

# BIM - IoT - VR

Il Digital Twin in Smart Factory per il risparmio energetico



Caso studio: FCA, Mirafiori



**POLITECNICO DI TORINO**  
**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA**  
**COSTRUZIONE E CITTA'**



**TESI DI LAUREA MAGISTRALE**

**BIM-IoT-VR**

Il Digital Twin in Smart Factory per il  
risparmio energetico

**Relatore:**

Prof.ssa Anna Osello

**Correlatori:**

Prof. Matteo Del Giudice

Prof.ssa Ivana Scida

Prof. Lorenzo Bottaccioli

Luglio, 2021



## RINGRAZIAMENTI

Ringrazio i miei relatori di tesi. Alla Prof.ssa Anna Osello per avermi dato l'opportunità di sviluppare questo progetto, e specialmente al Prof. Matteo e alla Prof.ssa Ivana per la loro paziente guida, il tempo dedicato e l'aiuto nel fornirmi le risorse per portare avanti la ricerca. Al Prof. Lorenzo per i suoi suggerimenti costruttivi per lo sviluppo della tesi.

Vorrei soprattutto ringraziare la mia famiglia per il suo sostegno in ogni progetto della mia vita. Ai miei genitori per il loro amore e appoggio incondizionato, per avermi insegnato i principi e i valori che hanno contribuito alla mia formazione personale e professionale. Alle mie sorelle per la loro pazienza e il loro sostegno durante tutto questo processo, per essere sempre con me e mostrarmi le molteplici prospettive delle cose. Grazie per essere il pilastro della mia vita.

Ai miei amici. Tutti quelli con cui ho condiviso dentro e fuori l'aula. Quelli che sono diventati amici di vita e quelli che saranno i miei colleghi, grazie per tutto il vostro sostegno e divertimento.

E finalmente al Politecnico di Torino e all'Universidad Central de Venezuela, per avermi permesso di concludere questa fase della mia vita e per avermi dato la possibilità di crescere giorno dopo giorno come professionista.



# INDEX

**RINGRAZIAMENTI**

**ABSTRACT**

**ACRONOMI**

**INDICE DELLE FIGURE**

**STRUTTURA DELLA TESI**

## **CAPITOLO 01 - Introduzione**

<b>1.1</b>	<b>Building information modeling (BIM)</b>	<b>2</b>
1.1.1	Definizione	2
1.1.2	Interoperabilità IFC	3
1.1.3	Livelli di maturità BIM	4
1.1.4	Dimensione del BIM	5
<b>1.2</b>	<b>Internet of Thing (IoT)</b>	<b>6</b>
1.2.1	Cos'è IoT	6
1.2.2	Settori di sviluppo	7
<b>1.3</b>	<b>Industry 4.0   IoT for smart factories (IIoT)</b>	<b>9</b>
1.3.1	Cos'è l'industria 4.0?	9
1.3.2	Rivoluzione Industriale	10
1.3.3	Le 9 tecnologie abilitanti per l'Industria 4.0	12
<b>1.4</b>	<b>Integrazione BIM-IoT</b>	<b>16</b>
<b>1.5</b>	<b>Digital Twin</b>	<b>18</b>
<b>1.6</b>	<b>La Realtà Virtuale e Aumentata</b>	<b>19</b>
1.6.1	L'evoluzione della tecnologia	20
1.6.1.1	Concetti e caratteristiche: VR and AR	20
<b>1.7</b>	<b>Caso studio: FCA</b>	<b>24</b>
1.7.1	L'Azienda	24
1.7.2	Modello BIM	25
<b>1.8</b>	<b>Obiettivi da raggiungere</b>	<b>27</b>

## **CAPITOLO 02 - Metodologia**

<b>2.1</b>	<b>Literature Review</b>	<b>30</b>
<b>2.2</b>	<b>Workflow Metodologico</b>	<b>36</b>
<b>2.3</b>	<b>Panoramica degli strumenti utilizzati</b>	<b>40</b>

## **CAPITOLO 03 - Test e Risultati**

<b>3.1</b>	<b>BIM come Web Service</b>	<b>42</b>
3.1.1	Bimserver	42
3.1.2	Bimservercenter	53
3.1.3	Speckle	64
3.1.4	Tridify	69
<b>3.2</b>	<b>Interoperabilità</b>	<b>80</b>
<b>3.3</b>	<b>Integrazione BIM-IoT interfaccia Unity3D</b>	<b>83</b>
3.3.1	Raccolta dei Dati	84
3.3.2	Integrazione	88
3.3.3	Visualizzazione	93

## **CAPITOLO 04 - Virtual Reality**

<b>4.1</b>	<b>Realtà Virtuale nell'Industria 4.0</b>	<b>101</b>
<b>4.2</b>	<b>Applicazioni della VR nell'industria 4.0</b>	<b>102</b>
<b>4.3</b>	<b>Dispositivo di visualizzazione VR</b>	<b>103</b>
<b>4.4</b>	<b>Caso d'uso del modello</b>	<b>105</b>
<b>4.5</b>	<b>Implementazione della VR</b>	<b>109</b>
<b>4.6</b>	<b>Visualizzazione BIM-IoT con VR</b>	<b>110</b>

## **CAPITOLO 05 - Conclusioni e sviluppi futuri**

<b>5.1</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>114</b>
<b>5.2</b>	<b>Sviluppi futuri</b>	<b>116</b>

<b>BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA</b>	<b>117</b>
----------------------------------	------------

<b>ALLEGATI</b>	<b>127</b>
-----------------	------------

## ABSTRACT

(IT)

La presente tesi di ricerca propone un metodo che permette l'integrazione di *BIM-IoT* e *VR*, utilizzando il motore di gioco Unity3D come interfaccia di connessione tra i due ecosistemi che, a sua volta, rende possibile la visualizzazione dei dati dei sensori *IoT* collegati al modello BIM, in un ambiente digitale completamente immersivo di Realtà Virtuale.

Il processo di integrazione comprende tre fasi: i) Raccolta di dati collezionati in *InfluxDB*, ii) Integrazione: *BIM-Unity-IoT*, attraverso un plugin fornito dalla piattaforma *Tridify*, che permette in modo veloce ed efficiente, il trasferimento di dati geometrici e metadati al motore di gioco. Il modello importato è stato usato come base per l'integrazione delle informazioni dei sensori, effettuata attraverso *WebRequest* all'API *InfluxDB*, e iii) la visualizzazione *BIM-IoT* in RV.

Il risultato ha mostrato che il metodo sviluppato è in grado di leggere e visualizzare i dati *IoT* in tempo reale, utilizzando il BIM come intermediario per rappresentare le informazioni in modi diversi, attraverso interazioni tra l'utente e il modello all'interno dell'ambiente di Realtà Virtuale.

## **ABSTRACT**

(EN)

The following research thesis proposes a method that allows the integration of *BIM-IoT* and *VR*, using the Unity3D game engine as a connection interface between both ecosystems, which enables the visualization of IoT sensor data associated to the BIM model, in a fully immersive Virtual Reality environment.

The integration process comprised three stages: i) Collection of data stored in *InfluxDB*, ii) Integration: *BIM-Unity-IoT* through a plugin provided by *Tridify* platform, which allows fast and efficient transfer of geometric data and metadata to the game engine. The imported model was used as a starting point for the integration of sensor information carried out via *WebRequest* to the *InfluxDB API*, and iii) The *BIM-IoT* visualization in Virtual Reality.

The result showed that the developed method was able to read and show *IoT* data in real time, using the BIM model as an intermediary to represent the information in different modes, by interactions between the user and the BIM model within the Virtual Reality environment.

## ACRONIMI

AEC	<i>The Architecture, Engineering and Construction</i>
API	<i>Application Program Interface</i>
AR	<i>Augmented Reality</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
C#	<i>Linguaggio di programmazione</i>
CDE	<i>Common Data Environment</i>
CPS	<i>Cyber-Physical System</i>
DT	<i>Digital Twin</i>
.dae	<i>Digital Asset Exchange</i>
.fbx	<i>FilmBoX</i>
.glb	<i>Binary glTF Data</i>
glTF	<i>Graphic Library Transmission Format</i>
GUID	<i>Globally unique identifier</i>
GUIs	<i>Graphic User Interfaces</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IT	<i>Information technology</i>
JDK	<i>Java Development Kit</i>
JRE	<i>Java Runtime Environment</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
MEP	<i>Mechanical, Electrical and Plumbing</i>
NIBS	<i>National Institute of Building Sciences</i>
.OBJ	<i>Object file</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RVT	<i>Revit</i>
SF	<i>Smart Factory</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
VS	<i>Visual Studio</i>

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1.</i>	Multidisciplinarietà durante il ciclo di vita del modello BIM.	2
<i>Figura 2.</i>	Schema di interoperabilità del BIM di un sistema chiuso e aperto. Schematizzazione interoperabilità del BIM.	3
<i>Figura 3.</i>	Livelli di maturità del BIM, PAS 1192_2:2013.	4
<i>Figura 4.</i>	Internet of Things.	6
<i>Figura 5.</i>	Rivoluzioni Industriali.	10
<i>Figura 6.</i>	Industry 4.0 – Nine pillars of Industry 4.0 (BCG, 2015).	11
<i>Figura 7.</i>	Buildings and the IoT.	17
<i>Figura 8.</i>	Schema digital Twin.	18
<i>Figura 9.</i>	Realtà Virtuale e Aumentata.	19
<i>Figura 10.</i>	Stabilimenti FCA a Torino: a) Impianto di produzione. b) Assemblaggio e trasmissione.	25
<i>Figura 11.</i>	Modello Architettonico / Elettrico / Meccanico.	26
<i>Figura 12.</i>	Framework metodologico proposto.	36
<i>Figura 13.</i>	BIMserver logo.	42
<i>Figura 14.</i>	BIMserver Starter.	44
<i>Figura 15.</i>	BIMserver. “Server started successfully”.	44
<i>Figura 16.</i>	BIMserver configurazione.	45
<i>Figura 17.</i>	BIMserver. Avvio della configurazione.	45
<i>Figura 18.</i>	BIMserver Configurazione finita pronta per aprire BIMvie.ws.	46
<i>Figura 19.</i>	BIMserver. Schermo iniziale di BIMvie.ws.	46
<i>Figura 20.</i>	BIMserver. Creazione del progetto.	47
<i>Figura 21.</i>	BIMserver. Creazione di sub progetti.	47
<i>Figura 22.</i>	Subprogetti: Architettonico / Elettrico / Meccanico.	48
<i>Figura 23.</i>	BIMserver. Proprietà dell'oggetto. Modello Elettrico.	49
<i>Figura 24.</i>	BIMserver. Scarica del modello federato generato.	49
<i>Figura 25.</i>	Schermo iniziale di BIMserver.	50
<i>Figura 26.</i>	BIMserverAPI. Esecuzione della chiamata in JSON.	50
<i>Figura 27.</i>	GitHub. Pacchetto per Unity3D.	51
<i>Figura 28.</i>	BIMconnect Scene.	52
<i>Figura 29.</i>	BIMconnect interfaccia utente.	52
<i>Figura 30.</i>	BIMserver.center. logo.	53
<i>Figura 31.</i>	Flusso di lavoro BIMserver.center estratto dalla documentazione tecnica.	54
<i>Figura 32.</i>	Sviluppi specifici della piattaforma BIMserver.center.	55
<i>Figura 33.</i>	Home Page BIMserver.center.	56

<i>Figura 34.</i>	Creazione e configurazione di un nuovo progetto.	56
<i>Figura 35.</i>	Dashboard BIMserver.center.	57
<i>Figura 36.</i>	Importazione del file IFC su IFC Uploader.	57
<i>Figura 37.</i>	<i>Generazione del file glTF.</i>	58
<i>Figura 38.</i>	a) Visualizzatore dei file caricati in IFC Uploader. b) Aggiornamento automatico sulla piattaforma BIMserver.center.	58
<i>Figura 39.</i>	a) Plugin Open BIM all'interno di Revit. b) Bimserver.center Sync.	59
<i>Figura 40.</i>	a) Workflow usando OpenBIM-Revit. b) Workflow usando IFCUploader.	60
<i>Figura 41.</i>	Visualizzatore 3D online BIMserver.center.	60
<i>Figura 42.</i>	Home page del modulo business.	61
<i>Figura 43.</i>	GUID ottenuti dall'applicazione creata.	61
<i>Figura 44.</i>	Componenti per accedere alla piattaforma BIMserver.center.	62
<i>Figura 45.</i>	Modello importato su Unity3D da BIMserver.center.	63
<i>Figura 46.</i>	Struttura interna dei modelli importati.	63
<i>Figura 47.</i>	Speckle logo.	64
<i>Figura 48.</i>	Revit Connector che collega Speckle al software BIM.	65
<i>Figura 49.</i>	Finestra per modificare il filtro di elezione da Revit Connectors.	65
<i>Figura 50.</i>	Speckle Web server.	66
<i>Figura 51.</i>	Repository "Speckle - Unity" nella cartella "Assets" del progetto.	66
<i>Figura 52.</i>	Configurazione degli elementi della scena "SpecklePlayground".	67
<i>Figura 53.</i>	Processo di selezione del progetto da importare.	67
<i>Figura 54.</i>	Importazione del modello architettonico all'interno di Unity tramite Speckle-Unity.	68
<i>Figura 55.</i>	Proprietà degli oggetti importati da Speckle.	68
<i>Figura 56.</i>	Tridify logo.	69
<i>Figura 57.</i>	Tridify. Procedura per creare un progetto in Tridify.	70
<i>Figura 58.</i>	Selezione dei file IFC da caricare nel progetto.	71
<i>Figura 59.</i>	Elaborazione dei file IFC in Tridify.	71
<i>Figura 60.</i>	Opzioni di elaborazione dei file in Tridify.	72
<i>Figura 61.</i>	Selezione dei file da pubblicare sul web in Tridify.	72
<i>Figura 62.</i>	Impostazioni applicate sia al modello che agli strumenti da usare nel visualizzatore BIM Tridify.	73
<i>Figura 63.</i>	Tridify. Opzione di condivisione nel visualizzatore BIM.	73
<i>Figura 64.</i>	Tridify. Strumento di commento nel visualizzatore BIM.	74
<i>Figura 65.</i>	Tridify. Strumento per la visualizzazione in modalità VR nel visualizzatore BIM.	74
<i>Figura 66.</i>	Tridify. Strumento di misura nel visualizzatore BIM.	74

<i>Figura 67.</i>	Tridify. Strumento usato per realizzare piani di taglio nel visualizzatore BIM.	75
<i>Figura 68.</i>	Tridify. Strumento di visibilità dei file IFC nel visualizzatore BIM.	75
<i>Figura 69.</i>	Tridify. Strumento per mostrare i dati BIM all'interno del visualizzatore BIM.	75
<i>Figura 70.</i>	Tridify. Finestra di generazione dei link del visualizzatore BIM.	76
<i>Figura 71.</i>	Tridify. Modello aperto dall'link nel visualizzatore web.	76
<i>Figura 72.</i>	Importazione del pacchetto in Unity3D.	78
<i>Figura 73.</i>	Configurazione della versione Scripting Runtime.	78
<i>Figura 74.</i>	Processo di importazione dei file su Unity3D.	79
<i>Figura 75.</i>	Importazione dei file su Unity3D.	79
<i>Figura 76.</i>	Flusso di lavoro usando BIMserver.center.	81
<i>Figura 77.</i>	Flusso di lavoro usando Speckle.	81
<i>Figura 78.</i>	Flusso di lavoro usando Tridify.	82
<i>Figura 79.</i>	Fase di integrazione BIM-IoT.	83
<i>Figura 80.</i>	InfluxDB logo.	84
<i>Figura 81.</i>	Interrogazione dei dati.	85
<i>Figura 82.</i>	Creazione della query in Chronograf.	86
<i>Figura 83.</i>	Risposta JSON dalla Api Influxdb.	87
<i>Figura 84.</i>	Game Engine Unity3D.	88
<i>Figura 85.</i>	Creazione di uno script all'interno di Unity 3D.	89
<i>Figura 86.</i>	Script usato per realizzare la chiamata a Api di Influxdb a Unity.	90
<i>Figura 87.</i>	a) JSON stampato dalla Api di Influxdb a Unity. b) JSON dal visualizzatore.	92
<i>Figura 88.</i>	Percorso per estrarre il valore di Temperature dal JSON.	92
<i>Figura 89.</i>	Pannello di controllo. GUI.	93
<i>Figura 90.</i>	Impostazione del "render mode" in Canvas.	94
<i>Figura 91.</i>	Inserimento delle variabili Nodo, Temperatura, Tempo nel pannello.	94
<i>Figura 92.</i>	Assegnazione delle variabili di risposta nel componente.	95
<i>Figura 93.</i>	Assegnazione della funzione al pulsante.	95
<i>Figura 94.</i>	Componente script per cambio di colore del sensore in base al valore ottenuto.	96
<i>Figura 95.</i>	Esecuzione della modalità "Play" in cui è stato verificato il funzionamento del codice.	96
<i>Figura 96.</i>	Modifica della query da Chronograf.	97
<i>Figura 97.</i>	Pannello generale in modalità "Play".	98
<i>Figura 98.</i>	Mappa di calore visualizzata in modalità "Play".	98
<i>Figura 99.</i>	Grafico tridimensionale e la mappa di calore.	99
<i>Figura 100.</i>	Item Data/Tempo.	99
<i>Figura 101.</i>	Oculus Rift S. Dispositivo scelto per la visualizzazione dell'ambiente di VR.	103

<i>Figura 102.</i>	Requisiti minimi consigliati del computer per la visualizzazione VR con il dispositivo Oculus Rift S.	104
<i>Figura 103.</i>	Visualizzazione in VR dei dati pannello singolo.	105
<i>Figura 104.</i>	Visualizzazione in VR dei dati pannello generale.	106
<i>Figura 105.</i>	Visualizzazione in VR di grafico 3D.	107
<i>Figura 106.</i>	Visualizzazione in VR di mappa di calore.	108
<i>Figura 107.</i>	Installazione del pacchetto Oculus Integration in Unity.	109
<i>Figura 108.</i>	Configurazione per abilitare il supporto per la realtà virtuale (VR) in Unity.	109
<i>Figura 109.</i>	Apertura dell'applicazione.	110
<i>Figura 110.</i>	Visualizzazione in VR dei singoli pannelli situati su ogni sensore.	110
<i>Figura 111.</i>	Visualizzazione in VR dei singoli pannelli situati su ogni sensore.	111
<i>Figura 112.</i>	Visualizzazione in VR della mappa di calore + muri.	111
<i>Figura 113.</i>	Visualizzazione in VR del grafico 3D per l'analisi dei valori di temperatura.	112
<i>Figura 114.</i>	Visualizzazione in VR dei grafici 3D sovrapposti.	112
<i>Tabella 1.</i>	Visualizzazione in VR dei grafici 3D sovrapposti.	82

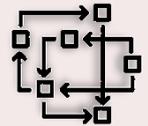
# STRUTTURA DELLA TESI

## Capitolo I



Definizione e situazione generale dei temi BIM, IoT e VAR, e gli obiettivi da raggiungere in un caso di studio reale: un capannone FCA.

## Capitolo II



Panoramica della situazione sull'integrazione BIM-IoT-VR e metodologia proposta per l'integrazione di questi ambienti.

## Capitolo III



Questa sezione include una serie di test e risultati nell'integrazione del BIM (come servizio Web) a Unity 3D, così come la fase di integrazione delle informazioni dei sensori IoT al BIM all'interno del motore di gioco, per la sua successiva visualizzazione in realtà virtuale.

## Capitolo IV



Prevede la visualizzazione dei dati dei sensori IoT all'interno della replica virtuale BIM, in un ambiente 100% immersivo di *Realtà Virtuale*. Inoltre, una breve descrizione di come questa tecnologia viene applicata per realizzare l'interazione Utente - *Digital Twin*.

## Capitolo V



Le conclusioni sono presentate secondo gli obiettivi proposti e i possibili sviluppi futuri.

# CAPITOLO I

---

## INTRODUZIONE

# 1.1 Building Information Modeling (BIM)

## 1.1.1 Definizione

Quando si parla di BIM (Building information Modeling) si intende un metodo di lavoro che si sviluppa nel contesto della cultura collaborativa e della pratica integrata, e che implica una trasformazione che coinvolge tutte le fasi di progettazione, costruzione e gestione dei processi edilizi (Eastman, C. et al., 2018).

Il National Institute of Building Sciences (NIBS) e BuildingSMARTalliance definiscono il BIM come una rappresentazione digitale dei beni tangibili e funzionali di una costruzione. Quindi, è considerato come un archivio di conoscenza comune per le informazioni su un edificio, formando una solida base per le decisioni lungo il suo ciclo di vita.

Ogni agente che interviene nel processo di costruzione ha la propria competenza e accesso alla parte di informazione che gli è rilevante. Pertanto, l'obiettivo principale della metodologia BIM è quello di integrare tutti gli attori coinvolti nel processo di costruzione: architetti, ingegneri, costruttori, gestori di strutture, ecc., e stabilire un flusso di comunicazione trasversale tra loro, generando così, un modello virtuale che contiene tutte le informazioni relativi all'edificio durante tutto il suo ciclo di vita utile, fino alla sua demolizione.

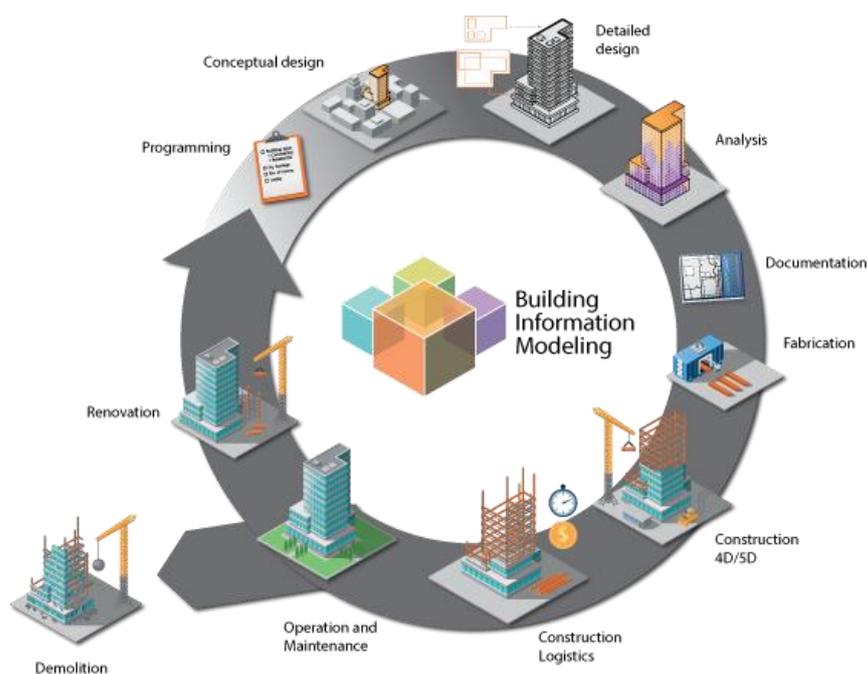


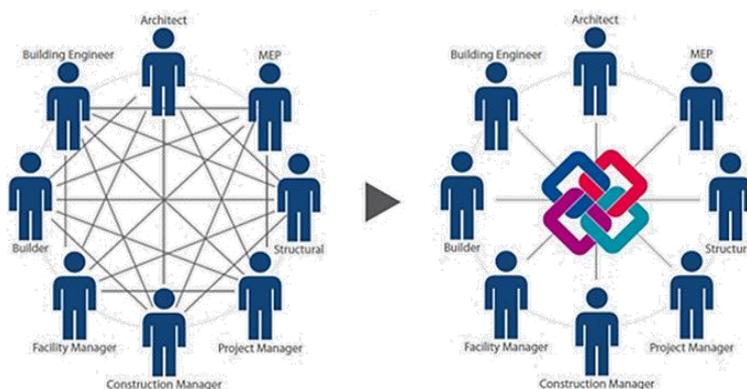
Fig. 1  
Multidisciplinarietà  
durante il ciclo di  
vita del modello  
BIM [105].

## 1.1.2 Interoperabilità IFC

Le informazioni presenti nel modello BIM provengono da diversi tipi di software, programmi di modellazione, calcolo strutturale, MEP, software di budgeting, analisi del comportamento energetico, ecc. La conoscenza di tutti questi strumenti e la capacità di condividere dati e consentire lo scambio di informazioni e conoscenze tra di loro, definiscono il principio fondamentale della metodologia BIM, l'interoperabilità.

Nell'ambito BIM, l'interoperabilità è la possibilità di standardizzare un flusso di lavoro per facilitare l'automazione di tutti i processi durante l'intero ciclo di vita del progetto utilizzando diversi software. Per far ciò, la metodologia BIM si basa sull'uso di standard aperti, e detta interoperabilità è possibile grazie allo standard IFC, che funge da formato di scambio di dati tra agenti, processi e applicazioni. Questo aspetto è essenziale per la corretta implementazione del BIM.

Fig. 2  
Schema di  
interoperabilità del  
BIM di un sistema  
chiuso e aperto.  
Schematizzazione  
interoperabilità del  
BIM [106].



In particolare, lo standard IFC o Industry Foundation Classes, è un formato di dati aperto sviluppato da BuildingSMART International. L'obiettivo principale è quello di permettere l'interscambio dei dati contenuti in un modello senza la perdita di informazioni e facilitare l'interoperabilità all'interno dell'industria delle costruzioni, essendo il formato maggiormente usato nei progetti basati sul BIM.

Il lavoro condiviso infatti richiede l'utilizzo di formati aperti per geometrie e dati (*Open BIM*). In questo contesto quindi, è essenziale che tutti gli attori coinvolti nel progetto siano consapevoli dei livelli di maturità BIM. Cioè, in un progetto il grado di collaborazione può essere distinto in diversi livelli per sapere il grado di collaborazione raggiunto con questa metodologia, questi sono conosciuti soprattutto come Livelli di Maturità BIM.

## 1.1.3 Livelli di maturità BIM

Al momento ci sono 4 livelli di maturità BIM e sono definiti di seguito:

- **Livello 0:** Implica un livello molto basso o praticamente nullo di collaborazione, dove la condivisione dei dati viene fatta probabilmente in formato cartaceo o progetti sviluppati in 2D e non interoperabili. Lo scambio non comporta l'interazione dei dati.
- **Livello 1:** Viene stabilito come la fase iniziale del BIM dove si sviluppa la modellazione tridimensionale e fornisce uno strumento di condivisione di dati. Nonostante la presenza di un ambiente di dati comune (CDE), non vi è alcuna collaborazione tra i diversi stakeholders del processo edilizio.
- **Livello 2:** Questo livello rappresenta la completa efficacia del lavoro collaborativo tra i diversi attori che fanno parte di un progetto. Ciò consente la condivisione dei dati in un unico ambiente che contiene tutte le informazioni di progettazione, dove ognuno lavora sul proprio modello 3D. L'obiettivo è quello di creare un modello federato che contenga tutte le informazioni delle diversi discipline. L'approccio di collaborazione completa comporta anche lo sviluppo relativo alla gestione del progetto in due ulteriori dimensione, 4D legato alla gestione del tempo e il 5D, ai costi.
- **Livello 3:** Conosciuto anche come iBIM, comporta l'integrazione completa dei dati tramite un ambiente basato su cloud o Web Service, che richiede l'uso di formati aperti come IFC o COBie gestiti da un server modello collaborativo che sarà accessibile a tutti gli attori delle diverse discipline. Questo livello di maturità è rivolto soprattutto al settore delle costruzioni.

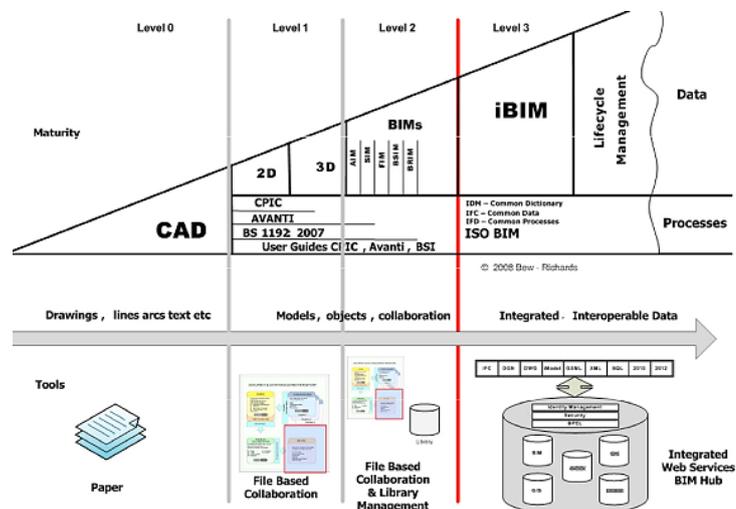


Fig. 3  
Livelli di maturità del  
BIM, PAS  
1192\_2:2013

Questi livelli sono stati stabiliti dal Governo britannico con l'intenzione di garantire che il grado di competenza venga chiaramente definito nell'implementazione del BIM nell'industria AEC, e in questo modo assicurare l'efficienza per la quale il processo è stato pensato e sviluppato. Raggiungere il livello 3 rappresenta ancora oggi una sfida nell'industria delle costruzioni sia per ragioni legali che tecnologiche, ma è anche l'orizzonte della metodologia BIM che punta ad ottenere un sviluppo produttivo continuo ed esponenziale.

### 1.1.4 Dimensione del BIM

In sostanza, il BIM rappresenta l'evoluzione dei tradizionali sistemi di progettazione plan-based, poiché incorpora informazioni geometriche (3D), temporali (4D), costi (5D), di manutenzione (6D) e ambientali (7D). A questo proposito, il BIM viene specializzato in diversi livelli o dimensioni a seconda la norma italiana UNI 11337, come:

- **3D:** *Simulazione dell'opera.* Contiene informazione grafica, informativa e documentale, delle condizioni esistenti del edificio.
- **4D:** *Rappresenta la stima e gestione dei tempi.* In questa dimensione vengono programmate tutti i lavori associato al modello in modo da ottimizzare il coordinamento tra le lavorazioni durante le fasi del progetto, e ridurre, in questo modo, la possibilità di interferenze.
- **5D:** *Rappresenta la stima e gestione dei costi.* Consente la pianificazione e il monitoraggio dei costi nel tempo, in modo da avere una maggior efficienza e controllo su possibili imprevisti.
- **6D:** *Ciclo di vita e Facility Manager.* Rappresenta la gestione e il controllo del funzionamento e la manutenzione dell'edificio, dove è possibile accedere alle informazioni sui singoli componenti, durante il suo intero ciclo di vita.
- **7D:** *Ambientale e Sostenibilità.* Questa dimensione consente l'analisi dei consumi energetici e la simulazione prestazionale dell'edificio, ciò che permette di conoscere le soluzioni adeguate da adottare per garantire la riduzione dei consumi energetici e assicurare la sostenibilità del progetto.

È importante sottolineare che le varie dimensioni di gestione dei dati del modello spiegate precedentemente sono diverse ai livelli di maturità BIM. Cioè, gli aspetti gestiti nelle diverse dimensioni (tempo, costi, manutenzione e sostenibilità che corrispondono alle dimensioni 4D, 5D, 6D e 7D rispettivamente) sono possibilmente contenute nel modello BIM di Livello 2



Il termine 'Internet of Things' è stato proposto, per la prima volta, nel 1999 da Kevin Ashton per riferirsi a dispositivi interconnessi, dove afferma che oggetti ordinari possono essere combinati con sensori e tecnologia di identificazione a radiofrequenza (RFID) per rendergli univocamente identificabili. Le sue ridotte dimensioni e il suo costo lo rendono integrabile in qualsiasi oggetto.

Pertanto, l'Internet of Things non è altro che un sistema di dispositivi intelligenti interconnessi con la capacità di trasferire dati su una rete senza richiedere l'interazione da persona a persona o da persona a computer. Esso rappresenta un paradigma in cui gli oggetti di uso quotidiano possono essere dotati di capacità di identificazione, rilevamento, networking ed elaborazione che consentiranno di comunicarsi tra loro e con altri dispositivi e servizi su Internet per raggiungere un determinato obiettivo. Questo aspetto diventa la base e il punto di partenza per la creazione di Smart Cities.

L'Internet delle cose non ha influenzato solo la quotidianità delle persone, ma anche, può essere applicata in molteplici modi perché è adattabile a qualsiasi contesto. In questo modo, collegando i dispositivi IoT alle reti, i dati rilevanti possono essere ottenuti e poi utilizzati per prevenire gli errori, migliorare l'efficienza e automatizzare i processi.

### 1.2.3 Settori di sviluppo dell'IoT

Oggi, molte aziende di diversi settori stanno adottando questa tecnologia per semplificare, migliorare, automatizzare e controllare diversi processi. In seguito, verranno spiegati i principali settori che sviluppano la tecnologia IoT, dando maggiore enfasi e profondità al settore industriale che riguarda al caso di studio. Questi sono:

- **Trasporti e Mobilità (Smart Mobility):** L'uso dell'IoT può essere molto utile nella gestione del traffico veicolare nelle grandi città, contribuendo al concetto di Smart Cities. Tali pratiche giocano un ruolo chiave nel migliorare la qualità e la convenienza del trasporto sostenibile, rendendolo una valida opzione all'automobile e catturando una serie di benefici ambientali, economici e sociali, come alleviare la congestione, l'inquinamento e migliorare la sicurezza stradale e personale (D. Hepsiba et al., 2021).

- **Agricoltura (Precision farming o Smart Agriculture):** Implementando i sensori IoT si può ottenere una quantità significativa di dati sullo stato e le fasi dei suoli. Informazioni come l'umidità del suolo, l'acidità del suolo, la presenza di certi nutrienti, la temperatura e molte altre caratteristiche chimiche aiutano gli agricoltori a controllare l'irrigazione, a rendere più efficiente l'uso dell'acqua, a individuare i tempi migliori per iniziare a piantare e anche a scoprire la presenza di malattie delle piante e del suolo (*Schubert Rodríguez et al., 2017*).
- **Salute (Smart health):** L'utilizzo di dispositivi wearables o sensori collegati ai pazienti, consente ai medici di monitorare le loro condizioni, fuori dall'ospedale e in tempo reale. Ricevendo metriche e avvisi automatici sui loro segni vitali, l'Internet of Things aiuta a migliorare il controllo dell'assistenza e la prevenzione di eventi letali nei pazienti ad alto rischio, così come promuovere la salute e migliorare l'aderenza alla pratica in diverse popolazioni, dagli atleti d'élite ai pazienti (*Li, S. et al., 2020*).
- **Case, Edifici e Infrastrutture (Smart home e Smart Building):** Le Smart Home sono principalmente rivolti ai consumatori per controllare i dispositivi di automazione domestica IoT, come il monitoraggio remoto della temperatura della casa, dispositivi di automazione domestica (*Minoli D., 2020*). Le Smart building, invece, si rivolgono a edifici e uffici per il suo monitoraggio dell'uso elettrico, sistemi di riscaldamento, ventilazione e aria condizionata (HVAC) (*Su, B. & Wang, S., 2020*), manutenzione predittiva (*Daissaoui A. et al., 2020*), controllo degli accessi e sicurezza (*Hernández-Ramos, J.L. et al., 2015*), tra le altre applicazioni (*Chiesa, G. et al., 2020*). Lo Smart Building è un elemento fondamentale per migliorare le città e le infrastrutture.
- **Smart Cities:** Attualmente le città stanno subendo una trasformazione verso il mondo dello Smart, e questo approccio rappresenta una iniziativa di migliorare la qualità della vita dei cittadini fornendo soluzioni intelligenti promettenti per molteplici applicazioni. L'Internet of Things (IoT) consente alle applicazioni per città intelligenti di raccogliere dati da vari sensori e di elaborarli per fornire numerosi servizi intelligenti agli utenti finali con prestazioni migliorate. L'obiettivo è quello di ottimizzare il complesso funzionamento di una città, renderla più dinamica e sicura, cercando di risolvere problemi che

non sono stati previsti in tempo. Gli interventi tecnologici nei processi quotidiani hanno portato all'emergere di città intelligenti in cui tutti gli aspetti della vita quotidiana come la governanza, mobilità, ambiente, economia, persone e vita (*Giffinger, R. & Gudrun, H., 2010*) sono automatizzati e possono essere controllati, gestiti e accessibili a distanza con l'aiuto di dispositivi intelligenti.

Le città intelligenti comprendono, quindi, l'insieme dei vari approcci della tecnologia IoT, che lavorano verso una prospettiva basata sullo scambio di dati integrati e dinamici, sempre aggiornati e implementabili nel tempo, inseriti in un quadro più ampio di ottimizzazione ed efficienza.

## **1.3 Industry 4.0 | IoT for smart factories (IIoT)**

---

### **1.3.1 Cos'è l'industria 4.0?**

Oggi, il settore industriale rappresenta uno dei casi più comuni in cui si sviluppa la tecnologia IoT e questo è dovuto al collegamento tra i dispositivi e, a loro volta, tra le persone che gestiscono i processi nelle catene di montaggio, nella logistica o nella grande distribuzione, permettendo così il monitoraggio dell'intero processo produttivo.

L'incorporazione di sensori IoT, intelligenza artificiale e wearables consentono una significativa diminuzione dei tempi di processo, una migliore sicurezza dei dipendenti e uno spostamento nella risoluzione degli incidenti, questo si traduce in una riduzione dei costi e, quindi, in un significativo aumento dei profitti a medio e lungo termine.

L'Industria 4.0 rappresenta una nuova era che dà un salto quantitativo e qualitativo nell'organizzazione e nella gestione delle attività. Questa nuova era fa parte di una serie di rivoluzioni il cui protagonista principale è l'industria.

## 1.3.2 Rivoluzione Industriale

Quando si parla di Rivoluzione Industriale si intende una grande trasformazione che arriva con l'implementazione di nuove tecnologie e strumenti, con ripercussioni di grande impatto in campo economico, sociale, ambientale, culturale e politico. Ognuna delle quattro rivoluzioni industriali è stata guidata da un insieme di tecnologie che hanno trasformato il mondo in quel momento.

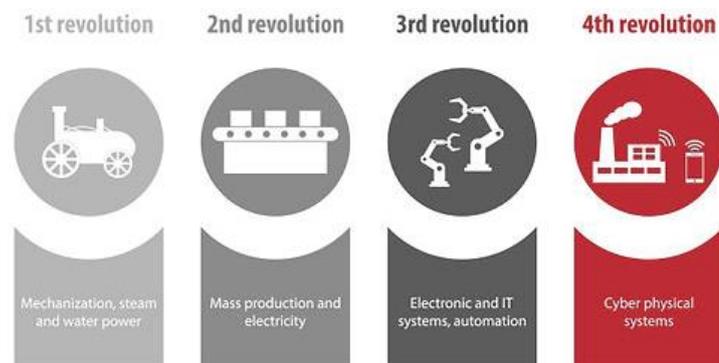


Fig. 5  
Rivoluzione  
Industriale [108].

- **La 1<sup>ma</sup> Rivoluzione Industriale:** Compresa il più grande insieme di trasformazioni economiche, tecnologiche e sociali fino a quel momento. Guidata dalla meccanizzazione con l'energia idraulica e il vapore, fu la base su cui si è fondato tutto lo sviluppo di un'epoca che introdusse la trasformazione di una società rurale, la cui economia era basata sull'agricoltura e sul commercio principalmente, a un'economia urbana, industrializzata e meccanizzata.
- **La 2<sup>da</sup> Rivoluzione Industriale:** Si produce con l'implementazione dell'energia elettrica e, di conseguenza, l'incorporazione del motore elettrico ai processi produttivi, permettendo la produzione di massa, così come la modernizzazione dei mezzi di trasporto sono stati fattore caratteristico della seconda rivoluzione industriale.
- **La 3<sup>za</sup> Rivoluzione Industriale:** Si fonda sulle nuove tecnologie dell'informazione come base per l'automazione dei processi produttivi, così come il progresso delle tecnologie della comunicazione con lo sfruttamento di Internet. Ugualmente, lo sviluppo delle energie rinnovabili, come l'elettricità ecologica, fa parte di quest'epoca.

- **La 4<sup>ta</sup> Rivoluzione Industriale:** Questa quarta fase comprende una fusione di tecnologie che sono attualmente in fase di sviluppo. Si caratterizza per la sua dipendenza dall'uso di sistemi Cyber-fisici (CPS), che controllano i processi fisici e prendono decisioni autonome e decentralizzate (*Hugh B. et al 2018*). Attraverso l'IoT, i CPS sono in grado di trasmettere in tempo reale informazione tra loro e con le persone, al fine di aumentare l'efficienza industriale, la produttività, la sicurezza e la trasparenza puntando sempre a una maggiore automazione, connettività e globalizzazione.

L'Industria Intelligente o Smart Factory si tratta quindi della fabbrica dell'Industria 4.0, cioè, della quarta rivoluzione industriale, ed è caratterizzata da una completa automazione dei processi produttivi grazie all'implementazione della tecnologia IoT. Infatti, l'IoT originale, in ambienti industriali, si evolve per dare origine all'IloT (Industrial Internet Of Things). È inteso come l'internet delle cose specialmente adattata alle necessità e ai requisiti del settore industriale.

L'automazione rappresenta un concetto elementare che comincia a raggiungere le fabbriche dalla prima rivoluzione industriale. Infatti, fin dai suoi inizi, ha sempre cercato di automatizzare il più possibile qualsiasi processo, in modo da ridurre i costi e gli sforzi di lavoro. In questo contesto, la tecnologia Smart Factory si basa sulla trasformazione dell'automazione tradizionale in un sistema più aperto, connesso e flessibile. L'incorporazione delle risorse fisiche, operative e umane a livello di sistema, permette alle fabbriche di gestire meglio l'intero ambiente di produzione attraverso attrezzature, operazioni e strutture interconnesse, e di prevedere e adattarsi ai cambiamenti in tempo reale. Il risultato è una maggiore efficienza e una riduzione dei costi e tempi morti della produzione.

L'industria, l'attività manifatturiera, e persino i processi di produzione sono in fase di piena trasformazione essendo uno dei concetti di business industriale più discussi negli ultimi anni. Ciò è dovuto principalmente, all'aumento dell'automazione, alla trasformazione digitale, al collegamento tra ambienti digitali e fisici (come consentito dall'Internet of Things), all'evoluzione delle tecnologie di produzione e industriali come la produzione additiva (*Bahl S. et al 2021*); all'uso intensivo di dati/analisi con cloud (*Merz R., et al., 2020*); così come sfide del settore e della produzione, evoluzioni e richieste umane, e integrazione della tecnologia necessarie per un adattamento di successo.

### 1.3.3 Le 9 tecnologie abilitanti per l'Industria 4.0



**Fig. 6**  
Industry 4.0 – Nine  
pillars of Industry 4.0  
(BCG, 2015). [109]

Lo sviluppo delle tecnologie menzionate precedentemente sarà la base dell'Industria 4.0. Anche se molti di questi progressi tecnologici sono già utilizzati nelle industrie, specialmente in quelle manifatturiere, integrarli lì, dove oggi sono utilizzati singolarmente e implementandoli ai nuovi concetti, sono le premesse che trasformeranno la produzione di elementi isolati in un flusso produttivo completamente integrato, automatizzato e ottimizzato. Tale approccio porta alle fabbriche a diventare intelligenti, ed è questa l'essenza dell'Industria 4.0. Sotto questa preambolo *The Boston Consulting Group* identifica e definisce le tecnologie che supportano la quarta rivoluzione industriale, classificandole come "le 9 tecnologie abilitanti per l'Industria 4.0" (Fig. 6):

- **Analisi dei Big Data:**

Rappresenta uno dei punti principali di Industria 4.0. L'analisi e la gestione di grandi quantità di dati permette di ottimizzare diversi processi industriali, migliorare il consumo di energia e la qualità della produzione nelle fabbriche dove questa tecnologia viene implementata. La raccolta completa e la valutazione dei dati provenienti da fonti diverse diventerà un passo fondamentale per sostenere il processo decisionale in tempo reale (Merz R., et al., 2020)

e sono anche un requisito chiave per le soluzioni di manutenzione predittiva (Sahal R., et al., 2020).

L'importanza dei Big Data in questa nuova rivoluzione industriale si basa anche sulla sua capacità di essere il punto di confluenza di altre piccole rivoluzioni. Connessioni wireless, robotica, intelligenza artificiale o il cloud convergono in questa analisi dei dati. Grazie a questo, le fabbriche possono, tra le altre cose, rilevare errori in tempo reale, trovare punti di miglioramento e prevedere i carichi di lavoro.

- **Cloud Computing**

Questo paradigma tecnologico permette di sostenere lo sviluppo di Industria 4.0. Sempre più attività legate alla produzione di beni e servizi richiedono un maggiore scambio di dati tra centri e confini aziendali, ha spinto molte organizzazioni e individui ad adottare il cloud computing (Huan L., 2013). Una rapida raccolta, analisi, archiviazione e monitoraggio dei dati è la premessa del Cloud Computing, che si basa sull'uso di servizi (software e archiviazione) in rete, ciò che permette una maggiore performance delle tecnologie e, pertanto una grande riduzione di costi e tempi, ottenendo una maggiore efficacia (Nepal, S. & Pandey, S., 2013).

A questo punto, le tecnologie di Cloud Computing e Big Data si integrano tra di loro. Il Big Data utilizza una tecnologia di archiviazione distribuita basata sul Cloud Computing invece di un'archiviazione locale collegata a un computer o a un dispositivo elettronico. La valutazione dei Big Data è guidata da applicazioni basate su cloud in rapida crescita, sviluppate con tecnologie virtualizzate. Pertanto, il Cloud Computing non solo fornisce strutture per il calcolo e l'elaborazione dei big data, ma serve anche come modello di servizio. Questi dati vengono poi raccolti in una forma distribuita ed elaborata, con l'obiettivo finale di visualizzare i dati per il processo decisionale (Hashem I. et al., 2015).

- **Sicurezza Informatica**

L'Industria 4.0 e le sue applicazioni richiedono livelli più sofisticati di accesso degli utenti per garantire all'azienda la sicurezza informatica della rete. Qualsiasi tipo di informazione, dispositivi, risorse che componenti di computer collegati alla stessa rete sono vulnerabili a potenziali minacce e attacchi informatici. Questo porta alla necessità di

implementare una tecnologia mirata alla protezione dei sistemi industriali, giacché l'integrazione del sistema con il cloud stesso sostiene la necessità di sicurezza informatica (Corallo A., et al., 2020). La cybersicurezza, quindi, si presenta come un pilastro fondamentale per controllare e proteggere tutti i processi e l'accesso a qualsiasi intruso nel sistema, non è più un'opzione ma una necessità. I risultati di varie ricerche propongono diversi metodi di valutazione del rischio e di identificazione delle potenziali minacce ai sistemi di produzione intelligente per aiutare le aziende a prendere decisioni sulla politica di cybersecurity (Corallo A. et al., 2020) (Januario F. et al., 2016) (Zhu Q. et al., 2011).

- **Integrazione orizzontale e verticale dei sistemi informatici**

Nel contesto dell'Industria 4.0 è necessario che i sistemi IT siano sempre più integrati e connessi, un processo che deve essere costante e crescente, questo perché tutte le aree del business dalla produzione, attraverso la catena di fornitura, i distributori e fino al cliente finale, richiederanno una totale integrazione e collegamento per poter offrire un miglior servizio e qualità durante la catena del valore del ciclo di vita dei loro prodotti, e questo è possibile solo con un livello di integrazione ottimale (Singh H., 2020). Tale integrazione dovrebbe essere estrapolata anche ai diversi dipartimenti che compongono la struttura interna delle aziende per cercare una maggiore coesione che possa portare un alto valore al business (Alarcón, M. et al., 2021).

- **Robotica Autonoma:**

Anche se i robot industriali eseguono da anni compiti complessi e ripetitivi sulle linee di produzione, non si tratta solo di macchine per l'automazione, ma di robot collaborativi intelligenti, capaci di elaborare informazioni dall'ambiente e prendere decisioni in base ad esse. Questi robot di nuova generazione sono in grado di interagire tra loro e cooperare con gli esseri umani senza la necessità delle restrizioni di sicurezza che sono state applicate fino ad ora. Oggi è una realtà nelle industrie di tutti i tipi e lo è stata anche prima di parlare della quarta rivoluzione (The Boston Consulting Group, 2015).

- **Realtà Aumentata (AR)**

Tra le tecnologie abilitanti chiave dell'Industria 4.0, la Realtà Aumentata (AR) è una delle tecniche più promettenti per migliorare il trasferimento di informazioni dal mondo digitale a quello fisico in modo non intrusivo. Supporta un'ampia varietà di usi e servizi in diversi settori come la medicina (*Bin S. et al., 2020*) e l'educazione (*Roopa D. et al., 2020*). Applicato nell'Industria 4.0, va dall'invio di istruzioni di montaggio tramite telefoni cellulari, agli sviluppi per la prototipazione di parti o l'uso di dispositivi speciali per la manipolazione e il funzionamento di alcuni macchinari. L'obiettivo è quello di offrire supporto agli operai nelle diverse aree di lavoro, attraverso una rete interconnessa che fornisce informazioni in tempo reale durante la produzione, riducendo gli errori umani durante le attività di produzione e montaggio (*Marino, E. et al., 2021*) (*Ceruti A. et al., 2019*).

- **Manifattura Additiva**

Comunemente conosciuta come stampa 3D, si tratta di insieme di tecnologie per creare oggetti tridimensionali mediante la sovrapposizione di strati di materiale. Tali stampanti 3D permettono di fabbricare rapidamente pezzi complessi acilitando la produzione di piccole serie o prototipi (*Cardeal G. et al., 2021*). L'Industria 4.0 sta vivendo una crescita significativa per i vantaggi significativi nel migliorare la velocità, la precisione e il risparmio nei sistemi di produzione (*Ceruti A. et al., 2019*).

- **Simulazione e Realtà Virtuale:**

Si basa sulla capacità di elaborazione dei sistemi informatici e sui meccanismi di visione artificiale. Grazie a questo, l'intelligenza artificiale, precedentemente collegata alle diverse attrezzature che operano in un impianto, può creare simulazioni abbastanza accurate, modificando i parametri e facendo regolazioni "virtuali". L'obiettivo è quello di essere in grado di prevedere come ogni possibile cambiamento influenzerà l'impianto prima di implementarlo, e di navigare all'interno dell'impianto una volta che le modifiche sono state applicate, per ottimizzare il processo decisionale così come la progettazione e le operazioni di sistemi di produzione complessi e intelligenti (*De Paula Ferreira W, et al., 2021*).

- **Industrial Internet of Things (IIoT)**

Come spiegato precedentemente (§ 1.3) l'Internet delle cose nelle aziende industriali si riferisce all'uso di sensori e attuatori intelligenti in macchinari e processi industriali, al fine di acquisire e trasmettere, attraverso il web, informazioni relative al loro funzionamento, per la rispettiva gestione e supervisione dei flussi di lavoro in tempo reale durante il processo di produzione (*The Boston Consulting Group, 2015*).

L'integrazione di queste nove tecnologie porterà una maggiore efficienza alle industrie e trasformerà le tradizionali relazioni di produzione tra fornitori, produttori e clienti, così come tra uomo e macchina.

Quindi, l'industria intelligente comprende sistemi di produzione collaborativa completamente integrati, che rispondono in tempo reale per soddisfare le mutevoli esigenze e condizioni della fabbrica intelligente, la rete di fornitura e le esigenze dei clienti. In questo contesto, il punto più importante è l'uso diffuso dell'Internet industriale e delle connessioni alternative, che assicurano il collegamento in rete di dispositivi dispersi che saranno poi sottoposti all'analisi dei dati raccolti, per effettuare il processo decisionale e l'autonomia dei processi di produzione e servizio.

Come è stato già spiegato prima, l'Internet of Things supporta vari tipi di sensori ed è in grado di riflettere lo stato di un edificio in tempo reale, tali informazioni possono essere integrate nel BIM per l'analisi dinamica e la visualizzazione dello stato dell'edificio. In questo modo, l'ambiente esterno e interno degli edifici può essere ben compreso in anticipo.

## **1.4 INTEGRAZIONE BIM-IIoT**

---

Il Building Information Modeling (BIM) costituisce un nuovo paradigma che mira a sviluppare pratiche migliori per l'esecuzione e la gestione dei progetti. La metodologia BIM concentra tutte le informazioni del progetto in un unico modello informativo, che rende disponibile un set di dati di alta fedeltà geometrica insieme a una grande quantità di metadati descrittivi e operativi (*Glaessgen and Stargel, 2012*).

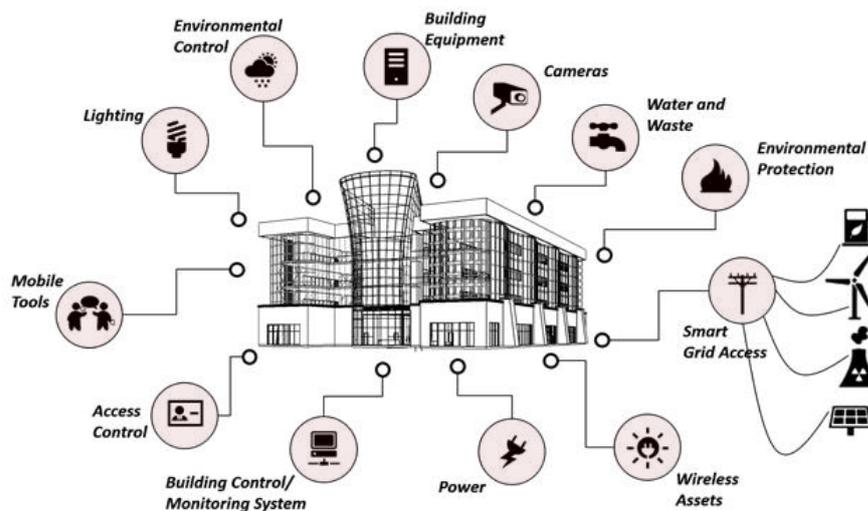


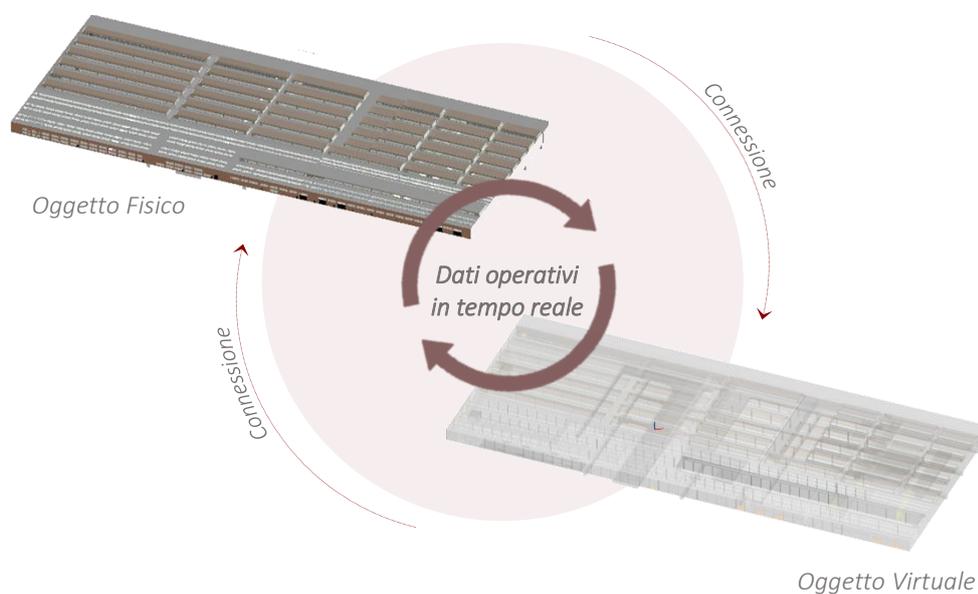
Fig. 7  
Buildings and the IoT.  
Font: <https://fmsystems.com/blog/does-bim-have-a-role-in-the-internet-of-things/>  
[110]

L'integrazione dei modelli BIM ai sistemi IoT porta immediatamente a un miglioramento dell'insieme di informazioni fornite, giacché "i dati BIM e IoT offrono viste complementari del progetto, insieme completano i limiti dell'altro" (Tang S. et al., 2019). L'integrazione del BIM con i dati in tempo reale dai dispositivi IoT rappresenta un importante schema per migliorare la costruzione e l'efficienza operativa. Collegare i flussi di dati in tempo reale dall'insieme in rapida espansione delle reti di sensori IoT ai modelli BIM fornisce numerose applicazioni che permettono sistemare e controllare costantemente i progetti in breve tempo. Oggi, i dati in tempo reale sono un prerequisito in qualsiasi industria per adottare la digitalizzazione poiché aiutano a gestire efficacemente il lavoro e il materiale. (Tang. et al., 2019) (Pan Y. Et al., 2021).

BIM e Internet creano, quindi, parità di condizioni in termini di accesso alle informazioni sugli edifici, sia a livello di progetto che a livello di settore. Il flusso di informazioni diventa quasi istantaneo e la collaborazione tra tutti gli interessati all'interno di un progetto può diventare sincrona, il che è un cambio di paradigma rispetto ai flussi di lavoro asincroni tradizionali. (Eastman, C. et al., 2018). A tal fine, la progettazione e la costruzione diventeranno completamente digitali, da un lato con il BIM che fornisce la colonna vertebrale delle informazioni per i progetti di costruzione con un modello digitale, e dall'altro, l'Internet of Things (IoT) che fornirà nuovi flussi di dati di input, sistemi di monitoraggio degli edifici, sensori, ecc., così il modello BIM diventa un sistema dinamico con i dati rilevati dai sensori in tempo reale, rendendo possibile la creazione di una copia virtuale meglio conosciuta come Digital Twin.

## 1.5 Digital Twin

La quarta rivoluzione industriale è caratterizzata dall'implementazione di tecnologie come l'intelligenza artificiale, Internet delle Cose, Cloud Computing, tra gli altri. L'uso di sensori che forniscono dati in tempo reale sta spingendo l'interesse nello sviluppo di copie virtuali che replicano lo stato di una specifico asset fisico, che utilizza i dati raccolti da quell'asset per collegare le parti digitali e fisiche.



**Fig. 8**  
Schema digital  
Twin.

Sebbene i Gemelli Digitali sono pronti ad essere i principali protagonisti della quarta rivoluzione industriale, la loro definizione è ancora ambigua. Alcuni autori (*Glaessgen e Stargel, 2012*) lo definiscono come un "modello virtuale ad alta fedeltà di entità fisiche che ha lo scopo di replicare e simulare gli stati e i comportamenti di queste ultime durante la loro vita". (*Grieves, 2014*) da parte sua, parla della relazione tra spazio reale e spazio virtuale, presentando 3 elementi principali della tecnologia digitale: a) prodotti fisici nello spazio reale, b) prodotti virtuali nello spazio virtuale, e c) le connessioni di dati e informazioni che collegano prodotti virtuali e reali. Secondo (*Ríos et al., 2015*) e (*Schleich et al., 2017*) tale connessione tra spazio reale e virtuale si verificherà in tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto, dalla concezione e progettazione all'uso e servizio. Anche se la definizione è stata modificata nel corso degli anni, il concetto di creare un gemello digitale e fisico come

un'unica entità e di utilizzare i dati raccolti per creare l'asset digitale è rimasto lo stesso fin dal suo inizio.

Tuttavia, ci sono un certo numero di campi correlati che precedono il gemello digitale e che si stanno sviluppando in parallelo, per esempio il Building Information Modelling. Considerando le caratteristiche sviluppate nel contesto più ampio di questo campo. Il BIM mira a fornire un'unica fonte da cui tutte le parti interessate possono operare, durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. Così, dalle sue fondamenta, il Building Information Modeling è una rappresentazione virtuale di un'entità fisica utilizzando connessioni di dati bidirezionali, processo corrispondente al Livello 3 di maturità BIM (§ 1.1). Nel contesto delle caratteristiche del Digital Twin, il BIM condivide molti aspetti anche se con una maggiore attenzione agli utenti del sistema rispetto al Digital Twin.

## 1.6 La Realtà Virtuale e Aumentata

---

Negli ultimi anni, le aziende manifatturiere stanno affrontando diverse sfide, particolarmente legate alla volatilità della domanda e alle mutevoli esigenze di clienti e fornitori, che richiedono nuove tabelle di marcia tecnologiche e interventi nei sistemi di produzione. Specialmente, l'Industria 4.0 ha portato con sé alcune nuove sfide tecnologiche durante il processo di risorgimento facendo adattare le persone e di conseguenza aumentando il livello di digitalizzazione. In questo contesto proattivo, le tecnologie innovative supportano la creazione di processi informativi destinati ai lavoratori, permettendo migliorare i metodi e l'efficienza delle aziende nel campo della produzione. In tale ottica, la realtà virtuale (VR) e aumentata (AR) può essere adottata per la formazione della forza lavoro; essa dovrebbe interagire con una forza lavoro umana in modo efficiente (*Carlos Flavian et al. 2018*).

*Fig. 9*  
Realtà Virtuale  
[103] e Aumentata  
[104].



## 1.6.1 L'evoluzione della tecnologia

Negli ultimi anni, la realtà virtuale (VR) e la realtà aumentata (AR) hanno attirato l'interesse degli investitori e del pubblico in generale, principalmente dopo l'acquisto di Oculus da parte di Mark Zuckerberg per circa due miliardi di dollari (*Cipresso et al. 2018 & Castelveccchi, 2016*). Attualmente, molte altre aziende, come Sony, Samsung, HTC e Google stanno facendo enormi investimenti in VR e AR (*Korolov, 2014; Ebert, 2015; Castelveccchi, 2016; Cipresso et al. 2018*). Tuttavia, la realtà virtuale è stata oggetto di ricerca per più di 60 anni ed è diventata una tecnologia fondamentale in diverse industrie come la sanità (*Freeman et al, 2017, Lin et al. 2017*), la vendita al dettaglio (*Bonetti et al. 2018; Van Kerrebroeck et al. 2017*), l'istruzione (*Merchant et al. 2014*), il turismo (*Griffin et al., 2017*); l'architettura, l'ingegneria e la costruzione (*Schroeder 1993*) e ricerca (*Bigné et al. 2016; Meißner et al. 2017*). Infatti, recenti rapporti hanno evidenziato una crescita delle vendite di dispositivi VR dal 2017 che vanno da 1.5 miliardi di dollari a 9.1 miliardi di dollari entro la fine del 2020 (*CCS Insight, 2017*).

Attualmente, si prevede che entro cinque anni, il mercato globale di questi dispositivi cresca di oltre il 28% (*Smith, 2021*), sostenendo le aspettative positive per il futuro di questa tecnologia. Oltre alla realtà virtuale, i dispositivi di realtà aumentata sono stati oggetto di tendenza strategica negli ultimi anni, avendo vendite alla fine del 2020, venti volte superiori a quelle ottenute nel 2016 (da 2.9 miliardi di dollari a 61.3 miliardi di dollari, rispettivamente) (*Alsop 2021*). Perciò, per comprendere la diffusione di queste tecnologie, è necessario conoscere il loro significato e la loro evoluzione nel tempo.

### 1.6.1.1 Concetti e caratteristiche: VR and AR

Il concetto di realtà virtuale, anche se sembra così ben stabilito nel XXI secolo, in realtà esiste da diversi decenni, a partire dagli anni 1930. Tuttavia, non è stato fino agli anni 1960 che sono state prodotte le prime sovrapposizioni generate dal computer al mondo fisico (*Cipresso et al. 2018*).

Nel 1965, Ivan Sutherland, comunemente chiamato il padre della computer grafica, sviluppò l'Ultimate Display, un sistema HMD che poteva simulare la realtà al punto da non riuscire a distinguere la differenza tra il mondo reale e quello virtuale. Lui ha definito la VR come una finestra attraverso la quale l'utente percepisce il mondo virtuale come se fosse reale, suonato, mosso, interagito e sentito nel quale l'utente possa agire in modo realistico

(Sutherland, 1965). Poco dopo, nel 1968, Sutherland costruì il primo sistema VR. Esso consisteva in un display ottico trasparente montato sulla testa. A causa del peso del dispositivo, il sistema veniva sospeso al soffitto e fu chiamato "Spada di Damocle" (Lakshminarayanan et al. 2013). Un anno dopo (1969), Myron Krueger sviluppò una serie di esperienze chiamate realtà artificiale in cui l'ambiente generato dal computer reagiva all'utente (Krueger et al. 1996). L'idea di questa tecnologia era quella di far comunicare le persone tra di loro nonostante siano distanti chilometri attraverso un ambiente generato virtualmente (Flavian et al. 2019, BCC Research 2018, Schmalstieg and Hollerer 2016). Anni dopo, nel corso degli anni 1970 e 1980, il concetto di realtà aumentata è finalmente emerso nel campo della ricerca indipendente.

Durante questo periodo, Myron Krueger, Dan Sandin, Scott Fisher e altri ricercatori avevano sperimentato la combinazione di interazione umana con sovrapposizioni generate dal computer su video attraverso esperienze artistiche. In particolare, Krueger in 1974 sviluppò un sistema di produzione di videocamere chiamato Videoplace dove gli utenti erano in grado di stare in un ambiente interattivo, dimostrando così le sovrapposizioni interattive collaborative di annotazioni grafiche tra le silhouette degli utenti nelle installazioni del Videoplace (Krueger et al 1996). Nei primi anni 1990, i dispositivi di realtà virtuale erano già disponibili sul mercato, ma la tecnologia era troppo costosa per la maggior parte delle persone, quindi l'accesso ad essa non era ampiamente disponibile. Nel corso del decennio, il ricercatore Tom Caudell ha coniato il termine realtà aumentata per riferirsi ai display utilizzati nell'aviazione civile che portano le informazioni digitali alla visualizzazione del mondo reale (Caudell and Mizell 1992). Questo approccio ha permesso di proiettare uno schema di montaggio per aumentare le informazioni che l'operatore riceveva dalla realtà. Nel 1992, Brett Leonard dirige un film d'azione/horror chiamato "The Lawnmower Man" in cui introduce il concetto di realtà virtuale a un pubblico più ampio (BCC Research 2018). Questo film era basato sul fondatore della realtà virtuale, Jaron Lanier, usando diverse attrezzature VR e aprendo l'ispirazione a diverse aziende sul mercato.

In seguito, altri concetti di VR cominciarono ad emergere come per esempio quello descritto da Fuchs e Bishop (1992) che definiscono la realtà virtuale come grafica interattiva in tempo reale con modelli 3D, combinata con tecnologie di visualizzazione che forniscono all'utente un'immersione nel mondo del modello e una manipolazione diretta (Fuchs and Bishop G, 1992; Cipresso et al. 2018). Un anno dopo (1993), Gigante ha descritto la VR come

un'esperienza immersiva, interattiva, multisensoriale e centrata sullo spettatore con ambienti 3D generati dal computer (*Gigante et al. 1993*). Nello stesso anno, Feiner et al. (1993) hanno permesso di ottenere automaticamente sequenze di istruzioni per i processi di riparazione e manutenzione. Il sistema veniva chiamato KARMA e incorporava la realtà aumentata basata sulla conoscenza. Lo stesso anno, Fitzmaurice ha creato il primo display portatile di realtà aumentata (Chameleon) che mostrava informazioni contestuali mentre l'utente muoveva il dispositivo (*Fitzmaurice et al. 1993*) Un anno dopo, nel 1994, SEGA lanciò una macchina arcade simulatrice di movimento basata sulla realtà virtuale. Inoltre, un gruppo di ricercatori della University of North Carolina presentò un'applicazione innovativa di misurazione della realtà aumentata che ha permesso ai medici di osservare un feto direttamente all'interno della paziente incinta (*Skarbez et al. 2021*).

Un'altra applicazione nello stesso anno fu la prima produzione teatrale che utilizzava la realtà aumentata denominata Dancing in Cyberspace, dove lo spettacolo presentava acrobati sul palco e intorno a oggetti virtuali (*Hemanth, J. 2019*). Nel 1995, Nintendo lanciò la console Virtual Boy consolidandosi come la prima console portatile capace di visualizzare una vera grafica 3D (BCC Research 2018). Tuttavia, fu un fallimento commerciale a causa della mancanza di colore nella grafica, la mancanza di supporto software e il disagio di usare la console. Così l'anno seguente, la sua vendita e produzione fu interrotta in tutto il mondo. Nel frattempo, nel 1997, i ricercatori della Georgia Tech University e della Emory University hanno creato scenari di zone di guerra utilizzando la VR per i veterani che ricevono una terapia per il disturbo da stress post-traumatico (*Hodges et al. 1998 and Rothbaum et al. 1999*).

Nel 1999, il film The Matrix è stato prodotto da Lana e Lilly Wachowski, in cui i personaggi vivevano in un mondo totalmente simulato, ignorando completamente il fatto di non vivere in un mondo reale (*BCC Research 2018*). Questo film ha avuto un grande impatto culturale introducendo la realtà simulata come punto di riferimento in vari campi. Inoltre, questo stesso anno, la NASA utilizzò la tecnologia AR nel suo veicolo spaziale X-38 con l'obiettivo di migliorare la navigazione attraverso un sistema ibrido di visione sintetica (*BCC Research 2018*).

All'inizio degli anni 2000, cominciò ad emergere un'enorme crescita della tecnologia mobile e informatica. Nel 2001, è stata creata la prima camera cubica basata su PC, chiamata SAS Cube, che ha dato origine a diversi

pacchetti di realtà virtuale (*Virtools VR Pack*) (*BCC Research 2018 & Bruce 2016*). Due anni dopo, nel 2003, i ricercatori dell'Università di Tecnologia di Vienna hanno creato un sistema di realtà aumentata con un assistente digitale personale utilizzando un ARToolkit (*Hornecker & Psik, 2003*). Questo sistema ha permesso il monitoraggio in tempo reale del dispositivo utilizzando una rete wireless.

Nel 2007, Google ha introdotto un innovativo sistema immersivo chiamato Street View che offre agli utenti una vista panoramica di strade, interni di edifici, strade, viali e aree rurali (*Barnard 2019*). Nel 2009 è stato creato Wikitude che ha permesso attraverso una fotocamera mobile, internet e GPS di aggiungere informazioni sui dintorni dell'utente (*Wikitude 2021*). Nel 2010, Google ha introdotto una modalità 3D stereoscopica per Street View (*Barnard 2019*).

Inoltre, il primo prototipo del casco Oculus Rift è stato creato da Palmer Luckey (*Rajesh et al. 2014*). Questo dispositivo disponeva di una vista a 90 gradi mai vista prima, che ha scatenato e incrementato l'interesse per la VR. Nel 2011, Total Immersion ha sviluppato un sistema AR chiamato D'Fusion che ha permesso di disegnare progetti utilizzando la realtà aumentata. Mentre Google alla fine del 2012 e nel 2015 ha lanciato le piattaforme Google Glass e Google Hololens che possono essere applicate in una vasta gamma di applicazioni, aprendo il mercato e incoraggiando le aziende in vari campi. Nel 2016, la crescita della VR viene alla ribalta, dove più di 230 aziende tra cui nomi come Amazon, Apple, Facebook, Google, Microsoft, Sony, Samsung e molti altri stanno lavorando su progetti basati sulla VR (*Bruce 2016 and Barnard 2019*). Proprio quest'anno, Niantic lanciò un'app di gioco per smartphone che utilizzava la realtà aumentata, chiamata Pokemon Go, dove divenne rapidamente uno dei giochi più popolari con più record di download e di entrate. Nel 2017, le cuffie di realtà virtuale sono state prodotte da aziende come HTC, Google, Apple, Amazon, Microsoft, Sony, Samsung, ecc (*Barnard 2019*).

Nel 2018, è stato introdotto un prototipo di auricolare innovativo chiamato Half Dome. Si tratta di una cuffia varifocale con un campo visivo di 140 gradi (*Barnard 2019*). Nel 2019, l'esercito degli Stati Uniti firmò un accordo con Microsoft per utilizzare la tecnologia HoloLens nell'addestramento militare, consentendo metriche in tempo reale sulle prestazioni dei soldati (*Daniar et al. 2020*). Inoltre, il casco autonomo di Facebook (Oculus Quest) ha suscitato molto interesse e impulso ottenendo vendite per più di 5 milioni di dollari. Il passaggio da cuffie VR in rete a cuffie VR autonome è stato un importante

passo avanti nell'ecosistema immersivo (Barnard 2019). Nello stesso anno, Nintendo lanciò una nuova cuffia VR chiamata VR per Nintendo Switch (Ramoletta et al. 2020). Nuovi occhiali per la realtà virtuale sono stati proposti da Panasonic al Consumer Electronics Show nel 2020. Questi dispositivi disponevano di un'alta definizione ed erano costituiti da un sistema chiamato Gait Enhancing & Motivating System che consisteva in una piattaforma di analisi degli allenamenti e degli esercizi.

In questo modo, l'uso di tecnologie di realtà-virtualità permette ai consumatori di avere un ruolo più dinamico e autonomo nelle loro esperienze (Ostrom et al. 2015), portando a maggiori percezioni di valore (Patrício et al. 2011). Pertanto, diversi settori di consumo finale (ad esempio, vendita al dettaglio, turismo, moda, intrattenimento, automotive, servizi) possono fornire ai loro clienti esperienze migliori utilizzando queste tecnologie all'avanguardia, realtà-virtualità.

## 1.7 Caso studio: FCA

---

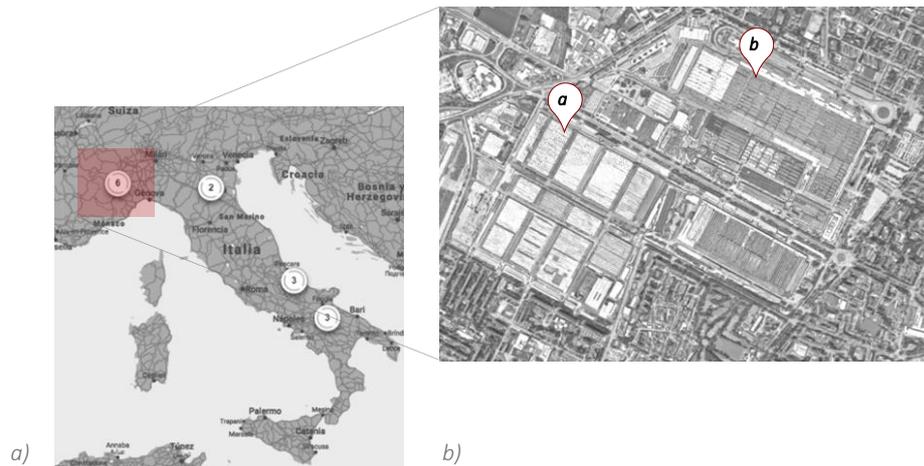
### 1.7.1 l'Azienda

*Fiat Chrysler Automobiles (FCA)* è una società automobilistica internazionale che si occupa della progettazione, sviluppo, ingegneria, produzione e commercializzazione di veicoli, componenti, unità di controllo della carrozzeria e pezzi di ricambio in tutto il mondo. Il Gruppo dispone delle seguenti marche automobilistiche: Abarth, Alfa Romeo, Chrysler, Dodge, Fiat, Fiat Professional, Jeep, Lancia, Ram, SRT e Maserati, oltre a Mopar, il marchio di ricambi e servizi. Inoltre, il Gruppo ha più di 100 fabbriche e più di 40 centri di R&S (di cui più di 20 distribuiti in Europa), e vende attraverso concessionari e distributori in più di 130 paesi. Con sede fiscale nei Paesi Bassi, è nata dalla riorganizzazione del gruppo italiano Fiat S.p.A e del gruppo statunitense Chrysler Corporation. Nel gennaio 2021 è stata sostituita da Stellantis, frutto della fusione tra pari dell'italo-americana Fiat Chrysler Automobiles e la francese Groupe PSA.

In Italia, ci sono più di 14 stabilimenti di produzione, di cui sei sedi si trovano nella città di Torino (Fig. 10). In particolare, il caso studio si è focalizzato sul complesso industriale della Fiat Mirafiori, il più grande stabilimento della

città. La fabbrica Fiat Mirafiori rappresenta un emblema di Torino come città industriale, una storia impressionante e sociale del capoluogo piemontese. Il complesso industriale occupa un'area di 2.000.000 m<sup>2</sup>, rendendolo uno dei più estesi complessi industriali in Italia. La fabbrica impiega circa 12.000 persone e ha una capacità di produzione di 1.115 veicoli al giorno.

**Fig. 10**  
Stabilimenti FCA a  
Torino.  
a) Impianto di  
produzione.  
b) Assemblaggio e  
trasmissione.  
Fonte:  
<https://www.fcagroup.com/>



## 1.7.2 Modello BIM

Per lo sviluppo del progetto si è utilizzato il modello federato del stabilimento FCA, creato in lavori precedenti con il software BIM di Autodesk, Revit 2020.

Un modello federato è composto dall'aggiunta di diversi modelli da diverse discipline, lavorati in modo indipendente in modo che i cambiamenti possano essere prodotti nel modello federato. In questo contesto, il modello federato del progetto è composto da: Modello architettonico, modello elettrico e modello meccanico, questo permetterà di focalizzare il suo uso secondo l'obiettivo dell'analisi.

Per poter realizzare l'integrazione del BIM a Unity da un servizio web, ogni modello è stato esportato in file IFC, un formato standard aperto che permette lo scambio di informazioni tra diversi software senza perdita di informazioni, questa fase comprende quindi la base dello sviluppo del progetto.

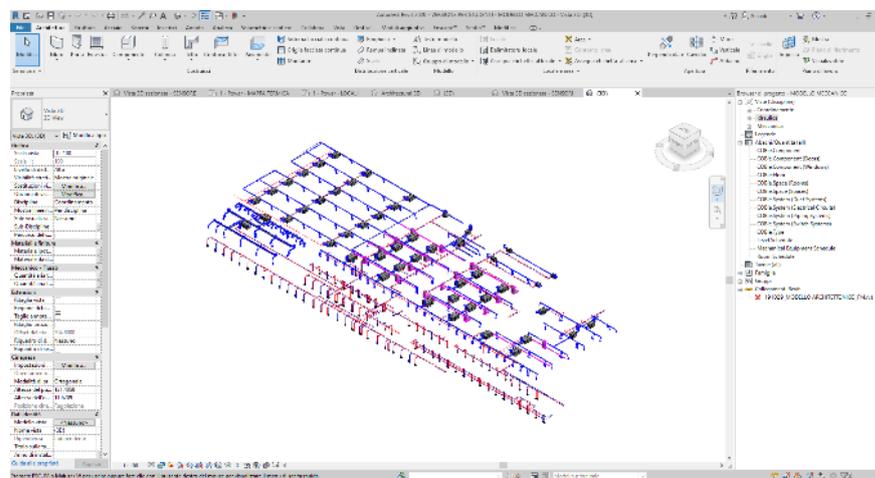
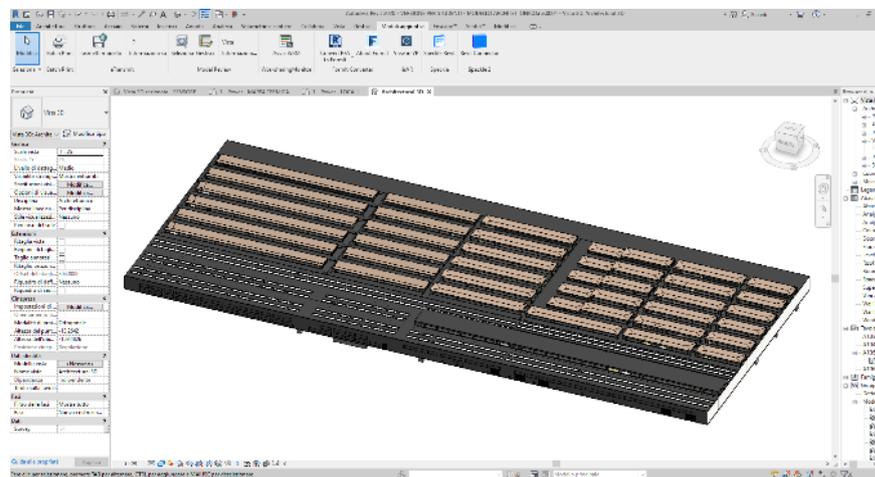
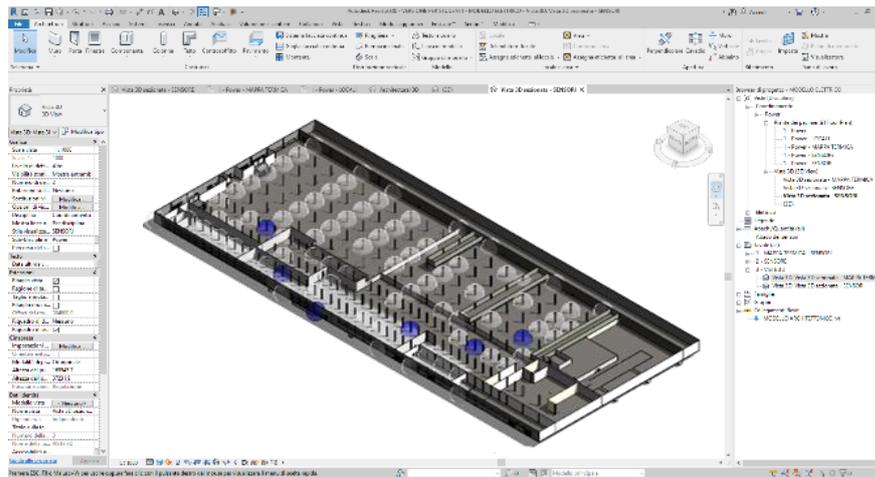


Fig. 11  
Modello  
Architettonico  
Elettrico  
Meccanico.

## 1.8 Obiettivi da raggiungere

---

Come menzionato in precedenza nel quadro teorico, il potenziale della quarta rivoluzione industriale influenzerà non solo i processi di produzione, ma anche l'industria stessa e altri settori, e persino la società. Appunto per questo, le fabbriche del futuro faranno ampio uso della tecnologia, sia a livello di dispositivi e infrastrutture tecnologiche (Internet of Things, connettività, comunicazione wireless, sensori, simulazioni, ecc.), sia a livello di gestione e sfruttamento delle informazioni.

Pertanto, l'obiettivo principale della tesi si concentra sull'integrazione delle tecnologie già menzionate (IoT-BIM) con l'output finale della visualizzazione dei dati attraverso l'utilizzo della tecnologia della Realtà Virtuale. Quindi, si tratta di creare un Digital Twin applicato al settore industriale, fattore chiave per lo sviluppo di uno Smart Factory, prodotto della quarta rivoluzione industriale, per raggiungere lo scopo finale di efficienza energetica. Successivamente, questo Digital Twin, che fornisce un modello virtuale (BIM) dello stabilimento FCA con i dati dei sensori di temperatura IoT già collegati a detto modello, potrà essere "esplorato" attraverso un dispositivo di visualizzazione VR, che permetterà l'interazione diretta con il modello digitale per visualizzare i dati dinamicamente all'interno dello spazio virtuale, ottenendo un'esperienza immersiva al 100%.

Quindi, il modello verrà utilizzato come prodotto virtuale contenitore di tutte le informazioni relative all'edificio, e con i dati rilevati dai sensori IoT in tempo reale, diventa un sistema dinamico di informazione grafica e non (metadata), che serve anche per comunicare in modo diretto e interattivo i dati di temperatura.

Questo approccio consente di monitorare direttamente i dati e renderli visualizzabili e distribuiti dentro un modello BIM, ciò che porta ad un maggiore intendimento dei valori ottenuti per il supporto nel prendere decisioni complesse che implica informazioni interdisciplinari che bisogna coprire per raggiungere lo scopo finale della ricerca che è quello dell'efficienza energetica.

Per raggiungere questo scopo, nella ricerca si propongono i seguenti obiettivi specifici:

- **Usare il modello BIM come servizio web:** Uno dei principali requisiti quando si lavora sotto la metodologia BIM è quello di poter lavorare con un sistema aperto che permetta lo scambio di un modello informativo, senza perdita o distorsione di dati e informazioni.  
In questa fase iniziale della ricerca si intende utilizzare un servizio web come spazio contenitore del modello BIM, che rende possibile raggruppare tutti i modelli validi e combinarli in un unico modello federato, utilizzando il formato di standard aperto IFC, che permette lo scambio di informazioni tra diversi software senza perdere informazioni.
- **Importare il modello BIM a Unity 3D:** essendo lo scopo finale quello di visualizzare i dati di temperatura in modo completamente immersivo e interattivo, l'obiettivo, quindi, è quello di trasferire (senza perdita di dati) il modello federato al motore di videogiochi Unity 3D per creare l'ambiente di realtà virtuale. Il modello deve servire sia come contenitore di dati e informazioni, sia come visualizzatore del prodotto virtuale nello spazio virtuale.
- **Raccogliere dati di temperatura:** i sensori rappresentano il prodotto fisico nello spazio reale. Un gemello digitale richiede dati su un oggetto per creare un modello virtuale che possa rappresentare il comportamento di detto oggetto nel mondo reale. L'obiettivo in questa fase è quello di raccogliere i dati di temperatura registrati dai sensori, i dati sono collezionati nel database InfluxDB.
- **Integrare BIM-IoT all'interno di Unity 3D:** Creare la query specifica che fornisce tutta l'informazione di interesse, e collegare, in modo, diretto i dati raccolti in InfluxDB a Unity 3D, in modo che il software possa leggere le informazioni e, da lì, creare il collegamento tra prodotti virtuali e reali all'interno dello spazio virtuale con il motore del videogioco.
- **Visualizzazione dei dati tramite VR:** dopo aver ottenuto con successo una lettura dei dati di interesse, si cerca di creare un'interfaccia utente ed esperienze immersive all'interno del modello che permette all'utente di interagire per visualizzare le informazioni all'interno dello spazio di valutazione.

# CAPITOLO II

---

METODOLOGIA

# METODOLOGIA

## 2.1 Literature review

---

Oggi, l'integrazione del Building Information Modeling (BIM) con il flusso di dati in tempo reale, fornito dai dispositivi Internet of Things (IoT), rappresenta un potente paradigma nel sorgere dello sviluppo delle industrie intelligenti e della loro efficienza operativa, e questo grazie alle numerose applicazioni che permettono la connessione tra un modello BIM che, da solo garantisce l'affidabilità delle informazioni, insieme a un flusso di dati che è costantemente aggiornato. Tuttavia, questa premessa di integrazione è ancora in una fase iniziale di sviluppo, quindi si ha proceduto a svolgere una ricerca per capire la situazione attuale nel campo dell'integrazione BIM con dispositivi IoT, e le sue molteplici applicazioni in diversi settori.

Alcuni ricercatori che hanno esplorato sulla correlazione tra queste due piattaforme mostrano le potenzialità dell'IoT per il riferito all'ambiente costruito durante il suo intero ciclo di vita (*Fang Y. et. al, 2018*). I dati di realtà, tra cui le prestazioni effettive, lo stato del progetto, l'attività di costruzione e il contesto fisico che possono essere catturati con sensori integrati ai modelli BIM, forniscono dati utili per il monitoraggio del processo di costruzione nel contesto di Industria 4.0 (*Ding K. et al., 2018*). Questa integrazione diventa uno strumento efficace per la produzione di componenti prefabbricati, la logistica, il tracciamento, la visualizzazione e l'assemblaggio automatico (*Wei Y. et. al., 2018*), essendo in grado di fornire soluzioni per la gestione del consumo energetico per il monitoraggio in tempo reale dello stato degli edifici. (*Lee et al., 2016; Natephraa & Motamedib, 2019*).

La revisione della letteratura prevede anche lo studio delle diverse posizioni metodologiche adottate da vari autori nell'approccio per affrontare l'integrazione dei dispositivi BIM-IoT, e con una particolare attenzione ai modelli metodologici che comprendono strategie basate su servizi web, con standard di integrazione stabiliti per manipolare i dati in modo flessibile, così come un approccio finale allo sviluppo di interfacce che includono la Realtà Virtuale e Aumentata per la visualizzazione dei dati ottenuti.

Si è iniziato, in prima istanza, con la raccolta di informazioni rilevanti su studi correlati utilizzando *Google Scholar, ScienceDirect, Semantic Scholar, IEEE*

*Xplore* e *MDPI* come motori di ricerca per raccogliere articoli di possibile rilevanza. È stato anche fissato un arco temporale di 2018 - 2021, per raccogliere i documenti più recenti, e inserendo parole chiave relative alla ricerca tra cui "BIM", "IoT", "VR-AR" e "Digital Twin" nel motore di ricerca. In questo modo si è proceduto a filtrare gli studi, garantendo l'identificazione pertinenti alla ricerca.

Tra gli studi più rilevanti ai fini della ricerca c'è quello proposto da (*Tang et al., 2019*), in cui gli autori effettuano una valutazione approfondita sulle aree applicative emergenti e sullo schema di progettazione comuni nell'approccio per affrontare l'integrazione dei dispositivi BIM-IoT. Gli autori evidenziano anche i possibili limiti all'interno del campo di studio e le direzioni per la ricerca futura. In questo studio gli autori hanno presentato 5 metodi di integrazione BIM-IoT, che consistono nell'utilizzo di API di strumenti BIM e database relazionali, nella trasformazione dei dati BIM in un database relazionale utilizzando un nuovo schema di dati, nella creazione di un nuovo linguaggio di interrogazione, nell'utilizzo di tecnologie web semantiche e in un approccio ibrido, analizzando ugualmente i pro, i contro e l'applicabilità di ogni metodo. Nell'articolo (*Tang et al., 2019*) hanno anche stabilito che il processo di integrazione comprende 3 componenti principali: in primo luogo, essi affermano che il modello BIM serve come un deposito di dati per le informazioni contestuali memorizzate negli strumenti BIM (ad esempio Revit) o nei formati IFC. Un secondo componente all'interno del processo di integrazione comprende i dati delle serie temporali registrati dai sensori, memorizzati in un database relazionale, che può essere interrogato utilizzando un Linguaggio di Query Strutturato (SQL). Finalmente, il processo d'integrazione tra i dati delle serie temporali e le informazioni contestuali (BIM) dà luogo alla terza componente, dove vengono presentati i metodi d'integrazione applicati.

Come menzionato precedentemente, l'approccio generale del 1<sup>mo</sup> metodo consiste nell'uso delle API degli strumenti BIM e l'uso di un database relazionale. Comprende, inizialmente: a) la raccolta dei dati delle serie temporali, memorizzati nel database relazionale (ad esempio MS Access, MySQL). b) l'esportazione dei modelli BIM in formati di database relazionali utilizzando API (ad esempio Revit DB Link, Dynamo, Grasshopper). Entrambi i dati del sensore e del modello sono memorizzati nel database relazionale permettendo un facile collegamento. Successivamente, c) stabilire uno schema di database che permetta di definire la relazione tra gli oggetti virtuali e i sensori fisici usando un *Globally Unique Identifier* (GUID o UUID).

d) L'importazione ed esportazione bidirezionale di un database relazionale e di un modello BIM può essere eseguita usando le API, che permette ai dati delle serie temporali di essere aggiornati automaticamente negli strumenti BIM, tuttavia, ha alcune limitazioni per quanto riguarda l'esportazione, poiché essa può soltanto essere effettuata con parametri condivisi del modello. E come ultimo passo, e) Interrogazione dei dati del sensore attraverso un'API personalizzata (ad esempio una GUI basata su Revit), un motore di elaborazione di terze parti (ad esempio il motore Unity) o direttamente sul database SQL. Questo metodo presenta molteplici vantaggi in termini di connettività tra il modello e i dati del sensore, permettendo aggiornamenti automatici attraverso le API. Tuttavia, è un approccio adatto per i modelli BIM meno complessi, poiché le esportazioni manuali devono essere eseguite se vengono effettuate modifiche al modello.

(*Tang et al., 2019*) nel secondo metodo espongono la trasformazione dei dati BIM in un database relazionale utilizzando un nuovo schema di dati interrogabile in SQL. Questa trasformazione rappresenta il passo principale per collegare i dati delle serie temporali con il BIM. Gli oggetti fisici e virtuali sono collegati tramite GUID, impostando le informazioni raccolte dai sensori come proprietà dell'oggetto virtuale.

Dato che definire un nuovo schema o una nuova struttura di dati basata sulla prospettiva dell'utente diventa un metodo più flessibile, permette ai dati delle serie temporali di rimanere nel suo database originale mentre si estraggono i dati dal sistema esterno. Tuttavia, la conoscenza di SQL è necessaria per la mappatura dei dati, le query e altre operazioni. Rispetto al metodo precedente, richiede più competenza nella progettazione del linguaggio, IFC, database e conoscenza della programmazione.

Nel 3<sup>o</sup> metodo gli autori espongono la creazione di un nuovo linguaggio di interrogazione, come un approccio utilizzato in modo ricorrente in diversi studi. Il nuovo linguaggio di query per interrogare i dati dei sensori su IFC (BIM) invece di usare SQL. Anche se è presentato come un metodo solido per l'espressione dei dati e la facilità d'uso rispetto ai linguaggi di uso generale. Tuttavia, richiede la conoscenza di progettazione del linguaggio e della programmazione API per essere in grado di eseguire le funzioni.

La 4<sup>ta</sup> metodologia presenta un approccio web semantico. Consiste nell'integrazione della tecnologia BIM e del web semantico per l'archiviazione, lo scambio e l'uso di dati eterogenei. L'approccio comprende: a) la rappresentazione in uno standard di scambio web chiamato RDF, le

informazioni relative all'edificio e al suo contesto, così come le informazioni di serie temporali raccolte dai sensori. Questo standard RDF utilizza l'approccio del web semantico; b) Collegare i dati attraverso un'identificazione GUID unica; c) Interrogare le informazioni contestuali dell'edificio o i dati dei sensori in tempo reale utilizzando un linguaggio di interrogazione RDF chiamato SPARQL; d) La rappresentazione di tali interrogazioni può essere visualizzata attraverso l'interfaccia a riga di comando (CLI), dashboard, GUI, API e altri strumenti.

Questo approccio ha dei vantaggi nel collegare i dati attraverso i domini in un formato omogeneo, il che lo rende utile per progetti più grandi che collegano più tipi di fonti di dati. Nonostante ciò, è più efficiente per l'interrogazione che per la archiviazione dei dati, poiché i dati dei sensori sono memorizzati in database relazionali. Inoltre, (Tang et al., 2019) sottolineano che le prestazioni RDF sono inefficienti e consumano memoria, rendendo la trasformazione dei dati pesanti ingombrante per edifici complessi e sistemi di gestione degli edifici con letture continue in tempo reale.

Il 5<sup>to</sup> metodo presentato da (Tang et al., 2019); è un approccio ibrido tra web semantico e database relazionale per memorizzare i dati cross-domain. Comprende: a) La rappresentazione delle informazioni relative all'edificio e il suo contesto in formato RDF; b) database relazionale per memorizzare i dati delle serie temporali; c) collegare i dati del sensore alle informazioni contestuali utilizzando l'ID del sensore descritto in RDF.

Questo approccio fornisce metodi di interrogazione integrati, i dati del sensore memorizzati nel database relazionale sono interrogati usando SQL, mentre le informazioni contestuali sono interrogate usando SPARQL. Gli autori sottolineano che è uno dei metodi più promettenti in quanto conserva diverse fonti di dati nelle loro piattaforme e formati durante l'interconnessione, il che porta come vantaggi il risparmio di tempo, l'archiviazione dei dati, una migliore performance e una maggiore efficienza. Ugualmente, il metodo richiede anche la conoscenza delle tecnologie del web semantico, la progettazione del linguaggio e conoscenza di programmazione.

Finalmente, gli autori propongono alcune direzioni potenziali per la ricerca futura relativa all'integrazione dei dispositivi BIM e IoT. Questi possibili percorsi includono la creazione di modelli SOA e servizi web per l'integrazione BIM e IoT, la creazione di standard di integrazione e gestione delle informazioni, la risoluzione di problemi di interoperabilità e il cloud computing. Sottolineando l'uso di servizi web *RESTful* chiamato *RESTful* endpoint che, da una parte, riceve letture dai nodi IoT, e dall'altra, è in grado

di eseguire operazioni di creazione/lettura/aggiornamento/cancellazione (CRUD) sul livello dei dati BIM. *RESTful* sarebbe una soluzione potenziale per consentire l'aggiornamento dello stato delle entità BIM in base alle letture dei dispositivi IoT.

D'altra parte, (*Mataloto B. et., al, 2020*) propongono un metodo che mira a ridurre il consumo di energia. Consiste a) nella raccolta di dati (umidità, luminosità e temperatura in tempo reale), b) la trasmissione di LoRa e c) la successiva visualizzazione per la comprensione dei dati in un contesto fisico e funzionale (BIM) utilizzando come interfaccia grafica il motore di gioco Unity 3D. Lo studio comprende lo sviluppo di un sistema di monitoraggio IoT per misurare la temperatura in tempo reale di ogni stanza utilizzando la tecnologia LoRa, informazioni che vengono memorizzate in un database SQL per l'analisi dei processi storici. Utilizzando il linguaggio di programmazione Dynamo, ulteriori servizi forniti dalla piattaforma di gestione del campus possono essere elaborati e presentati nel modello BIM pre-sviluppato del campus. Nel frattempo, Unity agisce come interfaccia informativa interrogando il database e mostrando il modello BIM insieme ai dati elaborati, cioè il motore di gioco integra il BIM con il sistema IoT collegando i dati in tempo reale nel modello. Questo approccio permette agli utenti di percepire facilmente l'ambiente circostante, permettendo agli utenti di stimare previsioni, valutare situazioni basate su dati di sensori, o come un meccanismo decisionale automatizzato.

Allo stesso modo (*Natephraa W. & Motamedib A., 2019*) presentano un metodo per integrare i dati BIM, i sensori IoT e la tecnologia della realtà virtuale. L'approccio stabilisce per la visualizzazione dei dati un ambiente VR immersivo e interattivo per monitorare le condizioni interne, utilizzando Unreal Engine come ambiente di gioco. La metodologia consiste in 3 passi: i) La creazione del modello BIM e la raccolta dei dati ambientali (temperatura, umidità, intensità della luce). ii) I dati dei sensori sono collegati agli oggetti virtuali e memorizzati nel modello BIM utilizzando strumenti software sviluppati attraverso la programmazione visuale (ad esempio Dynamo). iii) Successivamente, i dati (ad esempio informazioni geometriche e dati dei sensori) vengono trasferiti al motore di gioco. Per la geometria, viene usato il formato FBX da Revit a Autodesk 3D Max, e per i dati dei sensori, il collegamento è fatto attraverso lo scripting visivo di Unreal Engine. I dati del sensore sono costantemente aggiornati utilizzando lo strumento sviluppato per mantenere il flusso di aggiornati dal motore di gioco. 4) Per la visualizzazione dei dati e della geometria nell'ambiente VR viene sviluppata

un'interfaccia utente che visualizza i dati raccolti dai sensori insieme al modello BIM, l'utente utilizza la visualizzazione immersiva fornita nel quarto passo per monitorare le condizioni in tempo reale e identificare il livello di confort interno.

Negli studi condotti da (*Shahinmoghadam M. et.al., 2021*) i dati integrati BIM-IoT sono stati eseguiti in uno strumento di realtà virtuale per il monitoraggio in tempo reale delle condizioni di comfort termico. Questo è stato fatto progettando un prototipo di termografia abilitato all'IoT a basso costo, e un metodo semi-automatizzato per l'analisi spazio-termica dei dati termografici, consentendo un monitoraggio quasi in tempo reale dei valori MRT al bordo della rete IoT. I dati vengono trasmessi al motore di gioco Unreal Engine tramite richieste HTTP, il che migliora la connettività in tempo reale tra l'oggetto fisico e l'oggetto virtuale. Inoltre, sviluppa esperienze VR immersive per la visualizzazione e il monitoraggio in tempo reale del comfort termico nell'ambiente del motore di gioco.

L'integrazione dei dispositivi BIM e IoT è stata ampiamente considerata come un potente paradigma di elaborazione con l'obiettivo di migliorare la costruzione e l'efficienza operativa. L'integrazione BIM-IoT può fornire vantaggi alla gestione delle operazioni (*Teizer et al., 2017*), nell'applicazione di monitoraggio o nella gestione della città (*Isikdag U., 2015*). Alcune delle ricerche indagano sui metodi di visualizzazione dei dati dei sensori in tempo reale basati sul BIM, che usa una tecnologia di visualizzazione non statica, come quella della VR per il monitoraggio delle condizioni interne. Tuttavia, i lavori trovati dove si valuta la condizione dell'edificio sono ancora fase di sviluppo.

Questa tesi quindi, cerca di presentare un quadro metodologico per integrare le informazioni geometriche BIM e i dati dei sensori di temperatura per creare una visualizzazione dei dati in tempo reale, in un ambiente di gioco.

## 2.2 Workflow Metodologico

Alla fine delle limitazioni nell'integrazione di BIM-IoT all'interno di un ambiente virtuale riscontrate in ricerche recenti, questa tesi propone un framework per integrare le informazioni geometriche BIM con i dati di temperatura ottenuti dalle letture dei sensori, con l'obiettivo finale di creare una visualizzazione in tempo reale dei dati in un ambiente di realtà virtuale, completamente immersivo.

Il sistema proposto contribuisce ad identificare i problemi ed esaminare le variazioni di temperatura attraverso la visualizzazione distribuita dei valori ottenuti, il che migliora la percezione e la comprensione dei dati da una prospettiva più ampia e interattiva, fornendo informazioni più utili per aiutare nel processo decisionale per il risparmio energetico, così come per monitorare le condizioni mentre il tour viene eseguito nell'ambiente virtuale.

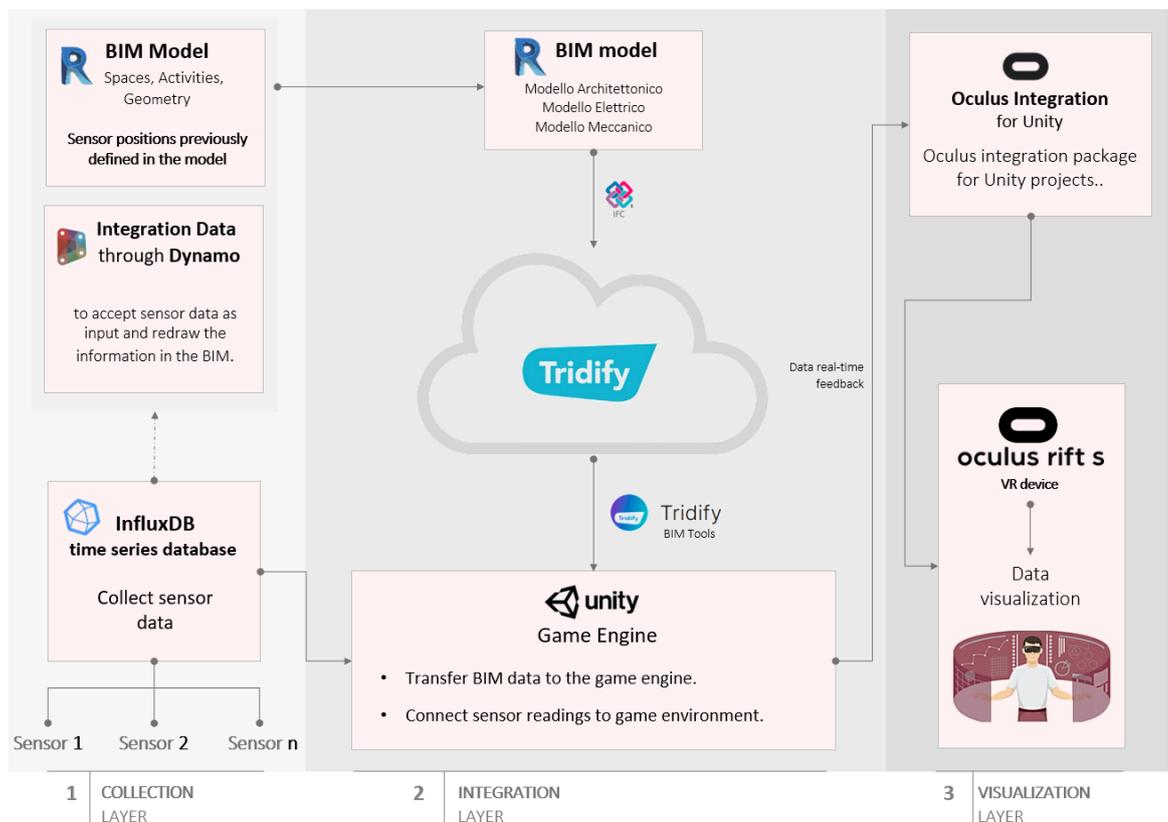
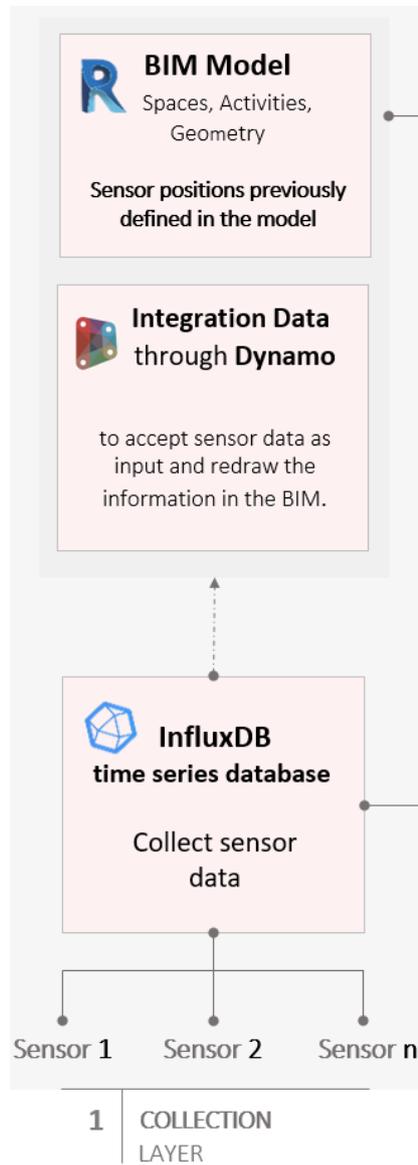


Fig. 12  
Framework  
metodologico  
proposto.

La metodologia proposta consiste in tre fasi principali o layers (Fig. 12):

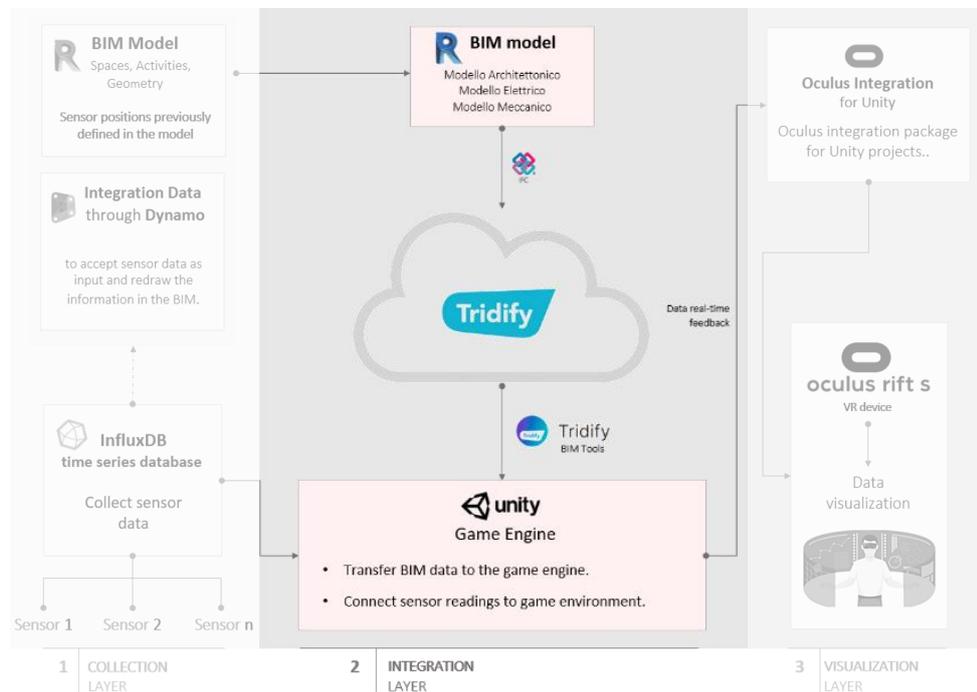
- **Collection Layer:**



Consiste nella raccolta di informazioni, cioè i dati geometrici forniti dal modello (BIM) e i dati di temperatura forniti dai sensori. Per i dati geometrici, Autodesk Revit è stato utilizzato come contenitore di tutte le informazioni geometriche e semantiche dell'edificio. Questa piattaforma permette anche l'esportazione di file IFC (Industry Foundation Classes), un formato aperto creato per facilitare l'interoperabilità tra diversi operatori per l'ulteriore elaborazione dei dati (§ 1.1). Mentre i dati del sensore sono memorizzati nel database InfluxDB, utilizzando Chronograph come interfaccia per la visualizzazione dei dati.

In questa prima fase parliamo quindi di due delle componenti principali stabilite da Grieves M. (2014), per lo sviluppo di un Digital Twin, i) i prodotti fisici nello spazio reale, ii) i prodotti virtuali nello spazio virtuale. I primi sono rappresentati dai sensori installati nell'edificio, mentre il modello BIM e i sensori precedentemente modellati sul modello elettrico rappresentano il prodotto virtuale. La connessione tra questi due prodotti dà origine alla terza componente necessaria per lo sviluppo di un DT.

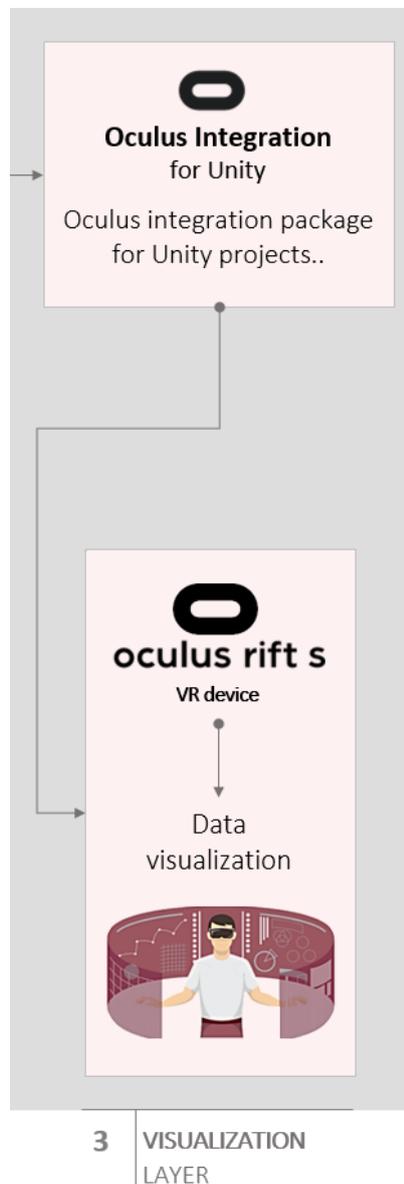
- **Integration Layer:**



In questa fase si effettua il terzo componente stabilito da (Grieves M., 2014), si tratta della connessione dei dati e delle informazioni che collegano i prodotti virtuali e reali. Per fare questa connessione, il processo è suddiviso in 2 parti: i) La prima è quella di utilizzare il modello BIM come un servizio web, che permette di fornire un modello federato creato dalla combinazione di modelli individuali utilizzando il formato IFC. Il web server come contenitore del modello BIM permette di memorizzare e gestire le informazioni di un progetto, in cui i dati IFC sono memorizzati come oggetti. Il vantaggio principale di questo approccio è la possibilità di interrogare, unire e filtrare il modello BIM e, a sua volta, generare risultati da file IFC modificati. ii) Mentre nella seconda parte si sviluppa tutto il sistema di integrazione, sia del modello che dei sensori di temperatura all'ambiente virtuale in Unity3D. La lettura del modello, nel frattempo, viene effettuata attraverso l'uso di un plugin chiamato Tridify BIM tools che permette la connessione diretta con il motore di gioco, essendo in grado di importare sia la geometria del modello che i metadati di Revit associati ad ogni elemento all'interno dell'ambiente Unity 3D, ciò che diventa un fattore importante se si vuole lavorare su un modello dinamico. Questo strumento ottimizza un flusso di lavoro che altrimenti presenterebbe complicazioni nel processo (essendo uno studio ancora in sviluppo) o comporterebbe la conoscenza dei linguaggi di programmazione.

Per quanto riguarda l'integrazione dei sensori al motore di gioco Unity3D, una volta che il modello contenente di tutti i metadati è caricato, questi sono stati trasmessi all'ambiente del motore di gioco attraverso richieste HTTP. L'API InfluxDB fornisce un modo semplice per interagire con il database attraverso richieste HTTP, restituendo dati JSON come risposta. Una volta ottenuta la lettura del sensore in formato JSON, si è proceduto a programmare diversi script C# in Unity 3D utilizzando WebRequest all'interno dello script per ottenere la lettura del sensore, estraendo le informazioni di interesse dal JSON.

- **Visualization Layer:**



In questa terza fase si è proceduto con la creazione di un'interfaccia utente che permette all'utente di visualizzare e interagire con i dati forniti all'interno del modello. Per questo, inoltre, sono stati creati diversi script per una visualizzazione generale dei dati ottenuti in una singola tabella o pannello, una visualizzazione individuale dei dati su ogni sensore, oltre all'implementazione di linee di codice che permettono il cambiamento di colore dell'oggetto virtuale secondo il valore ottenuto, così come alcuni script per la configurazione delle informazioni da visualizzare sui pannelli.

Le esperienze di realtà virtuale immersiva sono sviluppate per la visualizzazione e il monitoraggio in tempo reale della temperatura dei sensori nell'ambiente del motore di gioco. La visualizzazione dei dati IoT legati al modello BIM in un ambiente virtuale permette una migliore comprensione dei dati in modo grafico e distribuito, informazioni utili per il monitoraggio dei sensori e possibili decisioni in una visione di risparmio energetico.

## 2.3 Panoramica degli strumenti utilizzati

### Software

	Specifiche Tecniche	Descrizione
	<b>Autodesk Revit</b> v. 2020	Software BIM dove è stato creato il modello, e utilizzato per l'esportazione in formato IFC.
	<b>Unity 3D</b> v. 2020.3.0f1	Software utilizzato per la creazione del ambiente virtuale usato come interfaccia tra BIM-IoT, così come per le esperienze di RV immersiva sviluppata per la visualizzazione dei dati.
	<b>VisualStudio</b> v. 2017	VisualStudio C# è un ambiente di sviluppo integrato (IDE) in Unity. Utilizzato per creare script con le funzioni necessarie per leggere i sensori all'interno del motore di gioco.

### Piattaforme

	Specifiche Tecniche	Descrizione
	<b>Influxdb</b> Data Base	InfluxDB è un database open source di serie temporali in cui sono collezionati i dati della temperatura.
	<b>Chronograf</b> v. 1.8.4	È l'interfaccia che permette la visualizzazione dei dati memorizzati in InfluxDB. Utilizzato per eseguire query di dati con risposte JSON.
	<b>Tridify</b> v. 2017	Utilizzato per memorizzare i dati forniti in formato IFC, gestire le informazioni del progetto, filtrare e combinare modelli da diverse discipline per facilitare il lavoro collaborativo. Fornisce anche un plug-in che permette la connessione diretta con il motore di gioco, trasferendo sia i dati geometrici che i metadati a Unity3D.

### Dispositivi

	Specifiche Tecniche	Descrizione
	<b>Influxdb</b> Data Base	Dispositivo utilizzato per la visualizzazione dell'ambienti di Realtà Virtuale.
	<b>MSI</b> <b>GT75VR 7RF Titan Pro</b> - Intel(R) Core(TM) i7-7820HK CPU @ 2.90GHz 2.90 GHz. - RAM 64 GB. - S.O a 64 bit, processore basato su x64.	Dispositivo utilizzato per lo sviluppo di tutto il progetto. Per la creazione dell'ambiente di Realtà Virtuale è necessario l'uso di un PC ad alte prestazioni, che soddisfi i requisiti minimi per lo sviluppo di un progetto di VR per una visualizzazione completa e corretta.

# CAPITOLO III

---

TEST E RISULTATI

## TEST E RISULTATI

### 3.1 BIM come Web Service

---

Con lo scopo principale di migliorare l'accessibilità, usabilità e gestione dei dati digitali, si cerca di sviluppare un processo collaborativo aperto e neutrale che permetta un interscambio dei dati tra i vari attori del progetto. Questo approccio, meglio conosciuto come "*openBIM*", facilita l'interoperabilità per ottimizzare i progetti durante il loro ciclo di vita. Basando il suo flusso di lavoro su formati aperti come IFC. Quindi, come strategia per un flusso di lavoro *openBIM*, l'obiettivo è quello di importare il modello BIM dal formato IFC come un servizio web all'interno del motore di gioco Unity3D. Per questo, sono stati realizzati una serie di test con diverse piattaforme per integrare il modello al motore di gioco nel modo più ottimale possibile, cioè il metodo che non comporta la perdita di dati durante il salto tecnologico. Successivamente, si presenterà i diversi percorsi intrapresi (*BIMserver*, *BIMserver.center*, *Speckle* e *Tridify*) e i loro rispettivi processi fino ad arrivare al metodo di integrazione finale per lo sviluppo del progetto: *Tridify*.

#### 3.1.1 BIMserver

Fig. 13  
BIMserver. logo  
Fonte:  
<https://bimserver.org/>



*BIMserver* (Open source Building Information Model serv) è un model server conforme agli standard IFC per la gestione di progetti di Building Information Modelling. Il software del server è un software libero che permette l'immagazzinamento e la gestione delle informazioni di progetto relative all'edificio (o ad altre costruzioni). Come i dati sono memorizzati nello standard di dati aperti IFC, *BIMserver* può essere considerato come un database IFC, con funzioni speciali come il controllo dei modelli, il controllo delle versioni, le strutture di progetto, la fusione dei modelli, ecc. Il vantaggio

principale di questo approccio è la possibilità di interrogare, unire e filtrare il modello BIM e generare un modello IFC modificato.

Uno degli obiettivi principali nell'importazione del modello IFC al motore di gioco è quello di trasferire il modello non come un oggetto statico (importandolo in formato FBX), ma in modo dinamico (che può essere aggiornato e sincronizzato), che sarebbe possibile attraverso un flusso *openBIM* utilizzando un servizio web come strategia. Per questo motivo, il primo percorso adottato è stato l'uso dell'open source *BIMserver*, che permette di memorizzare i dati nel standard aperto IFC. Il vantaggio principale del software open source è la possibilità di condividere, modificare e studiare il codice sorgente di un sistema informatico. D'altra parte, l'open source promuove la collaborazione tra gli utenti, il che significa lo sviluppo rapido e variato di una moltitudine di strumenti. Per esempio, gli utenti di un dato programma possono fare personalizzazioni, risolvere bug o migliorare le funzionalità di base grazie ai membri di comunità, forum, ecc., che hanno la possibilità di accedere al file.

Per l'integrazione, si è proceduto con l'installazione del programma *BIMserver* versione 1.5.182, i cui requisiti di sistema comprendono:

- *BIMserver* ha bisogno di una efficiente (outgoing) connessione Internet per l'installazione dei plugin, l'invio della posta (via SMTP) ed è anche necessario per la connessione ad altri *BIMservers* quando si eseguono servizi remoti. Così come una efficiente (incoming) connessione Internet per permettere ad altre persone di connettersi.
- Disco (per memorizzare il database, i logs, i plugin, ecc.): La quantità di memoria heap necessaria dipende dai plugin installati, dalla dimensione dei modelli e dal numero di utenti simultanei di *BIMserver*. Gli sviluppatori della piattaforma consigliano di avere almeno 15 volte la dimensione del più grande file IFC (non compresso) che si vuole caricare, moltiplicato per il numero massimo di utenti concorrenti.
- Java 8 (o superiore).

Soddisfacendo i requisiti di cui sopra, si è proceduto a scaricare il file "*bimserverjar-1.5.182.jar*" dal sito GitHub di *BIMserver*. Fatto ciò, è stata

creata una cartella nel sistema "C:\BIMserver" (evitando di creare una sottocartella), questa conterrà il file ".jar" precedentemente scaricato, così come una cartella locale dei file caricati sulla piattaforma.

Per iniziare il programma, facendo doppio clic sul file per eseguirlo si aprirà una finestra (Fig.14), in cui generalmente non si devono fare cambiamenti di configurazione, basta cliccare su "Start" per avviare il server BIM. Bisogna attendere qualche minuto affinché BIMserver espanda tutti i file e si configuri da solo e finché non appare la frase "Server started successfully". (Fig. 15)

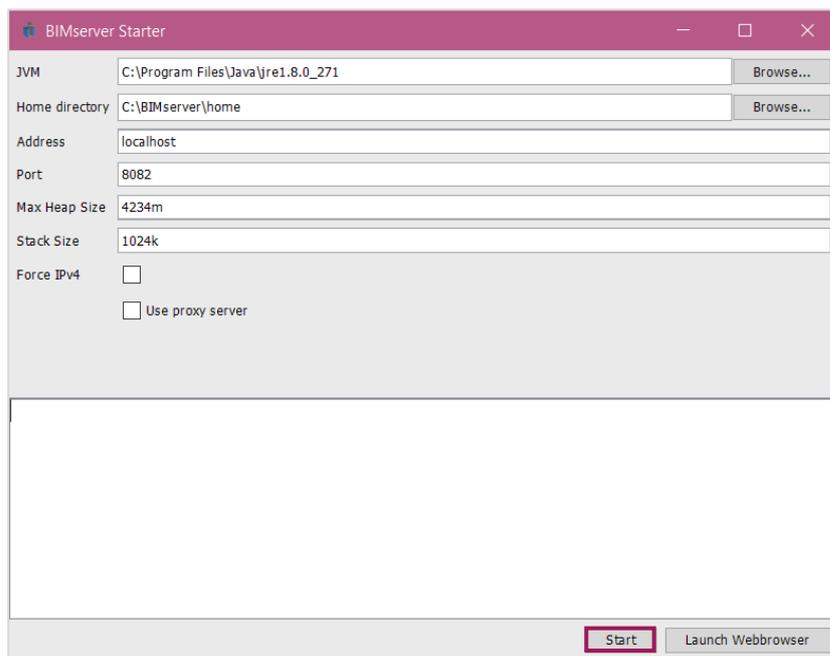


Fig. 14  
BIMserver Starter.

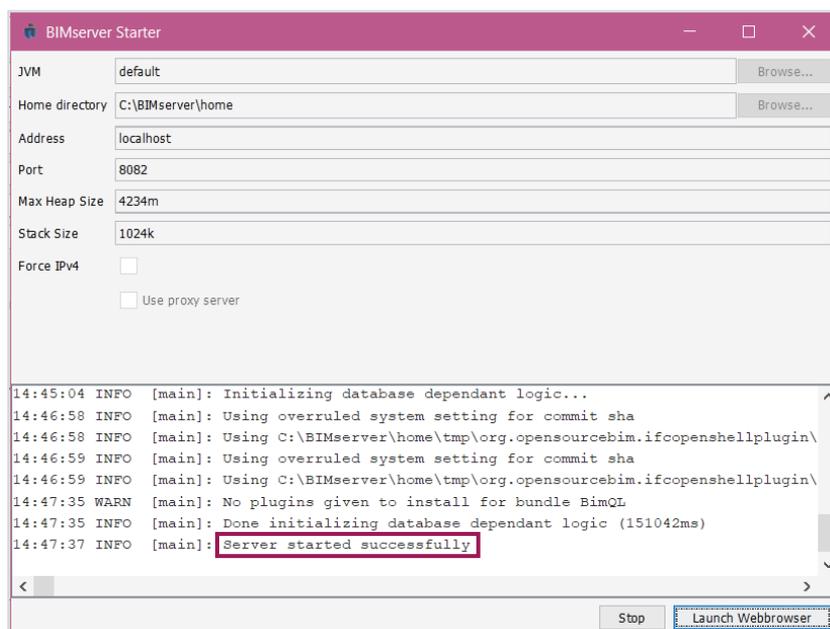


Fig. 15  
BIMserver Starter.  
"Server started  
successfully"

Dopo di che il server è stato attivato, viene avviato da "Launch WebBrowser", che porta alla pagina iniziale di *BIMserver* per configurare il server (Fig. 16).

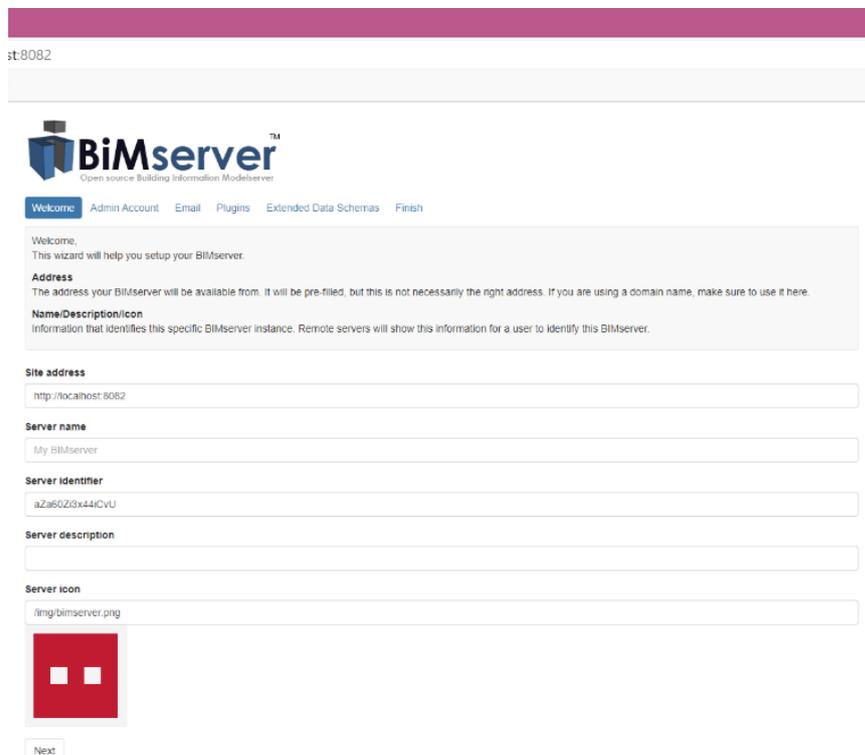


Fig. 16  
BIMserver  
configurazione.

Nella schermata iniziale di registrazione, la casella "Site address" sarà lasciata intatta a: `http://localhost:8082`, il che significa che il server è installato sulla macchina. Poi sono stati inseriti i dati di registrazione come email, password e nome utente, così come i plugin da installare, tra cui: *BIM Surfer*, *IfcOpenShell*, *Bimvie.ws*, *Console*, ecc. Dopo aver verificato che tutti i dati sono stati inseriti correttamente, il setup è stato avviato (Fig. 17).

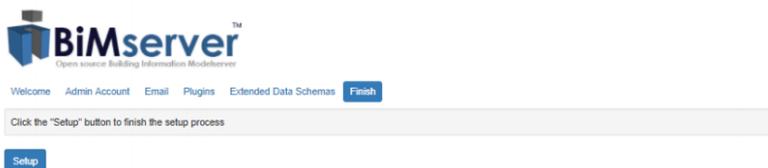


Fig. 17  
BIMserver. Avvio della  
configurazione.

Il setup in esecuzione può richiedere un po' di tempo (diversi minuti), ma una volta finita l'esecuzione apparirà un link "open bimvie.ws". Bimvie.ws è un plugin che viene installato in BIMserver per poter interagire con il server da una interfaccia grafica utente (GUI) (Fig. 18).

```

setting up...
Setting up admin account...
Admin account successfully setup
Skipping email setup...
Checking internet connection _from_ your BiMserver...
Internet connection OK
Installing all extended data schemas...
IFC_STEP_2X3TC1 installed OK
IFC_STEP_4 installed OK
IFC_STEP installed OK
IFC_XML_2X3TC1 installed OK
IFC_XML_4 installed OK
IFC_JSON_2X3TC1 installed OK
IFC_JSON_4 installed OK
IFC_JSON_GEOM_2X3TC1 installed OK
IFC_JSON_GEOM_4 installed OK
BCF_ZIP_1_0 installed OK
BCF_ZIP_2_0 installed OK
BCF_ZIP_2_1 installed OK
GLTF_1_0 installed OK
GLTF_BIN_1_0 installed OK
COLLADA_1_5 installed OK
KWC_2_2_0 installed OK
BINARY_GEOMETRY_6 installed OK
CITYGHM_2_0_0 installed OK
VTS_3D_JSON_1_0 installed OK
GUID_PROPERTIES_DATASET_0_0_1 installed OK
MPG_OBJECT_JSON_0_0_3 installed OK
MPG_RESULTS_JSON_0_0_1 installed OK
LOD_CSV_1_0 installed OK
VALIDATION_JSON_1_0 installed OK
INFO_3D_EXCEL_1_0 installed OK
UNSTRUCTURED_UTF8_TEXT_1_0 installed OK
GEOMETRY_GENERATION_REPORT_JSON_1_1 installed OK
GEOMETRY_GENERATION_REPORT_HTML_1_1 installed OK
CLASHDETECTION_RESULT_JSON_1_0 installed OK
IFC_ANALYTICS_JSON_1_0 installed OK
VALIDATION_JSON_2_0 installed OK
Extended Data Schemas installed OK

Installing plugins...
Installing binviews...
Successfully installed BinVie.ws (org.opensourcebim:binviews:0.0.184)

Installing binsurfer3...
Successfully installed Binsurfer (org.opensourcebim:binsurfer3:0.0.272)

Installing ifcopenshellplugin...
Successfully installed IfcOpenShell-BiMserver-plugin (org.opensourcebim:ifcopenshellplugin:0.5.91)

Installing ifcplugins...
Successfully installed IfcPlugins (org.opensourcebim:ifcplugins:0.0.99)

Installing binaryserializers...
Successfully installed BinarySerializers (org.opensourcebim:binaryserializers:0.0.93)

Installing console...
Successfully installed Console (org.opensourcebim:console:0.0.67)

Installing gltf...
Successfully installed Gltf (org.opensourcebim:gltf:0.0.59)

Installing mergers...
Successfully installed Mergers (org.opensourcebim:mergers:0.0.65)

All remote plugins successfully installed

Open BinVie.ws
  
```

**Fig. 18**  
 BiMserver  
 Configurazione finita  
 pronta per aprire  
 BiMvie.ws

Da BiMvie.ws si inserisce l'email e la password di registrazione per accedere al server (Fig. 19).



**Fig. 19**  
 BiMserver.  
 Schermo iniziale di  
 BiMvie.ws.

Poi si procede a creare il progetto che conterrà il modello IFC. Questo viene fatto da project → new project. Una volta dentro si assegna un nome, una descrizione e lo schema IFC (sia Ifc2x3 o Ifc4) in cui il progetto è stato esportato (Fig. 20).

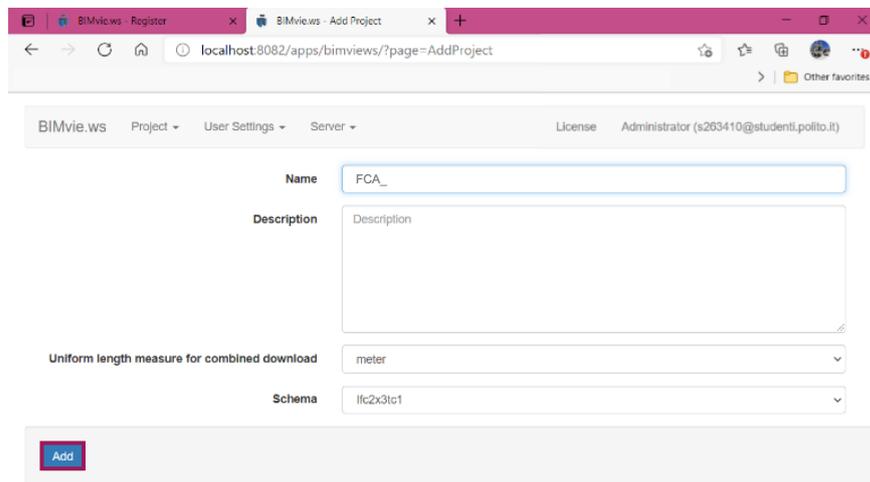


Fig. 20  
Creazione del progetto in BIMserver.

All'interno del progetto, *BIMserver* permette di modificare i dettagli del progetto, aggiungere subprogetti, servizi interni ed esterni, eseguire il Checkin (caricare modelli completi sul server BIM), e fare confronti con altri progetti. Dopo aver creato la cartella generale del progetto, si procede a creare i sub-progetti per ottenere il modello federato (Fig. 21). Il modello federato è composto dai subprogetti caricati in formato IFC del modello Architettonico (a), Elettrico (b) e Meccanico (c) del caso di studio FCA (Fig. 22).

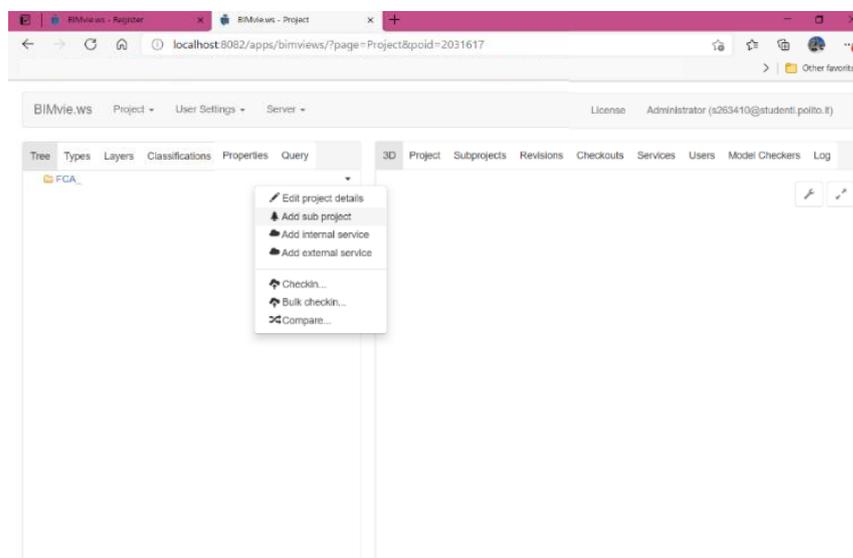
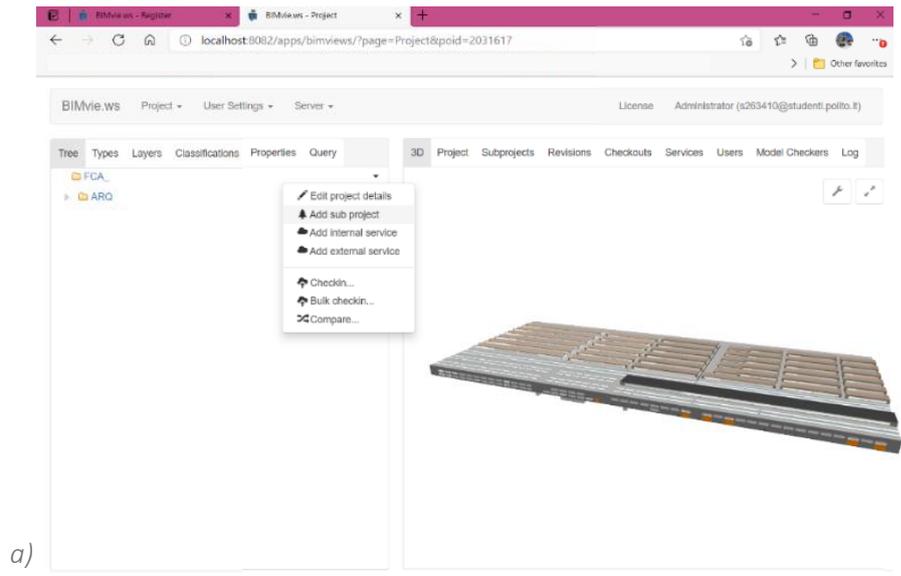
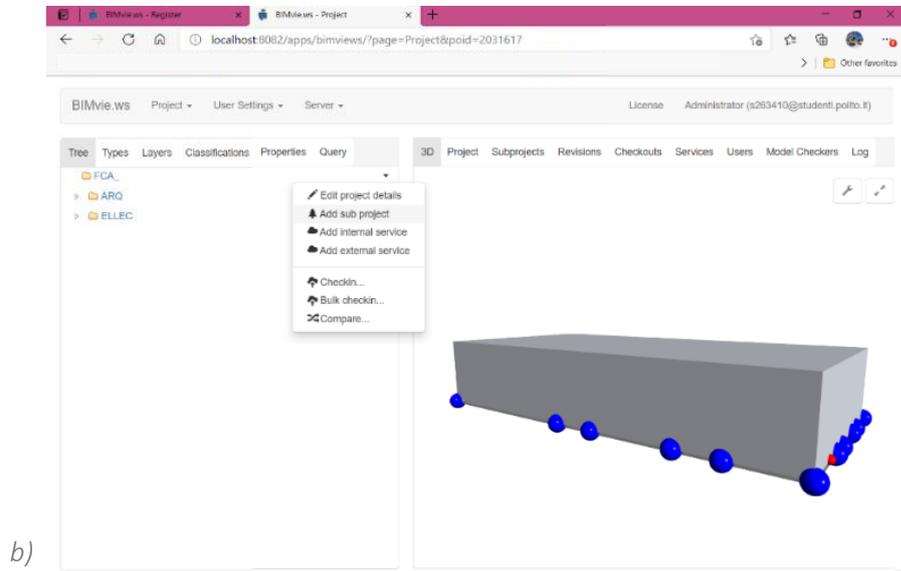


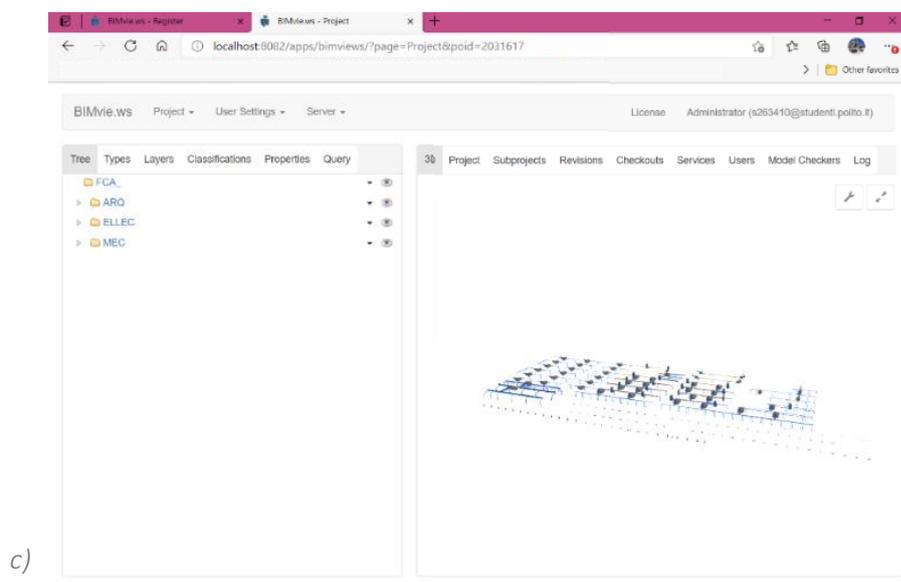
Fig. 21  
Creazione di subprogetti in BIMserver.



a)



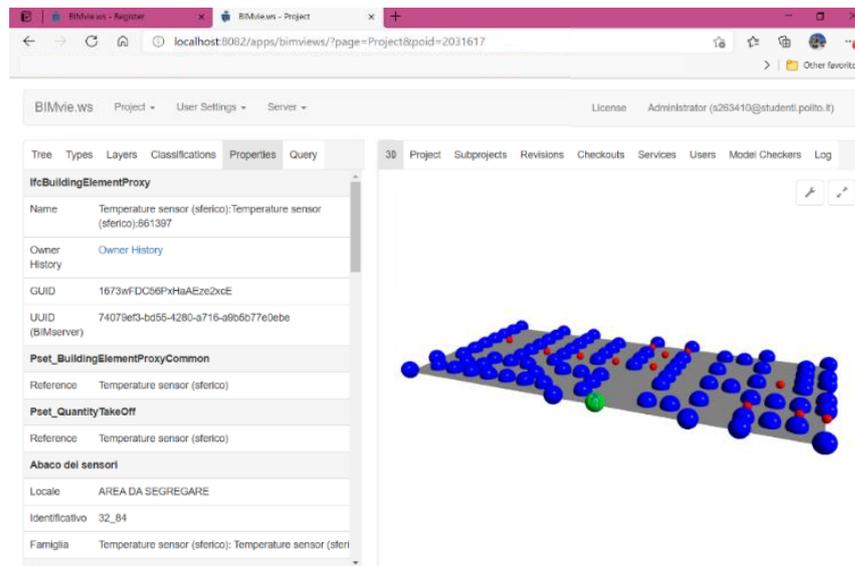
b)



c)

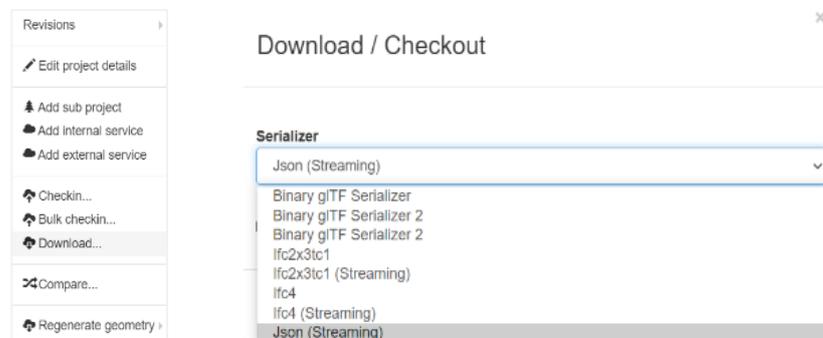
Fig. 22  
 Subprogetti:  
 Architettonico  
 Elettrico  
 Meccanico

Da *Bimvie.ws* è possibile visualizzare sia la geometria degli oggetti come i metadati del modello (creato dal software BIM). Permette anche di navigare nel gestore del progetto IFC con struttura ad albero, così come i diversi layers, classificazioni, creare delle query e visualizzare le proprietà di ogni singolo oggetto (*Fig. 23*).



*Fig. 23*  
BIMserver.  
Proprietà dell'oggetto.  
Modello Elettrico.

BIMserver è uno spazio dove si può caricare, unire, visualizzare, interrogare e validare i file IFC. Per unire file IFC bisogna fare il Checkin del modello per ogni subprogetto, poi resta soltanto cliccare sul simbolo 'occhio' del livello superiore per vedere il modello unito. E' anche possibile scaricare il progetto principale come un singolo *IFC*, *JSON*, *gITF* da "download". (*Fig. 24*)



*Fig. 24*  
Scarica del modello  
federato generato in  
BIMserver.

Questo strumento basato su web possiede anche un plugin chiamato "Console" (Fig. 25), che permette l'accesso interattivo all'API di BIMserver, in cui è possibile eseguire chiamate ed effettuare azioni attraverso l'interfaccia del servizio, amministrazione, metadati, configurazione, autenticazione, plugin, notifiche, servizi remoti, tra gli altri. L'API di BIMserver usa *JSON/SOAP* per trasferire dati dal server al client (Fig. 26).

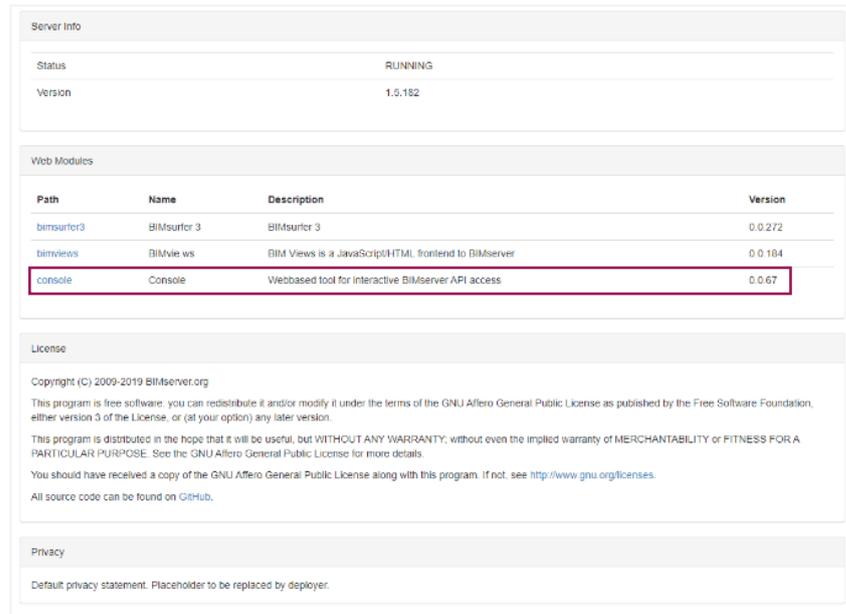


Fig. 25  
Schermo iniziale di BIMserver.

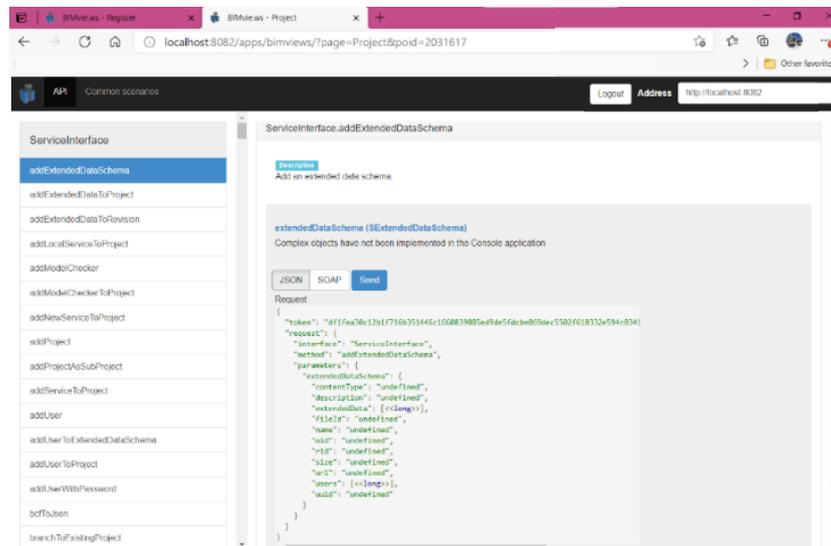
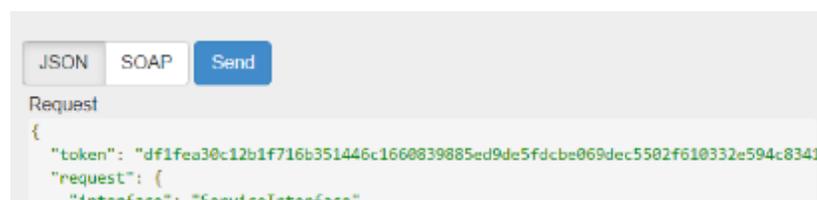


Fig. 26  
Esecuzione della chiamata in JSON.  
BIMserverAPI

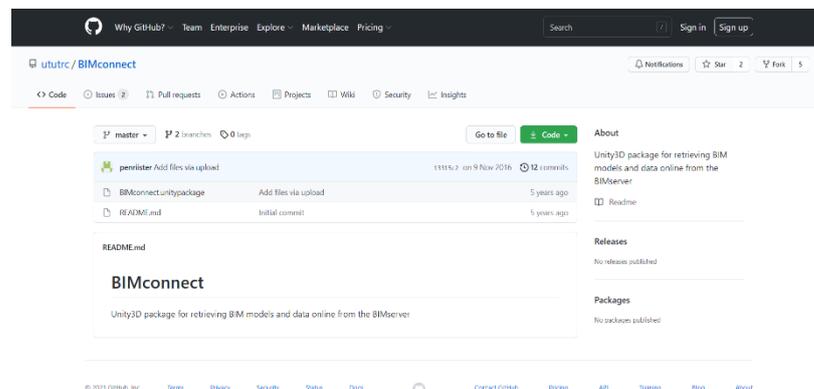


In sintesi, il server [bimserver.org](http://bimserver.org), basato sul BIM, funziona sia come una piattaforma di sviluppo software che come un server IFC, ed è disponibile agli utenti finali senza alcun costo e con conoscenze tecniche minime. La piattaforma fornisce il controllo della revisione degli oggetti nei modelli IFC. Si basa su un'API fornita da generatori di codice sovrapposti a linguaggi di modellazione accettati (meta), il che permette una comoda interazione programmatica con le istanze IFC e fornisce interfacce flessibili ai modelli BIM versionati, sia da un'API SOAP che, da un prototipo di interfaccia web client per gli utenti finali. Ha una serie di moduli, come visualizzazioni, meccanismi flessibili di interrogazione e filtraggio, fattori che rendono questa piattaforma uno strumento molto utile nella collaborazione basata sul modello, soddisfacendo uno degli obiettivi specifici di questa ricerca che è l'uso del modello BIM come un servizio web.

Con *BIMserver* è possibile soddisfare l'obiettivo di ottenere un modello dinamico, che possa registrare i continui aggiornamenti del modello, e da questo punto, procedere all'integrazione con il motore di gioco Unity3D.

- **Integrazione BIMserver con Unity 3D:**

A questo scopo, è stata implementata una tecnica per semplificare il trasferimento dei modelli IFC al motore di gioco, la tecnica utilizzata è stata sviluppata e descritta da *Riikonen, Arvo e Lehtonen (2017)* e implementata da (*Sakari L et. al., 2017*). Si tratta di una risorsa open source chiamata BIMconnect, che viene utilizzata per trasferire dati da BIMServer alle applicazioni basate su Unity. Permette l'importazione di modelli IFC contenuti in BIMServer direttamente su Unity, e la possibilità di esaminare i relativi metadati. Il download del pacchetto BIMconnect è stato fatto dal sito GitHub. (*Fig. 27*)



*Fig. 27*  
GitHub.  
Pacchetto per  
Unity3D.

Successivamente, si procede a importare il pacchetto BIMconnect in Unity3D dal No, para nadamenu *principale Assets* → *Import Package* → *Custom Package* → *BIMconnect* → *Import*. Una volta importato *BIMconnect* nel progetto, si procede ad aprire la scena "*BIMconnect*" che si trova nella cartella *Assets* (Fig. 28). All'interno della scena viene mostrato il pannello dell'interfaccia utente in cui verranno inserite le credenziali di accesso a *BIMserver*. (Fig 29)

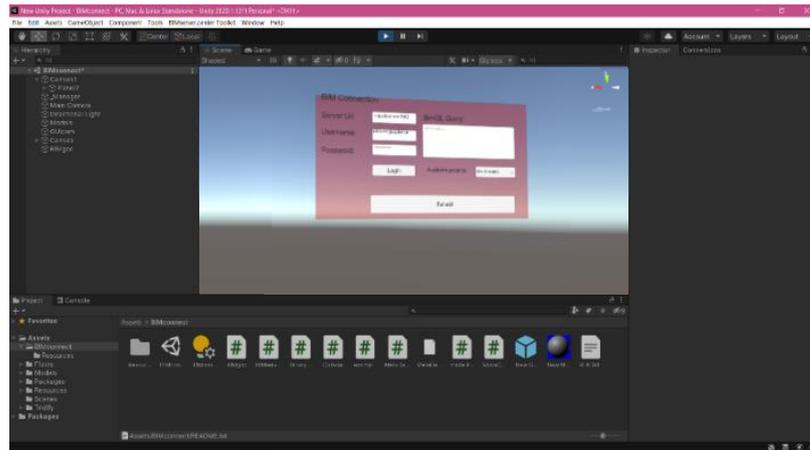


Fig. 28  
BIMconnect Scene.

Per riempire le caselle con le credenziali dell'account creato in *BIMserver*, è necessario entrare nella finestra "*Game*" e avviare la modalità "*Play*" in modo che la connessione possa essere effettuata. Una volta che i dati dell'account (*Server Url*, *Username*, *Password*) sono stati inseriti viene avviato il "*Login*".

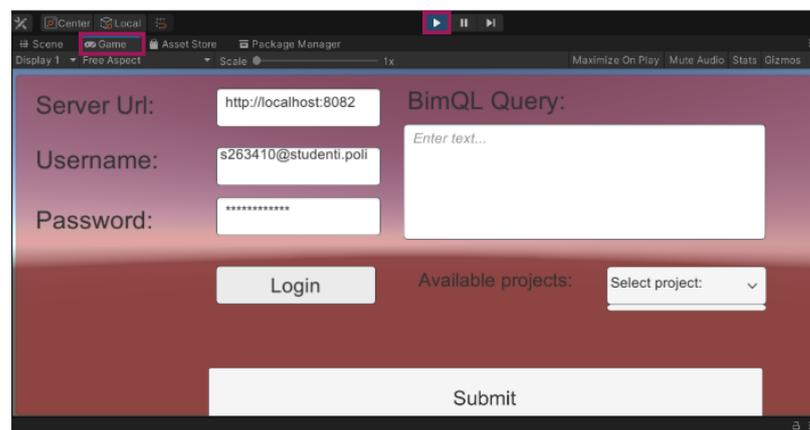


Fig. 29  
BIMconnect interfaccia  
utente.

Nonostante l'importazione del pacchetto in Unity abbia funzionato correttamente il login ha dato alcuni errori nella sua esecuzione. Un primo errore "*BIMserveException: response HTTP al BIMserver failed*". I messaggi HTTP sono il modo in cui i dati vengono scambiati tra un server e un client. Ci

sono due tipi di messaggi: le richieste inviate dal cliente per attivare un'azione sul server e la risposta del server. In questo caso, l'errore viene presentato nella risposta del server con un codice di stato di 305, il che indica il successo o il fallimento della richiesta. Un codice di stato 305 funziona come un reindirizzamento. In altre parole, dice a un client che la risorsa può essere recuperata solo se è stato usato il proxy corretto. Presumibilmente, un cliente potrebbe connettersi a questo proxy e, attraverso il proxy, riprovare la stessa richiesta per ottenere la risposta attuale. Perciò, il proxy è stato modificato da quello utilizzato sulla macchina dove è in esecuzione il server, ma l'errore persiste.

D'altra parte, scavando più a fondo nel pacchetto *BIMconnect*, si sono trovati alcuni errori sui "componenti obsoleti" all'interno del pacchetto. Questi errori nella connessione, più quelli trovati all'interno del pacchetto hanno impedito di ottenere il flusso di dati e la geometria necessari per completare il processo, quindi è stato deciso di prendere un altro modo per l'integrazione di BIM-Unity utilizzando un servizio web come strategia.

### 3.1.2 BIMserver.center

Fig. 30  
BIMserver.center.  
Fonte:  
<https://bimserver.center/es>

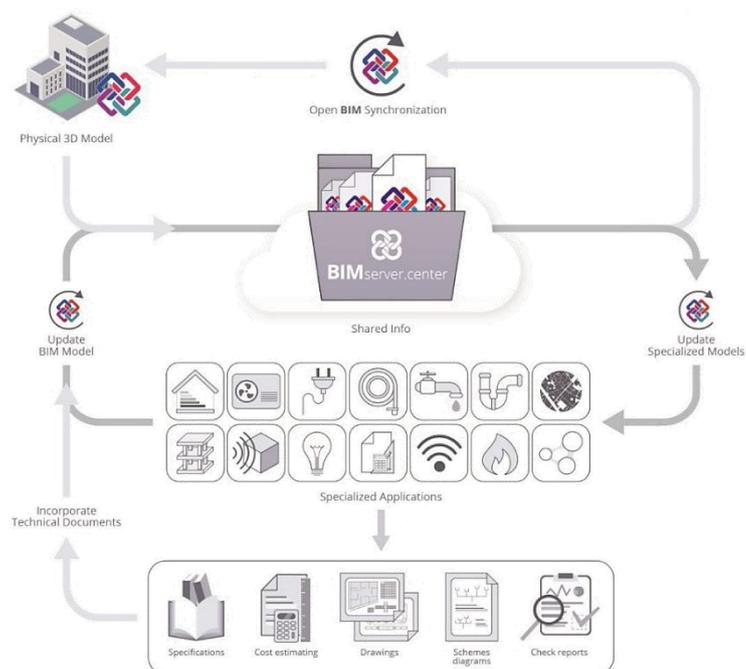


*Bimserver.center* è una piattaforma collaborativa aperta basata su cloud, ciò che possibilita ai diversi attori che fanno parte di un progetto di collaborare, condividere e aggiornare le informazioni utilizzando formati standard aperti, come IFC.

È stato sviluppato da CYPE, un'azienda che sviluppa e commercializza software tecnici per i professionisti dell'architettura, dell'ingegneria e dell'edilizia. La piattaforma permette un flusso di lavoro collaborativo e sincronizzato tra professionisti di diverse discipline, essendo in grado di utilizzare, sulla piattaforma, soluzioni di diverse software nello stesso progetto, cioè, lavora sotto la metodologia Open BIM.

Come menzionato precedentemente (§ 1.1, § 2.4), l'Open BIM si basa su un processo di scambio di informazioni attraverso formati aperti e pubblici gestiti in tempo reale da una piattaforma web. Con l'uso di formati standard e il servizio di aggiornamento nel cloud, il flusso di lavoro è automatico e costante tra i membri del progetto e le varie applicazioni utilizzate. Affinché un'applicazione sia integrata nel flusso di lavoro proposto, deve solo leggere e salvare i file in formato standard IFC. Questa integrazione è molto semplice poiché non richiede la riprogettazione delle applicazioni ma una semplice connessione alla piattaforma web che funziona come un collegamento che accelera il trasferimento delle informazioni del progetto tra gli utenti.

Quindi, *BIMserver.center* sfrutta il flusso di lavoro OpenBIM dove ogni tecnico specializzato lavora libera e autonomamente sulla parte assegnata del modello. Successivamente, il progetto sarà esportato in un file in formato standard aperto dall'applicazione che è stata utilizzata, e sarà automaticamente incorporato nel modello virtuale del progetto.



**Fig. 31**  
Flusso di lavoro  
BIMserver.center  
estratto dalla  
documentazione  
tecnica.

Anche se ci sono diverse piattaforme collaborative sul mercato, come *Autodesk 360* di *Autodesk* e *BIMcloud2* di *Graphisoft*, questi sono ecosistemi chiusi, basati su formati proprietari, non sono liberi da usare e non sono aperti a sviluppatori di software di terze parti, un fattore che limita le possibilità del BIM a ciò che può essere programmato da un singolo sviluppatore. In questo contesto *BIMserver.center* presenta un maggior

grado di possibilità per sviluppatori e utenti grazie alla sua grande flessibilità e versatilità. Inoltre, la piattaforma ha diversi sviluppi per utenti specifici: Business, Sviluppatori, Educazione, Amministrazioni, Corporate, Blog (Fig.32).

Fig. 32  
Sviluppi specifici della  
piattaforma  
BIMserver.center



- **Business:** orientato agli sviluppatori nella creazione di applicazioni. Il modulo Business fornisce anche strumenti efficaci per il business.
- **Sviluppatori:** fornisce un ambiente progettato per integrare facilmente qualsiasi applicazione relativa all'architettura, all'ingegneria e alla costruzione, in un flusso di lavoro aperto, così come una piattaforma commerciale per promuovere, distribuire e commercializzare le applicazioni create.
- **Educativo:** orientato a studenti e insegnanti per lo sviluppo delle classi e l'implementazione dell'uso delle tecnologie BIM. Permette di creare corsi e assegnare classi.
- **Corporate:** orientato alle aziende per gestire e aggiungere le loro soluzioni di costruzione alla piattaforma.
- **Amministrazioni:** Questo modulo permette alle amministrazioni pubbliche di tenere traccia dei progetti che stanno sviluppando.
- **Blog:** fornisce anche uno spazio dove è possibile essere aggiornati sulle novità della piattaforma, i programmi disponibili sulla piattaforma, così come Webinar e Workshop online con gli sviluppatori di software coinvolti nella piattaforma.

Per usufruire dei servizi offerti dalla piattaforma è necessario creare un account registrando i dati identificativi dell'utente (*username, email, password*) come credenziali per accedere al servizio. Dopo aver eseguito il login, la home page mostra un menu principale per accedere a varie funzioni come mostrare/creare/archiviare progetti, richiedere collaborazioni, progetti pubblici raccomandati, aggiungere/visualizzare contatti, entrare nel modulo business e lo Store per acquistare nuove applicazioni. (Fig. 33)

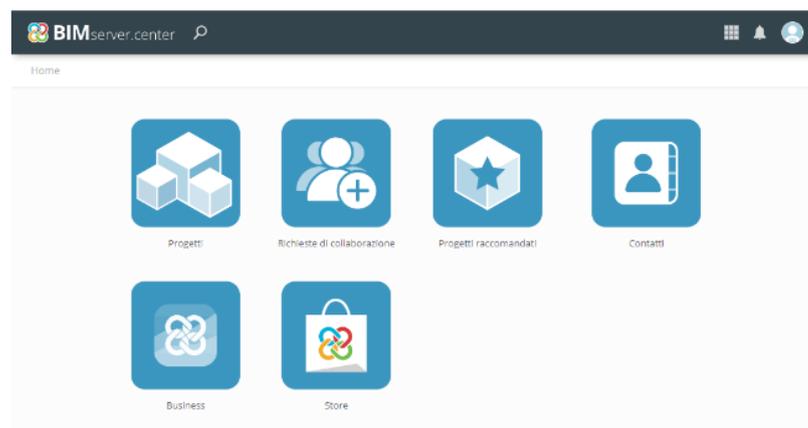


Fig. 33  
Home Page  
BIMserver.center

Per creare un nuovo progetto BIM bisogna andare alla funzione “Progetti” e Crea progetto, in cui si dovrà assegnare un nome al progetto, una descrizione, definire il tipo di progetto (*Professionale, Test, altro*), opzioni di visibilità e richieste di collaborazione nello sviluppo del progetto. (Fig. 34)

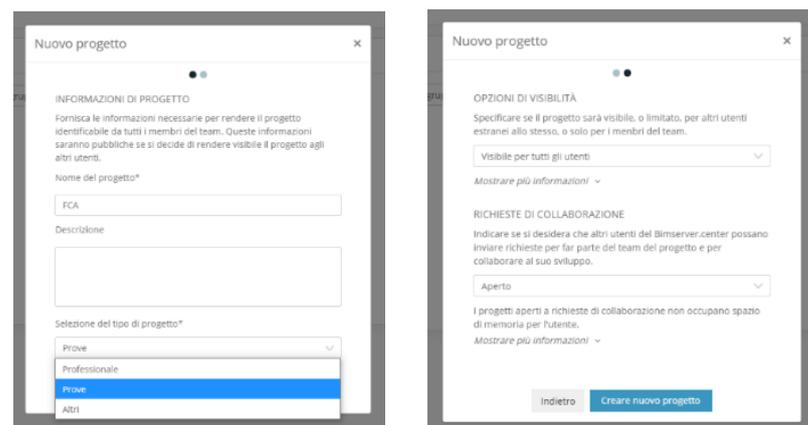


Fig. 34  
Creazione e  
configurazione di un  
nuovo progetto in  
BIMserver.center

Una volta che il progetto è stato creato, apparirà sulla Dashboard con le informazioni fornite nella sezione precedente, un'anteprima del progetto con

lo spazio che occupa sulla piattaforma, così come i possibili conflitti e requisiti da gestire, e le eventuali raccomandazioni riguardanti il progetto (Fig. 35).

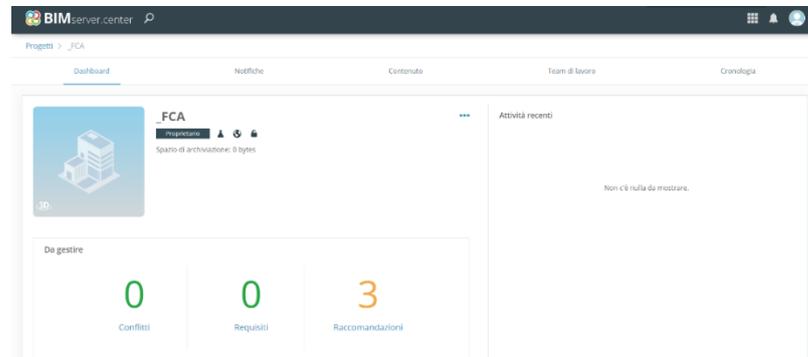


Fig. 35  
Dashboard  
BIMserver.center

A tale punto, si procede a caricare i file IFC del modello. Per fare ciò, è necessario prima scaricare *IFC Uploader* dallo Store della piattaforma (Fig.36). Questa applicazione permette di aggiungere uno o più file IFC al progetto contenuto in *BIMserver.center*. Per ogni file caricato, l'applicazione genera automaticamente dei file di visualizzazione *glTF*.

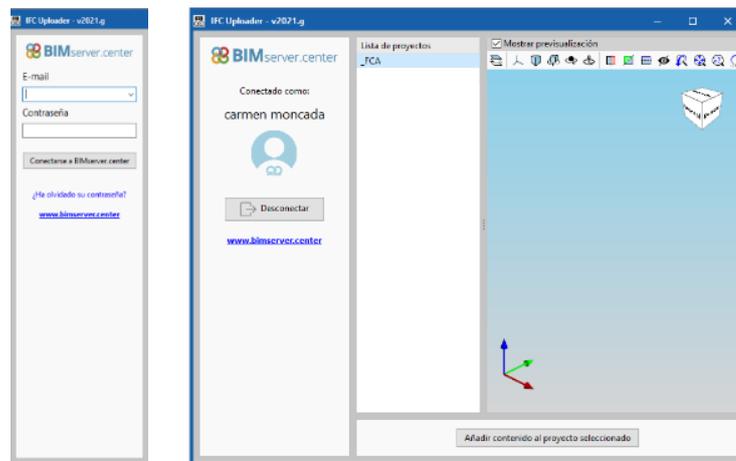


Fig. 36  
Importazione del file IFC  
su IFC Uploader

All'interno dell'applicazione *IFC Uploader*, il login viene eseguito inserendo le credenziali di accesso a *BIMserver.center*, immediatamente verrà mostrato il progetto creato dalla piattaforma. Successivamente, per importare il file, si seleziona "aggiungere contenuto al progetto selezionato", lì si assegna un nome al file e, opzionalmente, una descrizione del progetto. In modo da poter visualizzare il modello dalla piattaforma, è necessario che l'opzione "*Generate glTF file*" sia attiva, altrimenti previsualizzazione del progetto sarà vuota (Fig. 37).

Questo processo viene ripetuto per ogni file IFC, dato che supporta solo un file alla volta.

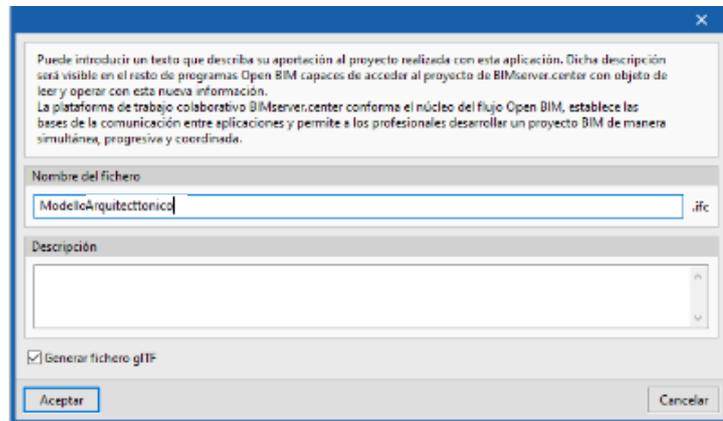
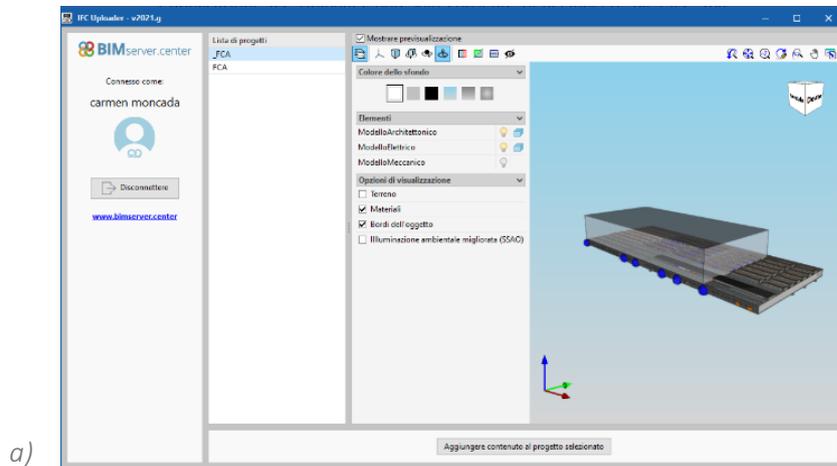


Fig. 37  
Generazione del file  
gITF.

L'applicazione *IFC Uploader* non solo consente di aggiungere files IFC, ma presenta anche una finestra di visualizzazione dell'insieme di modelli collegati, con un elenco di strumenti che permettono di interagire con il modello BIM caricato (a). L'aggiornamento sulla piattaforma BIMserver.center verrà effettuato automaticamente (b) (Fig. 38).



a)

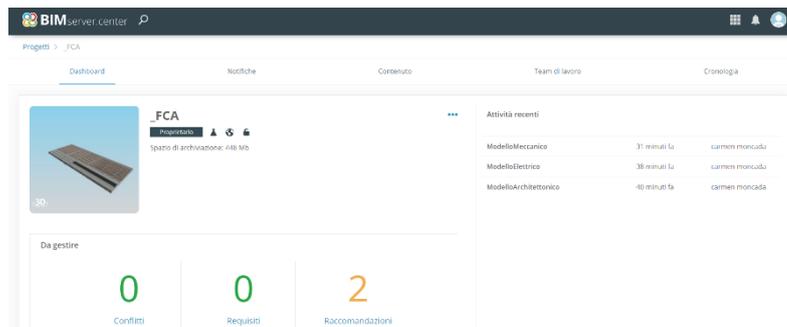


Fig. 38

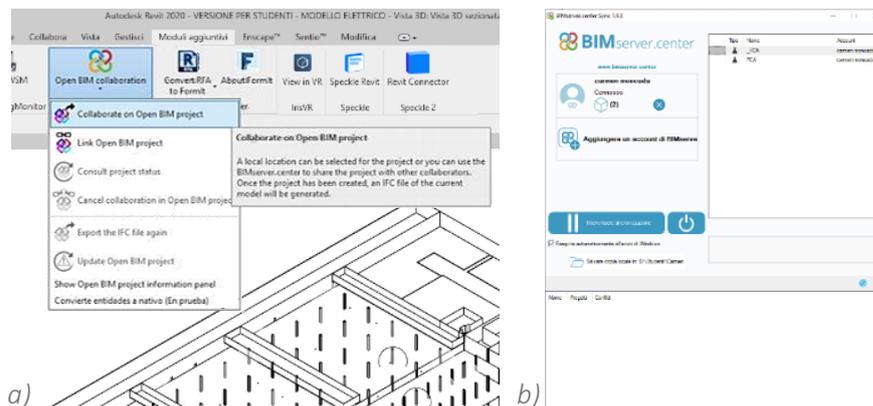
- a) Visualizzatore dei file caricati in IFC Uploader.  
b) Aggiornamento automatico sulla piattaforma BIMserver.center

b)

L'uso dell'applicazione *IFC Uploader* è utile per tutti quei programmi che non hanno una comunicazione diretta con questa piattaforma, però è anche possibile caricare il file direttamente dal software *BIM Revit di Autodesk*. *BIMserver.center* include un plugin che facilita e migliora la comunicazione tra *Revit* e il set di strumenti specializzati di CYPE, ed è in grado di informare l'utente di *Revit* delle modifiche apportate ai progetti nelle diverse aree, permettendo all'utente di decidere se aggiornare o meno le informazioni del progetto. Questo plugin è disponibile nello Store della piattaforma, in forma gratuita, sotto il nome di "*Plugin Open BIM - Revit*". Scaricato e installato il plugin in *Revit*, basta inserire le credenziali dell'account creato in *BIMserver.center* e selezionare il servizio desiderato, tra creare, collaborare, consultare, annullare la collaborazione, esportare IFC o aggiornare il progetto (a).

**Fig. 39**

- Plugin Open BIM all'interno di Revit.
- Bimserver.center Sync.



Per mantenere aggiornati i progetti e garantire la sincronizzazione, è anche necessario scaricare l'applicazione *Bimserver.center Sync* (b), che si trova nel menu principale sotto il nome "*Sync*". Si richiede solo di inserire le credenziali di accesso alla piattaforma.

Pertanto, l'uso di *BIMserver.center* come piattaforma contenente il modello BIM genera un flusso di lavoro che può essere diretto (*Plugin OpenBIM - Revit*) o indiretto (*IFC Uploader*). Cioè, se il software di modellazione utilizzato è *Autodesk Revit*, può essere collegato a *BIMserver.center* attraverso il plugin "*OpenBIM - Revit*" che genererà un file IFC ottimizzato in grado di operare con gli strumenti di *BIMserver.center* (a). Nel caso in cui il software di modellazione sia diverso da *Revit* e sia in grado di esportare file IFC, questi possono essere introdotti nel flusso di lavoro attraverso *IFC Uploader*, che permetterà di caricare il file sulla piattaforma *BIMserver.center* (b) (Fig. 40).

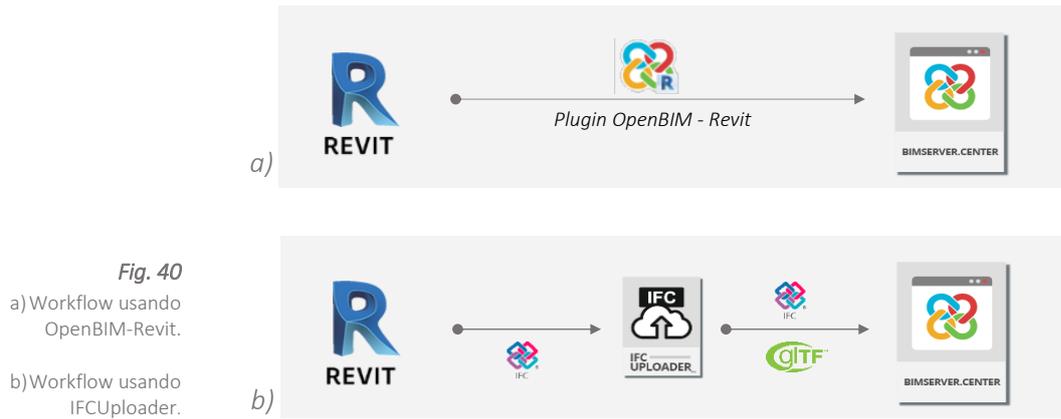


Fig. 40

a) Workflow using OpenBIM-Revit.

b) Workflow using IFCUploader.

Con *BIMserver.center* è possibile soddisfare l'obiettivo di ottenere un modello dinamico, che può registrare i continui aggiornamenti del modello, e avere accesso alle informazioni del progetto ovunque e senza dipendere da programmi installati. Queste informazioni possono essere consultate dal visualizzatore 3D online fornito dalla piattaforma.

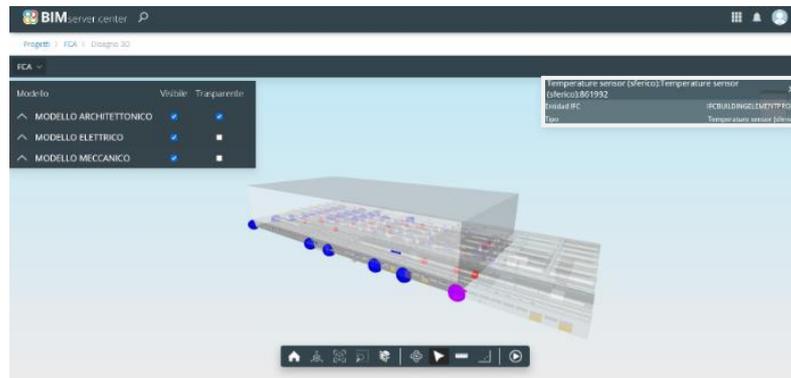
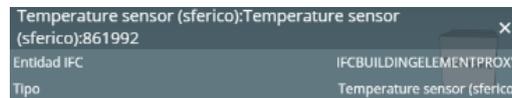


Fig. 41

Visualizzatore 3D online  
BIMserver.center



Dal visualizzatore 3D è possibile vedere i file IFC che compongono il progetto, inoltre permette di interagire con il modello grazie a una lista di strumenti che permettono di misurare, modificare viste, definire angoli, fare sezioni, ruotare il modello e leggere alcune caratteristiche relative all'oggetto (materiale, sezione, coefficienti, tipo, entità, ecc.) semplicemente selezionandolo. (Fig. 41)

- **Integrazione BIMserver.center con Unity 3D:**

Per l'integrazione con il motore di gioco Unity 3D, la piattaforma *BIMserver.center* fornisce un pacchetto con tutti gli strumenti necessari per collegare le diverse applicazioni con la piattaforma. Il pacchetto è disponibile sul sito GitHub con il nome "*BIMserver.center Toolkit for Unity 3D*". Come primo passo nell'integrazione del motore di gioco con la piattaforma è necessario essere registrati in *BIMserver.center* e creare un account dal modulo Business per inviare una richiesta di registrazione come sviluppatore. Una volta accettata la richiesta di registrazione, è possibile accedere al modulo Business.

In modo di poter effettuare il collegamento tra la piattaforma e il motore di gioco, è necessario ottenere il GUID (*Application Global Unique Identifier*) dello sviluppatore e dell'applicazione. Per fare ciò, è stata creata una nuova applicazione da "*Applicativi*" che si trova nella home page. (Fig. 42)

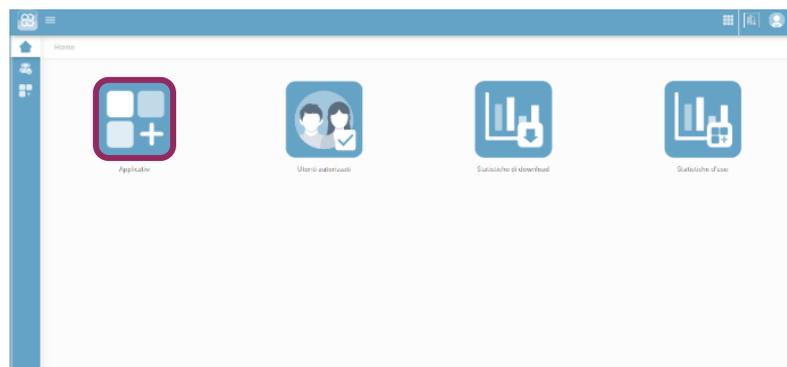


Fig. 42  
Home page del  
modulo business.

Nella nuova applicazione è permesso assegnare una descrizione generale come dati dell'applicazione, specifiche tecniche, requisiti di sistema, versione dell'applicazione, lingua, informazioni di contatto, ecc., essendo il nome dell'applicazione l'unico dato obbligatorio da compilare. Con la creazione dell'applicazione, vengono anche generati i GUID dello sviluppatore e dell'applicazione, dati necessari per accedere alla piattaforma da *Unity3D* (Fig. 43).

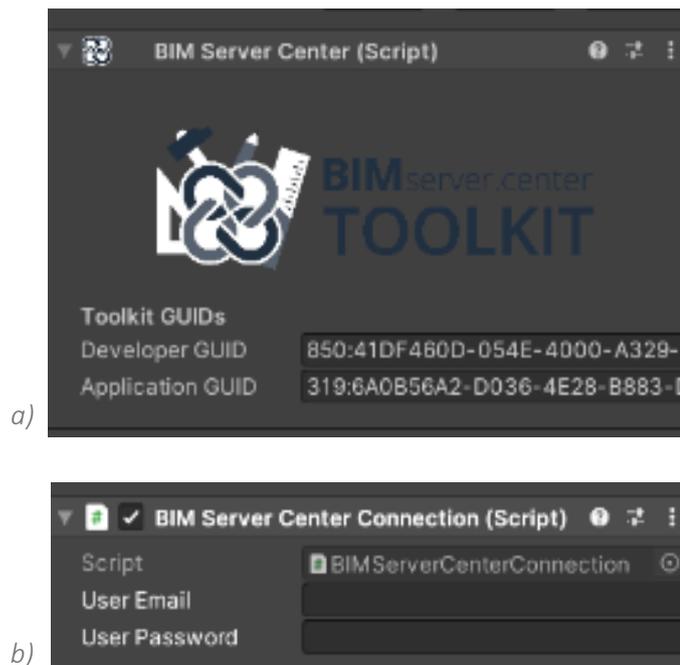


Fig. 43  
GUID ottenuti  
dall'applicazione  
creata.

Nell'integrazione con *Unity3D*, una volta scaricato il file ".unitypackage", si procede a importare il set di strumenti al progetto, da Assets → Import Package → Custom Package → BIMserver.center. Toolkit.v1.1. unitypackage → Import.

Da *BIMserver.center toolkit*, situato nella barra del menu principale di *Unity*, si aggiunge lo strumento connettore alla scena del progetto con "Add scene".

In questo modo i componenti *BIMserver.center* e *BIMserver.center connection* saranno aggiunti al progetto. Nel primo componente (*a*), è necessario inserire le credenziali di identificazione dello sviluppatore, così come l'ID dell'applicazione. Mentre il secondo componente (*b*), permette l'accesso alla piattaforma BIMserver.center, inserendo email e password (*Fig. 43*). È importante riempire entrambi i componenti in modo che il login possa essere effettuato.



**Fig. 44**  
Componenti per accedere alla piattaforma BIMserver.center.

Per importare il modello e visualizzarlo all'interno del motore di gioco, è necessario entrare nel Play Mode, che è la rappresentazione del gioco già finalizzato. Solo mentre si è in modalità Play il modello può essere chiamato all'interno di *Unity*, qualsiasi modifica apportata sarà temporanea, e sarà resettata quando si esce dalla modalità Play.

Una volta che il progetto è stato caricato in Unity è possibile visualizzare i modelli che compongono il progetto: Modello Architettonico, Modello Elettrico e Modello Meccanico. (Fig. 45)

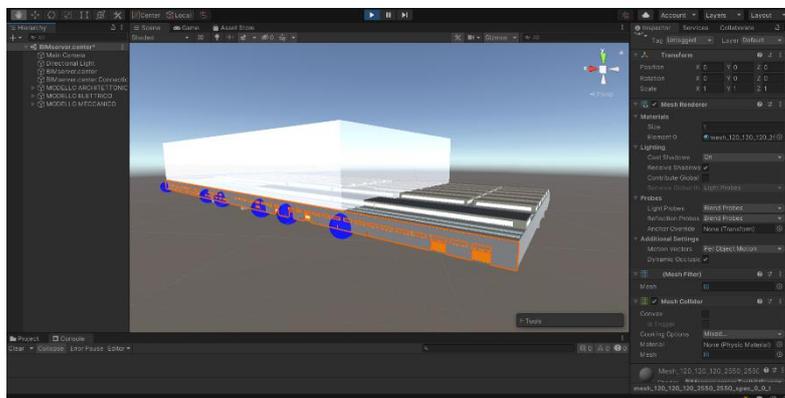


Fig. 45  
Modello importato su  
Unity3D da  
BIMserver.center.

Nella finestra della gerarchia è noto che i modelli importati mantengono la struttura ad albero, con tutti i GameObjects o le entità IFC formate in ordine gerarchico. La gerarchia rappresenta come gli oggetti nella scena sono collegati tra loro. (Fig. 46)

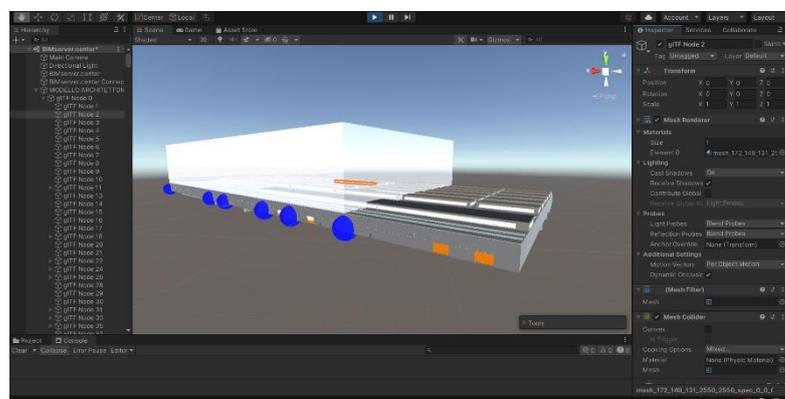


Fig. 46  
Struttura interna dei  
modelli importati.

Approfondendo sui componenti di ogni modello, si può notare che l'importazione ha generato una perdita di dati nelle proprietà degli oggetti (Fig. 46), questo perché BIMserver.center per ogni file IFC genera automaticamente il suo corrispondente file glTF per la visualizzazione, sia sulla piattaforma che su altre applicazioni di visualizzazione. L'glTF è un formato di file concepito per distribuire, in modo efficiente e interoperabile, i file 3D, poiché comprime la dimensione delle scene e dei modelli 3D, ottimizzando il tempo di esecuzione nelle applicazioni.

Anche se ogni elemento conserva la sua integrità come oggetto unico e le sue coordinate nello spazio, non è possibile interrogare le proprietà *IFC* predefinite per ogni entità. Quindi, l'applicazione di integrazione della piattaforma con *Unity 3D* permette di importare il progetto solo per scopi di visualizzazione e non come un modello contenitore di informazioni.

In sostanza, per generare una connessione tra i sensori di temperatura e un modello virtuale, è necessario che le proprietà di identificazione dell'oggetto siano presenti nel modello. Per questo motivo si è deciso di prendere un altro percorso per l'integrazione *BIM-Unity* basato su un servizio web.

### 3.1.3 Speckle

*Fig. 47*  
Speckle logo.  
Fonte:  
<https://speckle.xyz/>



*Speckle* è una soluzione basata sul cloud per l'industria AEC che fornisce una piattaforma di dati open source, facilitando l'interoperabilità e consentendo il lavoro collaborativo in tempo reale, la gestione dei dati, il controllo delle versioni e delle modifiche e l'automazione del flusso di lavoro.

Da un lato, comprende una piattaforma di dati web che permette di monitorare e coordinare le informazioni direttamente dal browser web, attraverso un'interfaccia che aiuta a gestire le varie trasmissioni di dati insieme a un visualizzatore BIM, che permette di mostrare il progetto. E, d'altra parte, include un insieme di connettori che hanno lo scopo di integrare direttamente i diversi software di lavoro, permettendo, inoltre, di scambiare la geometria e i suoi relativi metadati. I connettori sono disponibili per i seguenti software: *Revit*, *AutoCAD*, *Grasshopper*, *Dynamo*, *Rhinoceros*, *Unity*, tra gli altri, e sono incaricati di inviare e ricevere dati da altre piattaforme così come dal server web *Speckle*.

Questo metodo offre un ottimo punto di partenza per un flusso di lavoro collaborativo e sincronizzato tra professionisti di diverse discipline. Per

iniziare a testare ciò che fornisce il flusso di lavoro *Speckle*, è necessario prima creare un account sul server, così come l'installazione dell'applicazione desktop *Speckle Manager*, che serve ad amministrare l'account, installare e gestire i connettori.

Una volta che i connettori sono stati installati, è possibile iniziare a trasmettere i dati. In questo test è stato utilizzato Revit 2020, il software BIM dove è stato creato il modello. Il suo rispettivo connettore si trova nella finestra "Moduli aggiuntivi". Da lì sarà possibile creare nuovi progetti, inviare e ricevere file al *Speckle* web server (Fig. 48).

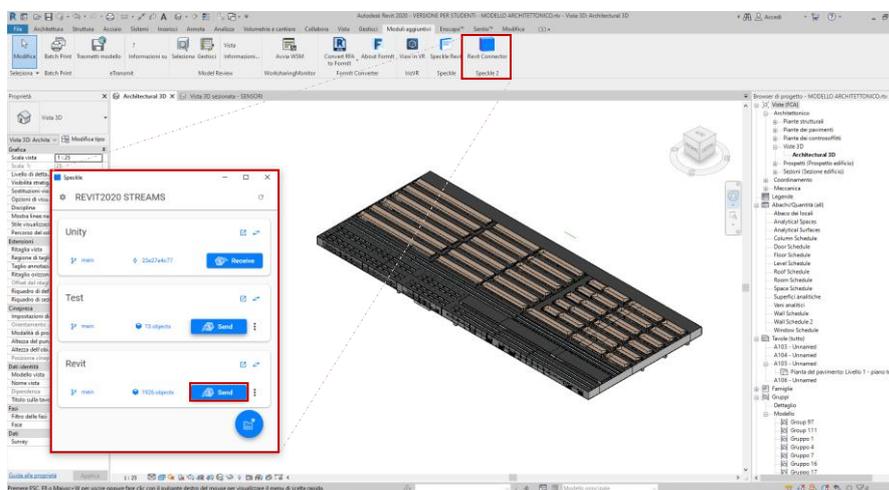


Fig. 48  
Revit Connector che collega Speckel al software BIM.

Quando si inviano i file al server, è anche possibile stabilire selezioni filtrate per categoria, vista, informazioni sul progetto, famiglia e tipi, livelli, parametri, ecc. Ciò permette di stabilire un maggiore controllo degli elementi inviati all'applicazione web (Fig. 49).

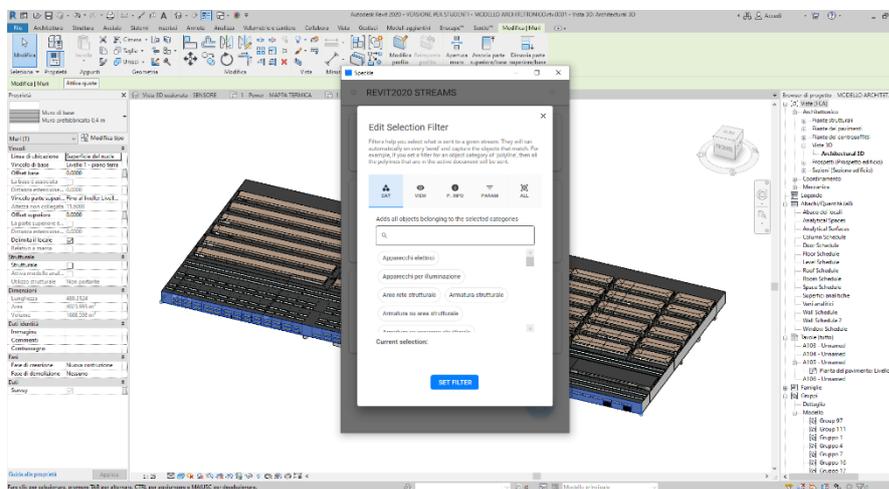


Fig. 49  
Finestra per modificare il filtro di elezione da Revit Connectors.

Una volta che il modello è stato inviato dal connettore *Revit*, viene automaticamente aggiornato nel browser web. Da lì è possibile visualizzare il progetto e interrogare i rispettivi dati direttamente nel browser, selezionando solo l'oggetto (Fig. 50).

Quindi, l'applicazione web offre un'interfaccia di visualizzazione e connessione che accelera il trasferimento di dati tra gli utenti che fanno parte del progetto.

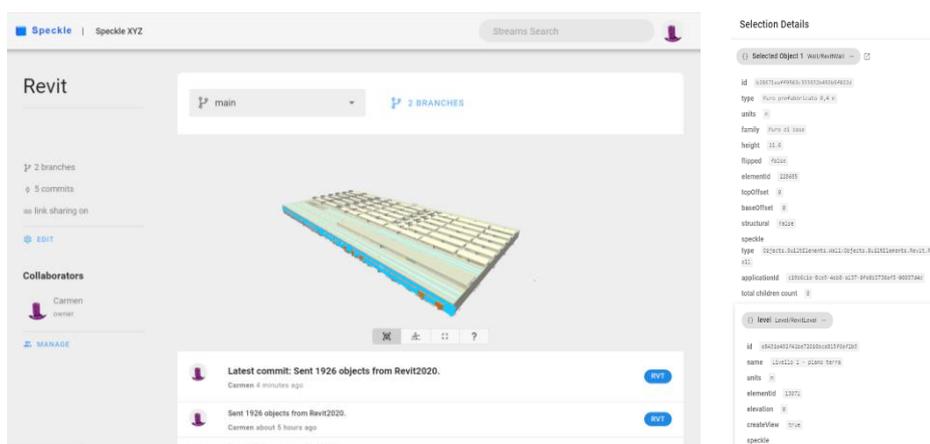


Fig. 50  
Speckle Web server.

Questo processo è stato effettuato sia con il modello architettonico che con il modello elettrico, mirando a focalizzare l'uso del modello all'obiettivo della ricerca, che è la lettura dei sensori all'interno del modello BIM.

### • Integrazione Speckle con Unity 3D:

Per effettuare la connessione al motore di gioco, *Speckle* fornisce un repository che permette l'integrazione con *Unity*. Questo repo chiamato "*Speckle - Unity*" è stato installato dal sito GitHub e aggiunto alla cartella "Assets" del progetto (Fig. 51).

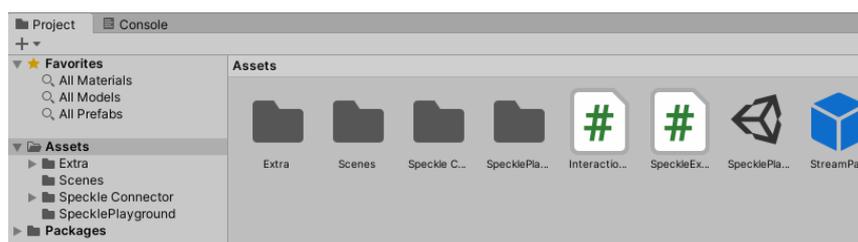


Fig. 51  
Repository "*Speckle - Unity*" nella cartella "Assets" del progetto.

Prima di avviare l'integrazione, è necessario che il server web di *Speckle* sia in esecuzione in modo che il connettore possa effettuare la connessione. Una volta fatto questo, abbiamo iniziato con l'aprire la scena "*SpecklePlayground*", che mostra un'interfaccia utente che permette di inviare e ricevere dati in modo semplice. Inoltre, è importante controllare che le caselle del componente script "*Speckle Examples*" siano riempite, altrimenti verrà generato un errore. In questo caso, abbiamo aggiunto solo lo "*Stream Prefab*", contenuto nella cartella *Assets* del repository (Fig. 52).

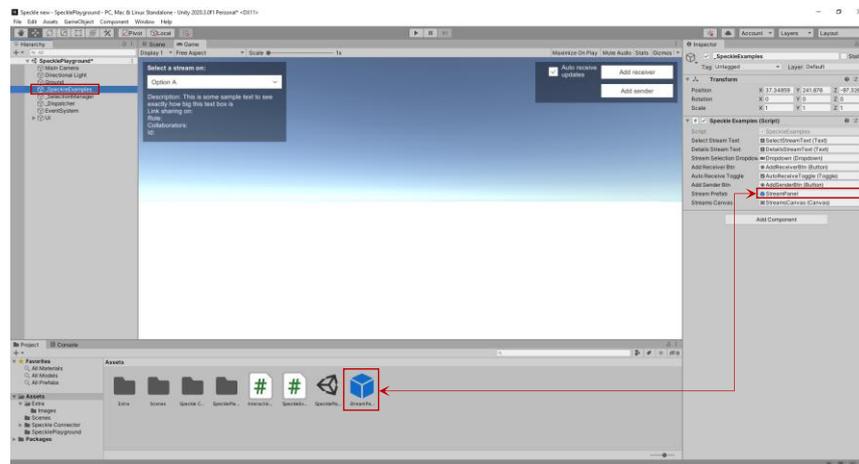


Fig. 52  
Configurazione degli  
elementi della scena  
"*SpecklePlayground*".

Una volta che le configurazioni sono state fatte, si procede ad avviare l'integrazione, che sarà fatta solo nella modalità "*Play*" e nella finestra di gioco. Da lì è possibile selezionare un progetto già creato e caricarlo nella scena da *AddReceiver*, per il test è stato selezionato il progetto precedentemente creato in Revit (Fig. 53). È anche possibile attivare l'opzione che permette di ricevere automaticamente i dati aggiornati. Questo approccio permette un flusso di lavoro sincronizzato quasi in tempo reale.

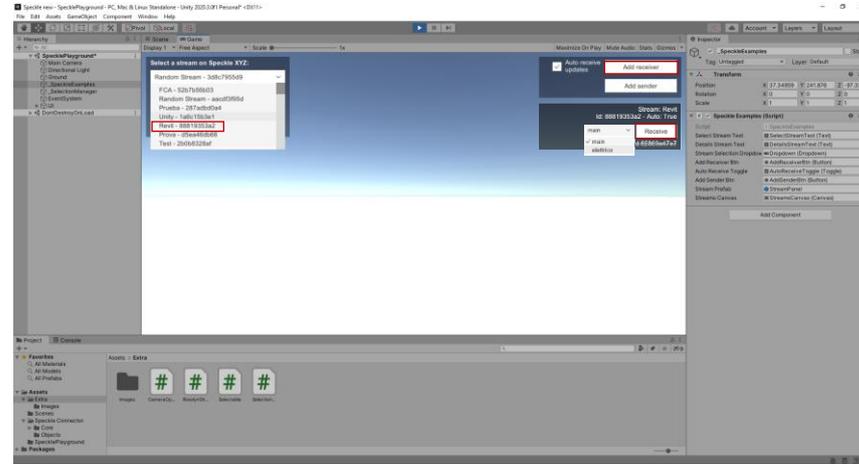
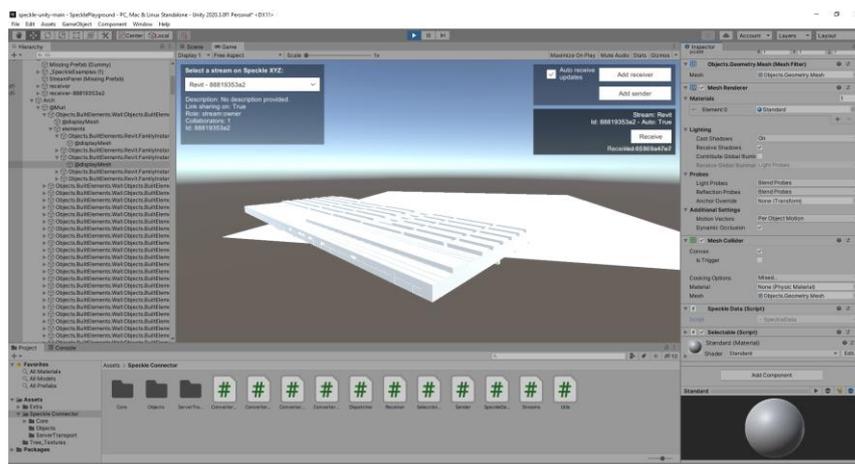


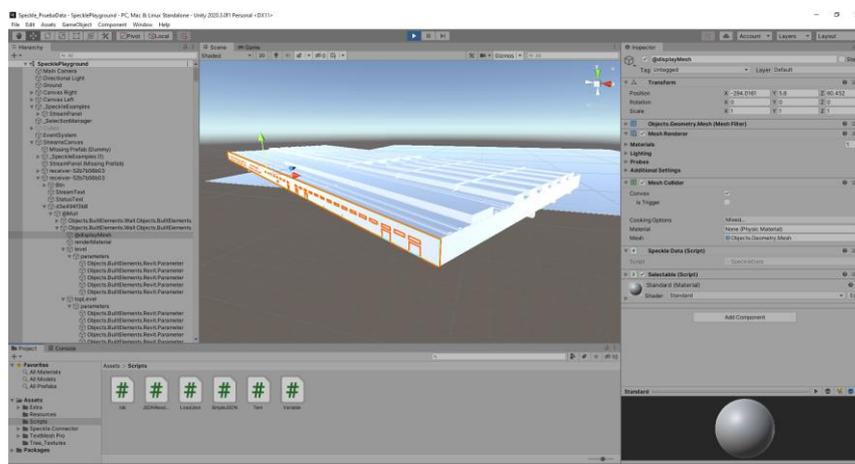
Fig. 53  
Processo di selezione  
del progetto da  
importare.

Una volta che il modello è stato caricato in *Unity*, è possibile visualizzare la geometria e navigare al suo interno (*Fig. 54*). L'importazione è stata fatta solo con il Modello Architettonico ed Elettrico, focalizzando l'uso del modello secondo le informazioni necessarie per eseguire l'integrazione con le informazioni dei sensori IoT e visualizzarle successivamente in un ambiente BIM.

**Fig. 54**  
Importazione del modello architettonico all'interno di *Unity* tramite *Speckle-Unity*.



**Fig. 55**  
Proprietà degli oggetti importati da *Speckle*.



Come si può vedere nella *Fig. 55*, il modello importato mantiene una struttura ad albero, organizzando i *GameObjects* per categoria. Anche se il modello mantiene una struttura gerarchica, le proprietà degli oggetti sono stati modificati durante l'importazione, così come la perdita di informazioni dei materiali. Per quanto riguarda le proprietà degli oggetti, *Speckle* fornisce un trasferimento di dati BIM incorporato in ogni oggetto come componente script, e al suo interno, c'è un Dizionario<stringa,oggetto> che contiene tutti i metadati provenienti da *Speckle*. Questo significa che le proprietà non

possono essere interrogate dalla scheda "Inspector", ma richiedono la manipolazione dello script per estrarle, quindi, richiede la conoscenza del linguaggio di programmazione C# utilizzato in *Unity*.

D'altra parte, il processo di estrazione dei dati dovrebbe essere fatto per ogni particolare oggetto di interesse nel progetto, quindi potrebbe funzionare per piccoli progetti che non richiedono un grande utilizzo di dati, ma non risulta fattibile per un progetto su scala industriale. Per questo motivo, è stato necessario prendere un'altra strada nella ricerca dell'integrazione del modello BIM al motore di gioco.

### 3.1.4 Tridify



Fig. 56

Tridify logo.  
Fonte:  
[www.tridify.com/](http://www.tridify.com/)

**Tridify** è una azienda di tecnologia software con sede a Helsinki, Finlandia, che sviluppa prodotti di automazione per l'industria AEC. Si tratta di un insieme di strumenti che facilitano la produttività e la creatività del lavoro dei clienti grazie ai suoi servizi *BIM-to-web*, che permette di condividere modelli BIM e migliorare la collaborazione tra i diversi attori che fanno parte del progetto.

Questa piattaforma offre un servizio basato sul cloud, offrendo un maggiore controllo sui contenuti caricati, un maggiore accesso alle informazioni del modello BIM, un facile flusso di lavoro collaborativo e un'archiviazione sicura dei dati. *Tridify* utilizza Amazon Web Services come fornitore di cloud. Permette anche di combinare diversi file IFC da qualsiasi software di progettazione in un unico progetto, e creare una vista complessiva del modello per la sua pubblicazione tramite un link, che può essere copiato o aperto online. I modelli con dati BIM possono essere visualizzati sul web attraverso dispositivi mobili, tablet, computer o occhiali per la realtà virtuale.

Inoltre, offrono varie soluzioni agli sviluppatori di applicazioni con *Unity*, *WebXR* e l'API *Tridify*. Quest'ultimo è rivolto agli sviluppatori web che desiderano utilizzare il servizio di pubblicazione BIM di *Tridify* per elaborare IFC direttamente dal proprio software. Per questo, è necessaria una chiave

API Tridify valida, quindi è richiesto un abbonamento a pagamento valido al piano Light, Standard, Large o Enterprise. Offre anche piani gratuiti, una prova gratuita di 14 giorni e un piano educativo con licenza di 1 anno.

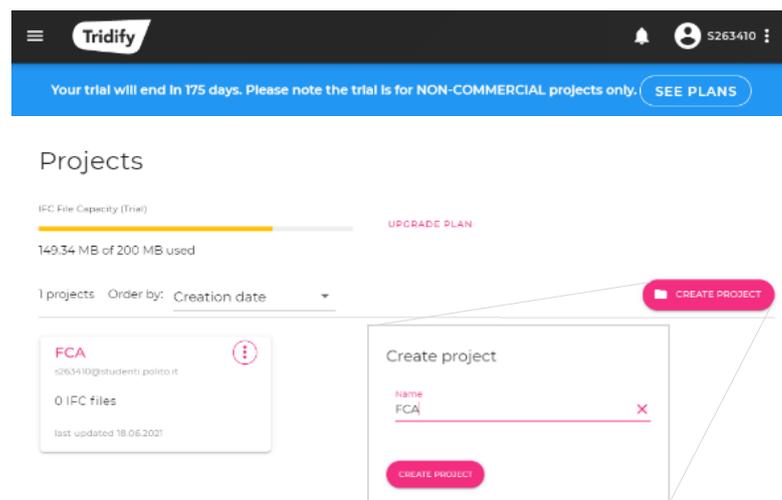
Per lo sviluppo di questa tesi, si optò per un Plan Educativo o Plan Light gratuito che richiedi l'utilizzo dell'indirizzo email valido dell'istituto scolastico.

Il Piano Educativo offre:

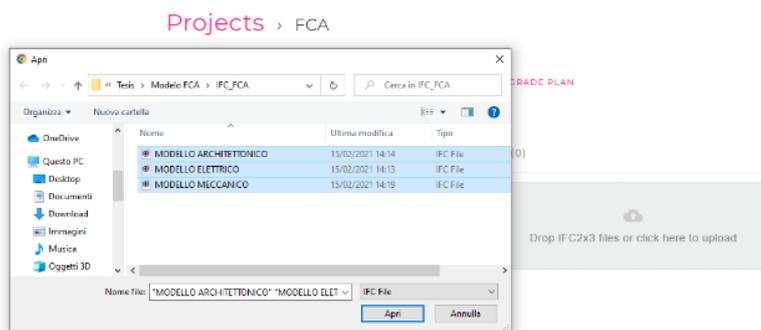
- Capacità di 200 MB per i file IFC
- 50 file IFC elaborati al mese
- Memoria crittografata
- Visualizzatore web
- Strumenti di sviluppo
- API Tridify
- Numero illimitato di collaboratori.

Per avviare il flusso di lavoro con *Tridify*, si procede a caricare i file IFC sulla piattaforma. Per fare ciò, bisogna prima essere collegato al account *Tridify* precedentemente creato. Successivamente, si aprirà la pagina "Projects", dove è possibile visualizzare i progetti esistenti o crearne uno nuovo. Dopo aver creato il progetto e avergli assegnato un nome (*Fig. 57*), è possibile aggiungere i file IFC esportati dal software BIM e CAD (*Fig. 5*). Attualmente, *Tridify* supporta il formato IFC2x3.

*Fig. 57*  
TridifyProcedura per  
creare un progetto in  
Tridify.

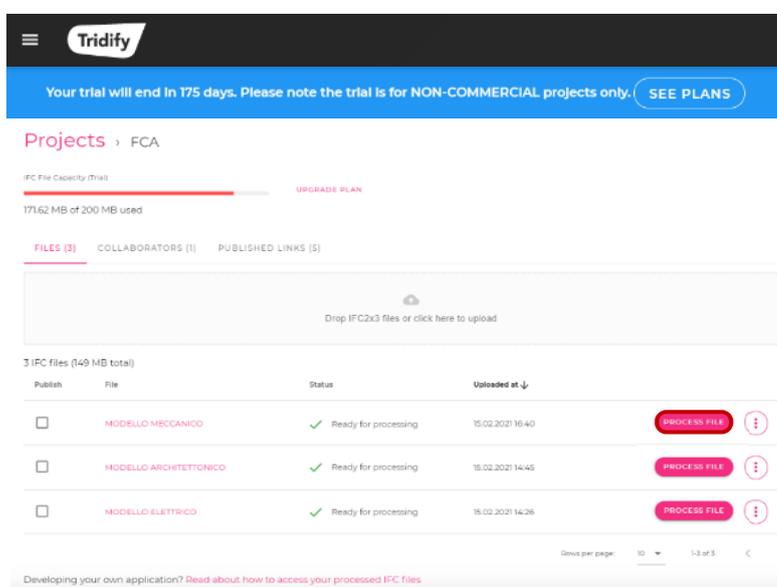


**Fig. 58**  
Selezione dei file IFC  
da caricare nel  
progetto.



Una volta che il caricamento del file IFC è stato completo e la validazione del file ha avuto successo, apparirà il messaggio "Ready for processing", si procederà quindi con la funzione "Process file" (Fig. 58).

**Fig. 59**  
Elaborazione dei file  
IFC in Tridify.

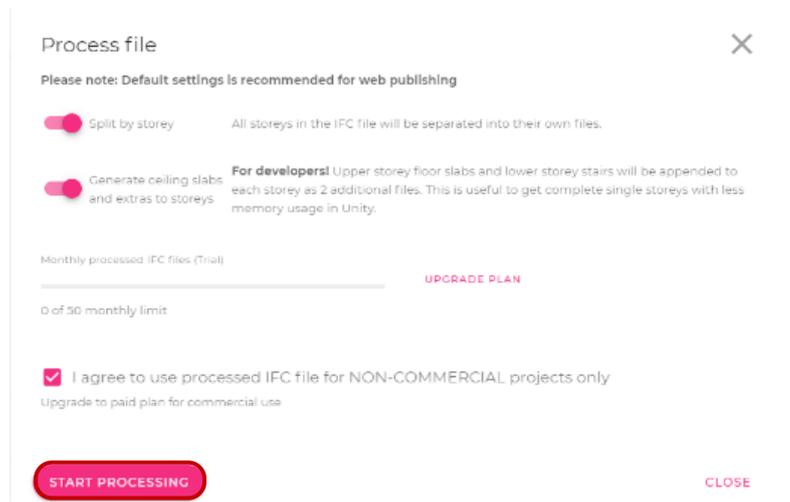


Come si mostra nella Fig. 59, questa funzione presenta due opzioni di elaborazione:

1. Dividere il file per piante: le piante nel file IFC saranno separate nei loro propri file. Si raccomanda di usare questa opzione per facilitare la navigazione e il lavoro dei file e per la generazione di luci in *Unity* con *Tridify BIM Tools*.
2. Generare le lastre del tetto e gli extra per i piani: questa opzione è principalmente orientata agli sviluppatori. Le lastre del piano superiore e le scale del piano inferiore saranno aggiunte ad ogni piano come 2 file aggiuntivi. È usato per ottenere piani individuali completi con un minore utilizzo di memoria in *Unity*.

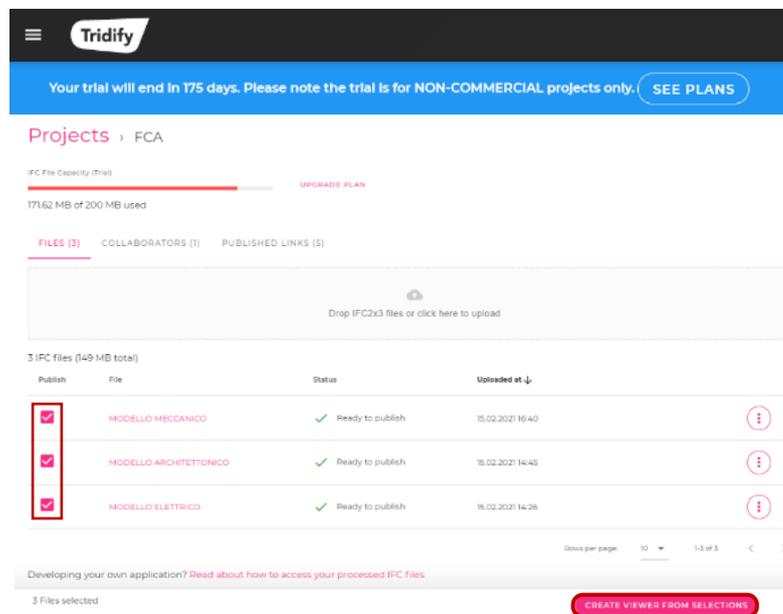
Ai fini della ricerca sull'integrazione BIM-Unity, entrambe le opzioni sono state attivate per ottenere le migliori prestazioni dal motore di gioco. Una volta selezionate le opzioni, è stata iniziata l'elaborazione (Fig. 60).

Fig. 60  
Opzioni di elaborazione dei file in Tridify.

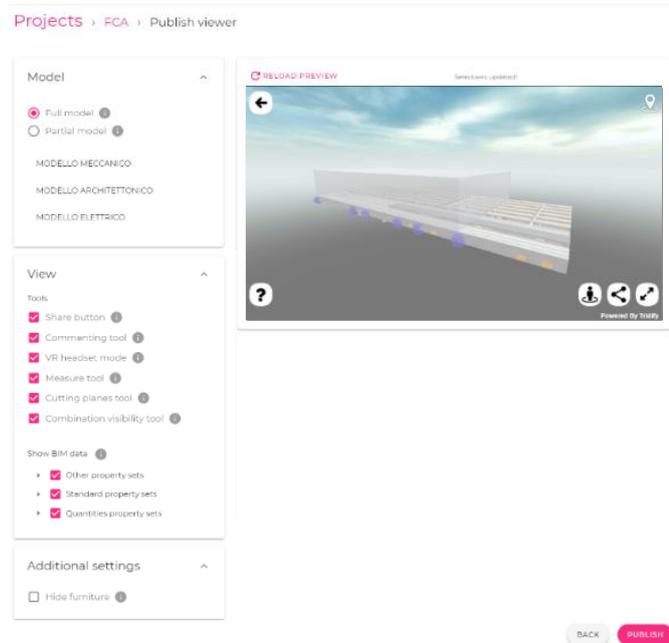


Successivamente, lo stato dei file cambia a "Ready to publish", il che significa che ora è possibile visualizzare i file IFC uniti selezionandoli e cliccando su "Create viewer from selections". (Fig. 61)

Fig. 61  
Selezione dei file da pubblicare sul web in Tridify.

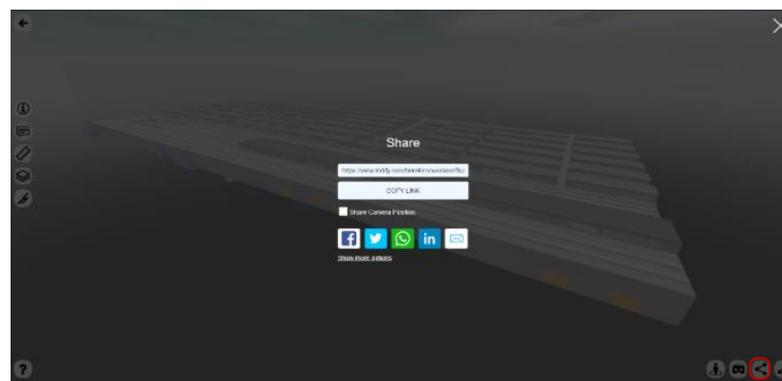


Poi verrà aperta una finestra che permette di impostare diverse configurazioni del modello, strumenti da visualizzare e impostazioni aggiuntive (Fig.62):



**Fig. 62**  
Impostazioni applicate sia al modello che agli strumenti da usare nel visualizzatore BIM Tridify.

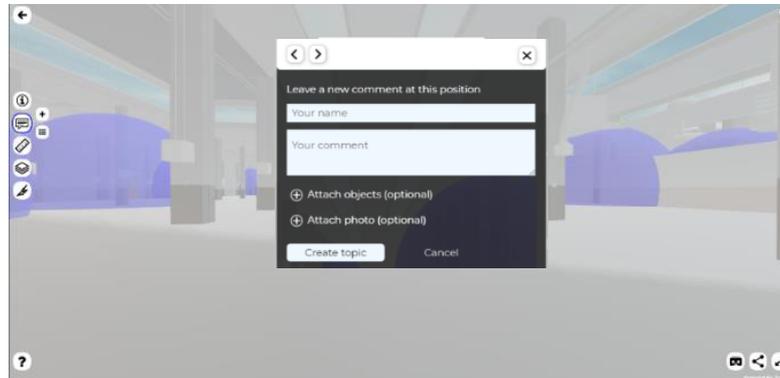
- **Modello:** nelle impostazioni del modello è possibile pubblicare il modello completo o un modello parziale (solo i piani saranno mostrati).
- **Strumenti da visualizzare:** dà possibilità di selezionare gli strumenti necessari per interagire con il modello dal visualizzatore BIM. Queste funzioni includono:
  - **Pulsante di condivisione:** offre la possibilità di condividere il link via email o social network.



**Fig. 63**  
Tridify  
Opzione di condivisione nel visualizzatore BIM.

- **Strumento di commento:** utilizzato per fare commenti riguardanti al progetto. Oggetti e foto possono essere allegati a questi commenti.

**Fig. 64**  
Tridify  
Strumento di commento nel visualizzatore BIM.



- **Modalità VR headset:** questa opzione permette di visualizzare il modello con un headset di realtà virtuale.

**Fig. 65**  
Tridify  
Strumento per la visualizzazione in modalità VR nel visualizzatore BIM.



- **Strumento di misura:** per misurare la distanza tra due punti. Può essere usato nella vista orbitale o nella vista in prima persona.

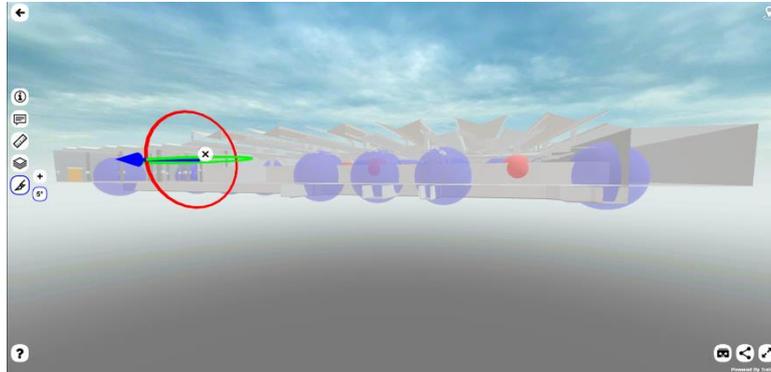
**Fig. 66**  
Tridify  
Strumento di misura nel visualizzatore BIM.



- **Strumento piani di taglio:** Serve per fare piani di taglio, mostrando una o più sezioni trasversali del modello. Lo strumento incide solo sulla vista, non sulla geometria. Tutto ciò che si trova dall'altra parte del piano di taglio è temporaneamente nascosto alla vista.

Fig. 67

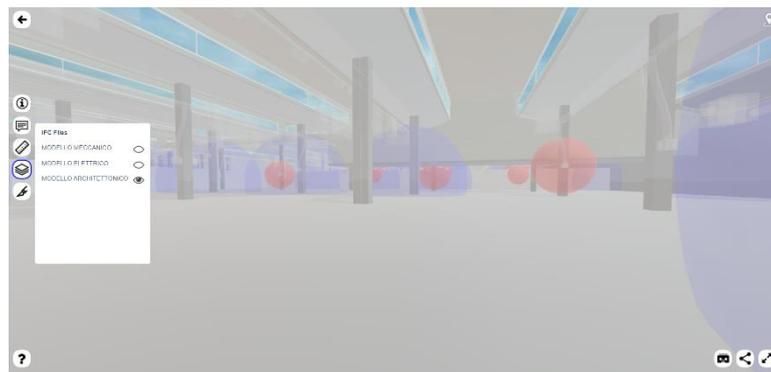
Tridify  
Strumento usato per realizzare piani di taglio nel visualizzatore BIM.



- **Strumento di visibilità combinata:** permette di mostrare (in modo solido o trasparente) o nascondere i file IFC inclusi nel progetto.

Fig. 68

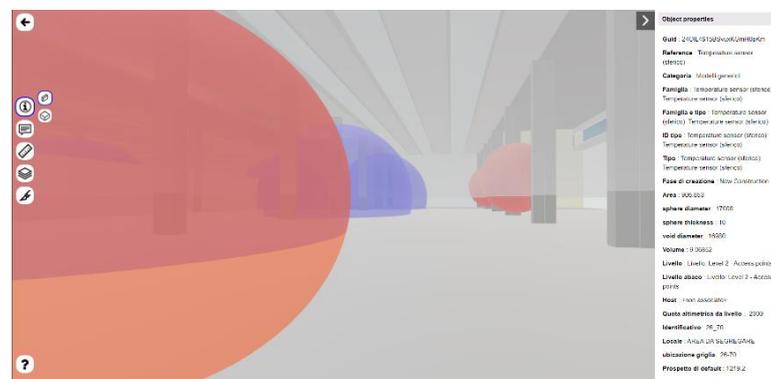
Tridify  
Strumento di visibilità dei file IFC nel visualizzatore BIM.



- **Mostra i dati BIM:** opzione per selezionare i dati BIM da mostrare nel visualizzatore BIM.

Fig. 69

Tridify  
Strumento per mostrare i dati BIM all'interno del visualizzatore BIM.

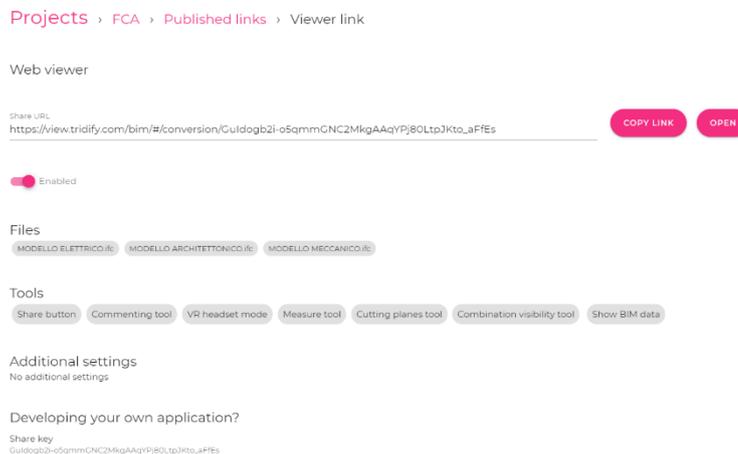


- **Impostazione aggiuntiva:** offre la possibilità di nascondere i mobili del documento IFC.

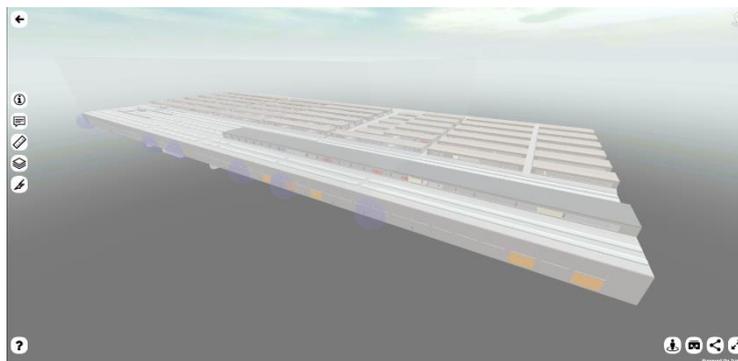
Dopo di che gli strumenti sono stati configurati, il modello viene pubblicato. Questa azione genererà un URL per condividere e pubblicare il BIM sul web da un visualizzatore web (Fig.70). Lì sarà possibile interagire con il modello grazie agli strumenti incorporati (Fig.71).

Siccome sono i link che vengono pubblicati sul web e non i file, si ha il controllo sullo stato del link pubblicato. Questo può essere gestito abilitando, disabilitando o cancellando il link al visualizzatore BIM dall'opzione "link pubblicati".

**Fig. 70**  
Tridify  
Finestra di  
generazione dei link  
del visualizzatore



**Fig. 71**  
Tridify  
Modello aperto dall  
link nel visualizzatore  
web.



Come menzionato in precedenza, Tridify offre una serie di soluzioni per utilizzare il BIM in modi diversi e con diverse applicazioni, tra cui un plug-in che permette di importare file IFC BIM nel motore Unity 3D in tempo reale, preservando la geometria degli oggetti e i relativi metadati, sfruttando la potenza dei metadati BIM per ottimizzare e creare rappresentazioni in tempo reale dei modelli utilizzando numerose funzionalità di Unity.

- **Integrazione Tridify con Unity 3D:**

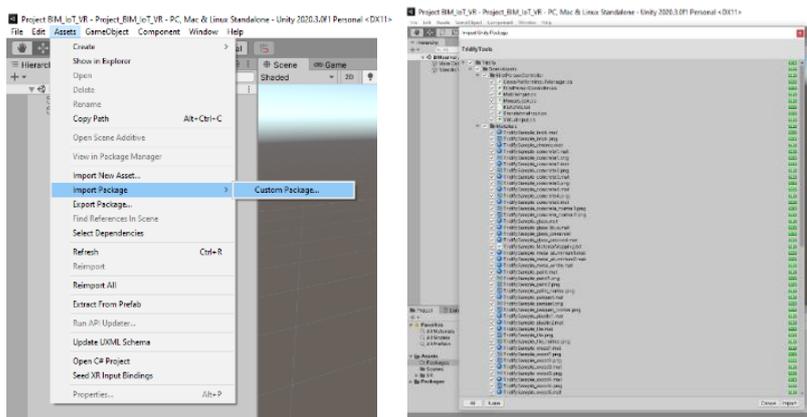
I motori di gioco supportano solo modelli basati su mesh poligonali, cioè, qualsiasi elemento che ha una composizione tridimensionale è classificato da poligoni. I file IFC invece, sono una mesh basata su curve, non su poligoni. La ragione per cui i motori di gioco supportano solo modelli basati su mesh per default è una questione di potenza. Se il modello 3D fosse nel motore di gioco come un modello di curve, cioè curve matematiche, il motore di gioco non sarebbe in grado di disegnare 60 fotogrammi per secondo, quindi il modello IFC deve poter essere convertito in un modello poligonale basato su mesh quando viene importato nel motore di gioco.

Pertanto, il motore di gioco *Unity3D* non supporta nativamente i file IFC, e la loro compatibilità senza l'uso di estensioni è inesistente. I file appaiono in Unity solo come file piatti e senza accesso alle informazioni sul file stesso.

Di fronte a questo problema, *Tridify* offre una serie di soluzioni per utilizzare il BIM in diversi modi e con diverse applicazioni, tra cui si trova: "*Tridify BIM Tools for Unity*", un componente che permette di importare file IFC BIM nel motore di gioco Unity3D in tempo reale, conservando la geometria degli oggetti e i relativi metadati. Sfruttando, in questo modo, la potenza dei metadati BIM per ottimizzare e creare rappresentazioni in tempo reale dei modelli utilizzando numerose funzionalità di Unity. *Tridify BIM Tools for Unity* permette anche di accelerare lo sviluppo con strumenti come BIM data browser, material mapper e lightmapper.

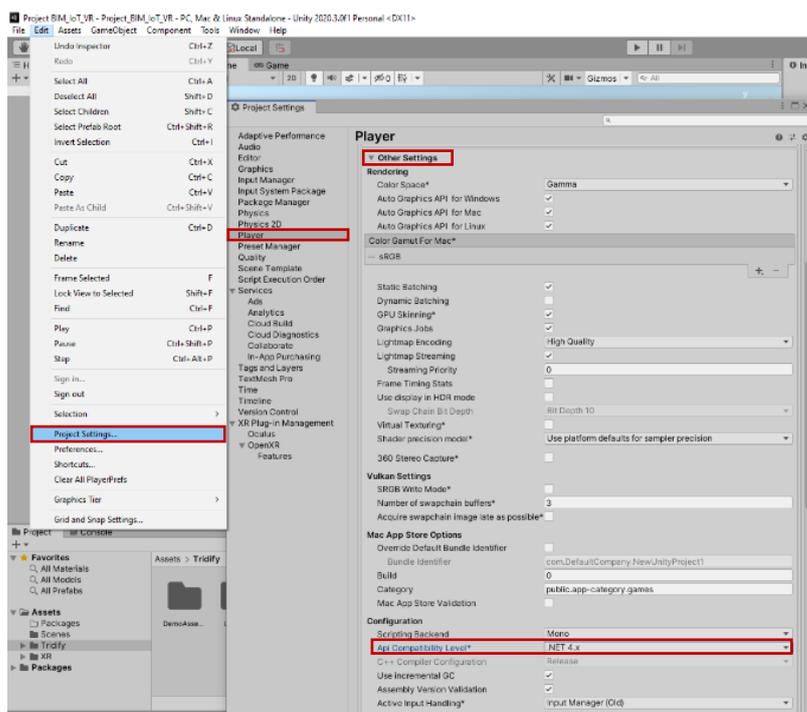
Prima di iniziare con l'importazione si procede all'installazione di *Tridify BIM Tools per Unity*, il pacchetto può essere scaricato direttamente dal sito *Tridify* o attraverso l'*Unity Asset Store*. Una volta che il pacchetto è stato scaricato si procede ad importarlo nel progetto da *Assets* → *Import Package* → *Custom Package* → *Tridify BIM Tools for Unity* → *Import* (Fig.72). In questo modo il menu di *Tridify* apparirà nel menu degli strumenti di Unity.

Fig. 72  
Importazione del pacchetto in Unity3D.



È necessario che la versione di Scripting Runtime sia .NET 4. Questa opzione può essere cambiata da *Edit* → *Project Settings* → *Player* → *Other Settings* → *Configuration* → *Api Compatibility Level* (Fig. 73).

Fig. 73  
Configurazione della versione Scripting Runtime.



Prima di iniziare ad importare i file in *Unity3D* dal cloud, è necessario effettuare il login dal motore di gioco, utilizzando le stesse credenziali di accesso in Tridify. In *Tools* → *Tridify* → *Conversion projects*. Poi apparirà una finestra con tutti i progetti caricati nel cloud, in cui è stato selezionato il progetto FCA.

Questo file processato contiene i file IFC caricati sulla piattaforma. Le cartelle create in base agli oggetti dei file IFC sono raggruppate per tipo, il che permette di avere un controllo di filtro dei file da importare. Tutti i file sono stati selezionati e caricati su Unity (Fig. 74). Questa procedura è stata realizzata per il modello, architettonico, elettrico e meccanico, precedentemente caricati nella piattaforma *Tridify*.

Fig. 74  
Processo di importazione dei file su Unity3D.

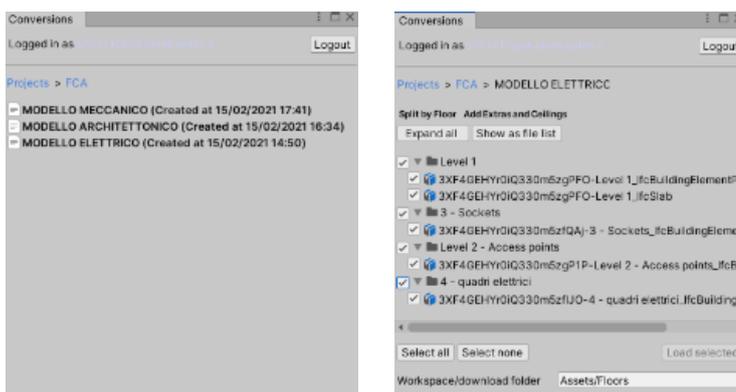
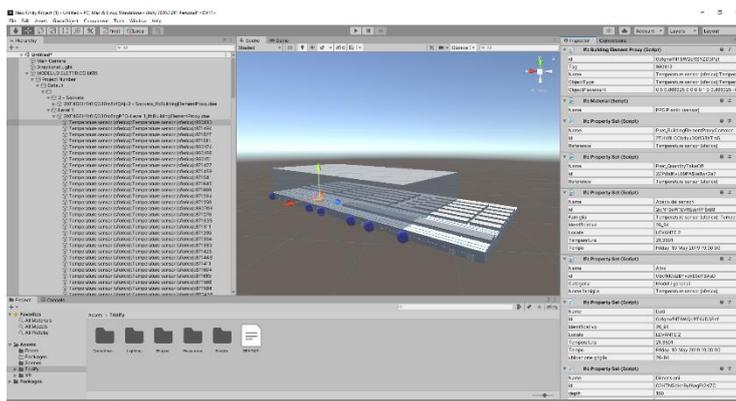


Fig. 75  
Importazione dei file su Unity3D



La Figura 75, se mostra il risultato del processo di importazione del modello federato memorizzato nella piattaforma. I dati BIM sono associati al modello e possono essere consultati dalla finestra "Inspector". Inoltre, è possibile visualizzare nella finestra "Hierarchy" che dopo l'importazione, la struttura ad albero è conservata in modo simile all'IFC, che organizza anche i dati in una struttura ad albero secondo il loro tipo. Si può anche osservare che l'estensione *IFCBuildingElements* è stata convertita in ".dae" (COLLADA), un formato che è possibile leggere direttamente nel motore di gioco, dato che Unity non supporta nativamente i file IFC la trasformazione del formato è necessaria.

Tale processo permette di visualizzare il progetto completo e i relativi dati BIM allegati ai modelli 3D. Questo approccio sarà il punto di partenza per la

fase di connessione con i dati di temperatura, utilizzando la piattaforma Unity per creare un'esperienza immersiva in 3D, al fine di poter visualizzare il progetto e i suoi dati di temperatura in tempo reale.

Il modello funzionerà quindi come un contenitore di informazioni e come interfaccia tra i dati ottenuti dai sensori e l'utente, visualizzandoli in modo diretto, intuitivo e coinvolgente all'interno del modello BIM.

## 3.2 Interoperabilità

---

In sintesi, sono stati proposti 4 percorsi per raggiungere l'obiettivo di integrare il modello BIM in *Unity3D*. Il processo è iniziato con l'open source *BIMserver*, una piattaforma che permette di gestire i progetti IFC da un server web, così come interagire con le istanze IFC in modo programmatico attraverso l'API di *BIMserver*. Per l'integrazione con *Unity*, è stato usato il pacchetto *BIMconnect*, che facilita la connessione con il server per l'importazione dei modelli IFC contenuti in *BIMserver*. Tuttavia, questo metodo non ha potuto essere completato a causa di errori di lettura tra lo strumento e il server, e alcuni componenti obsoleti.

In un secondo approccio, si propone di eseguire l'integrazione da *BIMserver.center*, una piattaforma basata su cloud che permette un flusso di lavoro collaborativo e sincronizzato, e rende possibile condividere e aggiornare le informazioni utilizzando formati standard aperti come IFC. Il file IFC può essere caricato sulla piattaforma, utilizzando sia un plugin che permette di collegare direttamente il modello BIM da *Revit* alla piattaforma, sia attraverso l'applicazione *IFC Uploader*, che funziona come intermediario tra la piattaforma e il software BIM. D'altra parte, l'integrazione con *Unity* è stata fatta attraverso il pacchetto "*BIMserver.center Toolkit for Unity 3D*". È necessario un account sviluppatore per creare un'applicazione dal modulo *BIMserver.business*, al fine di ottenere le credenziali di accesso da *Unity* alla piattaforma.

Durante l'importazione del modello in *Unity*, i file *IFC* sono sostituiti da file *glTF* per la sua visualizzazione, pertanto non è stato possibile interrogare le proprietà IFC di ogni entità. Il plugin permette di importare il progetto solo per scopi di visualizzazione e non come contenitore di informazioni del modello.

Fig. 76  
Flusso di lavoro  
usando  
BIMserver.center.

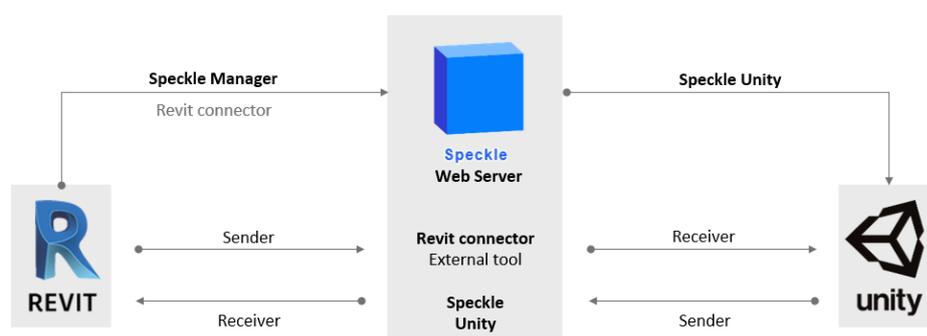


D'altra parte, il terzo approccio corrisponde allo sviluppo di una metodologia basata sulla piattaforma open source *Speckle*, che facilita il lavoro collaborativo e sincronizzato attraverso connettori che abilitano l'interoperabilità tra diversi software, e permette anche la gestione dei dati dal server web. La connessione di *Revit* al server è stata fatta attraverso un connettore che permette di creare progetti, inviare e ricevere file al server rapidamente, facilitando la gestione dei dati e della geometria dal web server *Speckle*.

Per quanto riguarda l'integrazione con il motore di gioco, *Speckle* offre anche un repertorio con gli strumenti necessari per eseguire l'integrazione. Il repertorio permette anche di selezionare, inviare e ricevere file.

Il modello importato nel motore di gioco mantiene una struttura ad albero simile a quella dei file IFC, tuttavia sono stati osservati errori nella geometria di alcuni elementi, così come la perdita dei materiali del modello. Per quanto riguarda le proprietà IFC, *Speckle* allega i dati BIM ad ogni oggetto come un componente script, quindi per poter recuperare e manipolare i dati sono necessarie certe competenze di linguaggio di programmazione *C#*.

Fig. 77  
Flusso di lavoro  
usando Speckle.



Finalmente, un quarto approccio è stato proposto utilizzando la piattaforma *Tridify*, che permette di condividere e pubblicare modelli BIM per essere visualizzati dal web. La piattaforma permette anche di combinare diversi file IFC e creare modelli federati, migliorando la collaborazione tra i diversi attori che fanno parte del progetto.

D'altra parte, la connessione con Unity 3D viene realizzata attraverso il plugin "Tridify BIM Tools for Unity", che facilita l'importazione dei file nel motore di gioco. A differenza dei metodi precedenti, questo processo ha permesso la visualizzazione completa del progetto dentro *Unity*, sia la geometria che i rispettivi dati BIM collegati al modello. I file importati hanno conservato la gerarchia dei loro oggetti presentando una struttura ad albero. Inoltre, i dati possono essere consultati direttamente da Unity Inspector, anche al di fuori della modalità runtime.

Fig. 78  
Flusso di lavoro  
usando Tridify.



In sintesi, la seguente tabella mostra i punti rilevanti di ogni metodo testato:

Tabella 1.  
Sintesi dei metodi  
testati.

	Type source	Unity 3D	Plugin/respository	Geometria	Metadati	Materiali	Approccio bidirezionale
<b>BIMserver</b>	Open Source	NO	-	-	-	-	-
<b>BIMserver .center</b>	Servizio proprietario	SI	BIMserver. center Toolkit for Unity 3D	SI	NO	SI	NO
<b>Speckel</b>	Open Source	SI	Speckle – Unity Connector	SI	In C# script	NO	SI
<b>Tridify</b>	Servizio proprietario	SI	Tridify BIM Tools for Unity	SI	SI	SI	NO

Come è stato indicato nel riassunto precedente di ogni flusso di lavoro valutati e testati, è stato determinato, sulla base dei risultati, che la metodologia del flusso di lavoro fornito dalla piattaforma *Tridify* permette una visualizzazione completa dei metadati associati ad ogni oggetto, così come una corretta importazione dell'oggetto nell'ambiente di gioco. Partendo da questa base, si è proceduto all'integrazione dei dati forniti dai sensori di temperatura in *Unity 3D*.

### 3.3 Integrazione BIM-IoT interfaccia Unity3D

Attualmente, gli strumenti digitali e le rappresentazioni fornite attraverso il *Building Information Modelling* (BIM) offrono numerose possibilità di migliorare le prestazioni attraverso analisi e simulazioni visivamente ricche e intuitive. Inoltre, l'adozione di nuove tecnologie digitali e lo sviluppo del cloud computing ha suggerito un aumento nell'implementazione dell'*Internet of Things* (IoT), in cui un modello BIM viene sfruttato per fornire una visione unificata di ricche informazioni contestuali dell'edificio e dei dati sensoriali in tempo reale. Nonostante ciò, l'obiettivo della tesi è quello di ottenere visualizzazioni più intuitive ed interattive delle interrogazioni dei dati dei sensori, il che può essere raggiunto attraverso lo sviluppo di un ambiente immersivo di realtà virtuale.

A continuazione, si presenterà la metodologia applicata per l'integrazione BIM-IoT utilizzando come interfaccia il motore di gioco *Unity3D*, che fornirà l'ambiente virtuale e immersivo per la visualizzazione dei dati dei sensori, utilizzando il modello BIM come mediatore tra i dati ottenuti e l'utente.

Il processo di integrazione si presenta diviso in 3 fasi:



- **Raccolta** dei dati di temperatura forniti dai sensori, memorizzati nel database *Influxdb*.
- **Integrazione** dei dati dei sensori nel modello BIM all'interno di *Unity3D*.
- **Visualizzazione** dei dati ottenuti attraverso la creazione di una UI collegata all'oggetto virtuale.

### 3.3.1 Raccolta dei dati



In questa fase, una delle prime esigenze per effettuare l'integrazione è quella di poter consultare immediatamente i dati di temperatura raccolti dai sensori, archiviati nel database *InfluxDB*.

- **Influxdb**



Fig. 80  
InfluxDB logo.

*InfluxDB* è un sistema di gestione di database sviluppato dalla società *InfluxData, Inc.* per gestire enormi quantità di dati, cronometrati in un determinato periodo di tempo. Quando si registrano dati di misurazione tecnica per mezzo di sensori, vengono generate enormi quantità di dati in un tempo molto breve e devono essere elaborati insieme alla marca temporale del momento della misurazione. Questi dati di serie temporali richiedono un database speciale, cioè un database di serie temporali (TSDB), che permette la misurazione e il monitoraggio di eventi, dati di rete, dati di sensori e altri tipi di dati analitici. *InfluxDB* come sistema di gestione di database è stato sviluppato specificamente per questo compito.

Per rendere utili i dati ottenuti, l'API *InfluxDB* fornisce un modo semplice per interagire con il database utilizzando codici di risposta HTTP, autenticazione HTTP, token JWT e autenticazione di base, di cui le risposte vengono restituite in formato JSON.

Per quanto riguarda la visualizzazione dei dati memorizzati in *InfluxDB*, un modo amichevole per farlo è attraverso lo strumento *Chronograf*, come interfaccia utente nel cloud. Questo strumento permette di visualizzare e consultare i risultati molto più velocemente attraverso l'uso di templates e librerie per creare rapidamente dashboards con visualizzazioni in tempo reale.

## • Creazione delle Query

Per iniziare a interrogare ed estrarre i dati JSON, è stata usata l'API *InfluxDB*. La documentazione di *InfluxDB* fornisce tutte le informazioni necessarie per l'interrogazione dei dati. Il sito contiene un esempio per creare l'URL che restituirà le informazioni di interesse in JSON. Nell'immagine 81, si mostra la struttura dell'URL che serve per interrogare i dati con una dichiarazione *Select*.

Fig. 81

Interrogazione dei dati.  
Recuperato da:  
<https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.8/tools/api/>

```
Query data with a SELECT statement and return pretty-printed JSON
$ curl -G 'http://localhost:8086/query?db=mydb&pretty=true' --data-urlencode 'q=SELECT * FROM "mymeas"'
```

Questa struttura comprende:

- L'indirizzo del server dove *InfluxDB* è in esecuzione.
- **/query**: per interrogare i dati usando *InfluxQL*, gestire i database, le politiche di conservazione e gli utenti.
- **db**: Imposta il database di destinazione per la query.
- **pretty=true**: Abilita l'output JSON dei dati del sensore.
- **q=<query>**: è la richiesta al database, e si usa quando è necessario ottenere una risposta specifica in un database o sistema informativo. *Chronograf* permette, dal costruttore, l'edizione manuale della query, giacché l'interfaccia completa automaticamente il costruttore con le informazioni della query non processata.

Si procede quindi a sostituire i valori con quelli del progetto e si ottiene il seguente URL:

```
http://130.192.177.103:8086/query?db=Mirafiori_all&pretty=true&q=' + Query
```

Come accennato in precedenza, la query viene creata da *Chronograf* che permette di eseguire le query manualmente, filtrando così i dati di interesse. Per far ciò, sul sito *Chronograf* (in *Explore*). Da lì, le informazioni relative al progetto saranno filtrate per creare la query. In *Explore*, ci sono una serie di finestre che mostrano la struttura dei dati *Influxdb* e i suoi livelli di gerarchia.

- **Retention Policy (RP):** forniscono informazioni su come i dati vengono memorizzati in relazione agli intervalli di tempo all'interno del database. Così, possono essere configurate diverse voci di dati con diversi consolidamenti temporali. Con questa premessa, *Mirafiori\_all.autogen* è stato selezionato giacché contiene le informazioni relative al progetto.
- **Measurements:** queste fungono da contenitore per le etichette, i campi e la colonna del tempo. Il nome della misura è la descrizione dei dati che vengono memorizzati nei campi associati. Il suo scopo è quello di raccogliere diverse metriche all'interno dello stesso gruppo correlato. Nel progetto, la temperatura è il fattore da misurare, e contiene la lista dei sensori identificati dai nodi.
- **Tags:** aggiungono informazione sui dati delle serie temporali. Le informazioni memorizzate dai tag corrispondono ai valori registrati all'interno delle richieste di lettura nel database, quindi, è importante utilizzarle correttamente poiché influenzano le prestazioni. Ogni nodo rappresenta un sensore nello spazio reale, e il Tag sarà il valore di identificazione usato per fare la connessione con l'oggetto virtuale.
- **Fields:** rappresentano le diverse metriche o valori chiave all'interno della misurazione. A differenza dei tag, i campi non sono registrati nel database.
- **Time:** indica l'ora in cui la misura è stata raccolta nel server. In esso è possibile impostare un tempo relativo (5m, 15, 1h, ecc) o assoluto (selezionando una data specifica). Visto che i dati tempo reale non sono disponibili, al progetto è stata assegnata la data del registro più recente dei sensori di temperatura disponibile per la visualizzazione.

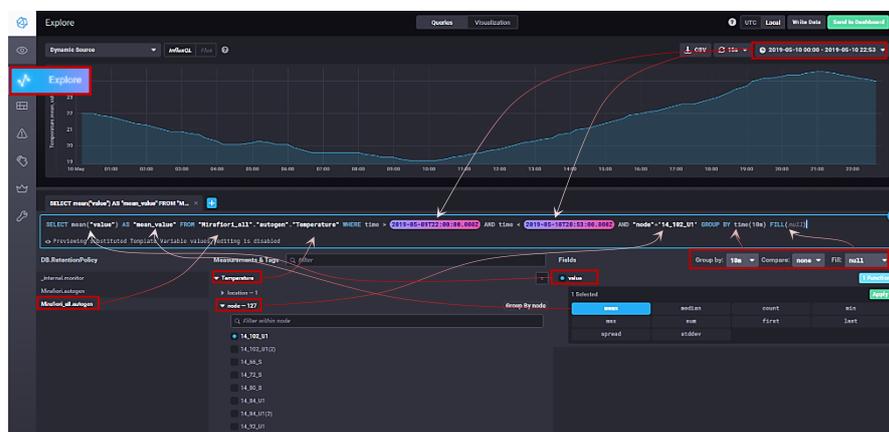


Fig. 82  
Creazione della query  
in Chronograf.

Se i dati in tempo reale ci fossero disponibili, la query da utilizzare sarebbe la seguente:

Query

Tempo Reale

```
SELECT mean("value") AS "mean_value" FROM "Mirafiori_all"."autogen"."Temperature" WHERE time > now() - 15m AND time < now() AND "node"='14_102_U1' GROUP BY time(15m), "node" FILL(null)
```

Query

2019-05-10

```
SELECT mean("value") AS "mean_value" FROM "Mirafiori_all"."autogen"."Temperature" WHERE time > '2019-05-10T00:00:00Z' AND time < '2019-05-10T23:45:00Z' AND "node"='14_102_U1' GROUP BY time(15m), "node" FILL(null)
```

Una volta creata la query, verrà aggiunta all'URL generato in precedenza, ottenendo come risultato:

```
http://130.192.177.103:8086/query?db=Mirafiori_all&pretty=true&q=SELECT mean("value") AS "mean_value" FROM "Mirafiori_all"."autogen"."Temperature" WHERE time > '2019-05-10T00:00:00Z' AND time < '2019-05-10T23:45:00Z' AND "node"='14_102_U1' GROUP BY time(15m), "node" FILL(null)
```

Al momento della creazione della query è necessario verificare che lo stato della query sia sintatticamente corretto, in modo che non ci siano errori quando venga usato l'URL, che, se è stata creata correttamente, la risposta è ottenuta in JSON. Per ogni nodo è stata creata una query, quindi questo processo è stato ripetuto per ottenere la risposta JSON per ciascuno dei sensori.

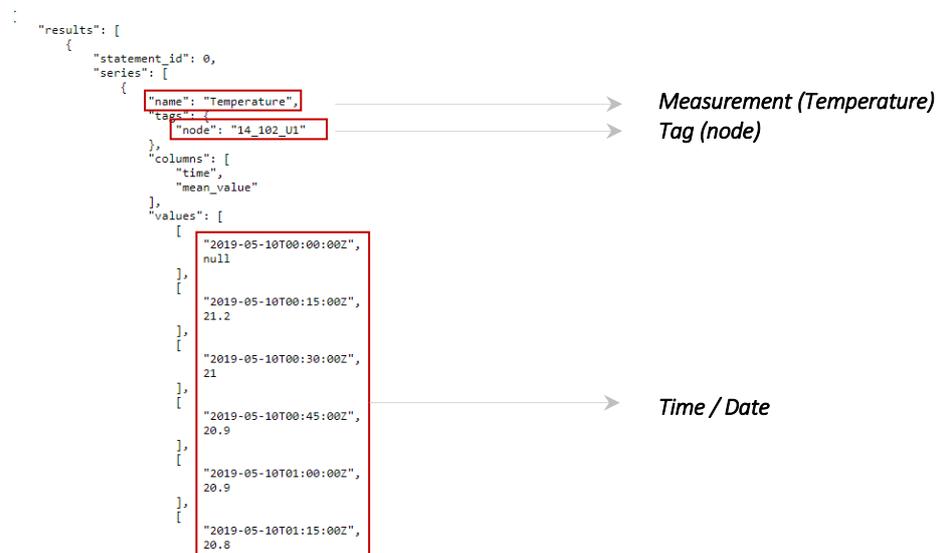


Fig. 83  
Risposta JSON dalla  
Api Influxdb.

### 3.3.2 Integrazione



Una volta ottenuti i dati JSON, abbiamo proceduto con l'integrazione dei dati nel motore di gioco. Lì, ogni sfera rappresenta un sensore, e ogni sensore è localizzato in un nodo specifico che, a sua volta, funziona come un elemento di identificazione (*tag*). Quindi, il nome del nodo sarà il ponte di collegamento tra i dati del modello forniti dal software BIM e il valore ottenuto dal sensore nello spazio reale. Pertanto, è di grande importanza che durante l'esportazione IFC del modello da Revit, questa proprietà sia inclusa nei dati da esportare.

Su questa base, si procede a collegare le informazioni ottenute dal sensore con l'URL e l'oggetto virtuale. Per fare questo, è necessario prima sapere fondamentalmente come funziona *Unity 3D*.

- **Unity3D**

*Fig. 84*  
Game Engine  
Unity3D.



*Unity* è uno strumento creato dalla società *Unity Technologies* per lo sviluppo di videogiochi 2D e 3D. Permette che i giochi creati possano essere implementati in un gran numero di piattaforme (desktop, mobile e console). Il motore di gioco ha una serie di routine di programmazione che permettono la progettazione, la creazione e il funzionamento di un ambiente interattivo, cioè un videogioco, è per questo che diventa uno strumento ottimale per collegare dati e oggetti (*GameObjects*).

Il comportamento dei *GameObjects* è determinato dai componenti che sono collegati ad essi. Anche se i componenti integrati di Unity possono essere molto versatili e universali, è necessario andare oltre ciò che possono fornire per implementare le proprie caratteristiche per ottenere l'integrazione. *Unity* permette creare i propri componenti usando degli script. Questi permettono di innescare (attivare/disattivare) eventi di gioco, modificare le proprietà dei componenti nel tempo e rispondere all'input dell'utente.

Unity supporta due linguaggi nativamente: *C#* un linguaggio standard del settore; *UnityScript*, un linguaggio progettato specificamente per l'uso con *Unity* e modellato su *JavaScript*. Oltre a questi, altri linguaggi .NET possono essere utilizzati con *Unity* se compilano una DLL compatibile.

Anche se la piattaforma offre soluzioni flessibili per i non programmatori (ad esempio gli strumenti dell'*Asset Store* e le caratteristiche intuitive costruite nativamente nell'editor), la maggior parte del contenuto interattivo che può essere creato in *Unity* si basa sulla programmazione basata sul testo. L'estensione predefinita come editor di testo per *Unity* è *Visual Studio*, un ambiente di sviluppo integrato per la programmazione in *C#*. Pertanto, *Unity* è compatibile con il linguaggio di programmazione *C#*, e per svilupparlo è necessario capire due punti principali: la logica, che si riferisce a ciò che si vuole che accada all'interno del gioco), e la sintassi, che è il linguaggio con cui queste istruzioni vengono eseguite. Per questo è necessario avere una conoscenza di base per lo sviluppo di queste funzioni.

Quindi, per iniziare con l'integrazione, si è creato uno script all'interno della cartella *Assets* (Fig. 85), che conterrà le funzioni necessarie per effettuare la chiamata all'API *InfluxDB*, e di conseguenza, per essere in grado di leggere i dati restituiti in *JSON*.

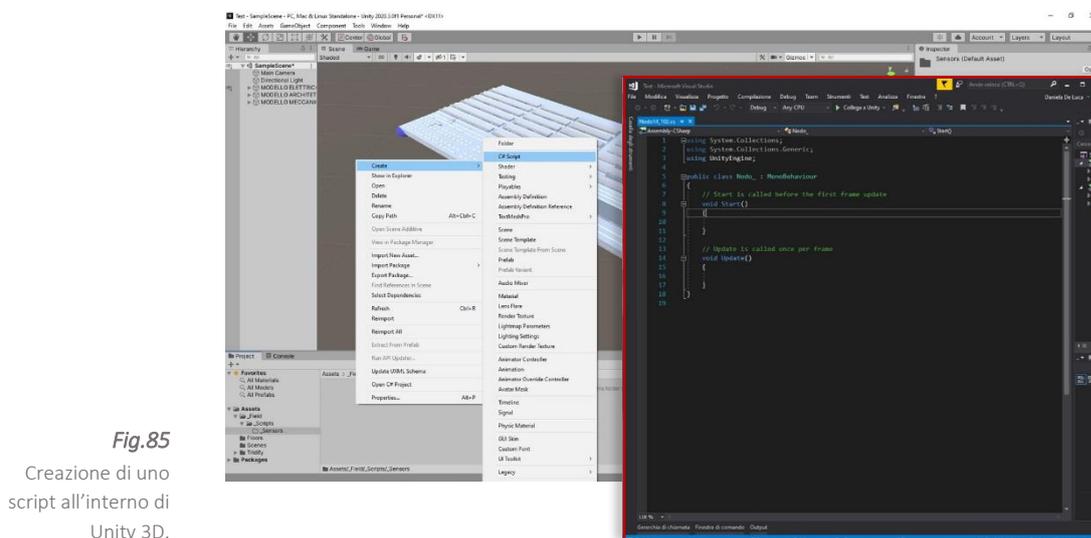


Fig.85 Creazione di uno script all'interno di Unity 3D.

La funzione di uno script è quella di connettersi al funzionamento interno di *Unity* utilizzando la classe integrata "*MonoBehaviour*". Lo script permette di creare un nuovo tipo di componente e di aggiungerlo ai *GameObjects*. Quando si aggiungono componenti scriptati a *GameObjects*, viene creata

un'istanza dell'oggetto. Per assicurarsi che il componente possa essere attaccato al GameObject senza errori, il nome della classe e il nome del file devono essere gli stessi forniti quando lo script è stato creato, cioè il nome del file deve essere quello assegnato quando lo script è stato creato inizialmente, e il nome della classe è quello creato per default (*Monobehaviour*).

La *Figura 85*, mostra lo script utilizzato per effettuare la chiamata *InfluxDB* api a *Unity*. In esso ci sono le librerie utilizzate, le variabili create (che prenderanno il posto dei valori ottenuti), le linee di codice della chiamata web per comunicare con l'API *InfluxDB*, dentro quest'ultima è stato introdotto il lettore JSON.

Finalmente, i componenti creati saranno sostituiti dai valori ottenuti dalla richiesta web, per essere poi mostrato sul pannello di visualizzazione di ogni sensore.

```
1 using System.Collections;
   using UnityEngine;
   using SimpleJSON;
   using UnityEngine.Networking;
   using TMPro;

2 public class Nodo_14_102 : MonoBehaviour
   {
   public TMP_Text Nodo;
   public TMP_Text TemperatureValue;
   public TMP_Text TempoValue;

   public void GetJsonData()
   {
       StartCoroutine(RequestWebservice());
   }

3 IEnumerator RequestWebservice()
   {
       string getDataUrl = "http://130.192.177.103:8086/query?db=Mirafiori_all&pretty=true&q=SELECT%";
       print(getDataUrl);

       UnityWebRequest sensorInfoRequest = UnityWebRequest.Get(getDataUrl);
       {
           yield return sensorInfoRequest.SendWebRequest();

           if (sensorInfoRequest.isNetworkError || sensorInfoRequest.isHttpError)
           {
               print("-----ERROR-----");
               print(sensorInfoRequest.error);
           }

           JSONNode sensorInfo = JSON.Parse(sensorInfoRequest.downloadHandler.text);

           if (sensorInfo == null)
           {
               print("-----NO DATA-----");
           }
           else
           {
               print("-----JSON DATA-----");
               print("sensorInfo.Count: " + sensorInfo.Count);
               Nodo.text = sensorInfo["results"][0]["series"][0]["tags"]["node"];
               TempoValue.text = sensorInfo["results"][0]["series"][0]["values"][94][0];
               TemperatureValue.text = sensorInfo["results"][0]["series"][0]["values"][94][1];
           }
       }
   }
   }
```

**Fig. 86**  
Script usato per realizzare la chiamata a Api di Influxdb a Unity.

- **Struttura dello script**

## 1. NameSpaces

- **using System.Collections:** Permette il ritorno dell'"IEnumerator" della Coroutine creata.
- **using UnityEngine:** aggiunto di default quando lo script viene creato, e fondamentalmente, questo significa che viene utilizzata la versione C# di Unity.
- **using SimpleJSON:** JSON reader / writer C# compatibile con Unity3D.
- **using UnityEngine.Networking:** Permette di fare la richiesta web.
- **using TMPro:** Abilita il componente TMP\_Text.

## 2. Variabili

Variabili create che rappresentano i valori da estrarre dal JSON (Nodo, Temperatura, Tempo). Queste variabili sono state dichiarate pubbliche in modo da poter modificare il loro valore dall'ispettore.

## 3. Richiesta Web

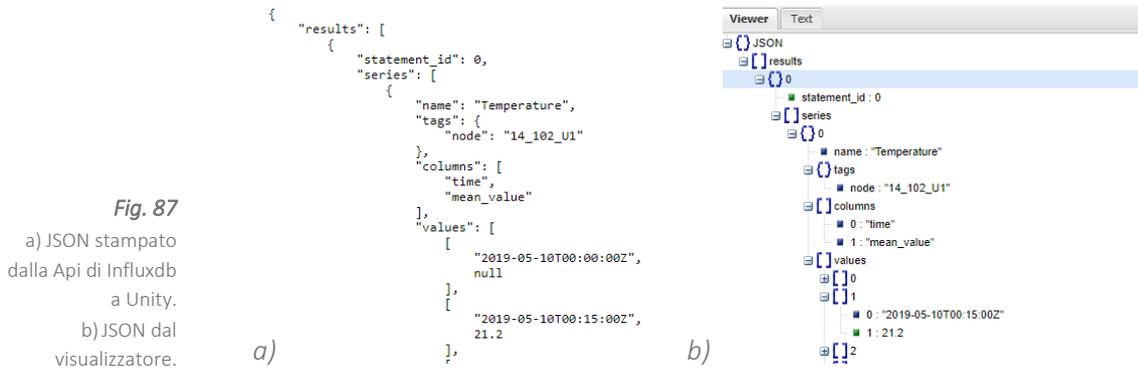
La richiesta web è stata creata usando una coroutine. È una funzione dichiarata con un ritorno di tipo IEnumerator, che permette di mettere in pausa la sua esecuzione e restituire il controllo a Unity per riprendere, da dove l'ha interrotto, nel prossimo frame.

## 4. Lettore JSON

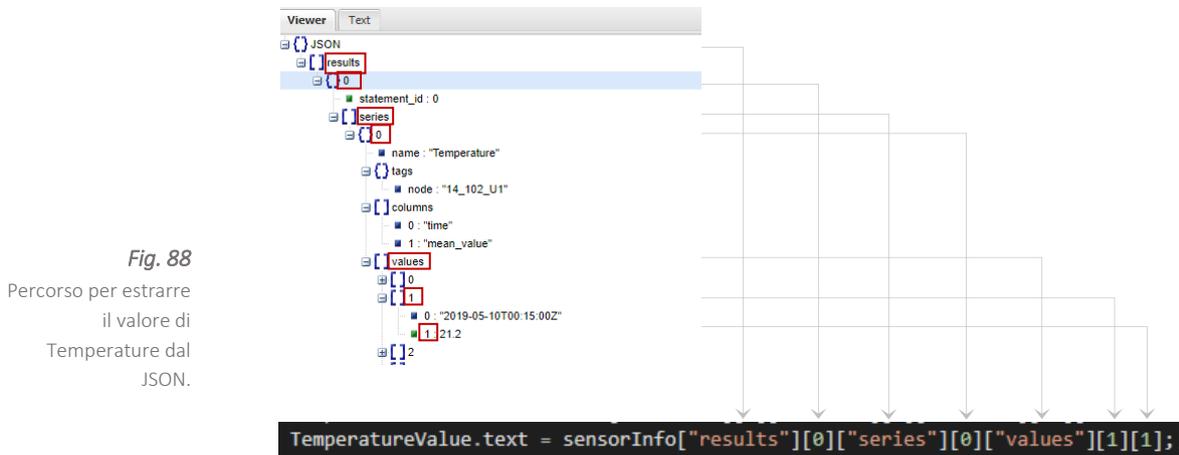
Abilitato dalla libreria SimpleJSON che permette di leggere e analizzare correttamente il file. Se la lettura ha successo, JSONNode procede ad analizzare la string JSON, per questo, è necessario definire il percorso del valore specifico da estrarre. Per esempio:

```
Nodo.text = sensorInfo["results"][0]["series"][0]["tags"]["node"];
```

In questo caso, *Node.text* rappresenta la variabile creata che sarà mostrata nella GUI. Invece, il percorso: `["results"][0]["series"][0]["tags"]["node"]`, sarà il valore che prenderà questa variabile. Per conoscere il percorso del valore è stato usato un visualizzatore online (<http://jsonviewer.stack.hu/>), che converte le string JSON in un formato leggibile e amichevole (b) (Fig.87)



Un string JSON può essere mostrato con spazi bianchi non identificati, il che significa che il percorso può essere creato in modo errato. Ed è qui dove il visualizzatore fornisce un valore, permettendo che il percorso sia creato correttamente (Fig. 88).



Finalmente, lo script viene aggiunto come componente al GameObject, per mostrare poi i dati ottenuti da un'interfaccia grafica. Questo processo è stato ripetuto per ogni GameObject dei sensori. Nello script di ogni oggetto varia solo l'URL, così è stato creato uno script per ogni sensore modificando solo il nodo dell'URL. Usando poi come riferimento l'identificativo (posizione del nodo) è stato collegato all'oggetto virtuale.

### 3.3.3 Visualizzazione

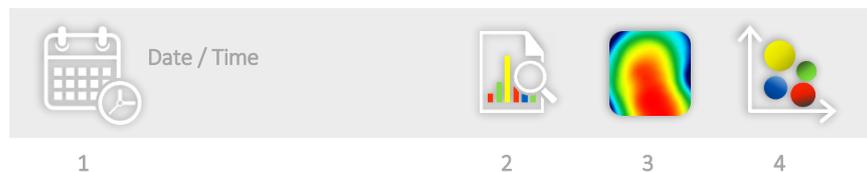


Una volta che i dati sono stati ottenuti ed elaborati nello script, il passo successivo è stato quello di convertire questi dati in dati utili e visualizzabili, al fine di convertire una grande quantità di informazioni e presentarle in un formato che è più facile e intuitivo da capire e analizzare.

Quindi, questa fase comprende la creazione di un'interfaccia grafica composta da un pannello di controllo (Fig. 89) che contiene un insieme di elementi, in cui le informazioni ottenute vengono trasformate in pannelli e oggetti che forniscono un livello maggiore di interazione e comprensione dei dati. Inoltre, sono stati creati dei pannelli individuali per le interrogazioni specifiche durante la navigazione nel modello.

- **Pannello di controllo:** creato con la funzione di contenere le informazioni necessarie per l'analisi dei risultati. È composto da:

Fig. 89  
Pannello di controllo.  
GUI.



1. **Date/Time:** attraverso un'API REST che fornisce la data e l'ora in tempo reale.
2. **Pannello generale:** si tratta di un unico pannello creato con lo scopo di visualizzare immediatamente i dati di interesse di tutti i sensori raccolti in Influxdb, e, in base a questi dati, trasformano il colore dei sensori in base al valore della temperatura utilizzando il metodo del semaforo.  
Questo pannello è collocato a una certa distanza di fronte a una camera utilizzata, in modo che possa essere verificato in qualsiasi punto dell'ambiente virtuale.
3. **HeatMap:** Composto da un modello in scala del FCA e dei suoi rispettivi sensori, fornisce una panoramica grafica immediata dello stato dei sensori.
4. **Grafico 3D:** mostra, secondo il livello della sfera, la temperatura raggiunta dai sensori.

- **Pannelli individuali:** collegati ad ogni sensore, mostrano solo i dati del sensore selezionato. A differenza del pannello generale, che si colloca davanti alla camera principale della scena, questo pannelli si posizionano davanti all'oggetto virtuale e permettono di interagire direttamente con l'informazione e il suo rispettivo oggetto virtuale.

Per fare ciò, inizialmente è stato identificato il sensore da collegare, in esso è stato creato un pannello come figlio del GameObject, il quale creerà un Canvas come genitore del pannello. Per poter posizionare il pannello davanti al sensore, è necessario configurare il "Render Mode" del Canvas a "World Space", il che permette al Canvas di essere posizionato ovunque nello spazio virtuale (Fig.90).

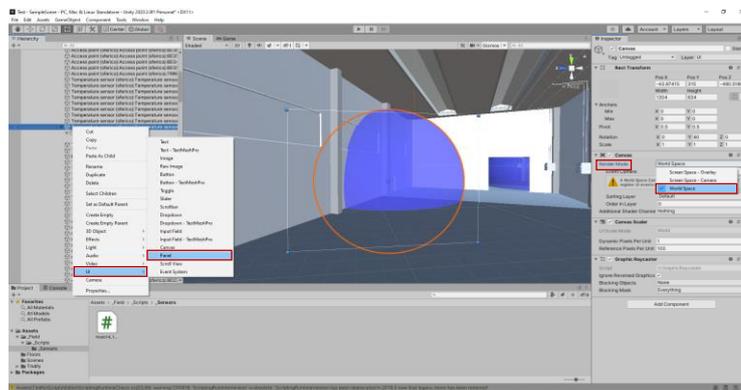


Fig. 90  
Impostazione del "render mode" in Canvas.

Una volta che il pannello è stato creato, si procede all'inserimento delle caselle di testo, da *Panel* → *UI* → *TextMeshPro*. Sono stati creati con il nome delle variabili create precedentemente nello Script (*Node*, *Temperature*, *Time*), sia per il nome identificativo che per la sua risposta che sarà ottenuta attraverso la WebRequest (Fig. 91).

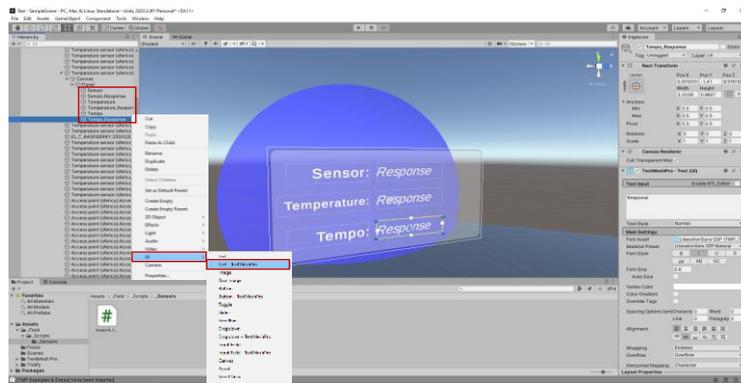
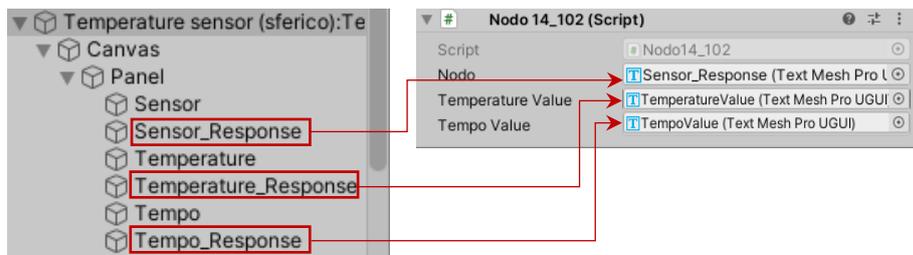


Fig. 91  
Inserimento delle variabili Nodo, Temperatura, Tempo nel pannello.

Dato che le variabili create nello script sono state dichiarate pubbliche, sono visibili nell'ispettore e quindi possono essere modificate. Alle caselle *Node*, *Temperature Value* e *Tempo Value* si è inserito il componente di risposta TMPpro creato in precedenza, questo permette al testo di mostrare i dati ottenuti dalla chiamata a *Influxdb* (Fig. 92).

Fig. 92  
Assegnazione delle variabili di risposta nel componente.



Finalmente, si è assegnato un pulsante per eseguire l'azione e attivare la richiesta di dati, da *Panel* → *UI* → *Button TextMeshPro*.

Per applicare la funzione al pulsante, nell'opzione "*On Click ()*", si aggiunge l'oggetto che contiene il componente Script, in questo caso il "*Temperature Sensor*". Questo permette di selezionare la funzione "*GetJsonData*" che esegue l'analisi JSON ottenuta dall'*API InfluxDB* (Fig. 93).

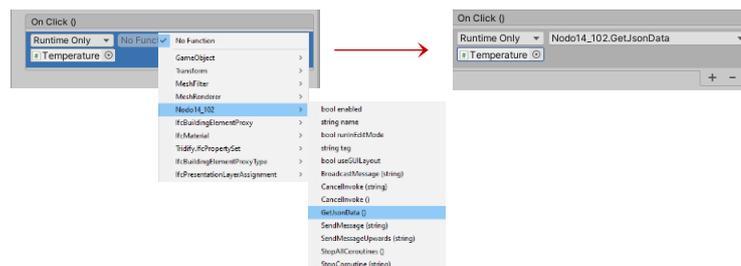
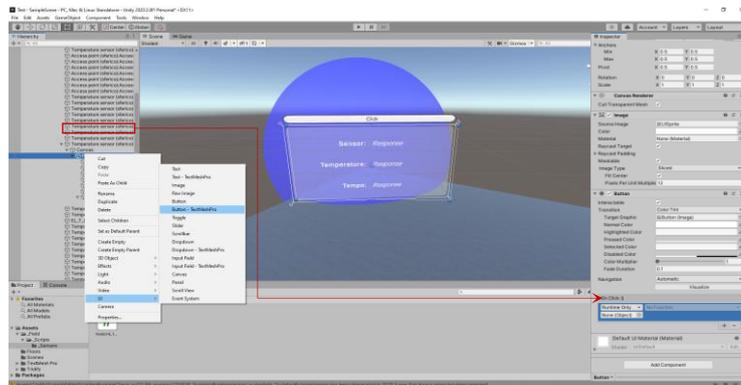


Fig. 93  
Assegnazione della funzione al pulsante.

Oltre ad attivare l'azione per richiedere i dati dai sensori, il pulsante deve essere in grado di cambiare il colore dell'oggetto in base al valore ottenuto dalla temperatura. Per questo, è necessario aggiungere allo script la funzione che permette di modificare il colore.

```
// Convertir de String a Double:
Value = Convert.ToDouble(TemperatureValue.text, CultureInfo.GetCultureInfo("en-US"));
Value = Math.Round(Value, 1); // Reducir el valor a solo 1 decimal

if (Value >= 18 & Value <= 22) // Valor dentro intervalo (18-22)
{
    gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color = Color.green;
}
else if (Value >= 15 & Value < 18 | Value > 22 & Value <= 25) // Valor dentro intervalo (15-25)
{
    gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color = Color.yellow;
}
else
{
    gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color = Color.red;
}

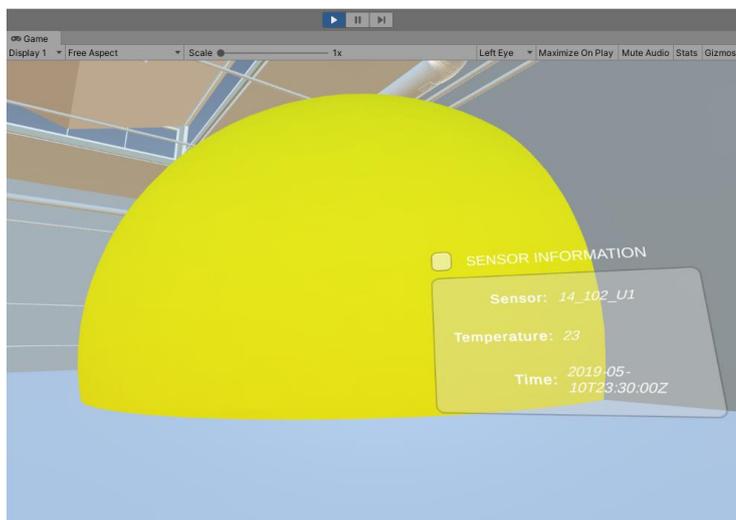
// Convertir de int a String:
TemperatureValue.text = Value.ToString();
```

**Fig. 94**  
Componente script per cambio di colore del sensore in base al valore ottenuto.

Come mostrato nella *Figura 94*, estratta dallo script, sono state applicate 3 condizioni alla variabile "Temperature":

1. Se il valore è compreso tra 18 e 22, il sensore diventa verde.
2. Se il valore è compreso tra 15 e 18, diventerà giallo.
3. Oppure, se il valore ottenuto è fuori dagli intervalli sopra menzionati, diventerà rosso.

Con questa funzione aggiunta, il pulsante attiverà l'azione sia per ottenere le informazioni dai sensori che per effettuare il cambiamento del colore secondo il valore della temperatura (*Fig. 95*).



**Fig. 95**  
Esecuzione della modalità "Play" in cui è stato verificato il funzionamento del codice.



In questo modo, quando si esegue la modalità "Play", il pannello generale mostrerà i dati elencati con la loro rispettiva preview di stato (Fig. 97).

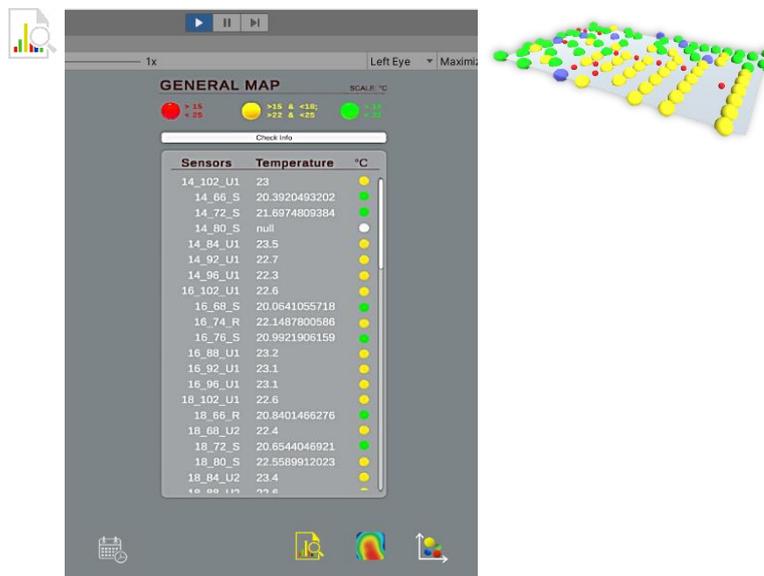


Fig. 97  
Pannello generale  
in modalità "Play".

- **HeatMap:**

Consiste nella rappresentazione della temperatura attraverso la generazione di una mappa di calore, utilizzando come base il modello tridimensionale di FCA. Questo permette di ottenere visualizzazioni più intuitive, così come un maggiore livello di interattività con l'oggetto.

Il modello BIM è stato utilizzato come prefabbricato e, sulla pianta, è stato creato un pannello contenente dei preview dello stato di temperatura dei sensori, distribuiti nella pianta in base all'ubicazione dei nodi.

Durante la visualizzazione è anche possibile nascondere il modello 3D per generare una vista della sola mappa di calore (Fig. 98).

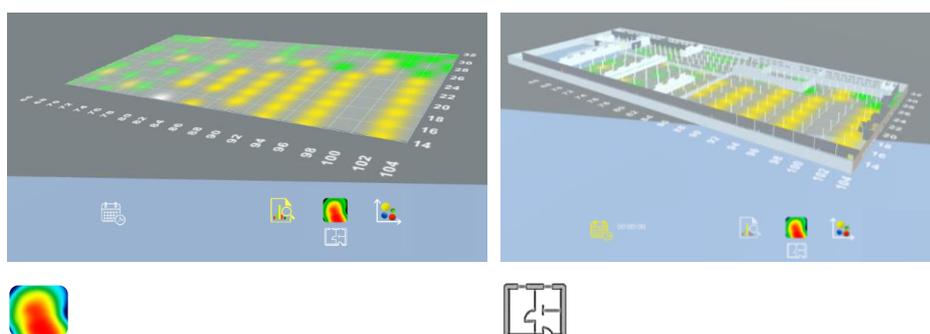
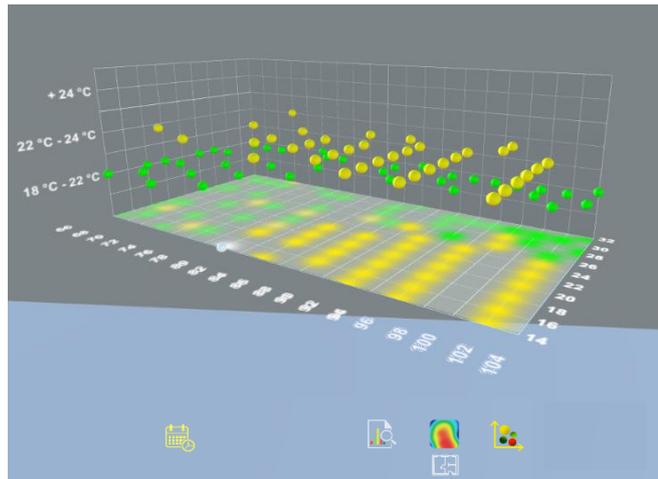


Fig. 98  
Mappa di calore  
visualizzata in  
modalità "Play".

- **Grafico 3D:**

Questo grafico mostra la rappresentazione tridimensionale dell'intervallo di temperatura raggiunto dal sensore. Ai sensori (rappresentati da sfere) è stata assegnata la funzione di cambiare colore a seconda del valore ottenuto.

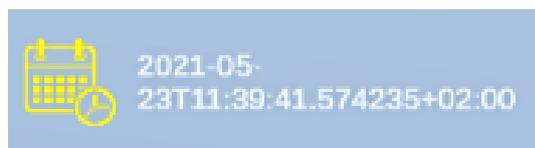
Come mostrato nella *Figura 99*, il grafico può essere combinato con la mappa di calore per avere una visualizzazione più chiara delle informazioni.



*Fig. 99*  
Grafico  
tridimensionale e  
la mappa di calore.

- **Date/Time:**

Come informazione complementare, abbiamo anche aggiunto un item che mostra l'ora e la data in tempo reale (*Fig. 100*).



*Fig. 100*  
Item Data/Tempo.

# CAPITOLO IV

---

VIRTUAL REALITY

# VIRTUAL REALITY

## 4.1 Realta' Virtuale nell'industria 4.0

---

La digitalizzazione industriale include una trasformazione verso l'implementazione di fabbriche intelligenti iperconnesse, dove è possibile accedere e modificare, in tempo reale, il comportamento dei diversi elementi che compongono il sistema. In questa quarta rivoluzione industriale, la tecnologia viene messa al servizio dell'industria per migliorare l'efficienza, la produttività, la qualità e la sicurezza dei processi industriali.

L'applicazione della realtà virtuale nell'*Industria 4.0* ha un orientamento diverso a causa del livello di immersione che fornisce all'utente. Attraverso la realtà virtuale, si possono costruire simulazioni esatte di prodotti, processi o impianti di produzione per vedere il loro funzionamento in prima persona e in modo immersivo.

La capacità della *Realtà Virtuale (VR)* di simulare esperienze del mondo reale all'interno di piattaforme digitali offre grandi opportunità in termini di comunicazione, collaborazioni a distanza e analisi visive. Una visualizzazione interattiva dei dati IoT in un ambiente di realtà virtuale immersiva, e abilitata dal BIM, può ridurre significativamente le complessità inerenti che impediscono il monitoraggio efficiente degli indici di temperatura in tempo reale nel contesto di *Smart Factory*. Per esempio, collegando i dati BIM e IoT ad ambienti di realtà virtuale immersiva, si possono ottenere visualizzazioni più intuitive e livelli più alti di interattività per la valutazione e l'interpretazione dei dati ottenuti.

L'implementazione della *Realtà Virtuale* nell'*Industria 4.0* porta una serie di vantaggi per le aziende industriali, come:

- Miglioramento dei processi
- Riduzione dei tempi di attesa
- Maggiore sicurezza
- Risparmi sui costi

## 4.2 Applicazioni della VR nell'industria 4.0

---

L'*Industria 4.0* è in crescita negli ultimi anni ed è uno dei principali settori in cui le tecnologie di *Realtà Aumentata* e *Realtà Virtuale* vengono adottate. I casi d'uso più comuni sono la formazione operativa, la prototipazione industriale 3D, la gestione e la manutenzione, l'analisi dei dati:

- **Training con realtà virtuale:**

La realtà virtuale nel mondo industriale è applicata principalmente per la formazione dei professionisti. La possibilità di allenarsi in compiti complessi o pericolosi prima di doverli eseguire nella situazione reale, significa un aumento della sicurezza materiale e personale e un risparmio di costi per le aziende. Con la realtà virtuale è possibile allenarsi autonomamente e senza l'uso di macchinari.

- **Creazione di prototipi industriali in 3D:**

Grazie allo sviluppo delle tecnologie immersive, la virtualizzazione può ora garantire un supporto diretto e tangibile anche nell'ambiente industriale. L'uso della grafica 3D in tempo reale, dell'interazione uomo-macchina e delle tecnologie di modellazione del comportamento del sistema si focalizza sullo sviluppo di applicazioni per la prototipazione virtuale e la verifica funzionale di macchine / prodotti. Se queste attività vengono svolte in ambienti virtuali, c'è un grande risparmio di tempo e costi rispetto ai tradizionali test fisici che richiedono l'uso di materiali e strumentazione altamente sofisticati.

- **Gestione e manutenzione:**

Applicate per creare ambienti industriali di realtà virtuale che producono simulazioni affidabili / fattibili del comportamento di macchine e processi reali e funzionamento stabile di processi reali a distanza.

- **Analisi dei dati:**

La realtà virtuale è diventata una piattaforma importante per la visualizzazione collaborativa dei dati e l'esplorazione visiva. In questo senso, permette agli utenti di interagire con i dati e tra loro, in uno spazio virtuale

comune. Le visualizzazioni 3D dei dati possono essere lo strumento ideale per aiutare a prendere decisioni o per capire e raccogliere informazioni da grandi serie di dati. L'obiettivo principale è quello di migliorare l'integrità dell'immensa quantità di dati analitici.

Questa tesi mira a sviluppare una visualizzazione dei dati di sensori di temperatura in un ambiente completamente immersivo e interattivo. Implementando azioni che permettono di vedere questi dati in modo tridimensionale attraverso la realtà virtuale, che possibilità la visualizzazione dei i dati in più dimensioni.

Pertanto, il caso d'uso della realtà virtuale nel progetto di tesi corrisponde alla lettura per l'analisi dei dati dei sensori, raccolti in *InfluxDB*. Lo scopo è quello di trasformare i dati ottenuti in informazioni facilmente comprensibili e visualizzabili in un modo diretto e intuitivo, che saranno poi di aiuto nei processi decisionali.

### 4.3 Dispositivo di visualizzazione VR

---

**Fig. 101**  
*Oculus Rift S.*  
Dispositivo scelto  
per la visualizza-  
zione dell'ambien-  
te di VR.



La tecnologia della realtà virtuale consiste nell'immergere l'utente in un mondo interamente digitale generato da un computer, in cui i sensi non percepiscono più il mondo reale, immergendo l'utente in un ambiente alternativo.

Per realizzare un'esperienza di realtà virtuale avete bisogno di dispositivi speciali, cioè, occhiali o headsets che permettono la realtà virtuale. Questi

possono essere collegati a un computer, essere completamente portatili o richiedere un telefono cellulare da inserire negli occhiali.

I dispositivi più avanzati utilizzano computer ad alte prestazioni poiché permettono molto più realismo e qualità grafica negli ambienti virtuali che vengono proposti all'utente, e vengono applicati principalmente in ambienti professionali come l'industria o la medicina.

I dispositivi più popolari per lo sviluppo di un'esperienza immersiva sono *HTC VIVE* e *Oculus Rift*, che sono stati i pionieri del settore e offrono la realtà virtuale più coinvolgente.

*Oculus Rift S*, è stato il dispositivo scelto per realizzare la visualizzazione dell'ambiente di realtà virtuale. È stato creato in collaborazione con la società *Lenovo* (un marchio di *Facebook Technologies*), come la nuova generazione di occhiali di realtà virtuale.

Il PC è il motore che alimenta questo dispositivo, quindi richiede un PC con alte prestazioni e preparato per la realtà virtuale. Il dispositivo rileva i movimenti del corpo parzialmente in un'area di circa 3m<sup>2</sup>. Include anche l'uso di due controller touch che trasferiscono i movimenti della mano al mondo virtuale attraverso sensori e molteplici pulsanti.

I requisiti prestazionali minimi e consigliati per l'uso di *Oculus Rift S* sono:

REQUISITI CONSIGLIATI	REQUISITI MINIMI
<b>Scheda grafica</b> NVIDIA GTX 1060/AMD Radeon RX 480 o superiore	<b>Scheda grafica</b> NVIDIA GTX 1050Ti/AMD Radeon RX 470 o superiore
<b>Scheda grafica alternativa</b> NVIDIA GTX 970/AMD Radeon R9 290 o superiore	<b>Scheda grafica alternativa</b> NVIDIA GTX 960/AMD Radeon R9 290 o superiore
<b>CPU</b> Intel i5-4590/AMD Ryzen 5 1500X o superiore	<b>CPU</b> Intel i3-6100/AMD Ryzen 3 1200, FX4350 o superiore
<b>Memoria</b> Almeno 8 GB di RAM	<b>Memoria</b> Almeno 8 GB di RAM
<b>Uscita video</b> DisplayPort™ 1.2/Mini DisplayPort (adattatore incluso nella confezione)	<b>Uscita video</b> DisplayPort™ 1.2/Mini DisplayPort (adattatore incluso nella confezione)
<b>Porte USB</b> 1 porta USB 3.0	<b>Porte USB</b> 1 porta USB 3.0
<b>Sistema operativo</b> Windows 10	<b>Sistema operativo</b> Windows 10

**Fig. 102**  
Requisiti minimi consigliati del computer per la visualizzazione VR con il dispositivo *Oculus Rift S*.  
Fonte:  
<https://www.oculus.com/rift-s/#rift-s-pc-requirements>

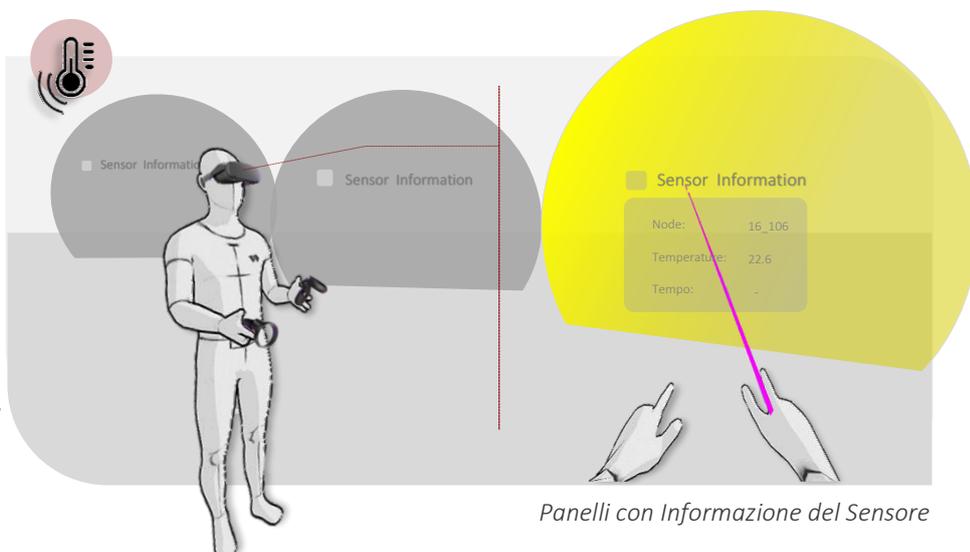
## 4.4 Caso d'uso del modello:

### Visualizzazione e analisi dei dati

In questa fase del progetto, si procede a definire il modo in cui si vuole sperimentare la Realtà Virtuale, cioè i diversi casi d'uso del modello, come vengono visualizzate le informazioni, e come si produce la partecipazione e l'interazione dell'utente all'interno dell'ambiente digitale. I seguenti, sono i casi d'uso sviluppati nel progetto per la sua visualizzazione in *Realtà Virtuale* utilizzando il dispositivo *Oculus Rift S*.

Il primo caso d'uso consiste nella creazione di pannelli individuali installati accanto ad ogni sensore. La sua funzione è quella di trasmettere le informazioni dei dati ottenuti dal database *InfluxDB*. Durante la navigazione all'interno del modello virtuale dell'impianto FCA, l'utente potrà vedere sui sensori i pulsanti "Sensor information" con i quali è possibile interagire per ottenere, da un pannello, le informazioni di uno specifico sensore. All'interno di ogni pannello verrà visualizzato il nome del sensore, il valore della temperatura e l'ora e la data esatta in cui la temperatura è stata registrata. Questo permette all'utente, mentre naviga all'interno del progetto, di conoscere informazioni precise sui sensori che sono intorno.

Oltre a ottenere le informazioni, l'utente potrà anche conoscere lo stato della temperatura del sensore in base al colore del sensore, che cambierà in funzione del valore di temperatura ottenuto. Sapendo che diventerà verde con una temperatura ottimale di 21 gradi. Questo metodo offre una visualizzazione intuitiva e interattiva dei dati, utilizzando il modello come interfaccia per rappresentare le informazioni.



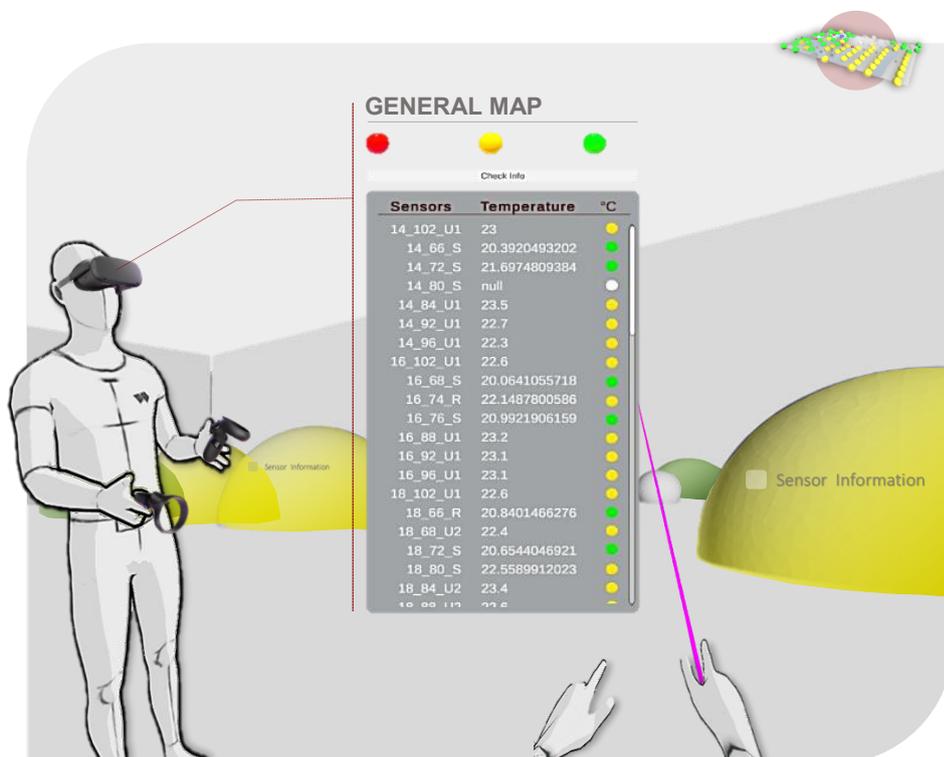
**Fig. 103**  
Visualizzazione in  
VR dei dati pannello  
singolo.

Quindi, questo primo caso permette di conoscere le informazioni di un sensore specifico. Ma se invece si volesse conoscere immediatamente l'informazione generale di tutti i sensori, sarebbe necessario eseguire un'altra operazione. Per questo, il secondo caso d'uso consiste nel mostrare le informazioni generali di tutti i sensori da qualsiasi punto del modello virtuale, con l'obiettivo di poter accedere alle informazioni in modo più rapido ed efficiente.

Questo è stato fatto creando un pannello generale che contiene e memorizza le informazioni dei sensori, compreso il colore del loro stato (rappresentato dal metodo del semaforo, dove il verde indica una temperatura ottimale di 21 °C)

Affinché il pannello possa essere visto da qualsiasi posizione all'interno del modello virtuale, sarà collegato all'oggetto virtuale che rappresenta l'utente, e sarà mostrato quando l'utente lo attiva per mezzo di un pulsante.

Qui, il modello sarà di nuovo utilizzato per mostrare lo stato dei sensori. Quando l'utente desidera vedere le informazioni generali dei sensori, verrà attivata anche la funzione di cambio colore, che permetterà di conoscere in modo intuitivo la condizione del resto dei sensori, anche senza controllare le informazioni prima.



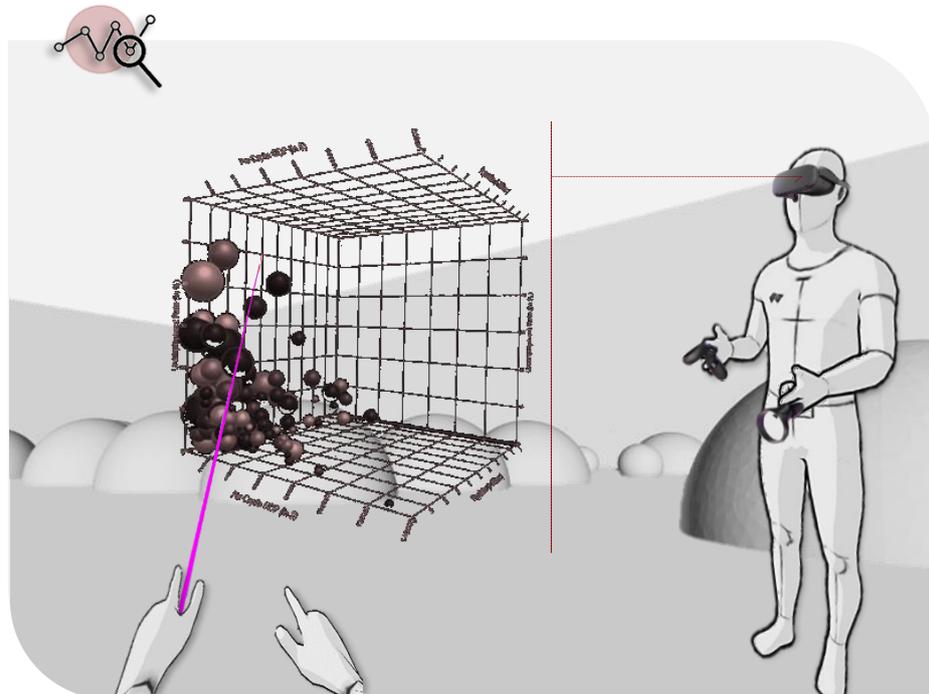
**Fig. 104**  
Visualizzazione in VR dei dati pannello generale.

*Mapa generale e cambio di colore di tutti i sensori*

Il modello è stato utilizzato anche per l'analisi dei dati, cioè è stato usato come base per la rappresentazione di grafici tridimensionali che mostrano: a) la mappa di calore e b) il valore di temperatura raggiunto dai sensori, utile per la piena comprensione.

Quindi, il terzo caso d'uso consiste nell'installazione di un modellino in scala dello stabilimento FCA, utilizzato come *Prefab* all'interno di *Unity*. Per la mappa di calore è stato usato solo il modello architettonico (muri e pavimentazione) e, invece, per il grafico 3D dei valori di temperatura, è stato usato il modello elettrico (sensori). L'obiettivo principale è che l'utente possa facilmente interagire e comprendere le informazioni ricevute, da una prospettiva panoramica, visto che il modello viene utilizzato come trasmettitore di informazioni, permette di monitorare direttamente la distribuzione dei dati ricevuti sugli oggetti virtuali, offrendo una visualizzazione intuitiva e interattiva del set di dati.

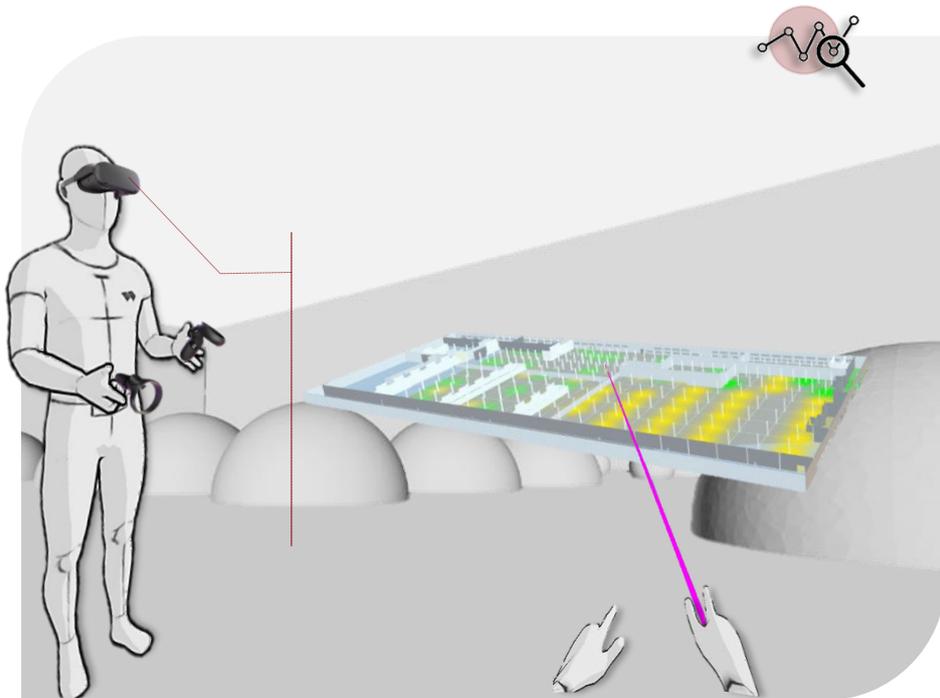
- a) **Grafico 3D:** per l'analisi dei valori di temperatura, è stato utilizzato i sensori dal modello elettrico scalato. L'informazione ricevuta modificherà la posizione dei sensori, collocandoli nel valore corrispondente nel grafico. Inoltre, il colore dei sensori cambierà quando questa azione verrà eseguita.



**Fig. 105**  
Visualizzazione in  
VR di grafico 3D.

*Modello elettrico in scala usato per l'analisi dei valori di temperatura*

b) **Mappa di calore:** in questo caso, si usano, dal modello architettonico scalato, i muri e pavimentazione. Il pavimento mostrerà la mappa di calore che sarà creata in base ai dati ricevuti. Mentre l'uso dei muri è opzionale, usato per aggiungere una maggiore comprensione spaziale al modello.



**Fig. 106**  
Visualizzazione in  
VR di mappa di  
calore.

*Modello elettrico in scala usato per l'analisi del sensore*

La possibilità di mostrare e nascondere le informazioni da valutare, permette di generare sovrapposizioni nei grafici, ciò permette di arricchire il contenuto delle informazioni, per una più chiara comprensione dei dati.

## 4.5 Implementazione della VR

Per abilitare la visualizzazione della realtà virtuale in *Unity*, è necessario installare il pacchetto "*Oculus Integration*" nel motore di gioco (Fig. 106). Questo pacchetto si trova nell'*Unity Assets Store* e contiene un insieme di funzioni e componenti VR che contribuiscono a sviluppare applicazioni *Oculus* in *Unity*.

Prima di implementare l'esperienza virtuale è necessario abilitare il supporto per la *Realtà Virtuale* (VR). Da *Edit* → *Project settings* → *XR Plugin Management*. E, dalla scheda "*Windows*" attivate *Oculus* per installare il plug-in *Oculus XR*, che abilita il supporto alla realtà virtuale (Fig. 107).

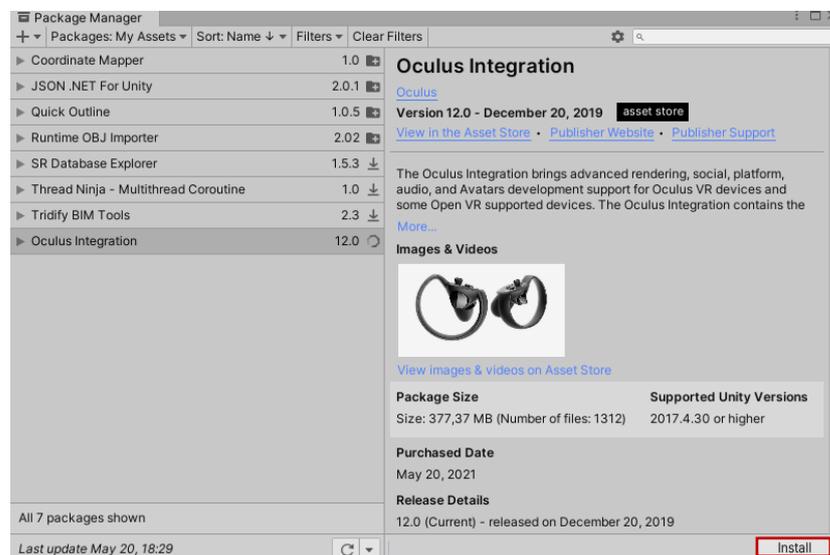


Fig. 107  
Installazione del pacchetto *Oculus Integration* in *Unity*.

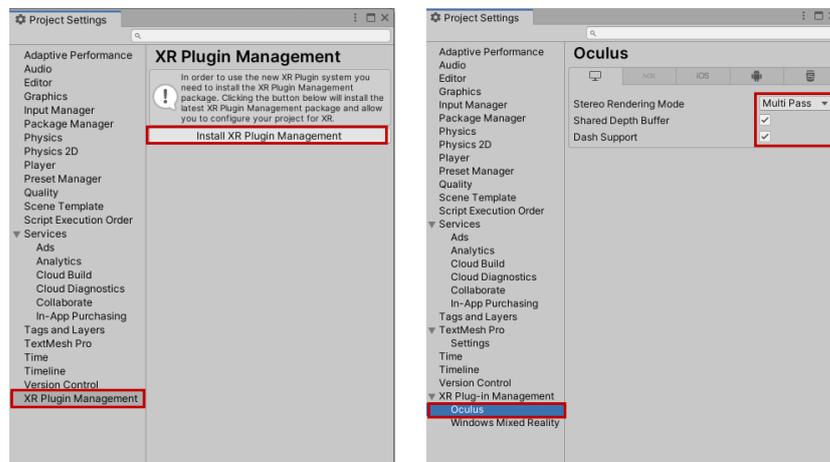
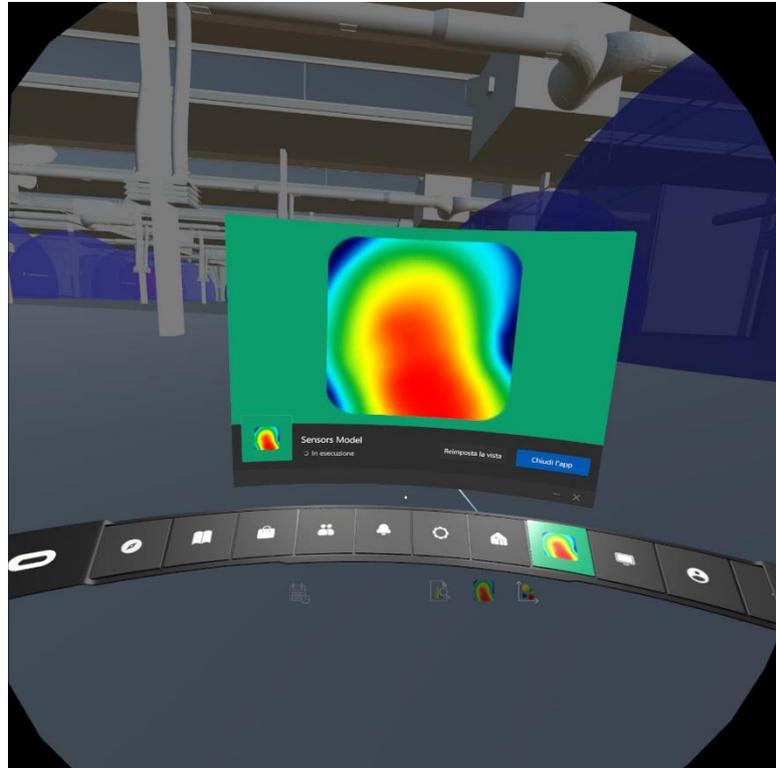
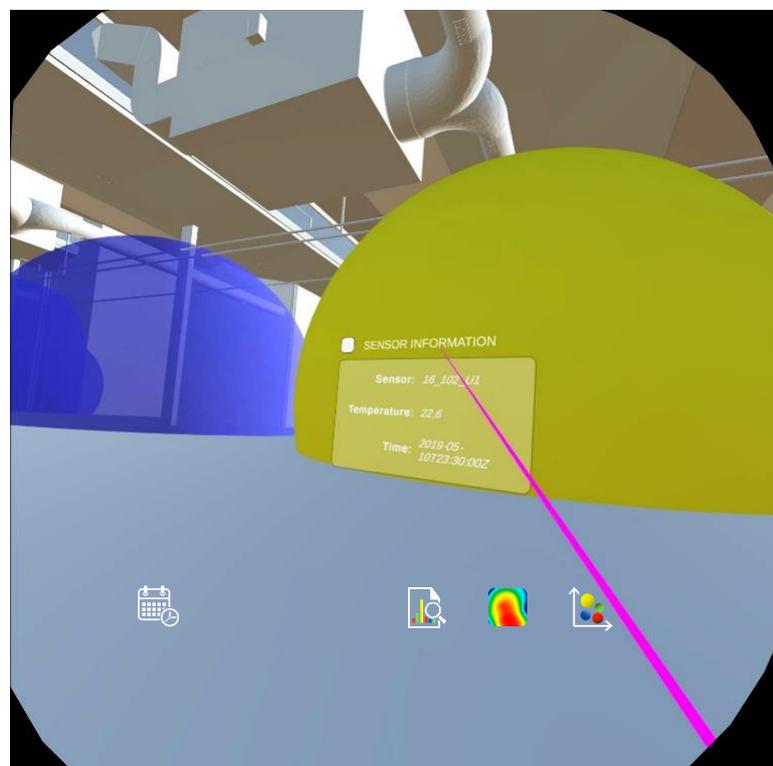


Fig. 108  
Configurazione per abilitare il supporto per la realtà virtuale (VR) in *Unity*.

## 4.6 Visualizzazione BIM-IoT con VR

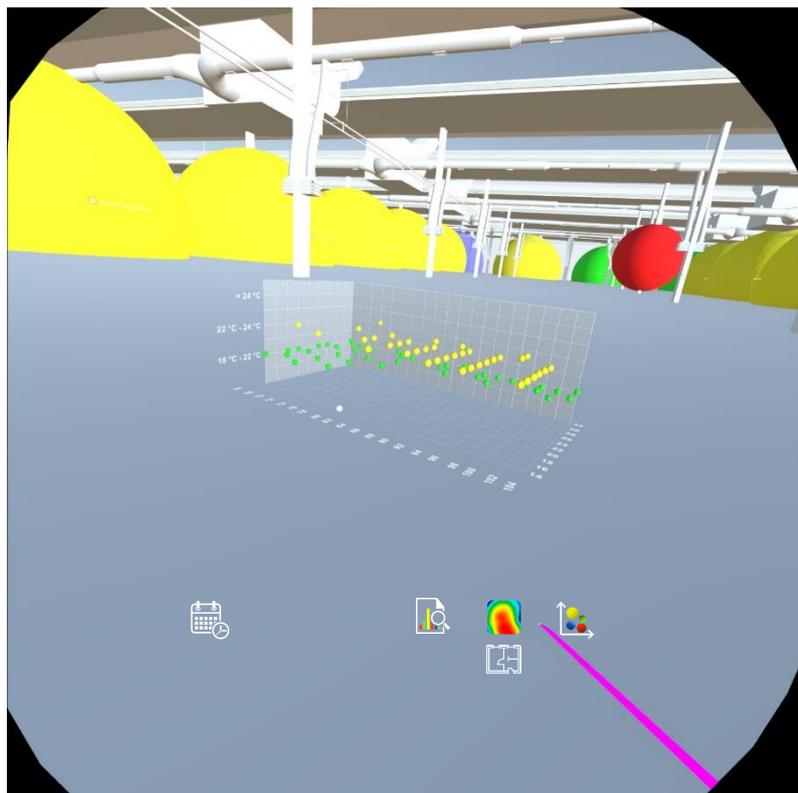


**Fig. 109**  
Apertura  
dell'applicazione.

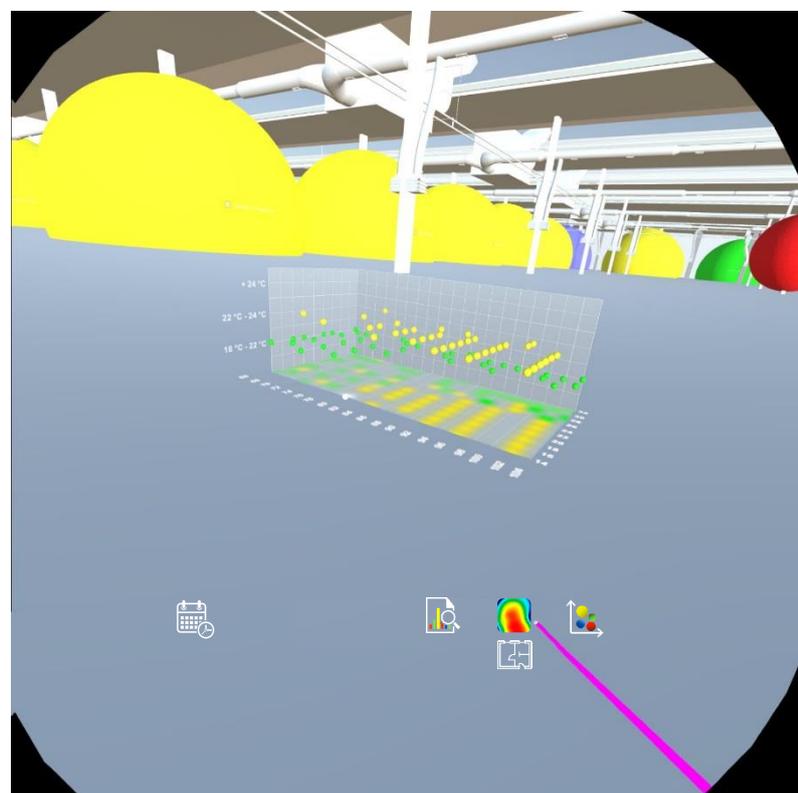


**Fig. 110**  
Visualizzazione in  
VR dei singoli  
pannelli situati su  
ogni sensore.





**Fig. 113**  
 Visualizzazione in VR del grafico 3D per l'analisi dei valori di temperatura.



**Fig. 114**  
 Visualizzazione in VR dei grafici 3D sovrapposti.

# CAPITOLO V

---

## CONCLUSIONE E SVILUPPI FUTURI

# Conclusioni e Sviluppi Futuri

---

## 5.1 Conclusioni

La presente tesi è stata dedicata all'integrazione delle tecnologie *BIM-IoT* per la creazione e lo sviluppo di un *Digital Twin* applicato al settore industriale, e la successiva visualizzazione dei dati ottenuti dai sensori IoT all'interno dell'ambiente BIM, attraverso l'uso della tecnologia di *Realtà Virtuale*, in un ambiente completamente immersivo.

Pertanto, in questa ricerca è stato proposto un quadro metodologico in risposta alle limitazioni trovate nell'integrazione BIM-IoT, utilizzando come interfaccia il motore di gioco *Unity3D*, che permette la visualizzazione in *Realtà Virtuale*. Di seguito sono riportate le principali conclusioni ottenute in risposta agli obiettivi stabiliti nella tesi:

- **Importare il modello BIM in Unity3D usando un servizio web:** In questa fase sono state esaminate e testate una serie di piattaforme che forniscono uno spazio di archiviazione web per i modelli BIM, tra cui (*Bimserver*, *Bimserver.center*, *Speckle* e *Tridify*). Sulla base dei risultati ottenuti, si è deciso di utilizzare la piattaforma *Tridify* che, sebbene sia un servizio proprietario, supporta progetti open source. È un servizio di trasmissione di dati IFC che facilita la visualizzazione di modelli in qualsiasi browser web, e fornisce anche un plug-in che permette di importare file IFC nel motore di gioco, colmando il salto tecnologico tra BIM e *Unity*. Questa tecnologia di automazione ha contribuito ad accelerare e semplificare i flussi di lavoro necessari per realizzare l'integrazione del BIM e IoT all'interno del motore di gioco, poiché dopo l'importazione, gli elementi geometrici sono stati mantenuti collegati così come i metadati corrispondenti. Questo è stato indispensabile, in seguito, per collegare le informazioni ottenute dai sensori all'oggetto. Quindi, per la ricerca, *Tridify* è diventato lo strumento che ha fornito la base per l'integrazione BIM-IoT.
- **Raccolta e interrogazione dei dati di temperatura:** i dati dei sensori di temperatura memorizzati in *Influxdb* sono stati interrogati attraverso la piattaforma di interfaccia *Chronograf*, che permette la creazione di queries per ottenere una risposta specifica dell'informazione da interrogare. Quindi,

sono state create delle query specifiche per ogni sensore, al fine di avere risposte concrete, in modo tale che le informazioni siano più comode da gestire. La query è stata utilizzata per l'esecuzione della chiamata a *Influxdb* da *Unity*.

Questa fase non ha presentato grandi problemi nel suo sviluppo, poiché la piattaforma *Chronograf* fornisce un'interfaccia abbastanza intuitiva e facile da usare. Tuttavia, non avendo familiarità con i Linguaggi di Interrogazione dei Dati (DQL), è stato necessario acquisire conoscenze di base, fornite dalla documentazione della piattaforma, per raggiungere l'obiettivo.

- **Integrazione: BIM-IoT usando come interfaccia Unity3D:** Sebbene *Unity* offra soluzioni amichevoli e flessibili per i non programmatori, la maggior parte del contenuto interattivo che può essere creato in *Unity* è basato sulla programmazione text-based. Per questo motivo, questa fase ha presentato alcune difficoltà in termini di gestione del linguaggio di programmazione *C#*, formazione che, nella maggior parte dei casi, è estranea all'industria AEC. Quindi, per realizzare questa fase del progetto, è stato necessario acquisire una conoscenza base/intermedia della programmazione *C#*, come punto di partenza per poter sviluppare le funzioni necessarie, sia per la realizzazione del collegamento dei dati estratti dal database *InfluxDB* con l'oggetto virtuale, sia per la manipolazione e lo sviluppo del progetto in modo generale nel software *Unity*. Pertanto, le soluzioni applicate per raggiungere l'obiettivo possono non essere le più pratiche, ma sono comunque efficaci e soddisfano lo scopo iniziale, l'integrazione delle informazioni.

L'integrazione è stata effettuata tramite chiamate all'*API InfluxDB* attraverso una *WebRequest*, che permette l'interazione con il database e il ritorno di risposte in JSON. Per mezzo di uno script è stato possibile fare questa chiamata al database e, con l'aiuto di un JSON reader, i dati della temperatura sono stati effettivamente letti nel motore di gioco.

Per rendere questi dati visibilmente utili, le informazioni ottenute sono state visualizzate in pannelli collegati al sensore secondo il nome del nodo identificativo del sensore.

Inoltre, sono stati aggiunti diversi script per personalizzare la visualizzazione dei dati e la esperienza in realtà virtuale, compresa una funzione che permette di cambiare il colore dell'oggetto virtuale che rappresenta il sensore, a seconda del valore di temperatura letto. Questo metodo offre una visualizzazione intuitiva e interattiva dei dati, utilizzando il modello come

interfaccia per rappresentare le informazioni ricevute.

- **Visualizzazione BIM-IoT attraverso la VR:** rappresenta l'obiettivo finale del progetto. In questa fase è stato possibile effettuare un'esperienza completamente immersiva del progetto in *Realtà Virtuale*. È possibile navigare all'interno del modello BIM e interagire con i vari elementi creati che permettevano di mostrare, in modi diversi, i dati estratti dal database. Un pannello di controllo, sempre a vista dell'utente, abiliterà tutte le funzioni create per l'interazione diretta e interattiva con i dati dei sensori IoT e il modello BIM.

Pertanto, in quest'ultima fase è stato possibile visualizzare e controllare i dati di temperatura all'interno della replica virtuale BIM del caso studio FCA. I dati sono stati visualizzati attraverso una serie di tabelle o pannelli di informazioni e grafici tridimensionali, che hanno permesso una migliore comprensione delle informazioni ricevute per un ulteriore monitoraggio e valutazione.

## 5.2 Sviluppi futuri

Per quanto riguarda i possibili sviluppi futuri, questi sono orientati allo sviluppo di un metodo per il trasferimento dei dati BIM da una open source a Unity. Cioè, l'uso di un open source come servizio web contenente del modello BIM, che sia in grado di collegare al motore di gioco, tutte le informazioni relative al BIM. Anche se l'uso di un open source come "*BIMserver*" è stata una delle piattaforme testate per lo sviluppo della metodologia, importare il modello IFC in *Unity* senza l'aiuto di un plug-in, richiede una certa competenza di programmazione, ma permetterebbe una configurazione e un adattamento liberi, dato che si ha accesso al codice per modificarlo, estenderlo e personalizzarlo secondo il progetto.

Un altro sviluppo futuro sarebbe orientato verso una conoscenza più avanzata del linguaggio di programmazione *C#*, per una manipolazione più precisa dei dati ricevuti, per la creazione di grafica 3D. Questo comporterebbe un miglioramento nella presentazione dei grafici e permetterebbe una migliore comprensione per l'analisi e il monitoraggio dei dati. Oltre a un continuo miglioramento dell'esperienza virtuale con nuove possibili interazioni nell'ambiente digitale.

## BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

---

- [1] Aguiar Costa, Antonio & Lopes, Pedro & Antunes, Andre & Cabral, Izunildo & Grilo, Antonio & Rodrigues, Filipe. (2015). *3I Buildings: Intelligent, Interactive and Immersive Buildings*. Procedia Engineering. 123. 7-14. 10.1016/j.proeng.2015.10.051.
- [2] Alarcón M. & Martínez-García F. & Gómez de León F. *Energy and maintenance management systems in the context of industry 4.0. Implementation in a real case*. (2021). Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 142. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110841>.
- [3] Alsop, T., 2021. *Global consumer virtual reality (VR) market size 2016-2023*. [online] Statista. Available at: <<https://www.statista.com/statistics/528779/virtual-reality-market-size-worldwide/>>.
- [4] Ashima, Reem & Haleem, Abid & Bahl, Shashi & Javaid, Mohd & Mahla, Sunil & Singh, Someet. (2021). *Automation and manufacturing of smart materials in additive manufacturing technologies using Internet of Things towards the adoption of industry 4.0*. Materials Today: Proceedings. 45. 10.1016/j.matpr.2021.01.583.
- [5] Barnaghi P. et al. (2012) *Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future*. International Journal on Semantic Web & Information Systems 8(1): 1–21, 10.4018/jswis.2012010101.
- [6] Barnard, D. (2019). *History of VR - Timeline of Events and Tech Development*. Retrieved from <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>
- [7] BCC Research. 2018. *The History and Evolution of Virtual Reality Technology*. [online] Available at: <https://blog.bccresearch.com/the-history-and-evolution-of-virtual-reality-technology>.
- [8] Bigné, E., Llinares, C., & Torrecilla, C. (2016). *Elapsed time on first buying triggers brand choices within a category: A virtual reality-based study*. Journal Of Business Research, 69(4), 1423-1427. doi: 10.1016/j.jbusres.2015.10.119.
- [9] Bin S. & Masood S. & Jung Y. (2020). *Chapter Twenty - Virtual and augmented reality in medicine*. Editor(s): David Dagan Feng, In Biomedical Engineering, Biomedical Information Technology (Second Edition), Academic Press, Pages 673-686, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816034-3.00020-1>.
- [10] Bishop, G., & Fuchs, H. (1992). *Research directions in virtual environments: report of an NSF Invitational Workshop*, March 23-24, 1992, University of North Carolina at Chapel Hill. COMG.

- [11] Bonetti, F., Warnaby, G., & Quinn, L. (2017). *Augmented Reality and Virtual Reality in Physical and Online Retailing: A Review, Synthesis and Research Agenda*. *Augmented Reality And Virtual Reality*. 119-132. doi: 10.1007/978-3-319-64027-3\_9.
- [12] Boyes, H. & Hallaq, B. & Cunningham, Joe & Watson, Tim. (2018). *The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework*. *Computers in Industry*. 101. 1-12. 10.1016/j.compind.2018.04.015.
- [13] Bruce, D. (2016). *Virtual Reality History: Complete Timeline Explained*. Retrieved from <https://www.knowledgenile.com/blogs/virtknowledgenileual-reality-history-complete-timeline-explained>.
- [14] Cardeal, G. & Sequeira, D. & Mendonça, J. & Leite, M. & Ribeiro, I. (2021). *Additive manufacturing in the process industry: A process-based cost model to study life cycle cost and the viability of additive manufacturing spare parts*. *Procedia CIRP*, Volume 98. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.032>.
- [15] Castelvechi, D. (2016). *Low-cost headsets boost virtual reality's lab appeal*. *Nature*, 533(7602), 153-154. doi: 10.1038/533153a
- [16] Caudell, T. and Mizell, D., (1992). *Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes*. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*.
- [17] Ceruti A. & Marzocca P. & Liverani A. & Bil C. (2019). *Maintenance in aeronautics in an Industry 4.0 context: The role of Augmented Reality and Additive Manufacturing*, *Journal of Computational Design and Engineering*, Volume 6. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.02.001>.
- [18] Chiesa, Giacomo & Vita, Daniel & Ghadirzadeh, Ahmadreza & Herrera, Andrés & Rodriguez, Juan. (2020). *A fuzzy-logic IoT lighting and shading control system for smart buildings*. *Automation in Construction*. 120. 103397. 10.1016/j.autcon.2020.103397.
- [19] Cipresso, P., Giglioli, I., Raya, M., & Riva, G. (2018). *The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature*. *Frontiers In Psychology*, 9. doi: 10.3389/fpsyg.2018.02086
- [20] *Clear Potential for Virtual Reality Headsets After a Slow Start*. (2017). Retrieved from <https://www.ccsinsight.com/press/company-news/2919-clear-potential-for-virtual-reality-headsets-after-a-slow-start/>
- [21] Corallo, Angelo & Lazoi, Mariangela & Lezzi, Marianna. (2020). *Cybersecurity in the context of industry 4.0: A structured classification of critical assets and*

- business impacts. Computers in Industry.* 114. 1-15. 10.1016/j.compind.2019.103165.
- [22] Daissaoui, Abdellah & Boulmakoul, Azedine & Karim, Lamia & Lbath, Ahmed. (2020). IoT and Big Data Analytics for Smart Buildings: A Survey. *Procedia Computer Science.* 170. 161-168. 10.1016/j.procs.2020.03.021 .
- [23] De Paula Ferreira, William & Armellini, Fabiano & Santa-Eulalia, Luis Antonio. (2020). *Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review.* *Computers & Industrial Engineering.* 106868. 10.1016/j.cie.2020.106868.
- [24] Ding, Kai & Shi, He & Hui, Jizhuang & Liu, Yongjian & Zhu, Bin & Zhang, Fuqiang & Cao, Wei. (2018). *Smart steel bridge construction enabled by BIM and Internet of Things in industry 4.0: A framework.* 10.1109/ICNSC.2018.8361339.
- [25] Ebert, C. (2015). *Looking into the Future.* *IEEE Software,* 32(6), 92-97. doi: 10.1109/ms.2015.142
- [26] Fang, Y. & Cho, Y.K. & Druso, F. & Seo, J. (2018). *Assessment of operator's situation awareness for smart operation of mobile cranes.* *Autom. Constr.,* 85 pp. 65-75.
- [27] Feiner, S., Macintyre, B., & Seligmann, D. (1993). *Knowledge-based augmented reality. Communications Of The ACM,* 36(7), 53-62. doi: 10.1145/159544.159587.
- [28] Fitzmaurice, G., Zhai, S., & Chignell, M. (1993). *Virtual reality for palmtop computers. ACM Transactions On Information Systems,* 11(3), 197-218. doi: 10.1145/159161.159160.
- [29] Flavián, C. & Ibáñez-Sánchez, S. & Orús, C. (2019). *The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience.* *Journal Of Business Research,* 100, 547-560. doi: 10.1016/j.jbusres.2018.10.050
- [30] Freeman, D. & Reeve, S. & Robinson, A. & Ehlers, A. & Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). *Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders.* *Psychological Medicine,* 47(14), 2393-2400. doi: 10.1017/s003329171700040x
- [31] Giffinger, Rudolf & Gudrun, Haindlmaier & Gudrun, & Haindlmaier, Gudrun. (2010). *Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of the cities.* ACE: Architecture, City and Environment.
- [32] Gigante, M. (1993). *Virtual Reality: Definitions, History and Applications.* *Virtual Reality Systems,* 3-14. doi: 10.1016/b978-0-12-227748-

1.50009-3

- [33] Glaessgen, E. & Stargel, D. (2012). The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. <https://doi.org/10.2514/6.2012-1818>.
- [34] Grieves, Michael. (2015). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*.
- [35] Griffin, T. & Giberson, J. & Lee, S. & Guttentag, D., & Kandaurova, M. (2017). *Virtual Reality and Implications for Destination Marketing*. Retrieved from <http://scholarworks>
- [36] Hashem, Ibrahim & Yaqoob, Ibrar & Anuar, Nor & Mokhtar, Salimah & Gani, Abdullah & Khan, Samee. (2014). *The rise of "Big Data" on cloud computing: Review and open research issues*. Information Systems. 47. 98-115. 10.1016/j.is.2014.07.006.
- [37] Hemanth, J. (2019). *Artificial Intelligence Techniques for Satellite Image Analysis* (1st ed., p. 282). Springer.
- [38] Hernández-Ramos, José & Cano, Maria Victoria & Bernal Bernabe, Jorge & Garcia Carrillo, Dan & Skarmeta, Antonio. (2014). *SAFIR: Secure access framework for IoT-enabled services on smart buildings*. Journal of Computer and System Sciences. 81. 10.1016/j.jcss.2014.12.021.
- [39] Hornecker, E., & Psik, T. (2005). *Using ARToolkit Markers to Build Tangible Prototypes and Simulate Other Technologies*. Human-Computer Interaction - INTERACT 2005, 30-42. doi: 10.1007/11555261\_6.
- [40] Isikdag, U. (2015). *BIM and IoT: a synopsis from GIS Perspective, ISPRS-International Archives of the Photogrammetry*. Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci., 1 pp. 33-38.
- [41] Januario, Fabio & Carvalho, Carolina & Cardoso, Alberto & Gil, Paulo. (2016). Security challenges in SCADA systems over Wireless Sensor and Actuator Networks. 363-368. 10.1109/ICUMT.2016.7765386.
- [42] Kang, Kai & Lin, Jia-Rui & Zhang, Jianping. (2018). *BIM- and IoT-based monitoring framework for building performance management*. Journal of Structural Integrity and Maintenance. 10.1080/24705314.2018.1536318.
- [43] Korolov, M. (2014). *The Real Risks of Virtual Reality*. <http://www.rmmagazine.com/2014/10/01/the-real-risks-of-virtual-reality/>
- [44] Krueger, M. (1996). *Chapter 8 Virtual (reality + intelligence). Cognitive Technology - In Search Of A Humane Interface*, 129-143. doi: 10.1016/s0166-4115(96)80028-8

- [45] Lakshminarayanan, R., Balaji, R., Kumar, B. and Balaji, M., (2013). *Augmented Reality in ICT for Minimum Knowledge Loss*. International Journal of Computer Science and Information Security.
- [46] Larry F. Hodges, Barbara Olasov Rothbaum, Renato Alarcon, David Ready, Fran Shahar, Ken Graap, Jarrell Pair, Philip Hebert, David Gotz, Brian Wills, and David Baltzell. (1998). *Virtual Vietnam: A Virtual Environment for the Treatment of Vietnam War Veterans with Post-traumatic Stress Disorder*. Proceedings of The Eighth International Conference on Artificial Reality and Tele-Existence, Tokyo, Japan.
- [47] Lee, D., Cha, G. & Park, S. *A study on data visualization of embedded sensors for building energy monitoring using BIM*. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 17, 807–814 (2016). <https://doi.org/10.1007/s12541-016-0099-4>.
- [48] Li, Nan & Becerik-Gerber, Burcin & Krishnamachari, Bhaskar & Soibelman, Lucio. (2014). *A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations*. Automation in Construction. 42. 78–89. 10.1016/j.autcon.2014.02.019.
- [49] Lin, J., Wu, D., & Tao, C. (2017). *So scary, yet so fun: The role of self-efficacy in enjoyment of a virtual reality horror game*. New Media & Society, 20(9), 3223-3242. doi: 10.1177/1461444817744850.
- [50] Liu, Huan. (2013). *Big Data Drives Cloud Adoption in Enterprise*. Internet Computing, IEEE. 17. 68-71. 10.1109/MIC.2013.63.
- [51] Marino, E. & Barbieri, Loris & Colacino, Biagio & Fleri, Anna & Bruno, Fabio. (2021). *An Augmented Reality inspection tool to support workers in Industry 4.0 environments*. Computers in Industry. 127. 103412. 10.1016/j.compind.2021.103412.
- [52] Mataloto, Bruno & Ferreira, João & Resende, José Ricardo & Moura, Rita & Luís, Sílvia. (2020). *BIM in People2People and Things2People Interactive Process*. Sensors. 20. 2982. 10.3390/s20102982.
- [53] Meißner, M., Pfeiffer, J., Pfeiffer, T., & Oppewal, H. (2019). *Combining virtual reality and mobile eye tracking to provide a naturalistic experimental environment for shopper research*. Journal Of Business Research, 100, 445-458. doi: 10.1016/j.jbusres.2017.09.028.
- [54] Merchant, Z., Goetz, E., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. (2014). *Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis*. Computers & Education, 70, 29-40. doi: 10.1016/j.compedu.2013.07.033.
- [55] Merz, Robert & Hoch, Ralph & Drexel, Damian. (2020). *A Cloud-Based Research and Learning Factory for Industrial Production*. Procedia Manufacturing. 45.

215-221. 10.1016/j.promfg.2020.04.097.

- [56] Minoli, Daniel. (2019). *Positioning of Blockchain Mechanisms in IoT-powered Smart Home Systems: A Gateway-based Approach*. Internet of Things. 10.100147. 10.1016/j.iot.2019.100147.
- [57] Natephra, Worawan & Motamedi, Ali. (2019). *BIM-based Live Sensor Data Visualization Using Virtual Reality for Monitoring Indoor Conditions*.
- [58] Nguyen, Huong. (2016). *BIM and IoT integration to improve the building performance from occupants' perspective*.
- [59] Ostrom, A., Parasuraman, A., Bowen, D., Patrício, L., & Voss, C. (2015). *Service Research Priorities in a Rapidly Changing Context*. Journal Of Service Research, 18(2), 127-159. doi: 10.1177/1094670515576315.
- [60] Pan, Y. & Zhang, L. (2021). *A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management*. Automation in Construction. 124. 103564. 10.1016/j.autcon.2021.103564.
- [61] Pandey, Suraj & Nepal, Surya. (2013). *Cloud Computing and Scientific Applications - Big Data, Scalable Analytics, and Beyond Preface*. Future Generation Computer Systems. 10.1016/j.future.2013.04.026.
- [62] Patrício, L., Fisk, R., Falcão e Cunha, J., & Constantine, L. (2011). *Multilevel Service Design: From Customer Value Constellation to Service Experience Blueprinting*. Journal Of Service Research, 14(2), 180-200. doi: 10.1177/1094670511401901.
- [63] Rajesh Desai, P., Nikhil Desai, P., Deepak Ajmera, K., & Mehta, K. (2014). *A Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset*. International Journal Of Engineering Trends And Technology, 13(4), 175-179. doi: 10.14445/22315381/ijett-v13p237
- [64] Ramolete, G., Almirante, J., Mondragon, J., Ting, C., Cohen, M., & Custodio, B. (2020). *Physical Design Assessment of the Nintendo Switch Controller Configurations*. Advances In Ergonomics In Design, 198-205. doi: 10.1007/978-3-030-51038-1\_29
- [65] Riikonen, P. & Arvo, J. & Lehtonen, T. (2017). *Data transfer from BIMserver to Unity 3D applications with the BIMconnect asset*. Submitted to the Advanced Engineering Informatics.
- [66] Ríos J. & Hernández, J.C. & Oliva M. & Mas F. (2015). *Avatar de producto como contraparte digital de un producto físico individual: revisión de la literatura e implicaciones en una aeronave*. ISPE CE.
- [67] Rodríguez, Schubert & Gualotuña, Tatiana & Grilo, Carlos. (2017). *A System for the Monitoring and Predicting of Data in Precision Agriculture in a Rose*

*Greenhouse Based on Wireless Sensor Networks*. Procedia Computer Science. 121. 306-313. 10.1016/j.procs.2017.11.042.

- [68] Roopa, D. & Prabha, R. & Senthil, G.A. (2021). *Revolutionizing education system with interactive augmented reality for quality education*, Materials Today: Proceedings. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.294>.
- [69] Rothbaum, B.O., Hodges, L.F., Alarcon, R., Ready, D., Shahar, F., Graap, K., Pair, J., Hebert, P., Gotz, D., Wills, B. and Baltzell, D. *Virtual Reality Exposure Therapy for PTSD Vietnam Veterans: A Case Study*. Journal of Traumatic Stress (1999).
- [70] Rößmann M. & Lorenz M. & Gerbert P. & Waldner M. & Justus J. & Engel P. & Harnisch M. (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*.
- [71] Sakari, L. & Helle, S. & Korhonen, S. & Säntti, T. & Heimo, O & Forsman, M. & Taskinen, T. & Lehtonen, T. (2017). *Virtual and augmented reality solutions to industrial applications*. Proceedings of the 16th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries (COMPIT'17). Cardiff, UK; pp. 115-127.
- [72] Sahal, Radhya & Ali, Muhammad Intizar & Breslin, John. (2020). *Big data and stream processing platforms for Industry 4.0 requirements mapping for a predictive maintenance use case*. Journal of Manufacturing Systems. 54. 138-151. 10.1016/j.jmsy.2019.11.004.
- [73] Santhi, M & Sangaraju, Hrushikesava Raju & Koujalagi, Ashok & Krishna, P.s.R & Sangaraju, Hrushi. (2021). *Full smart sprinklers: Monitoring of sprinkler watering using IoT*. Materials Today: Proceedings. 10. 1-6. 10.1016/j.matpr.2020.12.399.
- [74] Shaheen, S., Cohen, A.L., Dowd, M., & Davis, R. (2019). *A Framework for Integrating Transportation into Smart Cities*. Mineta Transportation Institute Publications. <https://doi.org/10.31979/mti.2019.1705>.
- [75] Shaheen, S., Martin, E., Hoffman-Stapleton, M., & Slowik, P. (2018). *Understanding How cities can link smart mobility priorities through data*. UC Berkeley: Transportation Sustainability Research Center .
- [76] Shahinmoghadam, Mehrzad & Natephra, Worawan & Motamedi, Ali. (2021). *BIM- and IoT-based virtual reality tool for real-time thermal comfort assessment in building enclosures*. Building and Environment. 199. 107905. 10.1016/j.buildenv.2021.107905.
- [77] Schleich B. & ANWER N. & Mathieu L. & Wartzack S. (2017). *Dar forma al gemelo digital para la ingeniería de diseño y producción*. CIRP Ann. Manuf. Technol. 10.1016 / j.cirp.2017.04.040.

- [78] Schmalstieg, D. and Hollerer, T., 2016. *Augmented Reality: Principles and Practice*. 1<sup>st</sup> ed. Pearson Education (US), p.528.
- [79] Schroeder, R. (1993). *Virtual reality in the real world*. *Futures*, 25(9), 963-973. doi: 10.1016/0016-3287(93)90062-x
- [80] Shuisheng Li, Baoxin Zhang, Panfeng Fei, P. Mohamed Shakeel, R. Dinesh Jackson Samuel. (2020). *Computational efficient wearable sensor network health monitoring system for sports athletics using IoT*. *Aggression and Violent Behavior*. <https://doi.org/10.1016/j.avb.2020.101541>.
- [81] Singh H. *Big data, industry 4.0 and cyber-physical systems integration: A smart industry context*. (2020). *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.170>.
- [82] Skarbez, R., Smith, M., & Whitton, M. (2021). *Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum*. *Frontiers In Virtual Reality*, 2. doi: 10.3389/frvir.2021.647997
- [83] Smith, I., 2021. *VR (Virtual Reality) Headset Market 2021, Industry Share, Size, Growth, Trends and Forecast*. [online] The Courier. Available at: <<https://www.mccourier.com/vr-virtual-reality-headset-market-2021-industry-share-size-growth-trends-and-forecast/>>.
- [84] Sood, Sandeep & Mahajan, Isha. (2017). *Wearable IoT sensor based healthcare system for identifying and controlling chikungunya virus*. *Computers in Industry*. 91. 33-44. 10.1016/j.compind.2017.05.006.
- [85] Su, Bing & Wang, Shengwei. (2020). *An agent-based distributed real-time optimal control strategy for building HVAC systems for applications in the context of future IoT-based smart sensor networks*. *Applied Energy*. 274. 115322. 10.1016/j.apenergy.2020.115322.
- [86] Sutherland, I., 1965. *Sketchpad a Man-Machine Graphical Communication System*. *SIMULATION*, 2(5), pp.R-3-R-20.
- [87] Tang, Shu & Shelden, Dennis & Eastman, Charles & Pishdad-Bozorgi, Pardis & Gao, Xinghua. (2019). *A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends*. *Automation in Construction*. 101. 127-139. 10.1016/j.autcon.2019.01.020.
- [88] Teizer, Jochen & Wolf, Mario & Golovina, Olga & Perschewsk, Manuel & Propach, Markus & Neges, Herms-Matthias & König, Markus. (2017). *Internet of Things (IoT) for Integrating Environmental and Localization Data in Building Information Modeling (BIM)*. 10.22260/ISARC2017/0084.
- [89] Van Kerrebroeck, H., Brengman, M., & Willems, K. (2017). *Escaping the crowd: An experimental study on the impact of a Virtual Reality experience in a*

*shopping mall*. *Computers In Human Behavior*, 77, 437-450. doi: 10.1016/j.chb.2017.07.019

- [90] Widiyanti, D. (2020). Daniar Estu Widiyanti. South Korea. Retrieved from <https://journal-home.s3.ap-northeast-2.amazonaws.com/site/2020kics/presentation/0518.pdf>
- [91] Wikitude Augmented Reality: the World's Leading Cross-Platform AR SDK. (2021). <https://www.wikitude.com/>
- [92] Wu, I-Chen & Liu, Chi-Chang. (2019). *A Visual and Persuasive Energy Conservation System Based on BIM and IoT Technology*. *Sensors*. 20. 139. 10.3390/s20010139.
- [93] Xu, G. & Li, M. & Chen, C.-H. & Wei, Y. (2018). *Cloud asset-enabled integrated IoT platform for lean prefabricated construction*. *Autom. Constr.*, 93 pp. 123-134, 10.1016/j.autcon.2018.05.012.
- [94] Zhao, Zhenping & Gao, Yu & Hu, Xingyi & Zhou, Yin & Lidu, Zhao & Qin, Guocheng & Guo, Jieming & Liu, Yachao & Yu, Chenchen & Han, Daguang. (2018). *Integrating BIM and IoT for smart bridge management*.
- [95] Zhu, Quanyan & Rieger, Craig & Başar, Tamer. (2011). *A hierarchical security architecture for cyber-physical systems*. *Proceedings - ISRCS 2011: 4th International Symposium on Resilient Control Systems*. 15 - 20. 10.1109/ISRCS.2011.6016081.
- [96] Bimserver.org
- [97] <https://bimserver.center/es>
- [98] Tridify. <https://www.tridify.com/>
- [99] Unity Documentation: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- [100] <https://speckle.xyz/>
- [101] Influx API reference: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.8/tools/api/>
- [102] <https://www.oracle.com/java/technologies/javase-downloads.html>
- [103] <https://signalsiot.com/cuatro-usos-de-la-realidad-aumentada-en-la-industria-4-0/>
- [104] <https://invelon.com/tecnologia-y-realidad-virtual-en-la-industria-post-covid-19-nuevos-productos-y-soluciones-vr/>
- [105] <https://www.buildingincloud.net/gestione/guida-ai-software-bim/>

[106] <https://biblus.accasoftware.com/en/ifc-format-and-open-bim-all-you-need-to-know/>

[107] <https://www.bakom.admin.ch/bakom/it/pagina-iniziale/digitale-e-internet/internet/internet-of-things.html>

[108] <http://www.quarkts.com/en/the-fourth-industrial-revolution-the-greatest-act-in-the-history-of-humanity/>

[109] [https://industry40marketresearch.com/blog/industry\\_4-0\\_technologies/](https://industry40marketresearch.com/blog/industry_4-0_technologies/)

[110] <https://fmsystems.com/blog/does-bim-have-a-role-in-the-internet-of-things>

# ALLEGATI

---

```
using System.Collections;
using UnityEngine;
using SimpleJSON;
using UnityEngine.Networking;
using TMPro;
using System;
using System.Globalization;
public class JsonReaderNodo14_102U1 : MonoBehaviour
{
    public TMP_Text Nodo;
    public TMP_Text TemperatureValue;
    public TMP_Text TempoValue;
    double Value;

    public void GetJsonData()
    {
        StartCoroutine(RequestWebservice());
    }
    IEnumerator RequestWebservice()
    {
        string getDataUrl =
"http://130.192.177.103:8086/query?db=Mirafiori_all&pretty=true&q=SELECT%20mean(%22value%22)
%20AS%20%22mean_value%22%20FROM%20%22Mirafiori_all%22.%22autogen%22.%22Temperature%22%20WHER
E%20time%20%3E%20%272019-05-10T00:00:00Z%27%20AND%20time%20%3C%20%272019-05-
10T23:45:00Z%27%20AND%20%22node%22=%2714_102_U1%27%20GROUP%20BY%20time(15m),%20%22node%22%20
FILL(null)";
        print(getDataUrl);
        UnityWebRequest sensorInfoRequest = UnityWebRequest.Get(getDataUrl);
        {
            yield return sensorInfoRequest.SendWebRequest();
            if (sensorInfoRequest.isNetworkError || sensorInfoRequest.isHttpError)
            {
                print("-----ERROR-----");
                print(sensorInfoRequest.error);
            }
            JSONNode sensorInfo = JSON.Parse(sensorInfoRequest.downloadHandler.text);
            if (sensorInfo == null)
            {
                print("-----NO DATA-----");
            }
            else
            {
                print("-----JSON DATA-----");
                print("sensorInfo.Count:" + sensorInfo.Count);
                Nodo.text = sensorInfo["results"][0]["series"][0]["tags"]["node"];
                TempoValue.text = sensorInfo["results"][0]["series"][0]["values"][94][0];
                TemperatureValue.text =
sensorInfo["results"][0]["series"][0]["values"][94][1];
                // Convertir de String a Double:
                Value = Convert.ToDouble(TemperatureValue.text,
CultureInfo.GetCultureInfo("en-US"));
                Value = Math.Round(Value, 1); // Reducir el valor a solo 1 decimal
                if (Value >= 18 & Value <= 22) // Valor dentro intervalo (18-22)
                {
                    gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color = Color.green;
                }
                else if (Value >= 15 & Value < 18 | Value > 22 & Value <= 25) // Valor
dentro intervalo (15-25)
                {
                    gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color = Color.yellow;
                }
                else
                {
                    gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color = Color.red;
                }
                // Convertir de int a String:
                TemperatureValue.text = Value.ToString();
            }
        }
    }
}
```

```

using System.Collections;
using UnityEngine;
using SimpleJSON;
using UnityEngine.Networking;
using TMPro;

public class Fecha_Hora : MonoBehaviour
{
    public TMP_Text Valor;
    bool timerActive = false;

    public void Update()
    {
        if (timerActive)
        {
            StartCoroutine(RequestWebservice());
        }
    }

    IEnumerator RequestWebservice()
    {
        string getDataUrl = "http://worldtimeapi.org/api/timezone/europe/Rome";
        print(getDataUrl);

        UnityWebRequest sensorInfoRequest = UnityWebRequest.Get(getDataUrl);
        {
            yield return sensorInfoRequest.SendWebRequest();

            if (sensorInfoRequest.isNetworkError ||
                sensorInfoRequest.isHttpError)
            {
                print("-----ERROR-----");
                print(sensorInfoRequest.error);
            }

            JSONNode sensorInfo =
                JSON.Parse(sensorInfoRequest.downloadHandler.text);

            if (sensorInfo == null)
            {
                print("-----NO DATA-----");
            }
            else
            {
                print("-----JSON DATA-----");
                print("sensorInfo.Count:" + sensorInfo.Count);
                Valor.text = sensorInfo["datetime"];
            }
        }
    }

    public void Timer()
    {
        timerActive = ! timerActive;
    }
}

```

```

using UnityEngine;
public class SpherePosition : MonoBehaviour
{
    Vector3 pos;
    void Start()
    {
        gameObject.GetComponent<Renderer>();
    }
    public void Color_PositionSphere()
    {
        pos = transform.localPosition;
        if (gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color == Color.green)
// Valor dentro intervalo (18-22)
        {
            pos.y = -0.358f;
            transform.localPosition = pos;
        }
        else if (gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color ==
Color.yellow) // Valor dentro intervalo (15-25)
        {
            pos.y = -0.257f;
            transform.localPosition = pos;
        }
        else if (gameObject.GetComponent<Renderer>().material.color ==
Color.red)
        {
            pos.y = -0.1542f;
            transform.localPosition = pos;
        }
    }
    void OnDisable()
    {
        Vector3 pos = transform.localPosition;
    }
}

```



