UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA EDILE

INTEGRAZIONE DI BIM E REALTÀ MIXATA PER IL CONTROLLO DEI PROGETTI DI RIQUALIFICAZIONE DI EDIFICI ESISTENTI

INTEGRATION OF BIM AND MIXED REALITY TO CHECK THE DESIGN PROCESS OF RENOVATION ACTIONS APPLIED TO EXISTING BUILDINGS

Relatore:

Prof. Alessandro Carbonari

Correlatore:

Prof. Massimo Vaccarini

Candidata:

Eleonora Monaldi

A.A. 2020/2021

INDICE

Indice **2**

Introduzione **7**

Capitolo 1: Digitalizzazione nel settore delle costruzioni **9**

1.1 Introduzione 9

1.2 Quadro normativo 10

1.3 La collaborazione basata sul BIM 14

1.3.1 Principi generali 14

1.3.2 Lo standard tecnico sulla collaborazione 15

1.3.2.1 Scenario nazionale 15

1.3.2.2 L'ACDat secondo la norma UNI 11337 16

1.3.2.3 L'ACDat secondo la norma UNI EN ISO 19650 21

1.3.3 La collaborazione e lo standard IFC 23

1.3.3.1 Origine e definizioni 23

1.3.3.2 Concetti di base 23

1.3.3.3 Struttura di un file IFC 26

Capitolo 2: La Realtà Mixata **27**

2.1 Origine: lo spettro di Realtà-Virtualità 27

2.2 Stato dell'arte 29

2.2.1 Introduzione 29

2.2.2 La ricerca scientifica 29

2.2.3 La Realtà Mixata nel settore delle costruzioni 31

2.2.3.1 Le applicazioni commerciali 31

2.2.3.2 Bentley Systems 31

2.2.3.3 Trimble 33

2.2.3.4 Avanade....34
2.2.3.5 Würth....35
2.3 Dispositivi per esperienze di Realtà Mixata: Microsoft HoloLens....35
2.3.1 Indicazioni generali....35
2.3.2 Dispositivo di prima generazione....36
2.3.2.1 Specifiche tecniche....36
2.3.2.2 Funzionalità e comandi riconosciuti....37
2.3.2.3 Algoritmo SLAM....38
2.4 Sviluppo di un'esperienza di Realtà Mixata....41
2.4.1 Concetti di base....41
2.4.2 Vuforia: approcci di riconoscimento e allineamento....41
2.4.2.1 Approcci di riconoscimento....41
2.4.2.2 Tracking Images....42
2.4.2.3 Tracking Object....45
2.4.2.4 Tracking Environment....46
Capitolo 3: Integrazione di BIM e Realtà Mixata....48
3.1 Il sistema di controllo on field....48
3.1.1 Motivazioni....48
3.1.2 Ambito di intervento....49
3.2 Le attività di controllo nel settore delle costruzioni....50
3.2.1 Le attività di controllo nell'approccio BIM....50
3.2.2 Individuazione e categorizzazione dei controlli....51
3.3 Le attività di controllo e le informazioni....57
3.3.1 Classificazione delle informazioni....57
3.3.2 I LOD....58

3.3.2.1 Definizioni....58
3.3.2.2 Il sistema di controllo e i LOD....60
Capitolo 4: Applicazione ad un caso specifico....61
4.1 Ambito di intervento....61
4.2 Individuazione dei controlli....61
4.2.1 Quadro generale....61
4.2.2 Realizzazione del nuovo partizionamento interno....65
4.2.2.1 Descrizione generale dell'intervento....65
4.2.2.2 Lista delle attività di controllo....65
4.2.3 Realizzazione dell'impianto di ventilazione meccanica....67
4.2.3.1 Descrizione generale dell'intervento....67
4.2.3.2 Lista delle attività di controllo....67
4.3 Necessità in termini di contenuto informativo....70
4.3.1 Fasi operative....70
4.3.2 Partizionamento interno....70
4.3.3 Impianto di ventilazione meccanica....73
4.4 Modellazione BIM....76
4.4.1 Struttura del modello....76
4.4.2 Scenario esistente....76
4.4.2.1 Il modello e le viste....76
4.4.2.2 Partizionamento esistente....82
4.4.3 Scenario di progetto....83
4.4.3.1 Il modello e le viste....83
4.4.3.2 Partizionamento interno....88
4.4.3.3 Impianto di ventilazione meccanica....92

4.4.4 Scenario comparato....98

Capitolo 5: Esecuzione delle prove sperimentali....100

5.1 Obiettivo....100

5.2 Esportazione nel formato standard IFC....100

5.2.1 Criteri di esportazione....100

5.2.2 Configurazioni di esportazione....101

5.3 Upload nel server....103

5.4 Esperienza di Realtà Mixata....107

5.4.1 Introduzione....107

5.4.2 Fasi di lavoro....108

5.4.3 Prima prova sperimentale: scenario di progetto....115

5.4.3.1 Obiettivo....115

5.4.3.2 Partizionamento interno....115

5.4.3.3 Impianto di ventilazione meccanica....122

5.4.4 Seconda prova sperimentale: demolizioni....127

5.4.4.1 Obiettivo....127

5.4.4.2 Partizionamento interno esistente....127

5.5 Discussione dei risultati....129

5.5.1 Criteri di valutazione....129

5.5.1.1 Rapidità di upload....130

5.5.1.2 Annotazioni dell'esperto: accessibilità e affidabilità....131

5.5.1.3 Stabilità degli ologrammi....133

5.5.1.4 Accuratezza dell'allineamento....135

5.5.1.5 Visualizzazione selettiva degli elementi....136

5.5.2 Applicabilità del sistema alle attività di controllo 137

5.5.2.1 Introduzione 137

5.5.2.2 Prima prova sperimentale: scenario di progetto.....137

5.5.2.3 Seconda prova sperimentale: demolizioni.....143

Capitolo 6: conclusioni 146

6.1 Conclusioni sul lavoro di tesi 146

6.2 Sviluppi futuri.....147

Bibliografia.....148

Sitografia 151

INTRODUZIONE

Il settore delle costruzioni è uno dei settori chiave in tutto il mondo. Nonostante ciò, rispetto ad altri campi, l'edilizia si caratterizza per una scarsissima crescita dal punto di vista della produttività. Da una ricerca condotta da McKinsey&Company [1], è infatti emerso che negli ultimi due decenni tale produttività è cresciuta solamente dell'1%, valore irrisorio se confrontato con i dati relativi ad altri settori, come ad esempio quello manifatturiero. La ricerca ha inoltre delineato dieci tra le più importanti cause associate alla problematica. Tra queste, in particolare, spicca la resistenza che il settore oppone nei confronti della digitalizzazione dei processi. Infatti, in tal senso, quello dell'edilizia è uno dei campi meno digitalizzati al mondo. Per questa serie di motivi, negli ultimi anni l'edilizia è interessata dalla progressiva sostituzione dell'approccio tradizionale, nonché un metodo di lavoro basato su CAD e sullo scambio delle informazioni in formato cartaceo, con l'approccio Building Information Modeling (BIM), il cui concetto cardine è l'impiego di un metodo di lavoro di tipo collaborativo e basato sullo scambio di informazioni in formato digitale tramite un ambiente di condivisione dati.

Con la presente tesi, che si inserisce in tale contesto, ci si propone di definire e di valutare l'effettiva applicabilità di un sistema di controllo on field che integri le potenzialità dell'approccio BIM e i vantaggi delle tecniche di visualizzazione (nello specifico della tecnologia di Realtà Mixata) e che riguardi le attività di controllo finalizzate alla verifica delle scelte progettuali adottate nell'ambito di interventi di riqualificazione di edifici esistenti. Il sistema di controllo così definito, è quindi atto non solo al potenziamento e/o alla semplificazione di tali attività ma anche al miglioramento della collaborazione tra i soggetti coinvolti nonché il progettista, responsabile delle scelte progettuali, e l'esperto, soggetto preposto allo svolgimento on field delle attività di verifica sopracitate.
In particolare, il sistema di controllo oggetto della tesi, si costituisce di tre elementi fondamentali:

- Il modello BIM contenente tutte le informazioni geometriche e non geometriche necessarie ai fini dello svolgimento delle attività di controllo;
- Un servizio web che consente di caricare il modello oggetto di verifica in formato IFC, di convertirlo in GLTF affinché risulti compatibile con il dispositivo di

visualizzazione e infine di avviarlo nell'applicazione olografica all'interno di quest'ultimo;

- Il dispositivo Microsoft HoloLens di prima generazione, che supporta esperienze di Realtà Mixata;

Dapprima, l'applicabilità del sistema di controllo proposto viene analizzata attraverso l'individuazione, con riferimento alla totalità delle opere edilizie, di tutte quelle attività di controllo la cui esecuzione possa essere ottimizzata impiegando lo stesso. Tale operazione viene effettuata a partire dal "Capitolato Speciale Tipo per Appalti di Lavori Edilizi" documento redatto dal Ministero dei Lavori Pubblici, nel quale vengono delineate per ogni parte dell'opera e per ogni lavorazione, le caratteristiche e la qualità dei materiali da impiegare, le prescrizioni tecniche e le modalità di esecuzione. Successivamente, le attività di controllo individuate vengono categorizzate sulla base dell'obiettivo delle stesse e si procede con l'identificazione, tra queste, di quelle attività che possano essere rincondotte all'ambito della riqualificazione di edifici esistenti e, in particolare, ad uno specifico caso.

Il caso specifico di cui sopra, riguarda il processo di riqualificazione del Dipartimento DICEA dell'Università Politecnica delle Marche, che prevede due interventi: la realizzazione di un nuovo partizionamento interno e la realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica. Pertanto, ci si propone di individuare, tra tutte le attività di controllo precedentemente definite, quelle che possano essere ricondotte al caso e, successivamente, di analizzare l'effettiva applicabilità del sistema di controllo on field all'esecuzione delle stesse. Tale applicabilità viene studiata tramite due prove sperimentali nelle quali il sistema di controllo descritto viene effettivamente applicato al caso specifico e, in particolare, allo scenario di progetto e allo scenario delle demolizioni.

CAPITOLO 1

LA DIGITALIZZAZIONE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

1.1 Introduzione

In un processo edilizio, l'informazione riveste un'importanza fondamentale. In particolare, in un processo edilizio tradizionale, il quale è supportato dagli strumenti CAD, lo scambio di informazioni tra gli attori coivolti si basa sulla trasmissione di documentazione di tipo cartaceo. Tale metodo, seppur ancora largamente utilizzato, penalizza l'efficienza del processo stesso dando luogo a errori, omissioni, alla perdita di dati e ad altre problematiche che possono causare un considerevole incremento di tempi e costi e una marcata riduzione della qualità dell'opera. La necessità di far fronte a tali problematiche sta portando a una progressiva sostituzione dei processi di tipo tradizionale, che lasciano spazio a processi basati sull'informazione digitale. Questa operazione, che viene definita "digitalizzazione", è quindi intesa come il passaggio da processi tradizionali basati su informazioni contenute in documenti cartacei, a processi in cui le informazioni sono invece di tipo digitale. La reale concretizzazione della digitalizzazione nel settore delle costruzioni, si deve all'introduzione e all'impiego della metodologia BIM (Building Information Modeling). Il BIM non è un software né una tecnologia, ma è una vera e propria metodologia a supporto dell'intero processo edilizio. Tale approccio è finalizzato alla realizzazione di un unico modello digitale dell'opera in cui vengano riportate tutte le informazioni relative ad ogni fase del processo edilizio con riferimento all'intero ciclo di vita e nel quale possano operare tutti gli attori coivolti nello stesso. L'obiettivo della digitalizzazione supportata dal Building Information Modeling è quindi quello di incrementare la qualità del processo edilizio attraverso l'integrazione di tutte le fasi che lo costituiscono e assicurando la collaborazione di tutti i soggetti coinvolti, i quali operano all'interno di un ambiente condiviso. Si mira, quindi, alla realizzazione di un modello digitale dell'edificio che sia unico e che contenga tutte le informazioni necessarie alla gestione di ogni fase del processo edilizio nell'intero ciclo di vita dell'edificio. A differenza di quanto accade nell'approccio tradizionale, quindi, l'impiego

del BIM determina un incremento dell'efficienza e della qualità del processo, riducendo gli errori e lo smarrimento di informazioni tipici dei processi tradizionali e una riduzione dei tempi e dei costi associati all'intero processo.

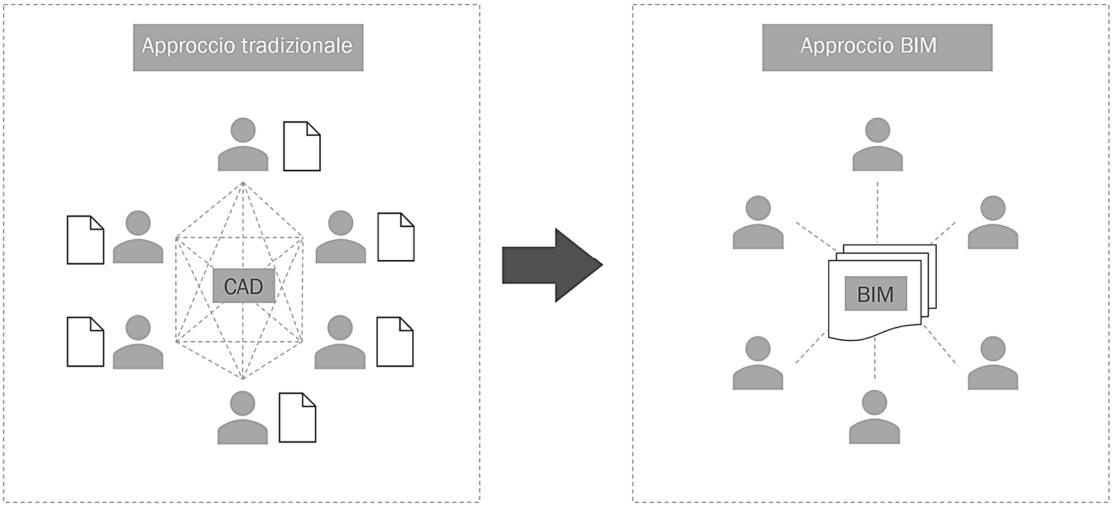

Figura 1.1– Approccio tradizionale e metodologia BIM;

1.2 Quadro normativo

Nel territorio Italiano la digitalizzazione è attualmente regolamentata da tre dispositivi normativi: la serie UNI 11337, con la quale la digitalizzazione è stata introdotta per la prima volta sul territorio nazionale nel settore delle costruzioni, ma che oggi si pone come norma complementare, il DM 560/2017 [2] e la serie UNI EN ISO 19650, con cui è stata recepita la norma europea EN ISO 19650 in tutte le sue parti.

La serie di norme UNI 11337 si propone di delineare i criteri e principi generali alla base della metodologia BIM, compresa l'analisi delle nuove figure professionali connesse al mondo della digitalizzazione. La norma è strutturata in più parti, ciascuna delle quali analizza approfonditamente uno o più aspetti legati alla digitalizzazione con riferimento alle costruzioni:

- **Parte 1:** la prima parte della norma, la UNI 11337-1:2017 *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi"* [3], sostituisce la precedente UNI 11337:2009 [4] e si propone di analizzare i criteri

generali riguardanti la gestione digitale del processo informativo nell'ambito delle costruzioni;

- **Parte 2:** la seconda parte della norma non è ancora stata rilasciata e si propone di introdurre i criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi;
- **Parte 3:** la terza parte della norma consiste nella revisione della precedente norma tecnica rilasciata nel 2015, la UNI/TS 11337-3:2015 *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse - Parte 3: Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione"*[5]. Tale parte si pone come obiettivo quello di definire un modello operativo col la finalità di mettere insieme e archiviare dati e informazioni dei prodotti da costruzione;
- **Parte 4:** la quarta parte della norma, la UNI 11337-4:2017 *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti"*[6] è finalizzata alla definizione degli obiettivi di tutte le fasi del processo edilizio e alla definizione di livelli di sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti;
- **Parte 5:** la quinta parte della norma, la UNI 11337-5:2017 *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 5: Flussi informativi nei processi digitalizzati"*[7] introduce principalmente i ruoli, i criteri e i flussi riguardanti la produzione, la gestione e lo scambio di informazioni;
- **Parte 6:** la sesta parte della norma, il rapporto tecnico UNI/TR 11337-6:2017 *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 6: Linea guida per la redazione del capitolato informativo"* [8] introduce i principi generali alla base della definizione, del contenuto e della trasmissione del capitolato informativo;
- **Parte 7:** la settima parte della norma, la UNI 11337-7:2018 *"Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 7: Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa"* [9] definisce il ruolo, le attività e le competenze relative alle nuove figure professionali che sono state introdotte con il Building Information Modeling;

- **Parte 8:** l'ottava parte della norma *"processi integrati di gestione delle informazioni e delle decisioni"* non è ancora stata rilasciata e si propone di analizzare l'integrazione tra le attività il cui svolgimento è previsto e le nuove figure professionali e tra le stesse attività e le figure professionali tradizionali;
- **Parte 9:** la nona parte della norma non è ancora stata rilasciata e si propone di affrontare la gestione informativa in fase di esercizio;
- **Parte 10:** la decima parte della norma non è ancora stata rilasciata e si propone di analizzare la gestione informativa digitale relativa alle pratiche amministrative;

Nel 2017, prima dell'introduzione della serie UNI 11337 nelle sue primissime parti, sul territorio nazionale non esistevano riferimenti tecnici all'approccio BIM e quindi, più in generale, alla digitalizzazione riguardante il settore delle costruzioni. Per impiegare la metodologia era infatti necessario riferirsi a dispositivi internazionali (principalmente statunitensi e anglosassoni). Successivamente, nel 2019, dopo l'entrata in vigore della UNI EN ISO 19650, anch'essa nella sue prime parti, con cui l'Italia ha recepito la corrispondente norma europea EN ISO 19650, la UNI 11337 è divenuta una norma complementare, e cioè applicabile solo congiuntamente alla prima.

La norma UNI EN ISO 19650 *"Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling"*, attualmente costituita da quattro parti, è il dispositivo normativo con cui a partire dal 2019, è stata recepita la corrispondente serie EN ISO 19650 nel territorio nazionale. Quest'ultima, in particolare, recepisce a livello europeo la norma internazionale ISO 19650, a sua volta redatta a partire dagli standard nazionali anglosassoni (PAS 1192 [10], poi ritirati e sostituiti definitivamente con la serie ISO).

La norma è oggi strutturata secondo quanto segue:

- **Parte 1:** la prima parte della norma, la UNI EN ISO 19650-1:2019 *"Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 1: Concetti e principi"* [11] , definisce i principi base riguardanti la gestione delle informazioni nei processi che includono l'impiego della metodologia BIM. Essa

è applicabile all'intero ciclo di vita dell'edificio e analizza i termini specifici correlati alla gestione delle informazioni, introduce una gerarchia dei requisiti informativi, delinea i principi alla base della gestione collaborativa delle informazioni digitali e descrive le caratteristiche fondamentali dell'ambiente di condivisione dati CDE o ACDat;

- **Parte 2:** la seconda parte della norma, la UNI EN ISO 19650-2:2019 *"Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 2: Fase di consegna dei cespiti immobili"* [12], anch'essa applicabile all'intero ciclo di vita dell'edificio, descrive tutti i requisiti relativi alla gestione delle informazioni con riferimento alla fase di consegna dello stesso. In particolare, la norma definisce le attività tramite le quali il team di consegna può produrre informazioni sfruttando la collaborazione;
- **Parte 3:** la terza parte della norma, la UNI EN ISO 19650-3:2021 *"Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 3: Fase gestionale dei cespiti immobili"* [13] descrive tutti i requisiti connessi alla gestione e allo scambio delle informazioni con riferimento alla fase di gestione dell'edificio (in un processo in cui venga impiegata la metodologia BIM);
- **Parte 5:** la quinta parte della norma, la UNI EN ISO 19650-5:2020 *"Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 5: Approccio orientato alla sicurezza per la gestione informativa"* [14] si focalizza sugli aspetti legati alla sicurezza delle informazioni in processi in cui viene impiegata la metodologia BIM. La norma si riferisce a tutte le organizzazioni che si occupino della gestione delle informazioni e quindi abbiano accesso a dati sensibili durante tutte le fasi del processo.

Infine, completa il quadro normativo nazionale in materia di digitalizzazione il DM 560/2017 [2], il quale sancisce, a partire dall'entrata in vigore, le modalità con cui verrà progressivamente introdotta la digitalizzazione nell'ambito delle costruzioni.

In particolare, esso *"definisce le modalità e i tempi di progressiva introduzione, da parte delle stazioni appaltanti, delle amministrazioni concedenti e degli operatori economici, dell'obbligatorietà dei metodi e degli strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture, nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle opere e relative verifiche"*. Con l'entrata in vigore del Decreto Baratono viene inoltre sancito l'obbligo, a partire dal 2019 e fino al 2025, di impiegare l'approccio BIM per opere aventi un importo maggiore o uguale di 100 milioni di euro. Viene stabilito, inoltre, che a partire dal 2025 l'adozione del BIM dovrà essere obbligatoria per tutte le opere indipendentemente dalla complessità.

1.3 La collaborazione basata sul BIM

1.3.1 Principi generali

L'introduzione della digitalizzazione, che ha trovato reale applicazione con lo sviluppo della metodologia BIM, ha notevolmente migliorato molti aspetti legati al campo delle costruzioni. Infatti, il passaggio dai processi tradizionali basati sugli strumenti CAD a quelli basati sull'approccio BIM e quindi sull'informazione di tipo digitale, ha comportato un'efficientamento dei processi stessi sotto molteplici punti di vista. Ciò che differenzia il nuovo approccio dall'approccio tradizionale, non è solo la natura dell'informazione (non più riportata in documenti cartacei ma divenuta digitale) ma anche e soprattutto le modalità con cui essa viene condivisa e trasmessa tra i soggetti coinvolti nel processo edilizio con riferimento all'intero ciclo di vita dell'edificio. Infatti, nell'approccio tradizionale, ogni soggetto coinvolto trasmette informazioni agli altri soggetti mediante documentazione cartacea e questo è spesso motivo di errori, imprecisioni, omissioni, rallentamenti o perdita di informazioni. Nel metodo di lavoro basato sul BIM, al contrario, la condivisione delle informazioni avviene in un unico ambiente definito ambiente di condivisione dati (ACDat) o Common Data Environment (CDE). Esso è una piattaforma nella quale tutti gli attori coinvolti in ogni singola fase e in ogni disciplina del processo, possono condividere, scambiare e archiviare informazioni digitali. Di conseguenza, la metodologia BIM è strettamente correlata a un metodo di lavoro di tipo collaborativo, ossia un metodo nel quale tutti i soggetti si interfacciano in un unico ambiente che rende possibile la condivisione in tempo reale delle informazioni digitali.

1.3.1 Lo standard tecnico sulla collaborazione

1.3.2.1 Scenario nazionale

La metodologia BIM, come si è detto, ha rivoluzionato completamente l'approccio al processo edilizio attraverso l'introduzione di un metodo di lavoro interamente basato sulla collaborazione, dove quest'ultima è intesa come la possibilità di svolgere tutte le attività connesse al processo stesso condividendo le informazioni digitali in un unico ambiente con il quale possano interagire tutti i soggetti coivolti. Tale metodo collaborativo può però essere realizzato concretamente solo impiegando un ambiente di lavoro condiviso, nonché una piattaforma in cui è possibile contenere tutte le informazioni digitali di interesse.

Nello scenario nazionale, il concetto di collaborazione o interoperabilità viene introdotto per la prima volta nel 2017, a seguito della pubblicazione di alcune parti della norma UNI 11337. In particolare, la norma definisce l'ambiente di condivisione dati o ACDat come *"una infrastruttura informatica di raccolta e gestione organizzata di dati"*, delineandone inoltre i requisiti fondamentali e sottolineando gli obiettivi da perseguire con il suo impiego.

Successivamente, ulteriori indicazioni vengono riportate nel Decreto Baritono (DM 560/2017 [2]), che definisce l'ACDat come "*un ambiente digitale di raccolta organizzata e condivisione di dati relativi ad un'opera e strutturati in informazioni relative a modelli ed elaborati digitali prevalentemente riconducibili ad essi, basato su un'infrastruttura informatica la cui condivisione è regolata da precisi sistemi di sicurezza per l'accesso, di tracciabilità e successione storica delle variazioni apportate ai contenuti informativi, di conservazione nel tempo e relativa accessibilità del patrimonio informativo contenuto, di definizione delle responsabilità nell'elaborazione e di tutela della proprietà intellettuale"*.

Infine, altri riferimenti all'ambiente di condivisione dati sono presenti nella UNI EN ISO 19650-1:2019 [11], norma che si propone di dettare i principi fondamentali alla base della gestione collaborativa delle informazioni e le caratteristiche dell'ambiente stesso.

1.3.2.2 L'ACDat secondo la norma UNI 11337

In Italia, il concetto di "ambiente di condivisione dati" o "ACDat" viene introdotto per la prima volta con le norme della serie UNI 11337 nel 2017 e ricalca la definizione dettata dai dispositivi normativi anglosassoni PAS, nei quali l'ACDat viene però indicato con il termine "Common Data Environment" o "CDE" e viene sostanzialmente definito come un ambiente virtuale in cui tutti i soggetti condividono e reperiscono tutte le informazioni digitali riguardanti una o più fasi del processo di interesse. Nella serie UNI, l'ACDat viene principalmente analizzato nelle parti 4, 5 e 6 [6][7][8].

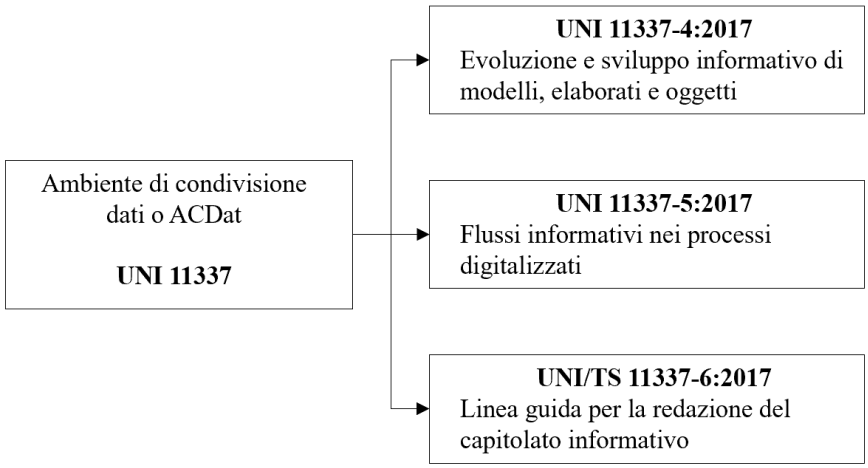

Figura 1.2 – L'ambiente di condivisione dati secondo la serie UNI 11337;

In particolare, le norme soprastanti introducono la piattaforma nell'ambito della descrizione del Capitolato informativo, ovvero un documento la cui redazione è in capo alla committenza e in cui devono essere indicati le esigenze e i requisiti informativi con riferimento al processo. Infatti, nel predisporre il CI, la committenza sarà tenuta a specificare i requisiti dell'ACDat oltre che i flussi informativi ad esso riferiti.

A differenza di quanto avviene nei riferimenti anglosassoni, nei quali il CDE viene suddiviso in quattro diverse aree, nella serie UNI non vi è alcuna esplicita indicazione circa la struttura che l'ambiente di condivisione dati deve possedere, ma, al contrario, vengono descritti semplicemente i requisiti fondamentali che devono essere soddisfatti dallo stesso. Tali requisiti sono riportati nella norma UNI 11337-5:2017 [7] e sono schematizzati secondo quanto segue:

- Accessibilità: l'ACDat deve risultare accessibile a tutti i soggetti coivolti nel processo e tale accessibilità deve rispondere a regole prestabilite;
- Tracciabilità delle revisioni: l'ambiente deve consentire il tracciamento e la successione storica di tutte le revisioni e le modifiche apportate alle informazioni contenute;
- Supporto di più formati: l'ambiente deve garantire il supporto di molteplici formati;
- Facilità di accesso: l'ambiente deve prevedere facilità di accesso alle informazioni digitali;
- Conservazione: l'ambiente deve garantire la conservazione nel tempo delle informazioni digitali contenute e non deve dar luogo alla perdita delle stesse.
- Garanzia di riservatezza e sicurezza: l'ambiente deve essere tale da non permettere la divulgazione delle informazioni;

Oltre ai requisiti sopracitati, la quinta parte della serie prevede anche una sezione nella quale sono riportate le seguenti indicazioni generali sulla gestione dell'ACDat:

- La gestione dell'ACDat è responsabilità della committenza che ha però la facoltà di decidere se affidare o meno tale incarico a soggetti esterni;
- La committenza ha inoltre il compito di specificare nel Capitolato informativo anche la struttura dei flussi informativi da e verso l'ACDat e quello di garantire che questi ultimi siano coerenti;
- La committenza ha il compito di specificare nel Capitolato informativo i nominativi dei responsabili della gestione dell'ACDat con riferimento ad ogni fase del processo; in particolare, nel caso in cui la gestione non ricada sul committente ma su un soggetto esterno, nel CI dovranno essere indicate le responsabilità dello stesso;

Essendo l'ACDat una piattaforma necessaria allo scambio e all'archiviazione di informazioni digitali riguardanti un dato processo e pertanto l'unico riferimento per reperire queste ultime, è necessario non solo che esso presenti i requisiti e le caratteristiche di cui sopra, ma anche che tutti i suoi contenuti siano corretti e coerenti. Per tale ragione la norma UNI 11337 prevede che ogni singolo contenuto informativo debba essere rappresentato da uno stato che può essere "di lavorazione" o "di

approvazione" e che il passaggio da uno stato all'altro possa avvenire solo a valle di specifiche verifiche. In particolare, nella norma UNI 11337-4:2017 [6] è riportata una scala comune a tutti i contenuti informativi all'interno dell'ambiente di condivisione dati, che si compone di quattro stati di lavorazione e di quattro stati di approvazione. La scala segue la struttura riportata di seguito.

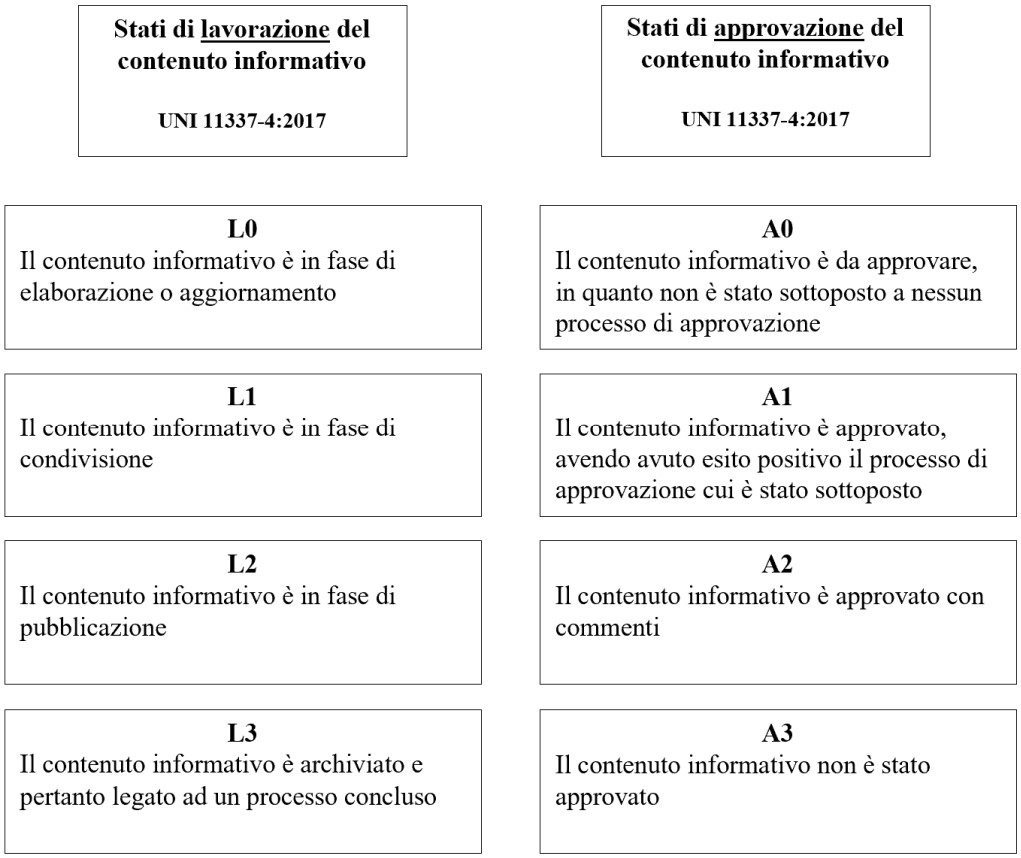

Figura 1.3 – Stati di lavorazione e stati di approvazione, UNI 11337-4:2017;

Affinché un contenuto informativo possa passare da uno stato ad un altro, è necessario che figure competenti realizzino una serie di controlli di coordinamento e una serie di verifiche. Esse sono regolamentate dalla norma UNI 11337-5:2017 [7], che definisce:

- Tre livelli di coordinamento (LC1, LC2, LC3);
- Tre livelli di verifica (LV1, LV2, LV3);

A meno di specifici impedimenti, le procedure di coordinamento e verifica sono condotte in maniera automatizzata mediante l'impiego di specifici strumenti software e sono

affidate, in base al livello, a determinati soggetti i cui compiti vengono specificati nel Capitolato informativo.

Per quanto concerne i controlli di coordinamento, essi sono sviluppati su tre livelli e sono finalizzati a garantire che vi sia coerenza tra i contenuti informativi riportati in un singolo modello, tra i contenuti informativi di più modelli (riferiti allo stesso processo) e tra contenuti informativi dei modelli e gli elaborati provenienti dagli stessi, e, infine tra elaborati ed elaborati.

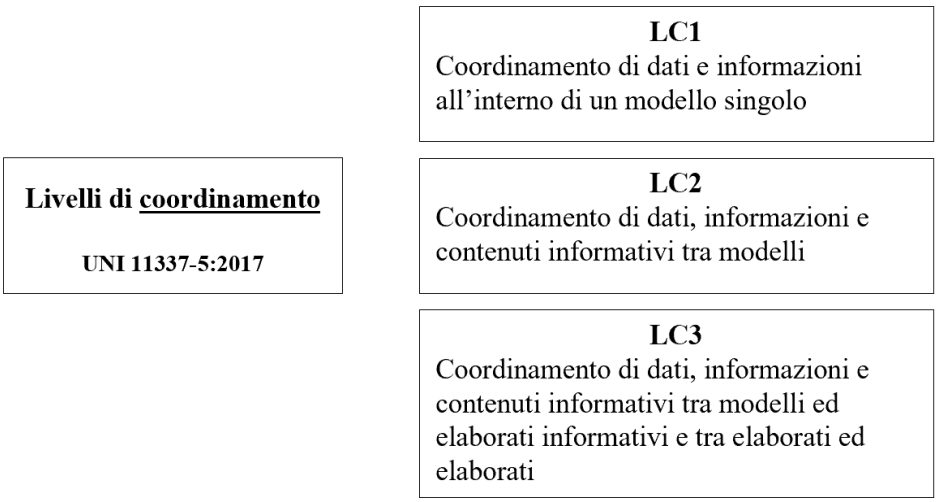

Figura 1.4 – Livelli di coordinamento, UNI 11337-5:2017;

- **Il coordinamento di primo livello (LC1)** è da intendersi come il coordinamento di dati e informazioni contenute in un unico modello grafico relativo al processo. Tale attività di coordinamento è generalmente affidata al soggetto responsabile del modello grafico;
- **Il coordinamento di secondo livello (LC2)** è da intendersi come il coordinamento di dati e informazioni contenute in più modelli. Tale attività di coordinamento è affidata a specifici soggetti designati dalla committenza e i cui nominativi sono riportati nel CI;
- **Il coordinamento di terzo livello (LC3)** è da intendersi come il coordinamento di informazioni provenienti da modelli grafici e informazioni non provenienti da modelli grafici, quali ad esempio documenti esterni o relazioni. Come accade nel precedente livello, anche tale attività è affidata a specifici soggetti.

Indipendentemente dal livello, le attività di coordinamento consistono nell'analisi e nel controllo di interferenze fisiche e informative ("Clash Detection"), di incoerenze informative ("Model e code checking") e nella risoluzione delle stesse.

Per quanto concerne le verifiche, esse consistono in controlli che devono essere effettuati in ogni singola fase del processo sui dati, sulle informazioni e sui contenuti informativi riguardanti modelli, oggetti ed elaborati. Anch'esse, come i controlli di coordinamento, si sviluppano su tre livelli.

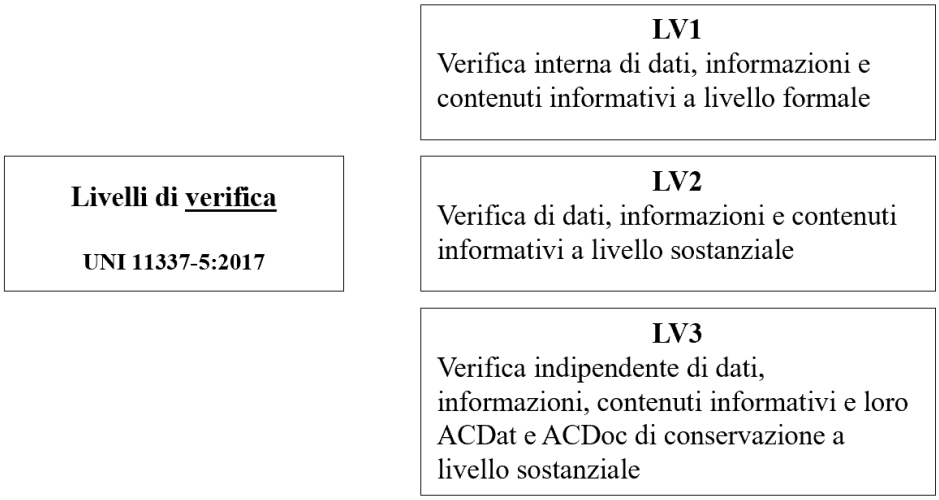

Figura 1.5 – Livelli di verifica, UNI 11337-5:2017;

- **La verifica di primo livello (LV1)** è da intendersi come la verifica della correttezza delle modalità di produzione, di consegna e di gestione dei dati, delle informazioni e del contenuto informativo. In particolare, è necessario verificare che queste attività seguano i criteri indicati nel CI e nel pGI;
- **La verifica di secondo livello (LV2)** è da intendersi come la verifica della leggibilità, della tracciabilità e della coerenza di dati e informazioni;
- **La verifica di terzo livelo (LV3)** è da intendersi come la verifica di leggibilità, tracciabilità e coerenza di tutte le informazioni contenute nell'ACDat, comprese quelle contenute nei modelli, negli elaborati e negli oggetti;

1.3.2.3 L'ACDat secondo la norma UNI EN ISO 19650

Nella serie UNI EN ISO 19650, serie di norme con cui in Italia sono state recepite le corrispondenti norme europee, il tema del metodo di lavoro collaborativo viene affrontato nella prima parte (UNI EN ISO 19650-1:2019 [11]) e, in particolare, nei capitoli undicesimo e dodicesimo. Nell'undicesimo capitolo vengono introdotti alcuni concetti alla base della gestione e produzione collaborativa delle informazioni digitali, mentre nel dodicesimo capitolo vengono delineate le caratteristiche dell'ambiente di condivisione dati ACDat.

Nell'undicesimo capitolo, la norma fa riferimento a due concetti già riportati nella UNI 11337-5:2017 [7], ovvero all'interferenza informativa (o Clash detection) e all'incoerenza informativa (o Model checking).

Nel dodicesimo capitolo vengono definiti alcuni concetti base riguardanti i contenuti informativi presenti nell'ACDat. Secondo la norma, tali contenuti informativi devono essere identificati nell'ambiente di condivisione dati da un codice di revisione e un codice di stato. In particolare, gli stati riconosciuti sono i seguenti:

- Stato di elaborazione/lavorazione: esso identifica un contenuto informativo che risulta ancora in fase di sviluppo e che non è quindi visibile né accessibile a soggetti non facenti parte del team di lavoro;
- Stato di condivisione: esso identifica un contenuto informativo che possa essere consultato da più team di lavoro, al fine di coordinare le attività. In particolare, un contenuto informativo che si trovi in questo stato, è consultabile ma non modificabile;
- Stato di pubblicazione: esso identifica un contenuto informativo che è stato approvato;
- Stato di archiviazione: esso identifica un contenuto informativo che precedentemente si trovava nello stato di pubblicazione ma che è già stato utilizzato e che risulta non più attivo;

Come già visto nella serie UNI 11337, anche la norma UNI EN ISO 19650-1:2019 [11] prevede che, per ogni passaggio da uno stato ad un altro, il contenuto informativo sia sottoposto da una serie di controlli e verifiche.

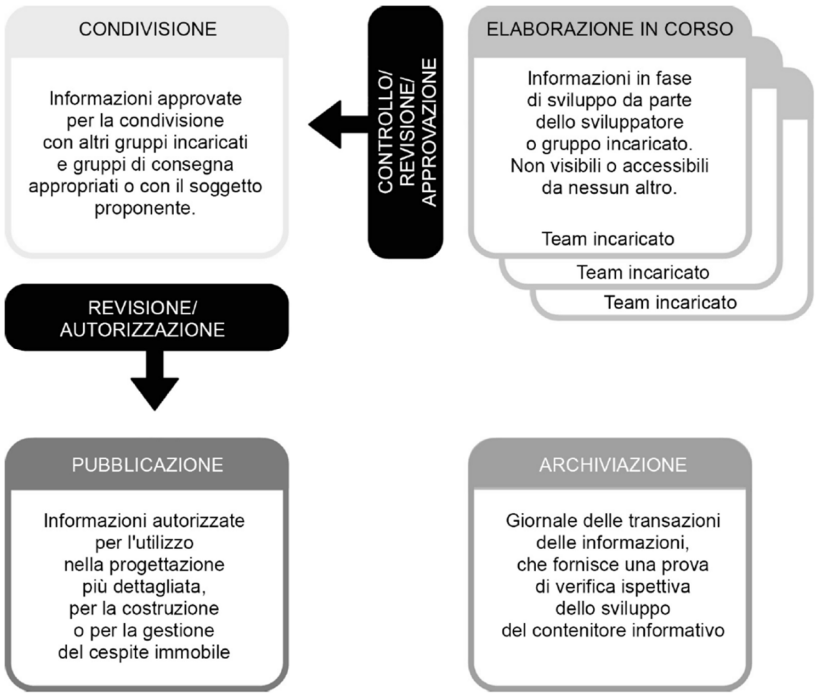

Figura 1.6 – Stati del contenuto informativo e verifiche, UNI EN ISO 19650-1:2019;

Le verifiche riportate dalla norma rientrano in due categorie e sanciscono il passaggio, per il contenuto informativo in esame, da uno stato ad un altro:

- Controllo/Revisione/Approvazione (*"The check/review/approve transition"*)
- Revisione/Autorizzazione (*"The review/authorize transition")*

Il primo controllo, che dovrebbe essere eseguito dal team di lavoro, è finalizzato al passaggio del contenuto informativo dallo stato di elaborazione/lavorazione allo stato di condivisione. Tale controllo consiste nel confrontare il contenuto informativo in esame con il piano di consegna delle informazioni e con gli standard e le procedure concordate per la produzione di contenuti informativi.

Il secondo controllo è invece finalizzato al passaggio del contenuto informativo dallo stato di condivisione allo stato di pubblicazione. Esso consiste nel separare i contenuti informativi che possono essere impiegati nella fasi successive da quelli che invece dovranno essere sottoposti a nuove modifiche da parte dei diversi team di lavoro.

1.3.2 La collaborazione e lo standard IFC

1.3.3.1 Origine e definizioni

La metodologia BIM si basa su un lavoro di tipo collaborativo. Ciò vuol dire che tutti i soggetti coinvolti in ogni fase del processo, coordinano le proprie attività interfacciandosi con un unico ambiente virtuale, l'ACDat, nel quale essi possono condividere con altri soggetti determinati contenuti informativi e dal quale essi possono estrarre le informazioni digitali di cui necessitano. Un metodo collaborativo di questo tipo, non incontra particolari ostacoli nel momento in cui tutti gli attori del processo impiegano lo stesso software. Tuttavia, in un processo edilizio sono coinvolti molti soggetti appartenenti in genere a campi disciplinari molto diversi. Di conseguenza, non sempre tutti i team coinvolti impiegano lo stesso strumento software e ciò rende difficile la collaborazione. Nasce da qui l'esigenza di introdurre un formato standard che sia neutro (cioè indipendente dal tipo di software impiegato) e che consenta lo scambio di informazioni anche tra soggetti che impiegano software diversi, senza che questo sia motivo di errori o di perdita di informazioni. Tale formato prende il nome di Industry Foundation Classes (IFC) e viene definito come *"uno standard open source per lo scambio di modelli di dati di costruzione utilizzati nella progettazione e nella costruzione di edifici con prodotti software diversi. È destinato allo scambio di informazioni all'interno di un team di progetto e tra applicazioni software diverse nelle fasi di progettazione, costruzione, approvvigionamento, manutenzione e messa in opera"* [15]. Il formato IFC viene introdotto per la prima volta negli Stati Uniti nel 1994 da un consorzio industriale allora costituito da dodici società. Negli anni successivi il consorzio ha permesso ad altre società di aderire, formando così un'Alleanza definita "International Alliance for Interoperability", il cui obiettivo era quello di incoraggiare la diffusione dello standard IFC. Oggi l'Alleanza prende il nome di BuildingSMART International ed è l'ente che a livello mondiale promuove l'impiego della metodologia BIM.

1.3.3.2 Concetti di base

L'IFC è uno standard internazionale aperto per il BIM, oggi regolamentato dal riferimento internazionale ISO 16739-1:2018 "*Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - Part 1: Data schema"* [16]. Esso è fondamentale per garantire l'effettiva concretizzazione del metodo di lavoro collaborativo su cui la metodologia BIM si basa. Più nello specifico, l'IFC è in grado di

rappresentare e contenere una vasta gamma di informazioni che comprendono: l'identità, la geometria, le relazioni e le proprietà. Ciò vuol dire che un oggetto che venga convertito in un modello di dati IFC, sarà in esso rappresentato dal proprio nome, dalla propria funzione o tipologia, dalla propria geometria, dalle proprietà associate (a titolo di esempio il colore o il materiale), e, infine, dalle relazioni con altri oggetti, con processi o con attori dei processi.

Per capire come utilizzare efficacemente lo standard IFC al fine di migliorare la collaborazione basata sul metodo BIM, è necessario conoscere alcuni concetti di base che possiamo raggruppare in tre categorie: il formato di un file IFC, le versioni IFC, la definizione della vista del modello (MVD).

Per quanto concerne il formato, un file IFC può esistere in tre diversi formati, i quali vengono descritti nel dettaglio da BuildingSMART International:

- Il formato STEP Physical File (SPF): è il formato più impiegato ed è un formato di testo basato sullo standard ISO con estensione ".ifc";
- Il formato Extensible Markup Language (XML): è un formato basato sullo standard ISO per la rappresentazione dei dati STEP in formato XML ed ha estensione ".ifcXML";
- Il formato ZIP: è un formato con estensione ".ifcZIP" in cui i dati sono compressi e possono essere codificati come SPF o XML;

Format	Extension	MIME Type	Text	Indexed	Size	Summary
Official						
STEP Physical File (SPF)	.ifc	application/x-step	Yes	No	100%	STEP Physical Format (SPF or IFC-SPF) is the most widely used format for IFC in practice, which is the most compact of the formats listed that can be read as text. IFC-SPF is based on the ISO standard for clear text representation of EXPRESS data models ISO 10303-21
Extensible Markup Language (XML)	.ifcXML	application/xml	Yes	No	113%	Extensible Markup Language (XML) provides enhanced readability and benefits from a broad range of software tools. ifcXML is based on the ISO standard for representation of STEP data in XML format ISO 10303-28
ZIP	.ifcZIP	application/zip	No	No	17%	IFC data may embedded within a ZIP file. The embedded data may be encoded as either SPF or XML, where the resulting size is typically comparable.

Figura 1.7 – Formati di file IFC, BuildingSMART International;

Per quanto riguarda le versioni, esse vengono identificate attraverso una notazione che prende il nome di "Major.Minor.Addendum.Corrigendum". Nella notazione, il primo valore rappresenta la Major version, ovvero la versione principale, il secondo rappresenta la Minor version, ovvero la versione secondaria, il terzo rappresenta l'addendum, nonché un miglioramento delle funzionalità già esistenti e l'ultimo rappresenta il corrigendum, ovvero un miglioramento della documentazione. Attualmente sono disponibili due sole versioni IFC, di cui la seconda è quella di riferimento nonché la più utilizzata:

- IFC4 ADD2 TC1
- IFC 2x3 TC1

Le altre versioni elaborate sono state ritirate e sono ad oggi non più disponibili. Oltre alle due versioni correnti, è in fase di sviluppo una nuova versione con la quale BuildingSMART International tenta di risolvere le problematiche di interoperabilità riscontrate nelle precedenti versioni.

Version	Name (HTML Documentation)	ISO publication	Published (yyyy-mm)	Current Status	HTML download (ZIP)	EXPRESS	XSD	pSet XSD	OWL HTML	RDF	TTL
4.3.rc4	Coming soon	-	Coming soon	In progress							
4.3.rc3	IFC4.3 RC3	-	2021-03	Candidate							
4.3.rc.2	IFC4.3 RC2	-	2020-11	Archived				-			
4.3.rc.1	IFC4.3 RC1	-	2020-04	Archived				-			TTL IFC4.3 RC1
4.2.0.0	IFC4.2	-	2019-04	Withdrawn	ZIP	EXP	IFC4x2.xsd	-			
4.1.0.0	IFC4.1	-	2018-06	Withdrawn	ZIP	EXP	IFC4x1.xsd	-	ifcOWL IFC4.1	RDF	TTL
4.0.2.1	IFC4 ADD2 TC1	ISO 16739-1:2018	2017-10	Official	ZIP	EXP	IFC4.xsd	-	ifcOWL IFC4 ADD2 TC1	RDF	TTL
4.0.2.0	IFC4 ADD2	-	2016-07	Retired	ZIP	EXP	IFC4_ADD2.xsd	-	ifcOWL IFC4 ADD2	RDF	TTL
4.0.1.0	IFC4 ADD1	-	2015-06	Retired	ZIP	EXP	IFC4_ADD1.xsd	-	ifcOWL IFC4 ADD1	RDF	TTL
4.0.0.0	IFC4	ISO 16739:2013	2013-02	Retired	ZIP	EXP	ifcXML4.xsd	PSD_IFC4.xsd	ifcOWL IFC4	RDF	TTL
2.3.0.1	IFC2x3 TC1	ISO/PAS 16739:2005	2007-07	Official	ZIP	EXP	IFC2X3.xsd	PSD_R2x3.xsl	ifcOWL IFC2x3 TC1	RDF	TTL
2.3.0.0	IFC2x3	-	2005-12	Retired	ZIP	EXP	-	-	ifcOWL IFC2x3	RDF	TTL
2.2.1.0	IFC2x2 ADD1	-	2004-07	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.2.0.0	IFC2x2	-	2003-05	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.1.1.0	IFC2x ADD1	-	2001-10	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.1.0.0	IFC2x	-	2000-10	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.0.0.0	IFC2.0	-	1999-10	Retired	-	-	-	-	-	-	-
1.1.1.0	IFC1.5 ADD1	-	1998-08	Retired	-	-	-	-	-	-	-

Figura 1.8 – Versioni correnti IFC, BuildingSMART International;

Altro aspetto che è necessario tenere in considerazione, è la Model View Definition (MVD), nonché la definizione della vista del modello. Una MVD o definizione della vista di un modello, viene definita da BuildingSMART come *"un sottoinsieme dello schema IFC che definisce uno scambio di dati per un uso o flusso di lavoro specifico"*. Pertanto, una definizione della vista di un modello consente di ottenere un efficace scambio di informazioni, in quanto consente di estrapolare dallo schema completo IFC, solamente quelle di cui si necessita per compiere una determinata attività. Le versioni MVD sono molteplici e vengono fornite da BuildingSMART International.

1.3.3.3 Struttura di un file IFC

Al fine di garantire una corretta interpretazione delle informazioni digitali, è importante conoscere, oltre ai concetti di base, la struttura di uno schema IFC. Qualora venga aperto con un editor di testo, un file IFC si presenta con un insieme di righe di testo nel quale possiamo individuare un'intestazione e un corpo. Nell'intestazione vengono riportate informazioni generali sul modello, come ad esempio la versione IFC impiegata per l'esportazione, lo strumento software mediante il quale è stato realizzato il modello, e la definizione MVD. Il corpo, invece, contiene informazioni specifiche sulle entità e sull'insieme di paramentri che le definiscono. Un'entità è un oggetto univocamente definito all'interno dello schema IFC e a cui viene associato un insieme di parametri di default che prende il nome di "P-set" (Property Set). Ciò significa che gli attributi e le proprietà che nello schema IFC saranno associate ad un determinato oggetto del modello, dipenderanno completamente dall'entità selezionata per lo stesso. Infatti, qualora uno specifico oggetto non venisse associato alla giusta entità, questo non potrebbe essere descritto nello schema IFC attraverso gli attributi corretti. Quindi, in conclusione, nel corpo dello schema IFC vengono riportate tutte le entità corredate dalla propria identità (e quindi dal proprio nome, dalla propria tipologia e/o dalla propria funzione) dalla geometria, dagli attributi e dalle relazioni.

CAPITOLO 2

LA REALTÀ MIXATA

2.1 Origine: lo spettro Realtà-Virtualità

Il termine "Realtà Mixata" dall'inglese "Mixed Reality" o MR è stato per la prima volta introdotto nel 1994 in un saggio di P.Milgram, F. Kishino, A. Utsumi e F. Kishino nel quale gli autori hanno delineato il concetto di "Spettro di Realtà-Virtualità", dall'inglese "Reality-Virtuality Continuum" [17]. Tale modello analizza l'intero spettro delle tecnologie che si interpongono tra il mondo fisico, cioè quello reale e il mondo digitale, cioè quello virtuale, collocati ai poli opposti.

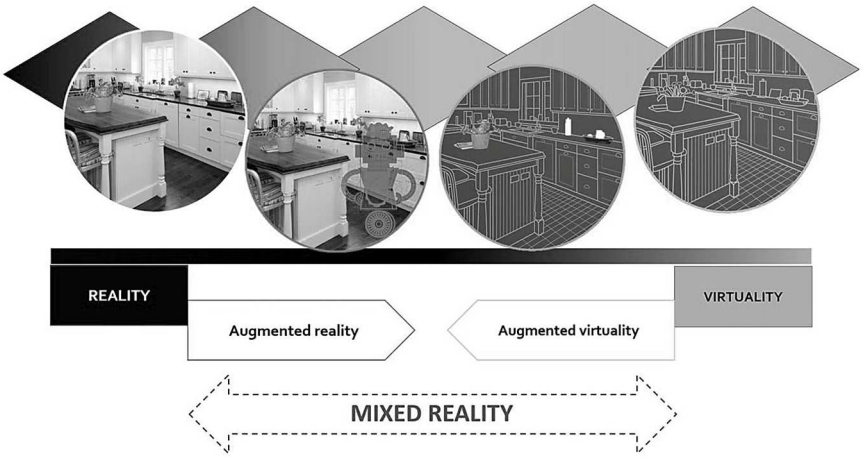

Figura 2.1 – Rappresentazione dello spettro Realtà-Virtualità;

All'estremità sinistra dello spettro è collocato il mondo fisico o reale, che si definisce come tutto ciò che possiamo percepire con il solo uso dei sensi e con cui possiamo interagire in maniera diretta. All'estremità destra è invece collocato il mondo digitale o virtuale, che fa capo alla Realtà Virtuale o Virtual Reality (VR), ovvero una tecnologia che, mediante l'utilizzo di un visore o di un altro dispositivo elettronico, isola l'utente dal mondo fisico sostituendosi artificialmente ad esso. Pertanto, a differenza del mondo reale, il mondo virtuale non è realmente esistente e non può essere percepito se non a mezzo di un dispositivo elettronico. Nella parte centrale dello spettro è collocata la Realtà Mixata o Mixed Reality (MR), che viene definita come una tecnologia la cui peculiarità

è quella di essere determinata a mezzo di una combinazione tra il mondo fisico e il mondo virtuale. Tale combinazione può avvenire in molteplici modi, dando così origine a più tecnologie diverse tra loro, tra cui troviamo:

a) **La Realtà Aumentata o Augmented Reality (AR)**, tecnologia nella quale si ha una preponderanza del mondo fisico/reale rispetto a quello digitale/virtuale. Infatti, impiegando la Realtà Aumentata è possibile sovrapporre elementi digitali al mondo reale "aumentando" così la realtà, cioè arricchendo quest'ultimo con elementi di natura digitale;

b) **Virtualità Aumentata o Augmented Virtuality (AV)**, tecnologia nella quale si ha una preponderanza del mondo virtuale/digitale rispetto a quello fisico/reale. In particolare, tramite l'impiego della Virtualità Aumentata è possibile inserire oggetti reali in un ambiente generato artificialmente, quindi virtuale;

Come si nota nella *Figura 2.1*, entrambe le tecnologie sopracitate sono infatti collocate nella parte centrale dello spettro e appartengono all'ambito della Realtà Mixata.

In conclusione, all'interno dello spettro di Realtà-Virtualità, possiamo distinguere tre categorie di natura estremamente diversa: la Realtà Virtuale, costituita interamente da oggetti digitali, la Realtà Mixata, che comprende la Realtà Aumentata e la Virtualità Aumentata ed è una combinazione tra oggetti reali e virtuali, e, in fine, la realtà vera e propria. Da quanto si apprende dal modello definito da P.Milgram, F. Kishino, A. Utsumi e F. Kishino [17] la Realtà Mixata o Mixed Reality, quindi, non è altro che una tecnologia che si caratterizza per la compresenza di oggetti reali e virtuali, finalizzata pertanto alla realizzazione di un ambiente in cui l'utente può considerare gli oggetti virtuali come se fossero realmente esistenti e, di conseguenza, può interagire con essi. Ciò che distingue tale tecnologia dalle altre e in particolare dalla Realtà Virtuale, è il fatto che mentre in quest'ultima l'utente viene isolato dal mondo reale e non ha pertanto percezione di cosa accade nell'ambiente in cui si trova, nella prima questo non si verifica poiché gli elementi virtuali e quelli reali sono visualizzati dall'utente contemporaneamente. Ciò che invece distingue la Realtà Mixata dalla realtà vera e propria è il fatto che quest'ultima viene "aumentata" mediante l'introduzione di elementi virtuali/digitali.

2.2 Stato dell'arte

2.2.1 Introduzione

La Realtà Mixata, dall'inglese Mixed Reality (MR) è una tecnologia che fonde il mondo reale e il mondo virtuale tramite la proiezione di ologrammi, cioè elementi virtuali che vengono posizionati nel mondo fisico come se fossero parte dello stesso e con i quali l'utente può interagire. Tale tecnologia trova oggi applicazione in molteplici ambiti, primo fra tutti quello industriale ed è oggetto di studio di numerose ricerche in tutto il mondo. Si riportano di seguito alcune ricerche scientifiche che analizzano il possibile impiego della Realtà Mixata nell'ambito delle costruzioni e successivamente, si riportano alcune applicazioni commerciali della stessa.

2.2.2 La ricerca scientifica

Nel settore delle costruzioni sono state condotte e sono tutt'ora condotte delle ricerche finalizzate a sottolineare le grandi potenzialità della Realtà Mixata. In tal senso, questa tecnologia viene studiata in qualità di strumento di supporto a varie attività tipiche dell'edilizia quali ad esempio la supervisione in opera, la progettazione, l'individuazione dei rischi e l'esecuzione. Oltre alle tipiche attività presenti nel processo edilizio, sono in corso ricerche aventi come oggetto di studio le potenzialità della tecnologia nel campo del training. Vengono di seguito riportati degli esempi.

Nell'articolo *"Closing the skill gap: construction and engineering education using mixed reality – a case study"* [18] viene descritta una ricerca condotta in California che riguarda l'ausilio della Realtà Mixata nell'ambito della formazione degli studenti di ingegneria civile. Lo scopo della ricerca è quello di dimostrare che la tecnologia è in grado di ridurre il grande divario esistente tra le conoscenze teoriche e quelle tecniche degli studenti ed è quindi in grado di migliorare le competenze tecniche degli stessi, che generalmente si acquisiscono solamente con l'esperienza lavorativa.

Nell'articolo *"Presence, mixed reality and risk-taking behavior: a study in safety interventions"* [19] viene invece presentato uno studio condotto negli Stati Uniti nel quale la Realtà Mixata viene utilizzata come supporto all'analisi dei comportamenti a rischio assunti dai lavoratori del settore edile. In tal senso, la tecnologia viene sfruttata per delineare diversi scenari che simulano l'esecuzione dei lavori con la presenza di uno o più dispositivi di sicurezza. Inserendo i lavoratori in tali scenari è possibile analizzare i

loro comportamenti e quindi capire quali sono i comportamenti a rischio che essi mettono in atto durante l'esecuzione e al variare dei dispositivi di sicurezza presenti nello scenario. Il vantaggio offerto dalla Realtà Mixata è dato dalla possibilità di individuare e delineare i comportamenti rischiosi di cui sopra, senza che si verifichino incidenti, poiché l'analisi si basa su simulazioni piuttosto che su scenari reali.

L'articolo *"Can mixed reality enharce safety communication on construction sites? An industry perspective"* [20] propone invece l'introduzione della tecnologia di Realtà Mixata nell'ambito della sicurezza e, in particolare, nell'ambito della comunicazione tra i diversi soggetti coinvolti nell'analisi e nell'individuazione dei rischi. Lo scopo dello studio è quello di dimostrare che l'impiego della Realtà Mixata nell'individuazione dei potenziali rischi in sito, non solo migliora l'individuazione dei rischi stessi, ma è in grado di ridurre incomprensioni ed errori che si verificano nel processo comunicativo tra i vari soggetti interessati. Dalla ricerca emerge infatti che, rispetto ai normali mezzi comunicativi quali telefonate, videoconferenze o email, la Realtà Mixata facilita non solo la trasmissione e la comprensione dei messaggi ma anche la stessa individuazione dei rischi in loco grazie alla presenza di un campo visivo condiviso e all'assistenza remota. Inoltre, l'impiego della tecnologia riduce drasticamente i tempi e gli errori associati a tali attività grazie alla possibilità di inserire delle annotazioni in tempo reale.

L'articolo *"Remote interactive collaboration in facilities management using bim-based mixed reality"* [21] propone un nuovo approccio che impiega tecnologia nell'ambito del facility management. In particolare, l'approccio si propone di utilizzare la Realtà Mixata durante le operazioni tipiche del facility, con lo scopo di migliorare l'interazione tra il soggetto in loco e il Facility Manager in remoto. L'impiego della tecnologia in operazioni relative al facility management che devono essere svolte obbligatoriamente sul campo, mette in luce molti vantaggi quali ad esempio una migliore e più tempestiva individuazione degli "oggetti" di lavoro da parte del soggetto in loco, un minor margine di errore per i dati in entrata e in uscita e una efficace comunicazione tra i soggetti coinvolti con possibilità, per il Facility Manager, di fornire istruzioni in tempo reale.

Nell'articolo *"Bim based mixed reality application for supervision of construction"* [22] viene proposta un'applicazione della Realtà Mixata in abbinamento ai dati contenuti nel modello BIM del caso studio e ai video del sito realizzati mediante l'ausilio di droni. Lo scopo della ricerca è quello di impiegare la tecnologia per determinare le differenze e le

non conformità esistenti tra il costruito e il progettato. Nello specifico, la Realtà Mixata viene considerata come una tecnologia a supporto della supervisione intesa come controllo della rispondenza tra quanto realizzato e quanto contenuto nel modello BIM di riferimento. Grazie alla tecnologia, è possibile sovrapporre il modello direttamente allo scenario reale e, in questo modo, individuare molto velocemente le non conformità. Inoltre, questa metodologia consente di individuare un numero maggiore di errori rispetto a quanto potrebbe accadere in situazioni comuni nelle quali non è possibile accedere ad una sovrapposizione tra il progettato e il costruito.

Nell'articolo *"Mixed reality technology applications in construction equipment operator training"* [23] vengono analizzate due applicazioni che impiegano la Realtà Mixata nel settore delle costruzioni e nello specifico nell'ambito delle attrezzature pesanti. In particolare, la prima applicazione riguarda l'impiego della tecnologia nella manutenzione di tali attrezzature, mentre la seconda si riferisce al training. Dalla ricerca emerge che utilizzare la tecnologia nella manutenzione delle attrezzature pesanti comporta numerosi vantaggi quali ad esempio la possibilità di ridurre non solo i costi connessi alle riparazioni, ma anche i tempi, scongiurando in questo modo considerevoli ritardi nell'esecuzione dei lavori. Per quanto concerne il training, questo è utile ad addestrare gli operatori di attrezzature pesanti attraverso la realizzazione di scenari virtuali di allenamento di ogni tipo senza sostenere i costi elevati che una vera e propria sessione sul campo comporterebbe.

2.2.3 La Realtà Mixata nel settore delle costruzioni

2.2.3.1 Le applicazioni commerciali

La Realtà Mixata o Mixed Reality trova concretamente applicazione in molteplici campi, primo fra tutti quello industriale. Tuttavia, anche nell'ambito delle costruzioni, molte aziende hanno introdotto strumenti, dispositivi e pacchetti software al fine di promuovere l'impiego della nuova tecnologia nelle attività che costituiscono il processo edilizio. Si riportano di seguito alcuni esempi.

2.2.3.2 Bentley Systems

All'azienda Bentley Systems si deve il pacchetto software "SYNCHRO" a supporto della gestione digitale delle costruzioni. Nel 2019, grazie alla soluzione SYNCHRO/HoloLens 2, la stessa azienda si è qualificata finalista nell'assegnazione del premio "Partner of the

year" di Microsoft. In particolare, la soluzione sfrutta l'esperienza di Realtà Mixata offerta da Microsoft HoloLens 2 per la visualizzazione 4D dei digital twin progettuali (dove un "digital twin" indica un gemello virtuale, ovvero un modello virtuale che rappresenti in tutto e per tutto l'oggetto fisico in esame).

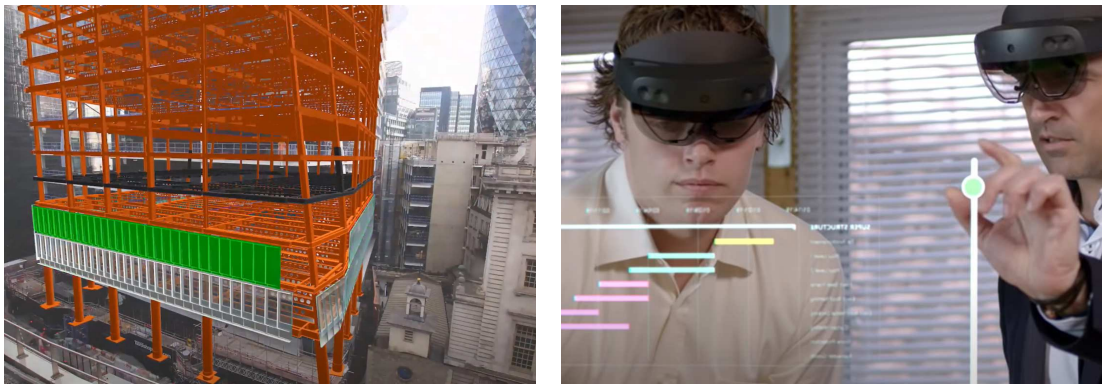

Figura 2.2– Esempio applicativo che mostra la soluzione SYNCHRO/Hololens 2, Bentley Systems;

Nello specifico, il pacchetto software comprende quattro diverse risorse tutte finalizzate alla digitalizzazione nel settore delle costruzioni:

SYNCHRO 4D è una soluzione che, sfruttando la Realtà Mixata e quindi la visualizzazione, consente di eseguire virtualmente le attività relative alla pianificazione, alla simulazione e al controllo dei progetti. Infatti, tale soluzione consente di ottenere l'aggiornamento in tempo reale della pianificazione e dello stato di avanzamento lavori, eliminando così errori e rilavorazioni e, conseguentemente, riducendo i tempi e costi legati al processo edilizio. Ulteriore vantaggio offerto è la possibilità di eseguire attività di revisione e supervisione in remoto coinvolgendo contemporaneamente tutti i soggetti interessati, in modo tale da incrementare la qualità dell'opera e identificare in anticipo le problematiche e le eventuali strategie risolutive.

SYNCHRO Field è una soluzione prevalentemente impiegata in cantiere congiuntamente alla Realtà Mixata. Essa offre la possibilità di visualizzare in tempo reale la pianificazione di riferimento, i modelli e ogni informazione che si renda necessaria in corso d'opera. Il vantaggio è quello di accelerare non solo l'acquisizione, ma anche l'aggiornamento dei dati e di facilitare, di conseguenza, l'individuazione e la risoluzione dei problemi.

SYNCHRO Control è una soluzione utilizzata prevalentemente nella fase di controllo e consente di ottenere un'analisi molto rapida dello stato di avanzamento dei lavori e, più

in generale, del progetto, velocizzando in questo modo le decisioni la cui responsabilità è affidata al team di gestione.

SYNCHRO AWP fornisce un'unica interfaccia per consentire ai team coinvolti nel processo esecutivo di accedere ai dati di progettazione e di esecuzione, favorendo in questo modo un lavoro di tipo collaborativo.

In conclusione, la soluzione SYNCHRO/HoloLens 2 proposta da Bentley Systems viene impiegata principalmente a sostegno dei seguenti campi:

- *Pianificazione*: la soluzione consente di realizzare una pianificazione 4D che offre notevoli vantaggi dal punto di vista della sicurezza (consentendo di prevedere con anticipo i possibili rischi), dal punto di vista della qualità dei progetti (poiché vi è maggiore coordinamento tra i soggetti coinvolti) e dal punto di vista di tempi e costi (poiché la riduzione degli errori commessi consente di evitare che vi siano rilavorazioni);
- *Controllo:* la soluzione consente di conoscere l'avanzamento dei lavori in tempo reale e, di conseguenza, comporta una riduzione dei tempi nel processo decisionale, una rapida individuazione dei problemi e la possibilità di intervenire tempestivamente per correggere gli stessi;
- *Esecuzione:* la soluzione consente di ottenere grandi miglioramenti anche dal punto di vista dell'esecuzione dei lavori, poiché gli esecutori e in generale tutti i soggetti coinvolti, possono accedere sempre e ovunque si trovino, a qualunque informazione di cui necessitano. Ciò migliora notevolmente la qualità dell'opera riducendo gli errori in fase esecutiva;
- *Sicurezza:* la soluzione consente una migliore individuazione dei rischi e, di conseguenza, un incremento della sicurezza dei lavoratori;

2.2.3.3 Trimble

Trimble ha lanciato un dispositivo chiamato *"Trimble XR10"* che viene abbinato a Microsoft HoloLens 2 e che costituisce ad oggi il dispositivo più avanzato nell'ambito della Realtà Mixata per lo svolgimento delle attività tipiche del settore delle costruzioni. Il principale utilizzo del dispositivo riguarda il cantiere e soprattutto l'attività di supervisione, nonché l'attività di controllo della rispondenza tra il costruito e il progettato. Trimble XR10 consente di sovrapporre il modello dell'edificio alla realtà, facilitando e

velocizzando le operazioni di posa in opera e riducendo errori ed incongruenze tipiche della fase esecutiva. Inoltre, il dispositivo viene impiegato nelle attività che coinvolgono gli impianti, in quanto sfruttandolo è possibile analizzare ciò che è presente al di sotto dei pavimenti o attraverso i muri.

Figura 2.3 – Dispositivo Trimble XR10, Trimble;

2.2.3.4 Avanade

L'azienda Avanade è stata la prima in Italia a sperimentare il dispositivo Microsoft HoloLens di prima generazione. Infatti, all'azienda si devono due demo che riguardano l'ambito di arredo di interni e il training. Per quanto concerne l'arredo di interni, la tecnologia viene utilizzata per migliorare il processo decisionale riguardante lo studio delle diverse alternative, mentre nell'ambito del training la tecnologia viene sfruttata per istruire i soggetti ad agire in contesti dispendiosi o pericolosi. Nell'impiegare l'esperienza di Realtà Mixata offerta da Microsoft HoloLens, l'azienda Avanade si è concentrata principalmente sui seguenti aspetti:

- Miglioramento dell'efficienza: la tecnologia consente di ridurre in modo significativo i viaggi, che vengono sostituiti con attività quali l'assistenza in remoto e la telepresenza;
- Aumento della produttività: la tecnologia consente di ridurre il numero dei guasti andando ad individuare con anticipo le eventuali problematiche. Di conseguenza si assiste anche ad una riduzione dei tempi di riparazione;
- Riduzione delle tempistiche nei processi decisionali: realizzando simulazioni che diano un quadro chiaro della situazione, è possibile ridurre i tempi necessari allo studio delle diverse alternative e in generale è possibile accelerare i processi decisionali;

2.2.3.5 Würth

L'azienda Würth utilizza la Realtà Mixata nell'ambito della piattaforma Holomaintenance, la quale è utile a garantire l'assistenza in remoto per lo svolgimento di attività tecniche complesse o per la risoluzione di problemi e guasti. Holomaintenace, che trova applicazione soprattutto nell'ambito industriale, si propone di velocizzare al massimo gli interventi di assistenza, riducendo i viaggi in loco per lo svolgimento di attività manutentive e gli errori tipici di tali attività e garantendo una grande tempestività nella risoluzione delle problematiche e, conseguentemente, una grande riduzione dei blocchi di produzione. Nell'ambito delle costruzioni, tale soluzione viene principalmente sfruttata nel Facility Management.

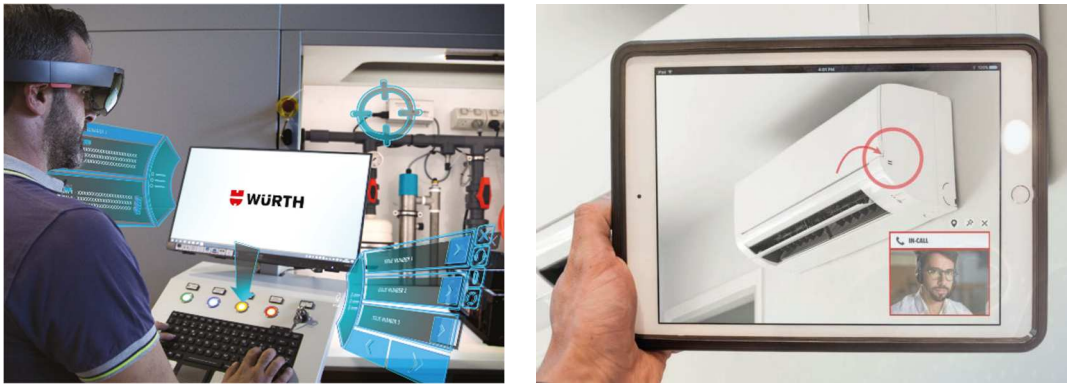

Figura 2.4 – Holomaintenance, Würth;

2.3 Dispositivi per esperienze di Realtà Mixata: Microsoft HoloLens

2.3.1 Indicazioni generali

Microsoft HoloLens è un dispositivo sviluppato da Microsoft in una prima versione nel 2015 (Microsoft HoloLens) e in una seconda versione nel 2019 (Microsoft HoloLens 2) ed è uno dei dispositivi più completi sul mercato in grado di supportare esperienze di Realtà Mixata. Microsoft HoloLens può essere definito un "computer olografico" in quanto esso è in grado di produrre esperienze di Realtà Mixata mediante la visualizzazione di ologrammi che si sovrappongono al mondo reale. Gli ologrammi che il dispositivo sovrappone alla realtà, sono oggetti virtuali dotati di luce e suono, i quali rispondono ai comandi vocali, allo sguardo e al movimento dell'utente. Tali ologrammi vengono inseriti in punti precisi del mondo reale e sono in grado di interagire con lo

stesso. In questo modo, gli elementi digitali o virtuali si fondono perfettamente con la realtà non isolando l'utente (a differenza di quanto accade nella Realtà Virtuale) e permettendo allo stesso di muoversi nell'ambiente in sicurezza e di interagine con persone ed oggetti in esso presenti. Ciò che rende l'esperienza ancora più realistica è la capacità del dispositivo di eseguire un mapping spaziale acquisendo continuamente informazioni sull'ambiente reale e sugli oggetti in esso presenti. Tale mapping fornisce in tempo reale al dispositivo informazioni aggiornate sulla realtà permettendogli di riconoscere la posizione dell'utente. Ciò comporta notevoli vantaggi ed è alla base di una serie di funzionalità dello strumento, come ad esempio la possibilità di fissare gli ologrammi in punti prefissati della realtà.

2.3.2 Dispositivo di prima generazione

2.3.2.1 Specifiche tecniche

Il dispositivo Microsoft HoloLens di prima generazione, rilasciato da Microsoft nel 2015, è oggi lo strumento più completo per lo sviluppo di esperienze di Realtà Mixata. Esso viene impiegato in molteplici settori, incluso quello delle costruzioni, spesso in abbinamento ad altri strumenti. Nella documentazione dedicata al dispositivo, Microsoft riporta una serie di specifiche tecniche riguardanti i processori, i software preinstallati, i sensori, la connettività, l'input e l'output, la memoria, la visualizzazione e la potenza del dispositivo. Tali specifiche sono riportate di seguito.

Figura 2.5 – Dispositivo Microsoft HoloLens di prima generazione, Microsoft;

Processori: Intel a 32 bit con supporto TPM 2.0 e Unità di elaborazione Microsoft Holographic personalizzata (HPU 1.0);

Memoria: flash da 64 GB e 2 GB di RAM;

Software preinstallati: Windows 10, Windows Store, Holograms, Microsoft Edge, Foto, Impostazioni, Windows Feedback, Calibrazione, Informazioni sui movimenti;

Sensori: un'unità di misura inerziale (IMU), quattro fotocamere di comprensione dell'ambiente, una fotocamera di profondità, una foto da 2MP/videocamera HD, acquisizione in realtà mista (MRC, Mixed Reality Capture), quattro microfoni e un sensore di luce ambientale;

Input, output e connettività: parlanti predefiniti, jack audio da 3.5 mm, volume su/giù, luminosità verso l'altro/verso il basso, pulsante di accensione, LED di stato della batteria, wi-fi 802.11 ac, Micro USB 2.0 e bluetooth 4.1 LE;

Potenza: durata della batteria, due/tre ore di utilizzo attivo, fino a due settimane di tempo di standby, completamente funzionante durante l'addebito e raffreddamento passivo (senza ventole);

Visualizzazione: lenti olografiche see-through, risoluzione ortografica due motori hd 16:9 leggeri e densità ortografica >2,5 k radianti (punti luce per radiante);

2.3.2.2 Funzionalità e comandi riconosciuti

La peculiarità del dispositivo Microsoft HoloLens è quella di riuscire a sovrapporre oggetti digitali, ossia ologrammi, al mondo reale, generando così quella che viene definita un'esperienza di Realtà Mixata. Tali ologrammi possono essere ancorati a punti specifici dell'ambiente reale o possono muoversi insieme al dispositivo e quindi insieme all'utente che lo indossa. Queste operazioni vengono compiute direttamente da quest'ultimo tramite determinati movimenti e comandi vocali riconosciuti dal dispositivo.

Per quanto concerne i movimenti dell'utente, il dispositivo Microsoft HoloLens riconosce due diverse tipologie di movimento, a condizione che quest'ultimo venga effettuato all'interno di un riquadro di visuale ben definito. Infatti, i sensori di HoloLens sono in grado di intercettare solamente tutto ciò che si trova all'interno del riquadro, che a sua volta si sposta insieme all'utente. Di conseguenza, i movimenti effettuati dall'utente con la mano posizionata fuori dal riquadro, non verranno in alcun modo individuati.

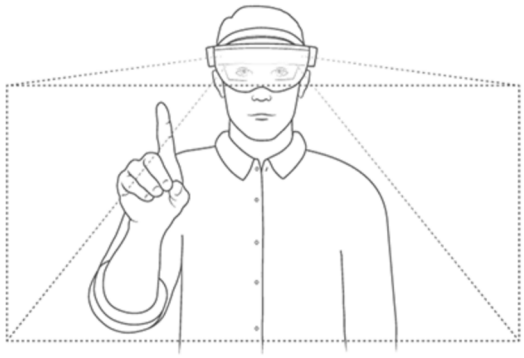

Figura 2.6 – Riquadro della visuale del dispositivo Microsoft HoloLens;

Il primo movimento riconosciuto viene impiegato per aprire il menù "start" e consiste nel chiudere e poi aprire la mano. Il secondo movimento viene invece utilizzato per selezionare un determinato ologramma di interesse e consiste nel disporre le dita come di seguito mostrato, dopo aver puntato lo sguardo sull'ologramma con il quale si intende intereagire.

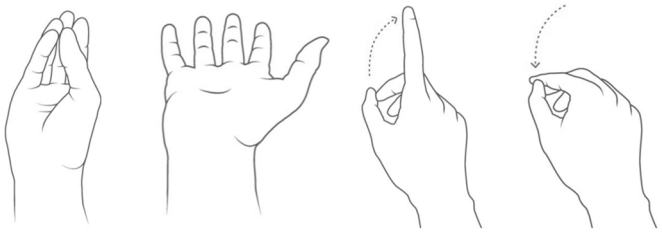

Figura 2.6 – Movimenti riconosciuti dal dispositivo Microsoft HoloLens;

In ultimo, per selezionare o in generale per interagire con un dato ologramma, si possono impiegare i comandi vocali. Un comando vocale consiste nel selezionare l'ologramma mediante il cursore dello sguardo e nel pronunciare successivamente la parola "seleziona". I comandi vocali non vengono impiegati solo per interagire con gli ologrammi, ma anche per compiere altre operazioni come ad esempio lo spostamento delle applicazioni presenti nel dispositivo.

2.3.2.3 Algoritmo SLAM

Il dispositivo Microsoft HoloLens (di prima e di seconda generazione) è in grado di posizionare ologrammi, quindi oggetti virtuali, in punti precisi della realtà. Tale caratteristica del dispositivo è governata da un algoritmo che prende il nome di "Simultaneous Localization and Mapping" o "SLAM", un processo mediante il quale un robot dotato di sensore è in grado di costruire una mappa di un ambiente sconosciuto in

cui si muove e, a partire da questa mappa, è in grado di localizzarsi all'interno dello stesso in tempo reale. Sulla base di tale principio, il dispositivo HoloLens è in grado di eseguire una mappatura dell'ambiente, è in grado di localizzarsi in esso in tempo reale ed è capace di collocare nello stesso degli ologrammi.

Lo SLAM rappresenta una problema che è stato formulato e poi risolto in molteplici modi, tanto che oggi, esso viene considerato come un problema risolto e viene implementato in numerose applicazioni commerciali. Per comprendere la struttura base dello SLAM, è necessario specificare che nella sua formulazione, la traiettoria e la posizione del robot e di tutti i punti di riferimento, vengono solamente stimati e mai misurati direttamente [24].

Dato un robot o un dispositivo che si muove all'interno di un ambiente sconosciuto ed è dotato di un sensore atto ad effettuare delle osservazioni, possiamo rappresentare nel modo che segue i concetti di base del problema SLAM.

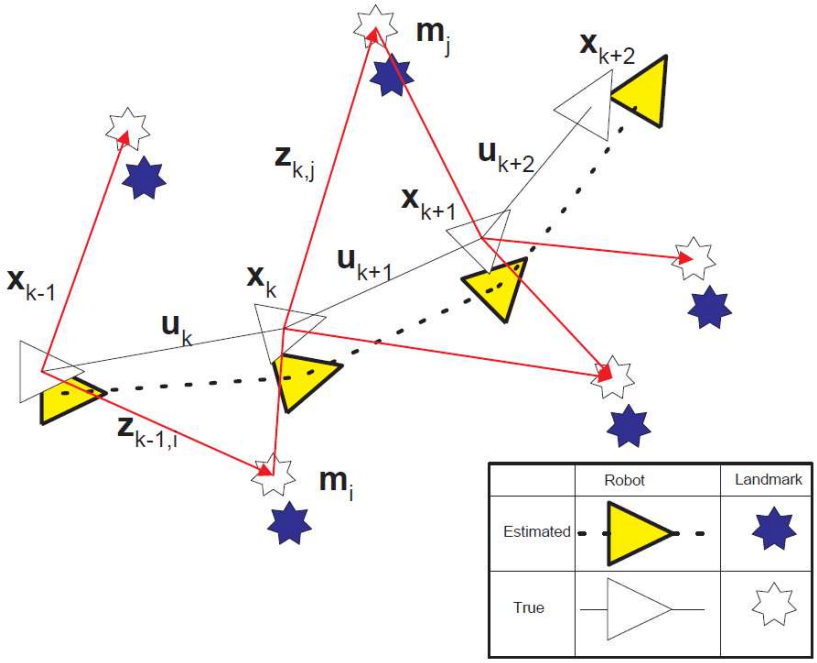

Figura 2.7 – Simultaneous Localization and Mapping;

In particolare, considerando un istante temporale k, possiamo definire i seguenti vettori:

$\overrightarrow{x_k}$: Stato del robot che descrive la sua posizione e il suo orientamento nell'ambiente sconosciuto nell'istante k;

$\overrightarrow{u_k}$: input di controllo applicato all'istante k-1 per portare il robot allo stato $\overrightarrow{x_k}$;

$\overrightarrow{m_i}$: vettore che descrive la posizione nell'ambiente dell'i-esimo punto di riferimento che è considerato indipendente dal tempo;

$\overrightarrow{z_{i,k}}$: osservazione effettuata dal robot della posizione occupata dall'i-esimo punto di riferimento nell'istante k; se nell'istante k si ha l'osservazione simultanea di più punti di riferimento, tale vettore viene indicato con $\overrightarrow{z_k}$;

Inoltre è possibile definire:

- La storia delle posizioni occupate dal robot nell'ambiente

  $\overrightarrow{x_{o,k}} = (x_0 , x_1 , \dots , x_k)$

- La storia degli input di controllo sulla posizione del robot:

  $\overrightarrow{u_{0,k}} = (u_0 , u_1 , \dots , u_k)$

- I punti di riferimento:

  $\overrightarrow{m_i} = (m_1 , m_2 , \dots , m_n)$

- La storia di tutte le osservazioni dei punti di riferimento da parte del robot:

  $\overrightarrow{z_{0,k}} = (z_1 , z_2 , \dots , z_k)$

Noti la posizione iniziale occupata dal robot, la storia delle osservazioni e la storia degli input di controllo, il problema si propone di determinare per ogni istante di tempo k la posizione occupata dal robot e quella occupata dal punto di riferimento. In particolare, il problema consiste nella determinazione per ogni istante di tempo k, della distribuzione di probabilità seguente:

$P (x_k , m \mid z_{0,k} , u_{0,k} , x_0)$

2.4 Sviluppo di un'esperienza di Realtà Mixata

2.4.1 Concetti di base

Affinché si possa sperimentare l'esperienza di Realtà Mixata offerta dal dispositivo Microsoft HoloLens, è necessario creare un'applicazione olografica che permetta di definire lo spazio olografico entro il quale ci si muove e di conseguenza anche gli ologrammi che dovranno essere inseriti nell'ambiente reale. Un'applicazione di questo tipo può essere creata sfruttando una delle molteplici piattaforme di authoring presenti nel mercato. Quella più utilizzata è Unity, che viene spesso impiegata per creare esperienze di Realtà Aumentata ma anche altri contenuti interattivi quali videogiochi o animazioni. È necessario, inoltre, implementare in Unity anche Vuforia, libreria finalizzata al riconoscimento di immagini, oggetti e ambienti, che a sua volta è necessario per garantire il perfetto allineamento tra gli oggetti virtuali e il mondo reale. Vuforia fornisce diversi approcci che sono utili allo scopo e che consentono di ottenere un ottimo allineamento affinché l'esperienza risulti convincente. Essendo il principio alla base della Realtà Mixata quello dell'overlay, ovvero quello fondato sulla sovrapposizione di contenuti digitali all'ambiente reale, non è difficile comprendere che il processo di allineamento rivesta un'importanza fondamentale. Nello specifico, la fotocamera presente nel dispositivo HoloLens individua un dato oggetto collocato nel riquadro della visuale e a quel punto l'applicazione olografica, riconoscendo l'oggetto, attiva l'ologramma o gli ologrammi associati allineandoli alla realtà. Di conseguenza, l'allineamento tra oggetti virtuali e ambiente reale, è strettamente legato al processo di riconoscimento degli oggetti collocati in quest'ultimo.

2.4.2 Vuforia: approcci di riconoscimento e allineamento

2.4.2.1 Approcci di riconoscimento

In Vuforia, il processo di riconoscimento si basa sul concetto di "target". Il target è un riferimento, come ad esempio un'immagine o un oggetto, il quale, affinché venga avviata la proiezione degli ologrammi corrispondenti, deve essere riconosciuto dall'algoritmo. Nello specifico, quando l'utente visualizza mediante la fotocamera del dispositivo HoloLens un determinato oggetto appartenente all'ambiente reale, l'applicazione olografica è in grado di capire se all'oggetto è stato associato o meno un target ed è in grado di avviare la proiezione degli ologrammi corrispondenti allineandoli perfettamente

alla realtà. Vuforia supporta molte tipologie di target ed è inoltre possibile per l'utente crearne di nuove in maniera del tutto autonoma purché egli segua le linee guida fornite con lo scopo per evitare possibili difficoltà nel processo di riconoscimento.

Gli approcci di riconoscimento forniti da Vuforia rientrano in tre distinte categorie:

- Tracking Images
- Tracking Objects
- Tracking Environment

2.4.2.2 Tracking Images

Questa funzionalità di Vuforia consente di creare immagini target, ovvero targets basati su una o più immagini che possono essere lagate da rapporti di tipo spaziale o meno. Quindi, tale funzionalità viene impiegata per il riconoscimento e il tracciamento di immagini tramite target. In particolare, è possibile creare quattro tipologie di targets: Image Targets, VuMarks, Cylinder Targets e Multi-Targets.

La funzionalità *"Image Target"* consente di rilevare e tracciare una o più immagini che non sono tra loro legate da relazioni di tipo spaziale. Affinché ciò avvenga, ogni target deve essere progettato seguendo le linee guida fornite da Vuforia che sono reperibili nella sezione "best practices" della documentazione ufficiale Vuforia. Le linee guida prevedono che affinché un'immagine target sia correttamente riconosciuta e tracciata, essa debba possedere un elevato numero di dettagli, un buon contrasto con zone più scure e zone luminose, e che debba essere priva di motivi ripetitivi. Il riconoscimento dell'immagine target avviene tramite le "natural features", ovvero spigoli o angoli contenuti nell'immagine stessa, la cui presenza influenza notevolmente la tracciabilità.

Figura 2.8 – Esempi di natural features, Vuforia Engine;

L'esempio riportato in *figura 2.8* mostra le natural features di tre diverse immagini: la prima immagine presenta quattro natural features, la seconda nessuna e la terza due. Pertanto, la prima immagine risulta maggiormente tracciabile da Vuforia Engine rispetto alle altre due. Stando a queste considerazioni, è possibile comprendere che le immagini target che presentano un elevato numero di natural features sono maggiormente tracciabili rispetto alle altre.

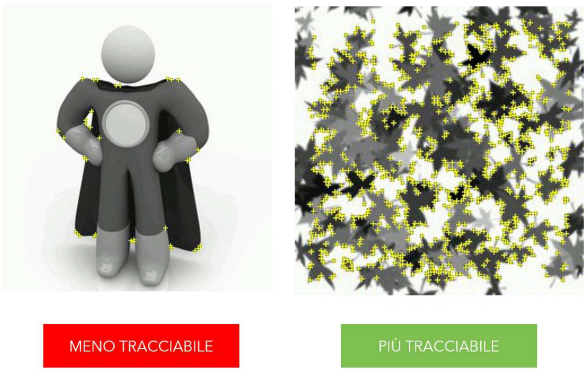

Figura 2.9 – Esempi di tracciabilità basati su natural features, Vuforia Engine;

La funzionalità *"VuMarks"*, come la precedente, consente il riconoscimento e il tracciamento di una o più immagini che non sono tra loro legate da relazioni di tipo spaziale. A differenza della precedente funzionalità Image Target, VuMarks consente di creare target personalizzati che siano in linea con le esigenze dell'utente. Anche in questo caso è necessario seguire delle linee guida che sono reperibili nella sezione "VuMark design guide" della documentazione ufficiale Vuforia. In particolare, affinché sia riconoscibile e tracciabile, un target di tipo VuMarks deve possedere una struttura specifica che si compone di elementi ben determinati quali il contorno, il confine, lo spazio libero, il codice/elementi e l'area sfondo/disegno.

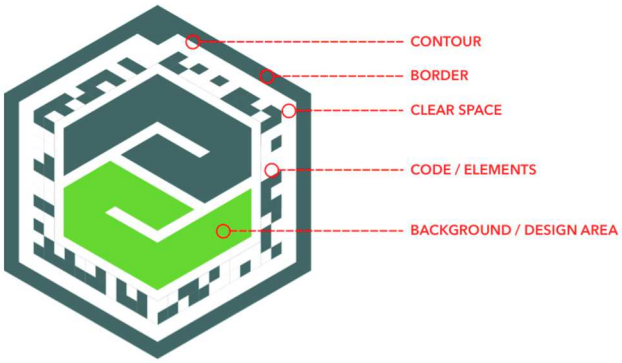

Figura 2.10 – Struttura di un target VuMarks, Vuforia Engine;

Ciascun elemento che costituisce il target, inoltre, deve rispettare determinate caratteristiche geometriche e dimensionali (riportate anch'esse nella documentazione ufficiale Vuforia) affinché non si verifichino problemi nella tracciabilità dell'immagine.

La funzionalità *"Cylinder Targets"* consente di rilevare e tracciare delle immagini che sono avvolte intorno ad oggetti di forma conica o cilindrica. Il riconoscimento non avviene per via della forma dell'oggetto ma per via delle immagini che sono presenti su di esso. Il Cylinder Target, basandosi sul riconoscimento di immagini, è molto simile all'Image Target. Pertanto, le linee guida che devono essere seguite nella sua progettazione sono le stesse impiegate per la creazione di quest'ultimo. A livello geometrico, per progettare un target di questo tipo è necessario specificare le tre dimensioni di riferimento: diametro superiore, diametro inferiore, lunghezza laterale.

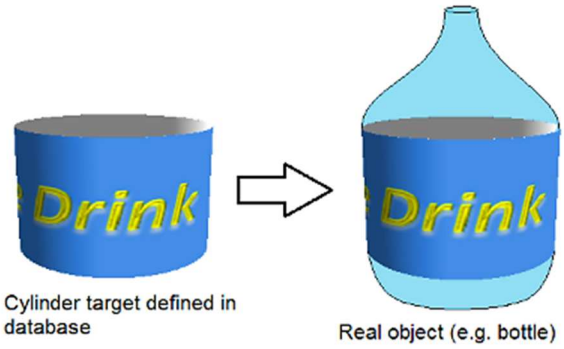

Figura 2.11 – Esempio di cylinder target, Vuforia Engine;

Infine, la funzionalità *"Multi-Targets"* consente di rilevare e tracciare un insieme di immagini che sono collegate da una relazione spaziale specifica. In praticolare, un Multi-Target si costituisce di una serie di Image Targets poste in una specifica posizione. La progettazione di un target di questo tipo segue le linee guida riportate nella sezione "best practices" della documentazione ufficiale Vuforia. Le linee guida da seguire sono le stesse valide per la progettazione di un Image Target, ma con l'aggiunta di altre due caratteristiche: la profondità e la consistenza geometrica. Nello specifico, la consistenza geometrica fa riferimento al fatto che, nella progettazione di un Multi-Target, la relazione spaziale esistente tra le parti che lo costituiscono deve sempre essere mantenuta inalterata.

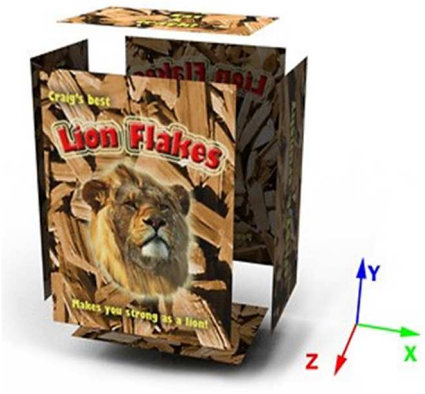

Figura 2.12 – Esempio di multi-target, Vuforia Engine;

2.4.2.3 Tracking Objects

Questa funzionalità di Vuforia consente il riconoscimento degli oggetti a partire dalla loro forma o dalle loro caratteristiche fisiche e non dalle immagini collocate sugli stessi. Anche in questo caso è possibile creare due diverse tipologie di targets: Model Targets e Object Target.

La funzionalità *"Model Targets"* è finalizzata al riconoscimento e al tracciamento degli oggetti reale in base alla loro forma. In particolare, un model target viene utilizzato quando l'oggetto da noi considerato è molto complesso e ricco di dettagli. Esempi di oggetti utilizzabili come model targets sono elettrodomestici, particolari architettoni, attrezzature industriali o veicoli.

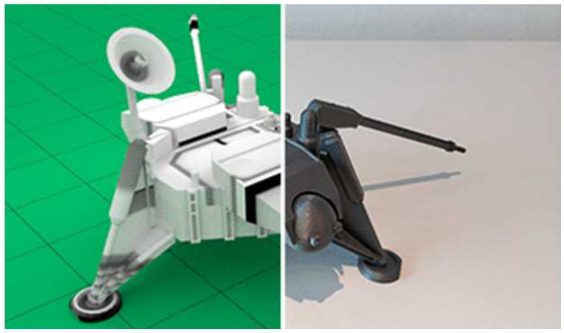

Figura 2.13 – Esempio di Model Target, Vuforia Engine;

Affinché un oggetto possa essere utilizzato come Model Target, è necessario essere in possesso di un modello CAD 3D o di una scansione 3D dell'oggetto stesso. Inoltre, secondo quanto si apprende dalla documentazione ufficiale, affinché non si

verifichino problematiche nel riconoscimento, l'oggetto deve essere rigido e deve possedere ben determinate caratteristiche superficiali che includono il colore e il livello di dettaglio.

La funzionalità *"Object Target"* è finalizzata al riconoscimento e al tracciamento di un oggetto fisico sulla base delle sue caratteristiche e sfrutta la scansione dell'oggetto stesso. Rispetto al Model Target, un Object Target ha prestazioni inferiori e viene in genere impiegato per oggetti di piccole dimensioni che abbiamo una superficie ricca di dettagli (dato che il riconoscimento si basa proprio sulle caratteristiche fisiche dell'oggetto). Per poter utilizzare un determinato oggetto come Object Target, è necessario che presenti le seguenti caratteristiche:

a) *Dimensione:* è fondamentale che l'oggetto sia di piccole dimensioni ma che sia comunque più grande di 2 cm per evitare problematiche nel tracciamento;
b) *Dettagli visivi:* l'oggetto deve essere caratterizzato da una molteplicità di dettagli visivi quali ad esempio il contrasto, i colori e le geometrie;
c) *Rigidezza:* è importante che l'oggetto non sia particolarmente rigido per evitare che la deformabilità blocchi il rilevamento dello stesso;

2.4.2.4 Tracking Environment

Questa funzionalità di Vuforia consente il riconoscimento e il tracciamento di ambienti e si costituisce di due diverse tipologie di targets: Area Target e Ground Plane.

La funzionalità *"Area Target"* consente il riconoscimento e il tracciamento di spazi e ambienti sulla base di modelli digitali che derivano dalla scansione 3D degli stessi. Un target di questo tipo, ad esempio, può essere creato per ambienti quali uffici, musei, appartamenti, spazi pubblici o stabilimenti.

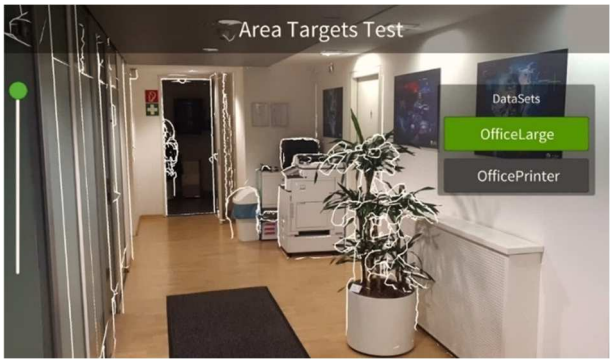

Figura 2.14 – Esempio di Area Target, Vuforia Engine;

La scansione 3D impiegata per ottenere il modello digitale dell'ambiente scelto può essere eseguita in vari modi e utilizzando varie applicazioni.

La funzionalità *"Ground Plane"* consente il rilevamento e il tracciamento di superfici orizzontali e l'eventuale posizionamento di oggetti virtuali sulle stesse. Tale funzionalità può essere utilizzata sia per ambienti interni che per ambienti esterni a condizione che vengano rispettate delle indicazioni fornite da Vuforia. Innanzitutto, nell'ambiente considerato, l'illuminazione deve essere stabile e moderata. Inoltre, devono essere evitati i riflessi e le ombre scure.

CAPITOLO 3

INTEGRAZIONE DI BIM E REALTÀ MIXATA

3.1 Il sistema di controllo on field

3.1.1 Motivazioni

Lo scopo della presente tesi è quello di definire un sistema di controllo on field che riguardi le scelte progettuali nell'ambito di interventi di riqualificazione di edifici esistenti. L'esecuzione delle attività di controllo nei processi basati sull'approccio BIM, presuppongono un metodo di lavoro che sia di tipo collaborativo e che riguardi in particolare il progettista, soggetto che redige il modello BIM contenente le scelte progettuali adottate e oggetto di verifica, e l'esperto, soggetto che esegue fisicamente sul campo i controlli previsti. L'approccio collaborativo, uno dei pilastri fondamentali della metodologia BIM, può essere ulteriormente potenziato mediante strumenti che consentano la visualizzazione, nella realtà, delle scelte oggetto di verifica. Le attività di controllo, in realtà, sono già state semplificate con lo sviluppo del BIM, in quanto, con esso è possibile ottenere un unico modello virtuale dell'edificio in cui vengono riportate tutte e informazioni relative ad ogni fase del processo. Ciò consente di superare l'approccio tradizionale, nel quale le verifiche si basano soprattutto su documentazione di tipo cartaceo. Quindi, l'introduzione del BIM ha già largamente facilitato le attività di controllo introducendo la possibilità di visualizzare tutte le informazioni di interesse in un unico modello. Tuttavia, tali attività possono essere ulteriormente potenziate utilizzando il modello BIM dell'oggetto di verifica congiuntamente a strumenti di visualizzazione, cioè strumenti che, sfruttando la Realtà Mixata, consentano di visualizzare il modello sovrapponendolo al mondo reale. Questa metodologia semplifica non solo la valutazione della compatibilità geometrica, che risulta molto più immediata, ma anche la valutazione di informazioni non geometriche riguardanti una serie di proprietà degli elementi oggetto di verifica.

In conclusione, il sistema di controllo oggetto della presente tesi, finalizzato al potenzialmento dell'approccio collaborativo con riferimento alle attività di controllo on

field di scelte progettuali riguardanti processi di riqualificazione di edifici esistenti, si costituisce di tre elementi fondamentali:

- Il modello BIM contenente tutte le informazioni geometriche e non geometriche necessarie ai fini dello svolgimento delle attività di controllo;
- Un servizio web che consente di caricare il modello oggetto di verifica in formato IFC, di convertirlo in GLTF affinché risulti compatibile con il dispositivo di visualizzazione e infine di avviarlo nell'applicazione olografica all'interno di quest'ultimo ;
- Il dispositivo Microsoft HoloLens di prima generazione, che supporta esperienze di Realtà Mixata;

3.1.2 Ambito di intervento

Il sistema di controllo on field precedentemente descritto, viene studiato con riferimento agli interventi di riqualificazione di edifici esistenti e, in particolar modo, alla fase di ingegnerizzazione del relativo processo edilizio. La riqualificazione di un edificio non è altro che un complesso di interventi atti a migliorare le caratteristiche dello stesso sotto il profilo prestazionale, funzionale, energetico o strutturale. La riqualificazione, quindi, include una vasta tipologia di interventi che hanno come obiettivo principale quello di migliorare aspetti specifici dell'edificio. In tale ambito, la soluzione proposta è particolarmente vantaggiosa e consente di potenziare notevolmente le attività di controllo in quanto, in un processo che ha per oggetto la riqualificazione di un edificio esistente, sono presenti due scenari tra i quali è necessario individuare e valutare eventuali incompatibilità: uno scenario esistente, cioè un rilievo dell'edificio nello stato esistente, e uno scenario di progetto, cioè uno scenario che descrive le soluzioni progettuali adottate. Nella fase di ingegnerizzazione di tale processo, fase in cui vengono delineate tutte le specifiche tecniche relative ad ogni singola parte e ad ogni singolo componente dell'opera, è necessario valutare con estrema attenzione la presenza di eventuali incompatibilità di natura geometrica e di natura non geometrica tra i due scenari sopracitati, per analizzare l'effettiva realizzabilità degli interventi previsti. In tal senso, impiegare un approccio che integri la metodologia BIM e le tecniche di visualizzazione, consente di mettere in luce molto più velocemente eventuali incompatibilità rispetto all'analisi basata su documenti cartacei o basata su modelli BIM in cui possono essere presenti errori di rilievo dell'esistente.

3.2 Le attività di controllo nel settore delle costruzioni

3.2.1 Le attività di controllo nell'approccio BIM

La metodologia BIM è basata su un lavoro di tipo collaborativo, e ciò implica la presenza di un unico ambiente virtuale, l'ACDat o ambiente di condivisione dati, in cui tutti i soggetti coivolti si interfacciano, condividendo contenuti informativi o al contrario consultando i contenuti informativi di interesse. Pertanto, nell'approccio BIM le attività di verifica e controllo vertono prevalentemente sulla correttezza e coerenza dei contenuti informativi sia a livello formale che sostanziale. Il quadro normativo vigente in materia, prevede che, all'interno dell'ACDat, ogni contenuto informativo possa esistere solo se rappresentato da uno stato. In particolare, le norme della serie UNI EN ISO 19650, prevedono quattro diversi stati: stato di elaborazione, stato di condivisione, stato di pubblicazione e stato di archiviazione. Affinché un dato contenuto informativo possa passare da uno stato all'altro, è necessario che vengano condotti degli opportuni controlli. I controlli rientrano in due distinte categorie:

- Il controllo di revisione/approvazione, che viene condotto dal team di lavoro ed è finalizzato al passaggio per il contenuto informativo in esame, dallo stato di elaborazione allo stato di condivisione;
- Il controllo di revisione/autorizzazione, che è finalizzato al passaggio per il contenuto informativo in esame, dallo stato di condivisione allo stato di pubblicazione, e quindi di approvazione;

Nell'ambito della presente tesi, il sistema di controllo on field proposto, è atto all'analisi e alla valutazione della correttezza delle scelte progettuali adottate nonché delle compatibilità geometriche e non geometriche tra lo scenario esistente e quello progettuale. Di conseguenza, tale sistema si colloca nella categoria dei controlli di revisione/autorizzazione, in quanto, esso è volto all'approvazione delle soluzioni delineate dal team di progetto. A seguito dell'esecuzione di tale attività di controllo, infatti, il contenuto informativo passa da uno stato di condivisione ad uno stato di pubblicazione e quindi di approvazione all'interno dell'ambiente di condivisione dati.

3.2.2 Individuazione e categorizzazione dei controlli

Al fine di sviluppare il sistema di controllo on field, ci si propone dapprima di individuare una serie di controlli che possano essere ottimizzati e semplificati mediante l'impiego del sistema e quindi tramite l'integrazione delle potenzialità del BIM e delle tecniche di visualizzazione. Successivamente, individuati i controlli, ci si propone di suddividerli in categorie sulla base degli obiettivi associati agli stessi.

- Fase 1: Individuazione dei controlli
- Fase 2: Categorizzazione dei controlli
- Fase 3: Schematizzazione dei controlli individuati raggruppati in categorie

L'individuazione dei controlli viene effettuata con riferimento alla totalità delle opere edilizie tramite un'analisi sistematica del "Capitolato Speciale Tipo per Appalti di Lavori Edilizi", documento redatto dal Ministero dei Lavori Pubblici, nel quale vengono delineate per ogni singola parte dell'opera e per ogni lavorazione, le caratteristiche e la qualità dei materiali da impiegare, le prescrizioni tecniche e le modalità di esecuzione. A partire dal documento, vengono individuati tutti i controlli che possano essere efficacemente eseguiti tramite il sistema di controllo proposto. In particolare, l'individuazione ha per oggetto solamente quei controlli per i quali l'impiego di tale sistema risulti vantaggioso.

Successivamente all'individuazione dei controlli tramite l'analisi del Capitolato Speciale Tipo, viene effettuata una categorizzazione degli stessi secondo le otto categorie che seguono.

Controlli di fissaggio

Un controllo di fissaggio è una verifica che coinvolge l'idoneità del fissaggio di uno o più elementi su un dato supporto. Tale idoneità riguarda in particolare il posizionamento del fissaggio sul relativo supporto e la sua compatibilità con quest'ultimo. Date la tipologia e l'esatta posizione del fissaggio degli elementi considerati, tale controllo può consistere:

- Nella valutazione della compatibilità geometrica del fissaggio scelto con la tipologia di supporto;
- Nella valutazione delle compatibilità non geometriche del fissaggio analizzato con la tipologia di supporto. Con il termine "compatibilità non

geometrica" si intende la compatibilità tra il fissaggio e il supporto in termini di proprietà fisiche e termiche e dal punto di vista dei materiali costituenti;
- Nella valutazione della fattibilità esecutiva del fissaggio in realzione al suo posizionamento sul supporto;

Controlli di posizionamento

Un controllo di posizionamento è una verifica riguardante l'idoneità della posizione prevista per uno o più elementi. Dati uno o più elementi la cui posizione è stabita nel progetto, tale controllo può consistere:

- Nella valutazione degli spazi esistenti atta a stabilire se questi ultimi consentano il posizionamento degli elementi così come indicato nel progetto;
- Nella valutazione della conformità del posizionamento degli elementi alle prescrizioni indicate nel Capitolato Speciale d'Appalto e nella normativa vigente;

Controlli di interferenza

Un controllo di interferenza è una verifica riguardante la sovrapposizione di elementi appartenenti allo stesso sistema e/o la sovrapposizione di elementi appartenenti a sistemi diversi. Dati uno o più sistemi riportati nel progetto, come ad esempio un impianto o un'opera, il controllo di interferenza può consistere:

- Nella valutazione dell'esistenza di interferenze dannose, pericolose o che possano compromettere il funzionamento dei sistemi considerati;
- Nella valutazione della possibilità di posizionare un dato elemento o di eseguire una data lavorazione senza che si verifichino interferenze con altri elementi appartenenti allo stesso sistema o ad un altro sistema;

Controlli di sicurezza

Un controllo di sicurezza si definisce come una verifica che riguarda aspetti legati all'ambito della sicurezza. Dato un elemento o un sistema contenuto nel progetto, il controllo consiste nel verificare che siano stati previsti tutti i dispositivi o

apparecchi di sicurezza in conformità a quanto stabilito nel Capitolato Speciale Tipo e dal quadro normativo vigente.

Controlli di completezza

Un controllo di completezza è una verifica atta ad assicurare che un dato sistema sia costituito da tutti gli elementi che dovrebbe possedere in relazione al Capitolato o alla normativa vigente. Dato un elemento o un sistema contenuto nel progetto, la verifica consiste nella valutazione dell'effettiva predisposizione di tutti gli elementi che dovrebbero essere presenti.

Controlli di coibentazione

Il controllo di coibentazione è atto a verificare che sia stata prevista la coibentazione di un determinato elemento laddove necessario. Dato un elemento inserito nel progetto, tale controllo può prevedere:

- La valutazione della presenza della coibentazione laddove necessario;
- La valutazione dell'idoneità della tipologia e dello spessore della coibentazione, laddove prevista;

Controlli di connessione/collegamento

Il controllo di connessione o collegamento è un controllo riguardante la connessione o il collegamento di più elementi appartenenti allo stesso sistema o a sistemi diversi. Dati uno o più sistemi e/o più elementi contenuti nel progetto, la verifica può riguardare:

- La valutazione dell'idoneità del collegamento previsto tra i sistemi o gli elementi in esame;
- La valutazione dell'effettiva predisposizione di uno o più collegamenti laddove necessario;

Controlli di accessibilità

Tale controllo è connesso all'accessibilità di elementi e/o di sistemi per attività di manutenzione ordinaria e straordinaria, pulizia ed eventuale rimozione e/o

sostituzione degli stessi. Dato un sistema o un elemento contenuto nel progetto, la verifica di accessibilità può consistere:

- Nella valutazione dell'effettiva predisposizione, a livello di progetto, dell'elemento o del sistema considerato in modo tale che questo risulti successivamente accessibile;
- Nella valutazione dell'effettiva possibilità di realizzare il sistema o l'elemento nello spazio esistente in modo tale che questo risulti successivamente accessibile;

In ultimo, tutti i controlli individuati vengono riportati e schematizzati nella *Tabella 3.2*, tabella nella quale ciascun controllo viene univocamente identificato tramite:

- Un codice numerico
- Un articolo che ne definisce la collocazione all'interno del Capitolato Speciale Tipo analizzato
- Una categoria di controllo

Categoria di controllo
Codice numerico Articolo di riferimento

Tabella 3.1 – Legenda per l'identificazione dei controlli nella *Tabella 3.2*;

In particolare, la tabella si compone di otto colonne, in ciascuna delle quali vengono riportati tutti i controlli relativi ad una data categoria.

Controllo di fissaggio	Controllo di posizionamento	Controllo di interferenza	Controllo di sicurezza	Controllo di completezza	Controllo di coibentazione	Controllo di connessione/ collegamento	Controllo di accessibilità
06. Art40.2- Esecuzione coperture continue	01. Art 30.2.1- Pali infissi in legno	02. Art 31- Demolizioni e rimozioni	57. Art 55.4 - Generatori di calore	14. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	20. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	04. Art 32.4- Muratura portante: particolari costruttivi	26. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate
06. Art 41.2 - Esecuzione coperture discontinue	15. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	12. Art 45.2- Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	58. Art 55.4 - Generatori di calore	22. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	24. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	05. Art 32.4- Muratura portante: particolari costruttivi	38. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate
08. Art 43.2- Sistemi per rivestimenti interni ed esterni	18. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	17. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	59. Art 55.4 - Generatori di calore	23. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	73. Art 55.7.1 - Rete di tubazioni di distribuzione	27. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	43. Art 49.4.4- Requisiti degli impianti di trattamento dell'acqua
09. Art 43.2- Sistemi per rivestimenti interni ed esterni	19. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	21. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	61. Art 55.5 - Bruciatori	31. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	77. Art 55.7.2- Canali di distribuzione dell'aria calda	30. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	45. Art 49.4.6- Caratteristiche dei componenti
10. Art 44.2- Posa in opera dei serramenti	28. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	25. Art 49.1 - Impianto di scarico acque usate	64. Art 55.5.2 - I depositi di combustibili liquidi	39. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	102. Art 56.7- Distribuzione dei fluidi termovettori	34. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	46. Art 49.4.7- Collocazione degli impianti
11. Art 45.2- Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	32. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	29. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	65. Art 55.5.2 - I depositi di combustibili liquidi	41. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	104. Art 56.7- Distribuzione dei fluidi termovettori	84. Art 55.8.3- Pannelli radianti	56. Art 55.3- Componenti degli impianti di riscaldamento
13. Art 45.2- Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	33. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	44. Art 49.4.5- Tipologie di impianto	91. Art 55.9- Espansione dell'acqua dell'impianto	50. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche			71. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione
16. Art 48.2- Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	35. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	47. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	95. Art 55.11.1- Alimentazione dell'impianto	53. Art 54.3.2- Impianto di terra			72. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione
49. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	36. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	52. Art 54- Impianto elettrico e di comunicazione interna	100. Art 56.4- Gruppi frigoriferi	60. Art 55.4.2- Generatori di calore a scambio termico			81. Art 55.8.1- Corpi scaldanti statici
	37. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	54. Art 54.3.2- Impianto di terra		70. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			87. Art 55.8.3- Pannelli radianti
	40. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	80. Art 55.8.1- Corpi scaldanti statici		75. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			97. Art 56.3 - Componenti degli impianti di climatizzazione

	42. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	88. Art 55.8.3- Pannelli radianti		76. Art 55.7.2- Canali di distribuzione dell'aria calda			
	48. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	93. Art 55.10- Regolazione automatica		85. Art 55.8.3- Pannelli radianti			
	51. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	101. Art 56.5- Raffreddamento del gruppo frigorifero		86. Art 55.8.3- Pannelli radianti			
	55. Art 54.3.3- Impianto di protezione contro le scariche elettriche	108. Art 56.8- Apparecchi per la climatizzazione		89. Art 55.8.5- Riscaldatori d'acqua			
	62. Art 55.5.1- Condotti di evacuazione dei fumi ed aerazione delle centrali termiche	109. Art 56.8- Apparecchi per la climatizzazione		92. Art 55.10- Regolazione automatica			
	63. Art 55.5.1- Condotti di evacuazione dei fumi ed aerazione delle centrali termiche			94. Art 55.11.1- Alimentazione dell'impianto			
	66. Art 55.5.2- I depositi di combustibili liquidi			96. Art 56.1 - Impianto di climatizzazione: Generalità			
	68. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			99. Art 56.4- Gruppi frigoriferi			
	69. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			110. Art.56.9- Espansione dell'acqua nell'impianto			
	74. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione						
	78. Art 55.7.2- Canali di distribuzione dell'aria calda						
	79. Art 55.8.1- Corpi scaldanti statici						
	82. Art 55.8.2- Corpi scaldanti ventilati						
	83. Art 55.8.3- Pannelli radianti						
	90. Art55.9- Espansione dell'acqua dell'impianto						

Tabella 3.2 – Individuazione e categorizzazione dei controlli;

Tutti i controlli individuati e schematizzati nella precedente *Tabella 3.2*, vengono successivamente riportati nella *Tabella 3.3* che sintetizza il numero di controlli appartenenti ad ogni singola categoria e ne identifica il numero globale.

Categoria di controllo	**Numero dei controlli individuati**	**Numero globale dei controlli individuati**
Controllo di fissaggio	9	104
Controllo di posizionamento	26	
Controllo di interferenza	16	
Controllo di sicurezza	9	
Controllo di completezza	21	
Controllo di coibentazione	6	
Controllo di connessione/collegamento	6	
Controllo di accessibilità	11	

Tabella 3.3 – Schematizzazione dei controlli individuati;

3.3 Le attività di controllo e le informazioni

3.3.1 Classificazione delle informazioni

Il sistema di controllo on field consente al soggetto preposto, durante il sopralluogo, di effettuare i controlli di pertinenza integrando opportunamente il modello BIM e la tecnologia di Realtà Mixata. Affinché il soggetto riesca a condurre tali attività, è quindi necessario che vengano mostrate tramite il dispositivo Microsoft HoloLens delle specifiche informazioni. Queste ultime, che devono necessariamente essere inserire nel modello BIM di riferimento, sono classificabili in due categorie:

- Informazioni geometriche
- Informazioni non geometriche

Le informazioni geometriche consentono al soggetto preposto all'attività di controllo, di verificare la correttezza delle soluzioni riportate nel progetto dal punto di vista geometrico e di verificarne, quindi, anche la compatibilità con l'esistente. Esempi di informazioni geometriche possono essere la lunghezza, l'altezza o lo spessore di un elemento.

Le informazioni non geometriche, invece, sono informazioni che consentono al soggetto di analizzare aspetti non geometrici dell'elemento o della scelta progettuale in esame. Esempi di informazioni non geometriche possono essere il materiale costituente, le proprietà fisiche o termiche, la tipologia di un dato fissaggio, il tipo di supporto richiesto per una determinata lavorazione. Come le informazioni geometriche, anche quelle non geometriche consentono di valutare la compatibilità tra le soluzioni adottate e lo scenario esistente.

Di conseguenza, nelle attività di controllo, l'informazione, che sia essa geometrica o non geometrica, riveste un ruolo centrale ed è necessario porre particolare attenzione alla tipologia e alla quantità del contenuto informativo di interesse da inserire nel modello BIM di riferimento affinché tali attività possano essere efficacemente condotte. La mancanza di informazioni o l'inserimento di informazioni non appropriate, infatti, potrebbe portare all'impossibilità di condurre le attività di verifica e quindi alla mancata approvazione del contenuto informativo all'interno dell'ambiente di condivisione dati con un conseguente rallentamento di tutto il processo edilizio.

3.3.2 I LOD

3.3.2.1 Definizioni

Nell'ambito della metodologia BIM, approccio il cui aspetto centrale è proprio l'informazione, i requisiti minimi in termini di contenuto informativo sono definiti dai "Levels Of Development" o "LOD", con riferimento ad ogni singola fase del processo e, di conseguenza, agli obiettivi della modellazione. I LOD sono stati per la prima volta introdotti dall'AIA (American Institute of Architects) mediante la pubblicazione del documento *E202™-2008 Building Information Modeling Protocol* [25], nel quale sono stati definiti cinque diversi livelli di sviluppo, nonché cinque LOD (LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400, LOD 500). Per ciascun livello di sviluppo e per ciascun elemento presente nel modello BIM di riferimento, l'AIA ha quindi delineato i requisiti minimi in termini di contenuto informativo da inserire e un elenco di possibili usi associati.

Successivamente, l'organizzazione BIMForum, a partire dai principi generali e dai livelli di sviluppo introdotti dall'AIA, ha proposto una propria scala LOD, suddivisa anch'essa in cinque diversi livelli (LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 350, LOD 400). Tale suddivisione viene riportata nel documento *Level Of Development Specification for*

Building Information Models and Data [26], reperibile in diverse versioni nella documentazione ufficiale. Per ogni livello di sviluppo e per ogni singolo elemento, BIMForum riporta tutti requisiti informativi minimi che devono necessariamente essere inclusi nel modello BIM di riferimento. quindi, sostanzialmente, per ogni elemento, vengono delineati tutti requisiti minimi in termini di contenuto informativo, che devono essere soddisfatti ad ogni livello di sviluppo e coerentemente agli obiettivi della modellazione. Questi ultimi dipendono dalla fase del processo edilizio in cui ci si colloca. Si riporta di seguito uno schema contenente le indicazioni principali che riguardano i cinque livelli di sviluppo delineati da BIMForum.

LOD 100
Gli elementi del modello non sono rappresentazioni geometriche. Le informazioni sono allegate ad un altro elemento del modello o a simboli che mostrano l'esistenza di un componente, ma non la sua forma, dimensione o ubicazione precisa. Tutte le informazioni derivate dal LOD 100 degli elementi devono essere considerate indicative
LOD 200
Gli elementi sono segnaposti generici. Possono essere volumi per l'identificazione dell'ingombro. Le informazioni derivate dagli elementi LOD 200 devono essere considerate approssimative
LOD 300
La quantità, la dimensione, la forma, la posizione e l'orientamento dell'elemento possono essere misurati direttamente dal modello senza fare riferimento a informazioni non modellate, come ad esempio le note
LOD 350
Sono modellate le parti necessarie per il collegamento degli elementi con gli elementi vicini. Comprenderà elementi quali supporti e connessioni. La quantità, la dimensione, la forma, la posizione e l'orientamento dell'elemento possono essere misurati direttamente dal modello senza fare riferimento a informazioni non modellate come le note
LOD 400
L'elemento è modellato con sufficiente dettaglio e precisione per la fabbricazione del componente rappresentato. La quantità, la forma, la posizione e l'orientamento dell'elemento possono essere misurate direttamente dal modello senza fare riferimento alle informazioni non modellate come le note

Tabella 3.4 – Descrizione dei LOD, *Level Of Development Specification for Building Information Models and Data,* BIMForum ;

3.3.2.2 Il sistema di controllo e i LOD

Nella presente tesi, l'oggetto di studio è un sistema di controllo on site che sfrutta le potenzialità del BIM e della Realtà Mixata al fine di migliorare le attività di controllo. I requisiti minimi in termini di contenuto informativo, sono in questo caso da intendersi riferiti alla fase di ingegnerizzazione, fase del processo edilizio che segue quella della progettazione e che consiste nel delineare tutte le prestazioni tecniche di ogni singolo elemento presente nel progetto al fine di permetterne l'effettiva realizzazione. Le attività di controllo effettuate mediante il sistema proprosto, si collocano pertanto nella fase di ingegnerizzazione, in quanto esse si riferiscono ad aspetti tecnici e specifici riguardanti le soluzioni progettuali. Di conseguenza, in tal caso, i requisiti minimi in termini di contenuto informativo sono delineati dai LOD 350 e 400 per ciascun componente che risulti inserito nel modello BIM di riferimento.

Quindi, in generale, l'individuazione delle informazioni che è necessario inserire in un modello BIM, dipendono strettamente dagli elementi in esso presenti e dalla fase del processo edilizio in cui ci si colloca. Nel caso oggetto di studio, inoltre, è necessario tenere in considerazione il fatto che tali informazioni dovranno essere sufficienti affinché i soggetto preposto, posso eseguire in maniera efficace le attività di controllo.

CAPITOLO 4

APPLICAZIONE AD UN CASO SPECIFICO

4.1Ambito di intervento

Il sistema di controllo on field precedentemente descritto, viene testato nell'esecuzione delle attività di controllo relative ad un caso specifico, nonché ad un processo di riqualificazione edilizia che coinvolge il Dipartimento DICEA della Facoltà di Ingegneria, Università Politecnica delle Marche. In particolare, tale processo prevede due interventi:

- La realizzazione di un nuovo partizionamento interno
- La realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica

Lo scopo, quindi, è quello di applicare i concetti precedentemente introdotti a tale caso specifico. Inizialmente, è necessario individuare all'interno della lista dei controlli delineata mediante l'analisi del Capitolato Speciale Tipo, tutti quei controlli che siano maggiormente attinenti all'ambito della riqualificazione e che, in particolare, siano applicabili al caso oggetto di studio. Successivamente, individuati i controlli attinenti al caso, è necessario formulare una lista delle informazioni (geometriche e non geometriche) che è necessario fornire affinché ciascun controllo possa essere efficacemente eseguito dal soggetto preposto a mezzo del sistema proposto. In ultimo, è necessario inserire le informazioni determinate nel modello BIM di riferimento ed esportarle nel formato standard IFC, affinché sia possibile procedere con la sperimentazione sul campo.

4.2 Individuazione dei controlli

4.2.1 Quadro generale

Come precedentemente spiegato, a partire dall'analisi del Capitolato Speciale Tipo, è stata individuata una lista di controlli per l'esecuzione dei quali possa risultare vantaggioso l'impiego del sistema di controllo on field che integra l'approccio BIM e la tecnologia di Realtà Mixata. È stata poi effettuata una categorizzazione di tali controlli e

cioè una suddivisione degli stessi in otto categorie sulla base dell'obiettivo dell'attività di controllo. Affinché l'impiego di tale sistema possa essere ricondotto al caso oggetto di studio, si rende quindi necessaria l'individuazione, tra tutti i controlli riportati, di quelli ringuardanti la riqualificazione edilizia e, ancora più nel dettaglio, di quelli riguardanti il caso specifico.

Sono riportate di seguito la *Tabella 4.1* che riporta la legenda da seguire per l'individuazione, nello schema generale, dei controlli riferiti al caso specifico della riqualificazione del Dipartimento DICEA e la *Tabella 4.2* che riporta uno schema riassuntivo dei controlli individuati.

DIPARTIMENTO DICEA	
INTERVENTO 1	INTERVENTO 2
Realizzazione nuovo partizionamento interno	Realizzazione impianto di ventilazione meccanica

Tabella 4.1 – Legenda di individuazione dei controlli relativi al caso specifico;

	INTERVENTO 1	INTERVENTO 2
CODICE CONTROLLO	02.	74.
	12.	76.
	13.	77.
		78.
		97.
		104.

Tabella 4.2 – Schematizzazione dei controlli relativi al caso specifico;

Di seguito viene riportato lo schema generale di tutti i controlli individuati a mezzo del Capitolato Speciale Tipo, nel quale è possibile individuare i controlli riferiti al caso specifico seguendo la *Tabella 4.2*.

Controllo di fissaggio	Controllo di posizionamento	Controllo di interferenza	Controllo di sicurezza	Controllo di completezza	Controllo di coibentazione	Controllo di connessione/ collegamento	Controllo di accessibilità
06. Art40.2- Esecuzione coperture continue	01. Art 30.2.1- Pali infissi in legno	02. Art 31- Demolizioni e rimozioni	57. Art 55.4 - Generatori di calore	14. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	20. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	04. Art 32.4- Muratura portante: particolari costruttivi	26. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate
06. Art 41.2 - Esecuzione coperture discontinue	15. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	12. Art 45.2- Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	58. Art 55.4 - Generatori di calore	22. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	24. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	05. Art 32.4- Muratura portante: particolari costruttivi	38. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate
08. Art 43.2- Sistemi per rivestimenti interni ed esterni	18. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	17. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	59. Art 55.4 - Generatori di calore	23. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	73. Art 55.7.1 - Rete di tubazioni di distribuzione	27. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	43. Art 49.4.4- Requisiti degli impianti di trattamento dell'acqua
09. Art 43.2- Sistemi per rivestimenti interni ed esterni	19. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	21. Art 48.2 - Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	61. Art 55.5 - Bruciatori	31. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	77. Art 55.7.2- Canali di distribuzione dell'aria calda	30. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	45. Art 49.4.6- Caratteristiche dei componenti
10. Art 44.2- Posa in opera dei serramenti	28. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	25. Art 49.1 - Impianto di scarico acque usate	64. Art 55.5.2 - I depositi di combustibili liquidi	39. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	102. Art 56.7- Distribuzione dei fluidi termovettori	34. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	46. Art 49.4.7- Collocazione degli impianti
11. Art 45.2- Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	32. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	29. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	65. Art 55.5.2 - I depositi di combustibili liquidi	41. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	104. Art 56.7- Distribuzione dei fluidi termovettori	84. Art 55.8.3- Pannelli radianti	56. Art 55.3- Componenti degli impianti di riscaldamento
13. Art 45.2- Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	33. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	44. Art 49.4.5- Tipologie di impianto	91. Art 55.9- Espansione dell'acqua dell'impianto	50. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche			71. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione
16. Art 48.2- Realizzazione delle parti funzionali dell'impianto di adduzione acqua	35. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	47. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	95. Art 55.11.1- Alimentazione dell'impianto	53. Art 54.3.2- Impianto di terra			72. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione
49. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	36. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	52. Art 54- Impianto elettrico e di comunicazione interna	100. Art 56.4- Gruppi frigoriferi	60. Art 55.4.2- Generatori di calore a scambio termico			81. Art 55.8.1- Corpi scaldanti statici
	37. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	54. Art 54.3.2- Impianto di terra		70. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			87. Art 55.8.3- Pannelli radianti

	40. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	80. Art 55.8.1- Corpi scaldanti statici		75. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			97. Art 56.3 - Componenti degli impianti di climatizzazione
	42. Art 49.3 - Impianto di scarico acque usate	88. Art 55.8.3- Pannelli radianti		76. Art 55.7.2- Canali di distribuzione dell'aria calda			
	48. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	93. Art 55.10- Regolazione automatica		85. Art 55.8.3- Pannelli radianti			
	51. Art 50- Impianto di scarico delle acque meteoriche	101. Art 56.5- Raffreddamento del gruppo frigorifero		86. Art 55.8.3- Pannelli radianti			
	55. Art 54.3.3- Impianto di protezione contro le scariche elettriche	108. Art 56.8- Apparecchi per la climatizzazione		89. Art 55.8.5- Riscaldatori d'acqua			
	62. Art 55.5.1- Condotti di evacuazione dei fumi ed aerazione delle centrali termiche	109. Art 56.8- Apparecchi per la climatizzazione		92. Art 55.10- Regolazione automatica			
	63. Art 55.5.1- Condotti di evacuazione dei fumi ed aerazione delle centrali termiche			94. Art 55.11.1- Alimentazione dell'impianto			
	66. Art 55.5.2- I depositi di combustibili liquidi			96. Art 56.1 - Impianto di climatizzazione: Generalità			
	68. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			99. Art 56.4- Gruppi frigoriferi			
	69. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione			110. Art.56.9- Espansione dell'acqua nell'impianto			
	74. Art 55.7.1- Rete di tubazioni di distribuzione						
	78. Art 55.7.2- Canali di distribuzione dell'aria calda						
	79. Art 55.8.1- Corpi scaldanti statici						
	82. Art 55.8.2- Corpi scaldanti ventilati						
	83. Art 55.8.3- Pannelli radianti						
	90. Art55.9- Espansione dell'acqua dell'impianto						

Tabella 4.3 – Controlli applicabili al caso del processo di riqualificazione del Dipartimento DICEA;

4.2.2 Realizzazione del nuovo partizionamento interno

4.2.2.1 Descrizione generale dell'intervento

Il primo intervento di riqualificazione del Dipartimento DICEA consiste nella realizzazione di un nuovo partizionamento interno. Si prevede, infatti, l'inserimento di nuove pareti divisorie prefabbricate aventi una struttura portante in acciaio costituita da montanti e traversi e da pannelli di rivestimento in legno melaminico. Tali pareti divisorie non necessitano di collegamento al soffitto e al pavimento, ma la stabilità è assicurata da un sistema costituito da un binario in acciaio a contatto con quest'ultimo e da un piedino regolabile mediante vite di regolazione. La struttura portante interna invece si costituisce di binari, montanti e traversi la cui stabilità è assicurata dall'incastro a baionetta. Oltre che l'installazione dei nuovi divisori interni, l'intervento prevede anche la rimozione di alcune delle partizioni preesistenti.

4.2.2.2 Lista delle attività di controllo

Nelle *Tabelle 4.4* e *4.5* che seguono, vengono riportati tutti i controlli che sono stati individuati con riferimento all'intervento sopracitato. Tali controlli, rappresentano quelle verifiche che devono essere effettuate dall'esperto in field tramite il sistema definito. Ciascun controllo, identificato da un codice, si compone a sua volta da più attività di controllo, anch'esse identificate da un codice.

INTERVENTO 1: NUOVO PARTIZIONAMENTO INTERNO	
CODICE CONTROLLO	**CATEGORIA CONTROLLO**
02. Demolizioni e rimozioni	**Controllo di interferenza:** è possibile demolire gli elementi senza danneggiare ciò che deve essere mantenuto in opera?
12. Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	**Controllo di interferenza:** si verificano interferenze impianti e le partizioni interne e tra le pareti esterne e le partizioni interne, durante la realizzazione di queste ultime?
13. Esecuzione di partizioni interne costituite da elementi da assemblare in sito	**Controllo di fissaggio:** è possibile ancorare le partizioni interne agli elementi già esistenti?

Tabella 4.4 – Schematizzazione dei controlli relativi al primo intervento;

INTERVENTO 1: ATTIVITÀ DI CONTROLLO		
02.	12.	13.
02.1- Posizione degli elementi da rimuovere o demolire	**12.1- Posizione dei componenti impiantistici**	**13.1- Tipologia e posizione dei fissaggi previsti**
02.1.1- Gli elementi da demolire o da rimuovere si trovano in una posizione idonea affinché possano essere rimossi senza danneggiare gli elementi da mantenere in opera?	12.1.1- Sono presenti componenti dell'impianto di ventilazione meccanica nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?	13.1.1- La tipologia di fissaggio è compatibile con il supporto?
02.1.2- Gli elementi da demolire o da rimuovere si trovano in una posizione idonea affinché il materiale che ne risulta o l'elemento intero possano essere facilmente rimossi?	12.1.2- Sono presenti componenti dell'impianto elettrico nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?	13.1.2- È possibile collocare i fissaggi nei punti previsti o sono presenti altri fissaggi/elementi che ne ostacolano l'installazione?
02.2- Interferenza con elementi da mantenere in opera e/o dotazioni impiantistiche	12.1.3- Sono presenti componenti dell'impianto antincendio nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?	13.1.3- Le modalità di realizzazione del fissaggio sono compatibili con gli esatti punti in cui il fissaggio va realizzato?
02.2.1- Sono presenti componenti dell'impianto di ventilazione meccanica a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?	**12.2- Posizione delle nuove partizioni interne da realizzare**	
02.2.2- Sono presenti componenti dell'impianto elettrico a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?	12.2.1- La posizione prevista per le nuove partizioni può in qualche modo ostacolare o disturbare i sopracitati impianti e i relativi componenti?	
02.2.3- Sono presenti componenti dell'impianto antincendio a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?		
02.2.4- È possibile rimuovere o demolire gli elementi senza danneggiare le dotazioni impiantistiche presenti?		
02.2.5- È possibile separare completamente gli elementi da rimuovere o da demolire dai muri in calcestruzzo senza danneggiare questi ultimi?		
02.3- Tipologia e modalità di fissaggio degli elementi da rimuovere o demolire agli elementi da mantenere in opera		
02.3.1- La tipologia di fissaggio presente è tale da consentire la sua rimozione senza danneggiare gli elementi da mantenere in opera?		

Tabella 4.5 – Quadro completo dei controlli relativi al primo intervento;

4.2.3 Realizzazione dell'impianto di ventilazione meccanica

4.2.3.1 Descrizione generale dell'intervento

Il secondo intervento previsto nel processo di riqualificazione del Dipartimento DICEA è la realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica che garantisca il ricambio dell'aria in tutti gli ambienti. L'impianto previsto è un impianto a doppio flusso costituito dai seguenti componenti:

- Una bocchetta di immissione e una bocchetta di estrazione dell'aria in ciascun ambiente servito dall'impianto;
- Un'unità Rooftop Air Conditioner installata in copertura;
- Canali di distribuzione dell'aria in ingresso situati nel controsoffitto;
- Canali di distribuzione dell'aria in uscita situati nel controsoffitto;

4.2.3.2 Lista delle attività di controllo

La *Tabella 4.6* riporta una schematizzazione di tutti i controlli individuati con riferimento all'intervento sopra descritto. Successivamente, la *Tabella 4.7* riporta nel dettaglio tutti i controlli e tutte le attività che ciascuno di essi prevede. Come nel caso precedente, ogni controllo è identificato da un codice.

INTERVENTO 2: IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA	
CODICE CONTROLLO	**CATEGORIA CONTROLLO**
74. Distribuzione del fluido termoconvettore, rete di tubazioni di distribuzione	**Controllo di posizionamento:** è possibile posizionare i sostegni delle tubazioni orizzontali a distanze tali da evitare incurvamenti?
76. Distribuzione del fluido termoconvettore, canali di distribuzione dell'aria calda	**Controllo di completezza:** sono stati previsti canali di distribuzione (e relativi elementi) nei singoli ambienti serviti dall'impianto ad aria calda?/ è possibile prevederli?
77. Distribuzione del fluido termoconvettore, canali di distribuzione dell'aria calda	**Controllo di coibentazione:** è stata prevista la coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria calda?
78. Distribuzione del fluido termoconvettore, canali di distribuzione dell'aria calda	**Controllo di posizionamento:** le bocche di immissione dei canali di distribuzione previste, sono state posizionate in modo tale che l'aria

	venga correttamente distribuita? (è possibile prevedere le bocche di immissione in posizione tale che l'aria venga correttamente distribuita?)
97. Impianto di climatizzazione, componenti degli impianti di climatizzazione	**Controllo di accessibilità:** i componenti dell'impianto di climatizzazione sono accessibili per manutenzione, revisione e sostituzione?
104. Impianto di climatizzazione, distribuzione dei fluidi termovettori	**Controllo di coibentazione:** è stata prevista la coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti climatizzati e negli ambienti non climatizzati?

Tabella 4.6 – Schematizzazione dei controlli relativi al secondo intervento;

INTERVENTO 2: ATTIVITÀ DI CONTROLLO		
74.	76.	77.
74.1- Tipologia, posizione e dimensione dei sostegni	**76.1- Posizione dei canali di distribuzione**	**77.1- Coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria calda**
74.1.1- È possibile installare la tipologia di sostegno indicata nel progetto sul supporto esistente?	76.1.1- È possibile installare i canali di distribuzione nella posizione prevista dal progetto?	77.1.1- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria calda negli ambienti climatizzati?
74.1.2- È possibile installare quella tipologia di sostegno sul supporto nell'esatta posizione prevista dal progetto?	76.1.2- I canali di distribuzione presenti nel progetto sono posizionati in modo tale da servire correttamente gli ambienti?	77.1.2- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria calda negli ambienti non climatizzati per evitare dispersioni di calore?
	76.2- Interferenza con altri componenti impiantistici	77.1.3- La tipologia e lo spessore dell'isolante è idonea rispetto alla posizione occupata dal canale di distribuzione?
	76.2.1- I canali di distribuzione, così come progettati, interferiscono con elementi appartenenti all'impianto elettrico?	
	76.2.2- I canali di distribuzione, così come progettati, interferiscono con elementi appartenenti all'impianto antincendio?	
78.	97.	104.
78.1- Posizione delle bocche di immissione	**97.1- Posizione dei componenti dell'impianto**	**104.1- Coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria fredda**
78.1.1- Le bocche di immissione possono essere posizionate in modo tale che l'aria venga correttamente distribuita nell'ambiente?	97.1.1- I canali di distribuzione dell'aria sono posizionati in modo tale da essere accessibili?	104.1.1- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti climatizzati?
78.1.2- La posizione prevista dal progetto assicura una corretta distribuzione dell'aria?	97.1.2- Il rooftop AC è posizionato in modo tale da essere accessibile?	104.1.2- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti non climatizzati?
78.2- Interferenza con altri elementi esistenti o componenti impiantistici	97.1.3- Le bocche di immissione sono posizionate in modo tale da essere accessibili?	104.1.3- La tipologia e lo spessore dell'isolante è idonea rispetto alla posizione occupata dal canale di distrubuzione?
78.2.1- Le bocche di immissione sono posizionate in modo tale da non interferire con altri elementi esistenti?	97.1.4- I canali di distribuzione, il rooftop AC e le bocche di immissione sono posizionati in modo tale che la loro accessibilità non sia compromessa da altri elementi e/o componenti di altri impianti?	

Tabella 4.7 – Schematizzazione dei controlli relativi al secondo intervento;

4.3 Necessità in termini di contenuto informativo

4.3.1 Fasi operative

Affinché le attività di verifica riportate nelle *Tabelle 4.5* e *4.7* possano effettivamente essere eseguite dal soggetto preposto mediante il sistema di controllo on field analizzato, è necessario che durante tali attività vengano mostrate le informazioni di interesse. Tali informazioni, geometriche e non geometriche, devono essere necessariamente inserite nel modello BIM coerentemente con quanto stabilito dai LOD con riferimento alla fase di ingegnerizzazione. Inoltre, affinché esse possano essere successivamente sfruttate nel sistema di controllo sopracitato è necessaria l'esportazione nel formato standard IFC.

Di conseguenza, per entrambi gli interventi previsti nel processo di riqualificazione del Dipartimento DICEA e considerando le attività di controllo individuate nelle tabelle sopracitate:

- Vengono delineate le informazioni geometriche e non geometriche di interesse, cioè quelle informazioni che devono essere inserite nel modello BIM di riferimento affinché le attività di controlllo individuate possano effettivamente essere eseguite;
- Viene realizzato un modello BIM del dipartimento in cui vengono inserite le informazioni precedentemente individuate;
- Viene effettuata l'esportazione del file nel formato standard IFC;

4.3.2 Partizionamento interno

Vengono di seguito delineate le informazioni geometriche e non geometriche necessarie affinché possano essere condotte le attività di verifica riportate nella *Tabella 4.5*, riguardanti la realizzazione di un nuovo partizionamento interno all'interno del Dipartimento DICEA. Tali informazioni vengono individuate per ogni singolo controllo e per ogni singola attività che esso implica.

<table>
<tr><th colspan="3">CONTROLLO 02.</th></tr>
<tr><th colspan="3">02.1</th></tr>
<tr><th>Attività di controllo</th><th>Informazioni geometriche</th><th>Informazioni non geometriche</th></tr>
<tr><td>02.1.1- Gli elementi da demolire o da rimuovere si trovano in una posizione idonea affinché possano essere rimossi senza danneggiare gli elementi da mantenere in opera?</td><td rowspan="2">- Altezza, larghezza e profondità degli elementi da rimuovere o demolire
- Distanza degli elementi da rimuovere o demolire dagli elementi circostanti esistenti (muri perimetrali, elementi di partizione, componenti impianto di ventilazione, impianto elettrico e antincendio)</td><td rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>02.1.2- Gli elementi da demolire o da rimuovere si trovano in una posizione idonea affinché il materiale che ne risulta o l'elemento intero possano essere facilmente rimossi?</td></tr>
<tr><th colspan="3">02.2</th></tr>
<tr><th>Attività di controllo</th><th>Informazioni geometriche</th><th>Informazioni non geometriche</th></tr>
<tr><td>02.2.1- Sono presenti componenti dell'impianto di ventilazione meccanica a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?</td><td rowspan="5">- Posizione dei componenti dell'impianto di ventilazione meccanica
- Posizione dei componenti dell'impianto elettrico
- Posizione dei componenti dell'impianto antincendio
- Distanza dei componenti impiantistici (impianto di ventilazione, elettrico e antincendio) dagli elementi da rimuovere o demolire
- Stratigrafia delle pareti esistenti
- Stratigrafia degli elementi da rimuovere o demolire</td><td rowspan="5">- Stratigrafia delle pareti esistenti
- Stratigrafia degli elementi da rimuovere o demolire</td></tr>
<tr><td>02.2.2- Sono presenti componenti dell'impianto elettrico a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?</td></tr>
<tr><td>02.2.3- Sono presenti componenti dell'impianto antincendio a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?</td></tr>
<tr><td>02.2.4- È possibile rimuovere o demolire gli elementi senza danneggiare le dotazioni impiantistiche presenti?</td></tr>
<tr><td>02.2.5- È possibile separare completamente gli elementi da rimuovere o da demolire dai muri in calcestruzzo senza danneggiare questi ultimi?</td></tr>
<tr><th colspan="3">02.3</th></tr>
<tr><th>Attività di controllo</th><th>Informazioni geometriche</th><th>Informazioni non geometriche</th></tr>
<tr><td>02.3.1- La tipologia di fissaggio presente è tale da consentire la sua rimozione senza danneggiare gli elementi da mantenere in opera?</td><td>- Posizione degli elementi di fissaggio sull'elemento di supporto
- Posizione degli elementi di fissaggio sull'elemento da demolire o rimuovere</td><td>- Tipologia degli elementi di fissaggio</td></tr>
</table>

Tabella 4.8 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 02.;

CONTROLLO 12.		
12.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
12.1.1- Sono presenti componenti dell'impianto di ventilazione meccanica nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?	- Posizione delle bocche di immissione dell'impianto di ventilazione meccanica - Posizione dei rivelatori dell'impianto antincendio - Posizione degli apparecchi di illuminazione - Posizione delle prese elettriche	-
12.1.2- Sono presenti componenti dell'impianto elettrico nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?		
12.1.3- Sono presenti componenti dell'impianto antincendio nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?		
12.2		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
12.2.1- La posizione prevista per le nuove partizioni può in qualche modo ostacolare o disturbare i sopracitati impianti e i relativi componenti?	- Posizione delle nuove partizioni, nonché distanza tra i riferimenti esistenti principali (pareti e partizioni interne esistenti) - Dimensione delle nuove partizioni (altezza, larghezza, profondità)	-

Tabella 4.9 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 12.;

CONTROLLO 13.		
13.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
13.1.1- La tipologia di fissaggio è compatibile con il supporto?	- Tipologia di fissaggio prevista dal progetto - Stratigrafia del supporto - Numero dei fissaggi - Posizione dei fissaggi sul supporto	- Tipologia di fissaggio prevista nel progetto - Stratigrafia e materiali del supporto
13.1.2- È possibile collocare i fissaggi nei punti previsti o sono presenti altri fissaggi/elementi che ne ostacolano l'installazione?		
13.1.3- Le modalità di realizzazione del fissaggio sono compatibili con gli esatti punti in cui il fissaggio va realizzato?		

Tabella 4.10 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 13.;

4.3.3 Impianto di ventilazione meccanica

Vengono di seguito delineate le informazioni geometriche e non geometriche necessarie affinché possano essere condotte le attività di verifica riportate nella *Tabella 4.7*, riguardanti la realizzazione di impianto di ventilazione meccanica nel Dipartimento DICEA. Tali informazioni vengono individuate per ogni singolo controllo e per ogni singola attività che esso implica.

CONTROLLO 74.		
74.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
74.1.1- È possibile installare la tipologia di sostegno indicata nel progetto sul supporto esistente?	- Posizione dei sostegni e distanza di ogni sostegno dal successivo - Numero dei sostegni previsti	- Tipologia dei sostegni previsti - Modalità di fissaggio dei sostegni al supporto
74.1.2- È possibile installare quella tipologia di sostegno sul supporto nell'esatta posizione prevista dal progetto?		

Tabella 4.11 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 74.;

CONTROLLO 76.		
76.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
76.1.1- È possibile installare i canali di distribuzione nella posizione prevista dal progetto?	- Dimensione dei canali di distribuzione dell'aria - Posizione dei canali di distribuzione -Posizione delle bocche di immissione	-
76.1.2- I canali di distribuzione presenti nel progetto sono posizionati in modo tale da servire correttamente gli ambienti?		
76.2		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
76.2.1- I canali di distribuzione, così come progettati, interferiscono con elementi appartenenti all'impianto elettrico?	- Dimensione dei canali di distribuzione dell'aria - Posizione dei canali di distribuzione 3.Posizione delle bocche di immissione - Posizione degli apparecchi di illuminazione - Posizione dei rivelatori antincendio	-
76.2.1- I canali di distribuzione, così come progettati, interferiscono con elementi appartenenti all'impianto antincendio?		

Tabella 4.12 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 76.;

CONTROLLO 77.		
77.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
77.1.1- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria calda negli ambienti climatizzati?	- Dimensione dei canali di distribuzione dell'aria - Posizione dei canali di distribuzione - Spessore dell'isolante lungo tutto lo sviluppo dei canali	- Tipologia di isolante adottata
77.1.2- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria calda negli ambienti non climatizzati per evitare dispersioni di calore?		
77.1.3- La tipologia e lo spessore dell'isolante è idonea rispetto alla posizione occupata dal canale di distribuzione?		

Tabella 4.13 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 77.;

CONTROLLO 78.		
78.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
78.1.1- Le bocche di immissione possono essere posizionate in modo tale che l'aria venga correttamente distribuita nell'ambiente?	- Dimensioni delle bocche di immissione dell'impianto - Posizione delle bocche di immissione in ciascun ambiente	-
78.1.2- La posizione prevista dal progetto assicura una corretta distribuzione dell'aria?		
78.2		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
78.2.1- Le bocche di immissione sono posizionate in modo tale da non interferire con altri elementi esistenti?	- Posizione delle bocche di immissione in ciascun ambiente - Posizione degli apparecchi di illuminazione - Posizione dei rivelatori antincendio	-

Tabella 4.14 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 78.;

CONTROLLO 97.		
97.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
97.1.1- I canali di distribuzione dell'aria sono posizionati in modo tale da essere accessibili?	- Dimensione dei canali di distribuzione dell'aria - Posizione dei canali di distribuzione dell'aria - Dimensione del condizionatore rooftop AC scelto - Posizione del condizionatore rooftop AC - Dimensione e posizione delle bocche di immissione - Dimensione e posizione dei rivelatori antincendio - Dimensione e posizione degli apparecchi di illuminazione	-
97.1.2- Il rooftop AC è posizionato in modo tale da essere accessibile?		
97.1.3- Le bocche di immissione sono posizionate in modo tale da essere accessibili?		
97.1.4- I canali di distribuzione, il rooftop AC e le bocche di immissione sono posizionati in modo tale che la loro accessibilità non sia compromessa da altri elementi e/o componenti di altri impianti?		

Tabella 4.15 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 97.;

CONTROLLO 104.		
104.1		
Attività di controllo	**Informazioni geometriche**	**Informazioni non geometriche**
104.1.1- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti climatizzati?	- Dimensione dei canali di distribuzione dell'aria fredda - Posizione dei canali di distribuzione dell'aria fredda - Spessore dell'isolante lungo tutto lo sviluppo dei canali	- Tipologia di isolante adottata
104.1.2- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti non climatizzati?		
104.1.3- La tipologia e lo spessore dell'isolante è idonea rispetto alla posizione occupata dal canale di distrubuzione?		

Tabella 4.16 – Informazioni geometriche e non geometriche relative al controllo codice 104.;

4.4 Modellazione BIM

4.4.1 Struttura del modello

Tutte le informazioni geometriche e non geometriche necessarie per la conduzione delle attività di controllo on field mediante il sistema proposto, vengono riportate in un modello BIM. Il Modello BIM del Dipartimento DICEA è realizzato mediante il software Revit, ed è strutturato in modo tale da riportare tre diversi scenari:

- *Scenario esistente*, il quale rappresenta lo stato di fatto, nonché il Dipartimento DICEA previa realizzazione degli interventi di riqualificazione previsti;
- *Scenario di progetto*, il quale rappresenta lo stato futuro, nonché il Dipartimento DICEA a valle degli interventi di riqualificazione;
- *Scenario comparato*, il quale riporta un confronto tra i due scenari sopracitati mettendone in luce le differenze;

4.4.2 Scenario esistente

4.4.2.1 Il modello e le viste

Lo scenario esistente descrive lo stato di fatto, cioè riporta le informazioni geometriche e non geometriche relative al Dipartimento DICEA previa realizzazione degli interventi di riqualificazione. Il modello si costituisce di un unico piano fuoriterra, un controsoffitto e un tetto accessibile.

Si riportano di seguito le viste in pianta, in prospetto, in sezione e le viste 3D relative allo scenario esistente.

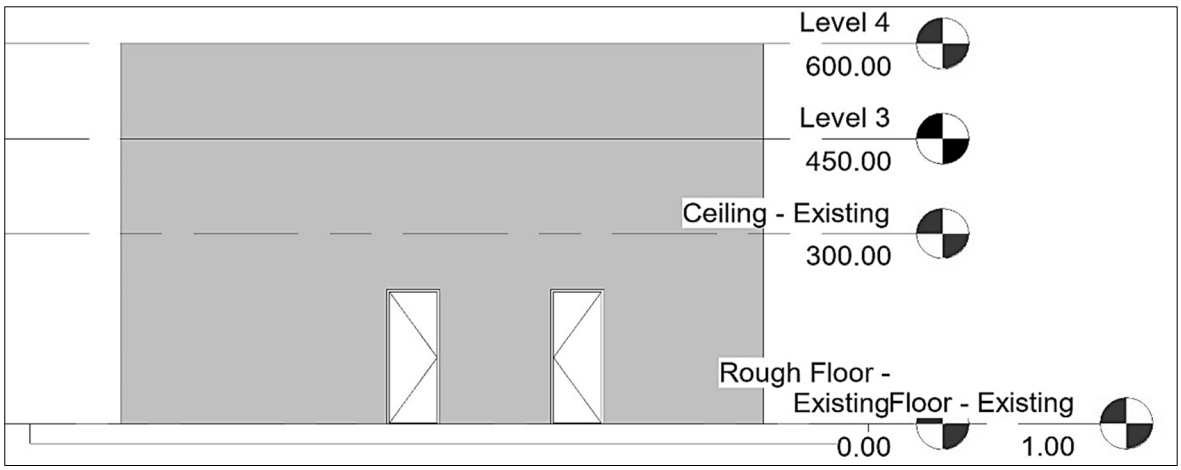

Figura 4.1 – Prospetto Est, scenario esistente;

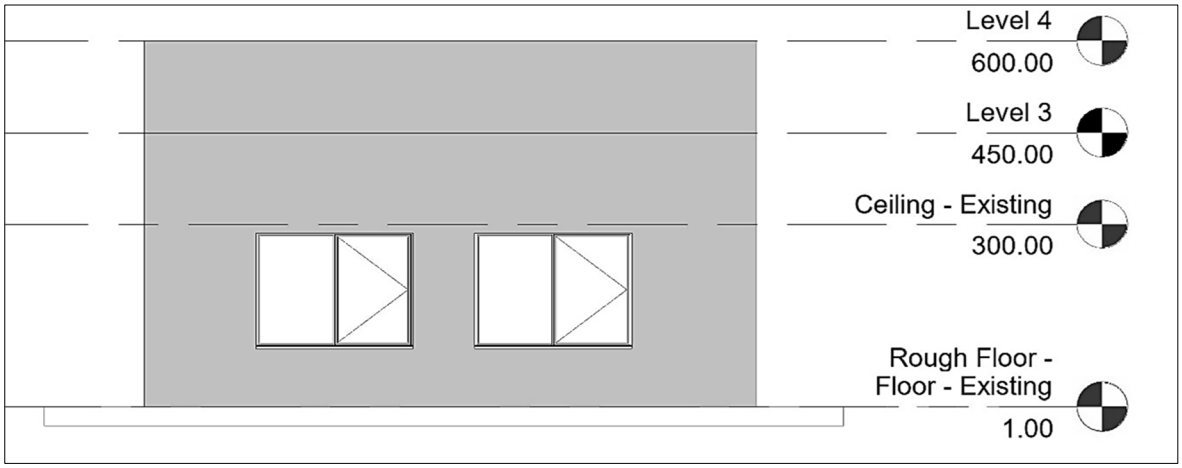

Figura 4.2 – Prospetto Ovest, scenario esistente;

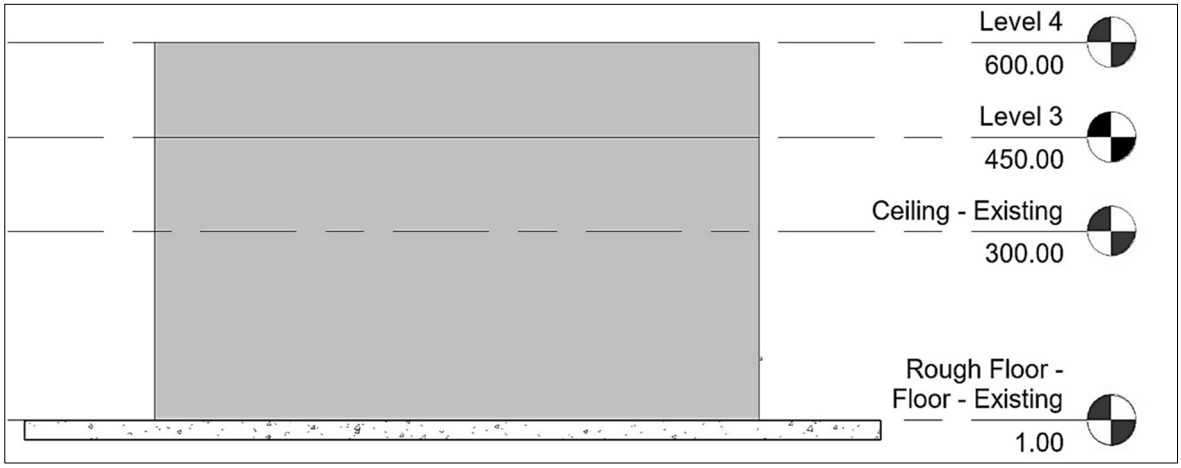

Figura 4.3 – Prospetto Nord, scenario esistente;

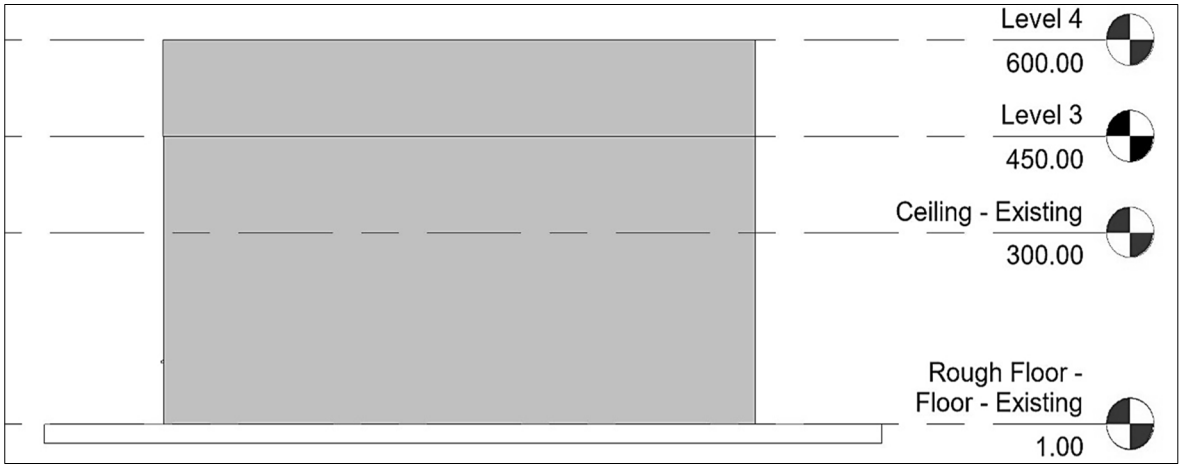

Figura 4.4 – Prospetto Sud, scenario esistente;

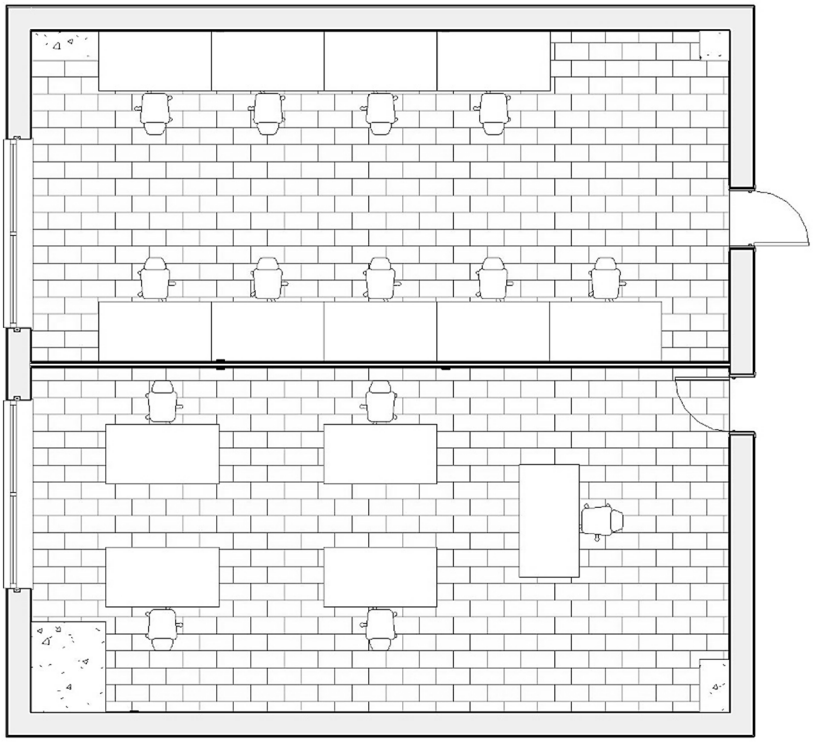

Figura 4.5 – Pianta del piano terra, scenario esistente;

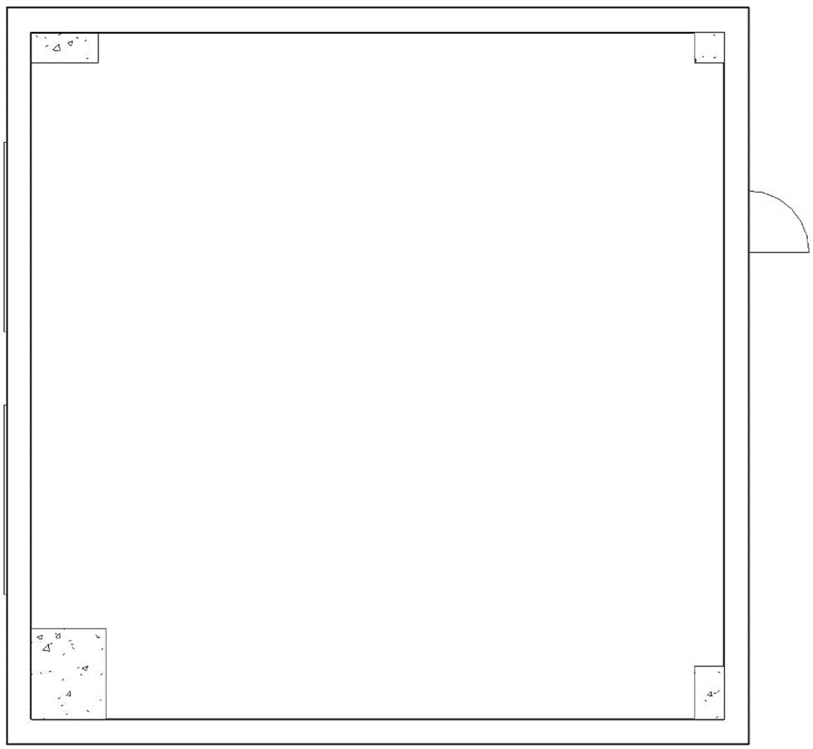

Figura 4.6 – Pianta del controsoffitto, scenario esistente;

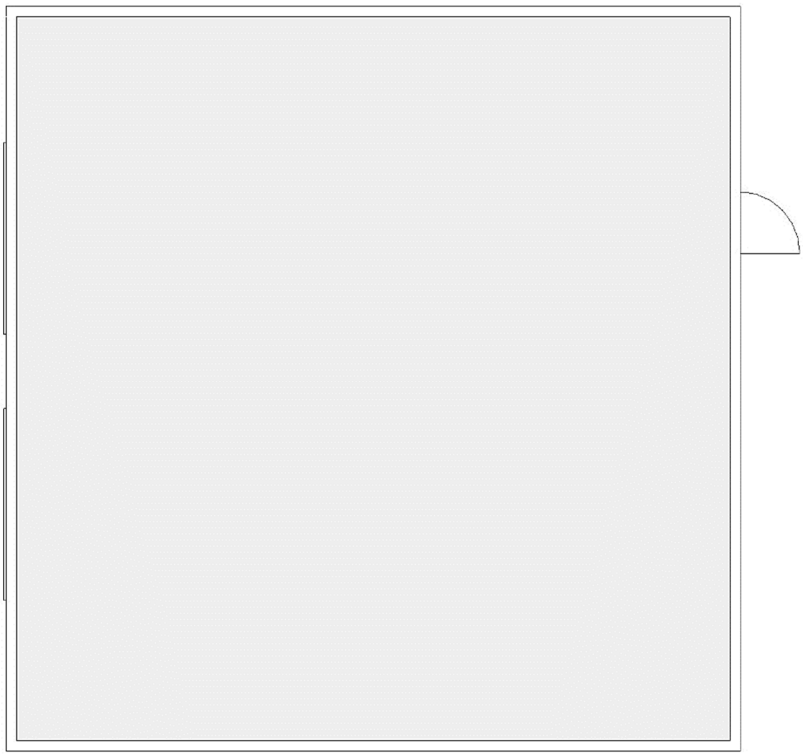

Figura 4.7 – Pianta del tetto, scenario esistente;

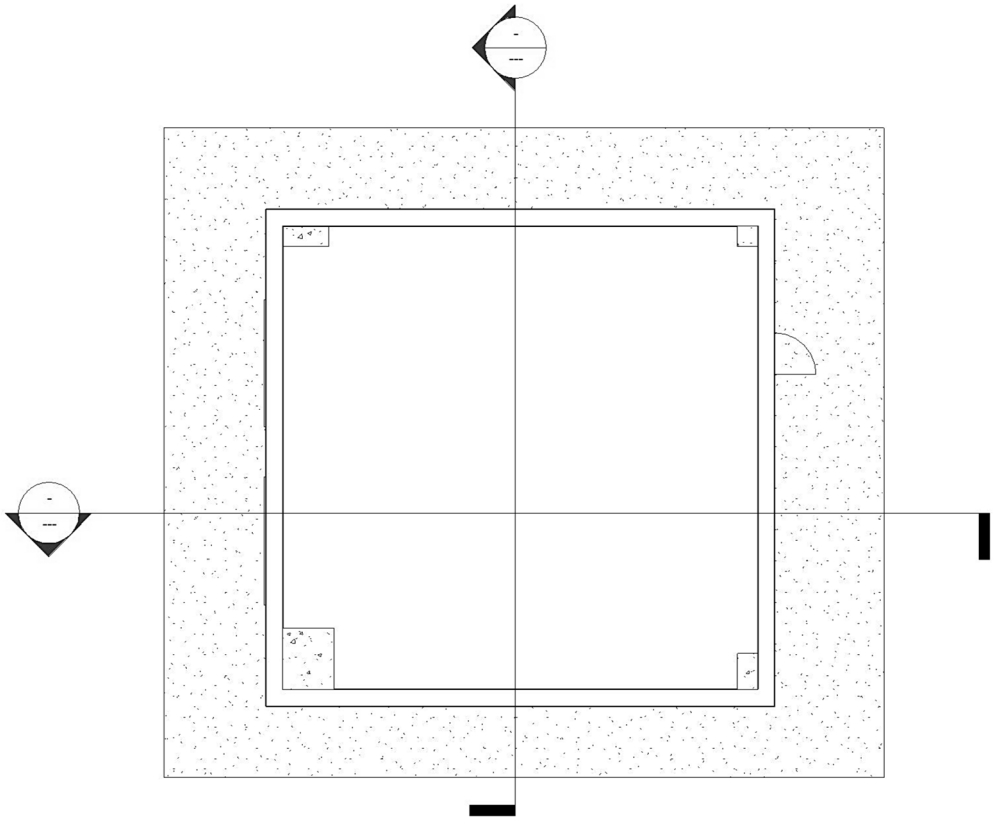

Figura 4.8 – Indicazione sezioni, scenario esistente;

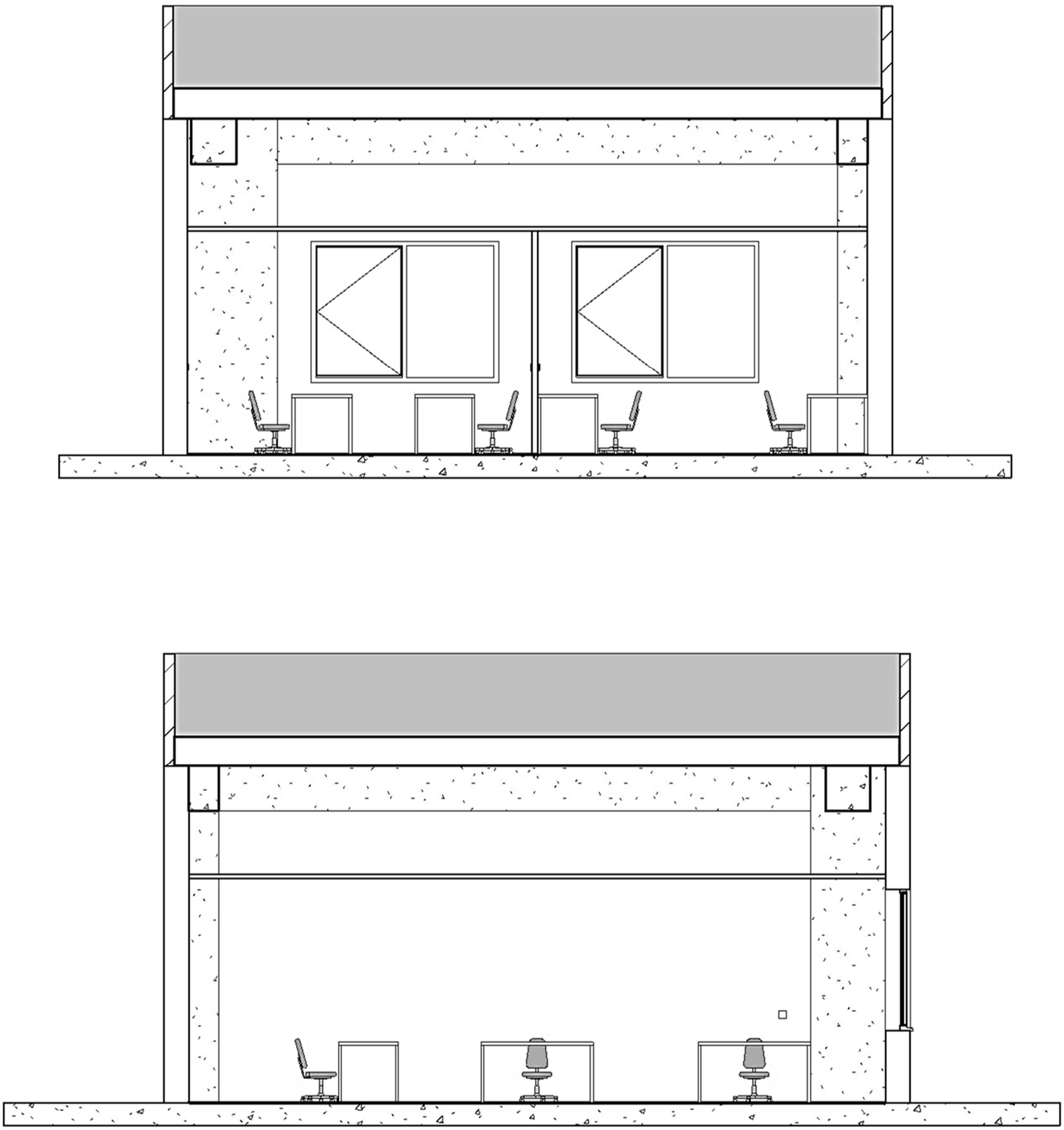

Figura 4.9 – Sezioni, scenario esistente;

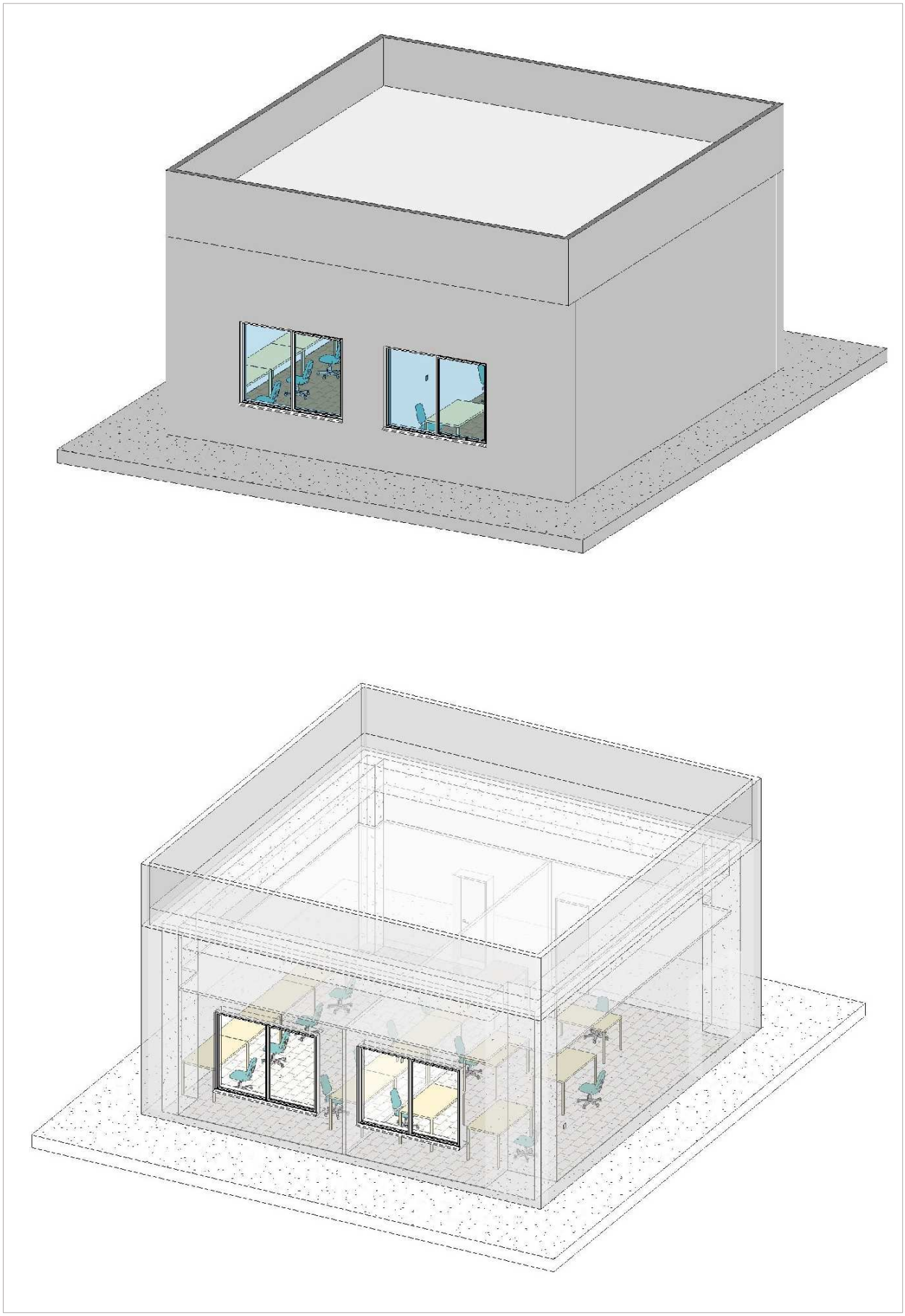

Figura 4.10 – Vista 3D, scenario esistente;

4.4.2.2 Il partizionamento interno esistente

Il partizionamento interno esistente viene mostrato in pianta nella *Figura 4.5* ed è un partizionamento costituito da una struttura portante in acciaio e da pannelli di rivestimento in cartongesso. Nel modello, relativamente alle partizioni, sono state inserite le informazioni geometriche, quali le dimensioni, e le informazioni non geometriche, nonché i materiali costituenti, le proprietà fisiche/termiche.

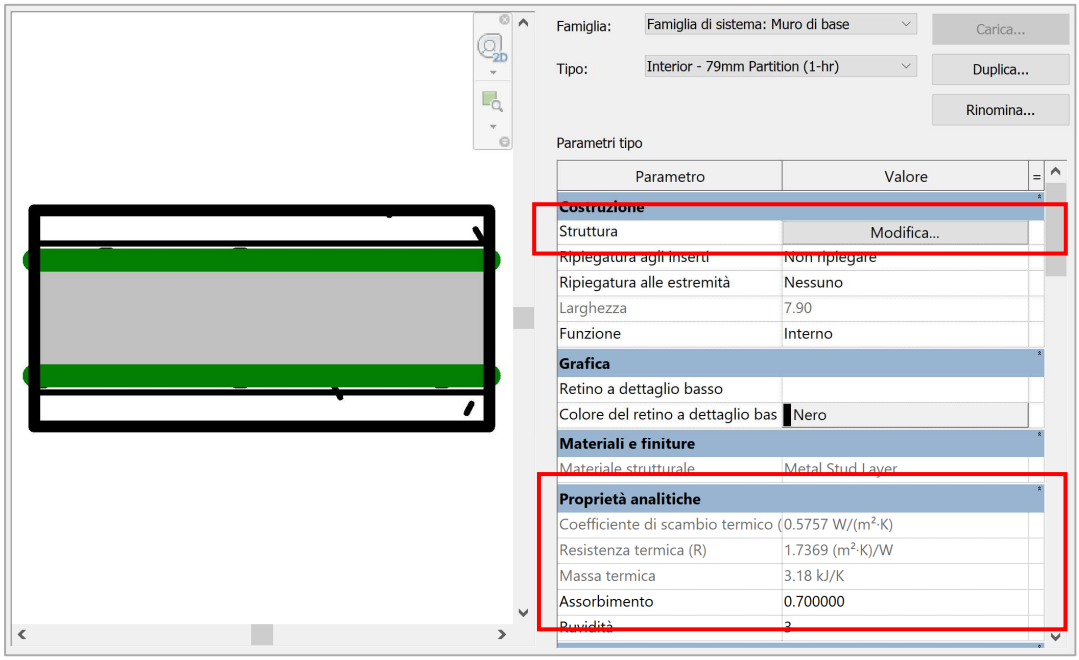

Figura 4.11 –Proprietà delle partizioni interne, scenario esistente;

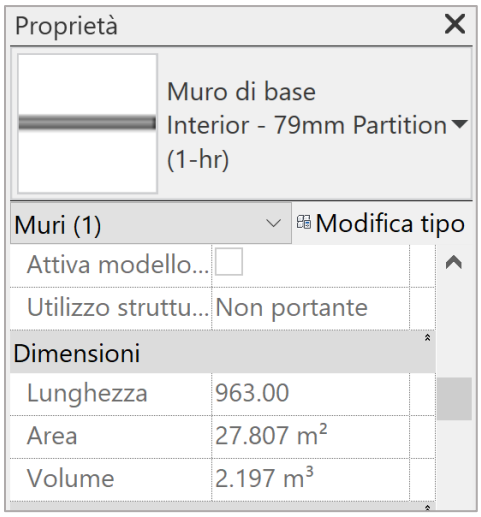

Figura 4.12 –Informazioni geometriche partizione interna, scenario esistente;

Nella *Figura 4.11* viene riportata una panoramica delle proprietà associate agli elementi che costituiscono il partizionamento interno. In particolare, in alto vengono mostrate alcune informazioni geometriche che è possibile approfondire e modificare mediante la sezione “modifica”. In basso vengono riportate alcune proprietà fisiche e termiche, nonché alcune informazioni di natura non geometrica.

Nella *Figura 4.12* vengono mostrate le principali informazioni geometriche, nonché le dimensioni della partizione esistente.

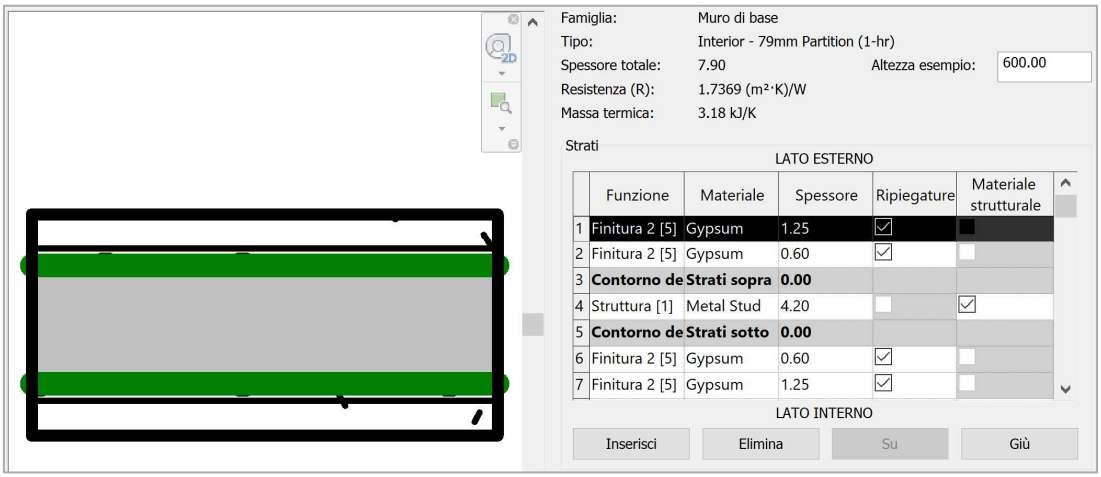

Figura 4.13 – Stratigrafia delle partizioni esistenti, scenario esistente;

La *Figura 4.13* riporta informazioni geometriche e non geometriche. Infatti, essa rappresenta la stratigrafia della partizione, nella quale vengono specificati gli spessori e i materiali costituenti quest’ultima.

4.4.3 Scenario di progetto

4.4.3.1 Il modello e le viste

La riqualificazione del Dipartimento prevede due interventi: la realizzazione di un nuovo partizionamento interno e la realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica.

Si riportano di seguito le viste in pianta, in prospetto, in sezione e le viste 3D relative allo scenario progettuale.

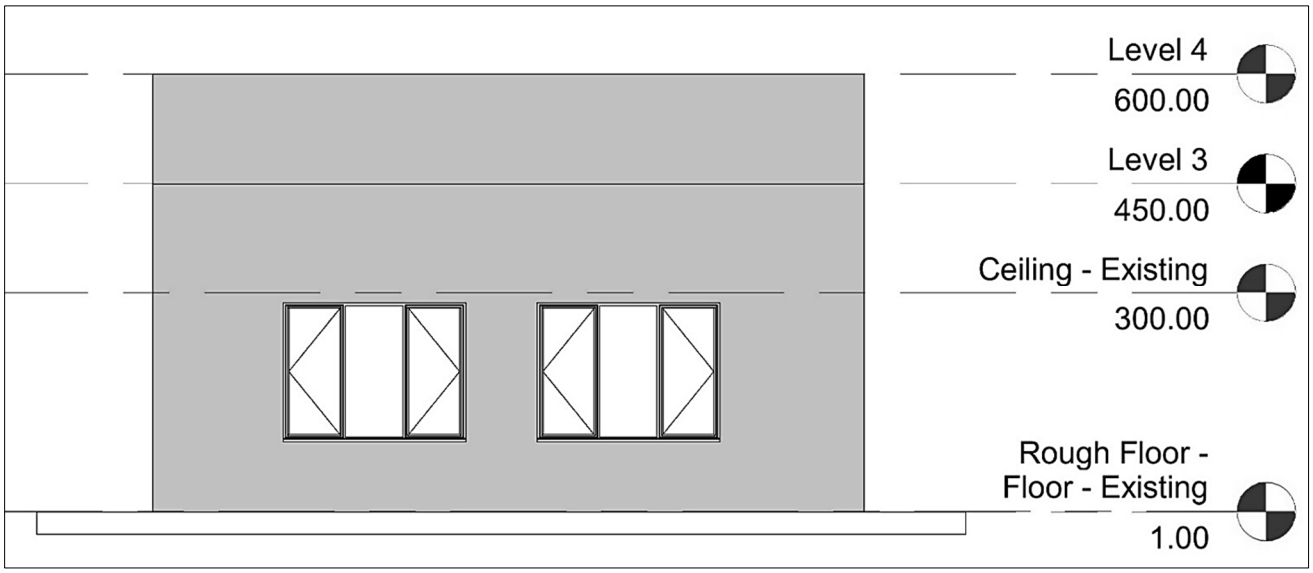

Figura 4.14 – Prospetto Ovest, scenario di progetto;

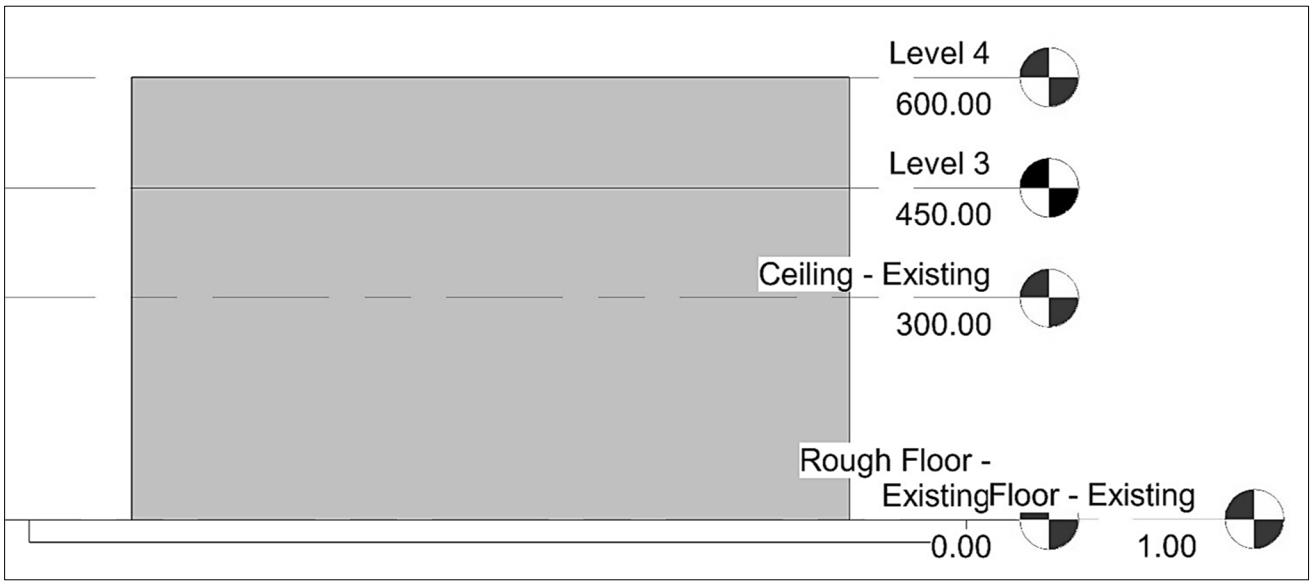

Figura 4.15 – Prospetto Est, scenario di progetto;

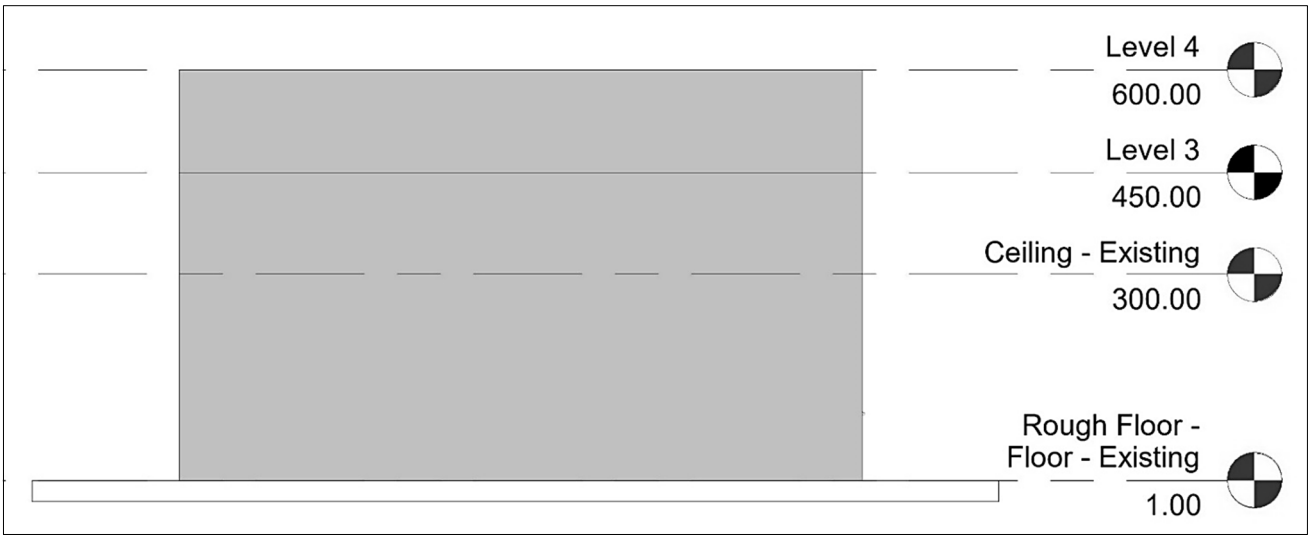

Figura 4.16 – Prospetto Nord, scenario di progetto;

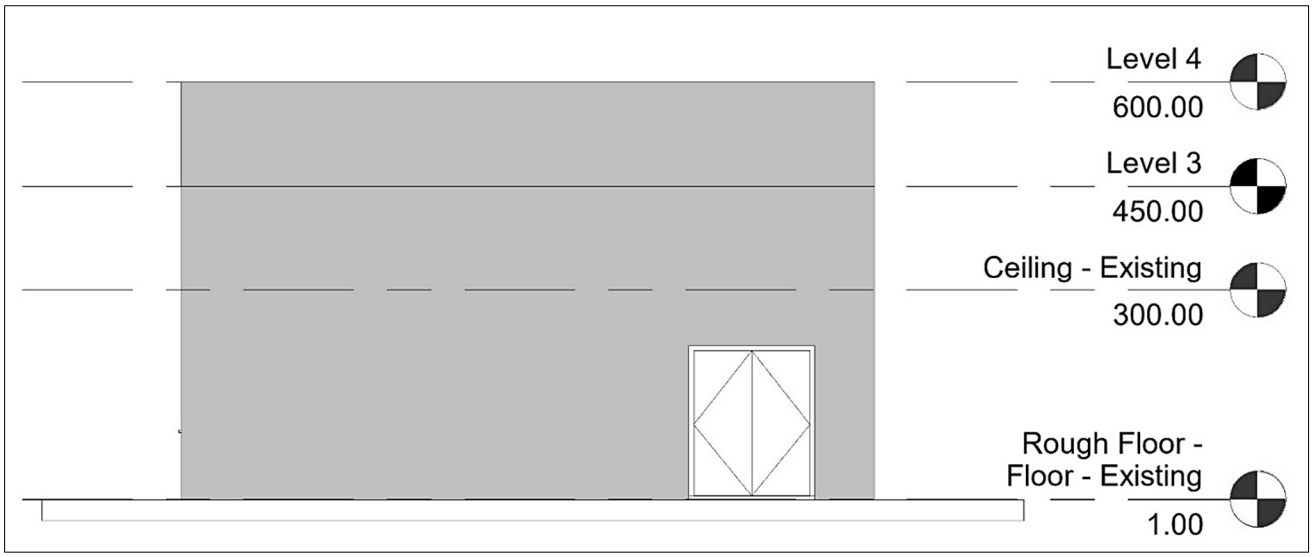

Figura 4.17 – Prospetto Sud, scenario di progetto;

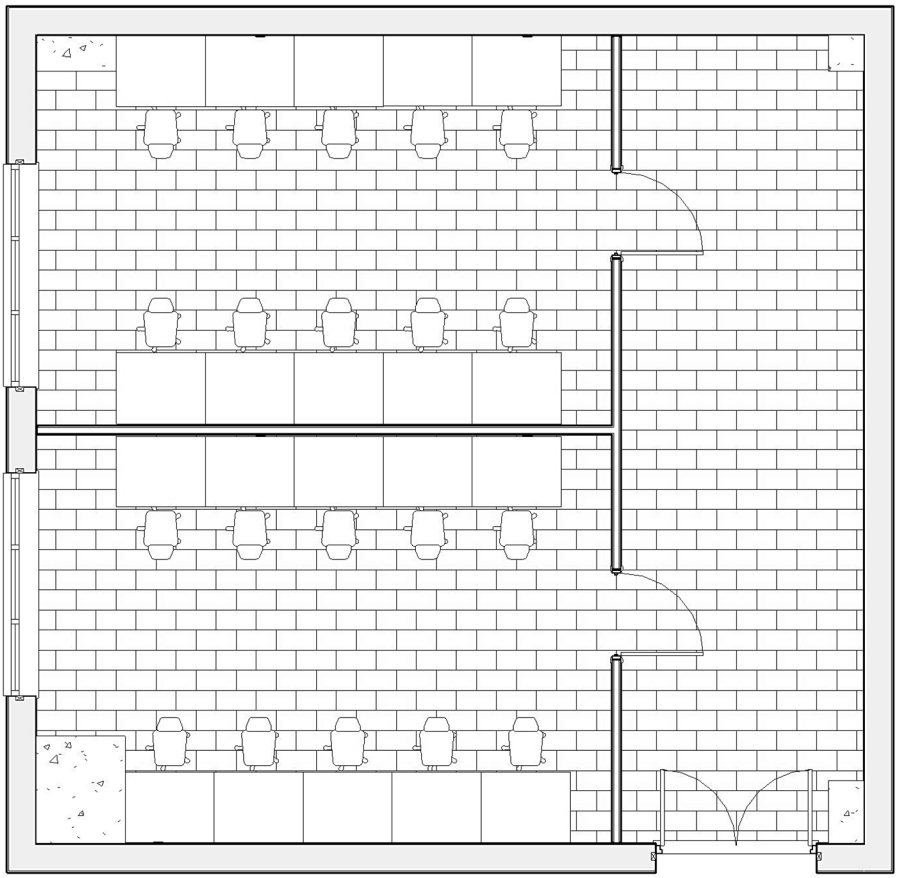

Figura 4.18 – Pianta del piano terra, scenario di progetto;

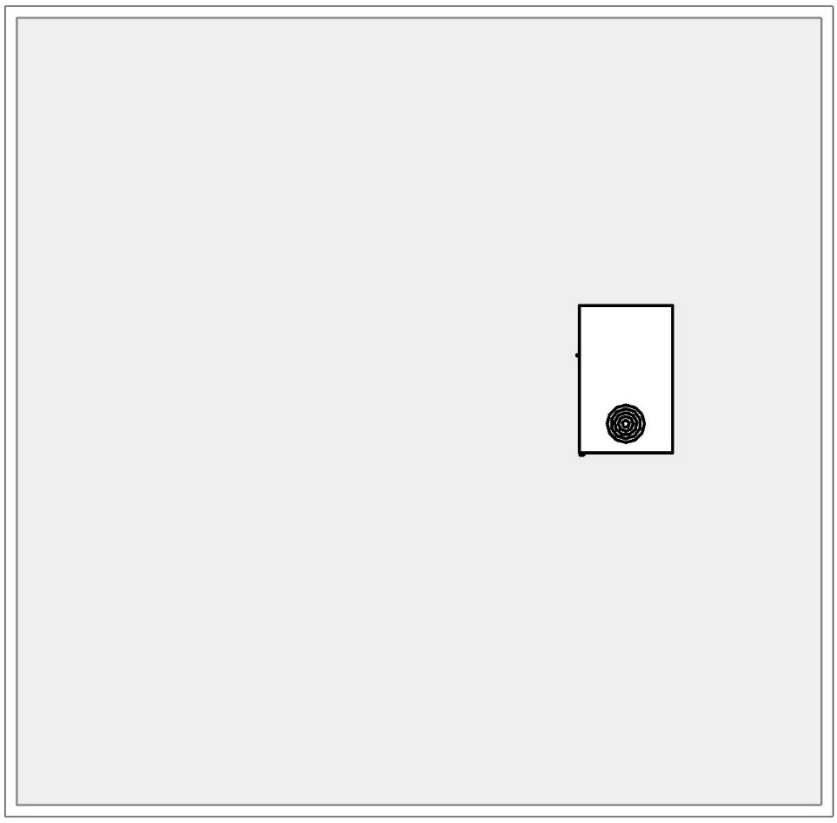

Figura 4.19 – Pianta del tetto, scenario di progetto;

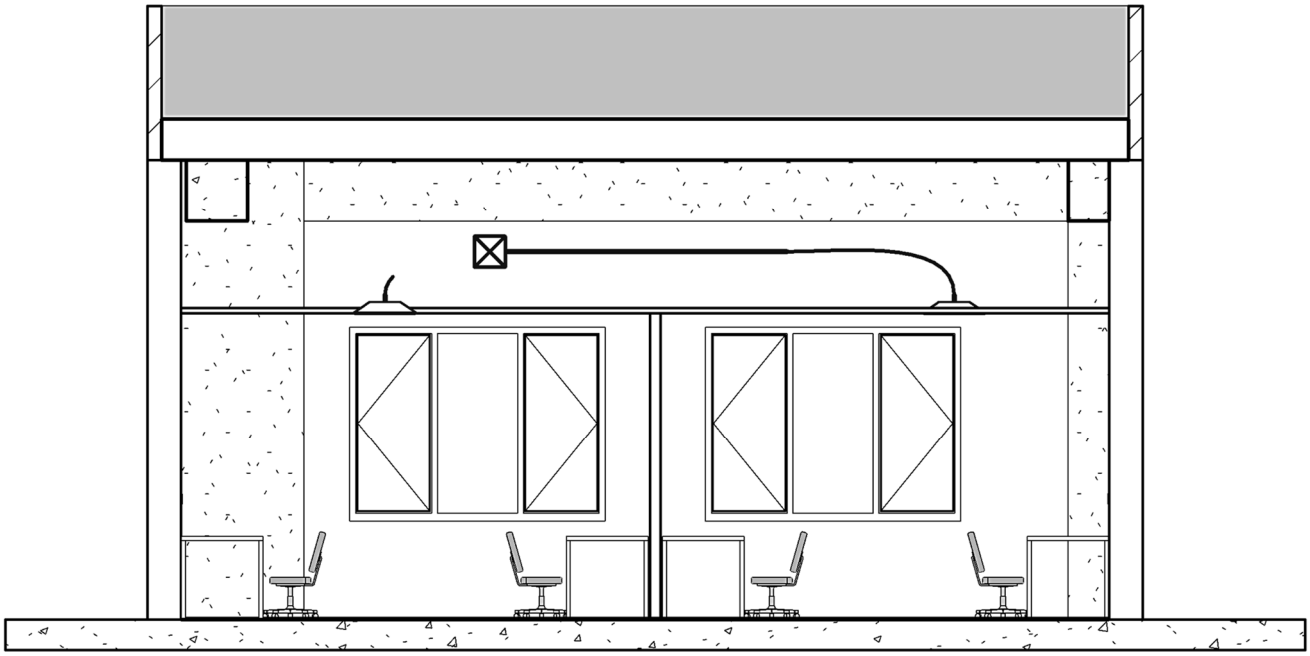

Figura 4.20 – Sezione, scenario di progetto;

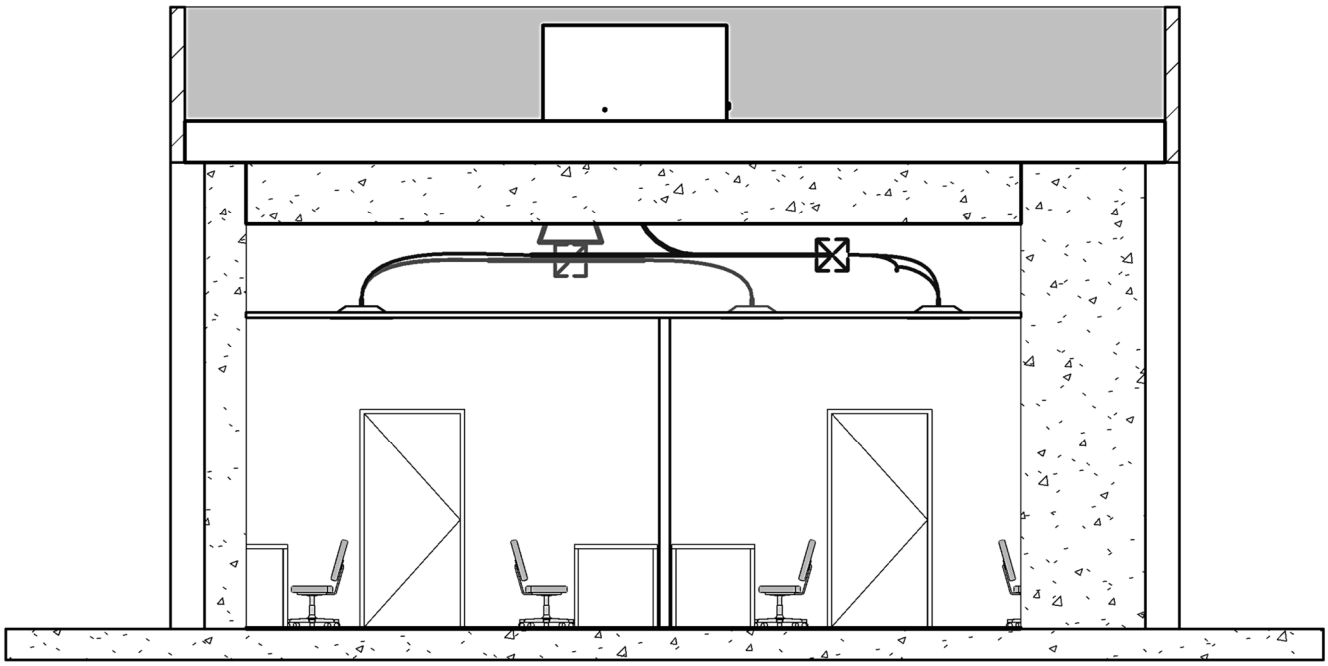

Figura 4.21 – Sezione, scenario di progetto;

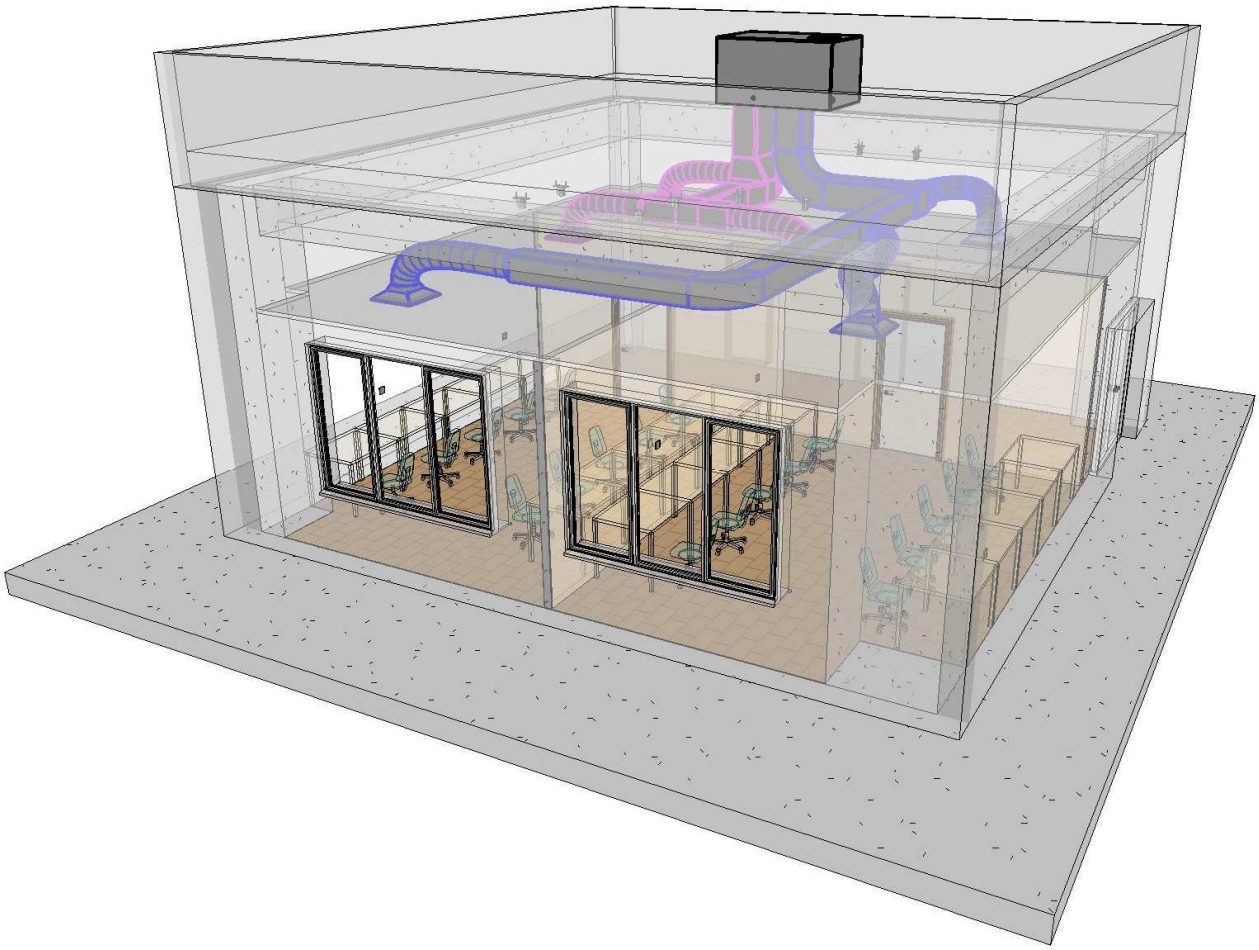

Figura 4.22 – Vista 3D, scenario di progetto;

4.4.3.2 Partizionamento interno

Uno degli interventi previsti nel processo di riqualificazione che interessa il Dipartimento DICEA è la realizzazione di un nuovo partizionamento interno. Tale intervento consiste nella demolizione delle partizioni esistenti e nell'installazione di nuove partizioni con caratteristiche e proprietà diverse. Le nuove partizioni (mostrate in *Figura 4.18*) sono pareti prefabbricate caratterizzate da una struttura portante in acciaio in montanti e traversi e da pannelli di rivestimento in legno melaminico.

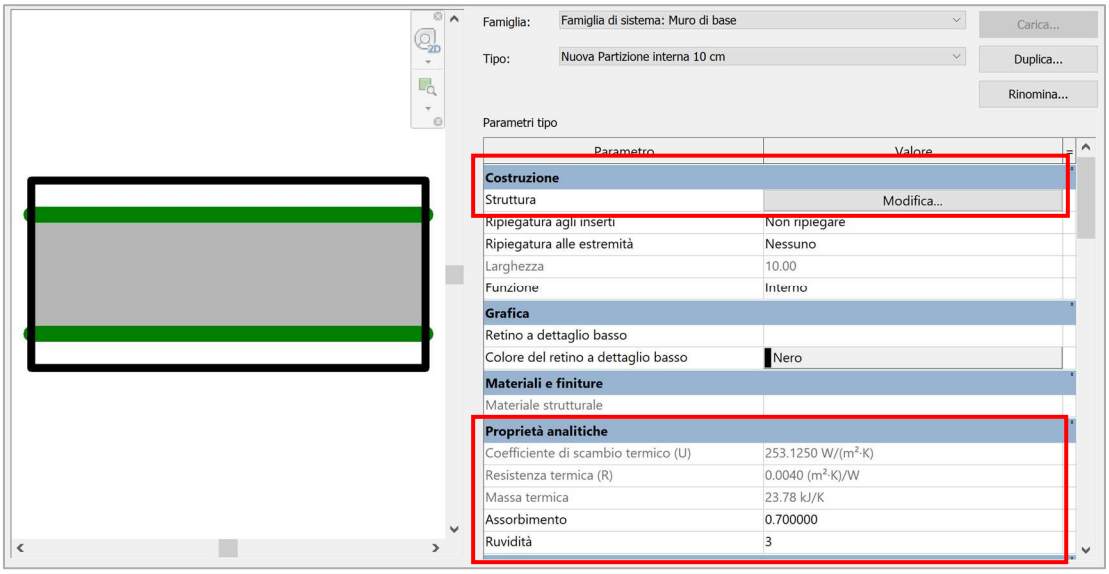

Figura 4.23 – Proprietà delle nuove partizioni interne, scenario di progetto;

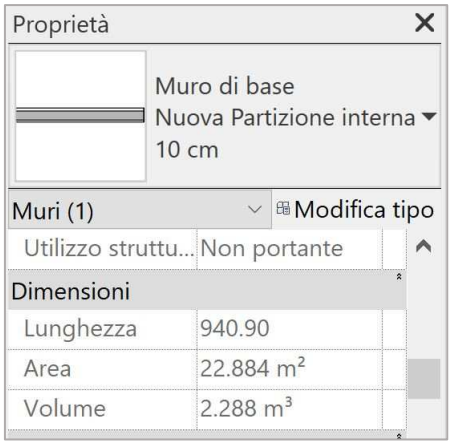

Figura 4.24 – Informazioni geometriche nuova partizione di esempio, scenario di progetto;

Nella *Figura 4.23* è riportato un quadro delle principali proprietà delle nuove partizioni interne. In particolare, in alto vengono mostrate alcune informazioni riguardo la stratigrafia che è possibile approfondire e modificare mediante la sezione "modifica". In basso vengono invece delineate alcune proprietà fisiche e termiche, nonché alcune informazioni di natura non geometrica.

Nella *Figura 4.24* vengono invece riportate le informazioni di natura geometrica di una delle nuove partizioni.

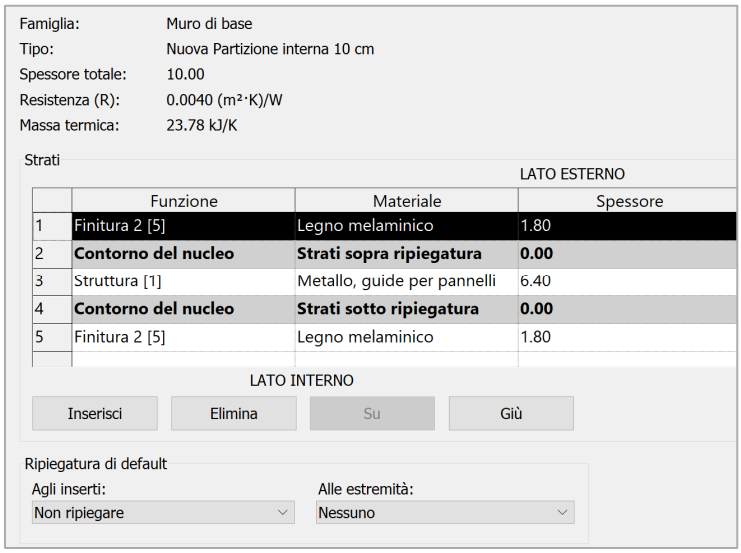

Figura 4.25 – Stratigrafia delle nuove partizioni interne, scenario di progetto;

La *Figura 4.25* rappresenta le specifiche riguardanti la statigrafia delle nuove partizioni. Tale sezione contiene informazioni di natura geometrica, in quanto delinea gli spessori degli strati che compongono la parete, ma anche informazioni non geometriche, in quanto riporta i materiali di cui questi si compongono.

Oltre alle informazioni geometriche e non che riguardano la partizione interna in sé, vengono inserite nel modello anche le informazioni relative al sistema di ancoraggio della stessa ai muri perimetrali. In particolare, la tipologia di parete prefabbricata impiegata è tale da non necessitare di nessun ancoraggio al soffitto e al pavimento, in quanto la stabilità della stessa è garantita dall'incastro a baionetta tra gli elementi interni e da un sistema di ancoraggio ai muri. L'appoggio al pavimento è invece realizzato mediante un sistema costituito da un binario in acciaio e da un piedino regolabile mediante vite di regolazione. Il sistema di ancoraggio alle pareti perimetrali si costituisce di un profilo in

acciaio fissato alle stesse mediante tasselli a vite a testa esagonale. Si riportano di seguito le specifiche relative a tale sistema.

Figura 4.26 – Proprietà geometriche del profilo metallico, scenario di progetto;

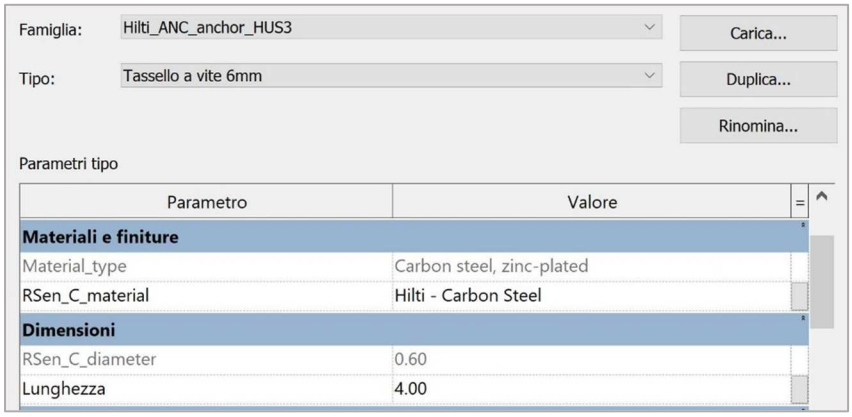

Figura 4.27 – Proprietà geometriche del tassello a vite, scenario di progetto;

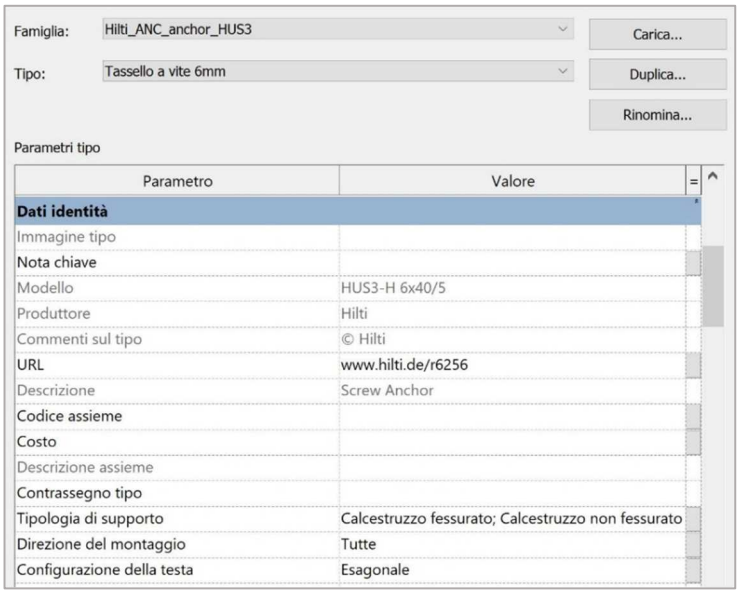

Figura 4.28– Proprietà non geometriche del tassello a vite, scenario di progetto;

Pertanto, per quanto concerne il sistema di ancoraggio delle nuove partizioni interne alle pareti esistenti, vengono inserite nel modello informazioni geometriche e non geometriche relative al profilo metallico e ai tasselli a vite.

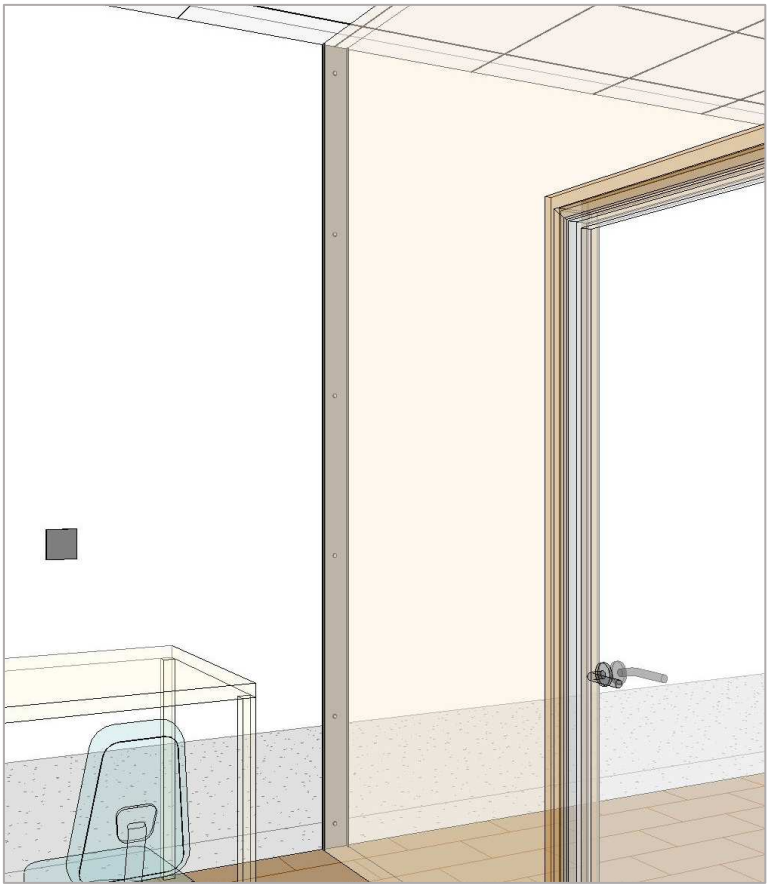

Figura 4.29 – Sistema di ancoraggio delle partizioni, scenario di progetto;

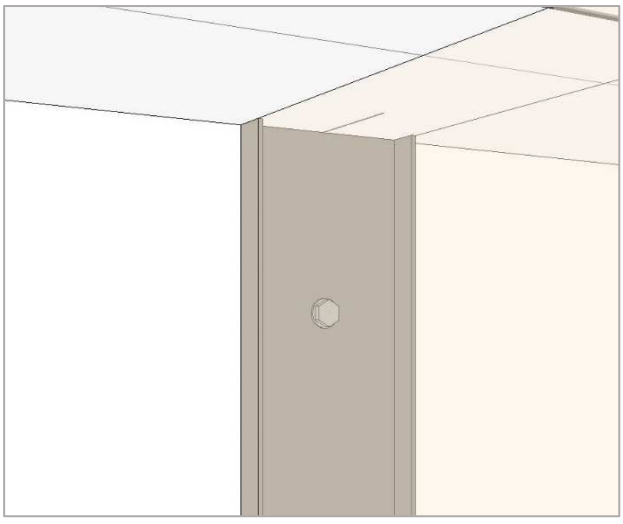

Figura 4.30 – Particolare del sistema di ancoraggio delle partizioni, scenario di progetto;

4.4.3.3 Impianto di ventilazione meccanica

Il secondo intervento previsto nel processo di riqualificazione del Dipartimento DICEA è la realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica che garantisca il ricambio dell'aria in tutti gli ambienti. L'impianto previsto è un impianto a doppio flusso costituito dai seguenti componenti:

- Una bocchetta di immissione e una bocchetta di estrazione dell'aria in ciascun ambiente servito dall'impianto;
- Un'unità Rooftop Air Conditioner installata in copertura;
- Canali di distribuzione dell'aria in ingresso situati nel controsoffitto;
- Canali di distribuzione dell'aria in uscita situati nel controsoffitto;

Si riportano di seguito le informazioni geometriche e non geometriche inserite nel modello e relative a ciascun componente dell'impianto di ventilazione meccanica.

Bocchette di immissione/estrazione dell'aria

l'impianto di ventilazione è a doppio flusso, pertanto prevede due sistemi separati per l'immissione e per l'estrazione dell'aria. Sono presenti, infatti, canalizzazioni di immissione e di estrazione e, pertanto, bocchette di immissione e di estrazione.

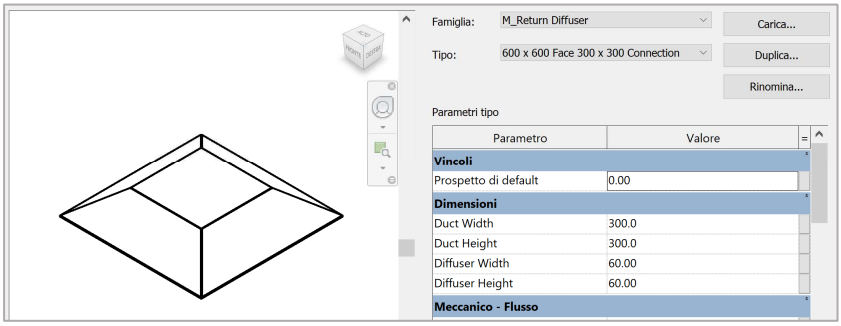

Figura 4.31 – Informazioni geometriche bocchette di estrazione, scenario di progetto;

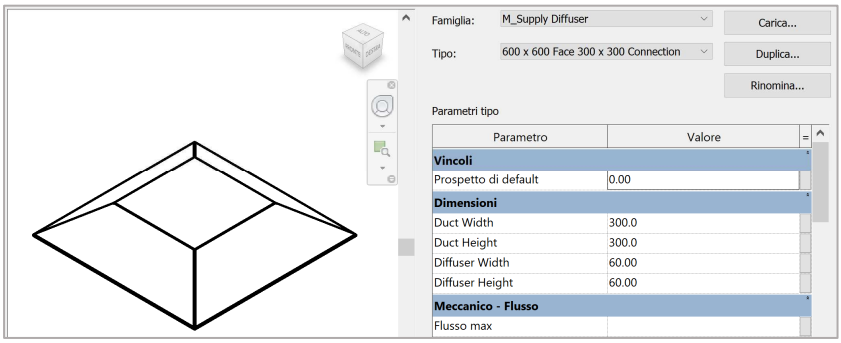

Figura 4.32 – Informazioni geometriche bocchette di immissione, scenario di progetto;

Unità Rooftop Air Conditioner

L'unità Rooftop AC è installata sul tetto ed è un'unità di trattamento aria impiegata per il condizionamento dei piccoli ambienti. Tale unità assolve le funzioni di ventilazione degli ambienti, umidificazione e deumidificazione, filtraggio, riscaldamento e raffrescamento dell'aria.

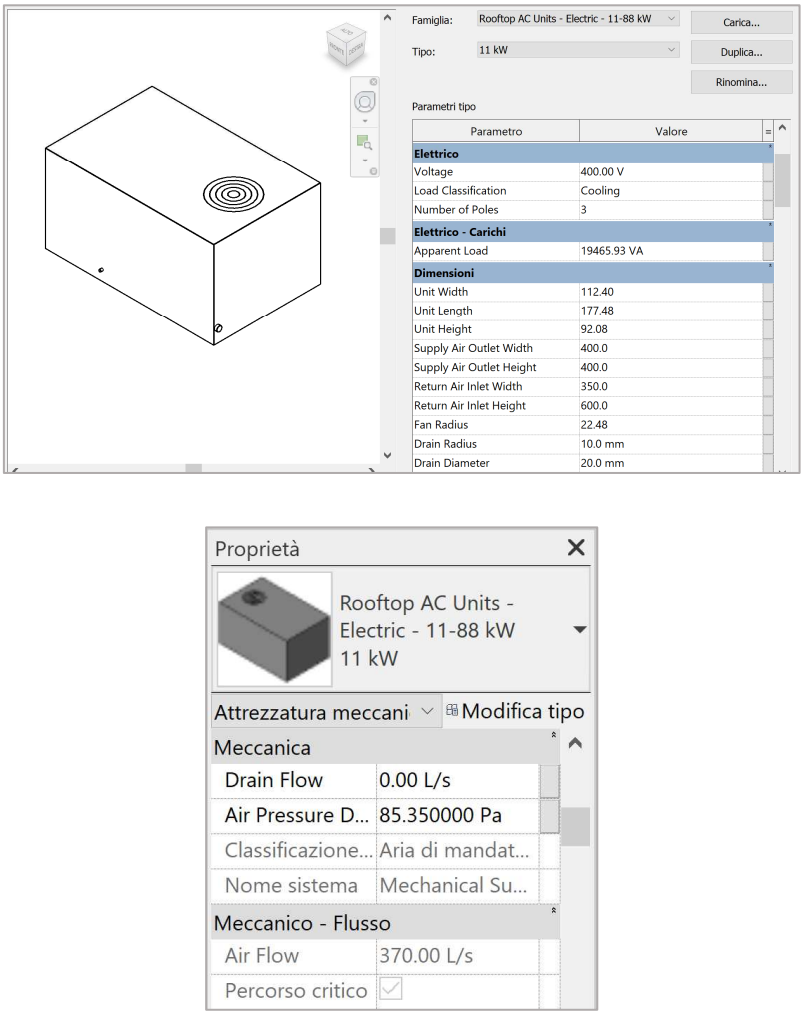

Figura 4.33 – Proprietà dell'unità Rooftop AC, scenario di progetto;

Canalizzazioni di immissione/estrazione

Essendo l'impianto a doppio flusso, sono presenti canalizzazioni con funzione di immissione dell'aria e canalizzazioni con funzione di estrazione dell'aria. In ambo i caso, le canalizzazioni si costituiscono di:

- Condotti rettangolari e circolari
- Elementi di raccordo

Si riportano di seguito le proprietà geometriche e non geometriche relative agli elementi sopracitati.

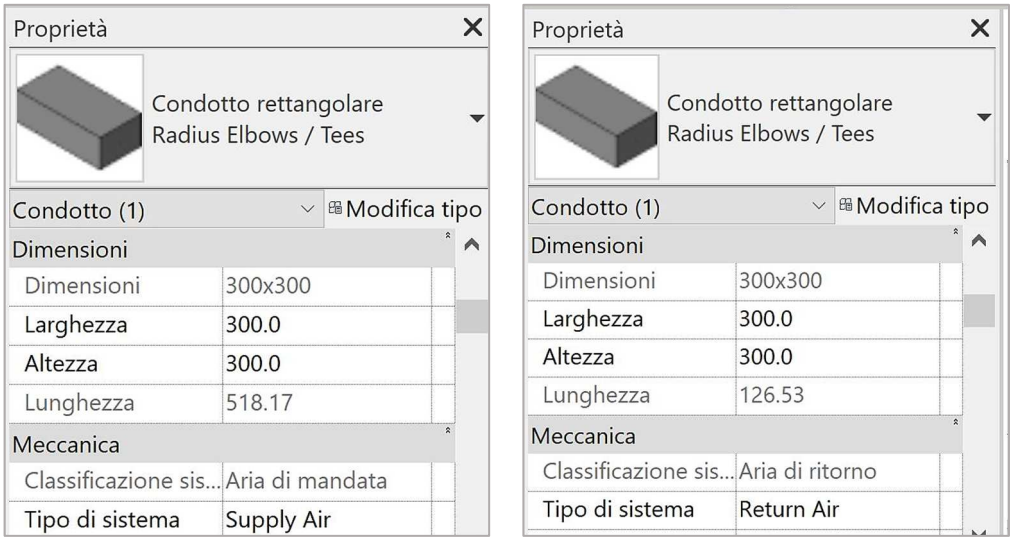

Figura 4.34 – Proprietà dei condotti rettangolari di immissione e di estrazione, scenario di progetto;

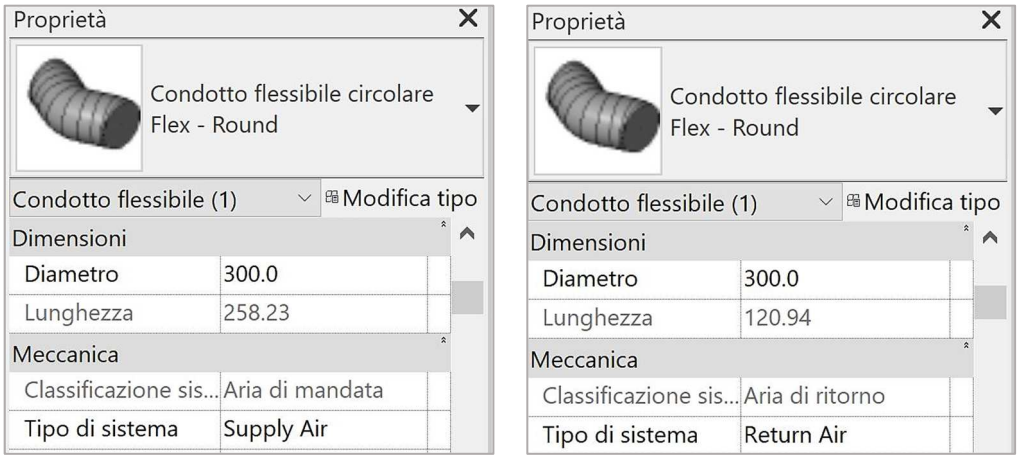

Figura 4.35 – Proprietà dei condotti circolari di immissione e di estrazione, scenario di progetto;

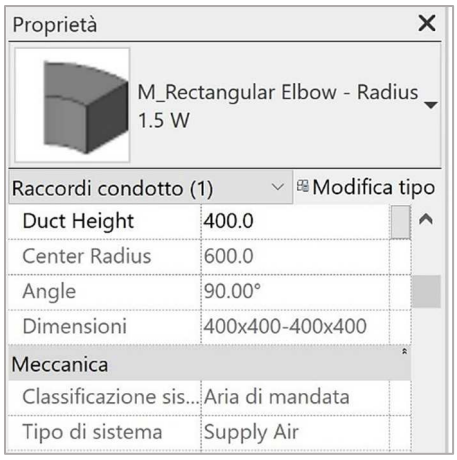

Figura 4.36 – Proprietà di un elemento di raccordo di esempio, scenario di progetto;

Ciascun condotto presenta un isolamento esterno in lana di roccia dello spessore di 15 mm le cui proprietà vengono mostrate di seguito con riferimento ad un condotto di immissione di esempio.

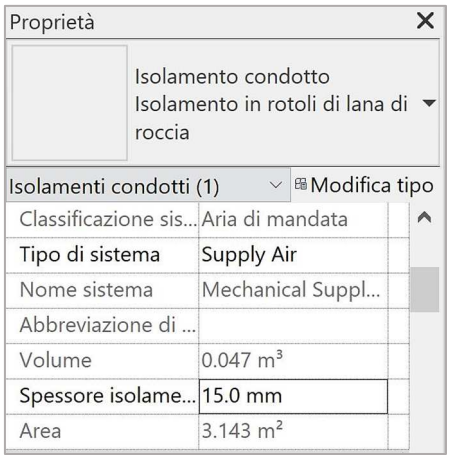

Figura 4.37 – Proprietà dell'isolamento dei condotti, scenario di progetto;

Elementi di sostegno

Le canalizzazioni dell'impianto di ventilazione meccanica sono caratterizzate da un sistema di sostegno del tipo "a binario". Tale sistema, che svolge la funzione di sostegno delle stesse, è costituito da un binario orizzontale, due binari verticali fissati al soffitto mediante elementi definiti "basi per binari", ancorati tramite tasselli a vite a testa esagonale. Nel modello vengono inserite solamente le basi per i binari e i relativi tasselli a vite.

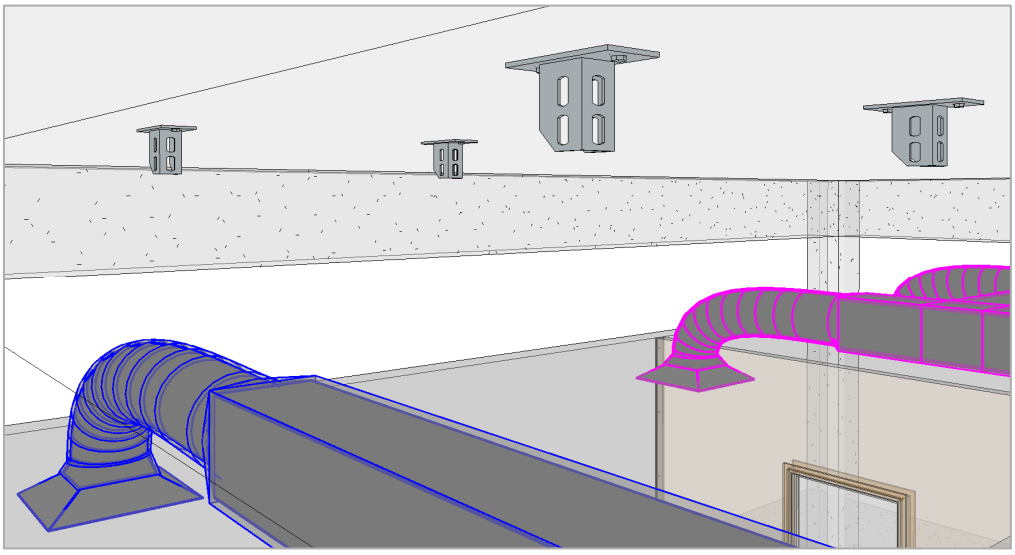

Figura 4.38 – Base per binari, vista 3D, scenario di progetto;

Sono riportate di seguito le informazioni geometriche e non geometriche relative alla base per binari e ai relativi tasselli a vite.

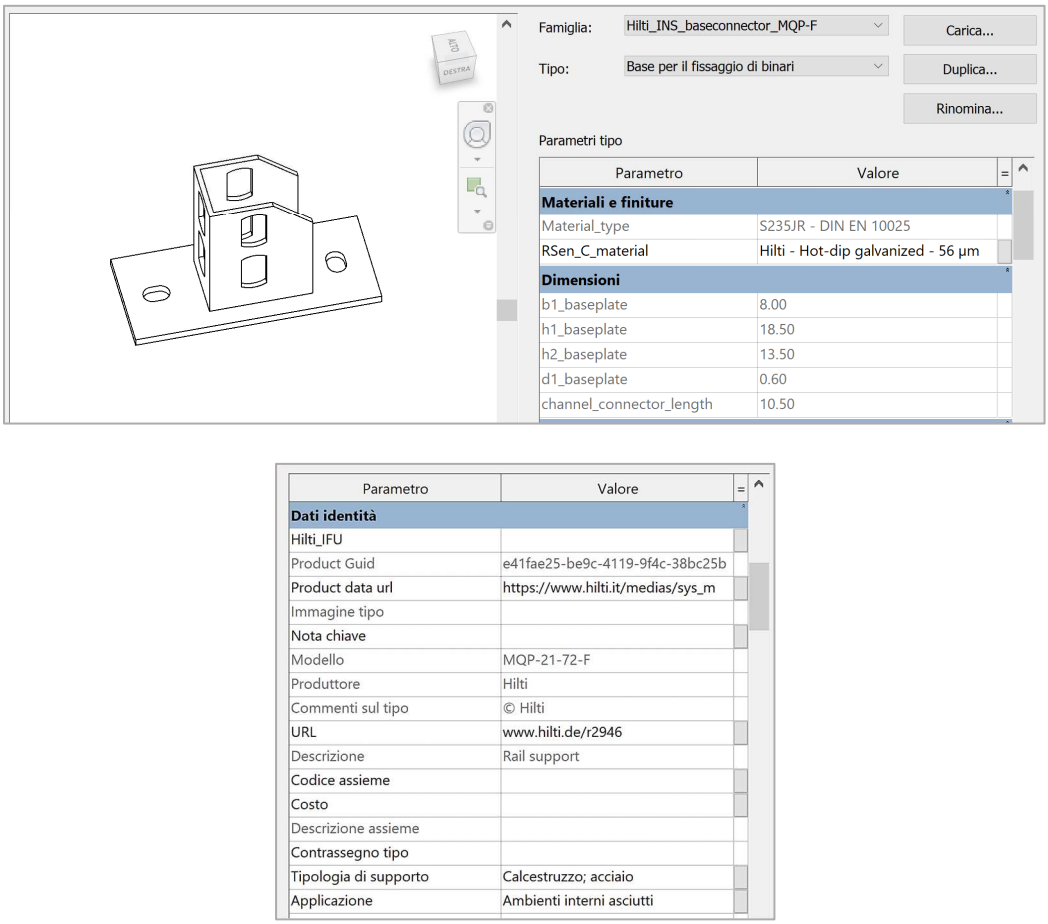

Figura 4.39 – Informazioni geometriche e non geometriche base per binari, scenario di progetto;

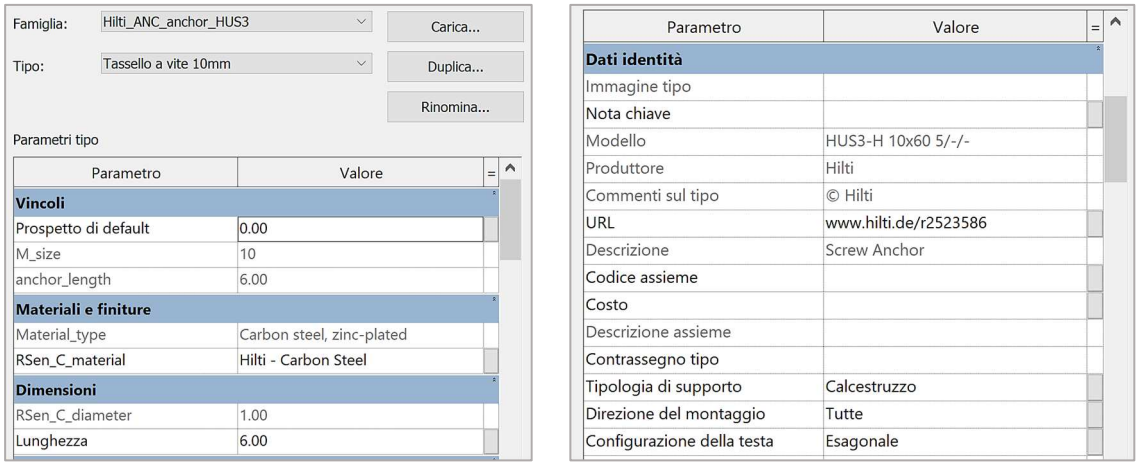

Figura 4.40 – Informazioni geometriche e non geometriche tasselli a vite, scenario di progetto;

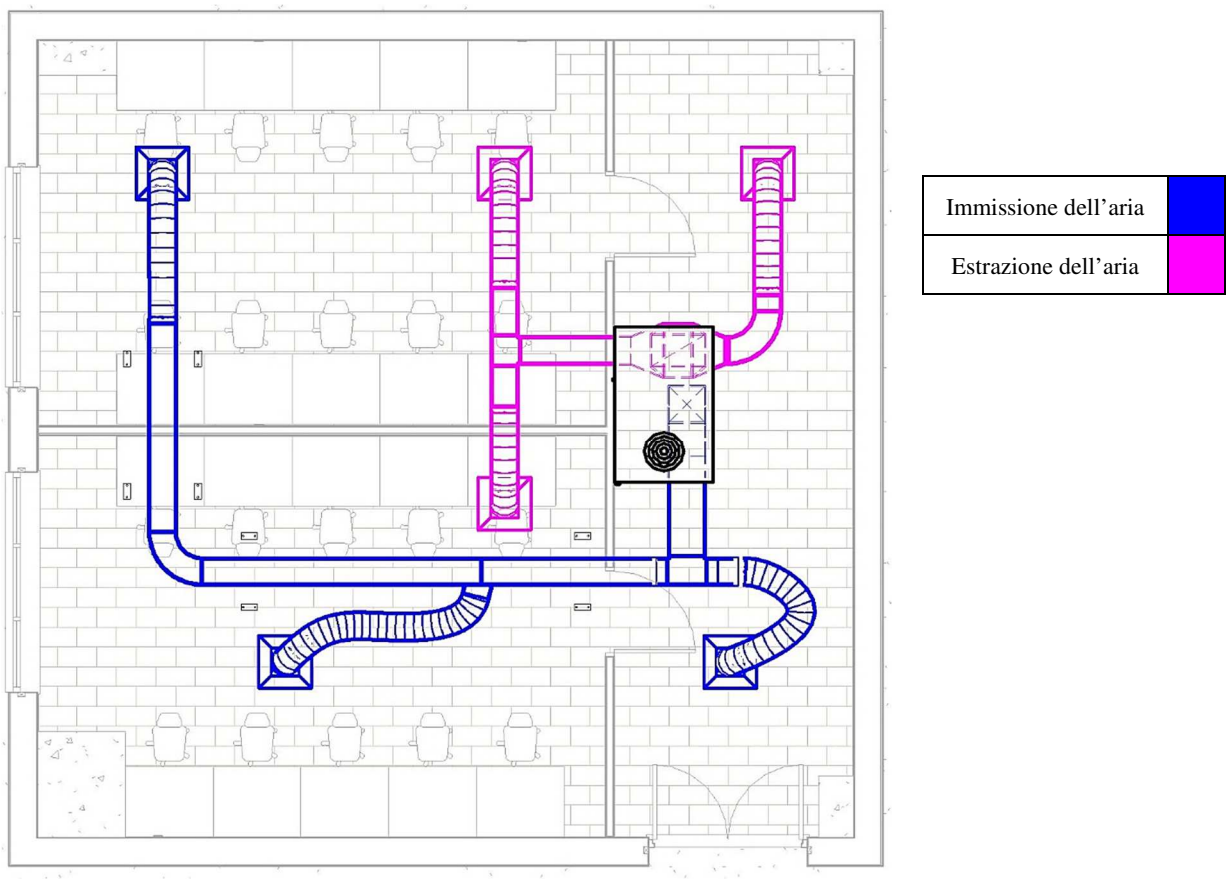

Figura 4.41 – Impianto di ventilazione meccanica, vista in pianta, scenario di progetto;

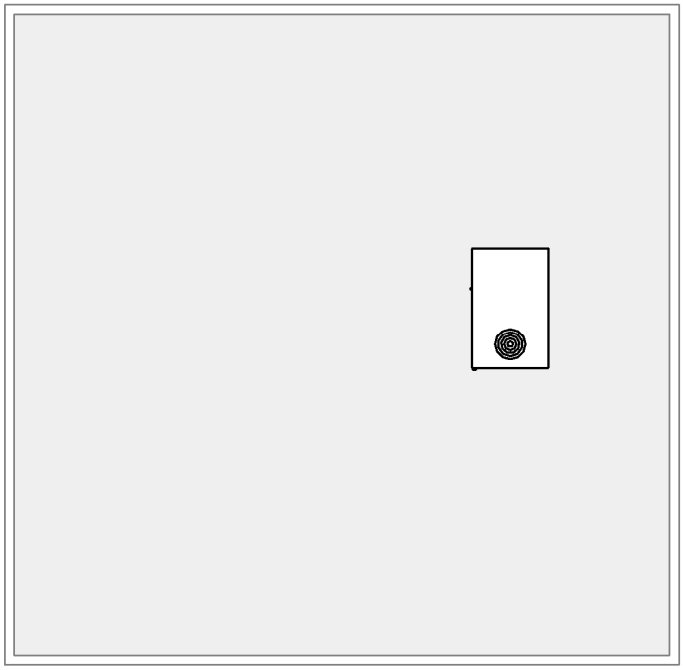

Figura 4.42 – Pianta del tetto, scenario di progetto;

4.4.4 Scenario comparato

Lo scenario comparato delinea un confronto tra i due precedenti scenari (esistente e di progetto) e mettendone in luce le differenze. Tale scenario consente, a partire da un'unica vista, di comprendere quali elementi saranno demoliti e quali elementi saranno realizzati. Lo scenario comparato viene realizzato mediante le fasi di Revit, funzionalità che consente di associare ad ogni elemento presente nel modello una fase di creazione e una di demolizione. Associate le fasi ad un dato elemento, nella vista comparata esso sarà contrassegnato con il corrispondente colore.

È fondamentale specificare, però, che con l'esportazione nel formato standard IFC, tale funzionalità non viene conservata. Infatti, Revit consente di esportare tanti file quante sono le fasi: non sarà possibile pertanto ottenere un file IFC che contenga interamente lo scenario comparato

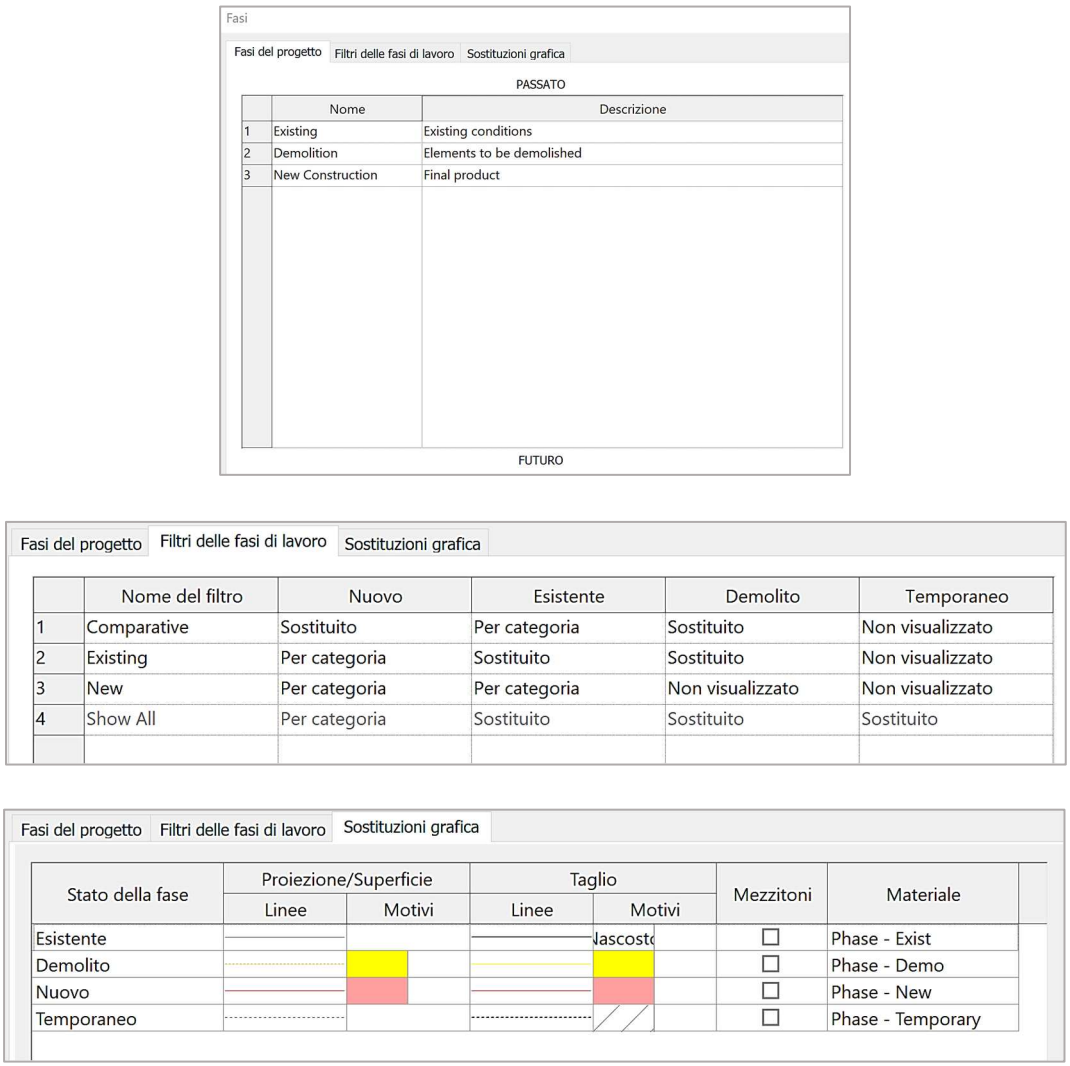

Figura 4.43 – Fasi di Revit;

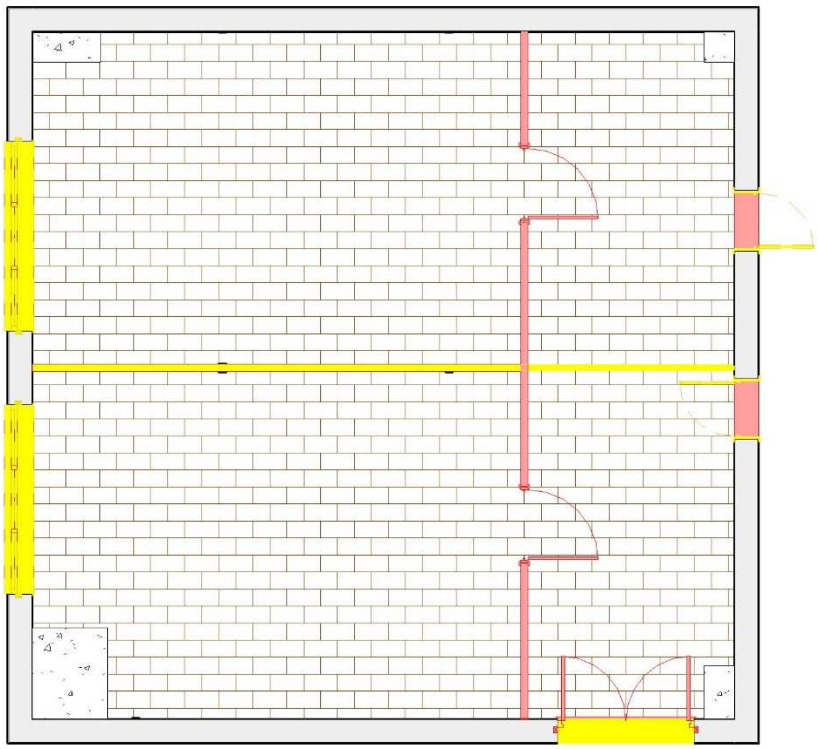

Figura 4.44 – Vista in pianta, scenario comparato;

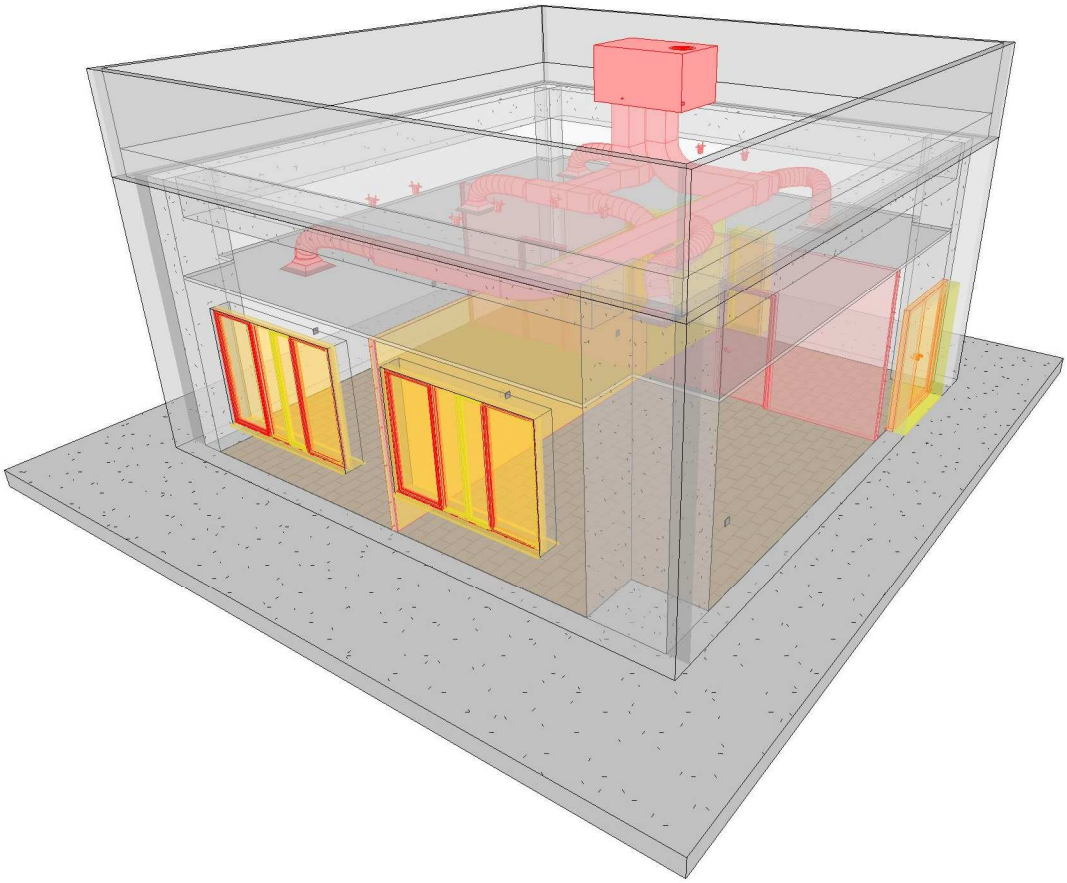

Figura 4.45 – Vista 3D, scenario comparato;

CAPITOLO 5

ESECUZIONE DELLE PROVE SPERIMENTALI

5.1Obiettivo

L'obiettivo delle prove sperimentali condotte è quello di valutare l'efficacia del sistema di controllo on field analizzato, nell'effettiva esecuzione delle attività di verifica riguardanti i due interventi di riqualificazione previsti per il Dipartimento DICEA dell'Università Politecnica delle Marche. Tali attività di controllo, riguardano rispettivamente la realizzazione di un nuovo partizionamento interno e la realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica e sono riportate in dettaglio nelle *Tabelle 4.5* e *4.7*. Per condurre tali attività individuate, si intende impiegare il sistema di controllo basato sull'integrazione tra l'approccio BIM, una web service e il dispositivo Microsoft HoloLens per esperienze di Realtà Mixata e valutarne sulla base di più criteri l'efficacia. La prova sperimentale si costituisce quindi di più fasi:

- Esportazione del modello nel formato standard IFC
- Upload dei file IFC nel server
- Avvio del dispositivo Microsoft HoloLens
- Esperienza di Realtà Mixata
- Discussione dei risultati

5.2 Esportazione nel formato standard IFC

5.2.1 Criteri di esportazione

È necessario esportare il modello BIM realizzato nel formato standard IFC. Come precedentemente specificato, il modello è strutturato secondo tre diversi scenari: lo scenario esistente, lo scenario di progetto e lo scenario comparato. È importante specificare che il software Revit consente l'esportazione di tanti file IFC quanti sono gli scenari e non è possibile ottenere, pertanto, un unico file nel formato IFC che contenga contemporaneamente tutti gli scenari. Inoltre, non è possibile esportare interamente lo

scenario comparato, nel quale si ha un confronto tra lo scenario esistente e lo scenario di progetto. Ciò accade perché tale scenario viene realizzato a partire dalle fasi di Revit, nonché una funzionalità propria di quest'ultimo che difficilmente è supportata da altri software o da altri formati. Pertanto, nell'esportazione in IFC dello scenario comparato, è possibile mantenere solo gli oggetti che nel modello risultano contrassegnati dal filtro di demolizione. È possibile cioè mantenere in tale scenario solamente gli oggetti che appartengono allo scenario esistente ma non a quello di progetto.

5.2.2 Configurazioni di esportazione

Per l'esportazione IFC, Revit prevede una serie di configurazioni, ciascuna delle quali è caratterizzata da opzioni che governano la modalità di esportazione. Si riporta di seguito un quadro delle configurazioni disponibili.

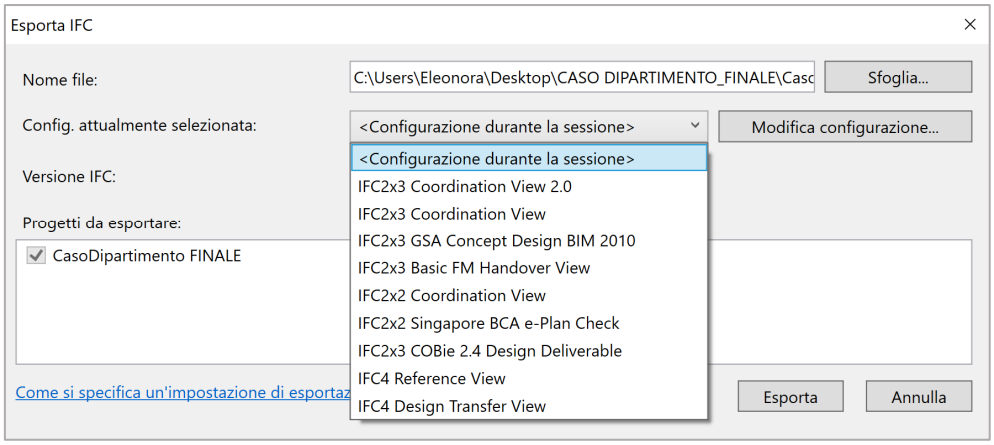

Figura 5.1 –Esportazione IFC, configurazioni;

In particolare, la "configurazione durante la sessione" è una configurazione personalizzata che consente all'utente di modificare manualmente le opzioni di esportazione ed è la configurazione utilizzata nel corso di tale prova sperimentale. Vengono esportati i seguenti tre file IFC:

- Il file IFC "Scenario esistente", corrispondente allo stato di fatto;
- Il file IFC "Demolizioni", corrispondente agli elementi, nello scenario comparato, presenti nell'esistente ma non nello scenario di progetto;
- Il file IFC "Scenario di progetto", corrispondente allo stato futuro;

In tutti i casi viene impiegata ai fini dell'esportazione la configurazione personalizzata mostrata nel dettaglio di seguito.

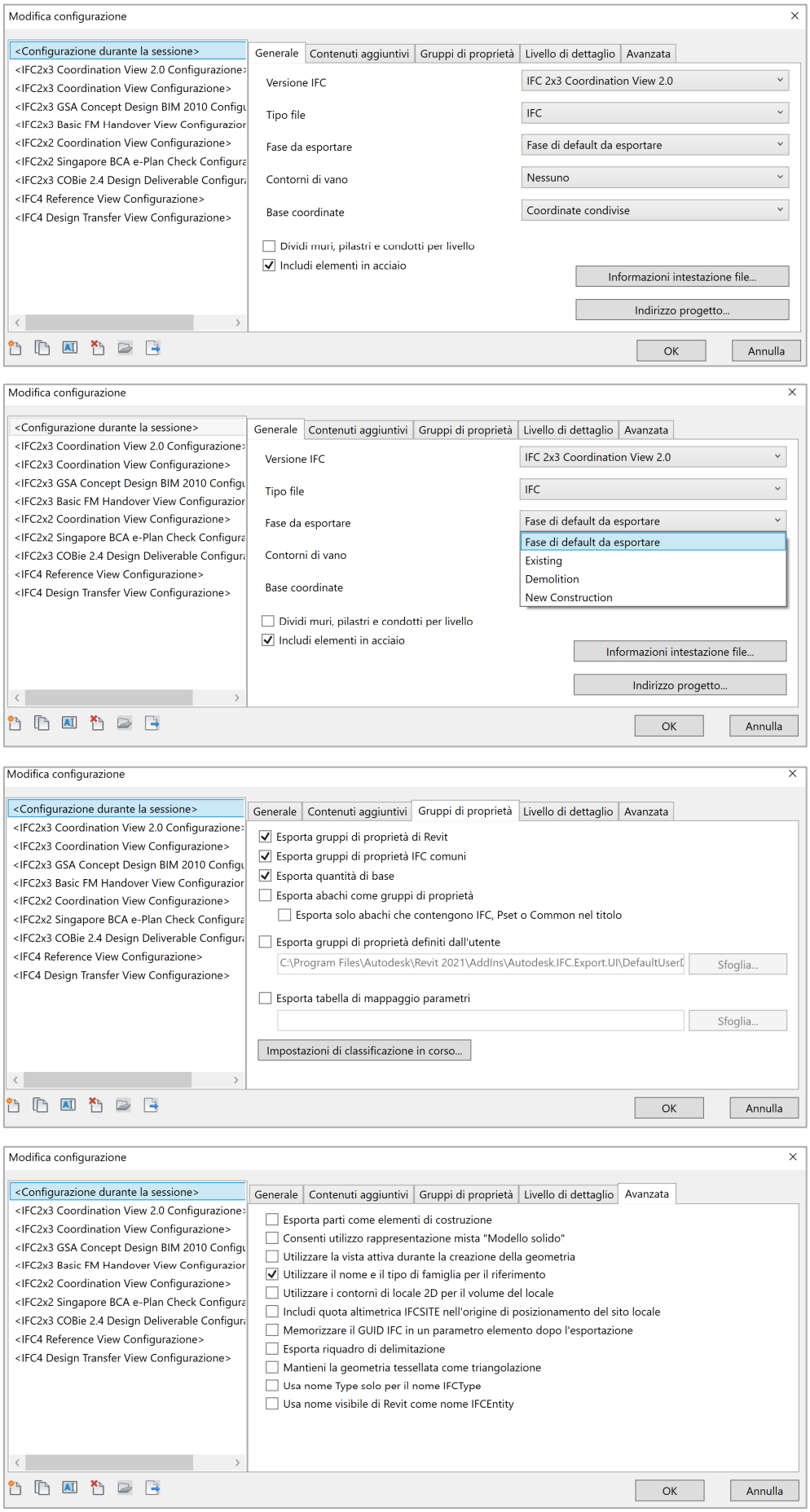

Figura 5.2 – Opzioni di esportazione, configurazione durante la sessione;

Per l'esportazione dei tre file sopracitati, viene quindi impiegata la configurazione personalizzata riportata nella *Figura 5.2*. Tuttavia, in base allo scenario corrispondente, è necessario modificare nelle opzioni di configurazione la sezione "fase da esportare" inserendo la corrispondente fase.

5.3 Upload nel server

Al termine dell'esportazione del modello realizzato nel formato IFC, si ottengono quindi tre file, ciascuno corrispondente ad un diverso scenario. Affinché tali scenari possano essere visualizzati dall'esperto on field e quindi impiegati ai fini delle attività di controllo delineate, è necessario che vengano caricati nel server. Infatti, è necessario avvalersi di una web service in grado di garantire la conversione dei file IFC di interesse nel formato GLTF supportato dal dispositivo Microsoft HoloLens.

Vengono di seguito ricostruiti i passaggi che è necessario effettuare ai fini dell'upload dei file IFC con riferimento al caso studio e, in particolare, all'upload del file IFC "demolizioni". Chiaramente, i passaggi descritti dovranno essere ripetuti per ciascun file.

1. Effettuare l'accesso al server e, nella sezione "IFC_TO_GLTF" cliccare su "add" per aggiungere un nuovo file IFC;

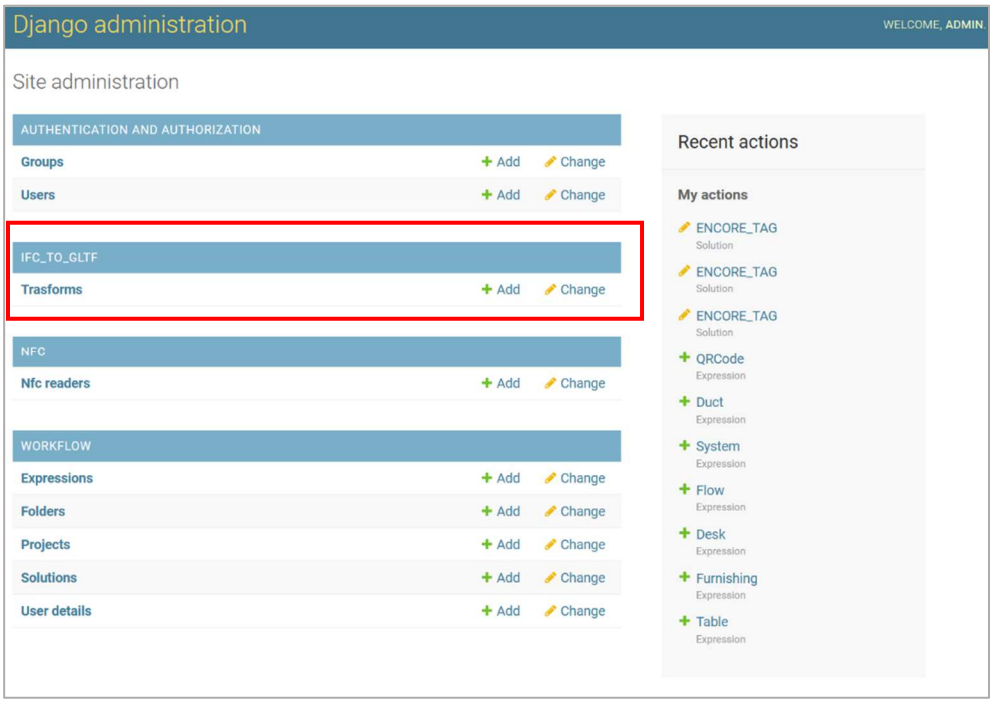

Figura 5.3 –Upload nel server;

2. Compilare la sezione con i dati riguardanti l'utente, il nome del progetto, la data e l'ora del caricamento e, successivamente, caricare il file IFC di interesse nella voce "origin file";

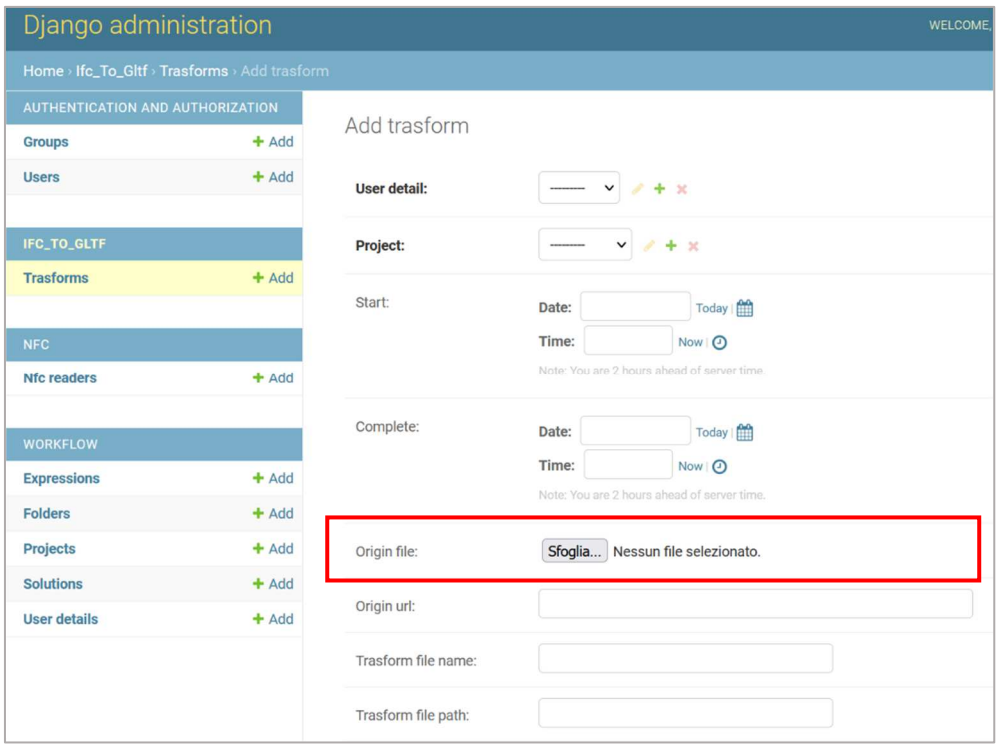

Figura 5.4 –Upload nel server, fase due;

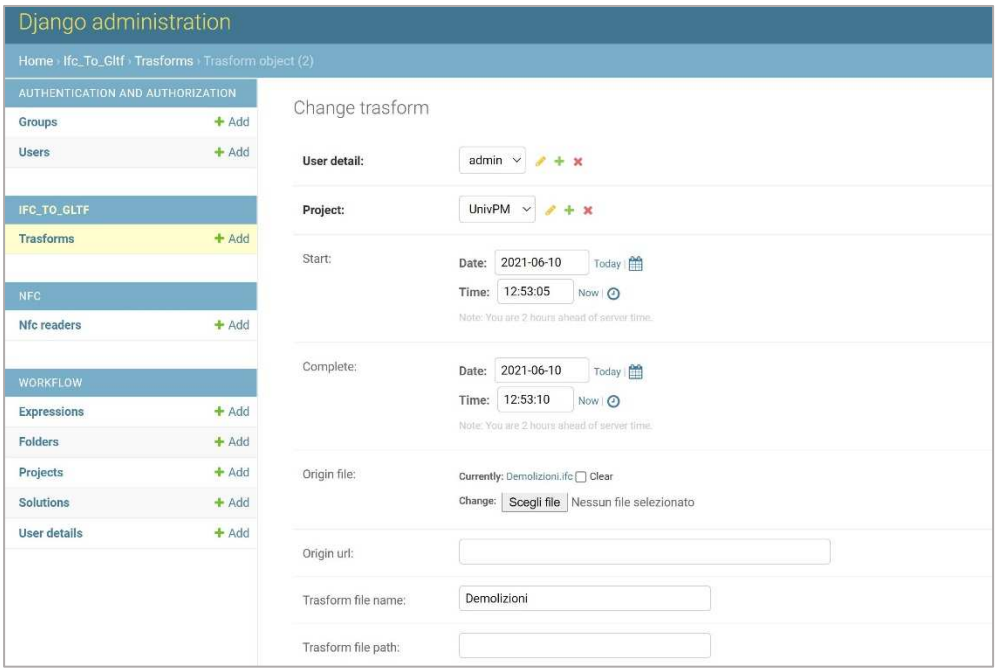

Figura 5.5 –Upload nel server, file IFC demolizioni;

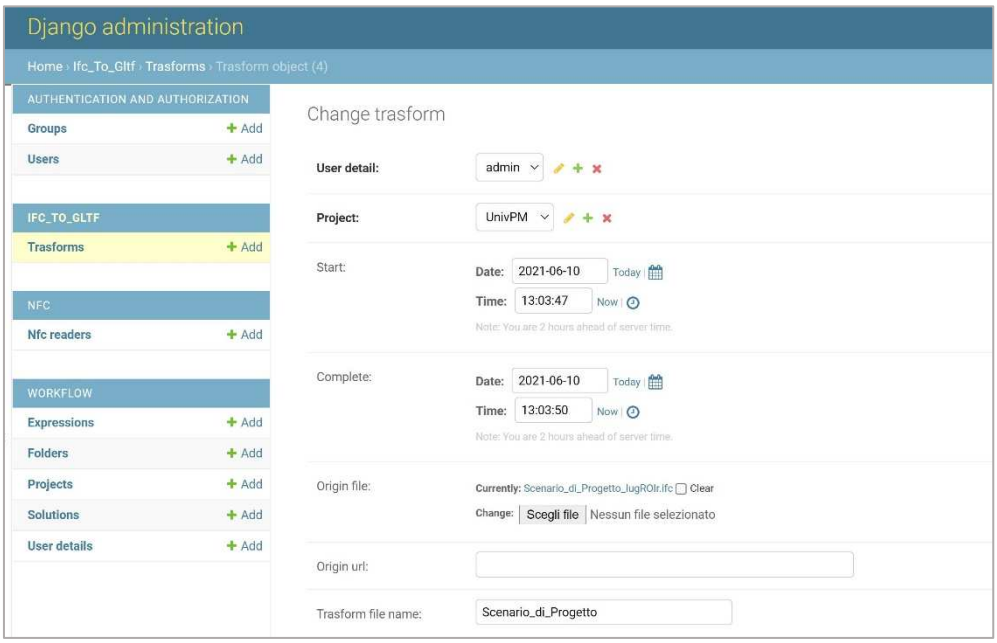

Figura 5.6 –Upload nel server, file IFC scenario di progetto;

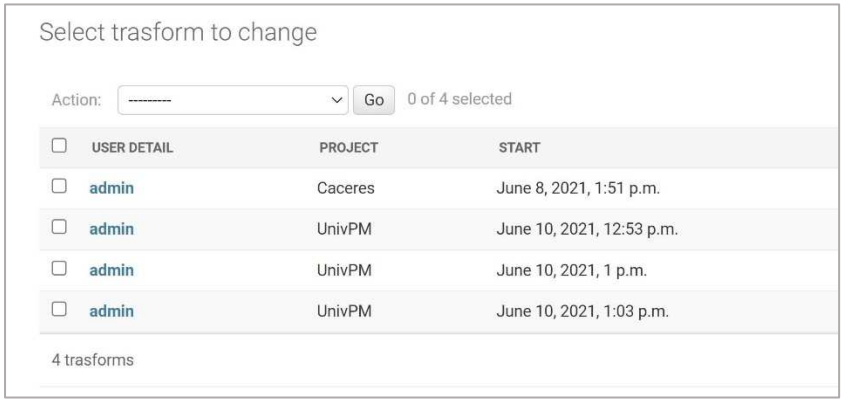

Figura 5.7 –Upload nel server, panoramica dei file IFC caricati;

3. Selezionare il progetto precedentemente caricato e, dalla sezione “action”, avviare la conversione dal formato IFC al formato GLTF;

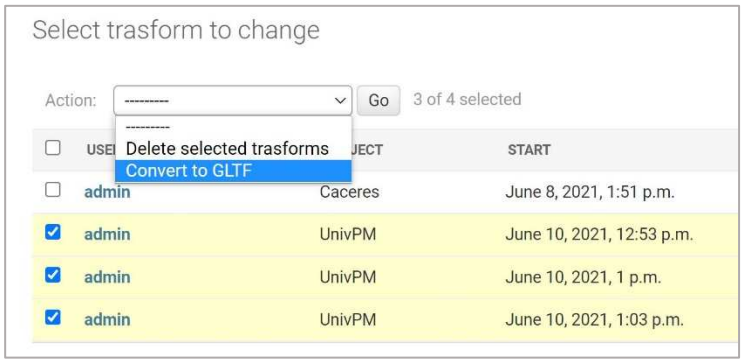

Figura 5.8 –Upload nel server, conversione in GLTF;

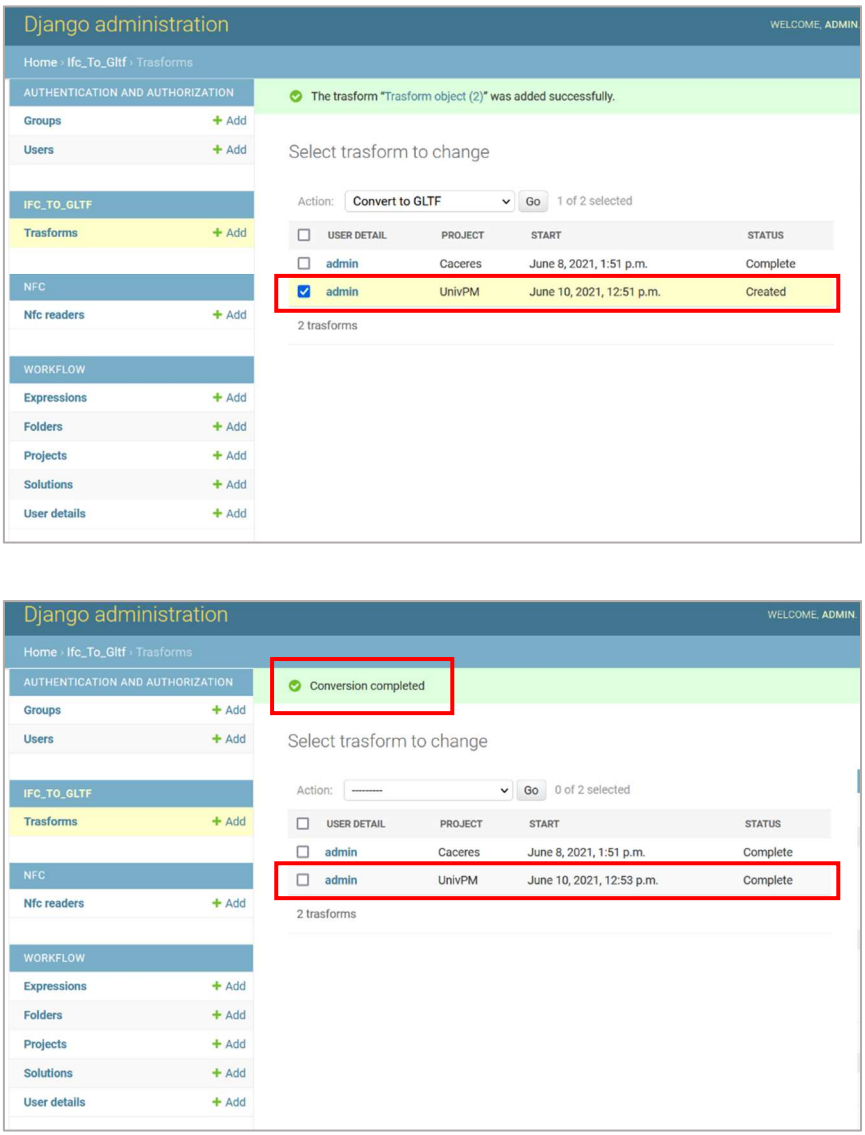

Figura 5.9–Upload nel server, esempio conversione da IFC a GLTF, file demolizioni;

La *Figura 5.9* mostra le fasi relative alla conversione da IFC a GLTF del file "demolizioni" all'interno del progetto "UnivPM", progetto nel quale rientrano i tre file IFC esportati dal modello BIM relativamente al processo di riqualificazione del Dipartimento DICEA. Ai fini delle prove sperimentali condotte, il procedimento analizzato viene riproposto per ognuno dei tre file IFC ("scenario esistente", "demolizioni", "scenario di progetto").

5.4 Esperienza di Realtà Mixata

5.4.1 Introduzione

Dopo aver effettuato l'esportazione in IFC degli scenari del modello BIM realizzato, dopo aver caricato questi ultimi sul server e dopo averli convertiti nel formato GLTF, si può passare alla visualizzazione e quindi all'esperienza di Realtà Mixata offerta dal dispositivo Microsoft HoloLens di prima generazione. In particolare, a partire dal progetto "UnivPM" caricato nel server e contenente i tre file IFC di interesse convertiti in GLTF, vengono effettuate due prove sperimentali:

- Prima prova sperimentale: consiste nel caricare nel dispositivo Microsoft HoloLens il file corrispondente allo *scenario di progetto* e quindi nella visualizzazione e nell'analisi di tale scenario;
- Seconda prova sperimentale: consiste nel caricare nel dispositivo Microsoft HoloLens il file corrispondente alle *demolizioni* e quindi nella visualizzazione e nell'analisi di tale scenario;

L'obiettivo delle prove sperimentali sopracitate è quello di analizzare sulla base di una serie di criteri, l'efficacia e l'applicabilità del sistema proposto nella conduzione di attività di controllo on field. In particolare, in tal caso l'analisi è relativa ai due interventi di riqualificazione previsti per il Dipartimento DICEA e alle corrispondenti attività di controllo precedentemente individuate. È importante specificare che lo scenario esistente non verrà considerato nell'ambito di tali prove, in quante le informazioni contenute in tale scenario possono essere reperite dal soggetto preposte alle attività di controllo direttamente sul campo. Sarebbe quindi inutile e confusionario riproporre la sovrapposizione di un modello virtuale identico alla realtà.

5.4.2 Fasi di lavoro

Per testare la Realtà Mixata nel caso oggetto di studio, dopo aver caricato e convertito in GLTF tutti i file di interesse tramite la web service, è necessario riprodurre i passaggi che vengono descritti di seguito. Chiaramente le fasi andranno ripetute per ogni scenario che si intenda visualizzare.

Fase 1

Dopo aver indossato ed acceso il dispositivo Microsoft HoloLens, aprire il menù tramite il movimento riconosciuto dallo stesso e selezionare l'icona "All Apps". Per selezionare è necessario puntare l'icona di interesse con lo sguardo ed utilizzare il movimento riconosciuto per la selezione. Tra le applicazioni, selezionare e avviare l'applicazione olografica ODAVS.

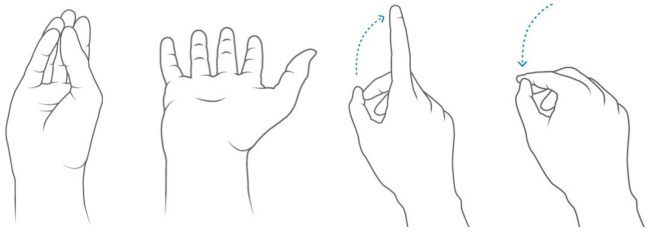

Figura 5.10 – Movimenti riconosciuti dal dispositivo;

Figura 5.11 – Schermata di menù, Microsoft HoloLens;

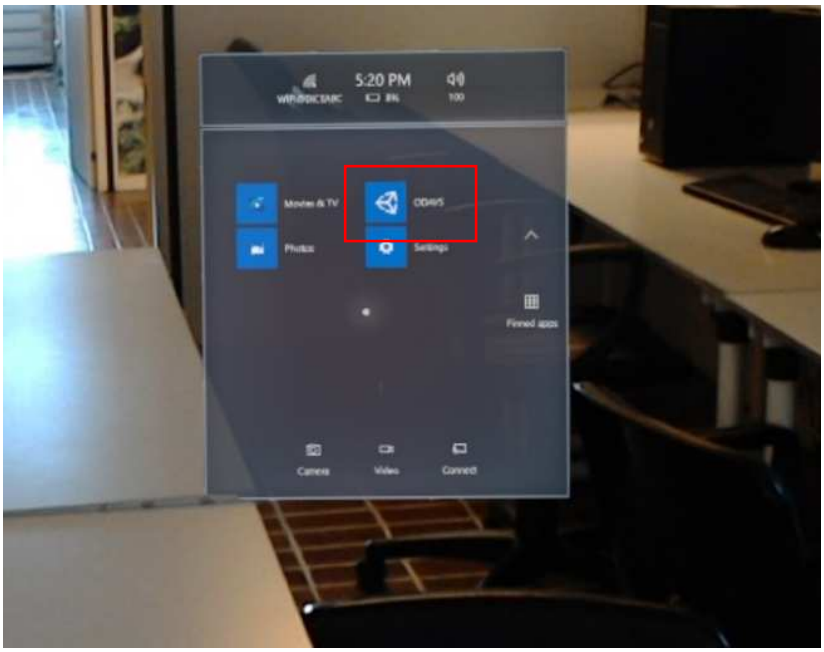

Figura 5.12 – Schermata del menù, Microsoft HoloLens;

Fase 2

Dopo aver avviato l'applicazione, selezionare il progetto di interesse, cioè il progetto all'interno del quale è stato caricato lo scenario che si intende visualizzare. Successivamente, selezionare lo scenario e attendere il completamento del caricamento.

Figura 5.13 – Schermata di selezione del progetto;

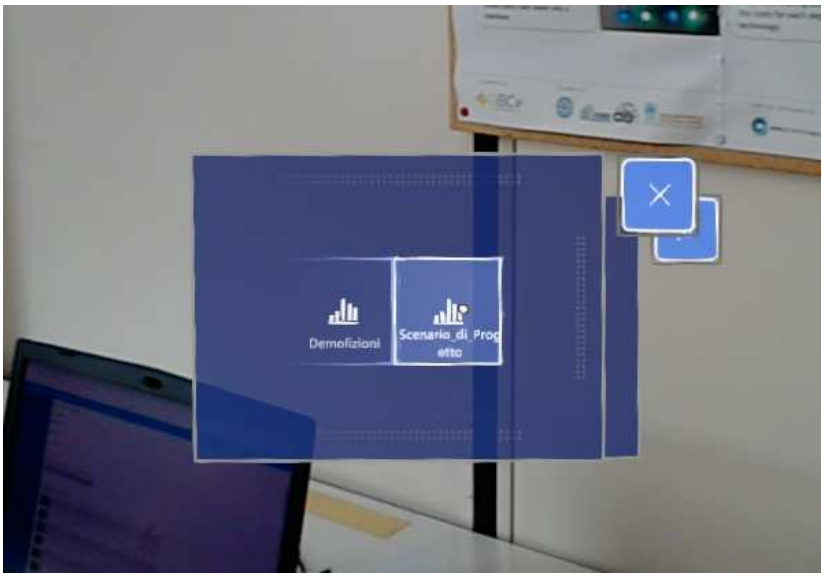

Figura 5.14 – Schermata di selezione dello scenario;

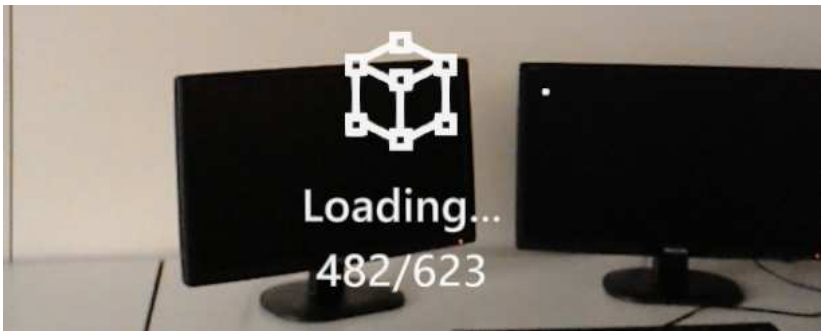

Figura 5.15 – Schermata di caricamento;

Fase 3

Completato il caricamento dello scenario oggetto di osservazione attraverso l'applicazione ODAVS, è necessario effettuarne l'allineamento. Infatti, tale scenario e quindi tale modello virtuale, non risulta inizialmente allineato con la realtà. L'allineamento viene realizzato tramite l'approccio "tracking Images" definito da Vuforia e, in particolare, attraverso la funzionalità "Image Target", la quale viene impiegata per il riconoscimento e il tracciamento di una o più immagini tramite target.

Per effettuare tale allineamento è però necessario compiere le operazioni preliminari di seguito riportate.

1. Al momento della modellazione, è necessario introdurre tre elementi generici “QRCode” per ogni stanza. Tali elementi verranno successivamente impiegati ai fini del riconoscimento;

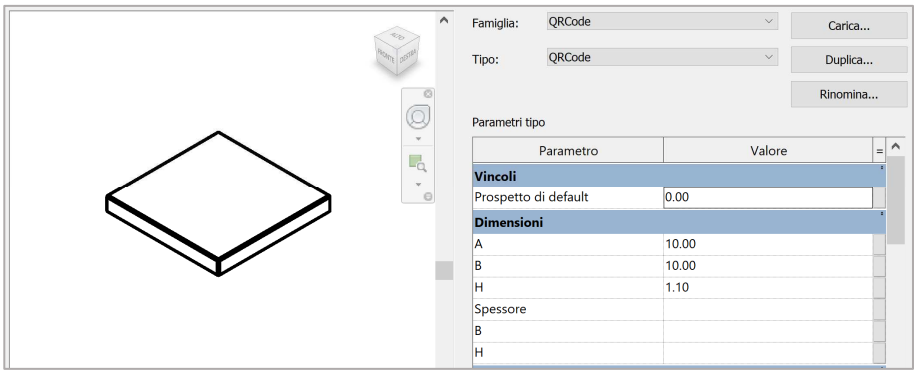

Figura 5.16 – Informazioni geometriche elemento “QRCode”;

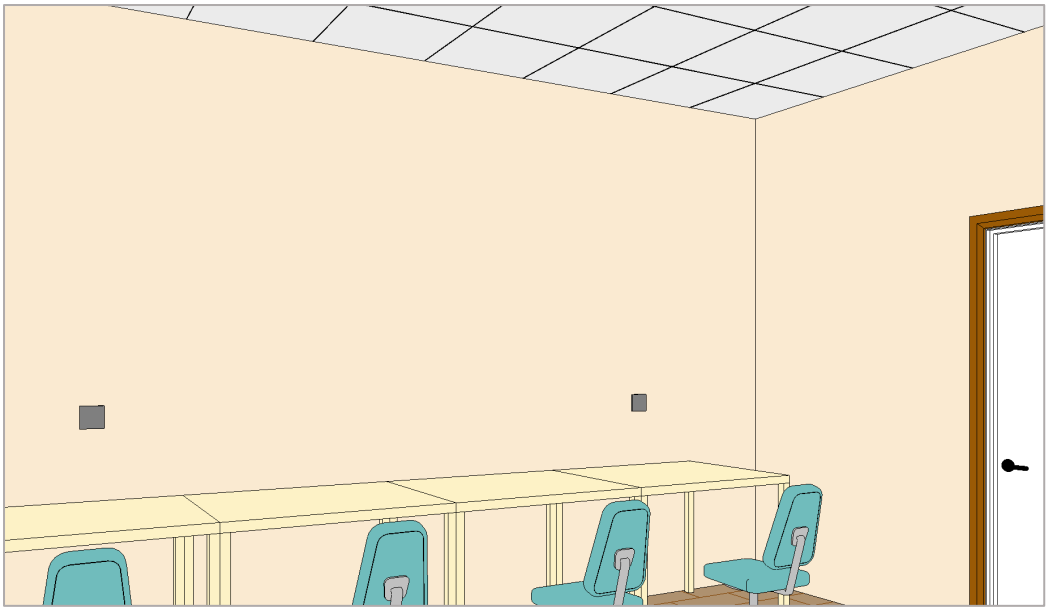

Figura 5.17 – Vista 3D;

2. Dopo aver modellato gli elementi sopracitati, è necessario scegliere un’immagine e fissarne fisicamente in sito delle copie, che durante le prove saranno impiegate per il riconoscimento. In particolare, è fondamentale che esse vengano fissate nello spazio secondo quanto stabilito nel modello e che il centro delle stesse coicida con il centro dell’elemento “QRCode”;

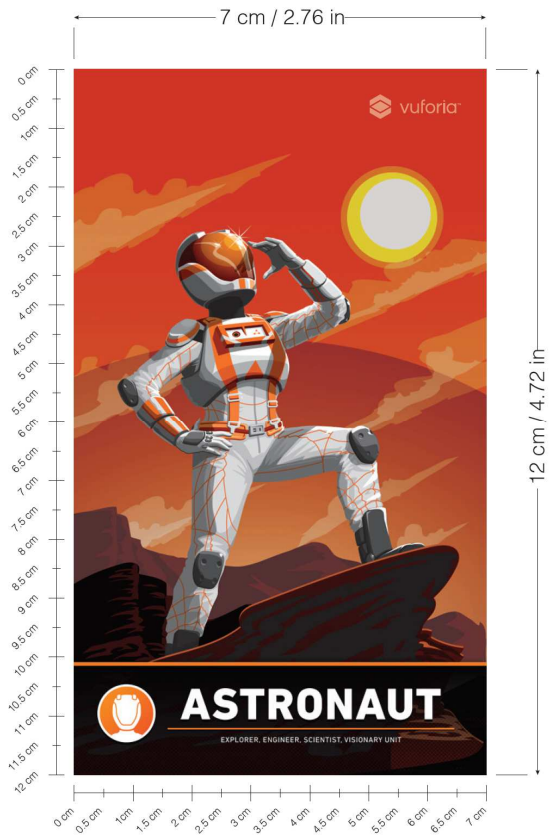

Figura 5.18 – Immagine impiegata per il riconoscimento, Vuforia;

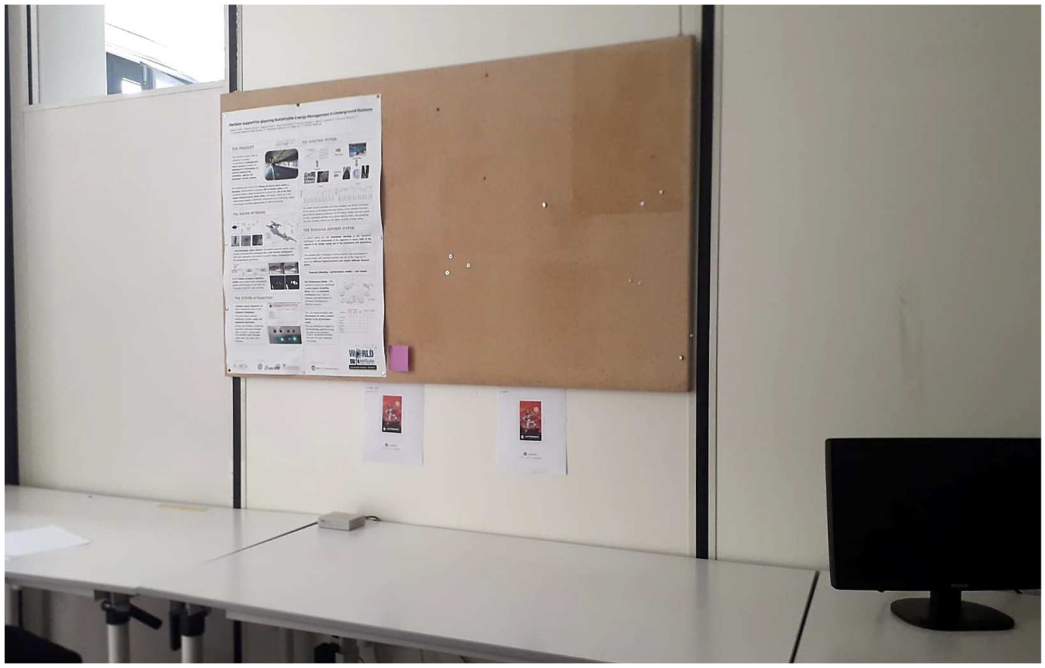

Figura 5.19 – Immagini fissate fisicamente in sito;

Effettuate tali operazioni preliminari, e caricato tramite l'applicazione ODAVS lo scenario di interesse, è necessario procedere con l'allineamento di quest'ultimo con la realtà. L'allineamento del modello può essere effettuato a partire dal riconoscimento di due sole immagini. La prima cosa da fare, quindi, è selezionare la prima immagine tra quelle che si trovano fisicamente in sito, inserire l'ID corrispondente nell'apposita sezione dedicata e inquadrare l'immagine con lo sguardo.

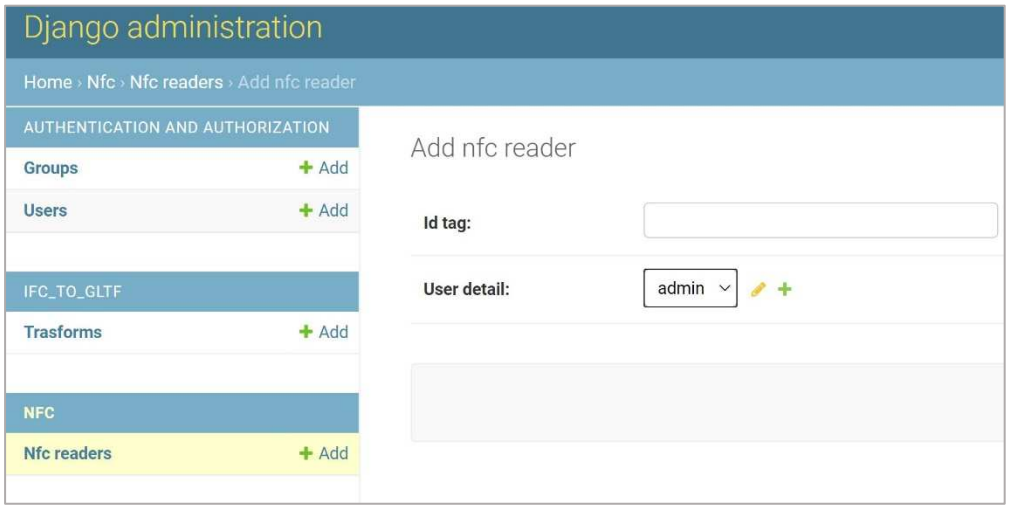

Figura 5.20 – Sezione "Nfc readers" dedicata all'inserimento degli ID;

Inquadrando l'immagine, viene visualizzato un elemento di colore blu che deve essere selezionato mediante il movimento riconosciuto dal dispositivo.

Figura 5.21 – Allineamento;

Quando tale elemento cambia il suo colore in rosso, è necessario eseguire lo stesso procedimento anche per la seconda immagine.

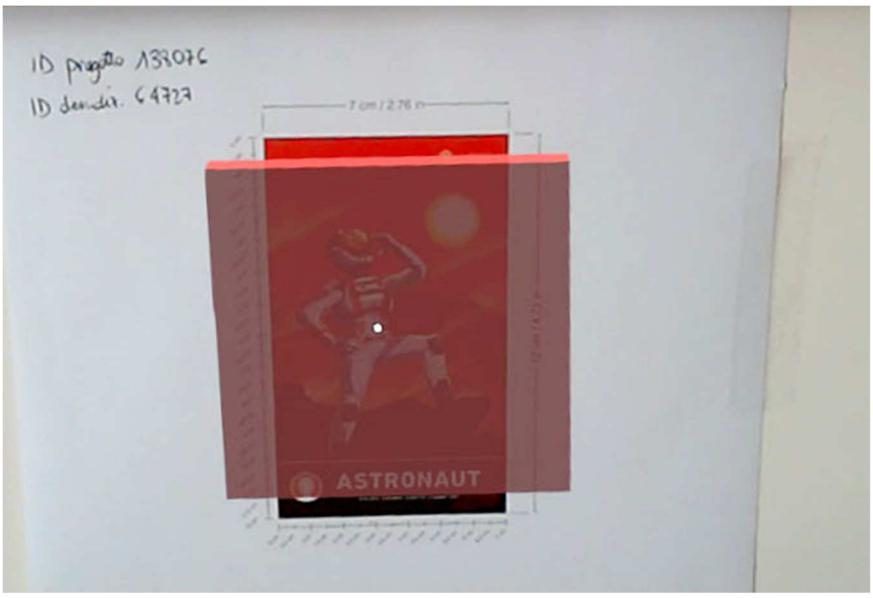

Figura 5.22 – Allineamento;

Dopo aver ripetuto tale procedimento per entrambe le immagini, il procedimento di allineamento è completato e il modello risulta allineato alla realtà.

Fase 4

Dopo aver effettuato l'allineamento del modello virtuale alla realtà, è possibile testare la visualizzazione offerta da Microsoft HoloLens. In particolare, utilizzando il menù mostrato nella *Figura 5.23*, è possibile nascondere temporaneamente gruppi di elementi.

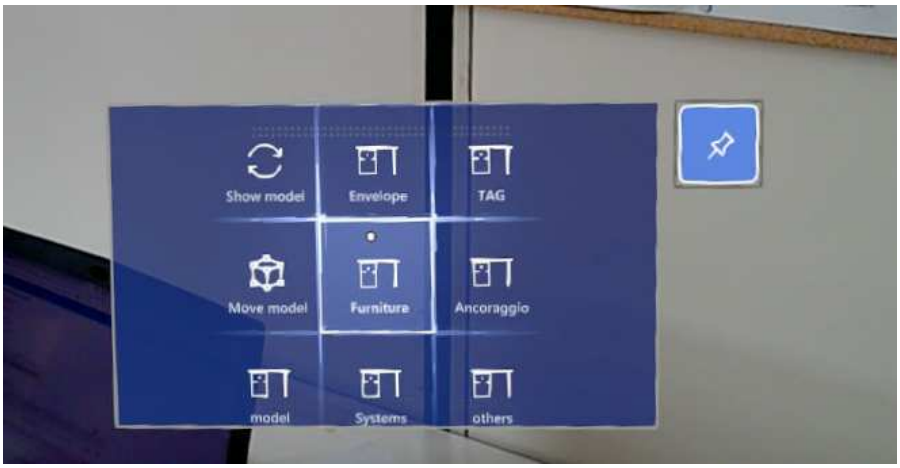

Figura 5.23 – Menù che regola la visualizzazione selettiva degli elementi;

5.4.3 Prima prova sperimentale: scenario di progetto

5.4.3.1 Obiettivo

L'obiettivo della prima prova sperimentale è quello di testare l'applicabilità del sistema di controllo on field attraverso la visualizzazione dello scenario di progetto. In altre parole, tramite la visualizzazione dello scenario di progetto con il dispositivo Microsoft HoloLens, viene analizzata l'efficacia del sistema e la possibilità che possano essere condotte le attività di controllo individuate.

5.4.3.2 Partizionamento interno

Uno degli interventi di riqualificazione previsti per il Dipartimento DICEA consiste nella realizzazione di un nuovo partizionamento interno. Pertanto, lo scenario di progetto, il quale corrisponde allo stato futuro, mostra tale partizionamento. Sono di seguito riportate le immagini relative alla prova sperimentale.

Figura 5.24 – Vista in pianta, legenda delle immagini relative alla prova;

Figura 5.25 – Nuovo partizionamento interno;

Figura 5.26– Nuovo partizionamento interno;

Figura 5.27– Nuovo partizionamento interno;

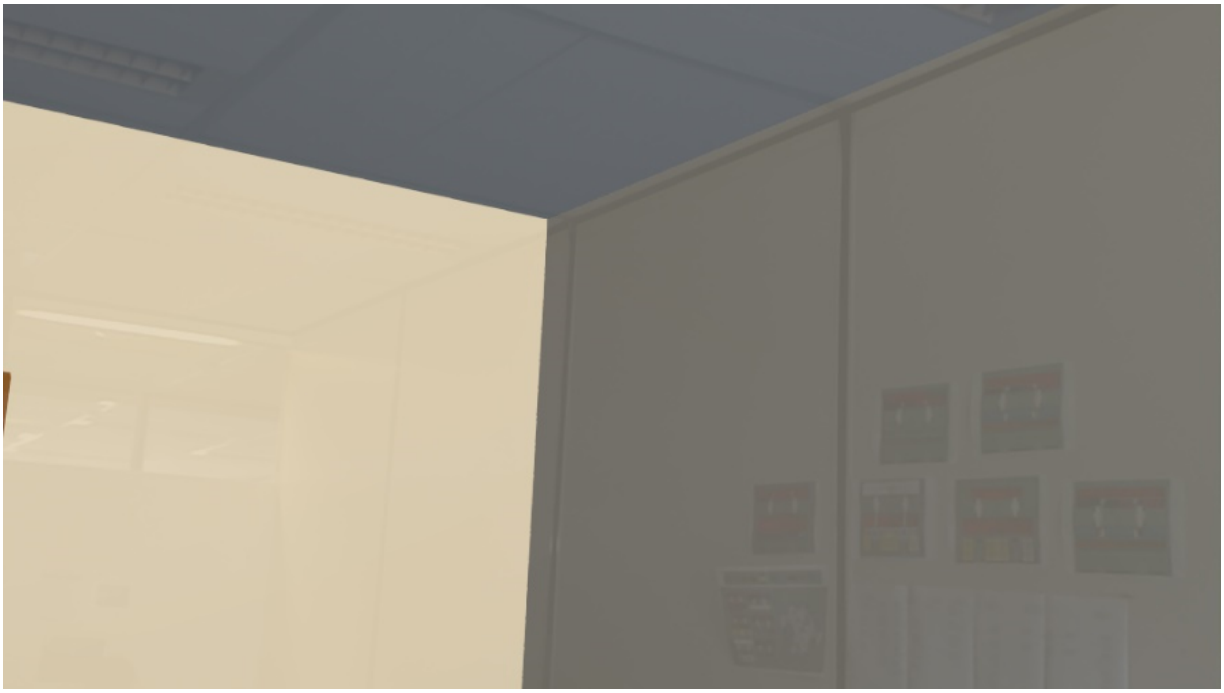

Figura 5.28– Nuovo partizionamento interno;

Figura 5.29– Nuovo partizionamento interno;

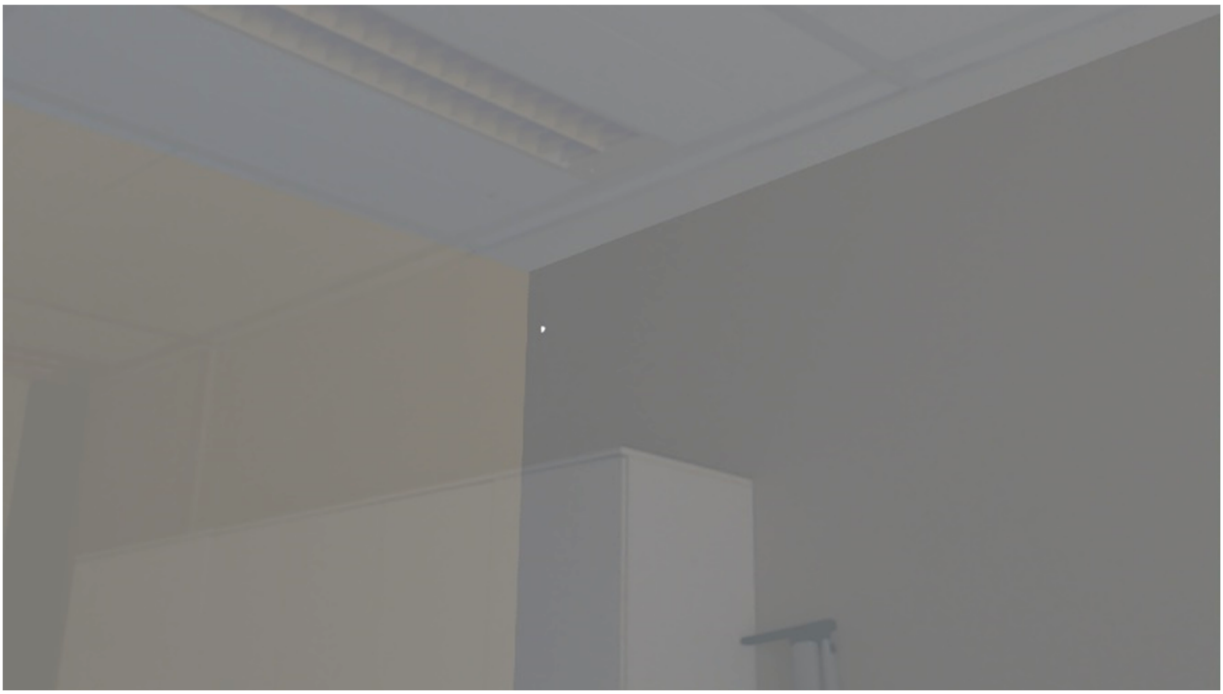

Figura 5.30– Nuovo partizionamento interno;

Per quanto concerne il sistema di ancoraggio delle partizioni, vengono riportate di seguito le immagini relative alla prova sperimentale.

Figura 5.31 – Vista in pianta, legenda delle immagini relative al sistema di ancoraggio;

Figura 5.32 – Sistema di ancoraggio, particolare;

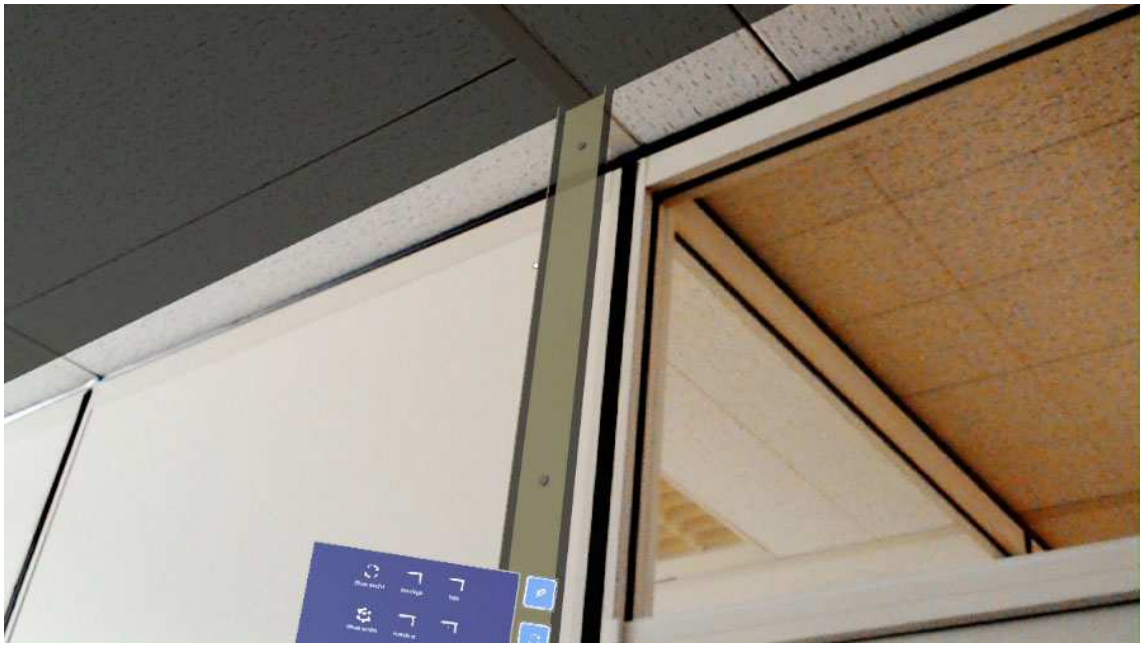

Figura 5.33 – Sistema di ancoraggio, scenario di progetto;

Figura 5.34 – Sistema di ancoraggio, scenario di progetto;

Figura 5.35 – Sistema di ancoraggio, scenario di progetto;

Figura 5.36 – Sistema di ancoraggio, scenario di progetto;

5.4.3.3 Impianto di ventilazione meccanica

Il secondo intervento di riqualificazione previsto nel Dipartimento DICEA consiste nella realizzazione di un impianto di ventilazione meccanica. Vengono di seguito riportate le immagini relative alla prova sperimentale di visualizzazione che ha per oggetto lo scenario di progetto e che riguarda, di conseguenza, anche l'impianto di ventilazione sopracitato.

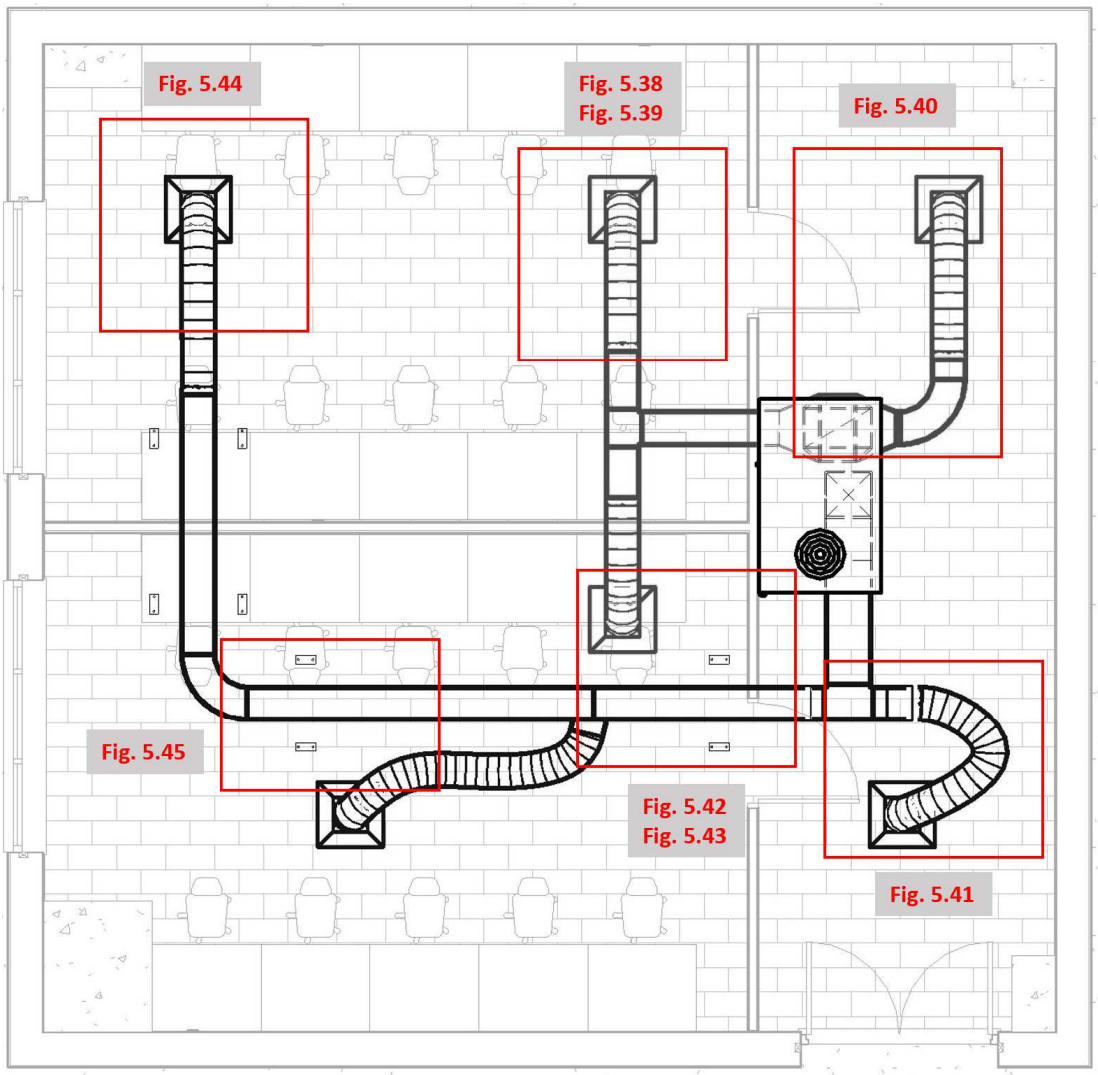

Figura 5.37 – Vista in pianta, legenda delle immagini relative all'impianto di ventilazione meccanica

Figura 5.38 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

Figura 5.39 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

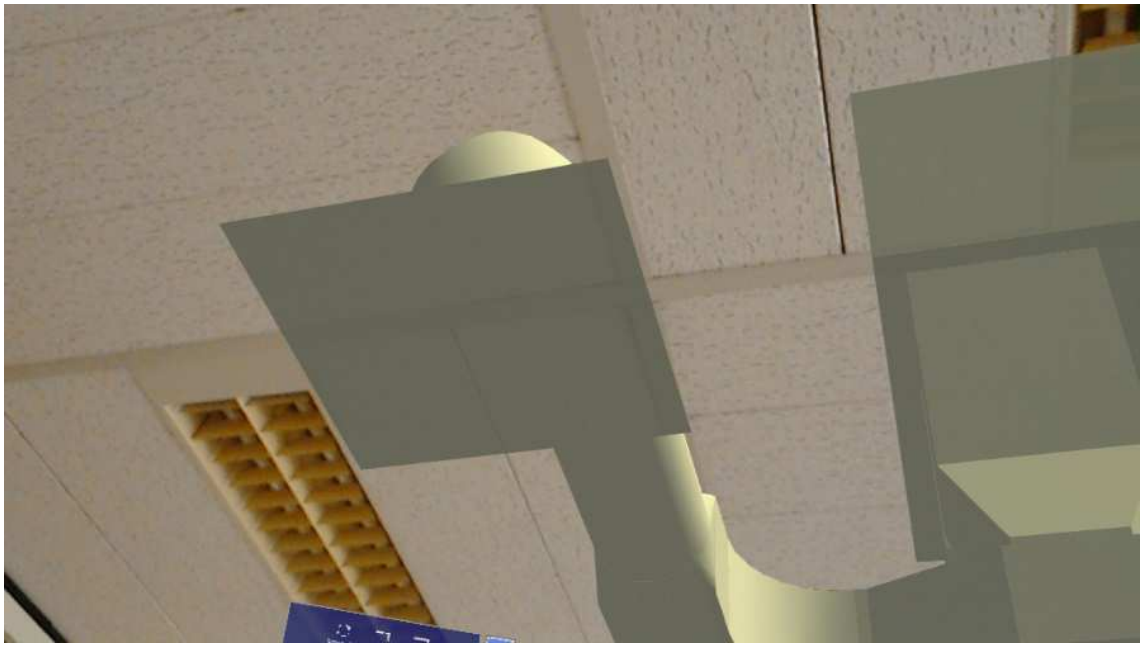

Figura 5.40 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

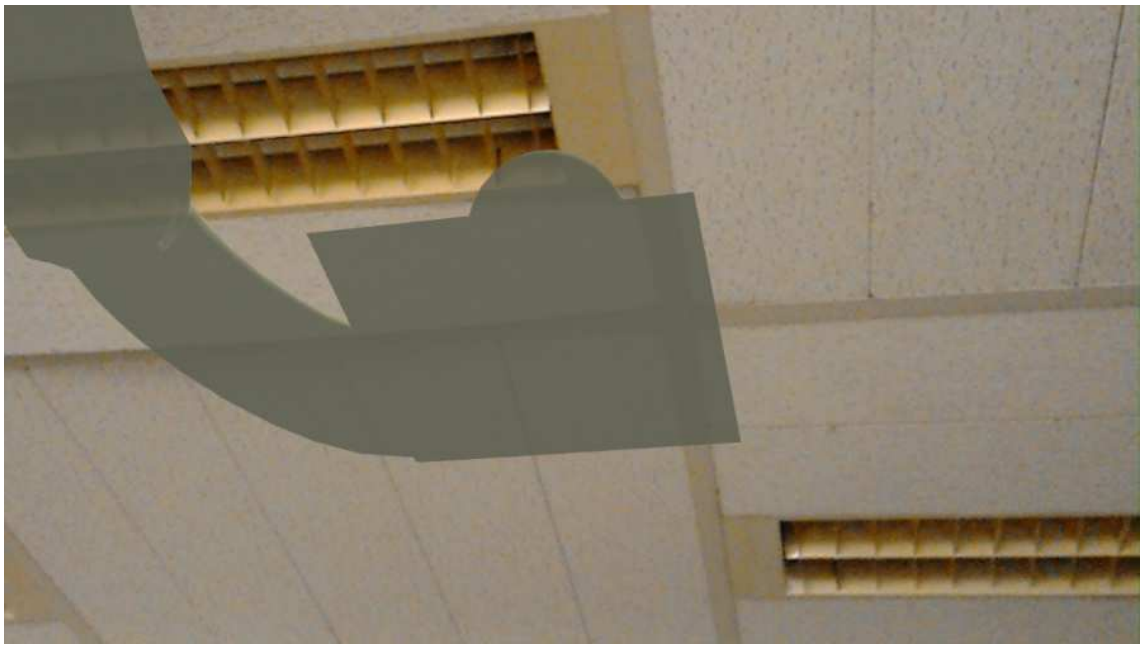

Figura 5.41 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

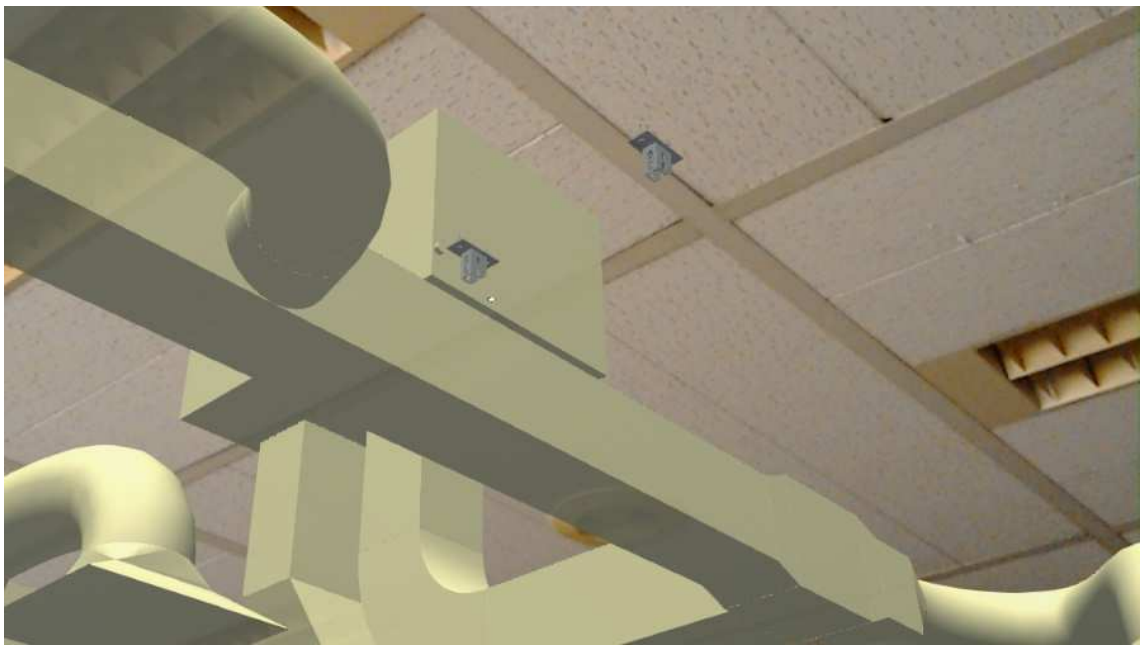

Figura 5.42 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

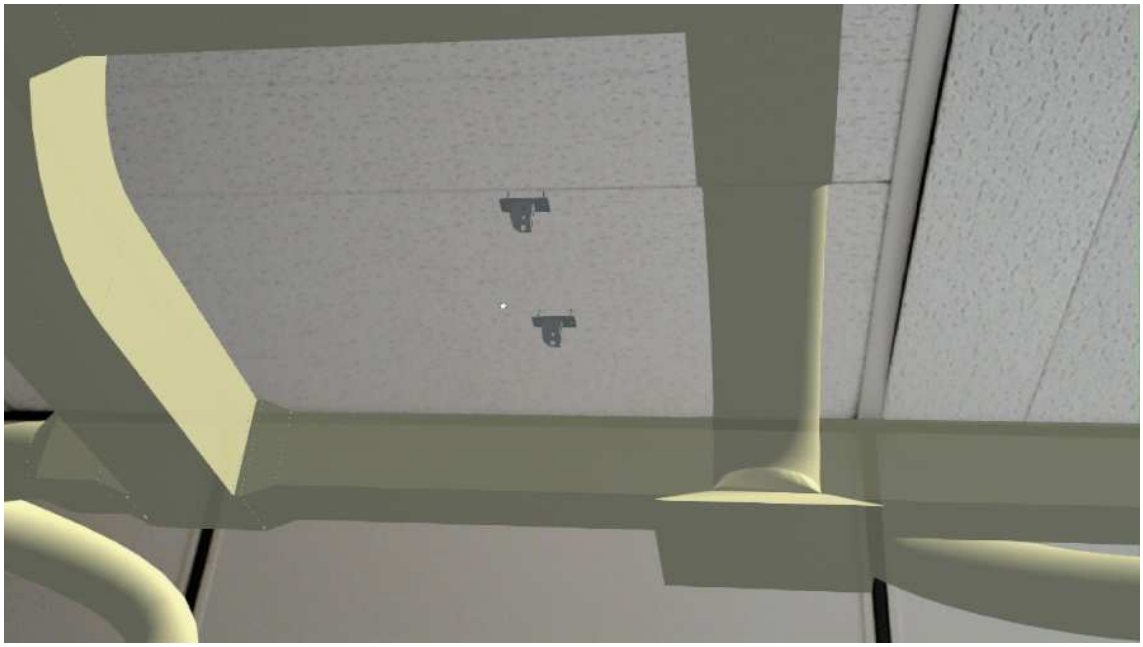

Figura 5.43 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

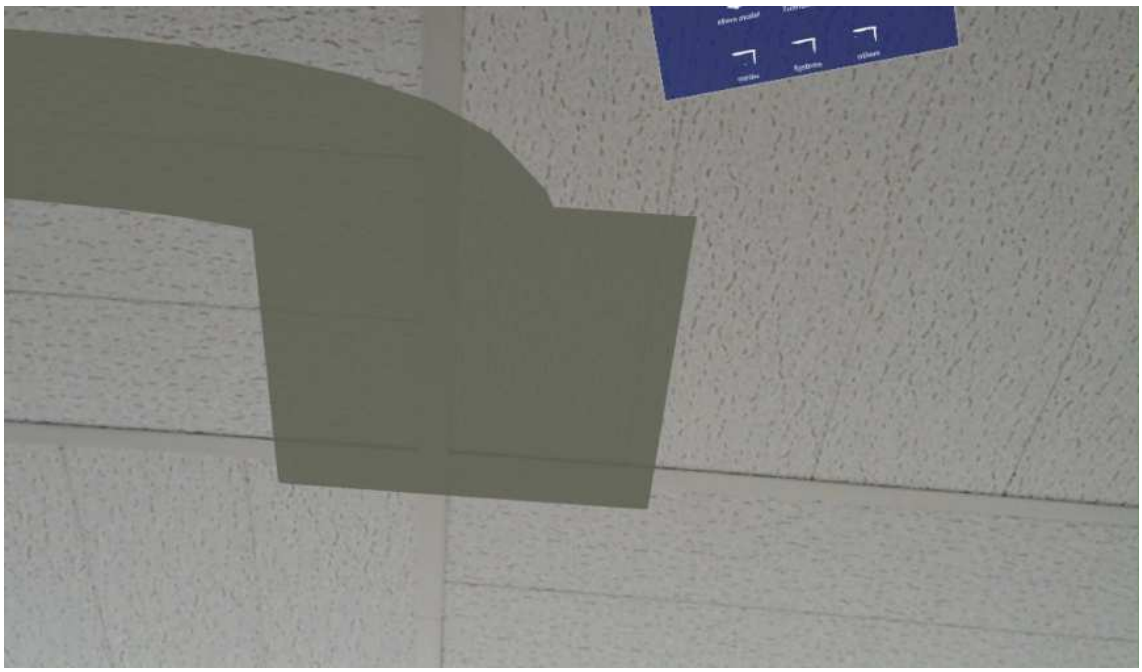

Figura 5.44 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

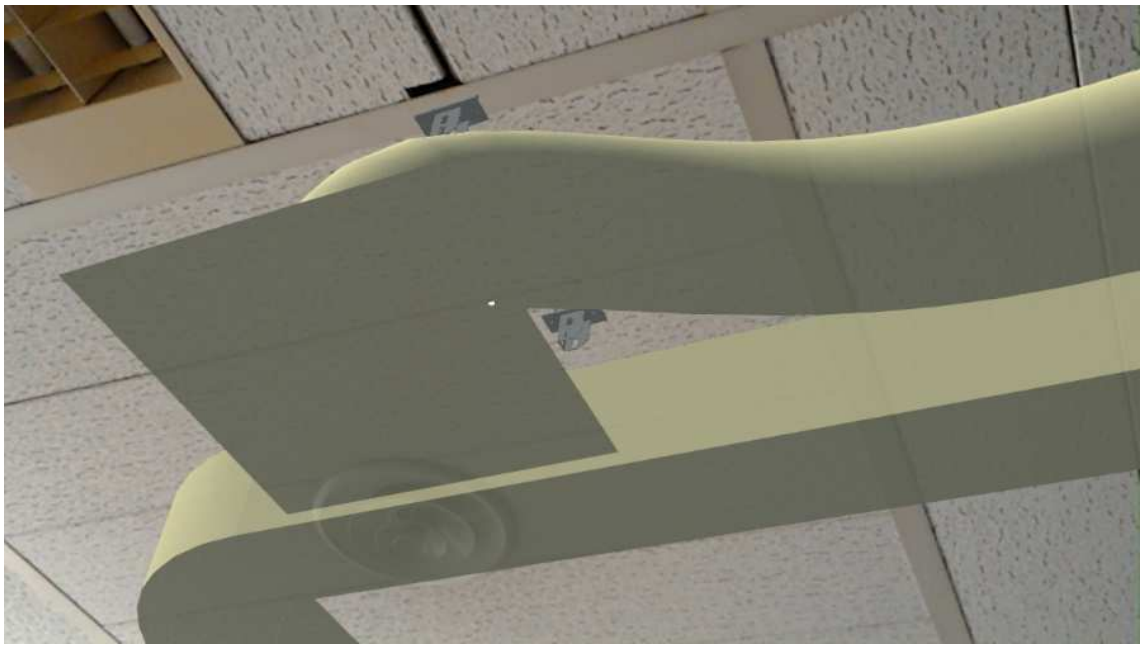

Figura 5.45 – Impianto di ventilazione meccanica, scenario di progetto;

5.4.4 Seconda prova sperimentale: demolizioni

5.4.4.1 Obiettivo

Come nel precedente caso, l'obiettivo della prova sperimentale è quello di testare l'applicabilità del sistema di controllo on field proposto, all'esecuzione delle attività di controllo legate alle demolizioni. In particolare, la prova consiste nel visualizzare lo scenario relativo alle demolizioni mediante il dispositivo Microsoft HoloLens e nell'analizzare l'effettiva possibilità che possano essere eseguite on field le attività di controllo sfruttando tale sistema.

5.4.4.2 Partizionamento interno esistente

Vengono di seguito riportate le immagini relative alla prova sperimentale riguardante la visualizzazione dello scenario di demolizione. In particolare, tale scenario si concentra sul partizionamento esistente, poiché nello stato futuro si prevede un rifacimento dello stesso, ed è quindi fortemente interessato dalle operazioni di demolizione.

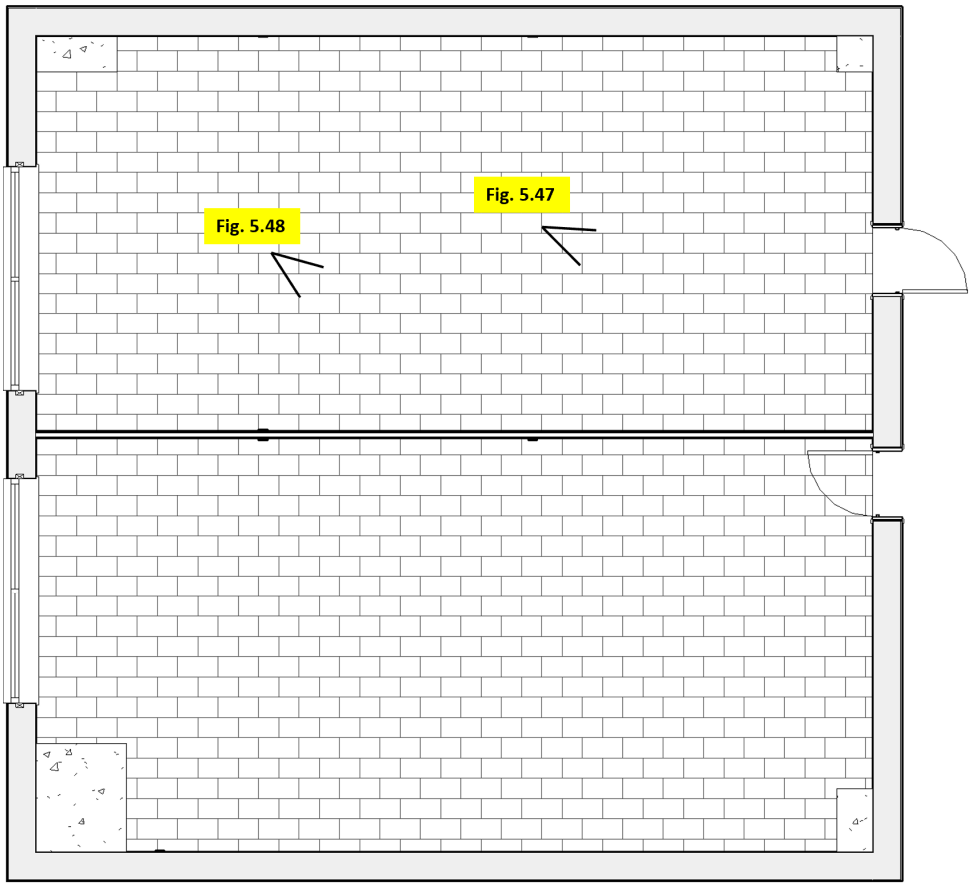

Figura 5.46 – Vista comparata, legenda delle immagini relative alla seconda prova sperimentale;

Figura 5.47 – Vista generale, scenario demolizioni;

Figura 5.48 – Partizionamento esistente da demolire, scenario demolizioni;

5.5 Discussione dei risultati

5.5.1 Criteri di valutazione

I risultati delle due prove sperimentali condotte e precedemente descritte, vengono valutati sulla base di più criteri. Questi ultimi, riportati in sintesi nella *Figura 5.49*, vengono suddivisi in due categorie con riferimento a due soli punti di vista: il punto di vista del progettista, nonché colui che è responsabile della modellazione degli interventi previsti e il punto di vista dell'esperto, cioè il soggetto preposto allo svolgimento delle attività di controllo on field mediante le tecniche di visualizzazione.

Figura 5.49 – Criteri di valutazione dei risultati delle prove sperimentali;

I criteri sopracitati consentono di effettuare un'analisi dell'affidabilità e quindi dell'effettiva applicabilità del sistema di controllo on field alle attività delineate nel caso della riqualificazione del Dipartimento DICEA, e, più in generale alle attività di controllo legate alla riqualificazione. Di conseguenza, la discussione dei risultati si compone di due diversi momenti:

- Descrizione e analisi dei criteri di valutazione del sistema di controllo;
- Considerazioni sull'applicabilità del sistema alle attività di controllo;

5.5.1.1 Rapidità di upload

Tale criterio, che rientra nella categoria dei criteri riferiti al punto di vista del progettista, valuta il tempo impiegato da quest'ultimo per effettuare il caricamento dei file riguardanti gli interventi di riqualificazione nell'apposita sezione del server. Per semplificare le attività di coordinamento tra i soggetti coinvolti, infatti, è necessario che la procedura di upload dei file nel server sia rapida, intuitiva ed affidabile. In caso contrario, tale procedura potrebbe comportare la perdita di dati o semplicemente un incremento dei tempi associati alle attività di controllo.

La valutazione viene condotta effettuando tre diverse prove riguardanti il caricamento di un singolo file nell'apposita sezione del server (nel caso oggetto di studio si prende in considerazione il file "demolizioni") tenendo traccia del tempo impiegato tramite il cronometro. Il valore temporale indicato per ogni prova include anche il tempo impiegato dal soggetto per effettuare la conversione IFC-GLTF del file oggetto di valutazione. I risultati della prova vengono riportati mediante la notazione che segue.

h	Ore
'	Minuti
"	Secondi
/10	Decimi di secondo
/100	Centesimi di secondo
/1000	Millesimi di secondo

Tabella 5.1 – Notazione dei tempi;

Prima prova	1'19"44/100
Seconda prova	1'10"06/100
Terza prova	1'03"66/100

Tabella 5.2 – Tempi di caricamento e conversione di un singolo file;

Considerando i risultati riportati nella *Tabella 5.2*, si nota che in media il tempo di caricamento e della conversione di un singolo file nel server risulta essere di 71", cioè di 1' e 11". Pertanto, complessivamente il criterio ci consente di valutare positivamente l'esperienza.

5.5.1.2 Annotazioni dell'esperto: accessibilità e affidabilità

Attualmente, mediante il sistema di controllo analizzato, è prevista la possibilità, per il soggetto preposto allo svolgimento delle attività on field, di inserire delle annotazioni di tipo vocale. Tali annotazioni, che riguardano singoli elementi, vengono inserite mediante una specifica procedura e vengono archiviate nell'apposita sezione del server, così da risultare accessibili a tutti i soggetti coivolti. Dato un determinato elemento, per produrre un'annotazione vocale è necessario selezionare lo stesso e, attraverso il menù, avviare la registrazione.

Figura 5.50 – Registrazione annotazione vocale sistema di ancoraggio;

Figura 5.51 – Menù per la registrazione di annotazioni vocali, elemento "porta";

In particolare, le annotazioni devono possedere due caratteristiche fondamentali:

- Accessibilità: esse devono risultare facilmente accessibili ad ogni soggetto coinvolto nelle attività di controllo;
- Affidabilità: esse devono essere comprensibili e correttamente archiviate nel server;

In considerazione di quanto riportato sopra, è necessario valutare l'affidabilità della procedura di inserimento delle annotazioni vocali da parte dell'esperto e le modalità con cui il progettista o qualunque soggetto coivolto nel processo, possa avere accesso alle stesse. Per valutare l'affidabilità della procedura di inserimento dei commenti, vengono effettuate tre diverse prove di inserimento di annotazioni vocali su diversi elementi, tenendo traccia di eventuali problematiche riscontrate.

Problemi / **Prova**	Interruzioni	Distorsioni del suomo	Errori di salvataggio	Rumori di sottofondo	Errata associazione
Prima prova	NO	NO	NO	NO	NO
Seconda prova	NO	NO	NO	NO	NO
Terza prova	NO	NO	NO	NO	NO

Tabella 5.3 – Problematiche riscontrate nella procedura di inserimento annotazioni;

Come è possibile notare dalla *Tabella 5.3*, durante lo svolgimento delle tre prove non sono emerse particolari problematiche.

Per quanto concerne invece la valutazione dell'accessibilità delle registrazioni da parte dei soggetti interessati, non è al momento possibile valutare questo aspetto in quanto le modalità di archiviazione nel server delle registrazioni effettuate sono attualmente ancora in fase di sviluppo.

5.5.1.3 Stabilità degli ologrammi

Tale criterio analizza la stabilità degli ologrammi, nonché la capacità di questi ultimi di non cambiare repentinamente la propria posizione nello spazio. La stabilità riguarda anche la capacità degli oggetti virtuali di non essere interessati da oscillazioni o tremolii durante lo svolgimento dell'attività di osservazione e/o di controllo. Nella realtà, quando un soggetto vede un qualunque elemento posto ad un data distanza, egli riesce ad averne una visione nitida grazie a due processi tipici della vista: la convergenza e l'accomodazione. La prima, in particolare, riguarda la rotazione degli occhi e viene regolata sulla base della distanza tra il soggetto e l'oggetto. La seconda, invece, consiste nel regolare la messa fuoco. Come specificato da Microsoft, nel momento in cui un soggetto indossa un visore, la messa a fuoco va a coincidere con la distanza focale dello stesso. Di conseguenza, gli occhi si accomodano alla distanza focale e la convergenza viene invece regolata in base alla distanza dell'oggetto da visualizzare. In tutti i casi in cui all'accomodamento e alla convergenza sono associate distanze diverse, si verifica un affaticamento visivo dell'utente. Proprio per questo motivo, per evitare che emergano tali problematiche, Microsoft raccomanda il posizionamento degli ologrammi a distanze comprese tra 1,25 m e 5 m e sconsiglia fortemente il posizionamento degli stessi a distanze inferiori ad 1 m e, più nello specifico, inferiori a 40 cm. Inoltre, al fine di evitare l'affaticamento visivo, è sconsigliato passare repentinamente dalla visualizzazione di oggetti a distanza ravvicinata alla visualizzazione di oggetti più lontani.

Per analizzare la stabilità degli ologrammi, si tiene conto delle linee guida sopracitate, e si eseguono delle prove che consistono nella visualizzazione di alcuni degli elementi presenti nello scenario di progetto e nello scenario delle demolizioni:

- Ad una distanza < 1m
- Ad una distanza > 5m
- Ad una distanza circa pari alla distanza minima consigliata (~ 1,25 m)

È importante però specificare che nella valutazione della stabilità degli ologrammi, vengono volutamente trascurate le piccole oscillazioni che tipicamente caratterizzano gli oggetti virtuali. Infatti, vengono considerate ai fini dell'analisi solo quelle oscillazioni e quei tremolii che possano disturbare le attività in maniera considerevole.

Durante la visualizzazione degli elementi ad una distanza elemento-utente inferiore ad 1m e, in particolare, inferiore a 40 cm, sono emerse molte problematiche riguardanti la nitidezza e la stabilità delle immagini. Infatti, indipendentemente dalla tipologia di elemento osservata, gli ologrammi risultavano interessati da oscillazioni e movimenti.

Dalla visualizzazione degli stessi elementi a distanze elemento-utente superiori alla distanza massima consigliata e cioè a distanza > 5m, sono emerse le stesse problematiche sopracitate di nitidezza e stabilità degli ologrammi indipendentemente dalla tipologia di elemento.

Per quanto concerne la visualizzazione degli oggetti ad una distanza elemento-utente pari alla distanza minima consigliata, cioè circa 1,25 m, sono di seguito riportate le considerazioni formulate durante lo svolgimento della prova.

Stabilità / **Oggetto**	Si sono verificati tremolii, oscillazioni o spostamenti	NON si sono verificati tremolii, oscillazioni o spostamenti
Partizioni interne		x
Ancoraggio della partizione		x
Bocchette di immissione/ estrazione		x
Canalizzazioni di ventilazione		x
Pavimenti		x
Controsoffitti		x
Arredo	x	
Pilastri	x	

Tabella 5.4 – Valutazione della stabilità degli oggetti virtuali ad una distanza utente-oggetto pari alla minima consigliata;

5.5.1.4 Accuratezza dell'allineamento

Il criterio analizza la precisione dell'allineamento tra gli oggetti virtuali, ovvero gli ologrammi, e gli oggetti reali. Tale allineamento viene valutato sulla base della capacità degli ologrammi di disporsi perfettamente in linea con le superfici o gli oggetti reali.

La valutazione dell'accuratezza dell'allineamento viene effettuata attraverso la visualizzazione dello scenario di progetto e dello scenario delle demolizioni ad una distanza elemento-utente pari a quella minima consigliata da Microsoft per una corretta visualizzazione degli ologrammi, ovvero 1,25 m. Dall'esecuzione della prova è emerso che l'oggetto di più piccole dimensioni che è possibile discernere, è il profilo metallico del sistema di ancoraggio del nuovo partizionamento interno. Ciò significa che l'accuratezza dell'allineamento risulta pari a 2 cm. Da tale distanza, infatti, non è possibile distinguere chiaramente elementi più piccoli, come ad esempio i tasselli a vite nella loro forma e tipologia, ma è possibile comprenderne solo la posizione sul supporto.

È importante però specificare che tale considerazione risulta *soggettiva* in quanto può essere facilmente influenzata dalla presenza, nell'utente, di difetti della vista.

5.5.1.5 Visualizzazione selettiva degli elementi

Il criterio valuta la possibilità di nascondere o "spegnere" temporaneamente gruppi di elementi in modo tale da rendere più immediata la visualizzazione di alcuni oggetti specifici di interesse. La regolazione di tale aspetto della visualizzazione è affidata al menù rappresentato nella *Figura 5.52.*

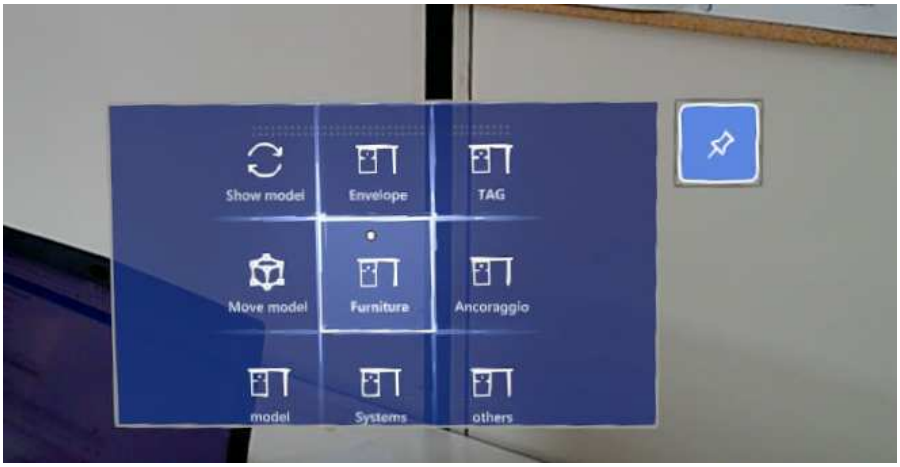

Figura 5.52 – Menù di visualizzazione selettiva;

Il menù comprende sei categorie di elementi:

- *Envelope*, categoria che comprende le partizioni interne e i muri perimetrali;
- *Tag*, categoria che comprende gli elementi "QRCode" contenuti nel modello e finalizzati all'allineamento;
- *Forniture*, categoria che comprende l'arredo;
- *Ancoraggio*, categoria che comprende i sistemi di ancoraggio;
- *Systems*, categoria che comprende l'impianto di ventilazione meccanica;
- *Others*, categoria che comprende elementi non appartenenti a nessuna delle precedenti categorie (come ad esempio il controsoffitto);

Selezionando una data categoria, è possibile in breve tempo nascondere temporaneamente dalla vista tutti gli elementi appartenenti ad essa. Il procedimento è quindi rapido ed intuitivo, ma presenta un limite: non è attualmente possibile nascondere un singolo elemento di interesse senza che ciò comporti lo "spegnimento" di tutti gli altri elementi appartenenti alla stessa categoria.

5.5.2 Applicabilità del sistema alle attività di controllo

5.5.2.1 Introduzione

Nella presente tesi ci si propone di sperimentare l'effettiva applicabilità del sistema di controllo on field analizzato, allo svolgimento delle attività di controllo nell'ambito di interventi di riqualificazione. Più nello specifico, si vuole analizzare l'applicabilità di tale sistema alle attività di controllo previste per i due interventi di riqualificazione del Dipartimento DICEA. Tale applicabilità viene analizzata tenendo conto dei criteri di valutazione precedentemente delineati e con riferimento alle due prove sperimentali svolte. Di conseguenza, per ogni scenario vengono riportate le attività di controllo di pertinenza e viene studiata l'effettiva possibilità che esse vengano eseguite mediante il sistema di controllo che integra il BIM, la Realtà Mixata e la Web Service.

5.5.2.2 Prima prova sperimentale: scenario di progetto

La prima prova sperimentale condotta, ha per oggetto lo scenario di progetto e, di conseguenza, riguarda entrambi gli interventi previsti nel processo di riqualificazione del dipartimento, nonché la realizzazione del nuovo partizionamento e la realizzazione dell'impianto di ventilazione meccanica. Eseguiti tutti i passaggi precedentemente descritti, è necessario analizzare l'applicabilità dell'approccio alle attività di controllo individuate. Pertanto, la valutazione che segue si compone di più fasi:

- Individuazione dei controlli riguardanti lo scenario di progetto con riferimento agli interventi di cui sopra;
- Individuazione di tutte le attività di controllo riguardanti lo scenario di progetto;
- Categorizzazione delle attività di controllo sulla base dell'effettiva applicabilità del sistema nello svolgimento delle stesse;

In particolare, nell'ultima fase ci si propone di individuare tra tutte le attività di controllo, quelle che potrebbero essere eseguite con successo mediante il sistema di controllo on field e quelle che invece, al contrario, potrebbero essere compromesse dallo stesso o per l'esecuzione delle quali il sistema non sarebbe utile.

	INTERVENTO 1	INTERVENTO 2
CODICE CONTROLLO	~~02.~~	74.
	12.	76.
	13.	77.
		78.
		97.
		104.

Tabella 5.5 – Quadro riassuntivo dei controlli riguardanti lo scenario di progetto;

SCENARIO DI PROGETTO: DESCRIZIONE DEI CONTROLLI	
CODICE CONTROLLO	**CATEGORIA CONTROLLO**
12. Esecuzione delle pareti esterne e partizioni interne	**Controllo di interferenza:** si verificano interferenze impianti e le partizioni interne e tra le pareti esterne e le partizioni interne, durante la realizzazione di queste ultime?
13. Esecuzione di partizioni interne costituite da elementi da assemblare in sito	**Controllo di fissaggio:** è possibile ancorare le partizioni interne agli elementi già esistenti?
74. Distribuzione del fluido termoconvettore, rete di tubazioni di distribuzione	**Controllo di posizionamento:** è possibile posizionare i sostegni delle tubazioni orizzontali a distanze tali da evitare incurvamenti?
76. Distribuzione del fluido termoconvettore, canali di distribuzione dell'aria calda	**Controllo di completezza:** sono stati previsti canali di distribuzione (e relativi elementi) nei singoli ambienti serviti dall'impianto ad aria calda?/ è possibile prevederli?
77. Distribuzione del fluido termoconvettore, canali di distribuzione dell'aria calda	**Controllo di coibentazione:** è stata prevista la coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria calda?
78. Distribuzione del fluido termoconvettore, canali di distribuzione dell'aria calda	**Controllo di posizionamento:** le bocche di immissione dei canali di distribuzione previste, sono state posizionate in modo tale che l'aria venga correttamente distribuita? (è possibile prevedere le bocche di immissione in posizione tale che l'aria venga correttamente distribuita?)
97. Impianto di climatizzazione, componenti degli impianti di climatizzazione	**Controllo di accessibilità:** i componenti dell'impianto di climatizzazione sono accessibili per manutenzione, revisione e sostituzione?
104. Impianto di climatizzazione, distribuzione dei fluidi termovettori	**Controllo di coibentazione:** è stata prevista la coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti climatizzati e negli ambienti non climatizzati?

Tabella 5.6 – Descrizione dei controlli relativi allo scenario di progetto;

Si riportano di seguito nello specifico le attività che è necessario effettuare per ogni controllo previsto e la valutazione dell'effettiva applicabilità del sistema di controllo on field nell'ambito dell'esecuzione delle stesse. Tale valutazione ci consente di suddividere le attività di controllo in due gruppi: le attività idonee, attività per l'esecuzione delle quali è possibile o comunque vantaggioso impiegare il sistema e le attività non idonee, attività per l'esecuzione delle quali non è possibile o non è vantaggioso impiegare il sistema.

Attività di controllo (idonea) che è possibile potenziare o semplificare mediante il sistema di controllo	
Attività di controllo (non idonea), per la quale non è possibile o consigliabile impiegare il sistema di controllo	

Tabella 5.7 – Legenda, valutazione delle attività di controllo;

ATTIVITÀ DI CONTROLLO: SCENARIO DI PROGETTO **PARTIZIONAMENTO INTERNO**	
12.	**13.**
12.1- Posizione dei componenti impiantistici	13.1- Tipologia e posizione dei fissaggi previsti
12.1.1- Sono presenti componenti dell'impianto di ventilazione meccanica nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?	13.1.1- La tipologia di fissaggio è compatibile con il supporto?
12.1.2- Sono presenti componenti dell'impianto elettrico nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?	13.1.2- È possibile collocare i fissaggi nei punti previsti o sono presenti altri fissaggi/elementi che ne ostacolano l'installazione?
12.1.3- Sono presenti componenti dell'impianto antincendio nei punti in cui si prevede l'installazione della nuova partizione?	13.1.3- Le modalità di realizzazione del fissaggio sono compatibili con gli esatti punti in cui il fissaggio va realizzato?
12.2- Posizione delle nuove partizioni interne da realizzare	
12.2.1- La posizione prevista per le nuove partizioni può in qualche modo ostacolare o disturbare i sopracitati impianti e i relativi componenti?	

Tabella 5.8 – Attività di controllo partizionamento interno, scenario di progetto;

ATTIVITÀ DI CONTROLLO: SCENARIO DI PROGETTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA		
74.	**76.**	**77.**
74.1- Tipologia, posizione e dimensione dei sostegni	76.1- Posizione dei canali di distribuzione	77.1- Coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria calda
74.1.1- È possibile installare la tipologia di sostegno indicata nel progetto sul supporto esistente?	76.1.1- È possibile installare i canali di distribuzione nella posizione prevista dal progetto?	77.1.1- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria calda negli ambienti climatizzati?
74.1.2- È possibile installare quella tipologia di sostegno sul supporto nell'esatta posizione prevista dal progetto?	76.1.2- I canali di distribuzione presenti nel progetto sono posizionati in modo tale da servire correttamente gli ambienti?	77.1.2- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria calda negli ambienti non climatizzati per evitare dispersioni di calore?
	76.2- Interferenza con altri componenti impiantistici	77.1.3- La tipologia e lo spessore dell'isolante è idonea rispetto alla posizione occupata dal canale di distribuzione?
	76.2.1- I canali di distribuzione, così come progettati, interferiscono con elementi appartenenti all'impianto elettrico?	
	76.2.2- I canali di distribuzione, così come progettati, interferiscono con elementi appartenenti all'impianto antincendio?	
78.	**97.**	**104.**
78.1- Posizione delle bocche di immissione	97.1- Posizione dei componenti dell'impianto	104.1- Coibentazione dei canali di distribuzione dell'aria fredda
78.1.1- Le bocche di immissione possono essere posizionate in modo tale che l'aria venga correttamente distribuita nell'ambiente?	97.1.1- I canali di distribuzione dell'aria sono posizionati in modo tale da essere accessibili?	104.1.1- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti climatizzati?
78.1.2- La posizione prevista dal progetto assicura una corretta distribuzione dell'aria?	97.1.2- Il rooftop AC è posizionato in modo tale da essere accessibile?	104.1.2- È stata prevista la coibentazione di tutti i canali di distribuzione dell'aria fredda negli ambienti non climatizzati?
78.2- Interferenza con altri elementi esistenti o componenti impiantistici	97.1.3- Le bocche di immissione sono posizionate in modo tale da essere accessibili?	104.1.3- La tipologia e lo spessore dell'isolante è idonea rispetto alla posizione occupata dal canale di distrubuzione?
78.2.1- Le bocche di immissione sono posizionate in modo tale da non interferire con altri elementi esistenti?	97.1.4- I canali di distribuzione, il rooftop AC e le bocche di immissione sono posizionati in modo tale che la loro accessibilità non sia compromessa da altri elementi e/o componenti di altri impianti?	

Tabella 5.9 – Attività di controllo partizionamento interno, scenario di progetto;

Nelle *Tabelle 5.8* e *5.9*, possiamo individuare le attività di controllo non idonee, cioè quelle attività che non è possibile o vantaggioso eseguire sfruttando le tecniche di visualizzazione. Principalmente, tali attività coinvolgono controlli per l'esecuzione dei quali è necessario conoscere informazioni non geometriche dell'elemento oggetto di studio. Tuttavia, attualmente il sistema di controllo non è in grado di mostrare al soggetto preposto all'attività di controllo tali informazioni.

CODICE ATTIVITÀ DI CONTROLLO	MOTIVAZIONE
13.1.1	Non è possibile valutare la compatibilità del fissaggio con l'esistente, in quanto il controllo richiederebbe l'accesso ad informazioni non geometriche (come la tipologia di fissaggio) che attualmente non possono essere visualizzate tramite il sistema.
74.1.1	Non è possibile valutare l'idoneità del sostegno e la sua compatibilità con l'esistente poiché attualmente il sistema di controllo on field non consente la visualizzazione delle informazioni non geometriche relative agli elementi
77.1.1	Non è possibile valutare la presenza del materiale isolante e quindi verificare l'avvenuta coibentazione delle canalizzazioni di distribuzione in quanto il sistema di controllo on field non consente attualmente la visualizzazione delle informazioni non geometriche degli elementi
77.1.2	Non è possibile valutare la presenza del materiale isolante e quindi verificare l'avvenuta coibentazione delle canalizzazioni di distribuzione in quanto il sistema di controllo on field non consente attualmente la visualizzazione delle informazioni non geometriche degli elementi
77.1.3	Non è possibile valutare l'idoneità della tipologia e dello spessore del materiale isolante nelle canalizzazioni di distribuzione in quanto il sistema di controllo on field non consente attualmente di visualizzare le informazioni non geometriche degli elementi
104.1.1	Non è possibile valutare la presenza del materiale isolante e quindi verificare l'avvenuta coibentazione delle canalizzazioni di distribuzione in quanto il sistema di controllo on field non consente attualmente la visualizzazione delle informazioni non geometriche degli elementi
104.1.2	Non è possibile valutare la presenza del materiale isolante e quindi verificare l'avvenuta coibentazione delle canalizzazioni di distribuzione in quanto il sistema di controllo on field non consente attualmente la visualizzazione delle informazioni non geometriche degli elementi
104.1.3	Non è possibile valutare l'idoneità della tipologia e dello spessore del materiale isolante nelle canalizzazioni di distribuzione in quanto il sistema di controllo on field non consente attualmente di visualizzare le informazioni non geometriche degli elementi

Tabella 5.10 – Attività di controllo non idonee;

Attività idonee	Attività non idonee
12.1.1	13.1.1
12.1.2	74.1.1
12.1.3	77.1.1
12.2.1	77.1.2
13.1.2	77.1.3
13.1.3	104.1.1
74.1.2	104.1.2
76.1.1	104.1.3
76.1.2	
76.2.1	
76.2.2	
78.1.1	
78.1.2	
78.2.1	
97.1.1	
97.1.2	
97.1.3	
97.1.4	

Numero Attività idonee	18
Numero Attività non idonee	8
Numero globale attività	26

Tabella 5.11 – Quadro riassuntivo delle attività di controllo, scenario di progetto;

In conclusione, delle 26 attività di controllo individuate e riguardanti lo scenario di progetto, nonché entrambi gli interventi di riqualificazione del Dipartimento, è emerso che 18 di queste possono essere considerate come idonee e quindi come attività la cui esecuzione mediante il sistema di controllo basato su tecniche di visualizzazione è vantaggiosa, mentre 8 di queste possono essere considerate come non idonee, quindi come attività per l'esecuzione delle quali non è possibile o opportuno sfruttare il sistema sopracitato. Principalmente, le attività non idonee sono connesse al controllo di aspetti che afferiscono alle infomazioni non geometriche degli elementi oggetto di verifica e, di conseguenza, non possono essere eseguite mediante un sistema che non consente attualmente di avere accesso a tali informazioni. Tuttavia, è necessario considerare che le attività non idonee sono di numero molto inferiore rispetto alle attività idonee.

5.5.2.3 Seconda prova sperimentale: demolizioni

La seconda prova sperimentale condotta, ha per oggetto lo scenario riguardante le demolizioni. Di conseguenza, essa riguarda principalmente il partizionamento interno esistente. Come nel caso precedente, la valutazione viene effettuata secondo i punti seguenti:

- Individuazione degli interventi riguardanti lo scenario delle demolizioni;
- Individuazione dei controlli riguardanti lo scenario delle demolizioni;
- Individuazione di tutte le attività di controllo riguardanti lo scenario di demolizione;
- Categorizzazione delle attività di controllo sulla base dell'effettiva applicabilità del sistema nello svolgimento delle stesse;

In particolare, nell'ultima fase ci si propone di individuare tra tutte le attività di controllo, quelle che potrebbero essere eseguite con successo mediante il sistema di controllo on field e quelle che invece, al contrario, potrebbero essere compromesse dallo stesso o per l'esecuzione delle quali il sistema non sarebbe utile.

	INTERVENTO 1	**INTERVENTO 2**
CODICE CONTROLLO	02.	~~74.~~
	~~12.~~	~~76.~~
	~~13.~~	~~77.~~
		~~78.~~
		~~97.~~
		~~104.~~

Tabella 5.12 – Quadro riassuntivo dei controlli riguardanti lo scenario delle demolizioni;

SCENARIO DEMOLIZIONI: DESCRIZIONE DEI CONTROLLI	
CODICE CONTROLLO	**CATEGORIA CONTROLLO**
02. Demolizioni e rimozioni	**Controllo di interferenza:** è possibile demolire gli elementi senza danneggiare ciò che deve essere mantenuto in opera?

Tabella 5.13 – Descrizione dei controlli relativi allo scenario delle demolizioni;

Si riportano di seguito nello specifico le attività che è necessario effettuare per ogni controllo previsto e la valutazione dell'effettiva applicabilità del sistema di controllo on field nell'ambito dell'esecuzione delle stesse. Tale valutazione ci consente di suddividere le attività di controllo in due gruppi: le attività idonee, attività per l'esecuzione delle quali è possibile o comunque vantaggioso impiegare il sistema e le attività non idonee, attività per l'esecuzione delle quali non è possibile o consigliabile impiegare il sistema.

Attività di controllo (idonea) che è possibile potenziare o semplificare mediante il sistema di controllo	
Attività di controllo (non idonea), per la quale non è possibile o consigliabile impiegare il sistema di controllo	

Tabella 5.14 – Legenda, valutazione delle attività di controllo;

ATTIVITÀ DI CONTROLLO: SCENARIO DELLE DEMOLIZIONI **PARTIZIONAMENTO INTERNO ESISTENTE**	
02.	
02.1- Posizione degli elementi da rimuovere o demolire	02.2- Interferenza con elementi da mantenere in opera e/o dotazioni impiantistiche
02.1.1- Gli elementi da demolire o da rimuovere si trovano in una posizione idonea affinché possano essere rimossi senza danneggiare gli elementi da mantenere in opera?	02.2.1- Sono presenti componenti dell'impianto di ventilazione meccanica a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?
02.1.2- Gli elementi da demolire o da rimuovere si trovano in una posizione idonea affinché il materiale che ne risulta o l'elemento intero possano essere facilmente rimossi?	02.2.2- Sono presenti componenti dell'impianto elettrico a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?
	02.2.3- Sono presenti componenti dell'impianto antincendio a ridosso degli elementi da demolire o rimuovere?
	02.2.4- È possibile rimuovere o demolire gli elementi senza danneggiare le dotazioni impiantistiche presenti?
	02.2.5- È possibile separare completamente gli elementi da rimuovere o da demolire dai muri in calcestruzzo senza danneggiare questi ultimi?
02.3- Tipologia e modalità di fissaggio degli elementi da rimuovere o demolire agli elementi da mantenere in opera	
02.3.1- La tipologia di fissaggio presente è tale da consentire la sua rimozione senza danneggiare gli elementi da mantenere in opera?	

Tabella 5.15 – Attività di controllo partizionamento interno esistente, scenario delle demolizioni;

Nelle *Tabella 5.15*, possiamo individuare le attività di controllo non idonee, cioè quelle attività che non è possibile o vantaggioso eseguire sfruttando le tecniche di visualizzazione.

CODICE ATTIVITÀ DI CONTROLLO	MOTIVAZIONE
02.2.1	Non è possibile con il sistema di controllo on field valutare l'interferenza tra gli elementi da demolire e i componenti dell'impianto di ventilazione meccanica, in quanto lo scenario di demolizione non comprende questi ultimi
02.2.5	Non è possibile valutare tale aspetto in quanto per eseguire il controllo è necessario avere accesso ad alcune informazioni non geometriche (come la stratigrafia delle pareti)

Tabella 5.16 – Attività di controllo non idonee;

Attività idonee	Attività non idonee
02.1.1	02.2.1
02.1.2	02.2.5
02.2.2	
02.2.3	
02.2.4	
02.3.1	

Numero Attività idonee	6
Numero Attività non idonee	2
Numero globale attività	8

Tabella 5.17 – Quadro riassuntivo delle attività di controllo, scenario demolizioni;

In conclusione, dall'analisi effettuata è emerso che delle 8 attività di controllo individuate e riguardanti lo scenario delle demolizioni, solo due possono essere classificate come "non idonee", ovvero come attività per l'esecuzione delle quali non è sfruttabile il sistema di controllo on field. Una delle attività necessita infatti di informazioni non geometriche che attualmente non possono essere mostrate tramite le tecniche di visualizzazione, mentre l'altra necessita di una visualizzazione simultanea di elementi appartenenti a scenari diversi.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI

6.1 Conclusioni sul lavoro di tesi

L'obiettivo della presente tesi è quello di definire e valutare l'effettiva applicabilità di un sistema di controllo on field che integri l'approccio BIM e le tecniche di visualizzazione al fine di semplificare e/o potenziare le attività di controllo inerenti a processi di riqualificazione di edifici esistenti. Dalle analisi condotte e dalle prove sperimentali è emerso che:

- Le tecniche di visualizzazione possono offrire un importante contributo per il miglioramento delle attività di controllo per l'esecuzione delle quali è necessario accedere ad informazioni geometriche dell'elemento oggetto di verifica;
- Le attività di controllo la cui esecuzione implica la conoscenza di informazioni di tipo non geometrico, non possono essere svolte con l'ausilio delle tecniche di visualizzazione e quindi con il sistema di controllo proposto, poiché attualmente la visualizzazione si limita alle sole informazioni geometriche;
- Con riferimento alla totalità delle attività individuate per il caso specifico della riqualificazione del Dipartimento DICEA, è possibile affermare che le attività per l'esecuzione delle quali è vantaggioso impiegare il sistema proposto, superano in numero le attività per l'esecuzione delle quali non è possibile o non è vantaggioso impiegare quest'ultimo;
- Il sistema di controllo proposto è in grado di migliorare la collaborazione tra i soggetti coivolti soprattutto perché essi si interfacciano mediante un'unica piattaforma e ciò riduce il rischio che si verifichino perdite di informazioni, omissioni o incomprensioni;

I principali limiti del sistema di controllo on field proposto individuati, sono i seguenti:

- Esso può essere attualmente impiegato solamente per lo svolgimento di tutte quelle attività di controllo che non coinvolgono informazioni di tipo non geometrico;

- Il suo impiego può risultare talvolta difficoltoso per attività di controllo che comportano un'esame visivo dell'elemento ad una distanza inferiore ad 1 m e ancora più nello specifico inferiore a 40 cm;
- È necessario organizzare le attività di controllo in modo tale da non dover passare repentinamente dalla visualizzazione di oggetti vicini alla visualizzazione di oggetti lontani, per evitare l'affaticamento visivo;
- Esso non consente una visualizzazione simultanea di più scenari e, di conseguenza, non possono essere eseguite le attività di controllo che riguardano l'interferenza tra elementi appartenenti a diversi scenari;

6.2 Sviluppi futuri

I limiti del sistema di controllo precedentemente individuati possono fungere da spunto per sviluppi futuri. Infatti, sarebbe interessante che il sistema consentisse:

- La visualizzazione delle informazioni non geometriche degli elementi, poiché ciò consentirebbe all'esperto di eseguire efficacemente molte più attività di controllo;
- La visualizzazione simultanea di più scenari, in modo tale da poter eseguire attività di controllo riguardanti l'interferenza tra elementi appartenenti a diversi scenari;
- L'inserimento di annotazioni in forma scritta, poiché esse risulterebbero meno soggette ad errori o incomprensioni rispetto alle annotazioni vocali;

BIBLIOGRAFIA

[1] McKinsey Global Institute & Company, *Reinventing construction: a route to highter productivity*, 2017

[2] Decreto Ministeriale 1 dicembre 2017, n° 560

[3] UNI 11337-1:2017 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 1: Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi"

[4] UNI 11337:2009 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse - Identificazione, descrizione e interoperabilità"

[5] UNI/TS 11337-3:2015 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Criteri di codificazione di opere e prodotti da costruzione, attività e risorse - Parte 3: Modelli di raccolta, organizzazione e archiviazione dell'informazione tecnica per i prodotti da costruzione"

[6] UNI 11337-4:2017 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 4: Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti"

[7] UNI 11337-5:2017 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 5: Flussi informativi nei processi digitalizzati"

[8] UNI/TR 11337-6:2017 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 6: Linea guida per la redazione del capitolato informativo"

[9] UNI 11337-7:2018 "Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni - Parte 7: Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa"

[10] PAS 1192-2:2013 "Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling"

[11] UNI EN ISO 19650-1:2019 “Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 1: Concetti e principi”

[12] UNI EN ISO 19650-2:2019 “Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 2: Fase di consegna dei cespiti immobili”

[13] UNI EN ISO 19650-3:2021 “Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 3: Fase gestionale dei cespiti immobili”

[14] UNI EN ISO 19650-5:2020 “Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modelling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modelling - Parte 5: Approccio orientato alla sicurezza per la gestione informativa”

[15] Autodesk Inc., *Manuale dello standard IFC per Revit, 2018*

[16] ISO 16739-1:2018 “Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries - Part 1: Data schema”

[17] Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F., *Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum*, 1994

[18] Wu W., Tesei A., Ayer S., London J., Luo Y., Gunji V., *Closing the skill gap: construction and engineering education using mixed reality – a case study, in* “2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)”, 2019

[19] Hasanzadeh S., Polys N.F., de la Garza J.M., *Presence, mixed reality and risk-taking behavior: a study in safety interventions, in* “IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics”, 2020

[20] Dai F., Olorunfemi A., Peng W., Cao D., Luo X., *Can mixed reality enharce safety communication on construction sites? An industry perspective, in* “Safety Science Volume 133”, 2021

[21] El Ammari K., Hammad A., *Remote interactive collaboration in facilities management using bim-based mixed reality, in* "Automation in Construction Volume 107", 2019

[22] Raimbaud P., Lou R., Merienne F., Danglade F., Figueroa P., Hernandez J.T., *Bim based mixed reality application for supervision of construction, in* "2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)", 2019

[23] Wang X., Dunston P.S., Skibniewki M., *Mixed reality technology applications in construction equipment operator training*, 2019

[24] Durrant-Whyte H., Bailey T., *Simultaneous Localization and Mapping (SLAM): Part I The Essential Algorithms,* Robotics and Automation Magazine, 2006

[25] American Institute of Architects , *E202TM-2008 Building Information Modeling Protocol,* 2008

[26] BIMForum, *Level Of Development Specification for Building Information Models and Data,* 2015

SITOGRAFIA

https://bim.acca.it

https://blog.archicad.it/bim

https://www.buildingsmartitalia.org

https://www.buildingsmart.org

https://www.microsoft.com

https://developer.vuforia.com

https://bimforum.org

https://www.hilti.it/