



Università degli Studi “Roma Tre”

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

Tesi di laurea magistrale

*Metior una piattaforma Web
per la modellazione e visualizzazione di edifici*

Laureando

Stefano Perrone

Relatore

Prof. Alberto Paoluzzi

Correlatori

Dott. Enrico Marino, Dott. Federico Spini

Anno Accademico

2015/2016

Dedicato alla mia famiglia

Indice

Ringraziamenti	v
Introduzione	vi
1 BIM e Web	1
1.1 Building Information Modeling	1
1.2 Applicazioni BIM su Desktop	4
1.3 Applicazioni BIM nel Web	6
2 Metior	8
2.1 Architettura	8
2.2 Stato di memoria	9
2.3 Stack Tecnologico	13
2.3.1 React	13
2.3.2 Threejs	15
2.4 User Interface	18
2.4.1 Viewer 2D	20
2.4.2 Viewer 3D	21
2.5 User Experience	22
3 Metior Plugins	24
3.1 Definizione	24
3.2 Tassonomia	25

3.3	Proprietà Specifiche	26
3.4	Plugin Catalog	28
3.5	Server-side models generation	29
4	Casi d'uso	30
4.1	BaM	30
4.2	Deconstruction	36
4.3	CED	37
5	Conclusioni e sviluppi futuri	40
5.1	Conclusioni	40
5.2	Sviluppi futuri	41
5.2.1	IoT	42
5.2.2	Collaboratività	43
5.2.3	Fotorealismo	44
	Bibliografia	45

Elenco delle figure

1	Fasi coinvolte nel BIM	vi
1.1	Schermata Revit	5
2.1	Schermata componenti interfaccia	18
2.2	Schermata viewer 2D	20
2.3	Schermata viewer 3D	21
2.4	Schermata con visuale in prima persona	22
3.1	Dettaglio Plugins: (a) Vista dei plugins nel catalogo, (b) inserimento oggetto dopo la selezione nel catalogo	28
4.1	Dettaglio Plugins: (a) appendiabiti, (b) armadietto, (c) attaccapanni, (d) portaombrelli	32
4.2	Dettaglio Plugins: (a) banco, (b) cattedra, (c) lavagna, (d) lim	33
4.3	Dettaglio Plugins: (a) cestino, (b) cestini differenziata, (c) condizionatore, (d) termosifone	34
4.4	Dettaglio Plugins: (a) librerie, (b) ???, (c) finestra con tenda, (d) finestra con veneziana	35
4.5	Realtà aumentata di un modello reale	36
4.6	Dettaglio Plugins: (a) estintore, (b) rilevatore fumo, (c) nastro, (d) porta antipanico	38

4.7 Dettaglio Plugins: (a) metal detector, (b) rack server, (c) router wifi, (d) telecamera	39
--	----

Ringraziamenti

Grazie a...

Introduzione

Negli ultimi decenni, il settore delle costruzioni è stato coinvolto nel processo di evoluzione tecnologica. Questo ha portato ad un cambio di prospettiva e metodologia operativa, introducendo il Building Information Modelling (BIM). Esso fornisce un insieme di informazioni geometriche, visive, dimensionali, ambientali, tecniche e di processo, rendendo il processo di progettazione “sostenibile”. Il trend è di portare gli applicativi BIM già presenti nel panorama Desktop sul Web, per renderli disponibili anche sui dispositivi telefonici e portatili. L’obiettivo è cercare di portare dei benefici in termini di disponibilità, affidabilità, scalabilità, facilità di implementazione, manutenzione e aggiornabilità.



Figura 1: Fasi coinvolte nel BIM

Il lavoro presentato in questa tesi, svolto presso il *CVDLAB*, laboratorio del DIA dell'*Università di Roma Tre*, è consistito nello studio delle tecnologie e nello sviluppo del framework *Metior*. Questo applicativo consente di modellare degli edifici seguendo la metodologia introdotta dal BIM. In particolar modo si è approfondita l'implementazione dei *Plugins* (oggetti posizionabili all'interno della scena). L' obiettivo principale è stato portare il concetto di BIM sul Web, al fine di modellare i diversi ambienti a seconda del contesto. Nello sviluppo del progetto sono state di grande importanza, le collaborazioni con *SOGEI* - (Società Generale d'Informatica S.p.A. una private company ICT) nell'ambito della modellazione del CED (Centro Elaborazione Dati), ed inoltre quella1 con il *CNG* (Comitato Nazionale Geometri) per i progetti BaM (Bulding and Modelling) e Deconstruction.

Nella tesi gli argomenti trattati, sono stati sviluppati in quattro capitoli. Nel primo capitolo si descrive il concetto di BIM, nell'ambito della modellazione 3D su piattaforme Web. È stato fatto uno studio sullo stato dell'arte per fornire un overview sugli applicativi Desktop disponibili sul mercato. Si descrive inoltre come è possibile portare la modellazione sulle piattaforme Web. Nel secondo capitolo si introduce la scelta fatta per portare il BIM sul Web, proponendo una nostra soluzione Metior. Il framework implementa le funzionalità del BIM attraverso l'utilizzo di librerie software, in particolar modo Reactjs 2.3.1 e Threejs 2.3.2 , dando all'utente un applicativo paragonabile a quelli Desktop, che consente l'interazione del modello creato tramite una visualizzazione 2D e 3D. Nel terzo capitolo si descrive come vengono implementati i plugins utilizzati all'interno di Metior, dando una descrizione completa delle caratteristiche intrinseche dei modelli. Nel quarto capitolo si descrivono i contesti di applicazione del progetto sviluppato, facendo un overview sui progetti BaM 4.1 e Deconstruction 4.2 realizzati in collaborazione con il CNG e la modellazione del CED 4.3 all'interno di SOGEI.

In conclusione si è fatto un resoconto sul progetto sviluppato, facendo una panoramica sulle possibili strade da intraprendere per degli sviluppi futuri, come l'integrazione dei dati estratti da dispositivi *IoT* 5.2.1, introdurre nel framework il concetto di *Collaboratività* 5.2.2 e l'utilizzo della tecnica del *Fotorealismo* 5.2.3.

Capitolo 1

BIM e Web

In questo capitolo si descrive il concetto di BIM, nell’ambito della modellazione 3D su piattaforme Web. La prima sezione fornisce un overview sugli applicativi Desktop disponibili sul mercato. La seconda sezione descrive come è possibile portare la modellazione sulle piattaforme Web.

1.1 Building Information Modeling

Una tendenza a minimizzare l’umanizzazione di nuovi territori e di spingere per il riutilizzo di alloggi già costruiti, caduti in disuso è diventata una necessità pressante nelle società avanzate. La direzione intrapresa è di integrare il modello “zero energy” (ogni costruzione è stata prodotta con il consumo della stessa energia) con il modello “zero waste”, nuovo paradigma di progettazione dove i materiali di riufito della demolizione diventano risorse per ricostruire[21]. I processi di costruzione, e progettazione necessitano di essere rinnovati per tener conto delle preoccupazioni ambientali. Per ridurre l’impatto dei progetti di costruzione sull’ ambiente, il progetto ha bisogno di prendere in considerazione la questione dei materiali di costruzione. Le amministrazioni pubbliche hanno bisogno di strumenti adeguati per il calcolo e il controllo dei materiali riutilizzati o smaltiti. I nuovi stru-

menti dovrebbero gestire l’elaborazione digitale dei materiali in tutto il ciclo di vita del progetto, supportando i requisiti del nuovo processo come: progettazione per la Demolizione, Progettazione per il Riciclo e per i Rifiuti. In particolare, un ciclo di vita dell’edificio, è sostenuto da un processo di costruzione che prevede cicli allineati con i fenomeni naturali. In questo lavoro proponiamo soluzioni che servono a chiudere il cerchio del ciclo di vita dell’edificio, allontanandosi dalla tradizionale risposta lineare con tassi di energia ad alto consumo e verso il riutilizzo dei materiali in decostruzione/ricostruzione, supportato da un processo computerizzato di demolizione selettiva. Tutti i cicli di ristrutturazione degli edifici dovrebbero prevedere passi di de-costruzione e ri-costruzione, mirati verso la sostituzione dei materiali al fine di ottenere una maggiore efficienza. Il trattamento di questi materiali richiede la codifica appropriata sia per lo smaltimento, secondo i codici del CAE (Catalogo europeo dei rifiuti), e per la pianificazione e la progettazione di nuovi edifici, seguendo la metodologia BIM (Building Information Modeling). A questo scopo abbiamo bisogno di scene georeferenziati di realtà aumentata sulla base di modelli 3D veloci, facilmente navigabile e misurabili. Abbiamo già un’ottima conoscenza sui costi di costruzione (da zero), ma poco si sa circa i tassi di sostituzione (completare la demolizione selettiva). Un moderno processo di demolizione selettiva richiede l’intervento umano, con costi assicurativi elevati a causa della pericolosità per coloro che lavorano in queste attività. Quest’ultimo punto richiede un’alternativa alla sforzo umano in questi processi. Suggeriamo che i robot automatici potrebbero sostituire sforzo umano; droni potrebbero operare in un contesto semanticamente familiare e dare aggiornamenti in tempo reale come la realtà contestualmente modificata. Riteniamo, quindi, che c’è un grande bisogno di un moderno e facile framework di modellazione da usare per la costruzione/decostruzione nel settore AEC (Architecture, Engineering and Construction), per consentire una realtà aumentata attraverso il riconosci-

mento semantico attraverso computer vision e fotogrammetrico di precisione fino a definizione centimetrica. Tali strumenti di realtà virtuale/aumentata richiedono sia veloce modellazione della costruzione 3D e aumento di contenuto semantico, per poter essere controllata con tempi quasi realtime: questa è la vera sfida richiesta anche dal futuro sviluppo di sistemi IoT.

1.2 Applicazioni BIM su Desktop

Il panorama delle applicazioni Desktop, che implementa le funzionalità BIM e di modellazione è vasto. Per questo motivo si è preso come parametro di confronto il framework Revit. Esso è il software più noto e l'attuale leader di mercato BIM nella progettazione architettonica.

Revit

Autodesk *Revit* è un programma CAD e BIM per sistemi operativi Windows, creato dalla Revit Technologies Inc. e comprato nel 2002 dalla Autodesk per 133 milioni di dollari, che consente la progettazione con elementi di modellazione parametrica e di disegno. Revit negli ultimi sette anni ha subito profondi cambiamenti e miglioramenti. Prima di tutto, esso è stato modificato per poter supportare in maniera nativa i formati DWG, DXF e DWF. Inoltre, è stato migliorato in termini di velocità ed accuratezza di esecuzione dei rendering. A tal fine, nel 2008 il motore di rendering esistente, AccuRender, è stato sostituito con Mental Ray. Tramite la parametrizzazione e la tecnologia 3D nativa è possibile impostare la concettualizzazione di architetture e forme tridimensionali. Questo nuovo paradigma comporta una rivoluzione nella percezione progettuale, poiché questa si sostanzia in termini non più cartesiani ma spaziali, con i vantaggi che questa può apportare alla progettazione [31]. Revit, come programma BIM, (come si vede in Figura 1.1) è da intendersi come un approccio più vicino alla realtà percepita dagli esseri umani. Uno dei punti di forza di Revit è quello di poter generare con estrema facilità viste prospettiche o assonometriche, che richiederebbero notevoli sforzi nel disegno manuale; un esempio è la creazione di spaccati prospettici ombreggiati. Altra caratteristica di estrema importanza è quello di costruire il modello utilizzando elementi costruttivi, mentre in altri software analoghi la creazione delle forme è svincolata dalla funzione costruttiva e strutturale. Elemento portante di Revit è lo sfruttamento della quarta

dimensione, cioè il tempo. Si possono infatti impostare le fasi temporali: ad esempio, Stato di Fatto e Stato di Progetto. Ogni elemento del modello può essere creato in una fase e demolito in un'altra, avendo poi la possibilità di creare viste di raffronto con le opportune evidenziazioni: Gialli e Rossi. I punti deboli del programma sono rappresentati, invece, dall'interfaccia talvolta poco intuitiva e dalla qualità dei rendering, che, pur utilizzando il motore radiosity, non è paragonabile a quella ottenibile con software di rendering dedicati.

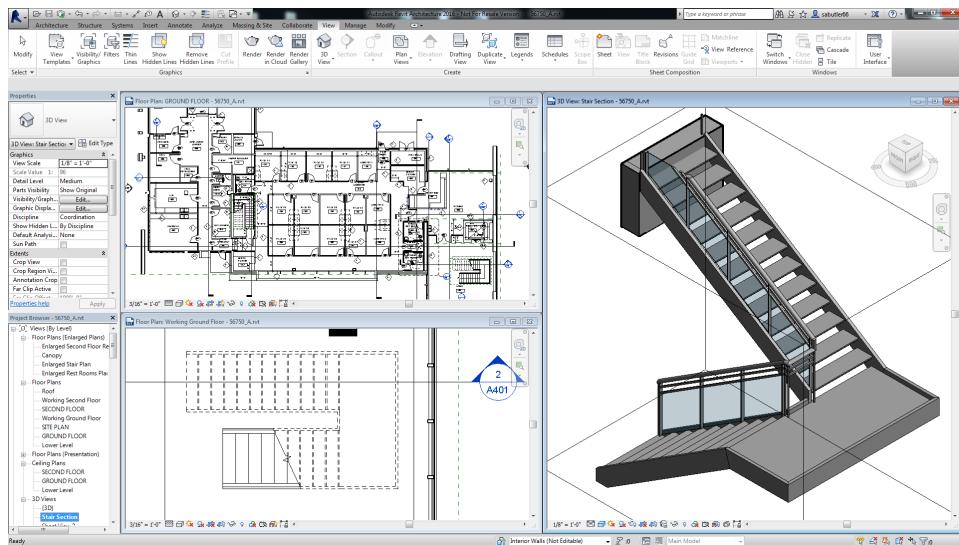


Figura 1.1: Schermata Revit

1.3 Applicazioni BIM nel Web

Il mondo di prodotti software, sta assistendo ad una migrazione inarrestabile, verso i servizi accessibili attraverso il mezzo Web. Ciò è dovuto principalmente ai benefici innegabili in termini di accessibilità, usabilità, manutenibilità e spalmabilità concesso dal mezzo Web stesso. Tuttavia questi benefici non arrivano senza un costo: le prestazioni e lo sviluppo della complessità diventano maggiori preoccupazioni nell'ambiente Web. In particolare, a causa dell'introduzione di diversi livelli di astrazione non è sempre possibile “portare” le applicazione Desktop nel dominio Web, un aspetto da prendere in considerazione anche per le differenze rilevanti tra hardware tutti i dispositivi dotati di un browser Web. Può essere ancora più arduo affrontare un’ architettura di software distribuito (almeno un client/server) indotta dalla piattaforma Web. Tuttavia sono sempre più ricche e complesse le applicazioni Web che sono comparse, sostenute dalle API arricchite da HTML5, che grazie al WebGL [24] (consente l’accesso diretto alla GPU), Canvas [27] (API raster 2D) e SVG [25] (API di disegno vettoriale), ha aperto la strada per l’ingresso di applicazioni Web Graphic. L’obiettivo è stato la definizione di uno strumento di modellazione di edifici basato sul Web che supera le suddette difficoltà prestazionali e di sviluppo basandosi su un modello di progettazione del flusso di dati unidirezionale e su un’architettura serverless rispettivamente. Un’architettura serverless, al contrario di ciò che il nome può suggerire, in realtà si avvale di molti server specifici diversi, togliendo l’onere del funzionamento e della manutenzione allo sviluppatore del progetto. Questi diversi server possono essere visti come servizi di terze parti (tipicamente cloud-based) o funzioni eseguite in contenitori effimeri (può durare solo per una invocazione) per gestire lo stato interno e la logica server-side. L’interazione in realtime tra gli utenti che lavorano congiuntamente sullo stesso progetto di modellazione, è ad esempio ottenuto tramite un API di terze parti per la collaborazione gli utenti remoti. L’interfaccia

utente, interamente basata sul modello a componenti Web, è stato mantenuto il più semplice possibile: è richiesto all'utente interagire principalmente con segnaposto simbolici bidimensionali, che rappresentano parti dell'edificio, evitando così interazioni complesse in 3D. La complessità del modello è quindi spostato dallo sviluppatore al modellatore, che compila un *catalogo* di *building elements* estendibile e personalizzabile. Il modellatore deve solo selezionare l'elemento richiesto, il luogo e parametrizzare esso a seconda delle esigenze. È ovvio che un gran numero di building elements deve essere fornito per garantire l'adempimento delle maggior parte delle esigenze di modellazione.

In questo capitolo è stato trattato il concetto di BIM (Building Information Modelling), nell'ambito della modellazione 3D su piattaforme Web. Nel prossimo capitolo verrà descritta la scelta fatta per portare il BIM sul Web attraverso Metior.

Capitolo 2

Metior

In questo capitolo si descrive la scelta fatta per portare il BIM sul Web, *Metior*. Il framework implementa le funzionalità del BIM attraverso l'utilizzo di librerie software, in particolar modo React e Threejs, dando all'utente un applicativo paragonabile a quelli Desktop, che consente l'interazione del modello creato tramite una visualizzazione 2D e 3D.

2.1 Architettura

Secondo Mike Roberts [28], l'architettura serverless schierata fa largo uso di servizi di terzi, o componenti *as-a-Service*, che sostituiscono software e hardware ad-hoc per soddisfare gli stessi compiti. In particolare siamo stati in grado di delegare i seguenti aspetti di servizi esterni e specializzati: la distribuzione delle applicazioni, la gestione degli utenti, generazione di modelli (computazione pesante), la collaborazione degli utenti e lo stato di memoria.

2.2 Stato di memoria

Lo stato dell'applicazione è modellato utilizzando la struttura dei dati mostrata nel listato 2.1. Si tratta essenzialmente di un insieme di *layers*, ciascuno contenente un insieme di vertici, linee, aree ed oggetti, ciascuno dei quali è racchiuso in una struttura composta da:

- le informazioni necessarie dal prototipo dell'oggetto;
- i riferimenti mappatura della relazione con altri oggetti;
- i metadati, vale a dire il punto in cui personalizzare l'oggetto.

La ridondanza delle informazioni viene sfruttata per ridurre i tempi di accesso. Collezioni di oggetti sono indicizzati da `id` permettendo così di ricerca in tempo costante, del campo `selected` di ogni layer, consente l'accesso diretto ad elementi selezionati senza cercare. Lo stato può essere caricato uno layer alla volta, consentendo la frammentazione dello stato così, come può avvenire in un progetto di modellazione di un edificio molto grande.

Flusso dati unidirezionale

La struttura dei dati descritta rappresenta lo stato centralizzato richiesto dal *Unidirectional data flow pattern* [23] sfruttato dall'applicazione tramite la libreria *Redux.js*¹. Il modello prevede che lo stato può essere modificato solo da attori specifici, chiamati *reducers*, le cui attività sono eseguite da specifiche *actions* che contengono tutte le informazioni necessarie per ogni reducer per realizzare il cambiamento nello stato. Ogni caratteristica applicazione deve essere attuata di conseguenza come un paio di pezzi di codice ben isolati(*action/reducer*). Esperimenti preliminari² su strumenti di disegno 2D, infatti, evidenziato la complessità di sviluppo di un'applicazione di questo

¹<http://redux.js.org/>

²<https://github.com/cvdlab/walle>

tipo in termini di grande stato interno modificato da diversi interazioni con l’utente, che doveva essere ascoltato e applicata, che comporti un livello di accoppiamento elevato tra la logica dell’applicazione e l’interfaccia utente. Nella nostra messa a punto, invece abbiamo definito un *state engine*, che rappresenta la logica dell’applicazione, che comprende actions e reducers e ne incapsula lo stato centralizzato. Di questo strato ne fanno uso in modo trasparente le differenti interfacce.

Listing 2.1: stato serializzato in JSON, struttura complessiva

```

1  {
2      "width": 3000, // canvas width
3      "height": 2000, // canvas height
4      "unit": "cm", // unit of measurement
5      "selectedLayer": "layer-1", // current layer
6      "layers": {
7          "layer-1": {
8              "name": "default",
9              "id": "layer-1",
10             "altitude": 0,
11             "opacity": 1,
12             "visible": true,
13             "vertices": {
14                 "HJAe59YF8Ux": {...}
15                 // ...
16             },
17             "lines": {
18                 "Hype99FK88x": {...}
19                 // ...
20             },
21             "openings": {
22                 "rljaKYUIg": {...}
23                 // ...
24             },
25             "areas": {
26                 "BygloFKUIe": {...}
27                 // ...
28             },
29             "objects": {
30                 "rkKU89U8e": {...}
31                 // ...
32             },
33             // selected element
34             "selected": {
35                 "vertices": [],
36                 "lines": [],
37                 "openings": [],
38                 "areas": [],
39                 "objects": ["rkKU89U8e"]
40             }
41         }
42     }
43 }
```

Immutability pattern

Immutability pattern [26] si applica anche, per evitare effetti collaterali sui cambiamenti di stato eseguiti dai reducers. Lo stato può essere visto come una struttura immutabile ad albero le cui modifiche vengono applicate come segue:

- clonare lo stato precedente s per ottenere un nuovo stato s' ;
- applicare le modifiche sullo stato clonato s' ;
- aggiornamento del riferimento da s a s' .

Vale la pena notare che questo approccio fornisce il supporto per operazioni out-of-the-box come undo/redo: un stato vecchio/recente possono essere ripristinati mediante sostituzione dello stato attuale con Il precedente/successivo. Nonostante la sua semplicità, questo modello può tuttavia comportare sprechi di memoria, a causa delle diverse copie dello stato che deve che si terrà in memoria. Abbiamo affrontato questo problema utilizzando *Immutable.js*³, una libreria che sfrutta la condivisione strutturale tramite processi con mappe hash e vettoriali, riducendo al minimo la necessità di copiare o mettere i dati nella cache.

³<https://facebook.github.io/immutable-js/>

2.3 Stack Tecnologico

La User Interface è stata sviluppata seguendo i *Web Components pattern* [30], supportati dal framework *React.js*⁴. L'idea principale è definire un applicazione frontend come una collezione di componenti indipendenti, ognuno dei quali si riferisce ad uno specifico sottoinsieme di stati centralizzati ed ingrado di fare il render in accordo con i valori effettivi di quella porzione dello stato. I Web Components sono la base per contenitori generici di alto livello, come la barra degli strumenti o il catalogo, a quelli a grana molto fine, i pulsanti per esempio. I più interessanti sono i visualizzatori del modello di costruzione: il *2D-viewer* e *3D-viewer*.

2.3.1 React

React (a volte definito React.js or ReactJS) è una libreria open-source JavaScript per la costruzione di user interfaces. È sostenuto da Facebook, Instagram e una comunità di singoli sviluppatori e aziende. [1] [2] [3]. Secondo il servizio di analisi JavaScript Libscore, React è attualmente utilizzato sui siti web di Netflix, Imgur, Bleacher Report, Feedly, Airbnb, SeatGeek, HelloSign, Walmart, e altri [4]

Storia

React è stato creato da Jordan Walke, un ingegnere del software di Facebook. È stato influenzato da XHP, un HTML framework di componenti per PHP [5]. È stato distribuito sulle newsfeed di Facebook nel 2011 e in seguito Instagram.com nel 2012 [6]. È stato aperto-sourced a JSConf Stati Uniti nel maggio 2013. React Native, che consente iOS native, lo sviluppo Android e UWP con React, è stato annunciato alla Facebook's React.js Conf in Febbraio 2015 e open-source da marzo 2015.

⁴<https://github.com/facebook/react>

Caratteristiche

In un flusso di dati unidirezionale le proprietà, ed un insieme di valori immutabili, sono passati al componente di rendering come proprietà nel suo tag HTML. Un componente non può modificare direttamente le proprietà passate ad esso, ma può usare funzioni di callback passategli che fanno gli modificare i valori. Il meccanismo della promise è espresso come proprietà di scorrimento verso il basso; azioni portate fino.

Virtual DOM

Un'altra caratteristica degna di nota è l'utilizzo di un virtual Document Object Model, o virtual DOM. React crea una cache struttura di dati in memoria, calcola le differenze risultanti, e poi gli aggiornamenti del browser visualizzati efficientemente nel DOM [7] Questo permette al programmatore di scrivere codice come se l'intera pagina venisse cambia, mentre le librerie React fanno il render delle sole sottocomponenti che in realtà cambiano.

JSX

I componenti React sono tipicamente scritti in JSX, una estensione della sintassi JavaScript che permette di citare HTML e utilizzando la sintassi tag HTML per fare il render delle sottocomponenti. [8] La sintassi HTML è trasformata in chiamate JavaScript della libreria React. Gli sviluppatori possono anche scrivere in JavaScript puro. JSX è simile ad un altro estensione di sintassi creata da Facebook per PHP, XHP.

Architettura dietro HTML

L'architettura di base di React si applica al di là del rendering HTML nel browser. Ad esempio, Facebook da grafici dinamici che fanno il rendering di un <canvas> tags, [9] e Netflix e PayPal utilizzano carico isomorfo per il rendering HTML in modo identico sia sul server che sul client. [10] [11]

2.3.2 Threejs

Three.js è una libreria cross-browser JavaScript/API utilizzata per creare e visualizzare grafica animata in 3D in un browser web. Three.js utilizza WebGL. Il codice sorgente è ospitato in un repository su GitHub.

Overview

Three.js permette la creazione di animazioni 3D accelerate dalla GPU utilizzando il linguaggio JavaScript come parte di un sito web senza fare affidamento su plugin del browser di proprietà. [12] [13] Questo è possibile grazie all'avvento di WebGL. [14]

Storia

Three.js per la prima volta viene pubblicato da Ricardo Cabello su GitHub nel mese di aprile 2010. [20] Le origini della libreria può risalire al suo coinvolgimento con il demoscene nei primi anni 2000. Il codice è stato sviluppato in ActionScript, poi nel 2009 portato su JavaScript. Nella mente di Cabello, i due punti di forza per il trasferimento di JavaScript sono stati non essere costretti a compilare il codice prima ogni run e l' indipendenza dalla piattaforma. Con l'avvento di WebGL, Paul Brunt è stato in grado di aggiungere il renderer per questo abbastanza facilmente come Three.js creata con il codice di rendering come modulo anziché nel nucleo stesso. [15] I contributi di Cabello comprendono la progettazione API, CanvasRenderer, SVGRenderer e di essere responsabile per la fusione dei commit da parte dei vari collaboratori nel progetto.

Il secondo contributo, in termini di commits, Branislav Ulicny iniziato con Three.js nel 2010 dopo aver pubblicato una serie di demo WebGL sul proprio sito. Voleva la capacità di rendering di WebGL in Three.js fossero superiori a quelli di CanvasRenderer o SVGRenderer. [15] I suoi maggiori contributi comportano generalmente materiali, shaders e post-processing.

Subito dopo l'introduzione di WebGL su Firefox 4 nel marzo 2011, ha contribuito Joshua Koo. Ha costruito la sua primo demo Three.js per il testo 3D nel settembre 2011. [15] I suoi contributi spesso si riferiscono alla generazione geometrica. Ci sono oltre 650 collaboratori in totale. [15]

Caratteristiche

Three.js include le seguenti caratteristiche: [16]

- Effects: Anaglyph, cross-eyed and parallax barrier.
- Scenes: add and remove objects at run-time; fog
- Cameras: perspective and orthographic; controllers: trackball, FPS, path and more
- Animation: armatures, forward kinematics, inverse kinematics, morph and keyframe
- Lights: ambient, direction, point and spot lights; shadows: cast and receive
- Materials: Lambert, Phong, smooth shading, textures and more
- Shaders: access to full OpenGL Shading Language (GLSL) capabilities: lens flare, depth pass and extensive post-processing library
- Objects: meshes, particles, sprites, lines, ribbons, bones and more - all with Level of detail
- Geometry: plane, cube, sphere, torus, 3D text and more; modifiers: lathe, extrude and tube
- Data loaders: binary, image, JSON and scene
- Utilities: full set of time and 3D math functions including frustum, matrix, quaternion, UVs and more

- Export and import: utilities to create Three.js-compatible JSON files from within: Blender, openCTM, FBX, Max, and OBJ
- Support: API documentation is under construction, public forum and wiki in full operation
- Examples: Over 150 files of coding examples plus fonts, models, textures, sounds and other support files
- Debugging: Stats.js, [17] WebGL Inspector, [18] Three.js Inspector [19]

Three.js è eseguibile in tutti i browsers supportati da WebGL.

2.4 User Interface

Per definizione il software CAD, è un acronimo inglese usato per indicare due concetti correlati, ma differenti:

- Computer-Aided Drafting;
- Computer-Aided Design;

L'applicazione web che si è implementata si presenta come un software CAD semplificato, dove la user interface comprende una user interface:

- 2D canvas (come si evince dalla Figura 2.2)
- 3D canvas (come si evince dalla Figura 2.3).

L'area di lavoro come si evince dalla Figura 2.1 è suddivisa in delle aree ben specifiche, le quali adempiono a delle specifiche funzionalità che in seguito vedremo in dettaglio.

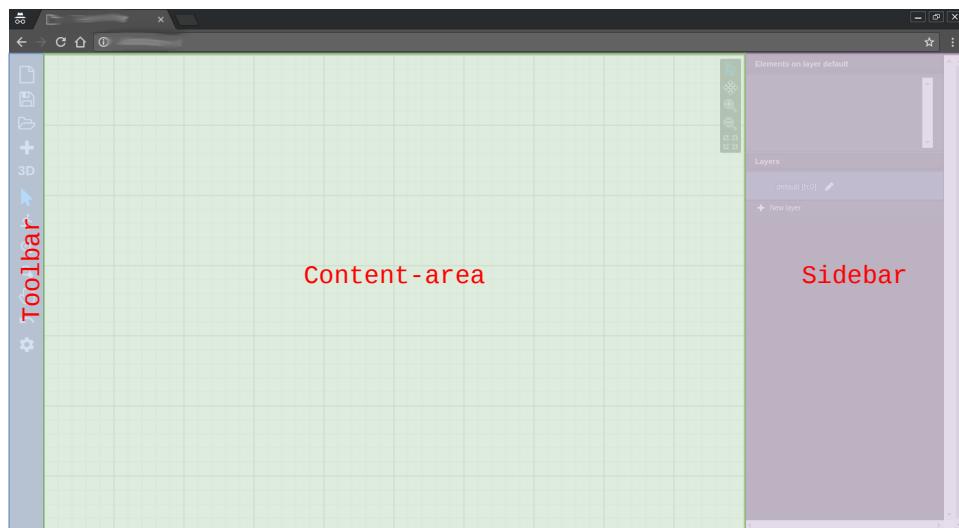


Figura 2.1: Schermata componenti interfaccia

Dalla toolbar lo user può accedere alle funzionalità relative a: ciclo di vita del progetto (new, save, load); view/interaction mode switching (2D, 3D); interaction mode changing (selecting, pan, zoom). Il canvas è un area nella quale lo user può interagire con il data modello attuale. Nella modalità 2D il modello è visualizzato come una proiezione 2D dall'alto, e l'interazione consiste nell'inserimento, selezione e modifica dell'elemento (in accordo con le specifiche interattive del prototipo). Nella modalità 3D un modello 3D può essere inspezionato e navigato, rispettivamente attraverso il trackball o l'interazione in prima persona, mentre gli oggetti possono essere scelti consentendo la selezione dell'elemento. La sidebar visualizza le proprietà dell'elemento correntemente selezionato. Nel pannello delle proprietà è possibile vedere la descrizione dell'elemento, aggiungere/rimuovere metadata, e modificare qualsiasi proprietà. Quest'ultima modalità di interazione consente allo user di associare annotazioni semantiche su ogni parte del modello.

2.4.1 Viewer 2D

Il *2D-viewer* invoca il *2Dg* dei building elemets aggiunti al modello e genera in output il modello renderizzato usando gli elementi SVG. Per far fronte ai frequenti aggiornamenti provenienti dall'interazione con il disegno da parte dell'utente, sfrutta la *Virtual DOM* [29], che permette di aggiornare solo la parte modificata evitando così il completo rendering della scena. Per eseguire le operazioni di pan e zoom, tipicamente necessaria in questo tipo di strumento, sviluppiamo un componente ad-hoc di React denominato *ReactSVGPanZoom*⁵.

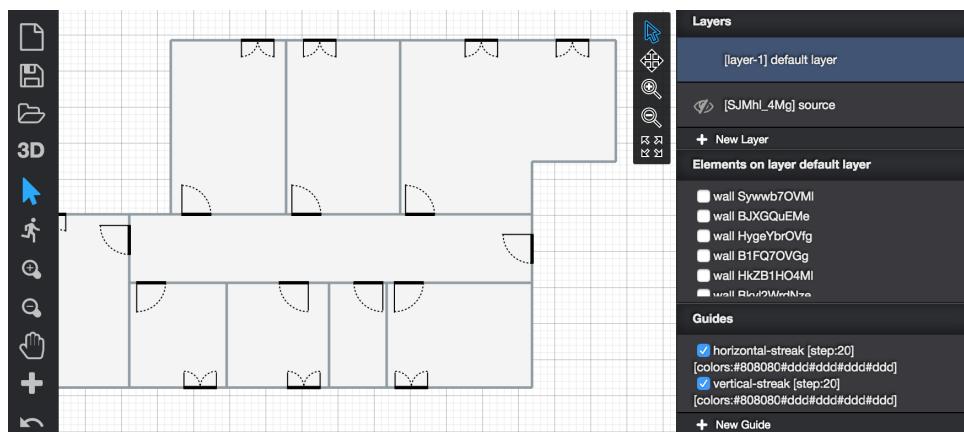


Figura 2.2: Schermata viewer 2D

⁵<https://github.com/chrvadala/react-svg-pan-zoom>

2.4.2 Viewer 3D

Il *3D-viewer* invoca il *3Dg*f dei building elements aggiungi al modello e lo renderizza in output usando le primitive WebGL *Three.js*⁶. È stato implementato un *diff* e *patch* di sistema, standardizzate in [22]: gli oggetti *Three.js* sono associati con elementi costruttivi all'interno dello Stato, in modo che ogni volta che l'utente attiva un'azione che si traduce in una modifica dello stato, l'applicazione calcola la differenza tra il vecchio stato e quello nuovo e cambia solo l'oggetto interessato. In particolare possiamo avere le seguenti *operazioni*:

- *add*;
- *replace*;
- *remove*;

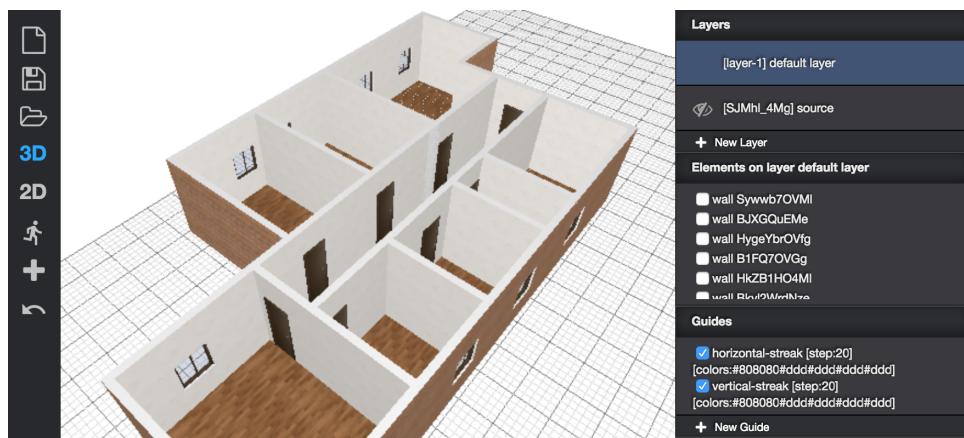


Figura 2.3: Schermata viewer 3D

⁶<https://threejs.org/>

2.5 User Experience

L’application experience si concentra sul sostegno dell’utente in un compito di modellazione di un edificio. L’approccio modellistico sfruttato dall’utente deve affrontare il più possibile un’interfaccia bidimensionale che permette di definire il piano e posizionare gli elementi architettonici complessi (chiamati *building elements*) su di esso. Tali *building elements* possono essere trovati in un catalogo pre-riempito, e quando richiesto può essere configurato ulteriormente e personalizzato attraverso un pannello laterale. Questo approccio di modellazione porta la complessità verso lo sviluppatore degli elementi costruttivi personalizzabili, lasciando all’utente finale il compito di posizionare e configurare gli elementi impiegati. Un ricco catalogo di elementi è quindi fondamentale per rispondere alle esigenze di modellazione degli utenti. Una volta che il flor-plan è stato definito in base al approccio *place-and-configure*, il sistema può automaticamente generare un modello 3D che può essere esplorato esternamente o in prima persona, (come mostrato in Figura 2.4).



Figura 2.4: Schermata con visuale in prima persona

Ogni *building element* infatti comprende sia un *funzione generatrice 2D* (*2Dgf*) e un *funzione generatrice 3D* (*3Dgf*), utilizzate per ottenere modelli nella planimetria 2D e in 3D che ha generato il modello rispettivamente.

In questo capitolo é stato descritto il framework Metior, vedendo in dettaglio l'architettura e lo stack tecnologico utilizzato. Abbiamo visto come si presenta il framework descrivendo l'interfaccia con cui interagisce l'utente. Nel prossimo capitolo vedremo in dettaglio l'implementazione dei plugins.

Capitolo 3

Metior Plugins

In questo capitolo, si descrive come vengono implementati i plugins utilizzati all'interno del framework *Metior*, dando una descrizione completa delle proprietà caratteristiche presenti in ciascuno di essi.

3.1 Definizione

Plugin è un componente software che può essere perfettamente integrato nel sistema, al fine di estenderne le sue capacità. In *Metior*, un plugin rappresenta un elemento architettonico che estende le Building Information Model progettate. Tecnicamente, un plugin rappresenta un *prototype* (cioé una “class” in un Object Oriented Programming) di un elemento di costruzione che può essere inserito (“istanziato”) nel *canvas*, definendo così un nuovo *elemento*, in altre parole un nuovo componente del modello.

Proprietà

Un plugin è descritto dalle seguenti otto proprietà: (1) un nome unico; (2) una descrizione; (3) un insieme di metadati; (4) l'*occupation type* (uno tra *linear*, *area* or *volume*); (5) il *placement type* (*inside* or *over*); (6) un insieme di proprietà specifiche mappano la semantica da associare al plugin; (7) una *generating function* che restituisce la rappresentazione 2D dell'elemento in formato SVG, da usare nel *2D-mode*; (8) a *generating function* che restituisce la rappresentazione 3D dell'elemento in formato OBJ, da usare nel *3D-mode*.

3.2 Tassonomia

I plugins posso essere organizzati in accordo con *occupation type* e *placement type*. L'*occupation type* può essere identificato da tre differenti tipi di plugins:

- *linear*;
- *area*;
- *volume*;

Quello *linear* si estende in una dimensione (a meno di uno spessore radiale) (e.g. linee idrauliche, cavi elettrici). Il plugin *area* si estende in due dimensioni (a meno di uno spessore lineare) (e.g. elementi di separazione). Si possono dividere in *horizontal area* (e.g. pavimento e celle), e *vertical area*, (e.g. muri). Il plugin *volume* si estende in tre dimensioni. Si possono avere *fixed volume*, (e.g. un pezzo di arredo) e un *scalable volume*, che può essere scalato (proporzionalmente o no), (e.g. pilastri, scale).

L'*occupation type* determina un modo differente di instanziare e inserire i plugin nel canvas. In particolare, nel *2D-mode*, i plugins *linear* sono inseriti disegnando linee attraverso l'interazione drag&drop; Il plugins *area* sono inseriti disegnando una bounding-box dell'elemento attraverso l'interazione

drag&drop; Il plugins *volume* sono inseriti scegliendo la posizione dell'elemento attraverso l'interazione point&click, e sistemandone la loro dimensione modificando la bounding-box attraverso il drag&drop.

Il *placement type* determina se l'elemento può essere inserito all'interno del canvas in un specifico punto occupato o meno da altri elementi. In altre parole, esso determina la relazione tra una nuova istanza del plugin e l'istanza di altri plugins precedentemente aggiunti al modello. La relazione può essere di due tipi: *inside* o *over*. I plugins appartenenti alla categoria *inside* possono essere aggiunti solo all'interno di altri elementi (che possono essere *linear*, *area* o *volume*); e.g., una “finestra” è un elemento “volume inside vertical area”, mentre un “linea idraulica” è un elemento “linear inside horizontal area”. I plugins della categoria *over* possono essere aggiunti solo sopra ad altri elementi (di qualsiasi tipo) e.g., un “pilastro” è un elemento “volume over horizontal area”, mentre un “pannello elettrico” è un elemento “volume over vertical area”. In fase di progettazione, un elemento che non soddisfa i vincoli di posizionamento definiti dal *placement type* è notificato dal sistema come un warning, visualizzando la sua bounding-box in semitrasparenza di colore rosso.

3.3 Proprietà Specifiche

Ogni plugin ha una serie di proprietà specifiche degli elementi costruttivi che rappresenta. Ogni proprietà è definita da:

- un *name*;
- un *type* (come “number”, “text”, “boolean”, o “custom”);
- un *value*.

In accordo con il proprio tipo, ciascun valore di proprietà può essere inserito in diversi modi. Ad esempio, un valore della proprietà booleana è impostato

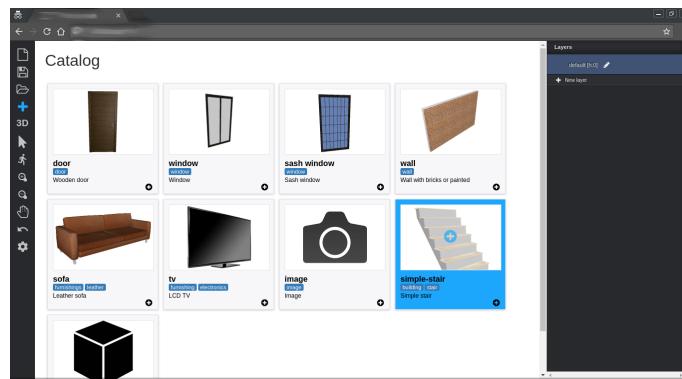
tramite una casella di controllo, mentre una proprietà di testo è impostata attraverso una casella di testo.

Il sistema è progettato per accettare tipi di proprietà custom. Un proprietà custom è richiesta per definire il componente della UI che permette allo user di inserire il suo valore. Per esempio, una proprietà “colore” può essere introdotta definendo un componente della UI composto da tre box di testo (ad esempio per ogni componente RGB), mentre una proprietà “length” può essere introdotta definendo un componente UI includendo una box di testo per il valore e menu drop-down per le unità di misura.

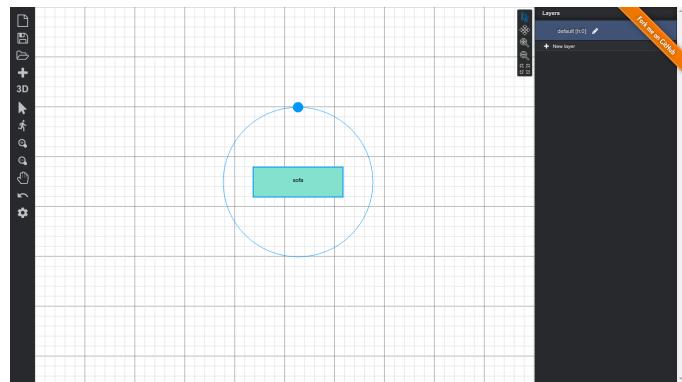
Le proprietà specifiche di un elemento possono essere modificate nel relativo pannello nella sidebar, una volta che l'elemento è stato selezionato nel canvas.

3.4 Plugin Catalog

Il plugin catalog è l'elemento centrale che fornisce allo users un sistema con un ricco catalogo di plugins, in cui, ogni elemento presente al suo interno è descritto da un nome, una descrizione ed una immagine di anteprima del modello 3D (come si vede in Figura 4.1 (a)). Quando l'utente è al suo interno sceglie il plugin da inserire con un click, dopo il quale, si passa nella modalità 2D-view, dove verrà posizionato all'interno della scena (come si vede in Figura 4.1 (b)).



(a)



(b)

Figura 3.1: Dettaglio Plugins: (a) Vista dei plugins nel catalogo, (b) inserimento oggetto dopo la selezione nel catalogo

3.5 Server-side models generation

Tra i modelli 3D e 2D generati è stato progettato un *asynchronous*. Il risultato attuale dell’invocazione di una funzione generatrice non è generare il modello stesso, ma una *promise* di un risultato previsto. Tale scelta progettuale è importante poiché il calcolo per la generazione di modello può richiedere un certo tempo. Nel frattempo l’utente deve essere in grado di interagire con l’interfaccia, che a sua volta deve rimanere reattiva. Basandosi su questa architettura, la generazione dei modelli può essere facilmente delegata a un server, sollevando così il cliente dall’onere di calcoli onerosi. Il server espone un REST-like HTTP-based JSON API al cliente. I plugin spaziano dal client al server, dal momento che le funzioni generatrici 2D e 3D (*2Dgf* e *3Dgf*) definito dal plugin sono effettivamente eseguite sul server.

In questo capitolo è descritto come vengono implementati i plugins utilizzati all’interno di Metior. Nel prossimo capitolo si farà un overview sui contesti di applicazione affronti.

Capitolo 4

Casi d'uso

In questo capitolo si descrivono i contesti di applicazione del progetto sviluppato. Le prime due sezioni fanno un overview sul BaM e sul Deconstruction due progetti realizzati in collaborazione con il Comitato Nazionale dei Geometri. La terza sezione descrive la modellazione del CED all'interno di SOGEI.

4.1 BaM

Il Progetto BaM (Building and Modelling) sviluppato in collaborazione con il CNG (Comitato Nazionale Geometri), nasce dall'idea di far realizzare, agli studendi frequentanti le scuole medie in Italia, “*l'aula che vorrei*”. Lo scopo principale di questa iniziativa è sensibilizzare gli studenti a utilizzare materiali ecosostenibili e rispettare l'ambiente. Gli alunni avranno poi la possibilità di scegliere degli elementi con cui personalizzare l'aula virtuale. La lista degli oggetti 3D presenti in libreria ha l'obiettivo di far sperimentare l'uso di uno strumento di progettazione e di rappresentazione della realtà e di dare spunti su alcune tematiche.

Per questo motivo il software è stato strutturato in modo che a ogni elemento è associato un punteggio su:

- impatto Ecologico;
- impatto Energetico;
- sicurezza;
- rispetto della diversità/disabilità;

Vincerà il team che realizzerà la classe con il punteggio più alto, risultante dalla somma dei materiali scelti tra quelli presenti in libreria. Per ottenere un punteggio alto, bisogna rispettare i principi delle “3E” (Edilizia – Energia - Economia) e delle “3R” (Ridurre, Riutilizzare, Riciclare)!

I plugins presenti all'interno del catalogo, sono stati suddivisi in categorie, per consentire una valutazione al termine dell'esperienza di modellazione dell'aula. Il primo gruppo di plugins riportato sono (come si evince dalla Figura 4.1): un appendiabiti, un armadietto, un attaccapanni ed un porta ombrelli.

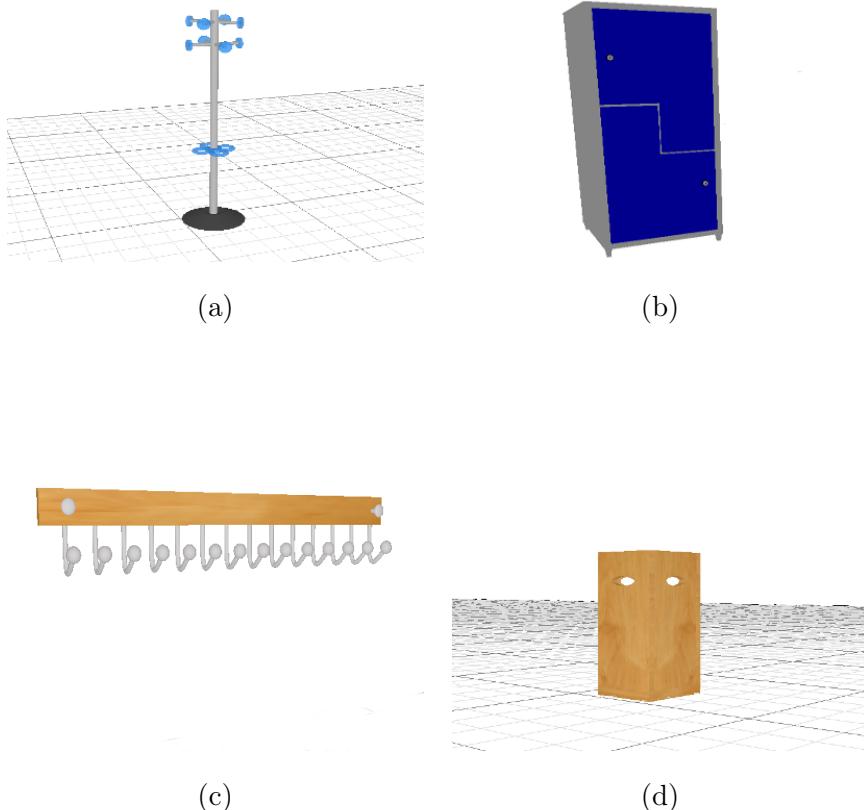


Figura 4.1: Dettaglio Plugins: (a) appendiabiti, (b) armadietto, (c) attaccapanni, (d) portaombrelli

Il secondo gruppo di plugins riportato sono (come si evince dalla Figura 4.2): un banco, una cattedra, una lavagna ed una lavagna interattiva multimediale.

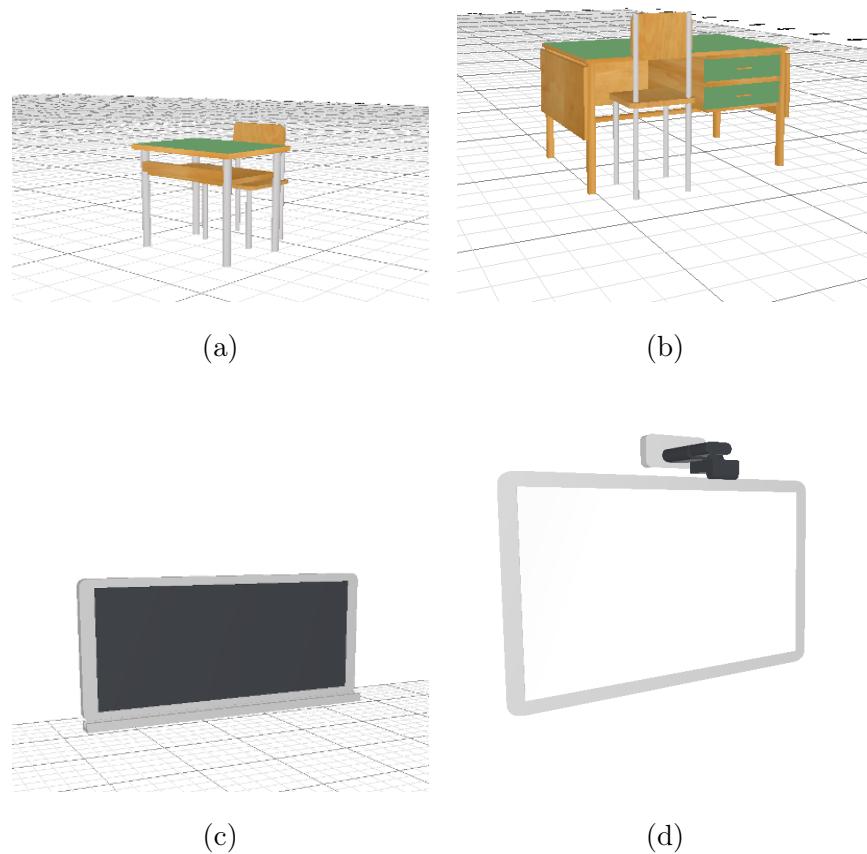
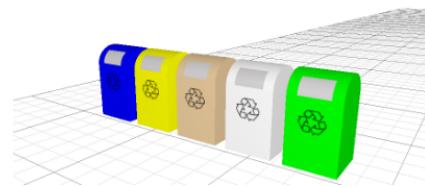


Figura 4.2: Dettaglio Plugins: (a) banco, (b) cattedra, (c) lavagna, (d) lim

Il terzo gruppo di plugins riportato sono (come si evince dalla Figura 4.3): un cestino, gruppo di cestini per la raccolta differenziata, un condizionatore d'aria ed termosifone.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.3: Dettaglio Plugins: (a) cestino, (b) cestini differenziata, (c) condizionatore, (d) termosifone

Il terzo gruppo di plugins riportato sono (come si evince dalla Figura 4.4): una libreria, un computer, una finestra con tenda ed una con veneziana.

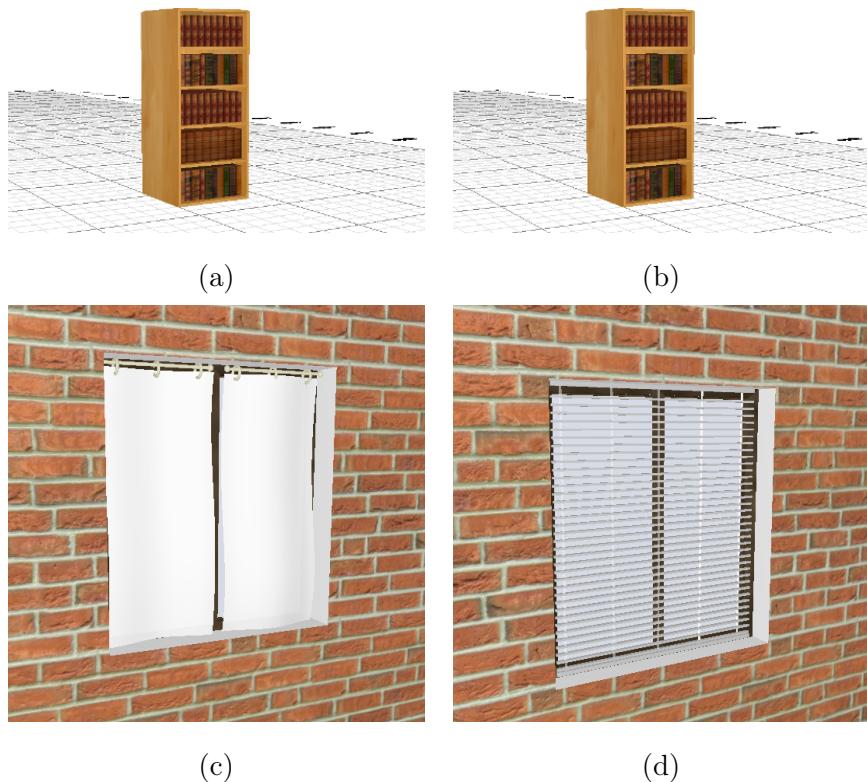


Figura 4.4: Dettaglio Plugins: (a) libreria, (b) ???, (c) finestra con tenda, (d) finestra con veneziana

4.2 Deconstruction

Il progetto Deconstruction sviluppato in collaborazione con il CNG (Comitato Nazionale Geometri), nasce con l'idea di fare delle previsioni sui costi di demolizione e smaltimento dei materiali di demolizione degli edifici (come mostrato in figura 4.5).



Figura 4.5: Realtà aumentata di un modello reale

4.3 CED

Il progetto di modellazione del CED (Centro Elaborazione Dati) sviluppato presso SOGEI, è stato realizzato con l'intento di avere un modello 3D navigabile per consentire di sviluppare un sistema di Indoor Mapping e Indoor Navigation. Sono stati sviluppati dei plugins coerenti con il contesto.

Il primo gruppo di plugins sono importanti nel contesto della sicurezza degli edifici, infatti (come si evince dalla Figura 4.6) essi sono: un estintore, un rilevatore di fumo, un naspo ed una porta antincendio.



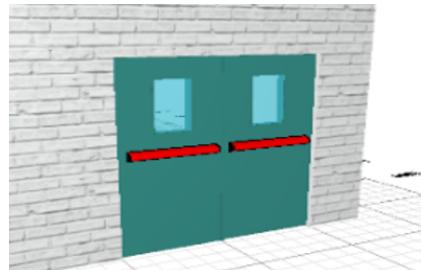
(a)



(b)



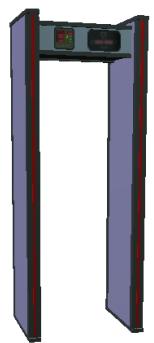
(c)



(d)

Figura 4.6: Dettaglio Plugins: (a) estintore, (b) rilevatore fumo, (c) naspo, (d) porta antipanico

Il secondo gruppo di plugins riguardano il contesto tecnologico (come si vede in Figura 4.7), essi sono un metal detector, un rack server, un router wifi ed una telecamera.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.7: Dettaglio Plugins: (a) metal detector, (b) rack server, (c) router wifi, (d) telecamera

In questo capitolo sono stati descritti i contesti di applicazione del framework Metior. Nel prossimo capitolo si trarranno le conclusioni, proponendo dei possibili sviluppi futuri.

Capitolo 5

Conclusioni e sviluppi futuri

In questo capitolo si fa un resoconto sul progetto sviluppato nel percorso di tesi, dando dei possibili spunti di riflessione per degli sviluppi futuri.

5.1 Conclusioni

In questa tesi si è contribuito ad implementare un’architettura serverless per supportare la modellazione di edifici in ambiente Web. L’architettura serverless ha dato dei benefici in termini di disponibilità, affidabilità, scalabilità, facilità di implementazione, manutenzione e aggiornabilità si è ottenuta implementando un applicazione logica come client-side con un solo stato centralizzato (nella forma di un documento JSON) che può essere messo in document oriented DB-as-a-Service di terze parti e caricato nell’architettura frontend, la quale trasparentemente ricarica lo stato nella sua versione serializzata che gli è stato passato . L’applicazione stessa è servita da un CDN (Content Delivery Network) evitando così la necessità di un server web. La routine non in linea si basa su una piattaforma Function-as-a-Service così come le caratteristiche di gestione utenti e collaborazione.

5.2 Sviluppi futuri

I possibili sviluppi e campi di utilizzo del framework implementato possono essere tanti. Dopo aver accumulutato un certo quantitivo di ore di user expierience, gli spunti di riflessione hanno dilineato alcune possibile vie di sviluppo. Si è deciso di seguirne in particolare tre:

- Integrazione IoT
- Collaboratività
- Fotorealismo

5.2.1 IoT

Nel mondo gli oggetti presenti nella vita di tutti i giorni, hanno al proprio interno del hardware che consente di interagire con essi. Questi dispositivi sono denominati IoT (Internet of Things) e consentono l'estensione su Internet degli oggetti e dei luoghi reali. Questo ci consente di pensare all'inserimento di meta dati all'interno dei plugin implementati, consentendo all'utente un interazione realtime consentendo la fruizione di informazioni intriseche al modello.

5.2.2 Collaboratività

Un altro possibile sviluppo del framework é inserire la modalità *Collaborativà*, consentendo a più utenti di collaborare su uno stesso progetto, ottimizzando i tempi di lavoro. Si fa riferimento all'utilizzo all'interno di uno studio di geometri. Lo stack tecnologico scelto per questo sviluppo sono *Firebase* e *jsondiff*. Il primo é necessario, per consentire in un possibile sistema di autenticazione degli utenti, fare un controllo degli accessi e dei permessi al progetto. Il secondo modulo presente in npm, consente di confrontare nel contesto collaborativo i file JSON su cui lavorono gli utenti per trovare le modifiche apportate.

5.2.3 Fotorealismo

Con fotorealismo si intende semplicemente che una scena simulata è indistinguibile da una fotografia, o per estensione dalla vita di tutti i giorni. Questo è possibile attraverso la *rasterizzazione*, che consiste in un algoritmo che permette di convertire un'immagine a due dimensioni in una formata da pixel per avere fotogrammi proiettabili sugli schermi.

Il servizio *Baking* è un servizio remoto che prende una rappresentazione della scena in JSON come input, calcola le texture lightmapped, le Mappe Ambientali per riflessione e rifrazione e memorizza le informazioni grafiche in un formato che è compatibile con quello d'ingresso, in modo da permettere l'anello di retroazione di authoring.

Lo scopo principale è semplificare il workflow del visual 3D per fornire una user-experience ad alto livello sul cliente web (desktop, tablet e mobile, wearables come Google Carboard). Compattare le strutture dati 3D prodotte dall'editor sul browser, trasmetterle ad un servizio di baking web remoto, e restituire una piacevole esperienza VR in real-time con alto realismo e frame rate. Attualmente stiamo fornendo diverse ottimizzazioni, tra cui una soluzione per far fronte a scene di memoria basata su portali e frammentazione del ambienti caricando su richiesta solo una parte degli interi dati generati. Il progetto discusso fa parte di un programma di grande che fornisce Indoor mapping e indoor/outdoor 3D di modelli realistici partendo da (a) documenti catastali e/o disegni di costruzione, e (b) outdoor/indoor voli con drone che restituiscono un set di fotografie e di nuvole di punti generati. Il possibile range di applicazioni in cui utilizzare il framework spazia dalla sicurezza all'interno di piccole aree o edifici pubblici, a e-commerce, accesso virtuale al patrimonio culturale, ai videogames, e molto altro ancora.

Bibliografia

- [1] <http://www.infoworld.com/article/2608181/javascript/react--making-faster--smoother-uis-for-data-driven-web-apps.html>.
- [2] <https://www.infoq.com/news/2013/06/facebook-react>.
- [3] <https://thenewstack.io/javascripts-history-and-how-it-led-to-reactjs/>.
- [4] <http://libscore.com>.
- [5] <https://www.quora.com/React-JS-Library/How-was-the-idea-to-develop-React-conceived-and-how-many-people-worked-on-developing-it-and-implementing-it-at-Facebook/answer/Bill-Fisher-17>.
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=A0Kj49z6WdM>.
- [7] <https://facebook.github.io/react/docs/refs-and-the-dom.html>.
- [8] <https://facebook.github.io/react/docs/jsx-in-depth.html>.
- [9] <https://code.facebook.com/posts/1014532261909640/react-native-bringing-modern-web-techniques-to-mobile/>.

- [10] [https://www.paypal-engineering.com/2015/04/27/isomorphic-react-apps-with-react-engine/.](https://www.paypal-engineering.com/2015/04/27/isomorphic-react-apps-with-react-engine/)
- [11] [http://techblog.netflix.com/2015/01/netflix-likes-react.html.](http://techblog.netflix.com/2015/01/netflix-likes-react.html)
- [12] [https://en.wikipedia.org/wiki/O3D.](https://en.wikipedia.org/wiki/O3D)
- [13] [https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_\(game_engine\).](https://en.wikipedia.org/wiki/Unity_(game_engine))
- [14] [https://www.khronos.org/news/press/khronos-releases-final-webgl-1.0-specification.](https://www.khronos.org/news/press/khronos-releases-final-webgl-1.0-specification)
- [15] [http://www.develop-online.net/news/study-average-dev-costs-as-high-as-28m/0106030.](http://www.develop-online.net/news/study-average-dev-costs-as-high-as-28m/0106030)
- [16] [https://github.com/mrdoob/three.js/issues/1960.](https://github.com/mrdoob/three.js/issues/1960)
- [17] [https://github.com/mrdoob/stats.js.](https://github.com/mrdoob/stats.js)
- [18] [http://benvanik.github.io/WebGL-Inspector/.](http://benvanik.github.io/WebGL-Inspector/)
- [19] [http://zz85.github.io/zz85-bookmarklets/threelabs.html.](http://zz85.github.io/zz85-bookmarklets/threelabs.html)
- [20] [https://github.com/mrdoob/three.js/commit/a90c4e107ff6e3b148458c969652010.](https://github.com/mrdoob/three.js/commit/a90c4e107ff6e3b148458c969652010)
- [21] Paola Altamura. «Gestione eco-efficace dei materiali da costruzione nel ciclo di vita del fabbricato». (in Italian). Tesi di dott. Sapienza Università di Roma, 2012.
- [22] P. Bryan e M. Nottingham. *JavaScript Object Notation (JSON) Patch*. Rapp. tecn. 6902. RFC Editor, 2013, pp. 1–18.
- [23] Thom Hos. *Reactivity, state and a unidirectional data flow*. URL: <https://blog.deptagency.com/reactivity-state-and-a-unidirectional-data-flow-340e793ebf89>.

- [24] D. Jackson. *WebGL Specification*. Khronos Recommendation. "<https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/1.0.3/>". Khronos, 2014.
- [25] Dean Jackson et al. *Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 (Second Edition)*. W3C Recommendation. "<http://www.w3.org/TR/2011/REC-SVG11-20110816/>". W3C, ago. 2011.
- [26] James Long. *Immutable Data Structures and JavaScript*. URL: <http://jlongster.com/Using-Immutable-Data-Structures-in-JavaScript>.
- [27] Jay Munro et al. *HTML Canvas 2D Context*. W3C Recommendation. <http://www.w3.org/TR/2015/REC-2dcontext-20151119/>. W3C, nov. 2015.
- [28] Mike Roberts. *Serverless Architectures*. URL: <http://martinfowler.com/articles/serverless.html>.
- [29] Jarrod Rotolo. *The Virtual DOM vs The DOM*. URL: <http://revelry.co/the-virtual-dom>.
- [30] Alex Russell. *Web Components and Model Driven Views*. URL: <https://fronteers.nl/congres/2011/sessions/web-components-and-model-driven-views-alex-russell>.
- [31] Paolo Emilio Serra. *Cominciare a editare le famiglie*. <http://puntorevit.blogspot.it/2007/11/cominciare-editare-le-famiglie.html>. 2007.
- [32] Pavel Solin. *Creative Computing Platform: Learn Coding and 3D Modeling!* Accessed: 2016-11-12. 2016.