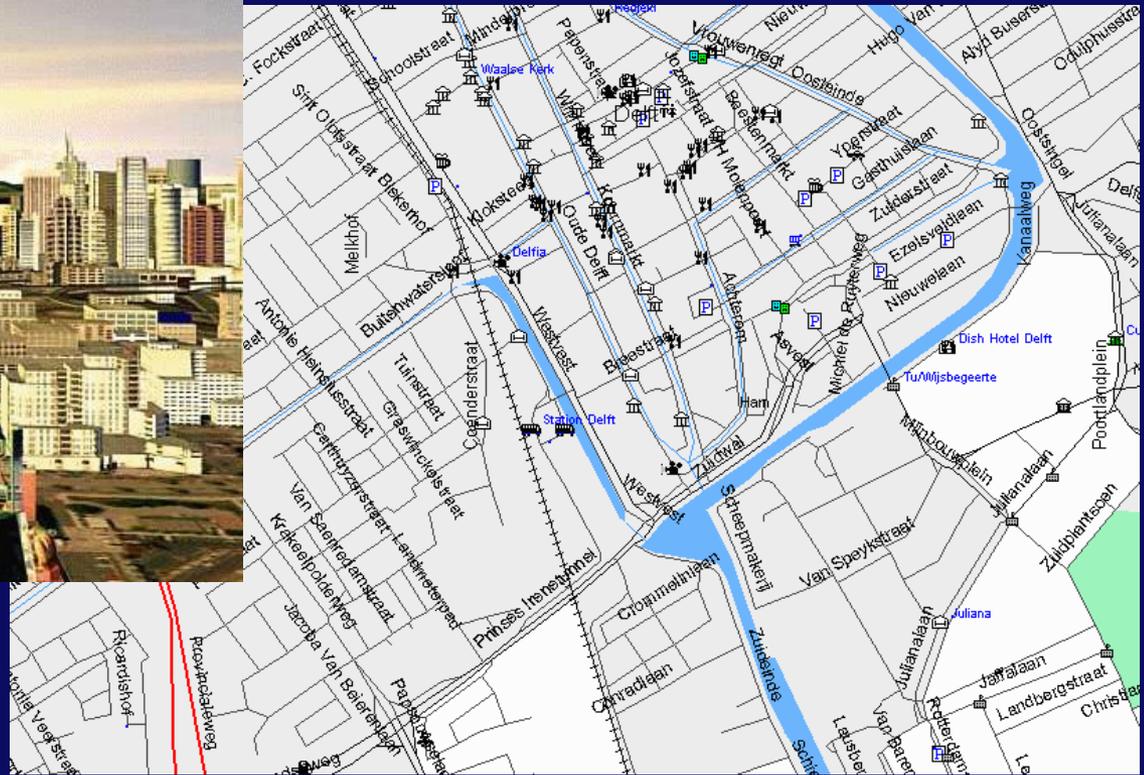
Aumento della complessità

- La rappresentazione 3D comporta un **aumento della complessità generalizzato** ad ogni segmento del sistema.
- Ricostruzione 3D
- Modello dati ed analisi 3D
- Presentazione 3D

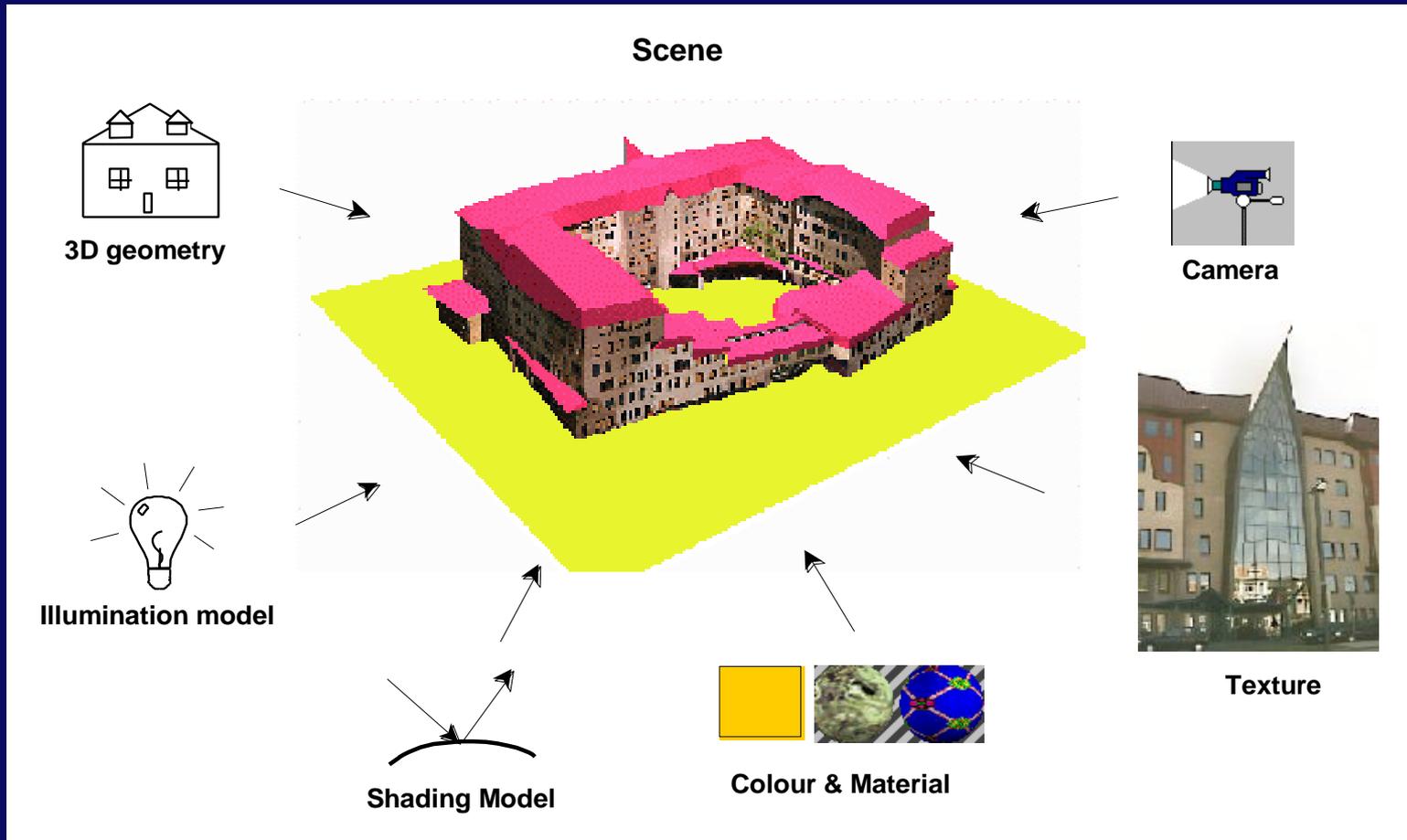
Modelli 3D

- Problemi rispetto al 2D
- **Modellazione**
 - Geometrie, Proiezioni, Realismo, Selezione ed Editing
- **Interazione**
 - Navigazione
 - VR, AR, MR
- **Grandi moli di dati**
 - Livello di dettaglio

3D vs 2D

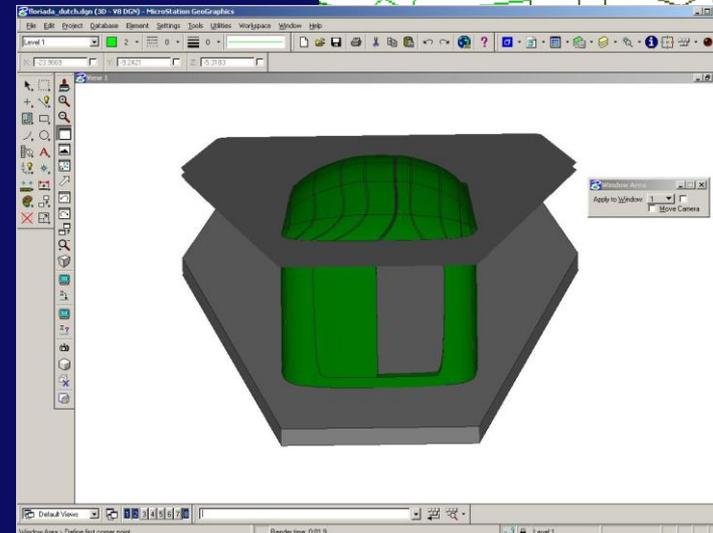
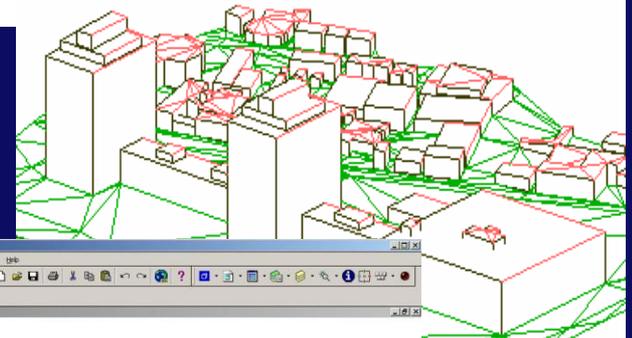


Elementi in una scena 3D



Primitive 3D

- 2D: Punti, Linee, Poligoni
- **Tetraedri**
- **Poliedri**
- **Sfere**
- **Coni**
- **Forme libere**
 - B-Splines
 - NURBS



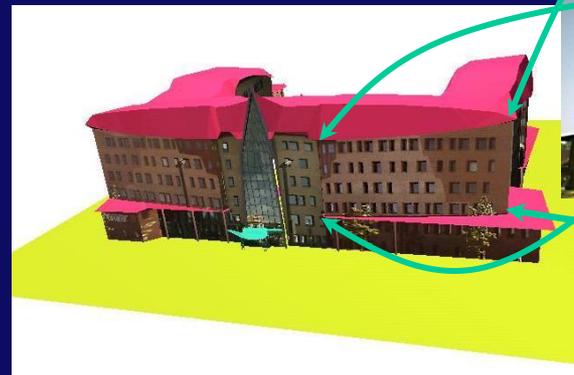
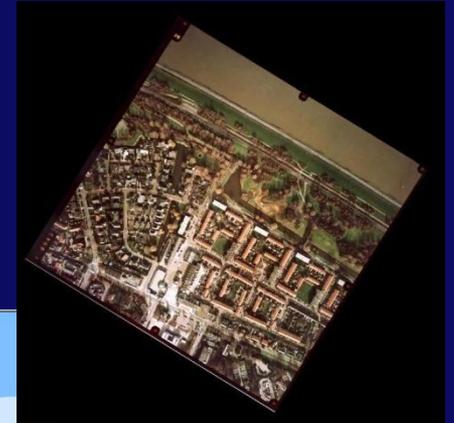
Visualizzazione 3D - Textures

- **Texture mapping**

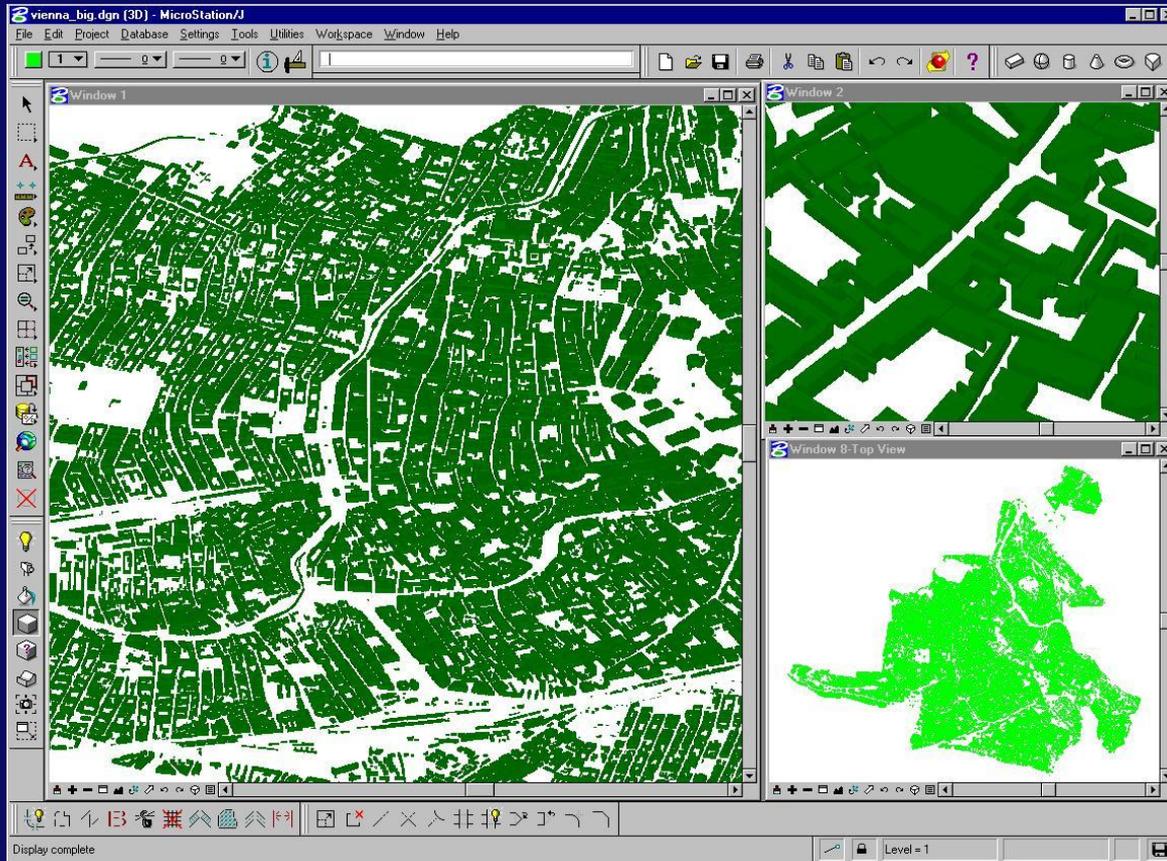
- Riferimento tra pixel e coordinate geografiche

- **Texture draping**

- Wrapping e ripetizione delle texture



Grandi moli di dati

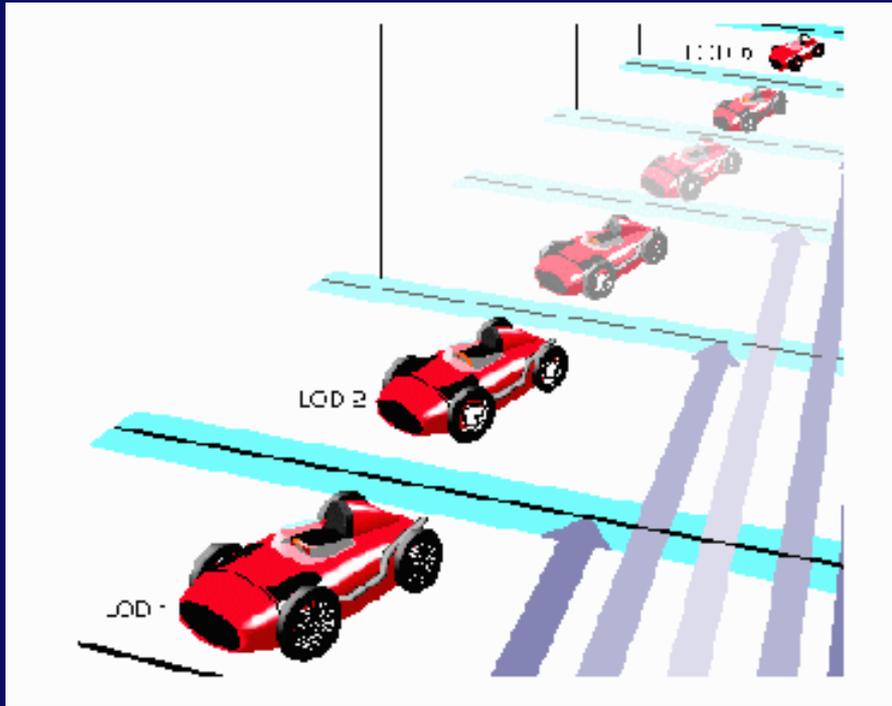


Vienna

21000 edifici

Ogni edificio
deve essere
caricato
triangolato
visualizzato

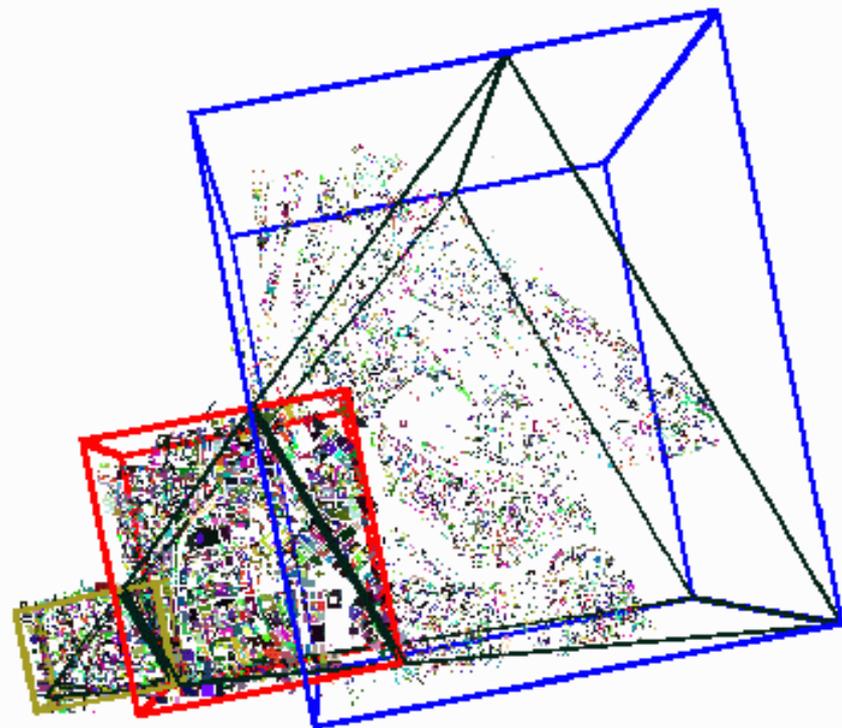
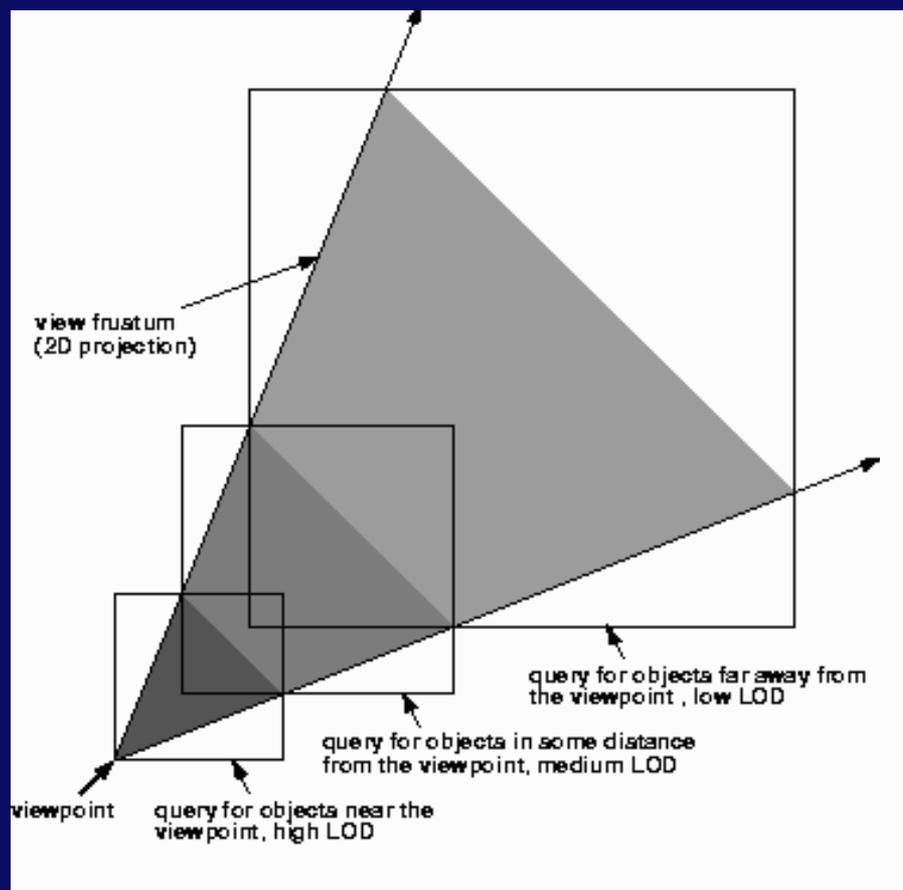
Livello di dettaglio



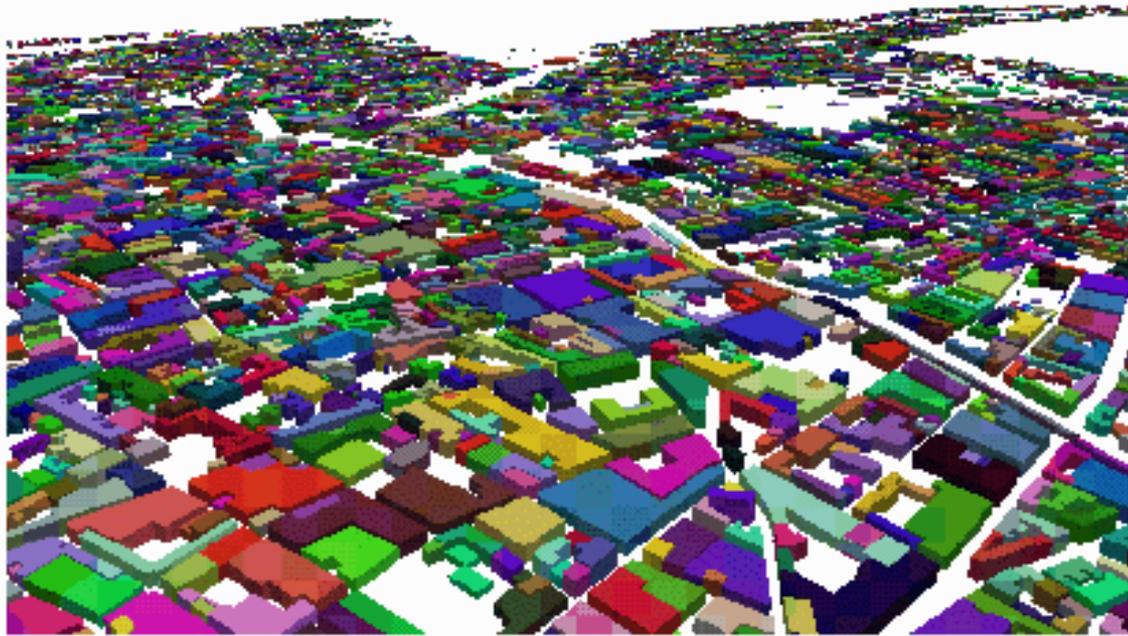
- Levels of detail (LOD)
 - Diverse rappresentazioni
 - Cambio la rappresentazione a seconda del punto di vista
 - Non visibile dall'utente

CityGML

Generazione automatica LOD



Generazione automatica LOD



Livelli di dettaglio - Edifici

- **LOD 0**

- Regionale, DTM 2.5D

- **LOD 1**

- Città, modello solido senza tetto

- **LOD 2**

- Città, modello solido + tetto + texturing

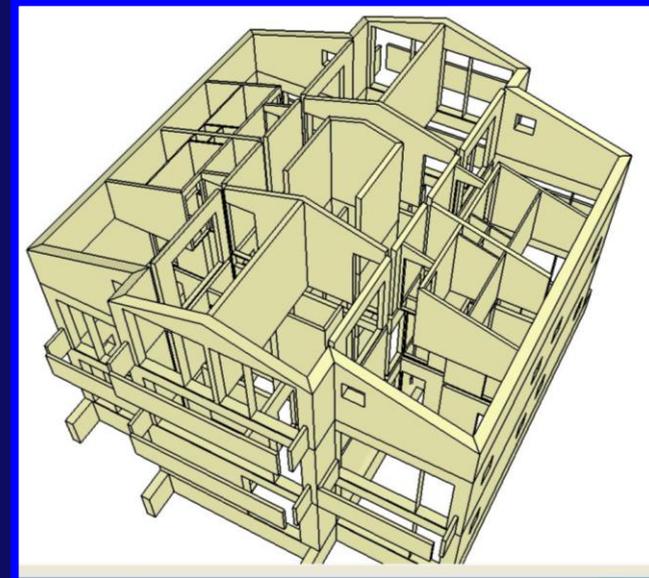
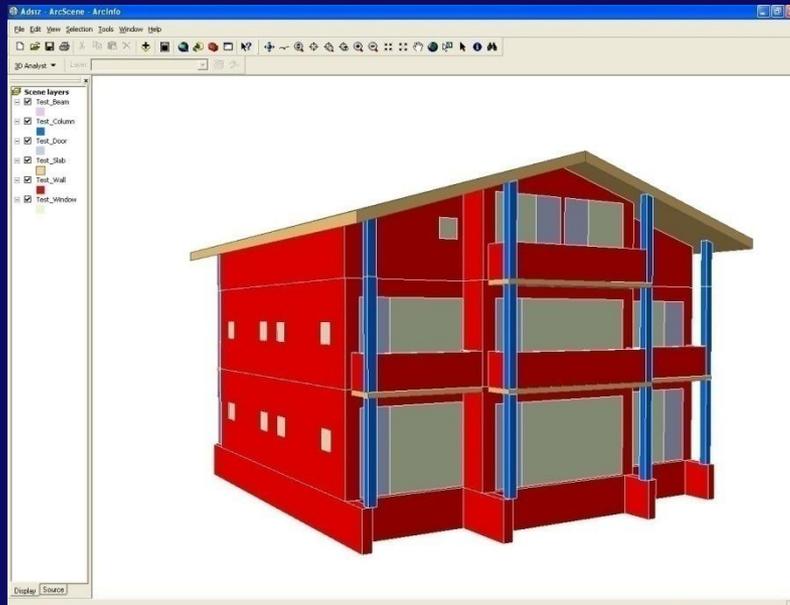
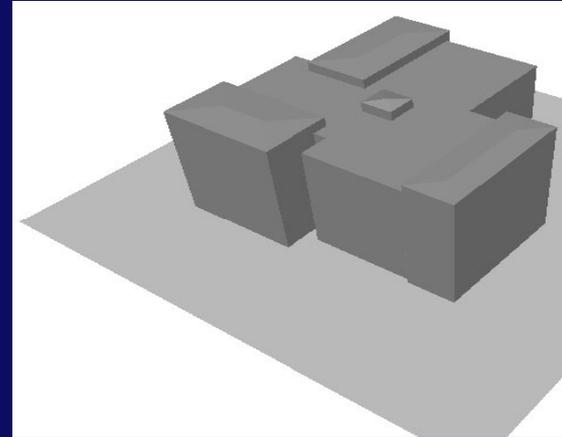
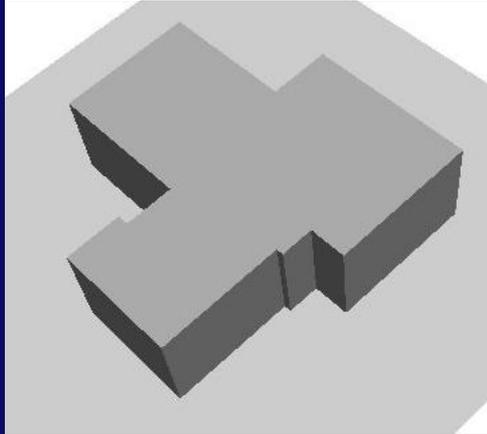
- **LOD 3**

- Città, modello architettonico

- **LOD 4**

- Interni, modello navigabile

CityGML – Livelli di dettaglio



Virtual reality - Realtà Virtuale

- La realtà virtuale è il modo in cui i movimenti dell'utente sono rilevati ed elaborati da un ambiente computerizzato per fornire la sensazione di essere immersi in un mondo simile a quello reale.
- **Modello di interazione**
 - Visualizzazione, click del mouse, animazione, navigazione, esplorazione

Realtà Virtuale

- **Non immersiva – Desktop VR**

- **Entry** → computer + mouse
- **Basic** → mouse 3D, joystick, power glove
- **Advanced** → acceleratori per la visione 3D

- **Immersiva**

- **Power glove, HMD, CAVE** → visualizzazione e manipolazione
- **Cockpit simulators** → piattaforme mobili

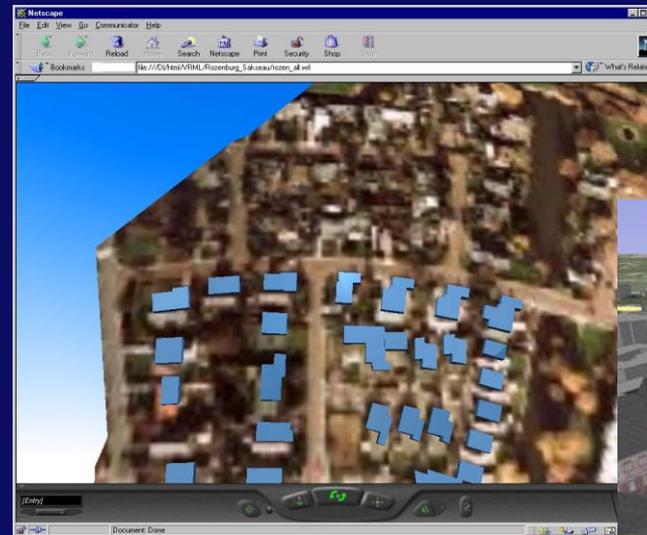
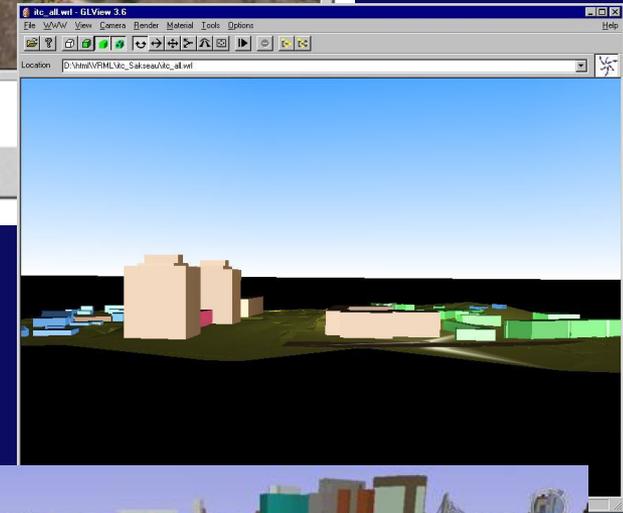
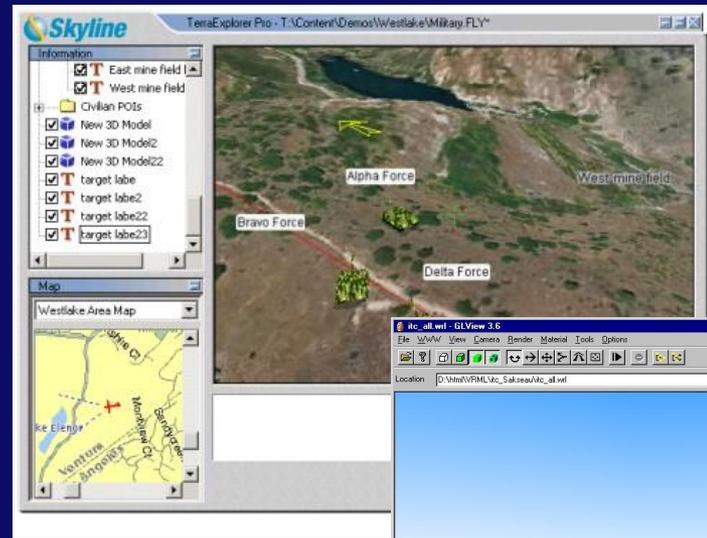
Desktop VR

- **Interazione**

- Flyover
- Walk
- Examine

- **Azioni**

- Click
- D'n'D



RE, MR, VE

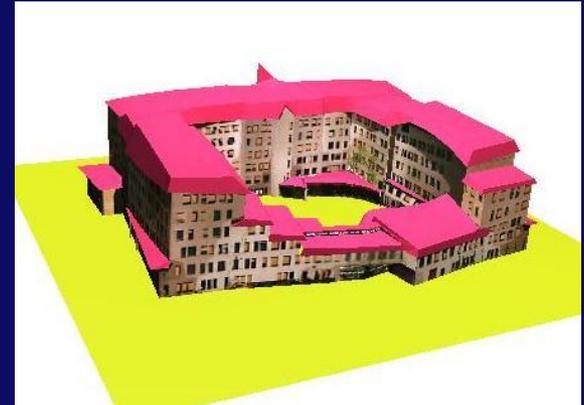
Mixed Reality

Real
Environment

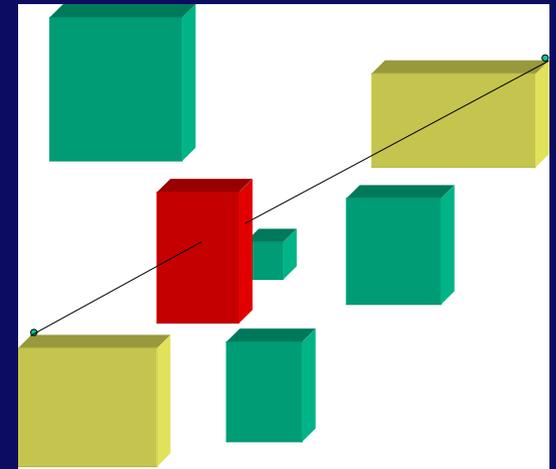
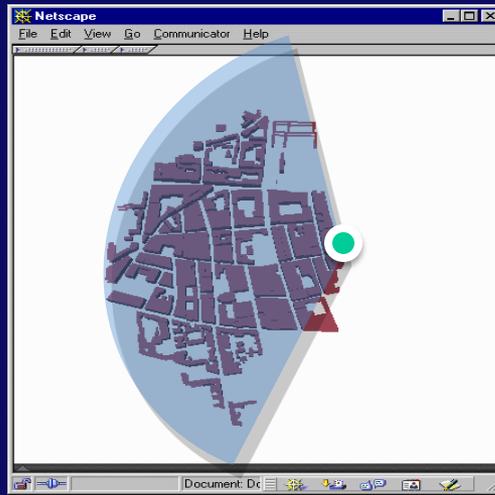
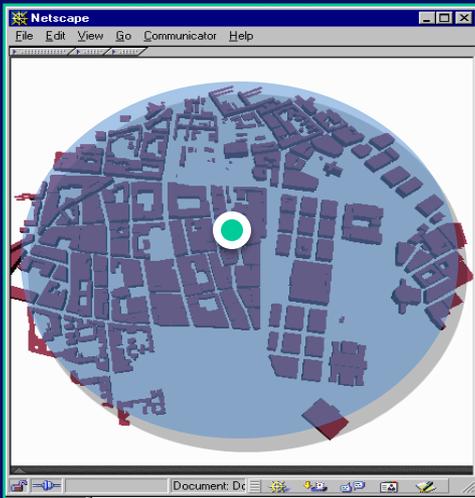
Augmented
Reality (AR)

Augmented
Virtuality (AV)

Virtual
Environment



Analisi spaziale 3D

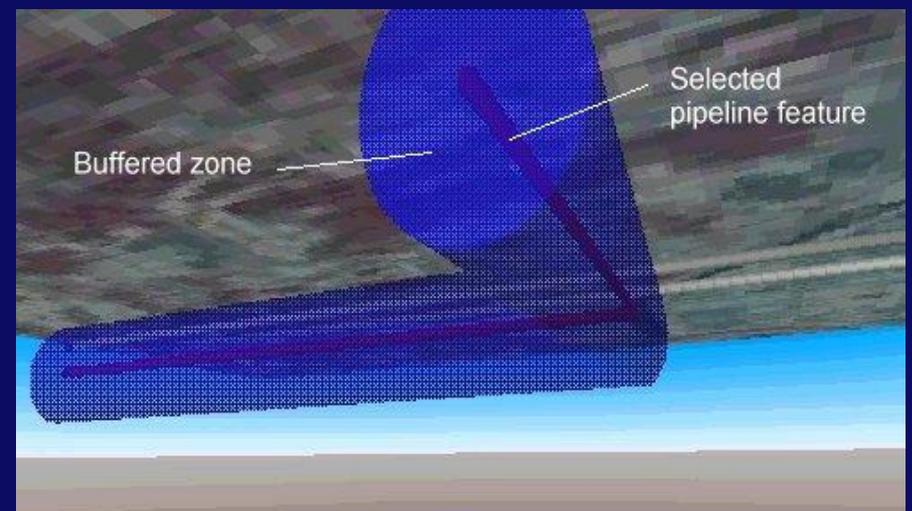
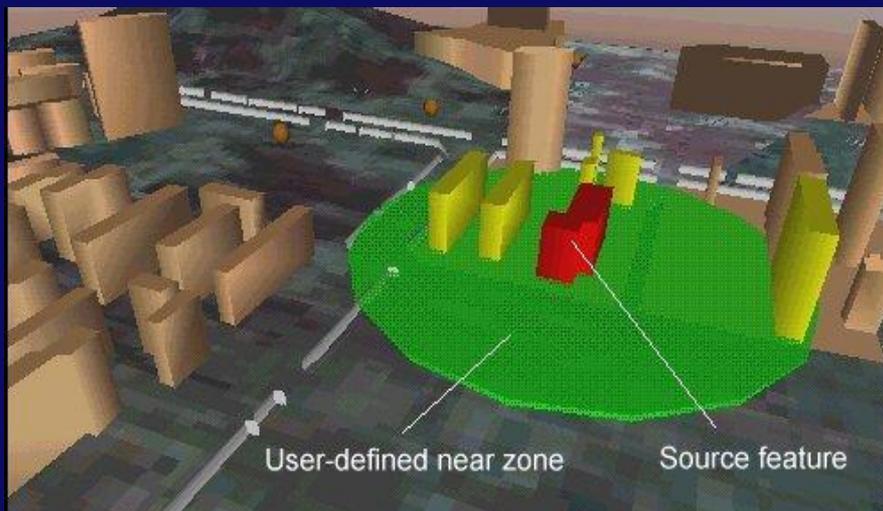
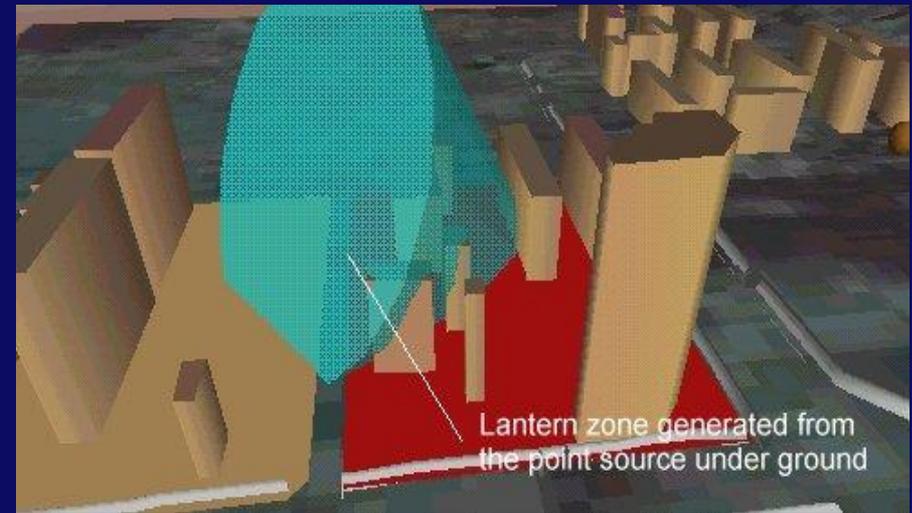


Distanza da un punto Punto di osservazione

Linee di visibilità

Analisi spaziale 3D / 2

- Buffer e proiezioni



Sistemi Informativi Territoriali

**Rappresentazione 3D e
Modelli**

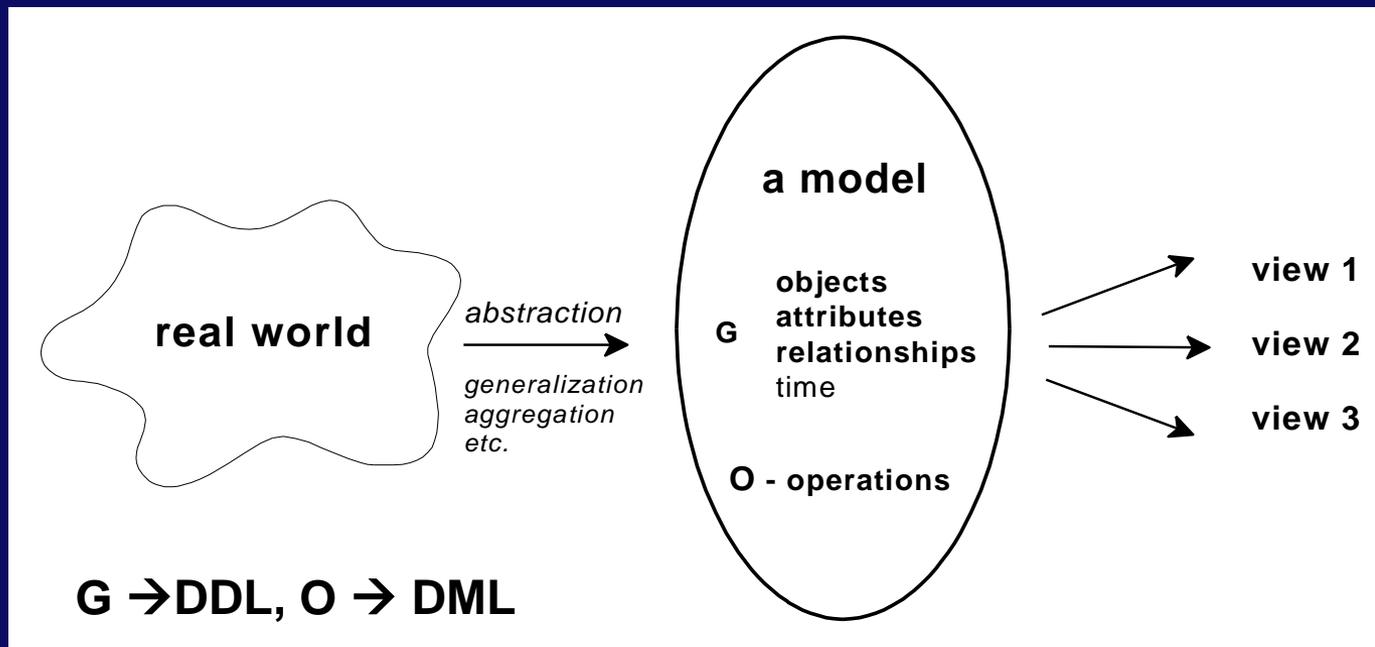
GIS

- **Dati**  **Raccolta** dati
Memorizzazione dati
 - **Software**
Analisi dei dati
Presentazione dei dati
 - **Hardware**
 - **Persone**
- Dati spaziali e non
Relazioni tra dati

Serve un **modello dei dati**

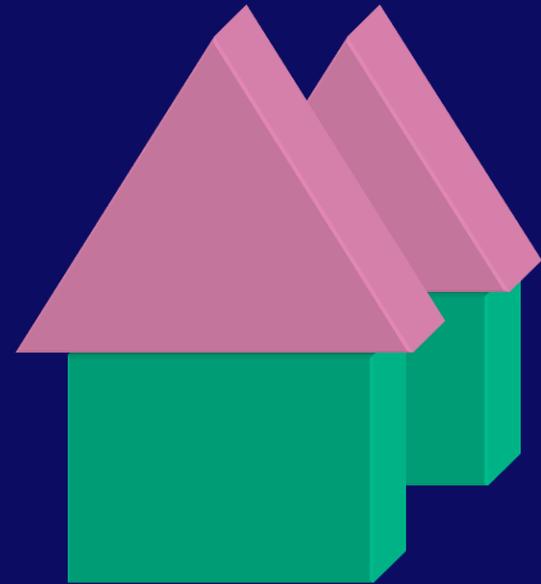
Modello dei dati

- Un modello è un'espressione semplificata della realtà, che evidenzia i dati rilevanti e trascura quelli non essenziali.



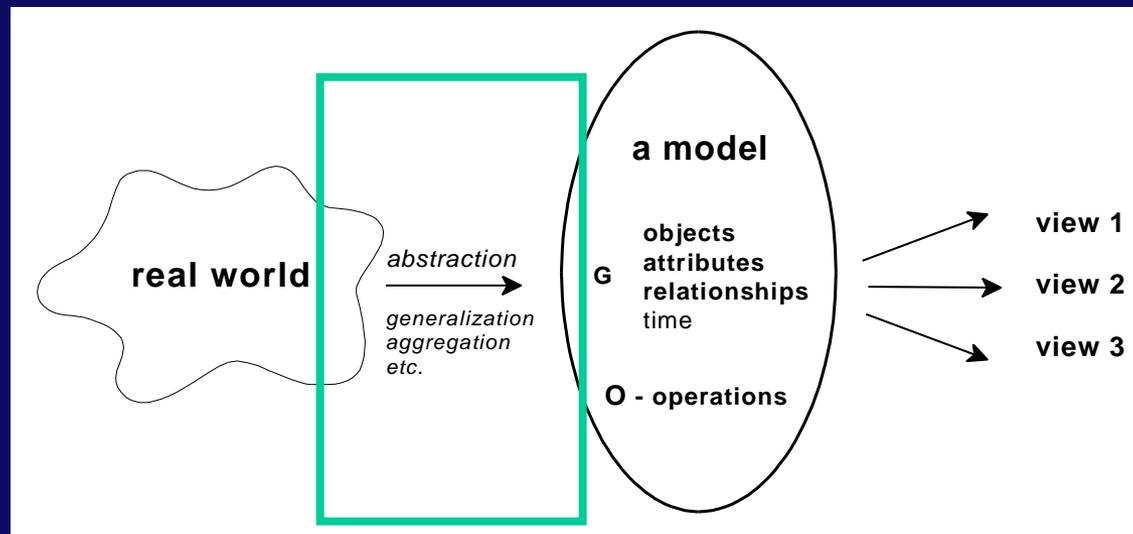
Modellazione 3D

- Dal mondo reale al modello 3D



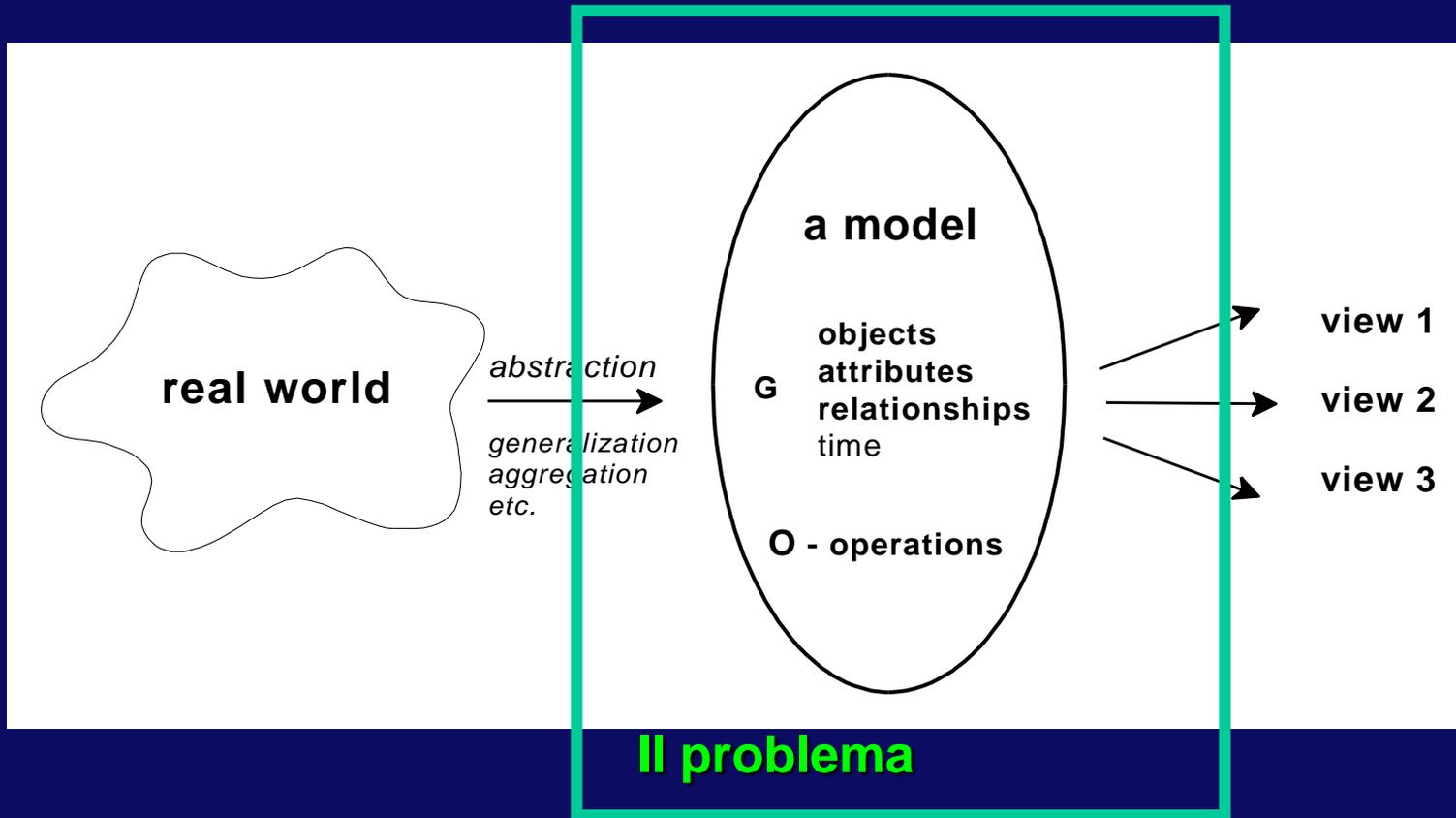
Modellazione 3D

- Servono
 - **Regole**: semplificazione, astrazione, generalizzazione, ...
 - **Modello**: modello GIS 3D universale?
 - **Operazioni**: possibili sul modello



Modellazione 3D

- La scelta del modello è problematica



Modellazione 3D: astrazioni

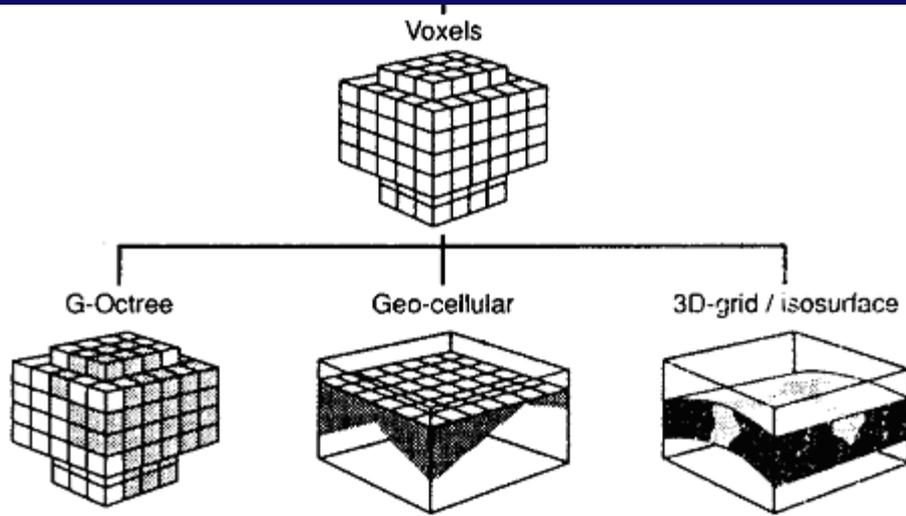
- **Oggetti**

- *Semplici*: 0D, 1D, 2D, 3D
- *Complessi*: combinazioni di oggetti semplici

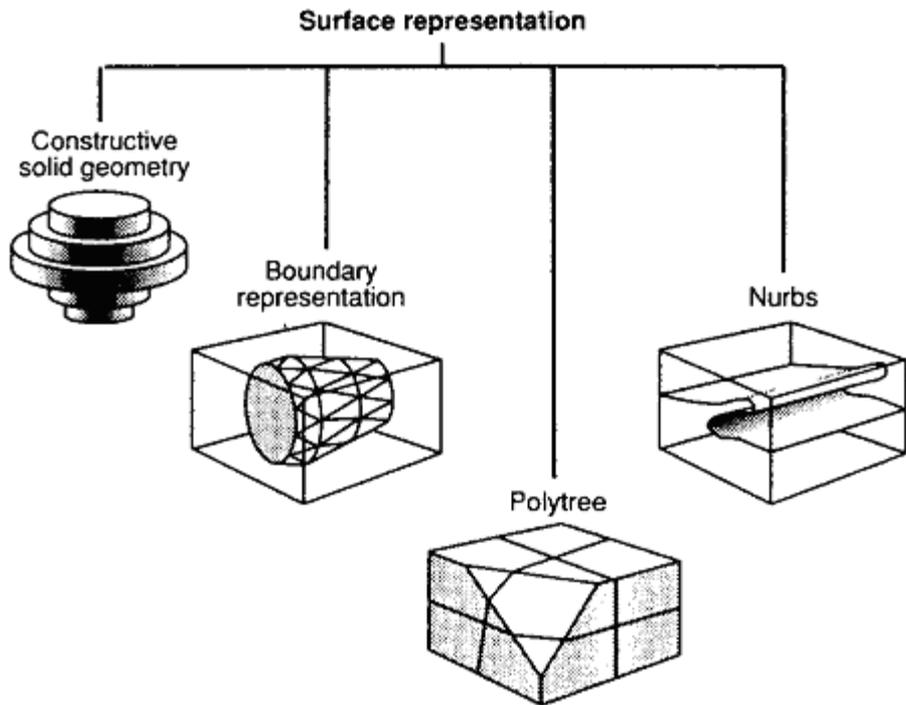
- **Primitive**

- Basate sulla **superficie**
 - Modellazione esteriore (skin modelling)
- Basate sul **volume**
 - Modellazione interiore (volume modelling)

Rappresentazione Volumetrica



Rappresentazione Superficiale

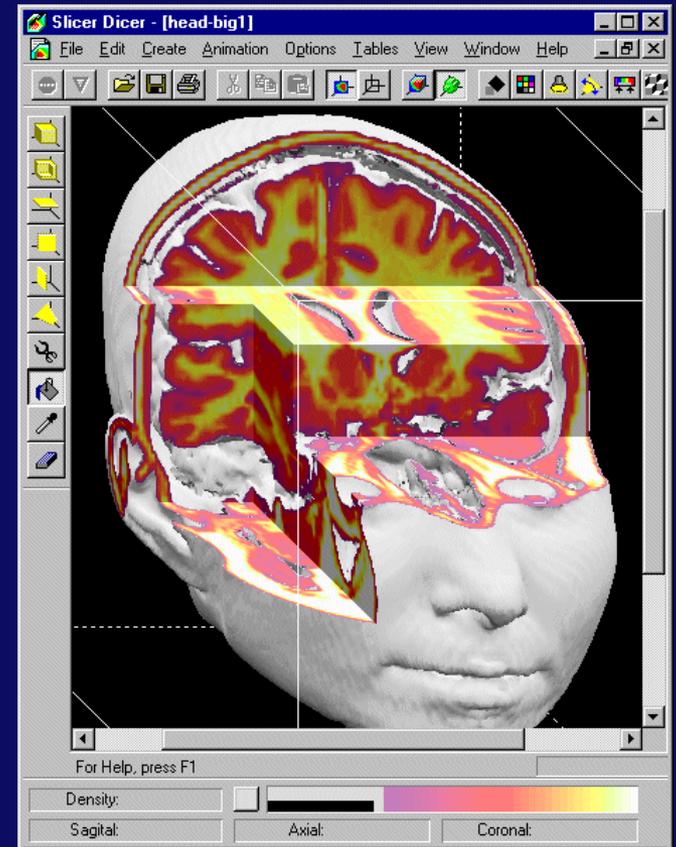
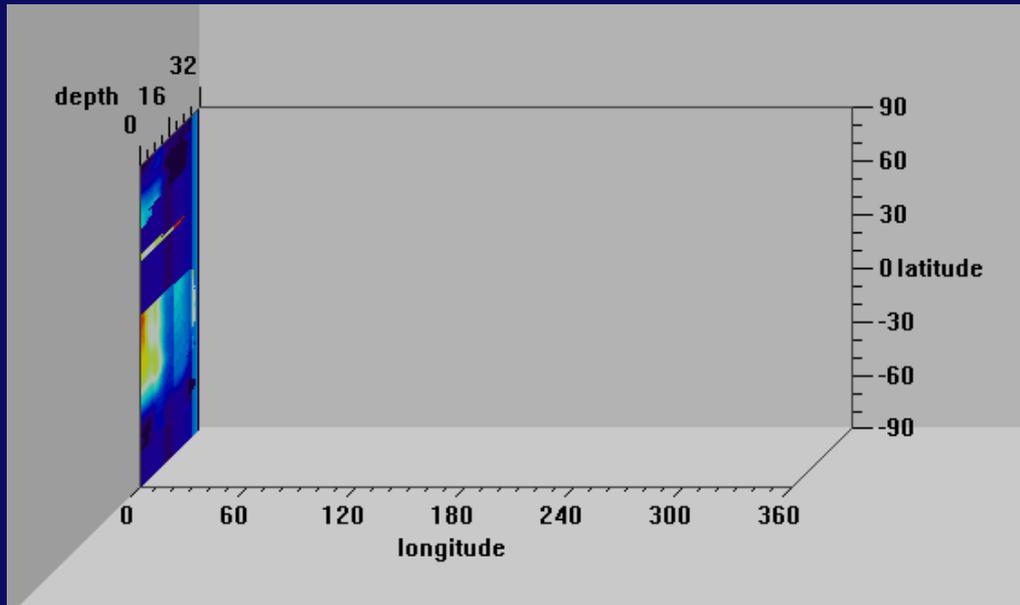


Rappresentazione basata sui Voxel

Caratteristiche:

- **Rappresentazione solida** (con applicazioni sulla rappresentazione della densità)
- Un **voxel** è un unità di volume (volume element – 3D pixel)
- Un **array 3D** cubico o sferico, contenente in ogni cella uno o più valori (booleano, reale).

Voxel - Esempi



Voxel – Vantaggi e svantaggi

- **Vantaggi**

- Modellazione di fenomeni continui
- Dati regolari
- Volume facilmente calcolabile

- **Svantaggi**

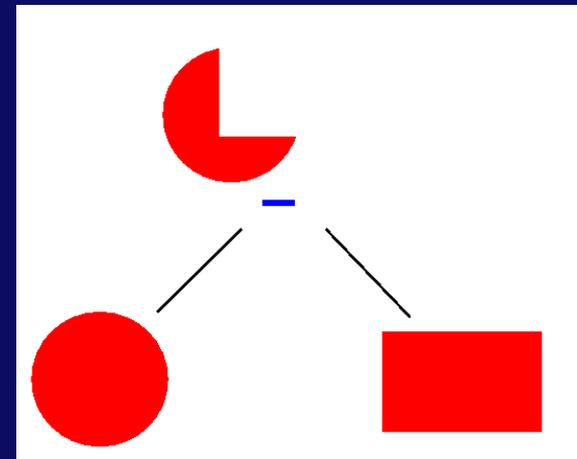
- Molti dati alle alte risoluzioni
- La superficie risulta sempre “rugosa”

CSG – Constructive Solid Geometry

- Rappresentazione con **solidi**

- **Insieme di operazioni**
applicabili alle primitive

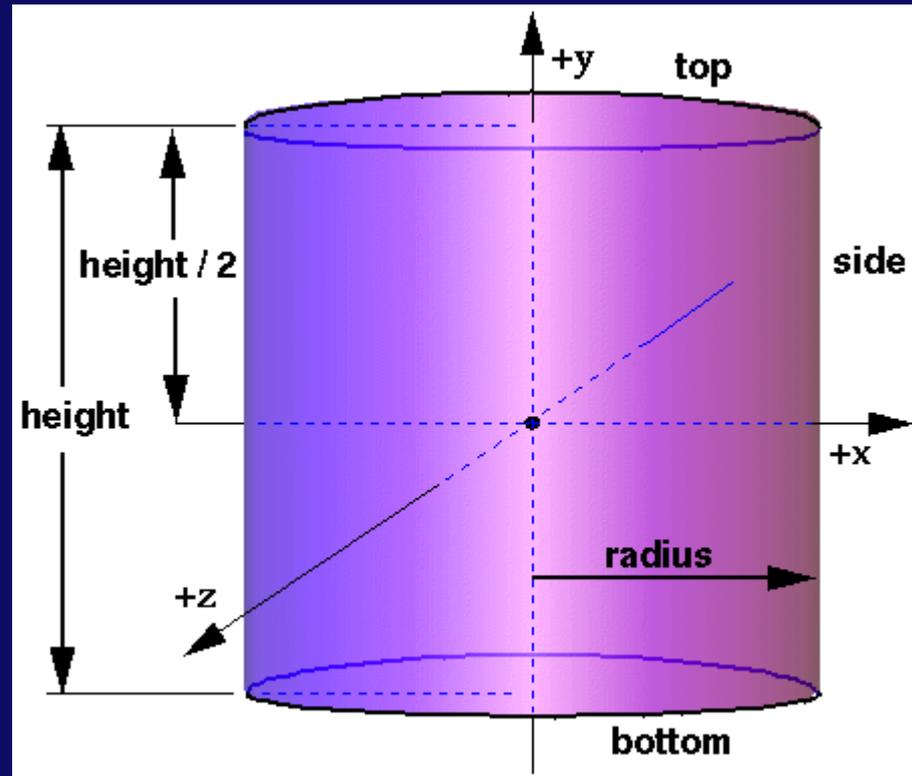
- Unione
- Intersezione
- Differenza



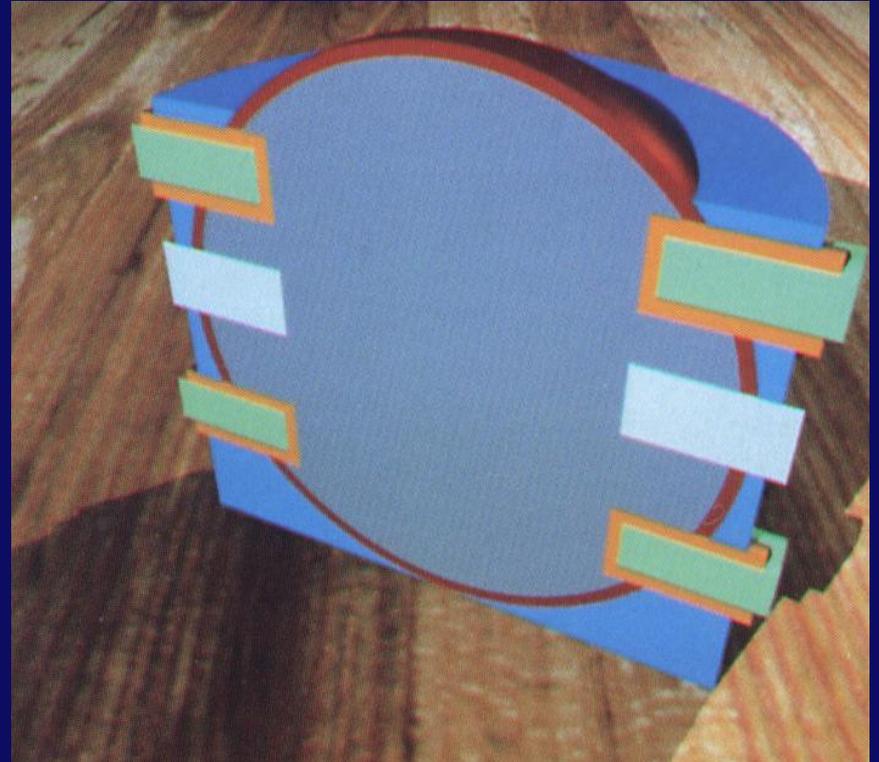
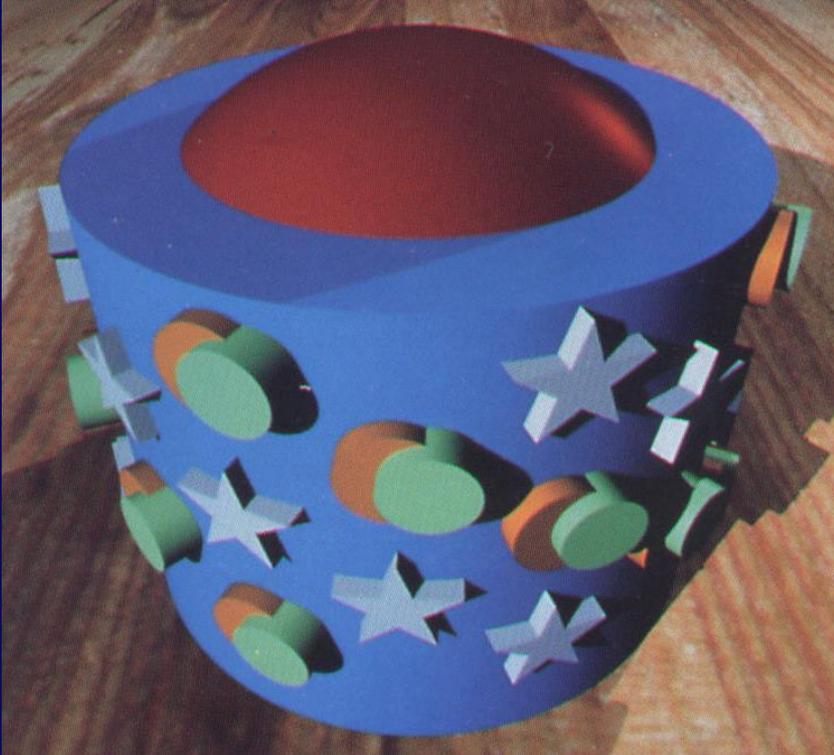
- Gli oggetti sono **alberi CSG** con operazioni nei nodi interni e primitive solide nelle foglie.

CSG - Primitive solide

- Sfere
- Cilindri
- Cubi
- Le primitive possono avere parametri variabili



CSG - Esempi



CSG – Vantaggi e Svantaggi

- **Vantaggi**

- Computer Aided Manufacturing: un blocco con un foro al centro rappresenta esattamente cosa creare.
- Volumi facilmente calcolabili.

- **Svantaggi**

- Relazioni tra oggetti spesso molto complesse.
- Gli oggetti del mondo reale possono diventare davvero complessi.

Boundary Representation

- Caratteristiche
 - Rappresentazione tramite **elementi di superficie** con minore complessità dimensionale (3D \rightarrow 2D).
 - **Collezione organizzata** di elementi a bassa complessità dimensionale.
 - Spazio per **B-Rep semplici** (facce piane e lati dritti) e per **B-Rep complesse** (superfici e lati curvilinei).



Nodo

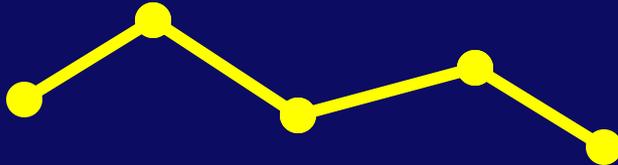
Punto

Vertice



Arco

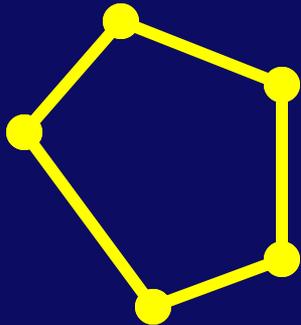
Lato



Path

Poli-linea

Arco



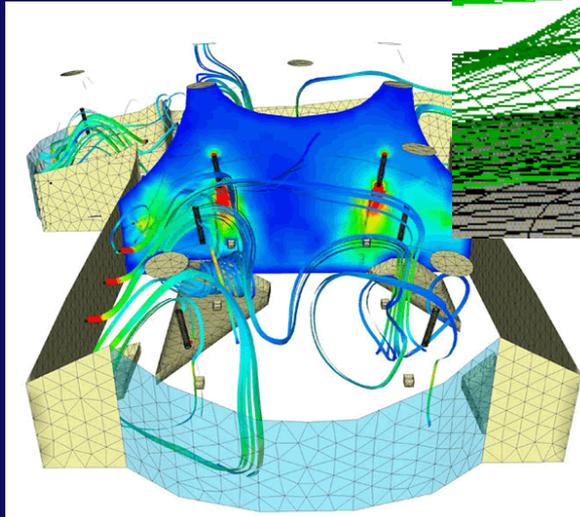
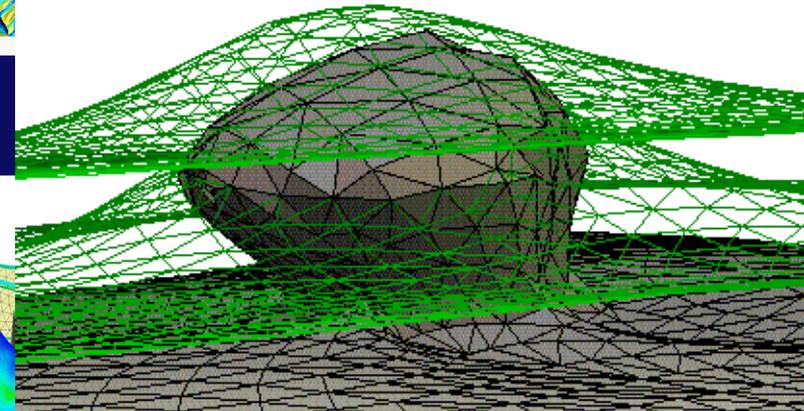
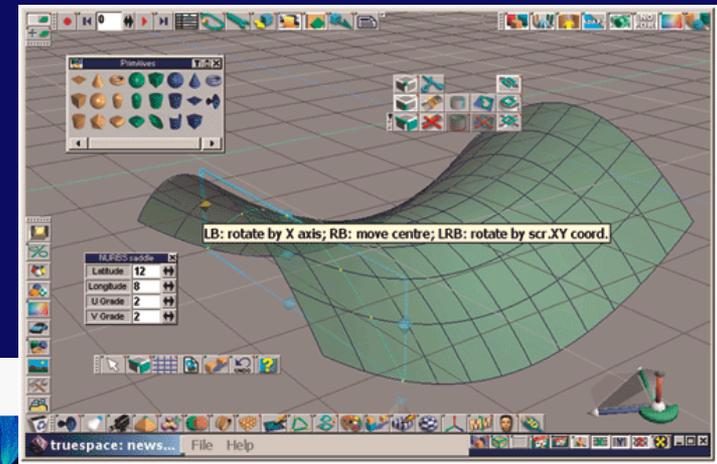
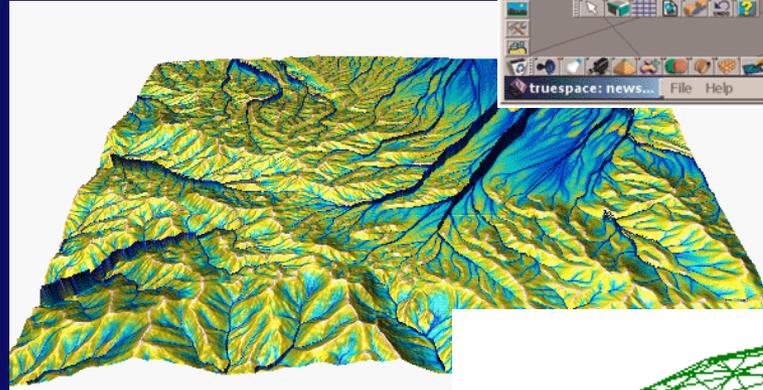
Poligono

Faccia

Area

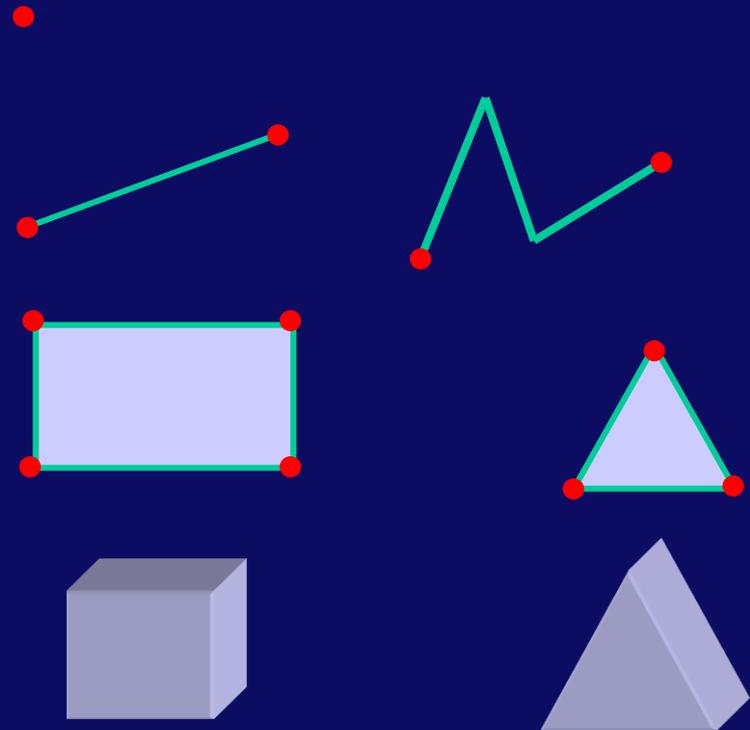
Superfici 3D

- Reticoli 2.5D
- Funzioni parametriche e forme libere.
- Triangolazioni



Boundary representation

- 0D, punti
- 1D, linee
- 2D, superfici
- 3D, superfici chiuse



B-Rep, vantaggi e svantaggi

- **Vantaggi**

- Adatta agli oggetti del mondo reale: misura caratteristiche visibili (limiti).
- Le primitive della B-Rep sono solitamente utilizzate dai motori di rendering.

- **Svantaggi**

- Rappresentazione dei limiti non univoca.
- I vincoli possono diventare molto complessi

B-Rep – Vincoli

- **Primitive**

- **0D**: intersezione (ogni punto con le sue coordinate), vicini
- **1D**: memorizzazione, linee dritte (o curve), ordine, vicini
- **2D**: planarità, numero di punti (archi), ordine, vicini
- **3D**: superfici aperte o chiuse, vicini

I problemi del GIS 3D

- I dati spaziali 3D sono molto più complessi che i dati spaziali 2D.
- Modelli spaziali 3D
- Indicizzazione spaziale 3D
- Operatori spaziali 3D

Tipi di modelli spaziali 3D

- **Topologici** – da cui derivare la geometria
 - Oggetti espliciti: FDS, TEN, SSS
 - Relazioni esplicite: Cell Tuple
- **Geometrici** – da cui derivare la topologia
- **Sia topologici che geometrici** – specifiche OpenGIS

Esempio di modello topologico

Nodo 1: 0, 0, 0

Nodo 2: 1, 0, 0

Nodo 7: 1, 0, 1

Nodo 6: 0, 0, 1

Arco 1: n1, n2

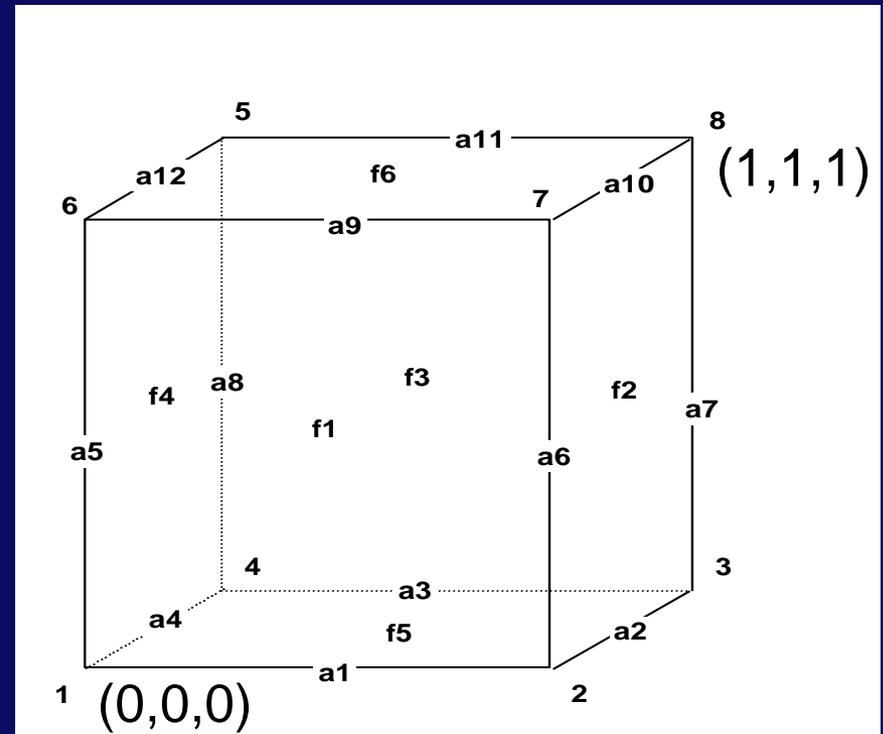
Arco 6: n2,n6

Arco 9: n7,n6

Arco 5: n6,n1

Faccia 1: a1, a6, a9, a5

Faccia 2: a2, a7, a10, a6



Trovare l'arco comune alla faccia f1 e f2

→ $f1.a6 = f2.a6$

Esempio di modello geometrico

vertice 1: $(0,0,0)$

...

lato 1: $(0,0,0, 1,0,0)$

...

poligono 1:

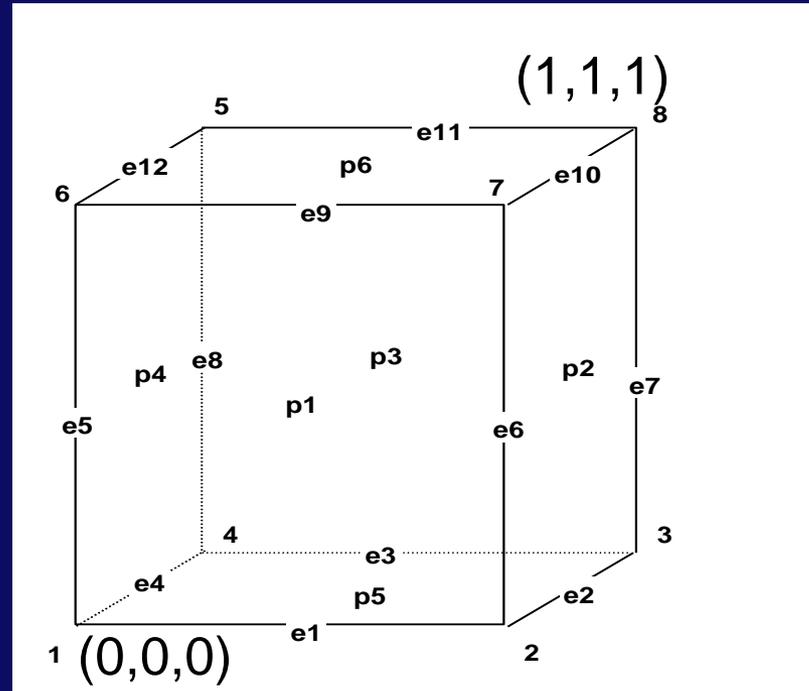
$(0,0,0,1,0,0,$

$1,0,1,0,0,1)$

poligono 2:

$(1,0,0, 1,1,0,$

$1,1,1, 1,0,1)$



- Trovare l'arco comune a p1 e p2:

$p1.(x) = p2.(x)$ and $p1.(y)=p2.(y)$ and $p1.(z)=p2.(z)$ and
 $p1.(x) = p2.(x)$ and $p1.(y)=p2.(y)$ and $p1.(z)=p2.(z)$

Modello topologico vs geometrico

- **Vantaggi del modello topologico**

- Evita la ridondanza
- Mantiene la consistenza
- Facilita l'uso di operatori complessi.

- **Vantaggi del modello geometrico**

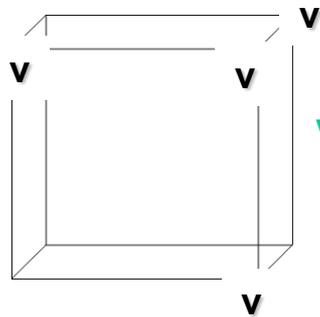
- Accesso diretto alle coordinate (operazioni metriche)
- Facilita l'individuazione degli elementi (indexing)

Modelli topologici

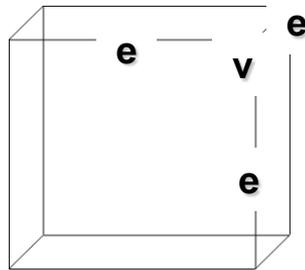
- **Costruiti sulla base dei principi di topologia**
 - Invarianti alla rotazione, scalatura, traslazione
- **Mantengono le relazioni spaziali**
 - Consist of, part of, inside
- **Fanno uso di relazioni costanti**
 - Un arco consiste di 2 nodi
 - Un arco possiede faccia destra e sinistra (2D)
 - Una faccia possiede corpo destro e sinistro (3D)
- **Coordinate assegnate ai punti**

Relazioni topologiche

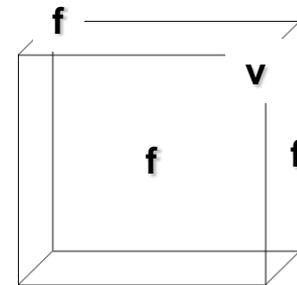
V- vertices, E – edges, F- faces



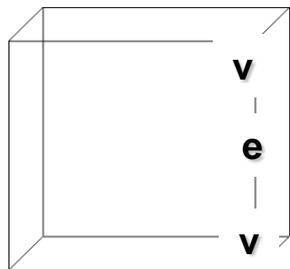
$V:\{V\}$



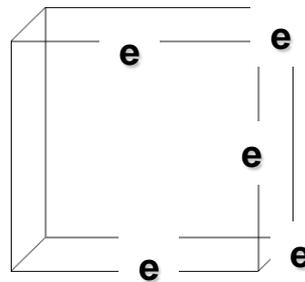
$V:\{E\}$



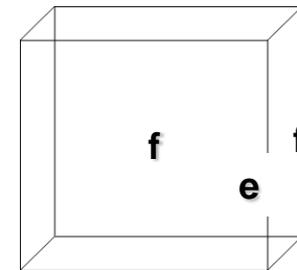
$V:\{F\}$



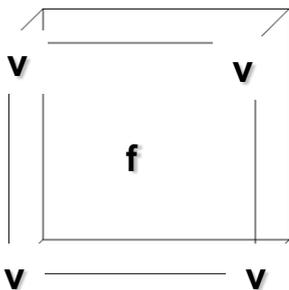
$E:\{V\}$



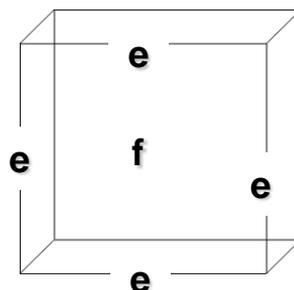
$E:\{E\}$



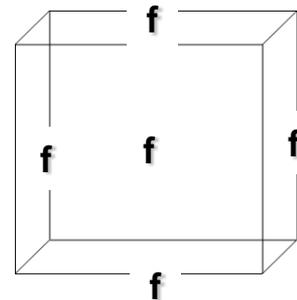
$E:\{F\}$



$F:\{V\}$



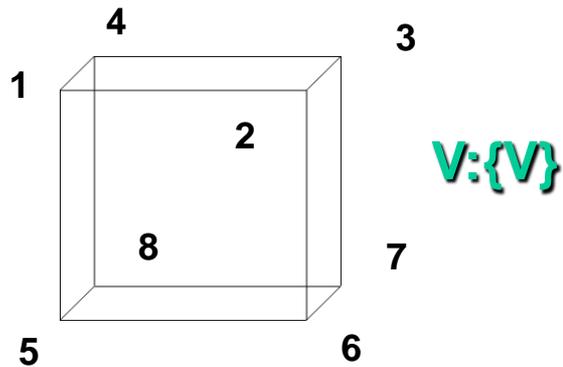
$F:\{E\}$



$F:\{F\}$

Relazioni topologiche

V- vertices, E – edges, F- faces

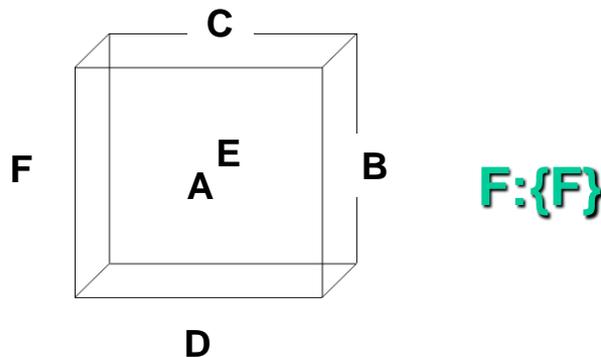


	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0	1	0	0
3	0	1	0	1	0	0	1	0
4	1	0	1	0	0	0	0	1
5	1	0	0	0	0	1	0	1
6	0	1	0	0	1	0	1	0
7	0	0	1	0	0	1	0	1
8	0	0	0	1	1	0	1	0

Matrice di
connettività

1 = relazione

0 = nessuna relazione



	A	B	C	D	E	F
A	0	1	1	1	0	1
B	1	0	1	1	1	0
C	1	1	0	0	1	1
D	1	1	0	0	1	1
E	0	1	1	1	0	1
F	1	0	1	1	1	0

Modelli GIS

- Mantengono le **relazioni tra oggetti** diversi
 - La relazione lato – faccia è 1:m in 3D
- **Strutture memorizzabili** in un database (sul disco)
- **Aggiornamento consistente**
- **Analisi spaziale** complessa

Modelli topologici

- **Manutenzione esplicita degli oggetti**
 - Numero limitato di relazioni
 - Tutte le altre devono essere derivate
- **Manutenzione esplicita delle relazioni**
 - La descrizione degli oggetti deve essere derivata dal modello

Modellazione degli ambienti urbani – CityGML

Modellazione degli scenari urbani

- Non si tratta della semplice visualizzazione in tre dimensioni della realtà.
- La geometria e l'aspetto esteriore sono solo **uno degli aspetti** di un'entità.
- Ci si sta orientando **verso la modellazione semantica**.

Modellazione degli scenari urbani

- **Cambio del paradigma alla base**
 - Dai modelli puramente geometrici / grafici
 - Alla rappresentazione di oggetti ben definiti
 - Proprietà
 - Strutture
 - Relazioni
- Numerose applicazioni **oltre la visualizzazione tridimensionale** dei modelli.

CityGML

- **Modello informativo geospaziale indipendente dall'applicazione** per la rappresentazione 3D di città e scenari.
 - Comprende diverse aree tematiche
 - Edifici, vegetazione, idrografia, territorio, traffico, ...
 - Modello dati UML secondo standard ISO 191xx
 - Utilizza elementi geometrici di GML 3
 - Standard OGC

CityGML / 2

- CityGML può rappresentare
 - Geometria 3D
 - Topologia 3D
 - Semantica
 - Apparenza
- Cinque scale discrete
 - livelli di dettaglio (LOD)

CityGML / 3

- CityGML è stato sottoposto all'attenzione di **Open Geospatial Consortium** a fine 2004.
- Gestito dal 3D Information Modelling Working Group (**3DIM WG**)
- Standard OGC dal fine agosto del 2008.
 - Si sta già lavorando alle versioni 1.1 e 2.0.

Obiettivi di CityGML

- Stabilire un altro grado di **interoperabilità semantica** (e sintattica)
 - Consentendo l'utilizzo multifunzionale dei modelli
 - Definendo un modello informativo comune
 - Fornendo una base di dati geospaziali 3D
- Rappresentazione della **topologia 3D**
 - Forme 3D esplicite (superfici e volumi)
 - Identificazione dei tipi di feature più rilevanti, utilizzabili in una grande varietà di applicazioni.

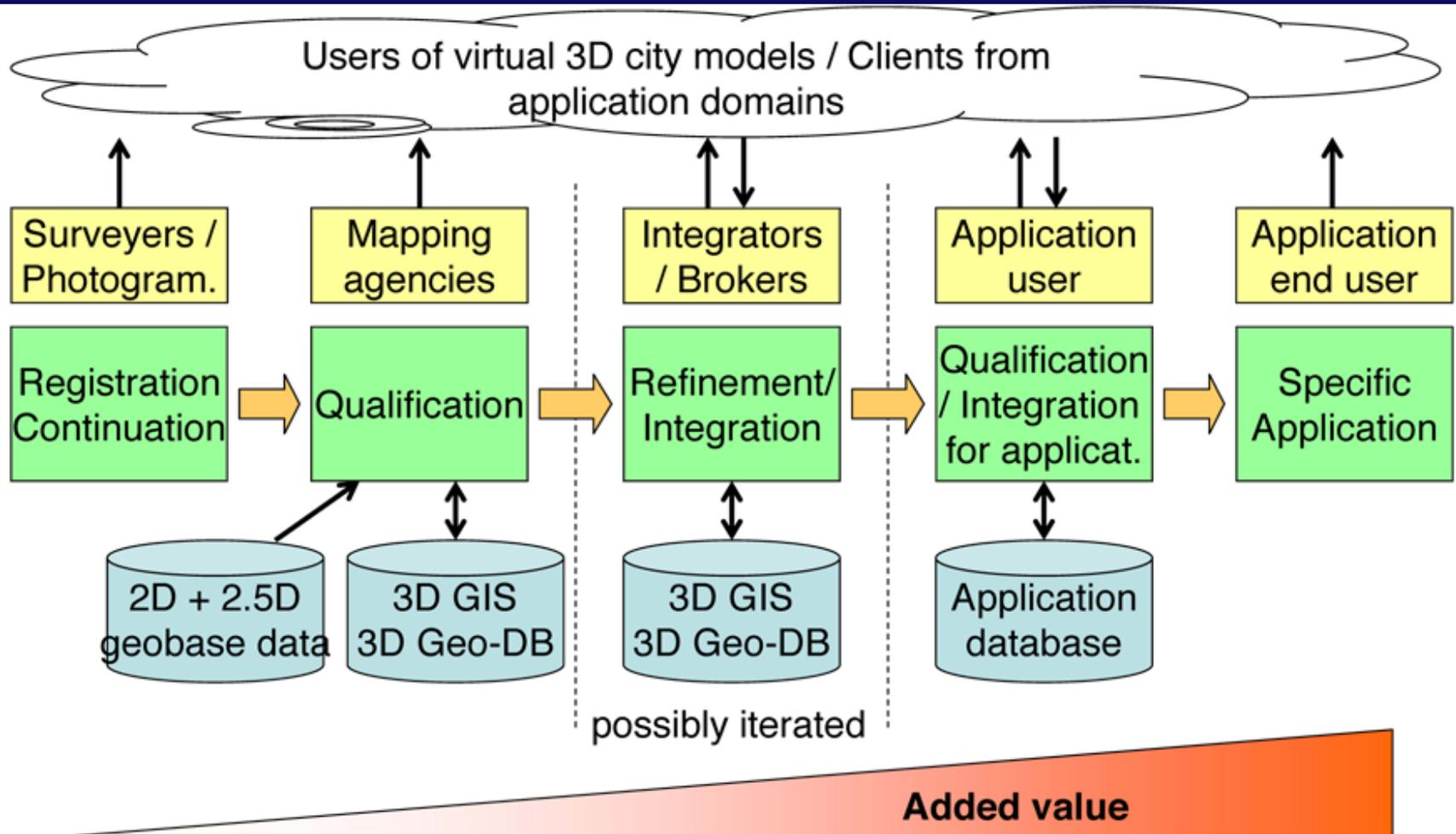
Obiettivi di CityGML / 2

- Adattabile ad infrastrutture per dati spaziali
 - Mapping nel formato di scambio GML 3
 - Alto grado di espressività
 - Utilizzabile con i Web Service OGC
 - Possibilità di collegare ogni elemento di CityGML a modelli funzionali / fonti dati esterne più specializzate.

Obiettivi di CityGML / 3

- **Semplice da utilizzare** per le applicazioni
 - Semantica ben definita ma non troppo granulare
 - Subset di geometrie di GML3
 - Boundary representation con coordinate assolute
 - Gestibile direttamente da database geospaziali 3D

CityGML lungo il workflow



Problemi del workflow operativo

- **Diverse qualità dei modelli 3D** lungo la catena
 - Gradi di accuratezza diversi per geometria, topologia e apparenza.
 - Da semplici oggetti strutturati a modelli applicativi complessi.
- **Cambi di modello dei dati e di formato** lungo i vari passi
 - Perdita di dati per via dell'espressività limitata di modelli e formati
 - Difficoltà nella preservazione dell'identità degli oggetti

Problemi del workflow operativo / 2

- **Mancanza di collegamenti / riferimenti ai dati originali del processo precedente**
 - Problemi nella fase di aggiornamento e prosecuzione.
- **CityGML può essere utilizzato lungo tutta la catena operativa.**

Vantaggi dell'uso di GML 3

- **Orientamento agli oggetti**

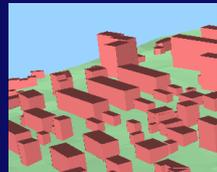
- Facilita la modellazione semantica
- In contrasto ai modelli geometrici puri
- Oggetti identificabili (con ID)
- Proprietà spaziali e non
- Gerarchie di specializzazione
- Gerarchie di aggregazione
- Associazioni tra oggetti (relazioni)

- Utilizzo misto di sistemi di riferimento spaziali **(SRID) diversi** nello stesso dataset

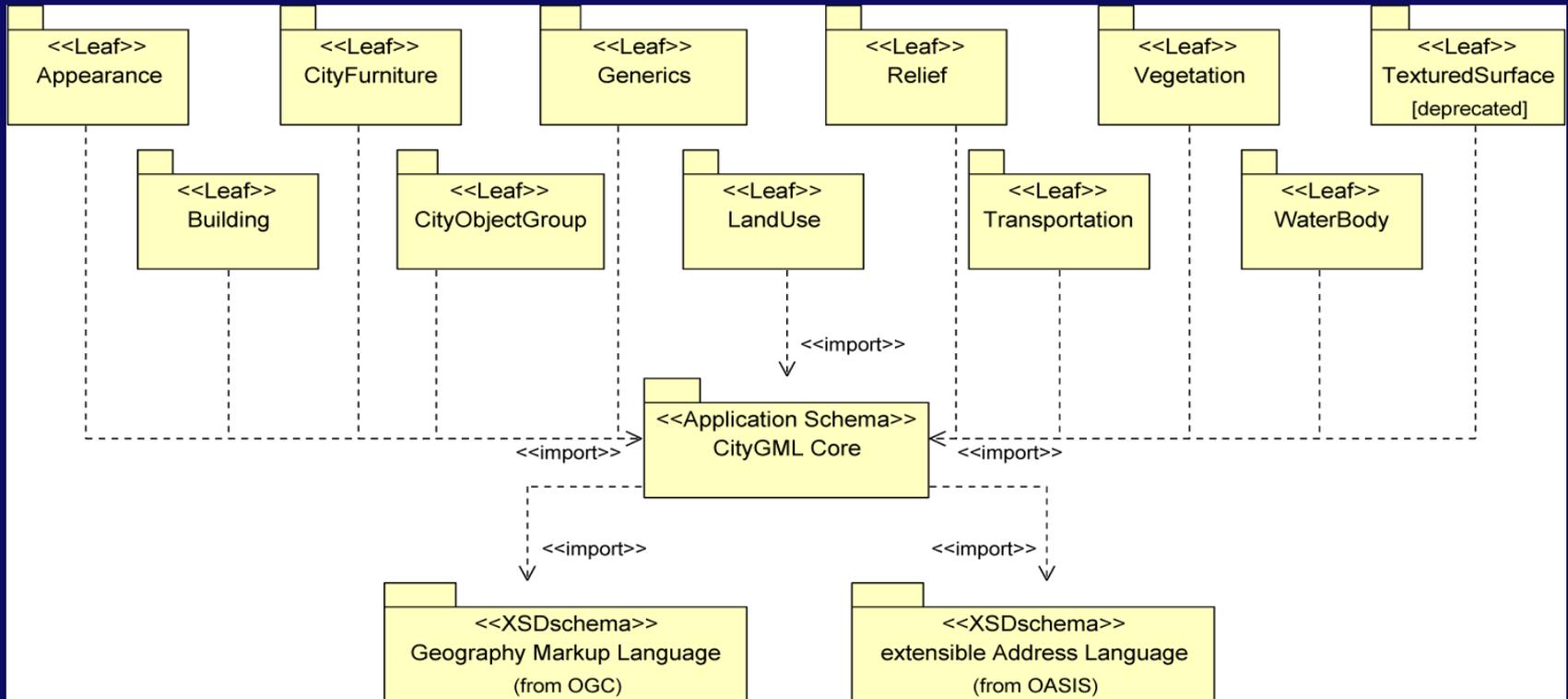
- **Basato su XML**

Modellazione multi-scala

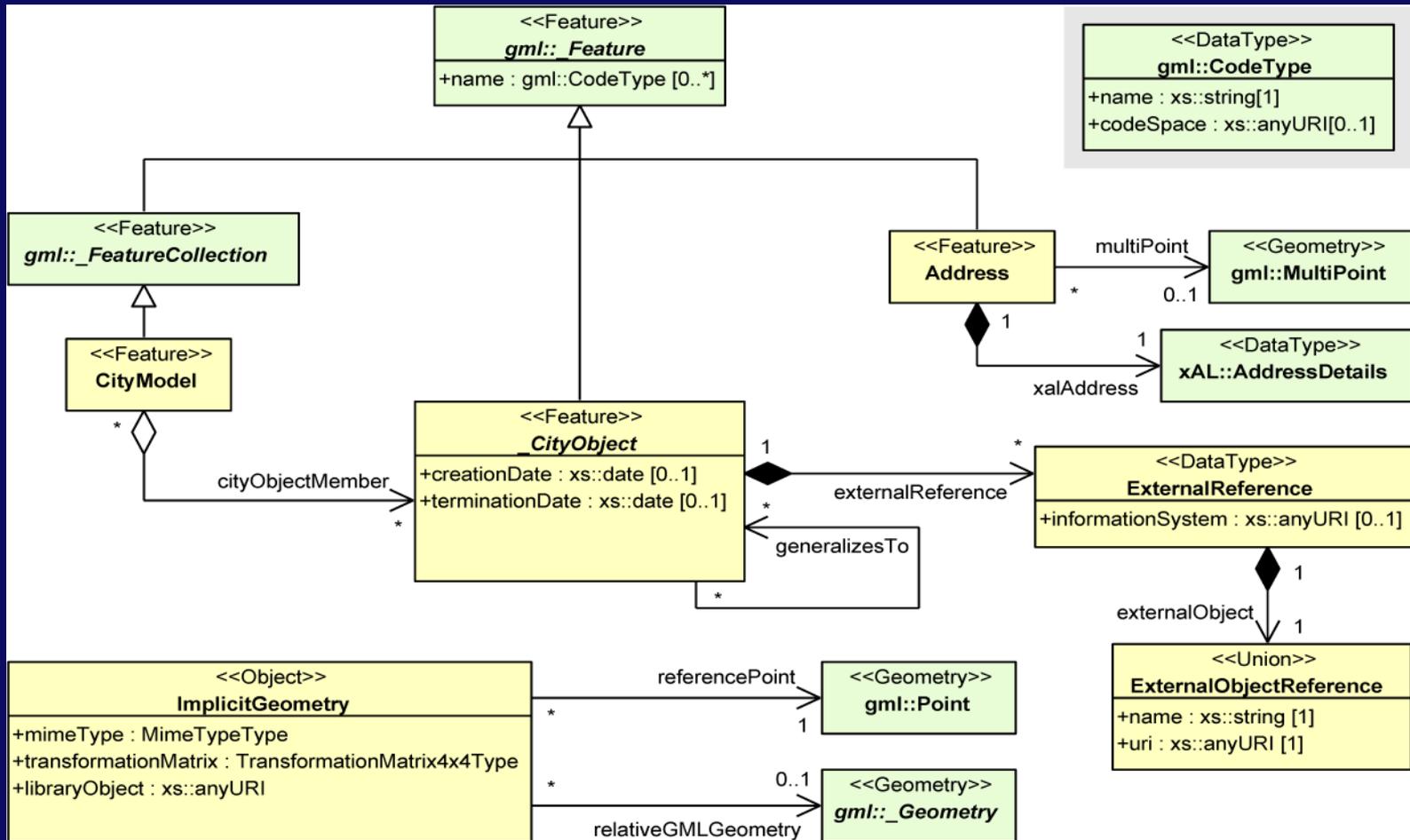
- LOD 0 – Modello regionale
 - 2.5D DTM
- LOD 1 – Modello cittadino / sito
 - Modello solido senza tetti
- LOD 2 – Modello cittadino / sito
 - Texturizzato, strutture del tetto differenziate
- LOD 3 – Modello cittadino / sito
 - Modello architettonico dettagliato
- LOD 4 – Modello degli interni
 - Modelli architettonici “camminabili”



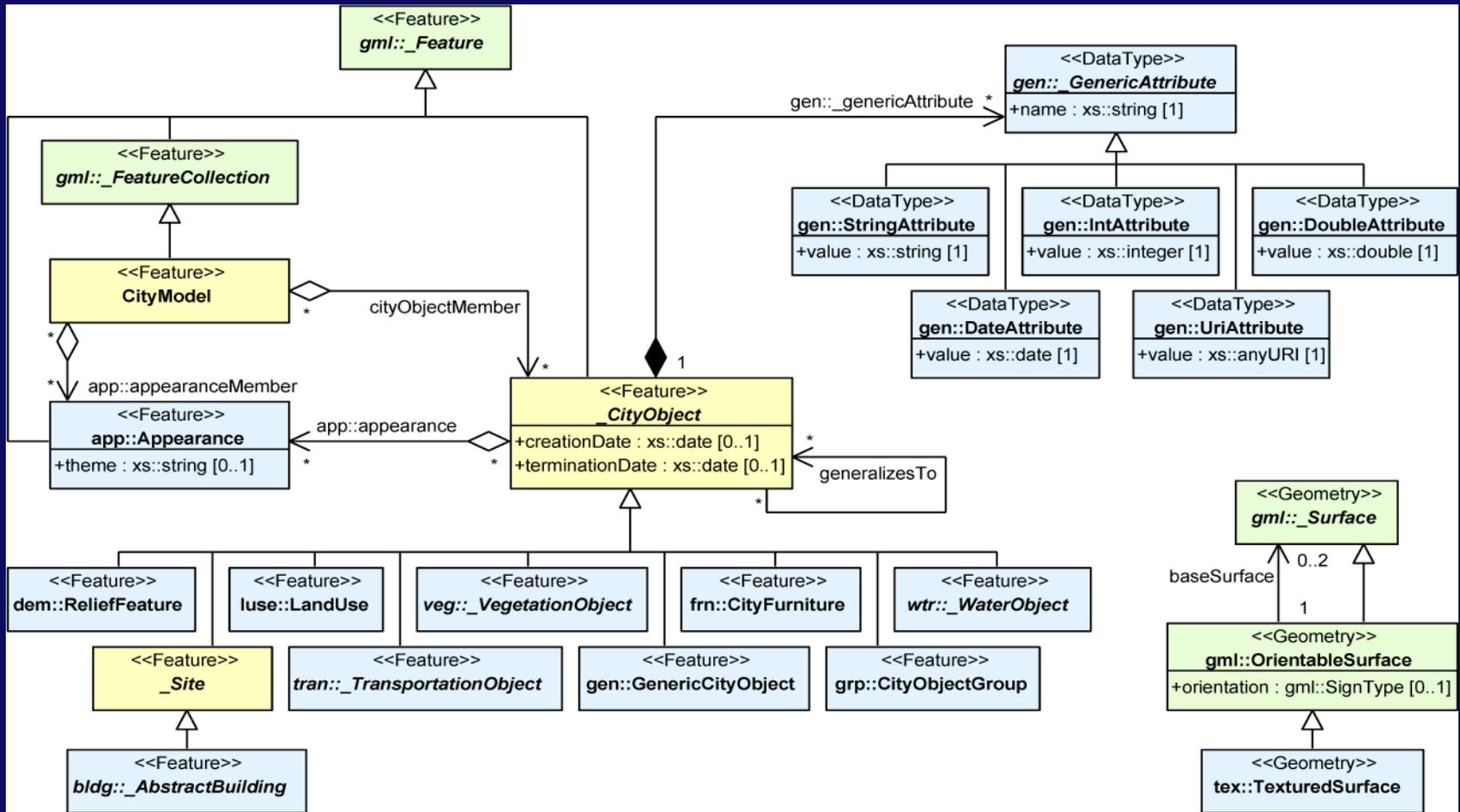
Modellazione tematica



CityGML core



CityGML core / 2



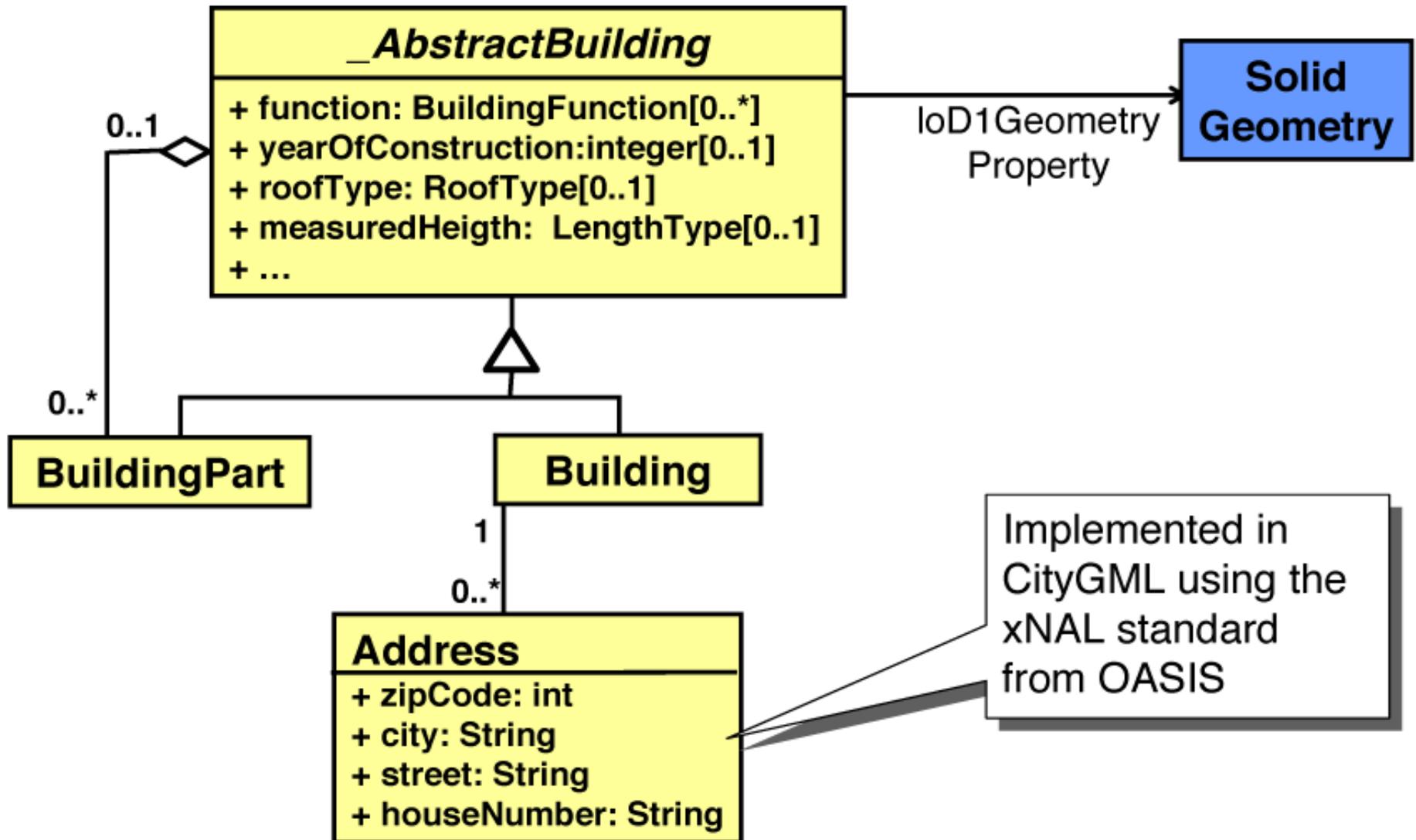
Building Model

- **Aggregazione coerente di componenti spaziali e semantiche**
 - Composizione ricorsiva di parti dell'edificio
 - Superfici tematiche (tetto, parete, pavimento, ...)
 - Elementi dell'edificio (scale, balconi, terrazzi, ...)
 - Aperture (porte, finestre) (LOD 3)
 - Stanze (LOD 4)
 - Arredo e interni (LOD 4)

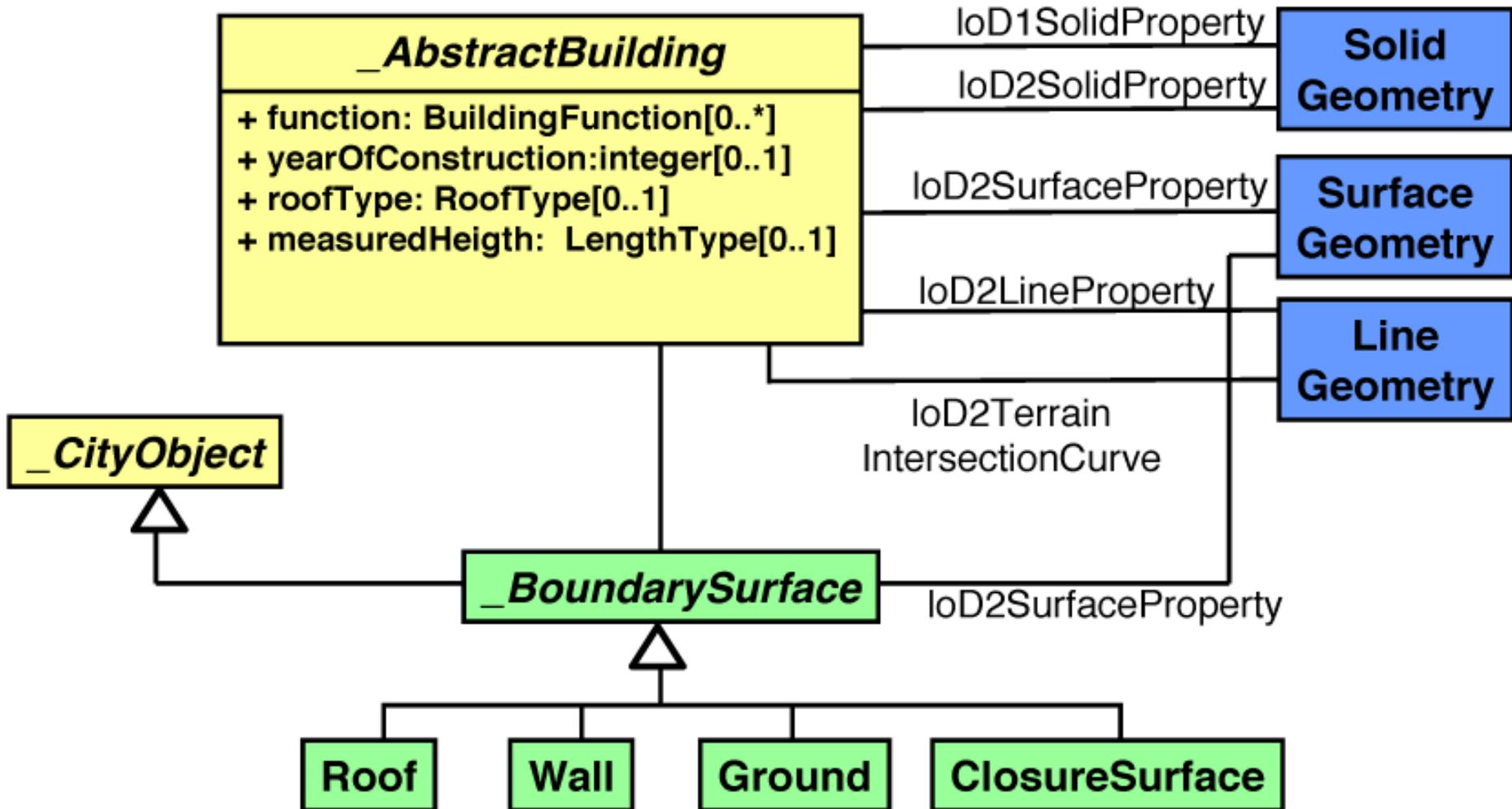
Building model / 2

- I componenti contengono **attributi tematici**
 - Nome, classe, funzione, utilizzo
 - Date di costruzione e demolizione
 - Tipo di tetto ed indirizzo
 - Numero di piani
 - Sopra elevati
 - Interrati
 - Altezza dei piani

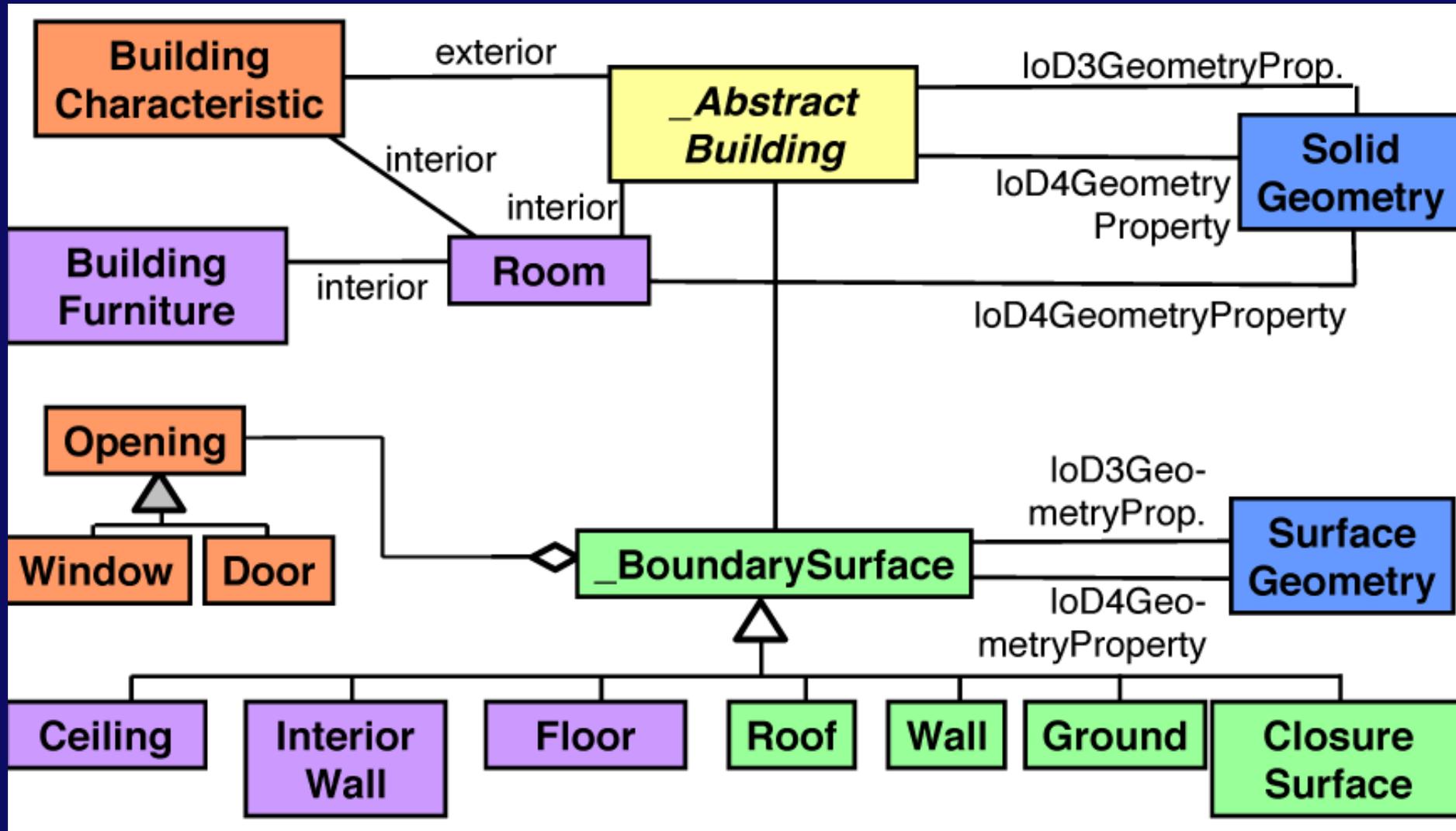
Building model – LOD 1



Building model – LOD 2

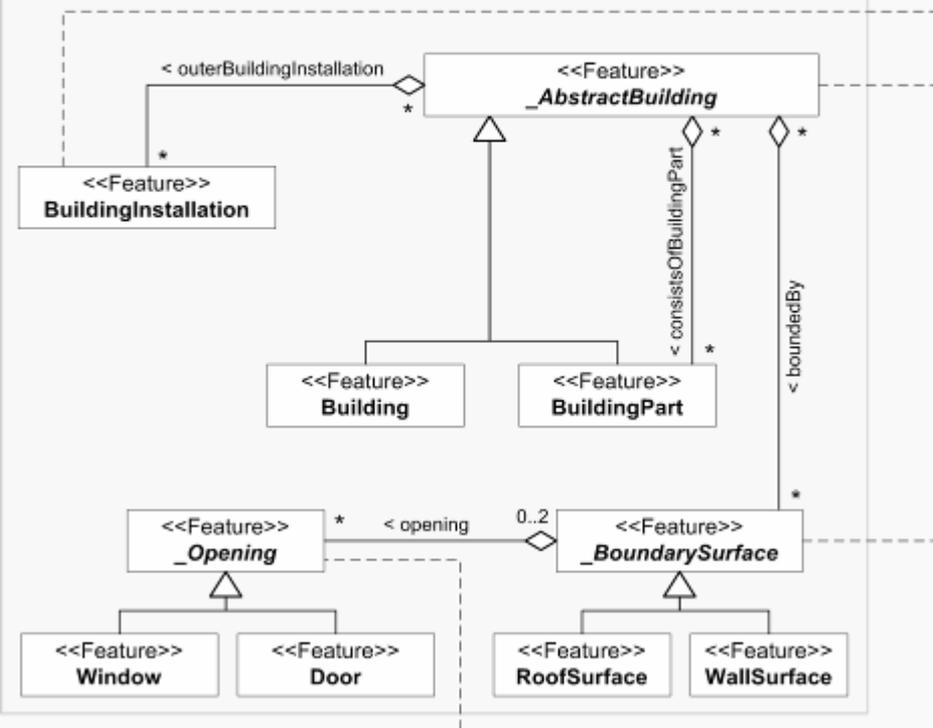


Building model – LOD 3 e 4

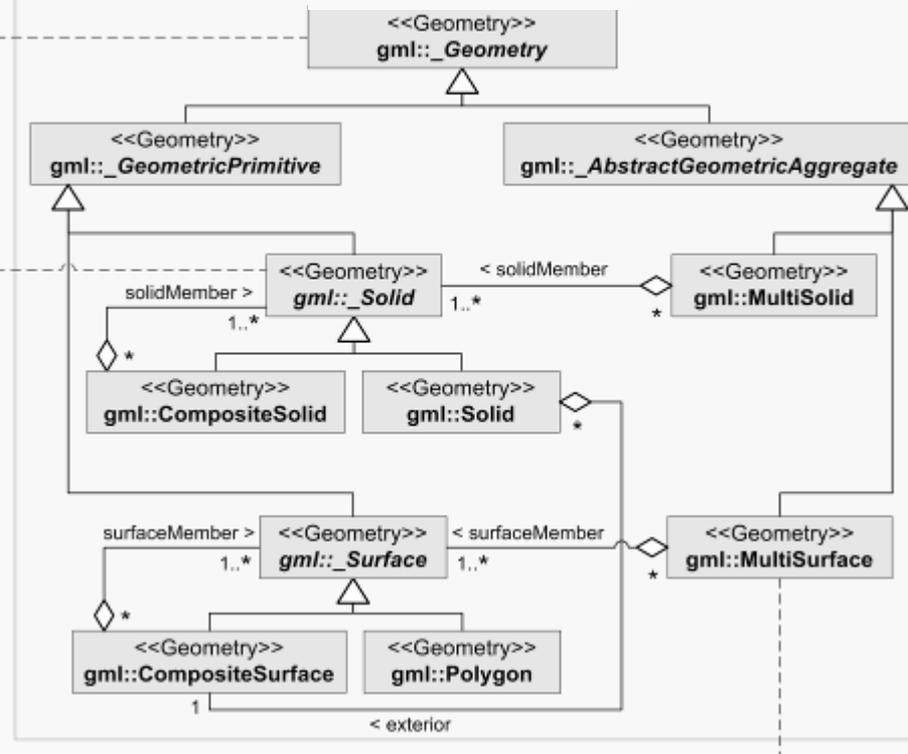


BM - Semantica e Geometria

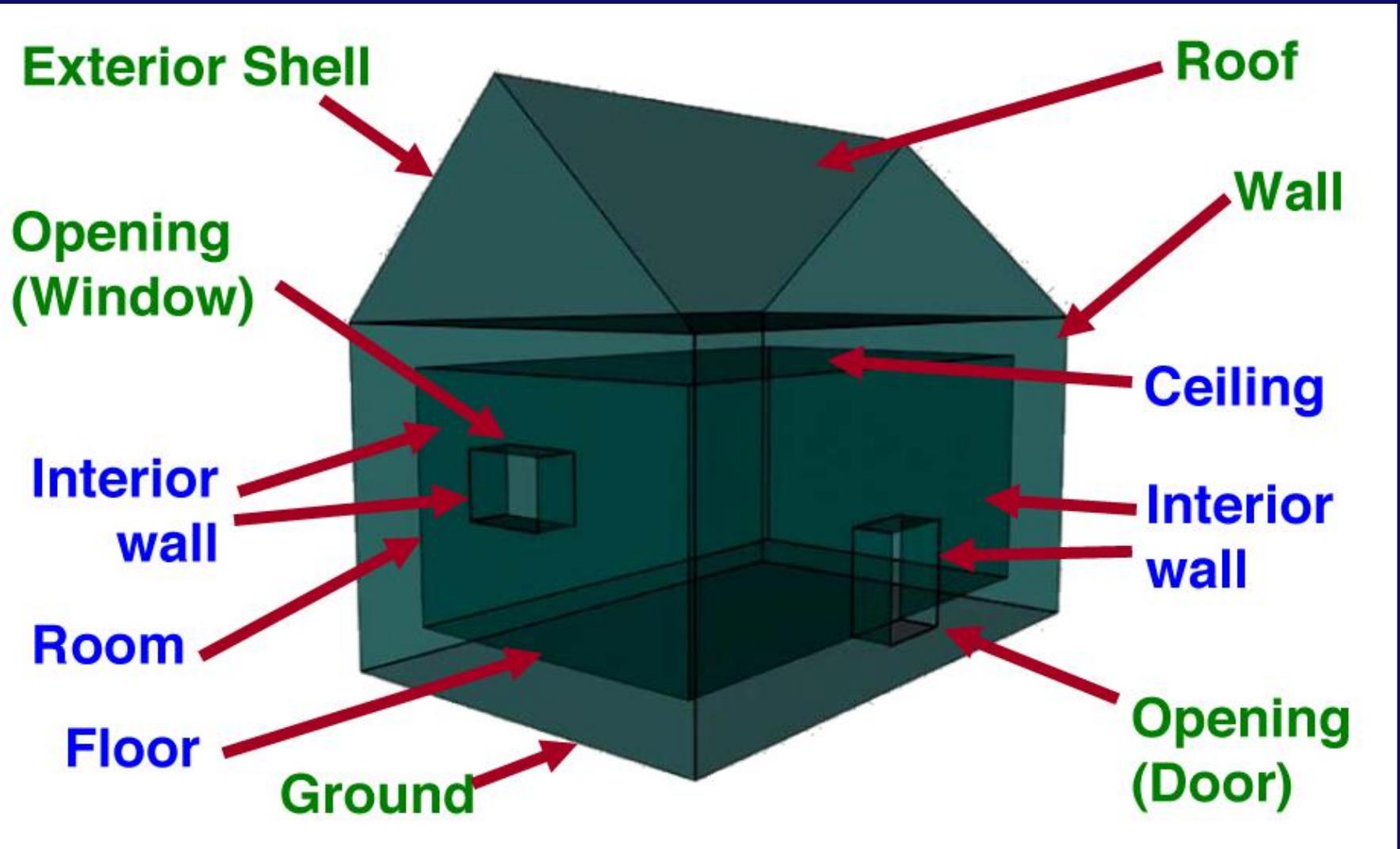
Semantica



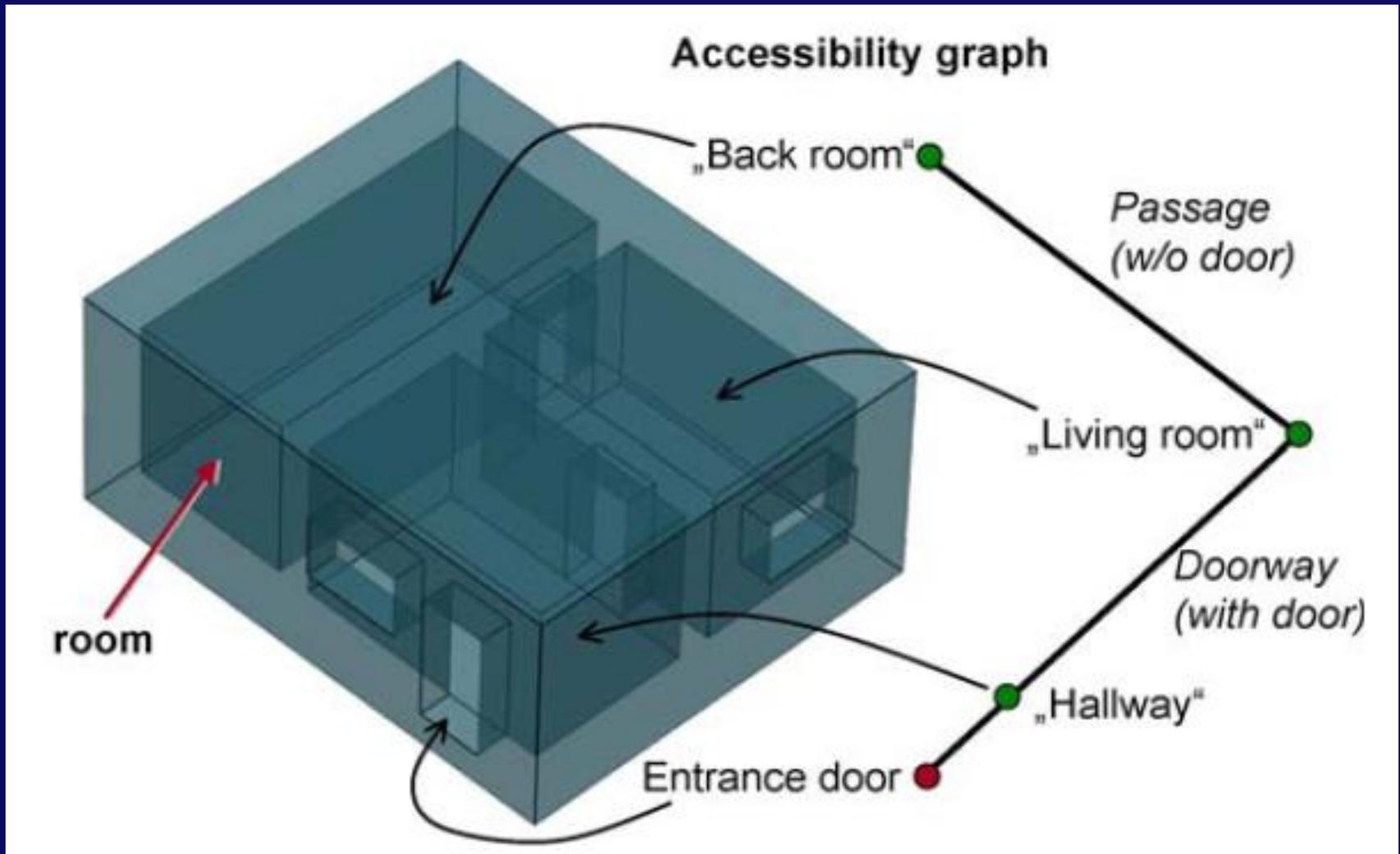
Geometria



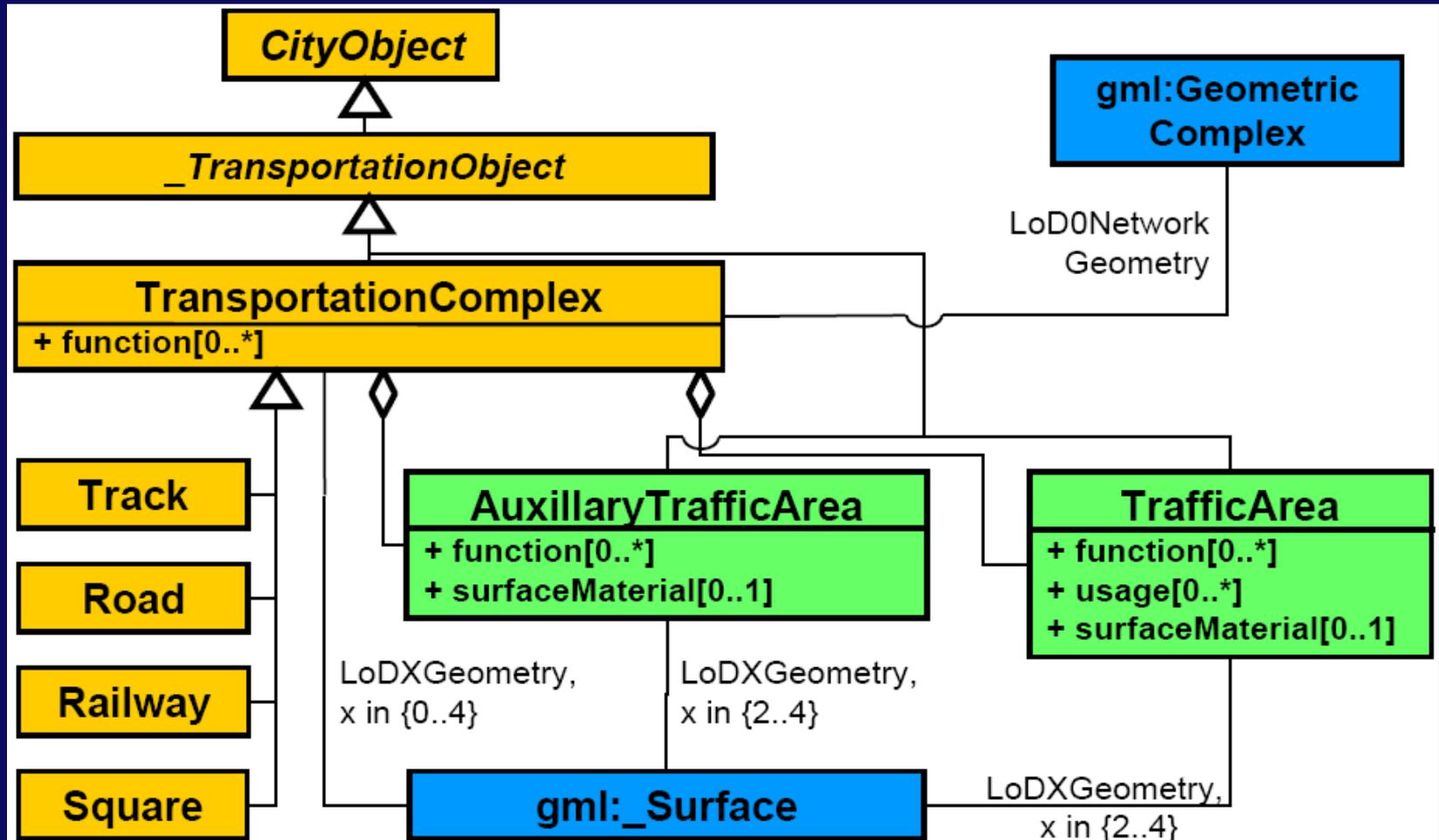
BM – Caratteristiche LOD 4



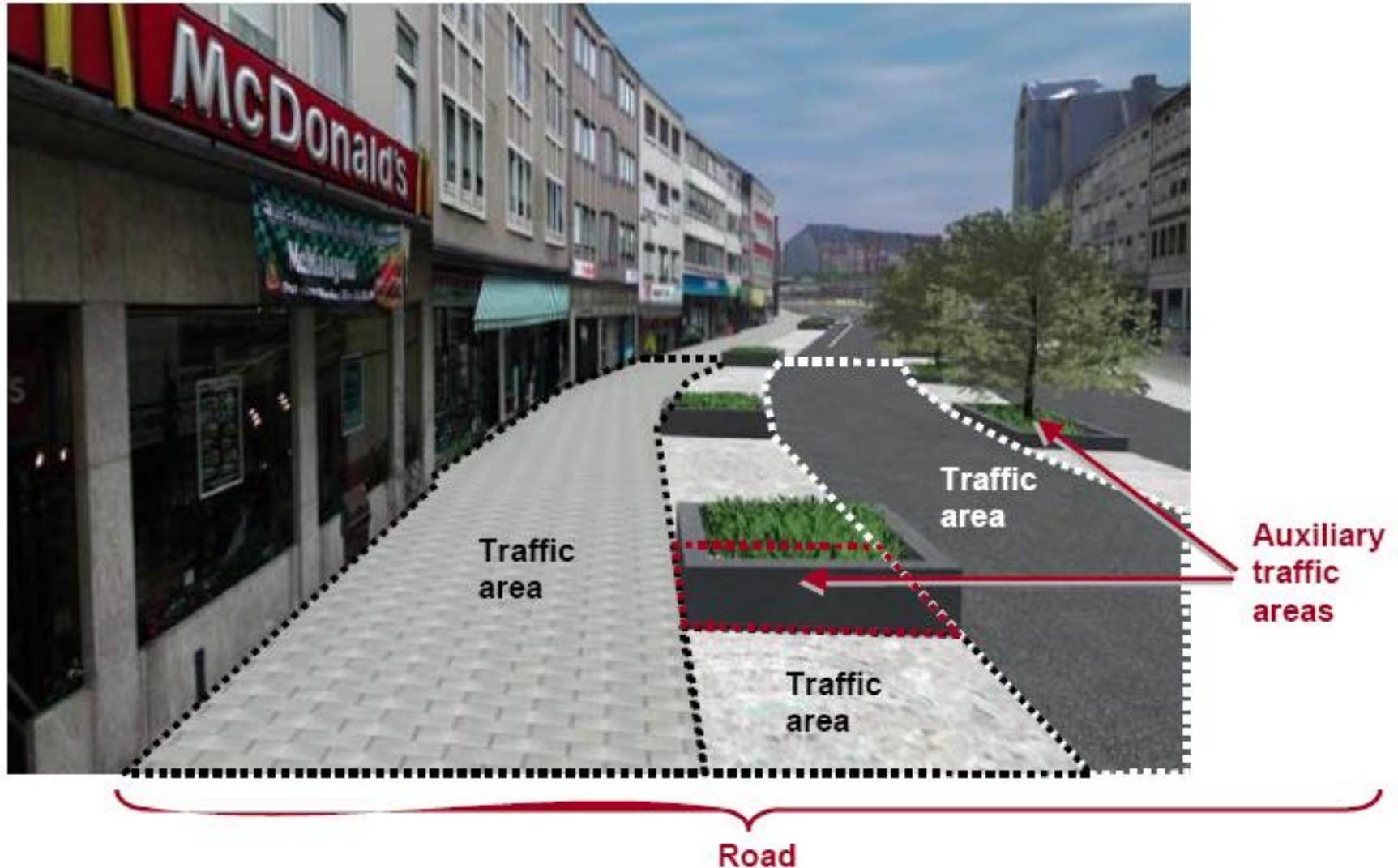
BM LOD 4 – Interior model



Transportation Objects



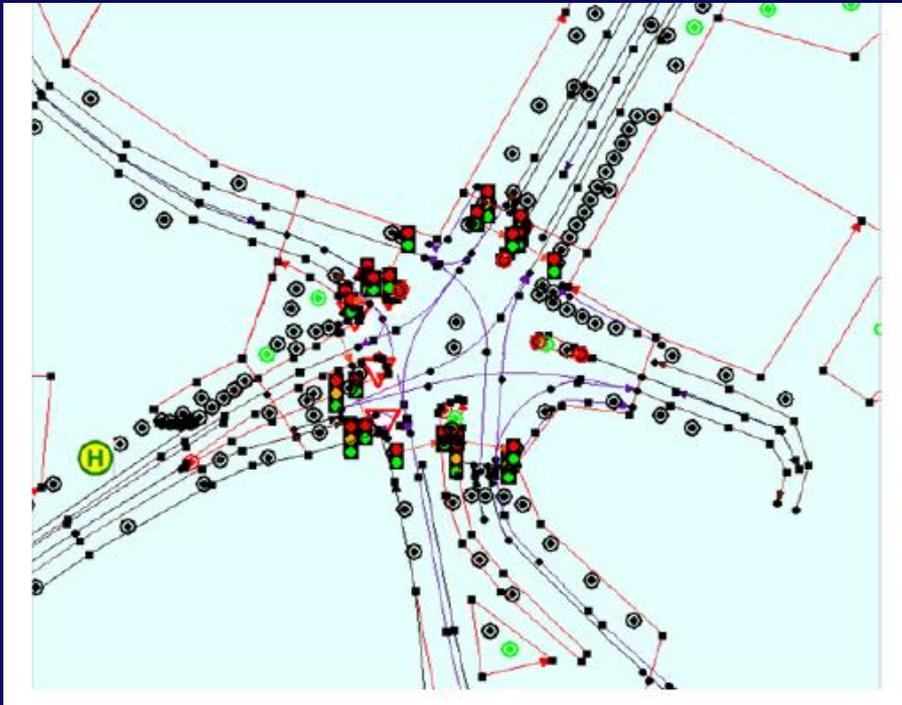
Esempio di Transportation Model



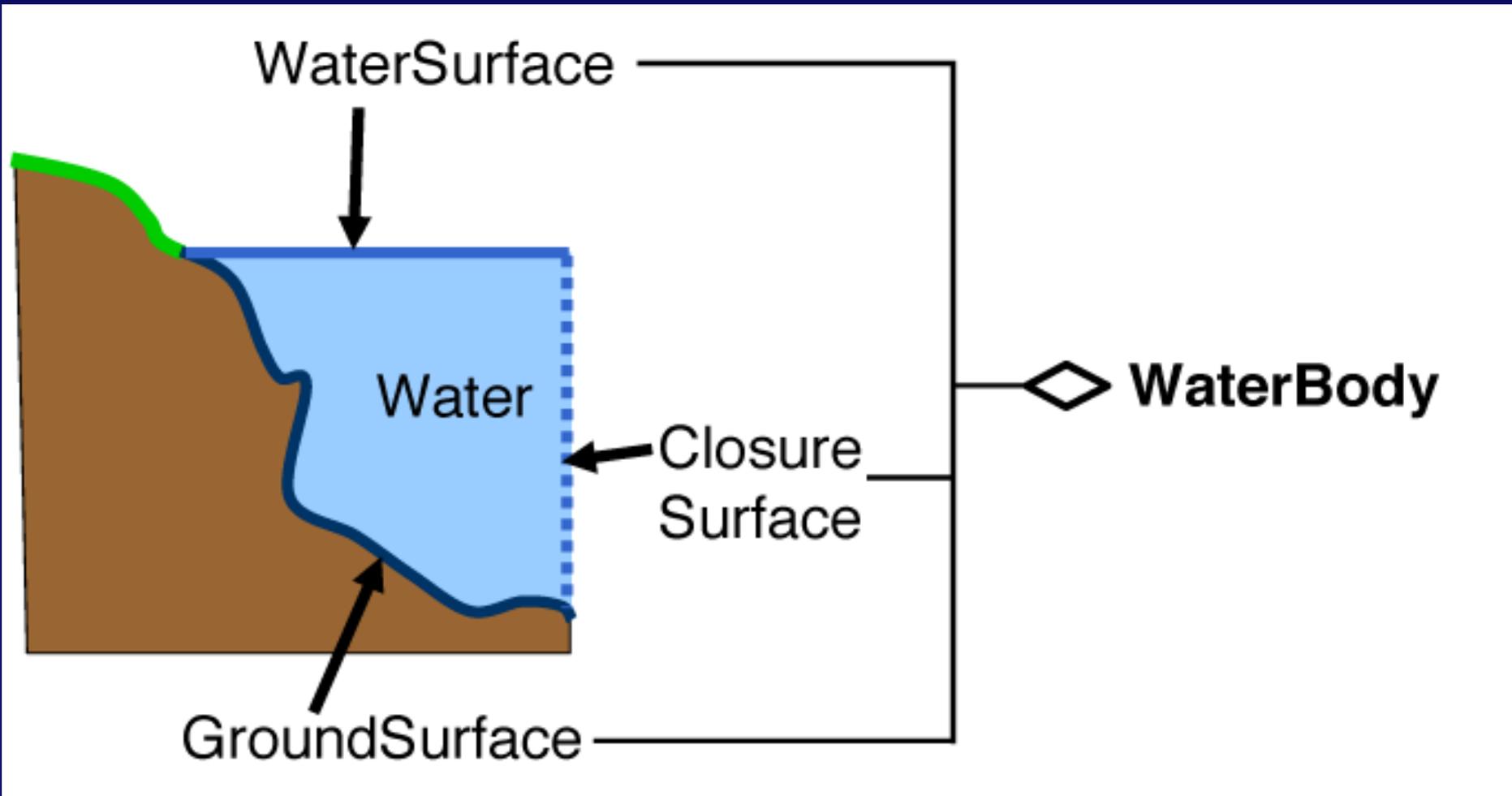
Esempio di Transportation Model

LOD 0

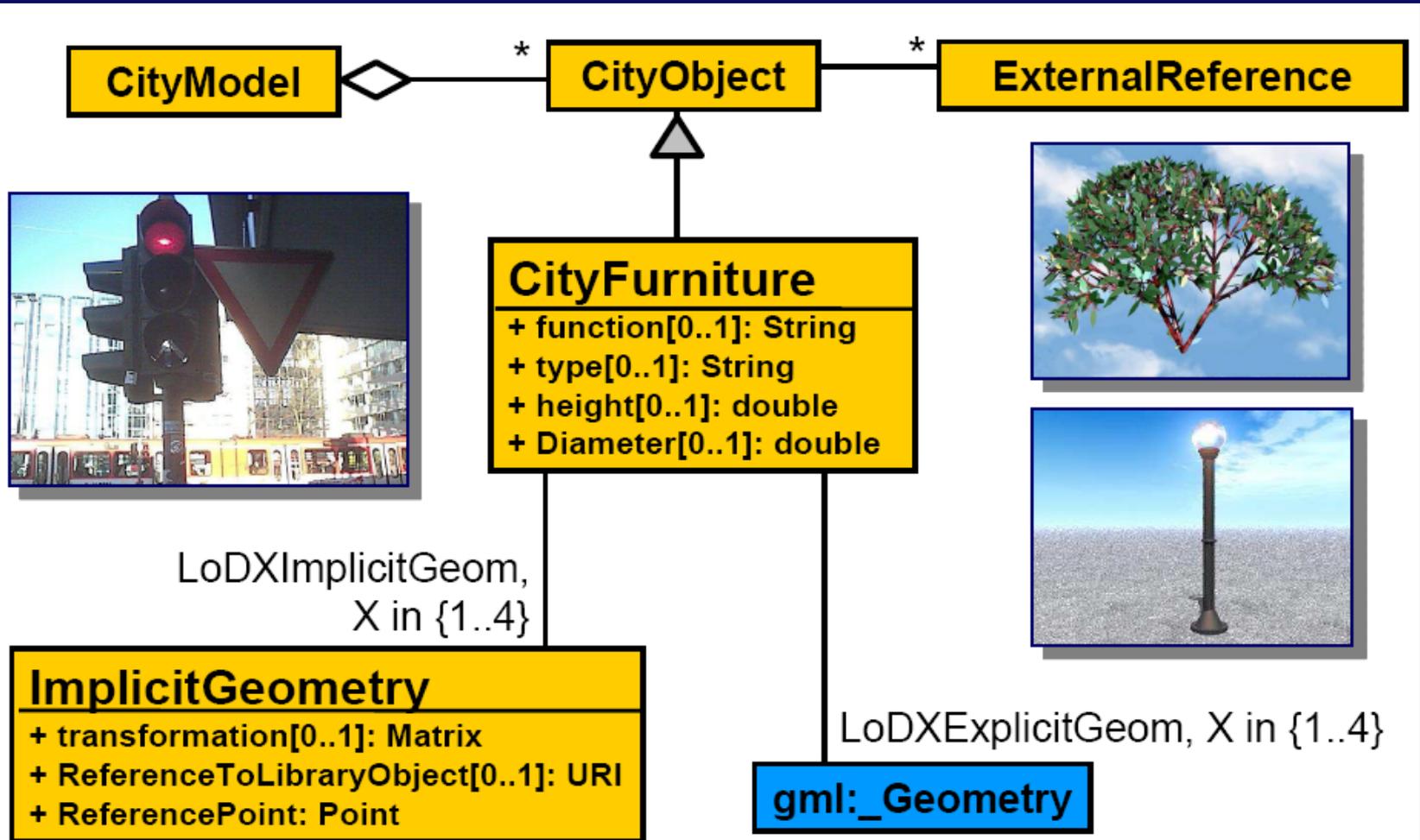
LOD 1-4



Idrografia – Water Bodies



Arredo urbano – City Furnitures

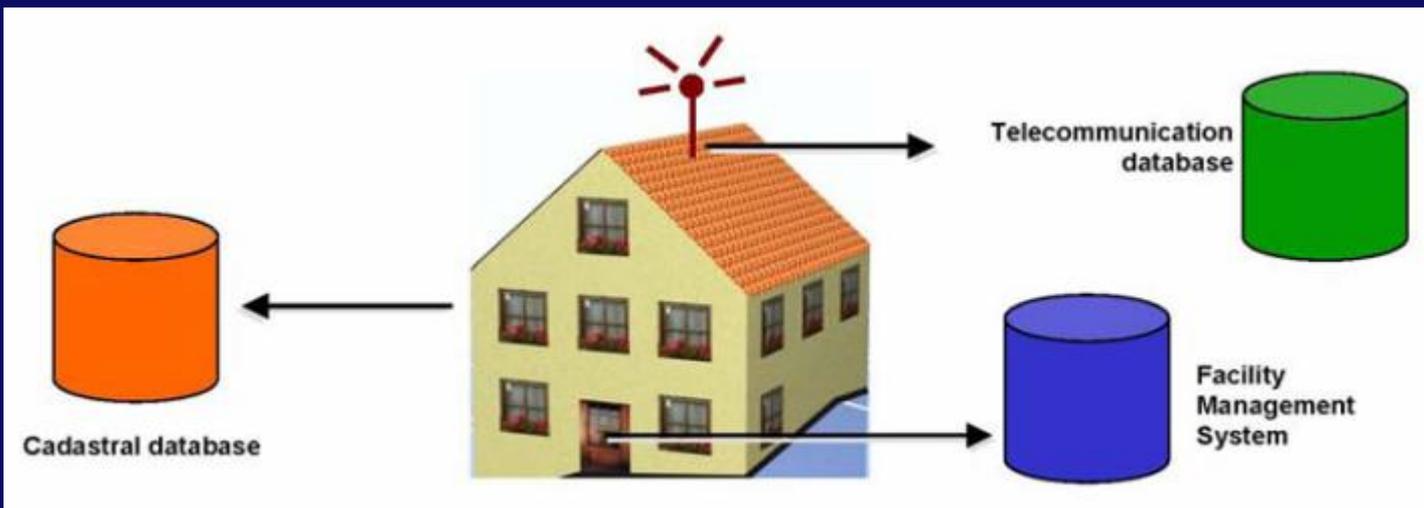


Altre caratteristiche di CityGML

- **Supporto alla generalizzazione dei dati**
 - Gli oggetti generalizzati sono collegati agli oggetti originali.
- **Collegamento esplicito**
 - Ogni oggetto CityGML può avere un numero arbitrario di link a risorse esterne (file, oggetti, record nel database)
- **Storico degli oggetti**
 - Gli oggetti possono avere una durata
- **Supporto all'integrazione / omogenizzazione spaziale**

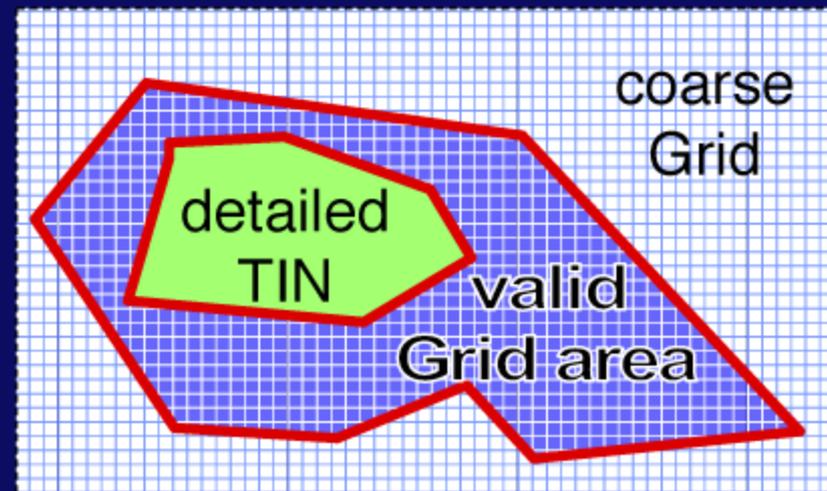
Riferimenti a dati esterni

- Ogni oggetto (o una sua parte) può includere **riferimenti ad oggetti esterni** da risorse esterne.
- **Connessione con informazioni esterne**
 - Edifici: link al catasto, dati sul proprietario
 - Porte, Antenne: link ai sistemi di gestione



Digital Terrain Model

- Ogni livello di dettaglio può avere il suo DTM
 - TIN, Grid, ...
 - La validità di ogni oggetto DTM può essere ristretta ad una specifica regione
 - Validity extent polygon (with holes)
 - Supporto a DTM annidati



Curva di intersezione al terreno

- **Terrain Intersection Curve (TIC)**
- Interfaccia tra gli oggetti 3D ed il terreno
 - Assicura l'intersezione tra gli oggetti ed il terreno.
 - Il DTM può essere adattato per essere sovrapponibile alla TIC.

Superfici di chiusura

- **Closure Surfaces**
- Per sigillare oggetti 3D aperti
- Necessario per poter calcolare il loro volume

Topologia in CityGML

- Come consentire **l'uso della topologia**?
 - La maggior parte dei modelli 3D cittadini non considera la topologia
 - Si è sempre utilizzata la sola geometria
- La topologia in GML 3 è sofisticata ma **troppo complessa.**

Topologia in CityGML / 2

- L'approccio di CityGML
 - Relazioni topologiche rappresentate da Xlinks
 - Le geometrie di GML 3 sono oggetti
 - Composti ed aggregati possono includere sottogeometrie tramite valore o riferimento.
 - I riferimenti esprimono le relazioni topologiche.

Topologia e semantica

- La referenziazione multipla di una geometria da parte di feature geospaziali distinte (di diverse classi)
 - Realizza la topologia ma anche le **relazioni semantiche**
 - La descrizione dello spazio e delle superfici è **priva di ridondanza**: nessuna sovrapposizione.



Estensioni di CityGML a GML 3

- **Materiali delle superfici**

- Colori e Texturing. Derivano da X3D e COLLADA
- Informazioni sull'apparenza assegnabili ad ogni superficie.

- **Geometrie implicite (forme prototipali)**

- Definizione di un oggetto 3D in coordinate relative
- Istanziamento dell'oggetto in coordinate assegnate
- Utile per arredo urbano e vegetazione

Svantaggi di CityGML

- **I file (City)GML diventano molto voluminosi**
(diversi GB per grandi città)
 - Utilizzo GZIP per avere un file ridotto ad 1/10
 - Validazione non sempre possibile
 - Uso di WFS in modalità asincrona per evitare i timeout
- **Modello dati complesso**
 - Per via dell'uso del paradigma OO
 - Richiede potenza di calcolo elevata

Estendere CityGML

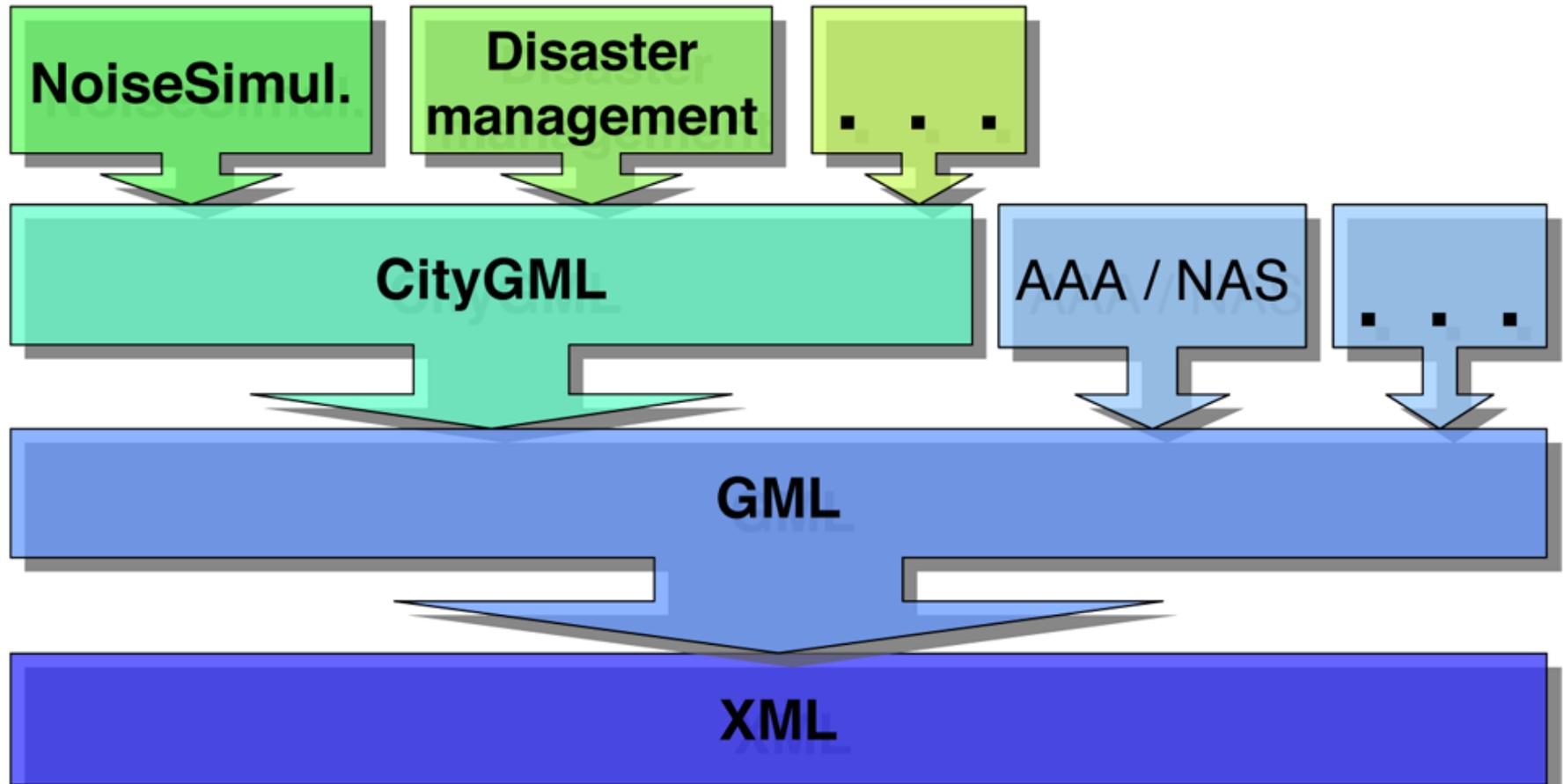
- **Attributi generici e GenericCityObjects**

- Ogni CityObject può avere un numero arbitrario di attributi extra (**stringAttribute**)
- GenericCityObjects possono avere geometrie arbitrarie per ogni LOD
- Estensione a runtime

- **Application Domain Extension (ADE)**

- Schemi XML con riferimento allo schema CityGML
- Estensioni formalmente specificate

Application Domain Extension (ADE)



CityGML e gli altri a confronto

	X3D	U3D	KML	COLLADA	IFC	CITYGML
Geometry	+	+	0	+	++	+
Georeferencing	+		+		+	++
Appearance	+	+	0	++	0	+
Topology	0	0		0	+	+
Semantics	0			0/+	++	++
Linking / embedding	+		++	++		++

Legenda: 0 = base, + = sofisticato, ++ = completo, vuoto = non supportato

CityGML – In breve

- Modello informativo geospaziale
- Formato di scambio
- Rappresenta **geometria, topologia, semantica** ed **apparenza**
- Datasource 3D per visualizzazione ed applicazioni più generali