



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

Dipartimento di Informatica

Corso di Laurea Magistrale in Informatica

TESI DI LAUREA

**Image to Metaverse:
Una tecnica per la creazione di scene
reali nel Metaverso**

RELATORE

Prof. Fabio Palomba

Dott.ssa Viviana Pentangelo

Università degli Studi di Salerno

CANDIDATO

Marco Dello Buono

Matricola: 0522501046

Questa tesi è stata realizzata nel



Dedica o citazione

Abstract

Questa ricerca affronta la sfida della rappresentazione accurata di ambienti reali nel Metaverso, unendo discipline come Fotografia e Architettura in ambito edile con l'Intelligenza Artificiale. La problematica risiede nella mancanza di metodologie integrate per la trasformazione efficiente di fotografie bidimensionali in modelli 3D, con successiva generazione di ambienti virtuali.

L'obiettivo principale di questo lavoro di ricerca è fornire una risposta innovativa che permetta di partire dalla trasformazione di planimetrie 2D in modelli tridimensionali, creando una solida base per l'immersione virtuale e, successivamente, con l'aiuto della Fotografia e dell'Intelligenza Artificiale, analizzare le immagini, riconoscere gli oggetti e scansionarli per generare modelli 3D dettagliati integrabili direttamente in una scena che rappresenti fedelmente il Metaverso.

I risultati dimostrano un approccio avanzato per rappresentare oggetti reali in ambienti virtuali, arricchendo l'esperienza utente e offrendo, grazie all'utilizzo di Intelligenza Artificiale, una soluzione innovativa per esplorare scenari familiari nel contesto del Metaverso.

Indice

Elenco delle Figure	iv
Elenco delle Tabelle	vi
1 Introduzione	1
1.1 Contesto Applicativo	1
1.2 Limitazioni	1
1.3 Motivazione e Obiettivi	2
1.4 Struttura della tesi	3
2 Background e Stato dell'Arte	4
2.1 Il Metaverso	4
2.1.1 Metaverse Engineering	5
2.1.2 Il Metaverso nella sua forma	7
2.1.3 Gli impatti delle scene nel Metaverso	7
2.2 Computer Vision per Fotogrammetria	8
2.3 Stato dell'Arte	11
2.3.1 Panoramica della Letteratura	11
3 Image-to-Metaverse: Una tecnica per la creazione di scene nel Metaverso	16
3.1 Gli obiettivi	17

3.2	Le motivazioni	17
3.3	Le domande di ricerca	17
3.4	Acquisizione e selezione delle immagini	19
3.4.1	Descrizione del processo di acquisizione delle immagini . . .	19
3.4.2	L'importanza di una vasta raccolta di immagini	21
3.4.3	Selezione delle immagini per garantire rappresentatività . . .	21
3.5	Analisi e riconoscimento degli oggetti	22
3.5.1	Applicazione di algoritmi di Intelligenza Artificiale	23
3.5.2	Categorizzazione degli oggetti in base alle dimensioni	23
3.6	Scansione e generazione del modello	24
3.6.1	Introduzione a Polycam	24
3.6.2	Modalità di scansione e Cropping	25
3.6.3	Tecniche di scansione adottate	27
3.6.4	Modellazione 3D con Blender: Perfezionamento dei modelli generati con Polycam	36
3.7	Integrazione modelli 3D e Creazione della Scena	39
3.7.1	Definizione dell'ambiente e inserimento delle pareti	39
3.7.2	Importazione modelli generati con tecnica Project Mapping .	40
3.7.3	Importazione modelli generati con Polycam	42
3.7.4	Personalizzazione e Rifinitura della scena	42
3.7.5	Sintesi delle tecniche adottate e Overview	43
3.8	Esportazione ed Integrazione nel Metaverso	45
3.8.1	Integrazione in Unity 3D	47
4	Sperimentazione	51
4.1	Generazione di uno scenario 3D partendo da immagini 2D - RQ1 .	51
4.2	Automazione della creazione dei modelli 3D - RQ2	54
4.3	Fasi per la generazione di modelli 3D partendo da immagini 2D - RQ3	56
5	Threats to validity	58
5.1	Threats to Construct Validity	58
5.2	Threats to Internal Validity	59
5.3	Threats to External Validity	60

5.4 Threats to Conclusion Validity	60
6 Conclusioni	62
6.1 Conclusioni	62
6.2 Lavori Futuri	63
Bibliografia	64

Elenco delle figure

2.1	Il Metaverso accessibile attraverso dispositivi di Realtà Virtuale.	5
2.2	Interazione con ambienti virtuali tramite visori.	6
2.3	Da 2D a 3D attraverso l'utilizzo della Computer Vision.	9
2.4	Computer Vision per il riconoscimento degli oggetti nelle immagini.	10
3.1	Esempio di rappresentazione di un ambiente nel Metaverso.	16
3.2	Fasi principali del processo di generazione di una scena nel Metaverso.	18
3.3	Acquisizione immagine per il riconoscimento degli oggetti nella stanza.	20
3.4	Scansione di un oggetto per la generazione del modello 3D	20
3.5	Riconoscimento degli oggetti tramite l'utilizzo di Object Detection. .	22
3.6	Schermata di upload di Polycam Web.	25
3.7	Esempio di utilizzo della modalità LiDAR.	26
3.8	Funzionalità di Cropping integrata in Polycam.	27
3.9	Esempio di scansione con rotazione attorno all'oggetto.	28
3.10	Esempio di scansione con piatto girevole.	29
3.11	Esempio di mapping di una texture su un oggetto tridimensionale. .	30
3.12	Esempio di immagine per l'applicazione della tecnica del Project Mapping.	31
3.13	Esempio di sovrapposizione della texture sul modello non ottimale..	32
3.14	Esempio di posizionamento dei vertici su un'immagine.	33

3.15 Esempio di tracciatura delle linee sul modello.	33
3.16 Esempio di affinamento manuale per estendere la texture.	34
3.17 Esempio di estrusione del modello 3D.	35
3.18 Modello generato tramite Polycam con parte della mesh mancante. .	37
3.19 Eliminazione della parte sottostante della mesh.	37
3.20 Riduzione del numero dei poligoni della mesh.	38
3.21 Esempio di planimetria di partenza per la creazione della scena. . . .	39
3.22 Importazione della planimetria e definizione delle pareti.	40
3.23 Importazione dei modelli generati con la tecnica del Project Mapping.	41
3.24 Posizionamento e allineamento dei modelli 3D.	41
3.25 Importazione dei modelli generati con Polycam.	42
3.26 Esempio di parte di una scena completamente rifinita.	43
3.27 Scena completamente rifinita vista dall'alto.	46
3.28 Passaggi chiave per esportare la scena in formato FBX.	47
3.29 Rendering della scena importata sul software Unity 3D.	48
3.30 Posizionamento dei marcatori sul modello del personaggio.	49
3.31 Rendering di navigazione dell'ambiente in terza persona.	49
3.32 Rendering di navigazione dell'ambiente in prima persona.	50
4.1 Esempi di scansione con numero di fotografie differenti.	53
4.2 Numero di poligoni delle scansioni effettuate con Polycam e KiriEngine.	55
4.3 Modelli generati con condizioni di luce ambientale differente.	57

Elenco delle tabelle

CAPITOLO 1

Introduzione

1.1 Contesto Applicativo

Ai giorni d'oggi, l'avanzamento tecnologico ha dato vita a nuove e affascinanti sinergie tra diverse discipline. In questo contesto, la convergenza di tre ambiti apparentemente distanti, ovvero la Fotografia, l'Architettura in ambito edile e il Metaverso, apre la strada a nuove prospettive di ricerca. La Fotografia, con la sua capacità di catturare istantanee della realtà, si fonde con l'architettura in ambito edile, coinvolgendo la creazione di modelli tridimensionali da immagini bidimensionali. Questa fusione trova un terreno fertile nel Metaverso, dove la rappresentazione virtuale degli spazi può essere trasformata in esperienze immersive e interattive.

1.2 Limitazioni

La Fotografia, sebbene strumento potente per catturare la realtà, porta con sé limitazioni legate alla qualità delle immagini acquisite, all'illuminazione ambientale e alle variazioni prospettiche. Inoltre, il processo di mapping 2D to 3D può essere influenzato da imprecisioni e distorsioni, introducendo sfide nella generazione accurata di modelli tridimensionali. L'applicazione della tecnologia alla creazione di

modelli tridimensionali in ambito edile affronta sfide specifiche legate alla complessità strutturale degli edifici e alla necessità di garantire un livello di dettaglio che rispecchi fedelmente la realtà.

1.3 Motivazione e Obiettivi

Dato il contesto e le limitazioni descritte al punto precedente, l’obiettivo principale di questa tesi di ricerca è esplorare la fattibilità e l’efficacia dell’utilizzo della Fotografia, in particolare la tecnica di mapping 2D to 3D, per la creazione di modelli tridimensionali. Inoltre, si mira a integrare questi modelli in ambienti del Metaverso, contribuendo così alla creazione di scenari virtuali realistici e interattivi. L’approccio si basa sull’applicazione di algoritmi di Intelligenza Artificiale per l’analisi delle immagini e la generazione dei modelli 3D. Per raggiungere l’obiettivo di ricerca si è deciso di dividere il lavoro in tre Research Question:

- **RQ1** - Come è possibile generare una scena 3D a partire da immagini 2D per il Metaverso?
- **RQ2** - Come le tecniche di Intelligenza Artificiale possono essere utilizzate per automatizzare la creazione di modelli 3D a partire da immagini?
- **RQ3** - Quali fasi deve coinvolgere un processo di generazione di modelli 3D partendo da immagini 2D?

La prima RQ mira a esplorare le metodologie e le tecniche che permettono di trasformare immagini bidimensionali in scenari tridimensionali per il Metaverso.

La seconda RQ mira a fornire una soluzione per semplificare e automatizzare il processo di creazione di modelli tridimensionali da immagini attraverso tecniche di Intelligenza Artificiale.

La terza RQ mira a proporre la definizione e l’analisi delle fasi chiave che sono coinvolte nel processo di generazione dei modelli tridimensionali a partire da immagini.

1.4 Struttura della tesi

Tutti i temi sopra menzionati sono stati proposti in modo approfondito nei sei capitoli di cui si compone il presente lavoro di tesi. Di seguito una sintesi dei capitoli:

- **Capitolo 2: Background e Stato dell'arte**, che delinea il contesto generale in cui si colloca la ricerca, offrendo una panoramica sulla letteratura attualmente disponibile, con particolare attenzione alle applicazioni della Fotogrammetria nel contesto della creazione di modelli tridimensionali;
- **Capitolo 3: Image-to-Metaverse: Una tecnica per la creazione di scene nel Metaverso**, costituisce il cuore della ricerca, delineando gli obiettivi principali, le motivazioni e le domande di ricerca. Si esplora il processo che parte dall'acquisizione e selezione delle immagini, passa per l'analisi e il riconoscimento degli oggetti, con successiva scansione e generazione dei modelli 3D, fino ad arrivare all'integrazione di essi per generare scene immersive nel Metaverso;
- **Capitolo 4: Sperimentazione**, presenta i risultati della ricerca, concentrandosi sulla risposta alle domande di ricerca definite nella sezione 3.3 del capitolo precedente;
- **Capitolo 5: Minacce alla validità**, che illustra le possibili criticità della ricerca, analizzando le Threats to Validity dello studio e il modo in cui queste ultime sono state attenuate;
- **Capitolo 6: Conclusioni**, che fornisce una sintesi della ricerca e delinea alcuni possibili sviluppi futuri.

CAPITOLO 2

Background e Stato dell'Arte

In questo capitolo sono descritti i principali pilastri che gettano le basi di questa tesi. Verrà effettuata un'analisi approfondita del Metaverso, spiegando il concetto di Metaverse Engineering e comprendendo come il Metaverso possa impattare l'usabilità e l'esperienza degli utenti in Ambienti Virtuali. Successivamente, verrà effettuata una panoramica sul ruolo della Computer Vision nella Fotogrammetria, esaminando come questa tecnologia contribuisca alla creazione di modelli tridimensionali a partire da immagini bidimensionali. Infine, attraverso lo stato dell'arte, verrà effettuata un'analisi sulle attuali tendenze ed innovazioni, posizionando il lavoro di questa tesi in un contesto più ampio ed evidenziando come questo studio si differenzia da ciò che è stato già acquisito finora.

2.1 Il Metaverso

Il Metaverso è l'universo post-realtà, un ambiente multiutente perpetuo e persistente che fonde la realtà fisica con la virtualità digitale. Si basa sulla convergenza di tecnologie che consentono interazioni multisensoriali con ambienti virtuali, oggetti digitali e persone come la Realtà Virtuale (VR) e la Realtà Aumentata (AR) [1]. Il concetto di Metaverso è apparso per la prima volta nel 1992 nel romanzo fantascientifico

"Snow Crash" del romanziere Neal Stephenson. I personaggi del romanzo diventano avatar e lavorano in una Realtà Virtuale tridimensionale, che prende il nome di Metaverso [2].

Il concetto di Metaverso va oltre l'idea di un ambiente digitale tradizionale. Esso infatti è una Realtà Virtuale persistente e condivisa, in cui gli utenti possono interagire tra loro e con l'ambiente circostante in tempo reale. Questo spazio digitale è solitamente accessibile attraverso dispositivi come Computer, visori di Realtà Virtuale o altri dispositivi di Realtà Aumentata. La Figura 2.1 mostra un esempio di visori utilizzati. I dispositivi permettono di accedere a piattaforme di Realtà Virtuale, progettate per essere sociali e immersive, compatibili con varie forme di intrattenimento, come giochi online multigiocatore, nonché ambienti di gioco aperti e spazi collaborativi di Realtà Aumentata [3].



Figura 2.1: Il Metaverso accessibile attraverso dispositivi di Realtà Virtuale.

2.1.1 Metaverse Engineering

Con Metaverse Engineering si intendono tutti quei principi ingegneristici alla creazione e all'ottimizzazione di tecnologie necessarie per sostenere e far evolvere il Metaverso. Include aspetti come la progettazione di ambienti virtuali, la generazione di scene per meglio rappresentare l'ingegneria nel Metaverso, ecc...

L'ingegneria di un Metaverso è un processo molto complesso che coinvolge diverse discipline, tra cui Sviluppo Software, Intelligenza Artificiale, Realtà Virtuale, Sicurezza Informatica e molto altro. Durante un processo di ingegnerizzazione del Metaverso bisogna dapprima comprendere lo scopo, per meglio capire l'ambito di quest'ultimo, che potrebbe essere incentrato su aspetti legati al lavoro, formazione, giochi, ecc..., successivamente comprendere le tecnologie da utilizzare per lo sviluppo o la manutenzione, investire tempo e risorse sia nell'implementazione di sistemi di intelligenza artificiale per migliorare l'esperienza degli utenti, che nella progettazione di ambienti virtuali, rendendoli coinvolgenti e facili da navigare. La Figura 2.2 mostra un esempio di navigazione in un Ambiente Virtuale tramite un visore.



Figura 2.2: Interazione con ambienti virtuali tramite visori.

Un aspetto cruciale nell'ingegneria del Metaverso è la Sicurezza Informatica, infatti, nonostante il promettente segno del Metaverso, i problemi di sicurezza e privacy sono le principali preoccupazioni che ne ostacolano l'ulteriore sviluppo. Nel Metaverso potrebbe verificarsi un'ampia gamma di violazioni della sicurezza e invasioni della privacy, derivanti dalla gestione di enormi flussi di dati, da attività pervasive di profilazione degli utenti, da risultati ingiusti degli algoritmi di Intelligenza Artificiale, fino alla sicurezza delle infrastrutture fisiche. In primo luogo, poiché il Metaverso integra una varietà di tecnologie e sistemi più recenti basati su di esse come base, le loro vulnerabilità e difetti intrinseci possono anche essere ereditati dal Metaverso [4]. Per evitare attacchi informatici, frodi e manipolazioni bisogna implementare sistemi

di autenticazione per garantire che non ci siano accessi non autorizzati, attacchi di tipo malware o ransomware, garantendo così l'integrità della struttura virtuale.

2.1.2 Il Metaverso nella sua forma

Il Metaverso coinvolge diversi componenti e tecnologie chiave che definiscono la propria forma:

- **Realtà virtuale (VR) e Realtà Aumentata (AR):** le tecnologie VR e AR svolgono un ruolo cruciale nella creazione di esperienze digitali immersive. La Realtà Virtuale prevede l'uso di visori che immergono gli utenti in un ambiente completamente virtuale, mentre la Realtà Aumentata sovrappone le informazioni digitali al mondo reale attraverso dispositivi come smartphone o occhiali AR.
- **Modellazione e Simulazione 3D:** il Metaverso si affida a tecnologie avanzate di modellazione e simulazione 3D per creare ambienti virtuali realistici e interattivi. Ciò include avatar, oggetti e paesaggi realistici.
- **Intelligenza Artificiale (AI):** l'Intelligenza Artificiale viene utilizzata per creare elementi intelligenti e reattivi all'interno del Metaverso. Ciò potrebbe includere NPC (personaggi non giocanti), assistenti virtuali o eventi guidati dall'intelligenza artificiale che migliorano l'esperienza dell'utente.
- **Connettività Internet:** connessioni Internet affidabili e ad alta velocità sono essenziali per interazioni senza interruzioni all'interno del Metaverso. Ciò consente agli utenti di accedere e contribuire all'Ambiente Virtuale in tempo reale.

2.1.3 Gli impatti delle scene nel Metaverso

Il Metaverso ha rivoluzionato il modo in cui gli individui interagiscono e condividono informazioni all'interno di esperienze virtuali. Al centro di questa rivoluzione risiedono le scene del Metaverso, ovvero rappresentazioni del tutto digitali che rappresentano ambienti di ogni genere, da paesaggi urbani ad ambienti di gioco. L'attenzione dedicata alla creazione di queste scene non è soltanto una questione

estetica, ma svolge anche un ruolo cruciale nell’usabilità complessiva e nell’incidere sull’esperienza dell’utente nel Metaverso.

Una rappresentazione accurata del Metaverso è strettamente legata alla fruibilità degli ambienti virtuali, infatti la disposizione degli elementi all’interno delle scene, la chiarezza e la coerenza nella rappresentazione degli spazi contribuiscono a definire il grado di usabilità di un ambiente virtuale.

Un ulteriore impatto che le scene possono avere all’interno del Metaverso riguarda l’User Experience (UX), infatti gli utenti non desiderano soltanto un’interfaccia intuitiva, ma si aspettano anche di immergersi in scenari che evocano sensazioni autentiche, determinando la loro disposizione a esplorare e partecipare attivamente all’ambiente digitale. La cura nella creazione di scene coinvolgenti è, dunque, un elemento chiave per garantire un’esperienza utente soddisfacente.

2.2 Computer Vision per Fotogrammetria

Tradizionalmente, la Fotogrammetria è stata definita come il processo di derivazione di informazioni metriche su un oggetto attraverso misurazioni effettuate tramite fotografie dell’oggetto. L’ambito strettamente correlato della fotointerpretazione è definito come l’estrazione di informazioni qualitative sugli oggetti fotografati mediante l’analisi visiva umana e la valutazione delle fotografie [5]. La Fotogrammetria rappresenta un’importante disciplina nell’ambito della raccolta e dell’elaborazione di dati, trovando applicazione in svariati settori, dalla topografia all’architettura. Essa permette di estrarre informazioni metriche ed interpretative da immagini fotografiche, consentendo quindi di modellare lo spazio tridimensionale a partire da immagini bidimensionali.

Un concetto strettamente legato alla disciplina della Fotogrammetria è la Computer Vision, ossia un campo di studio che mira a dotare i Computer della capacità di interpretare e comprendere il mondo visivo, simile al modo in cui gli esseri umani lo fanno. Questo abbraccia il riconoscimento di pattern, l’analisi di scene, il tracking di oggetti e altro ancora. I ricercatori nel campo della Computer Vision hanno sviluppa-

to, parallelamente, avanzate tecniche matematiche per estrarre la forma e l'aspetto tridimensionale degli oggetti presenti nelle immagini [6].

La Computer Vision, il 3D Modeling e la Realtà Aumentata/Virtuale sono tecnologie interconnesse che possono essere integrate in maniera sequenziale per riconoscere oggetti da immagini bidimensionali (2D) e produrre modelli tridimensionali (3D). La Figura 2.3 mostra un esempio di utilizzo della Computer Vision per rappresentare una scena in 3D da una semplice immagine.

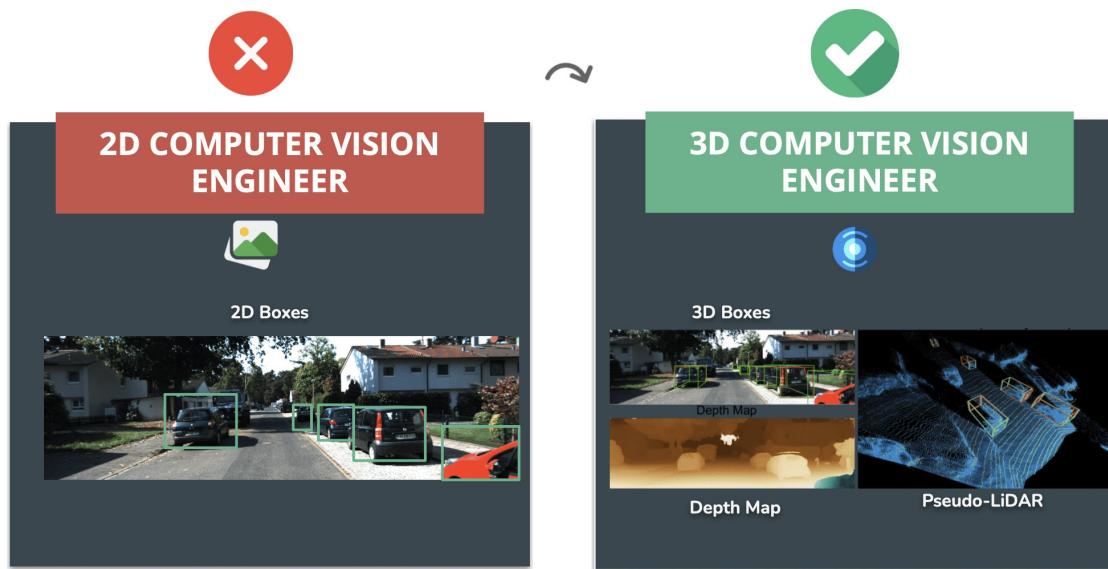


Figura 2.3: Da 2D a 3D attraverso l'utilizzo della Computer Vision.

La Computer Vision utilizza una tecnica nota come Object Detection per il riconoscimento di oggetti 2D. Il riconoscimento degli oggetti e la comprensione delle immagini sono diventati sempre più temi di grande interesse per le attività di ricerca nella fotogrammetria digitale [7]. Questa tecnica impiega algoritmi specifici di Computer Vision per individuare e classificare gli oggetti presenti in immagini bidimensionali, inoltre, offre la capacità di classificare le immagini, distinguendo gli oggetti in base alle rispettive categorie.

Alcuni sistemi di Computer Vision integrano il concetto di profondità per ottenere maggiori informazioni sull'oggetto fotografato. Ciò può essere ottenuto utilizzando sensori di profondità, come fotocamere stereoscopiche o sensori "LiDAR", per stimare la distanza degli oggetti dalla fotocamera. Inoltre, utilizzando i dati di profondità, è

possibile generare nuvole di punti tridimensionali che possono poi essere importate in Software per la generazione di modelli 3D. La Figura 2.4 mostra un esempio di utilizzo della tecnica di Object Detection per il riconoscimento di oggetti nelle immagini.

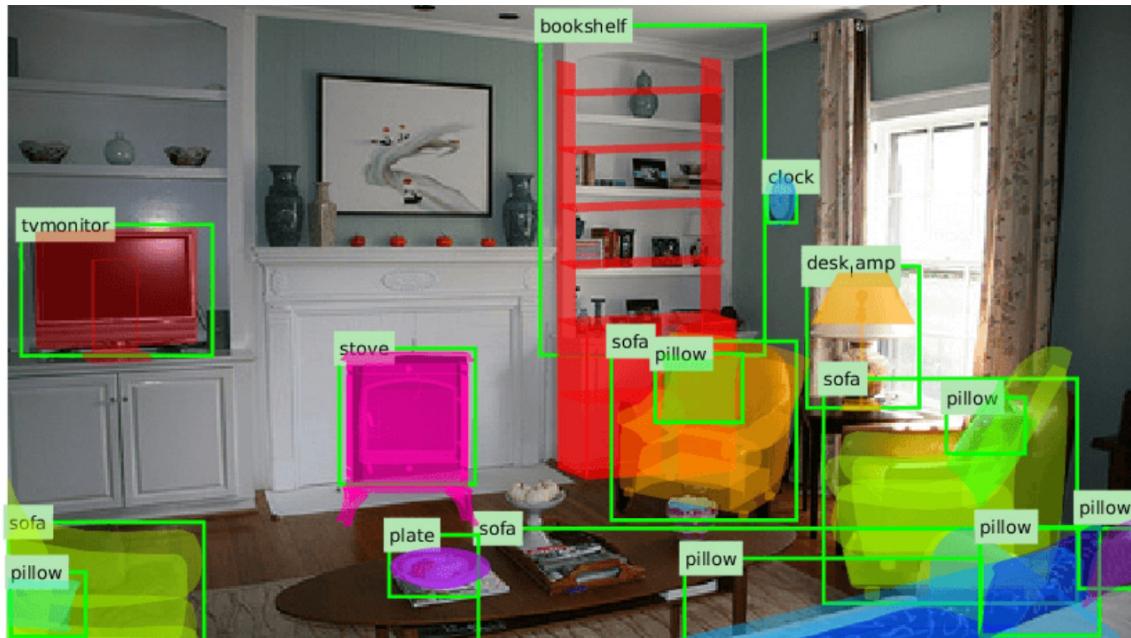


Figura 2.4: Computer Vision per il riconoscimento degli oggetti nelle immagini.

Una volta creato il modello 3D, è possibile applicare texture e materiali per renderizzarlo in modo realistico e successivamente esportarlo per essere integrato in ambienti di Realtà Virtuale (VR) o Realtà Aumentata (AR). Gli utenti possono esplorare e interagire con gli oggetti virtuali come se fossero fisicamente presenti. Questa sinergia tra le tecnologie offre ampie opportunità in settori come il gaming, la simulazione, l’architettura virtuale, l’addestramento industriale e molto altro.

2.3 Stato dell’Arte

Nel contesto in continua evoluzione dell’Informatica e della modellazione tridimensionale, l’integrazione della fotografia, dell’architettura e del Metaverso rappresenta una prospettiva affascinante ed innovativa. Il lavoro di tesi proposto si pone come obiettivo quello di esplorare l’intersezione di questi tre domini, concentrando l’attenzione sull’elaborazione di immagini bidimensionali (2D) acquisite in ambienti edilizi. L’obiettivo primario consiste nell’implementare un approccio che, partendo da fotografie, stanze ed ambienti reali, possa trasformare efficacemente queste immagini in rappresentazioni tridimensionali (3D) integrabili successivamente nel Metaverso.

2.3.1 Panoramica della Letteratura

La Fotogrammetria, tramite il suo approccio basato sull’analisi delle immagini, costituisce la base fondamentale per la ricostruzione tridimensionale di scene reali. La fotogrammetria, intesa come disciplina scientifica attraverso cui rilevare le proprietà spaziali e formali di un oggetto da una o più immagini fotografiche è nata a metà dell’800 e ha subito negli anni molte trasformazioni. Si è sviluppato un nuovo concetto di metricità attraverso cui è possibile ricavare informazioni tridimensionali di un determinato oggetto utilizzando qualsiasi fotocamera, anche quelle presenti nei dispositivi mobili quali smartphone o tablet [8]. Tuttavia, il legame con la Computer Vision amplifica notevolmente le capacità della Fotogrammetria, consentendo l’identificazione automatica degli oggetti presenti nelle immagini. Questa sinergia, a sua volta, può essere estesa alla Realtà Virtuale e Realtà Aumentata, offrendo esperienze immersive e interattive che fondono il mondo virtuale con l’ambiente circostante. Inoltre, l’integrazione di tecniche avanzate di Object Detection con la Fotogrammetria apre la strada a scenari in cui la costruzione di modelli 3D può avvenire in modo più preciso ed efficiente.

Questa sottosezione fornisce una panoramica della letteratura esistente, citando alcune ricerche effettuate nel campo della Fotogrammetria e su come quest’ultima possa essere collegata a concetti di Computer Vision, Realtà Virtuale, Realtà Aumentata, Object Detection e 3D Modeling. Successivamente, verranno individuate alcune delle limitazioni presenti in letteratura e come il presente lavoro potrà risolverle o migliorarle.

Interactively Modeling with Photogrammetry

Il seguente paper presenta un sistema interattivo per la ricostruzione tridimensionale e l’estrazione di texture da fotografie scattate con parametri arbitrari della fotocamera. In particolare, l’approccio proposto coinvolge direttamente l’utente nell’identificazione della geometria 2D e nella definizione dei vincoli attraverso il disegno diretto sulle immagini. Questo approccio interattivo offre un vantaggio notevole, poiché l’utente può risolvere più agevolmente molte delle ambiguità e delle difficoltà che gli algoritmi tradizionali di Visione Artificiale spesso incontrano [9].

Tuttavia, è importante riconoscere alcune limitazioni presenti in questo studio. Ad esempio, la dipendenza dall’input diretto dell’utente potrebbe rappresentare una sfida in scenari più complessi. Inoltre, la necessità di disegnare manualmente la geometria 2D potrebbe richiedere tempo e sforzo considerevoli.

Il lavoro di tesi proposto si inserisce in questo contesto, mirando a superare alcune delle limitazioni individuate. Nel perseguire l’obiettivo di generare modelli 3D da immagini scattate, il focus principale sarà sfruttare tecniche avanzate di Intelligenza Artificiale. Ciò consentirà di automatizzare in modo più completo il processo di riconoscimento degli oggetti e di generazione dei modelli tridimensionali.

Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images

Questo paper si concentra sull’esporre una tecnica avanzata che automatizza l’estrazione di modelli 3D dettagliati con texture da sequenze di immagini. Ciò è particolarmente significativo in quanto la metodologia gestisce efficacemente impostazioni sconosciute della fotocamera e variazioni nei parametri durante il processo

di acquisizione. L’approccio si basa su algoritmi avanzati nel campo della Visione Artificiale, applicando un processo di modellazione 3D che acquisisce conoscenza dettagliata della scena e della configurazione della telecamera [10].

Tuttavia, una possibile limitazione potrebbe emergere in scenari di complessità elevata o in presenza di oggetti particolarmente intricati. L’efficacia dell’algoritmo potrebbe variare in situazioni in cui la scena è caratterizzata da cambiamenti ambientali significativi o dalla presenza di elementi altamente riflettenti o trasparenti. Questo lavoro di tesi si propone di avanzare ulteriormente lo stato dell’arte introducendo la possibilità di integrare questi modelli 3D all’interno del Metaverso. L’obiettivo principale sarà rendere queste rappresentazioni tridimensionali accessibili nell’ambito della Realtà Virtuale, aprendo così nuove possibilità di interazione e immersione.

3D Object recognition from 2D Images using Geometric Hashing

In questo articolo, viene introdotta una tecnica denominata Geometric Hashing, finalizzata al riconoscimento di oggetti 3D da immagini 2D. Questo approccio si focalizza sulla creazione di una tabella hash durante la fase di preelaborazione, indicizzando le caratteristiche invarianti della trasformazione dei modelli per un riconoscimento efficiente durante l’elaborazione, inclusa la determinazione di posizione e orientamento. La sua efficacia è dimostrata attraverso esperimenti su dati casuali e oggetti 3D [11].

Tuttavia, mentre questa tecnica eccelle nella generazione di oggetti 3D da immagini, manca della capacità di apportare miglioramenti ai modelli generati. La proposta di tesi non si limita a identificare oggetti nella scena, ma introduce un approccio unico che consente anche la modellazione diretta dei modelli 3D attraverso il software di modellazione Blender, permettendo la perfezione estetica dei modelli generati. Inoltre, la ricerca avanza lo stato dell’arte non solo attraverso la modellazione avanzata, ma anche attraverso l’integrazione diretta di questi modelli migliorati nel Metaverso.

Incremental reconstruction of 3D scenes from multiple, complex images

Questo paper introduce 3D Mosaic, un sistema di visione che ricostruisce complesse scene 3D da una sequenza di immagini ottenute da molteplici punti di vista. Comprende diversi livelli del processo di visione, dall'analisi stereo e monoculare alla costruzione di un modello di scena. Il sistema è dimostrato nell'interpretare fotografie aeree di scene urbane, estratte utilizzando conoscenze specifiche delle task per costruire e aggiornare il modello [12]. Tuttavia, una delle limitazioni principali del sistema 3D Mosaic è la sua focalizzazione specifica sulle scene urbane, con particolare attenzione agli ambienti esterni. La metodologia è ottimizzata per estrarre informazioni dettagliate da immagini aeree, ma potrebbe non essere altrettanto efficace in contesti interni o altre situazioni. Inoltre, il sistema 3D Mosaic permette una ricostruzione unificata della scena, senza distinguere gli oggetti singolarmente e quindi senza poter apportare singolarmente miglioramenti al singolo modello dell'oggetto.

Il presente lavoro di tesi propone un avanzamento dello stato dell'arte rispetto al sistema 3D Mosaic, concentrandosi su ambienti interni e focalizzandosi sull'implementazione di tecniche di Object Detection per l'identificazione di oggetti nelle fotografie, con successiva generazione di modelli 3D dettagliati per ciascun oggetto riconosciuto. Inoltre, il seguente lavoro introduce la possibilità di modellare la scena, apportando modifiche che vanno a migliorare ogni modello presente nell'ambiente.

The Metaverse Classroom: Development and Evaluation of an Engineered Educational Metaverse

Il seguente lavoro di ricerca presenta "The Metaverse Classroom", ovvero un ambiente 3D progettato per emulare una vera e propria aula universitaria nel Metaverso, permettendo agli utenti di accedere all'ambiente tramite avatar e partecipare a varie attività educative e collaborative in tempo reale, come lezioni, esami, seminari e discussioni di gruppo. Questa ricerca ha permesso di superare le limitazioni delle tradizionali piattaforme 2D utilizzate nell'istruzione a distanza, offrendo un'esperienza più coinvolgente e realistica. [13]

Tuttavia, è importante riconoscere alcune leggere limitazioni presenti in questo studio, in particolare il seguente lavoro di ricerca la scena è stata interamente realizzata con l’integrazione di modelli 3D interamente realizzati in Blender o presenti sullo store, facilitando la creazione dell’ambiente didattico. Il presente lavoro di ricerca avanza lo stato dell’arte, permettendo la realizzazione di ambienti interni versatili, sempre tramite l’integrazione dei modelli 3D in Blender, ma permettendo la realizzazione delle scene con modelli 3D ottenuti dalla scansione e rappresentazione di oggetti della realtà, utilizzando Fotografia e Intelligenza Artificiale.

CAPITOLO 3

Image-to-Metaverse: Una tecnica per la creazione di scene nel Metaverso

L'avvento del Metaverso ha introdotto nuove sfide e opportunità nella creazione di ambienti virtuali immersivi. Questo capitolo presenta "Image-to-Metaverse", una metodologia innovativa sviluppata per integrare l'acquisizione e l'analisi di immagini del mondo fisico per la creazione di scenari tridimensionali nel Metaverso. Prima di analizzare singolarmente ogni passo della metodologia, è essenziale delineare gli obiettivi, le motivazioni e le domande di ricerca che guidano questo lavoro di ricerca. La Figura 3.1 rappresenta un esempio di ambiente nel Metaverso.



Figura 3.1: Esempio di rappresentazione di un ambiente nel Metaverso.

3.1 Gli obiettivi

L’obiettivo principale di questo lavoro di ricerca è rispondere alla domanda: “E’ possibile utilizzare la fotografia, in particolare il mapping 2D to 3D, per creare modelli tridimensionali da fotografie e, successivamente, integrare questi modelli per la creazione di scene realistiche nel Metaverso?”. In questo contesto, si cerca di fornire una risposta innovativa che integri aspetti come la fotografia, l’architettura in ambienti edili e il Metaverso, rappresentando un passo significativo nell’evoluzione delle tecnologie immersive.

3.2 Le motivazioni

Le motivazioni dietro questa ricerca risiedono nella volontà di sfruttare al massimo il potenziale sinergico di discipline eterogenee, come la fotografia, l’architettura per ambienti edili e il Metaverso. L’unione della fotografia e dell’architettura, offre una prospettiva unica per la realizzazione di ambienti basati su immagini reali, fornendo un’esperienza più realistica e interattiva nel Metaverso, supportando diverse applicazioni, dalla navigazione attraverso spazi virtuali, fino alla personalizzazione di ambienti.

3.3 Le domande di ricerca

Per guidare questa ricerca, si pongono alcune domande chiave:

RQ1 Come è possibile generare una scena 3D a partire da immagini 2D per il Metaverso?

RQ2 Come le tecniche di Intelligenza Artificiale possono essere utilizzate per automatizzare la creazione di modelli 3D a partire da immagini?

RQ3 Quali fasi deve coinvolgere un processo di generazione di modelli 3D partendo da immagini 2D?

Nelle sezioni successive, è analizzata singolarmente ogni fase del processo che ha portato dall’acquisizione e selezione delle immagini all’integrazione dei modelli,

culminando nella creazione di scenari immersivi nel Metaverso. La Figura 3.2 mostra le fasi principali di processo utilizzate per questo lavoro di ricerca che portano alla generazione di una scena nel Metaverso.

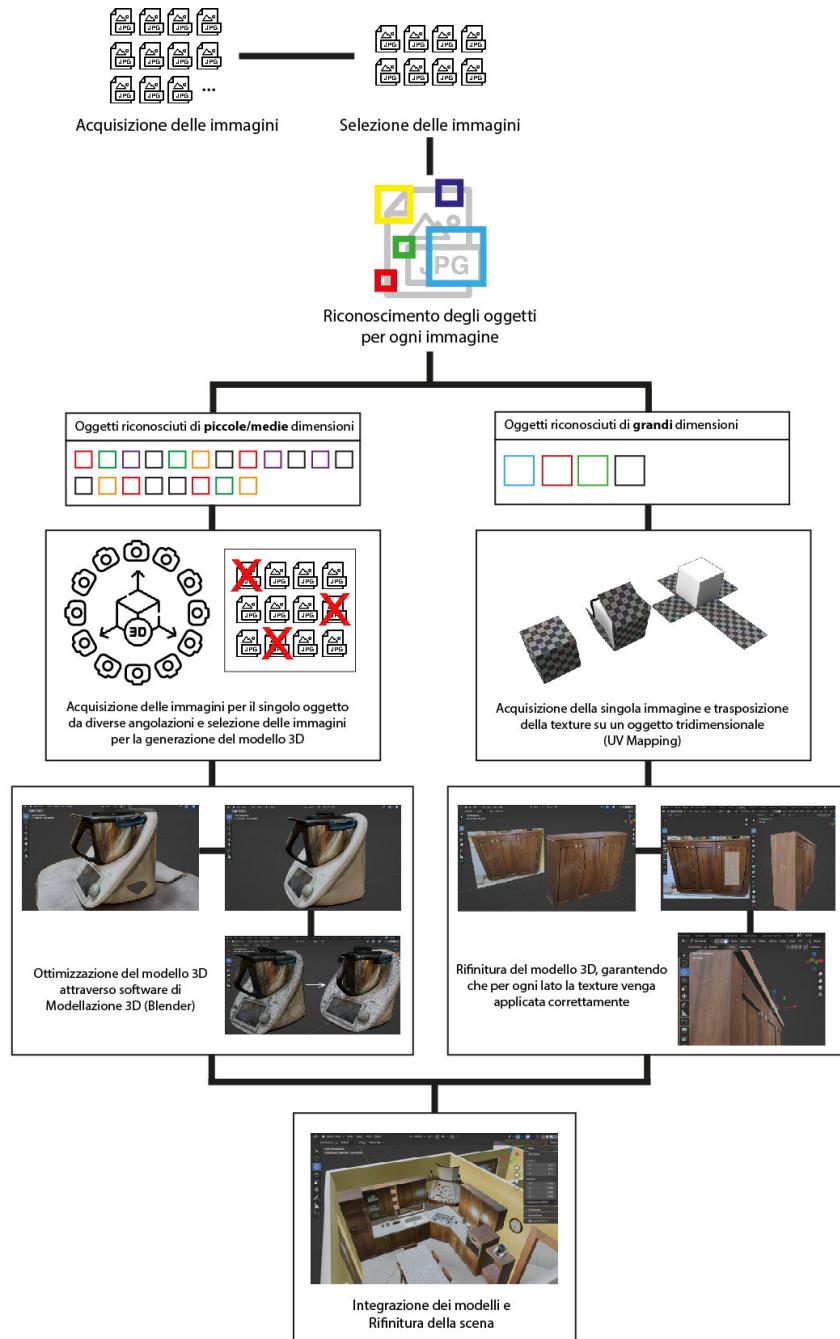


Figura 3.2: Fasi principali del processo di generazione di una scena nel Metaverso.

3.4 Acquisizione e selezione delle immagini

In questa sezione viene esplorato il processo di acquisizione e selezione delle immagini, rappresentando una tappa cruciale per il successo della metodologia di mapping 2D to 3D. Si offre una dettagliata descrizione del processo di acquisizione delle immagini, sottolineando l'importanza dei requisiti da considerare e delle attrezzature utili per ottenere la migliore qualità possibile.

Inoltre, si approfondisce l'importanza di una vasta raccolta di immagini, mettendo in evidenza come una raccolta diversificata possa influire positivamente sulla rappresentazione di oggetti nel Metaverso. Si delineano i criteri e le metodologie utilizzate per garantire la massima rappresentatività nell'analisi.

3.4.1 Descrizione del processo di acquisizione delle immagini

Per iniziare il processo di creazione di scene nel Metaverso attraverso la tecnica "Image-to-Metaverse", la fase iniziale prevede l'acquisizione delle immagini, un passo fondamentale per la creazione di scene realistiche nel Metaverso. Il processo avviene in due fasi sequenziali, ognuna svolgendo un ruolo unico nel raggiungere l'obiettivo finale:

- **Individuazione e riconoscimento degli oggetti:** La prima fase coinvolge la cattura di immagini di una stanza da diverse angolazioni utilizzando dispositivi come fotocamere, tablet o smartphone. L'obiettivo è quello di individuare e riconoscere gli oggetti presenti nella scena, rendendo questa fase cruciale in quanto le immagini rappresentano fedelmente gli elementi degli spazi che si intende ricreare e costituiscono il punto di partenza per la generazione di ambienti virtuali dettagliati e realistici. La Figura 3.3 mostra un esempio di acquisizione di immagine di una stanza.



Figura 3.3: Acquisizione immagine per il riconoscimento degli oggetti nella stanza.

- **Scansione degli oggetti riconosciuti:** La seconda fase si concentra sull'acquisizione di immagini specifiche per gli oggetti riconosciuti nella fase precedente. Ad esempio, se nella prima fase sono stati identificati oggetti come mobili e accessori d'arredo, si procede a fotografare questi oggetti da diverse angolazioni. Questo passo è cruciale per la successiva rappresentazione dettagliata di ciascun oggetto in modello 3D. La Figura 3.4 mostra un esempio di utilizzo della fotogrammetria per rappresentare un oggetto in modello 3D.



Figura 3.4: Scansione di un oggetto per la generazione del modello 3D

3.4.2 L'importanza di una vasta raccolta di immagini

L'importanza di una vasta raccolta di immagini è fondamentale per garantire un'esplorazione a fondo delle scene che si intende rappresentare nel Metaverso. Ogni immagine acquisita contribuisce a creare un quadro più completo degli oggetti o degli spazi che si vogliono rappresentare e modellare, dalla semplice stanza da letto al complesso ufficio aziendale, migliorando la qualità e l'adattabilità della tecnica proposta.

3.4.3 Selezione delle immagini per garantire rappresentatività

Nel processo di selezione delle immagini, questo lavoro mira a garantire la rappresentatività delle scene attraverso la copertura di una vasta gamma di contesti, rappresentando in modo fedele la varietà di spazi ed elementi che intendiamo ricreare nel Metaverso e assicurando che la tecnica possa affrontare scenari diversificati e fornire risultati validi.

La selezione accurata delle immagini costituisce una fase cruciale, poiché influisce direttamente sulla qualità e sulla fedeltà delle rappresentazioni nel contesto del Metaverso. Di seguito un elenco dei diversi criteri di selezione considerati durante questo processo:

- **Condizioni di illuminazione:** Le condizioni di illuminazione sono un elemento critico per garantire una corretta resa visiva. Una illuminazione adeguata migliora la capacità degli algoritmi di apprendimento automatico nell'identificare gli oggetti.
- **Nitidezza dell'immagine:** La chiarezza e la nitidezza delle immagini costituiscono un parametro fondamentale. Immagini sfocate o poco definite possono compromettere l'accuratezza dell'interpretazione degli oggetti presenti nella scena.
- **Assenza di occlusioni e ombre eccessive:** Evitare occlusioni e ombre eccessive è cruciale per consentire una corretta interpretazione degli oggetti. Immagini prive di ostacoli visivi assicurano una rappresentazione fedele della scena.

- **Prospettiva della fotografia:** Diverse angolazioni e prospettive contribuiscono a una visione completa degli spazi. La selezione dovrebbe contemplare varie prospettive per garantire una rappresentazione tridimensionale accurata nel Metaverso.
- **Risoluzione dell'immagine:** Una risoluzione sufficientemente alta è essenziale per catturare dettagli importanti e facilitare il riconoscimento degli oggetti da parte degli algoritmi.
- **Assenza di sovrapposizioni di oggetti:** Per garantire un corretto riconoscimento degli oggetti d'arredo mediante algoritmi di apprendimento automatico, si presta particolare attenzione a evitare la sovrapposizione di oggetti di piccole dimensioni.

3.5 Analisi e riconoscimento degli oggetti

La fase di analisi e riconoscimento esplora dettagliatamente l'applicazione di algoritmi di Intelligenza Artificiale per l'analisi delle immagini e il riconoscimento degli oggetti nella scena, mettendo in luce tre aspetti chiave, ossia l'applicazione degli algoritmi, il processo di identificazione e la categorizzazione degli oggetti. La Figura 3.5 mostra un esempio di riconoscimento degli oggetti in un'immagine.

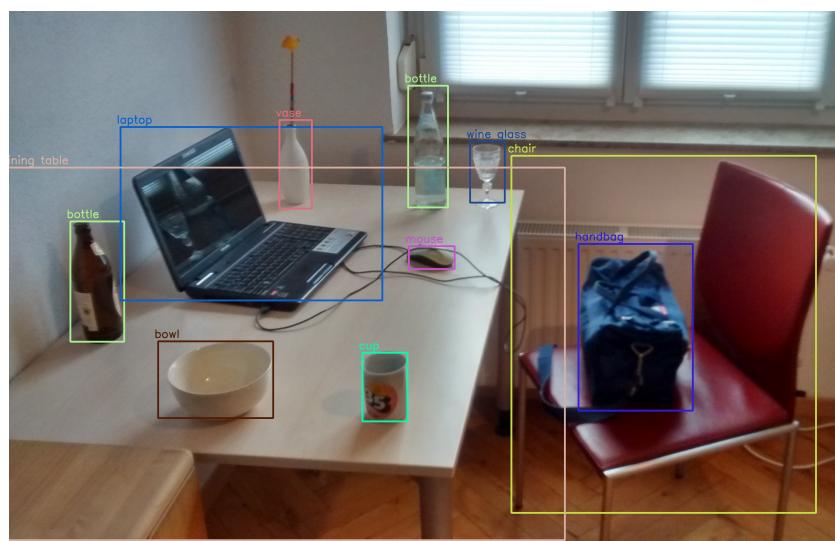


Figura 3.5: Riconoscimento degli oggetti tramite l'utilizzo di Object Detection.

Nel contesto della trasposizione da immagini 2D a scenari 3D per il Metaverso, l’analisi e il riconoscimento degli oggetti giocano un ruolo centrale. Questo processo è fondamentale per identificare e categorizzare gli elementi presenti nelle immagini acquisite nella fase precedente.

3.5.1 Applicazione di algoritmi di Intelligenza Artificiale

Nel cuore della tecnica "Image-to-Metaverse" si trova l’applicazione di algoritmi di Intelligenza Artificiale, con l’obiettivo di riconoscere gli oggetti presenti nelle immagini scattate. L’utilizzo della Computer Vision è fondamentale per estrarre informazioni e comprendere la disposizione degli oggetti.

Per affrontare la sfida complessa del riconoscimento degli oggetti nelle immagini acquisite, si è adottato un approccio basato sull’utilizzo di avanzati algoritmi di Intelligenza Artificiale (IA). In particolare, il framework YOLO (You Only Look Once) è stato scelto per la sua notevole efficacia nel riconoscimento e classificazione degli oggetti in tempo reale.

3.5.2 Categorizzazione degli oggetti in base alle dimensioni

Dopo aver completato il processo di riconoscimento degli oggetti attraverso algoritmi di Intelligenza Artificiale, si è proceduto con la categorizzazione in base alle dimensioni. Questo passaggio è risultato fondamentale per gestire gli oggetti rilevati e ottimizzare la successiva fase di scansione volta a rappresentarli in modelli 3D. La suddivisione degli oggetti si è basata principalmente sulla loro estensione spaziale, definita in termini di piccole, medie e grandi dimensioni:

- **Oggetti di piccole dimensioni:** Gli oggetti di piccole dimensioni includono elementi come decorazioni, utensili, o dettagli d’arredo. La categorizzazione in questa classe è essenziale per una scansione dettagliata, in modo da catturare le caratteristiche minime e garantire una rappresentazione accurata di oggetti più intricati.

- **Oggetti di medie dimensioni:** Questa categoria può comprendere mobili di dimensioni moderate, apparecchi elettrodomestici o oggetti d’arredo di dimensioni intermedie.
- **Oggetti di grandi dimensioni:** Includendo oggetti come divani, tavoli, o elementi d’arredo di grandi dimensioni, questa categoria richiede una modalità di scansione dedicata per catturare in modo completo l’oggetto.

La categorizzazione basata sulle dimensioni non solo facilita la gestione degli oggetti riconosciuti, ma offre anche una guida chiara per il processo di scansione della fase successiva, ossia quella della rappresentazione degli oggetti in modelli 3D.

3.6 Scansione e generazione del modello

A seguito del riconoscimento e alla categorizzazione degli oggetti in base alle dimensioni, un’importante fase è stata quella della modellazione 3D, e più in particolare, la scansione degli oggetti precedentemente individuati dall’algoritmo per rappresentarli in modelli 3D da integrare nel Metaverso.

3.6.1 Introduzione a Polycam

Polycam, un software all'avanguardia, sfrutta la potenza dell'Intelligenza Artificiale in combinazione con la fotocamera di smartphone o tablet per condurre scansioni 3D di oggetti. Questa applicazione innovativa integra sofisticate tecnologie di Computer Vision e algoritmi di apprendimento automatico, il che consente di riconoscere e catturare in modo accurato la geometria degli oggetti circostanti. L'implementazione avanzata dell'Intelligenza Artificiale non solo assicura una maggiore precisione durante il processo di scansione, ma ottimizza anche l'allineamento delle immagini, facilitando la creazione di modelli 3D.

Grazie a questa sofisticata integrazione di tecnologie avanzate, Polycam trova applicazione in svariati settori, tra cui il design industriale, l'architettura e l'arte digitale. La sua interfaccia utente intuitiva, rende la creazione di modelli 3D accessibile a un vasto pubblico, eliminando la necessità di attrezzature specializzate e complesse.

Inoltre, Polycam si estende anche ad una versione Browser, consentendo agli utenti di caricare foto o video direttamente dal browser, potendo così utilizzare anche scatti acquisiti attraverso macchine fotografiche digitali. La Figura 3.6 mostra la schermata di upload di Polycam Web.

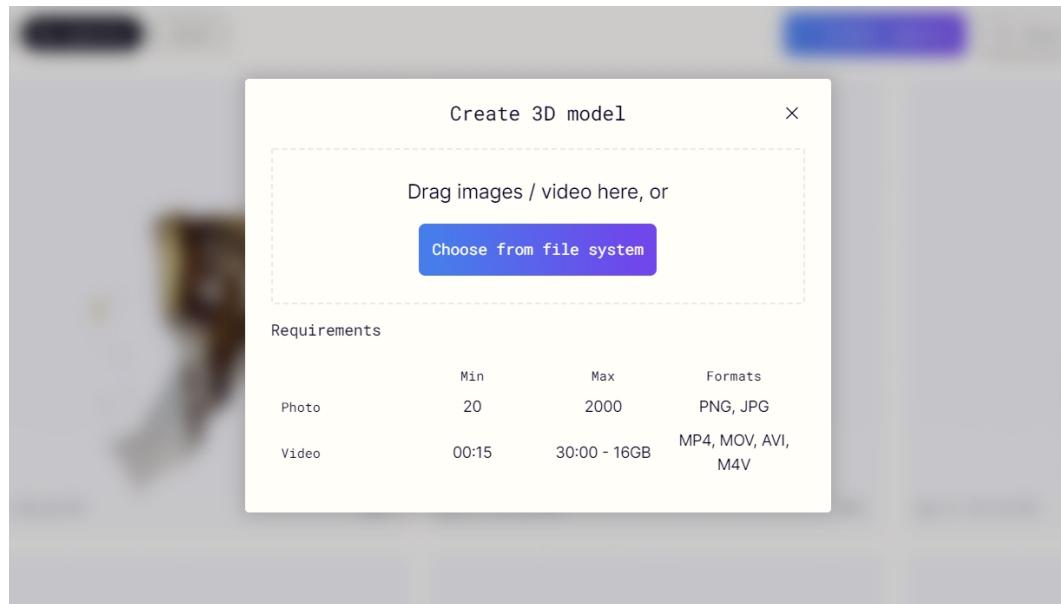


Figura 3.6: Schermata di upload di Polycam Web.

3.6.2 Modalità di scansione e Cropping

Polycam offre una gamma versatile di modalità di scansione progettate per soddisfare le diverse esigenze degli utenti nel processo di creazione di modelli 3D. Queste modalità sono strategicamente progettate per massimizzare la precisione e la facilità d'uso, garantendo al contempo una flessibilità di utilizzo. Le modalità offerte da Polycam per la generazione di modelli 3D sono:

- **Modalità Foto:** Questa modalità consente agli utenti di catturare varie fotografie dell'oggetto desiderato. Polycam sfrutta poi queste immagini per generare un modello 3D coerente e dettagliato. La scelta di questa modalità permette agli utenti di acquisire dettagli specifici e di avere un controllo visivo diretto durante il processo di scansione in quanto è l'utente che sceglie quando scattare, da che angolazione scattare e anche quante immagini sovrapporre scattando dallo stesso punto.

- **Modalità Video:** La modalità video consente agli utenti di registrare un video dell'oggetto in esame. Durante la registrazione, Polycam effettua automaticamente scatti in corrispondenza di cambiamenti significativi nella sovrapposizione delle immagini precedenti.

Tuttavia, è importante sottolineare che, essendo un video, l'attenzione dell'utente è fondamentale per ottenere risultati ottimali. Movimenti eccessivamente veloci possono causare immagini sfocate o mosse, influenzando così l'accuratezza dell'algoritmo di apprendimento automatico durante la generazione del modello 3D. Pertanto, un utilizzo moderato durante la registrazione del video è consigliato per garantire una scansione di alta qualità.

- **Modalità LiDAR:** Riservata ai dispositivi iOS dotati di fotocamera LiDAR, questa modalità consente agli utenti di registrare scansioni dettagliate muovendosi attorno all'oggetto. L'utilizzo della tecnologia LiDAR permette di sfruttare la profondità dell'immagine, offrendo scansioni particolarmente precise. La scelta di questa modalità è ideale per coloro che cercano dettagli accurati e risultati di scansione avanzati. La Figura 3.7 mostra un esempio di utilizzo della modalità LiDAR su smarthpone.

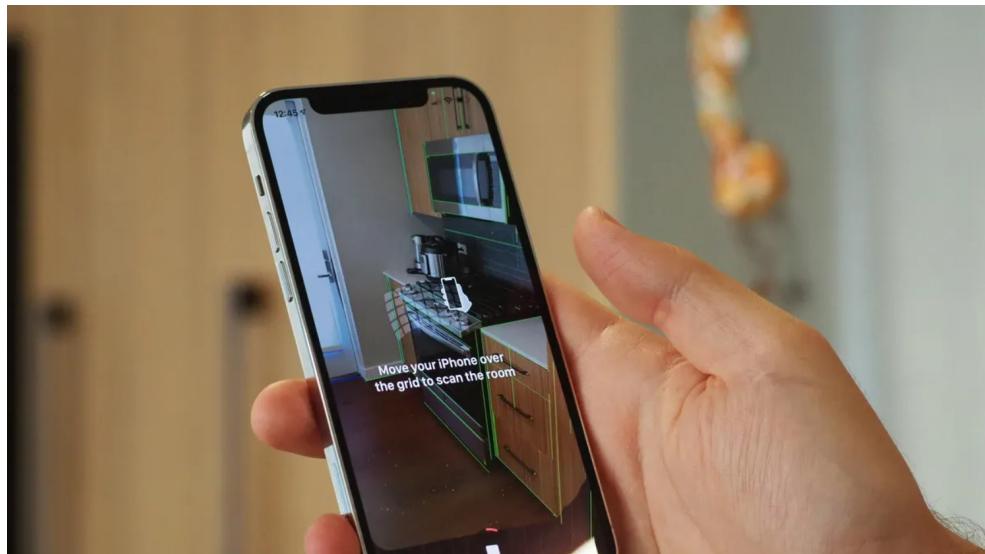


Figura 3.7: Esempio di utilizzo della modalità LiDAR.

Oltre alle modalità di scansione, Polycam offre la possibilità di effettuare il cropping del modello 3D generato. La funzionalità di Cropping si rivela un prezioso strumento nella fase post-scansione, infatti, a seguito della scansione, è possibile attivare questa opzione che genera un quadrato attorno all'oggetto catturato. Ciascun lato di questo quadrato è interattivo, consentendo quindi agli utenti di regolare le dimensioni per tagliare parti superflue o indesiderate dell'oggetto. La Figura 3.8 mostra la funzionalità di cropping su una poltrona.

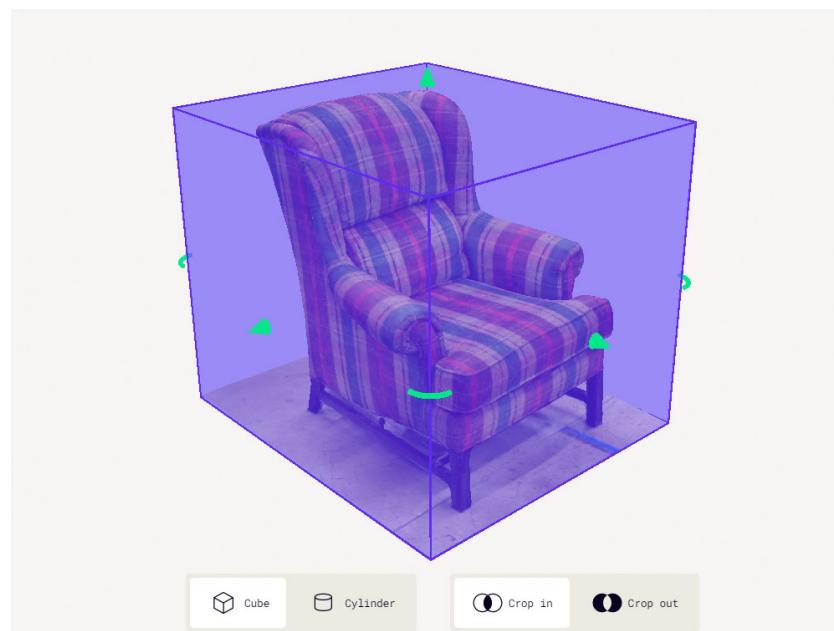


Figura 3.8: Funzionalità di Cropping integrata in Polycam.

3.6.3 Tecniche di scansione adottate

Durante la fase di sviluppo del progetto di tesi, sono state esplorate diverse tecniche di scansione per ottenere bozze di modelli 3D, destinati a essere integrati in scene immersive del Metaverso. La necessità di affrontare scansione di oggetti di dimensioni e forme diverse ha richiesto l'adozione di tre tecniche distintive, due delle quali sfruttano l'applicazione Polycam, mentre la terza è basata sul Project Mapping e più in particolare attraverso la Mappatura UV, una tecnica di texture mapping che permette di applicare efficacemente e correttamente le texture su un modello tridimensionale.

Tecnica 1: Scansione con rotazione attorno all’oggetto utilizzando Polycam

La tecnica coinvolge l’impiego dell’applicazione Polycam, focalizzandosi sulla scansione di oggetti mediante rotazione attorno all’oggetto. Questo approccio si è dimostrato particolarmente efficace per oggetti con forme irregolari e dimensioni medio/grandi. Posizionando l’oggetto su una superficie stabile, è stata eseguita la scansione, ruotando il dispositivo attorno ad esso. La Figura 3.9 mostra un esempio di scansione con rotazione attorno all’oggetto utilizzando l’applicazione Polycam.

- **Pro:**

- Adatto a oggetti con forme complesse;
- Non richiede l’uso di accessori aggiuntivi come piatti girevoli.

- **Contro:**

- Maggiore tempo di scansione, soprattutto per oggetti più complessi;
- Suscettibile a errori se l’oggetto è complesso o ha parti che non sono visibili durante la rotazione.



Figura 3.9: Esempio di scansione con rotazione attorno all’oggetto.

Tecnica 2: Scansione con piatto girevole utilizzando Polycam

La seconda tecnica impiega ancora Polycam, ma con l'ausilio di un piatto girevole. Questo approccio si è rivelato efficiente per oggetti di dimensioni più contenute e dalla forma regolare. Un aspetto chiave di questa tecnica è la rotazione dell'oggetto stesso, infatti, a differenza della scansione con rotazione attorno all'oggetto, dove è l'utente che ruota il dispositivo, con questa tecnica è l'oggetto che ruota su se stesso. Ciò elimina la necessità per l'utente di muoversi durante la scansione, contribuendo a minimizzare il rischio di errori e garantendo una scansione più controllata e precisa. La Figura 3.10 mostra un esempio di scansione con piatto girevole e utilizzando l'applicazione Polycam.

- **Pro:**

- Efficiente per oggetti più piccoli e regolari;
- Minimizza il rischio di errori grazie alla rotazione uniforme fornita dal piatto girevole.

- **Contro:**

- Potrebbe risultare meno idoneo per oggetti più grandi o con forme irregolari.



Figura 3.10: Esempio di scansione con piatto girevole.

Tecnica 3: Rappresentazione modello 3D basata su Project Mapping

La terza tecnica è stata implementata attraverso il Project Mapping, un approccio innovativo che si discosta dalle tecniche di scansione utilizzate con l'ausilio dell'applicazione Polycam. L'adozione di questa nuova tecnica è stata guidata da specifiche esigenze del progetto, in particolare per la scansione di mobili o mobiletti che, essendo posizionati contro un muro, rendevano difficile l'uso di tecniche di scansione ruotando attorno all'oggetto o utilizzando piattaforme girevoli.

Il Project Mapping è una tecnica di texture mapping (Mapping UV) che consiste nel catturare una singola fotografia dell'oggetto e, successivamente, mediante software di modellazione 3D come Blender, creare un oggetto tridimensionale, generalmente un cubo, sul quale viene mappata la texture acquisita. La Figura 3.11 mostra un esempio di mapping di una texture su un oggetto tridimensionale.

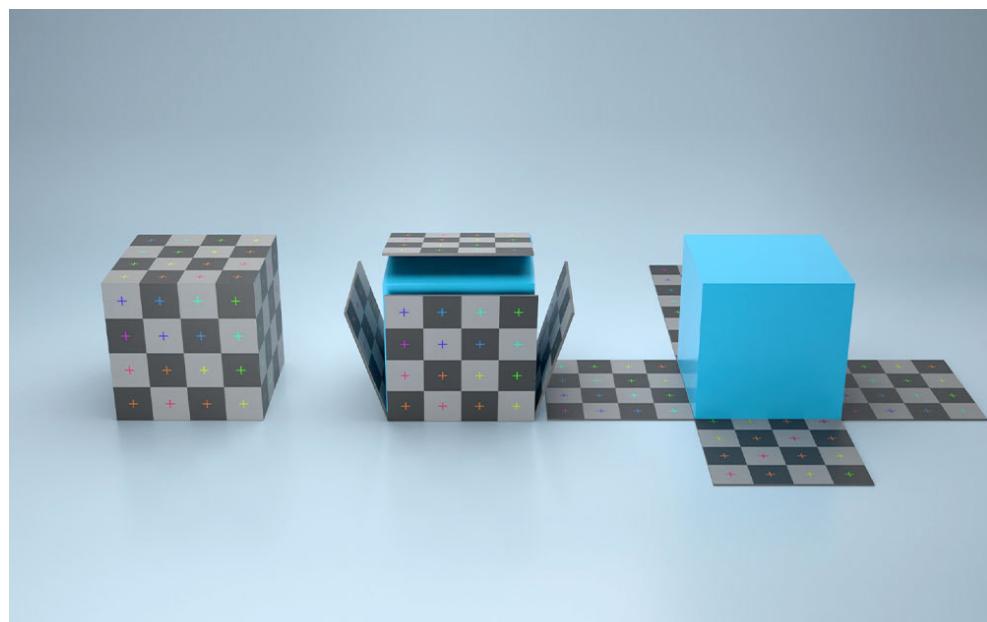


Figura 3.11: Esempio di mapping di una texture su un oggetto tridimensionale.

Blender è un potente software di grafica 3D open source. Le sue caratteristiche principali sono la modellazione, la texturizzazione, il rendering, l'animazione, l'imaging, l'ombreggiatura, il compositing, la fisica, lo sviluppo di giochi 3D innovativi in tempo reale e lo sviluppo di film animati in 3D. Fornisce inoltre vari video didattici e documentazione per l'apprendimento del software. Blender è considerato lo

strumento più efficiente, ricco di funzionalità e una soluzione open source per la computer grafica 3D [14].

Dopo aver catturato la fotografia dell'oggetto, il primo passaggio ha previsto l'importazione dell'immagine in Blender e, successivamente, attraverso la sezione UV Editing, avviare il processo di mappatura UV. La Figura 3.12 mostra un esempio di immagine di un mobiletto utilizzata per l'applicazione della tecnica del Project Mapping con Blender.



Figura 3.12: Esempio di immagine per l'applicazione della tecnica del Project Mapping.

La texture dell'immagine viene adattata all'oggetto 3D, creando una connessione visiva tra l'aspetto bidimensionale della fotografia e la rappresentazione tridimensionale dell'oggetto.

Tuttavia, la semplice sovrapposizione della texture non è sufficiente per ottenere risultati ottimali. Si rende necessario delineare manualmente proiezioni e linee sull'immagine, garantendo un'applicazione accurata della texture e una rappresentazione tridimensionale realistica dell'oggetto. La Figura 3.13 mostra una semplice sovrapposizione della texture sull'oggetto, mostrando un risultato non soddisfacente.

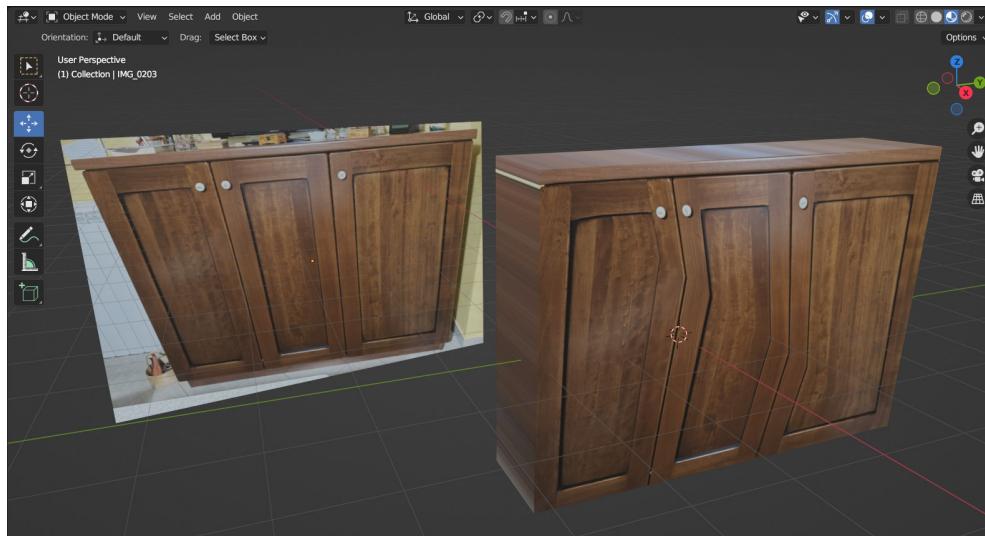


Figura 3.13: Esempio di sovrapposizione della texture sul modello non ottimale.

Per ottenere risultati ottimali nella creazione del modello 3D mediante l'applicazione diretta della texture sull'oggetto, è necessaria una fase di perfezionamento che coinvolge una serie di passaggi alla correzione di distorsioni, che sono:

- **Adattamento dei vertici dell'immagine all'oggetto:** Il primo passo consiste nell'adattare i vertici dell'immagine all'oggetto desiderato, eliminando qualsiasi altro elemento catturato dallo scatto originale. Questo coinvolge il corretto posizionamento dei vertici dell'immagine in modo da allinearsi perfettamente con i punti chiave dell'oggetto. La Figura 3.14 mostra un esempio di posizionamento dei vertici su un'immagine di un mobiletto.

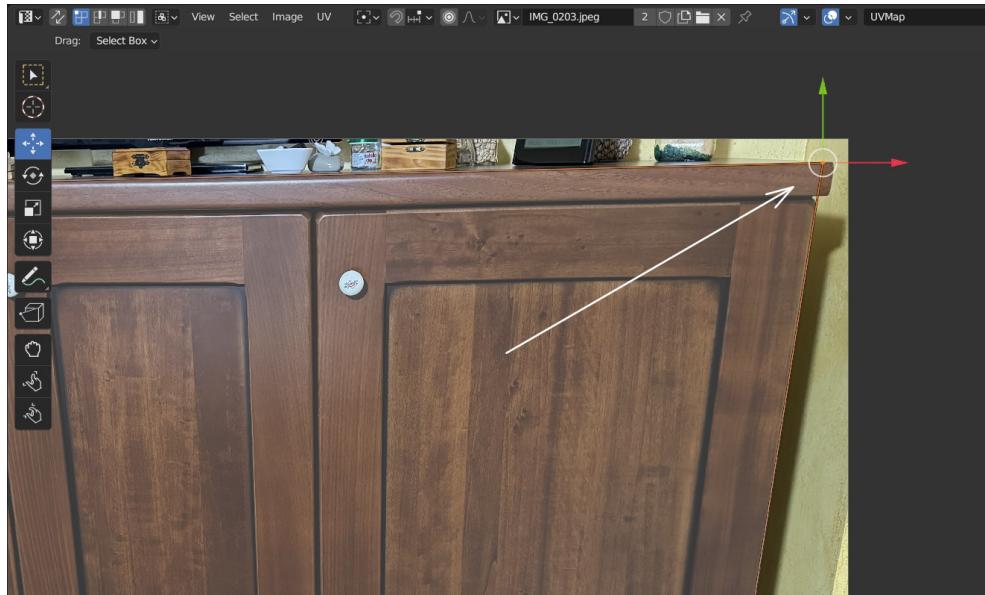


Figura 3.14: Esempio di posizionamento dei vertici su un’immagine.

- **Tracciatura delle linee orizzontali e verticali:** Dopo aver adattato i vertici dell’oggetto nell’immagine, il processo prosegue con la tracciatura di linee orizzontali e verticali direttamente sul modello 3D. La Figura 3.15 mostra un esempio di tracciamento delle linee. Questo passo è essenziale per risolvere eventuali distorsioni sorte durante la prima applicazione della texture come mostrato nella Figura 3.13.

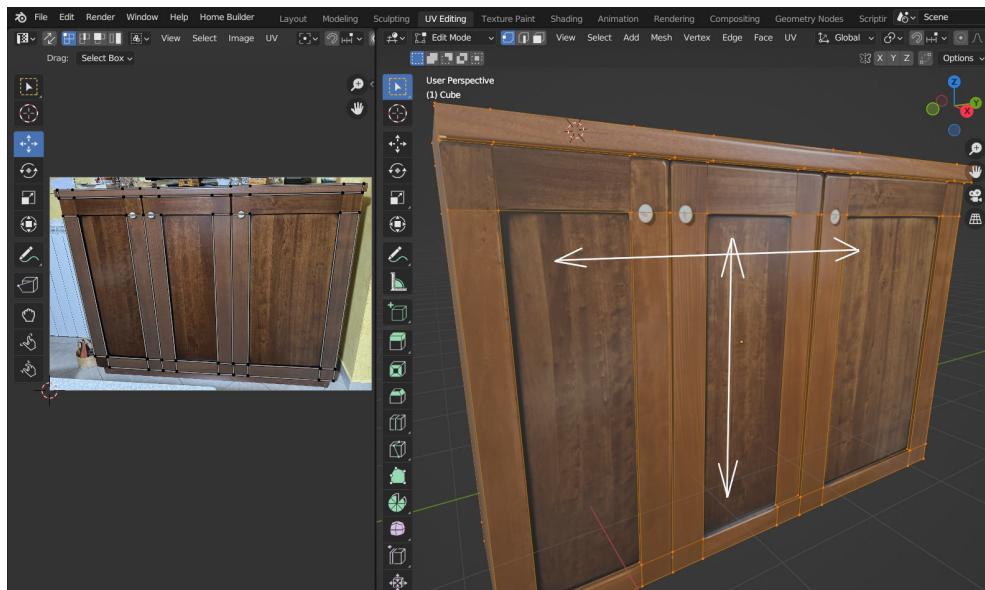


Figura 3.15: Esempio di tracciatura delle linee sul modello.

- **Affinamento manuale per gli altri lati del modello:** Dopo l'adattamento dei vertici dell'immagine e la tracciatura accurata delle linee sul modello, emerge la necessità di affinare manualmente gli altri lati. Questo affinamento si rende necessario in quanto partendo da una singola immagine iniziale, generalmente frontale, si limita la visibilità degli altri lati dell'oggetto, come la parte superiore, inferiore, ecc... L'affinamento manuale coinvolge l'applicazione di proiezioni 3D, chiamate "Cube Projection", sugli altri lati del modello 3D. Questo processo consiste nel proiettare la texture di una parte dell'immagine su un particolare lato del modello, considerando i lati dell'oggetto non visibili nell'immagine iniziale, permettendo così di estendere la texture a tutto l'oggetto 3D. La Figura 3.16 mostra un esempio di affinamento manuale per estendere la texture su un lato del modello.

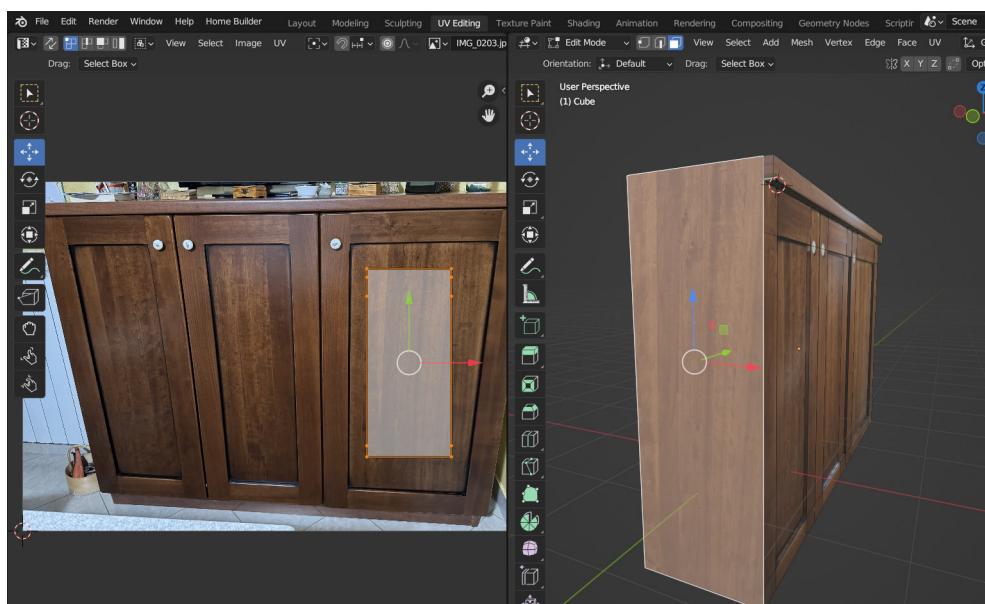


Figura 3.16: Esempio di affinamento manuale per estendere la texture.

- **Estrusione :** A seguito della fase di affinamento manuale, emerge la necessità di considerare l'estruzione come passo aggiuntivo per conferire ulteriori dettagli al modello 3D. L'estruzione si rivela essenziale per modellare parti specifiche dell'oggetto che potrebbero richiedere sporgenze o incavi. Questo processo consente di aggiungere profondità e rilievo, conferendo al modello una rappresentazione più fedele alla realtà. La Figura 3.17 mostra un esempio di estruzione per dare risalto alla parte superiore del mobiletto.

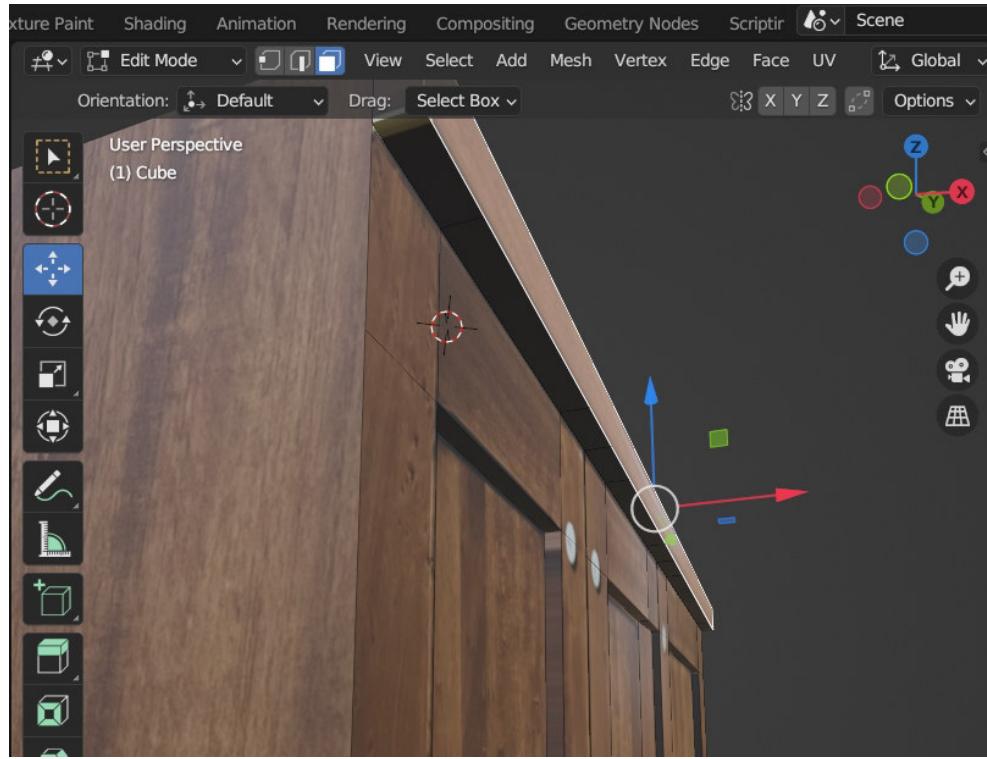


Figura 3.17: Esempio di estrusione del modello 3D.

Il Project Mapping si è dimostrato una soluzione efficace e, in alcuni contesti, anche più veloce, offrendo la possibilità di creare modelli tridimensionali dettagliati in situazioni in cui le tecniche basate su Polycam potevano presentare delle limitazioni. Di seguito, esaminiamo i pro e i contro associati a questa tecnica di rappresentazione 3D:

- **Pro:**

- Adattabilità a oggetti di grandi dimensioni;
- Rappresentazione a 360° del modello;
- Isolamento degli oggetti.

- **Contro:**

- Attività del tutto manuale, senza possibilità di automatizzare il processo;
- Maggiore complessità per oggetti con curve e dettagli pronunciati.

3.6.4 Modellazione 3D con Blender: Perfezionamento dei modelli generati con Polycam

Nel processo di generazione di modelli 3D tramite Polycam, è emersa la necessità di ottimizzare la rappresentazione tridimensionale degli oggetti. Mentre il Project Mapping richiedeva un lavoro totalmente manuale per creare modelli da zero, i modelli generati da Polycam rappresentavano bozze tridimensionali che, in alcuni casi, necessitavano di alcuni miglioramenti importando direttamente il modello generato all'interno del software di modellazione Blender.

Questa sottosezione si focalizza sulla fase di modellazione, dove i modelli provenienti da Polycam vengono perfezionati per raggiungere una forma più completa, risolvere eventuali imperfezioni e ottimizzare il numero di poligoni.

La fase di modellazione ha consentito di apportare correzioni, ottimizzazioni e dettagli aggiuntivi ai modelli grezzi, elevando la qualità visiva e la precisione della rappresentazione tridimensionale. Attraverso l'utilizzo di strumenti avanzati in Blender, è stato possibile:

- **Affinare la mesh per ottenere superfici più definite e precise:**

Dopo la fase di scansione, alcuni modelli ottenuti da Polycam rappresentavano bozze che richiedevano un lavoro di perfezionamento. La mesh di alcuni modelli presentava lacune o spazi vuoti che necessitavano di essere colmati. Utilizzando gli strumenti di modellazione di Blender, è stato possibile riempire tali aree, garantendo una rappresentazione completa e precisa degli oggetti scansionati. La Figura 3.18 mostra un esempio di spazio vuoto presente sulla mesh del modello di un oggetto scansionato con Polycam.



Figura 3.18: Modello generato tramite Polycam con parte della mesh mancante.

- **Eliminare parti indesiderate per semplificare la struttura del modello:**

Nonostante l'utilizzo della funzionalità di cropping in Polycam, alcune parti indesiderate hanno persistito nella mesh. Questo ha richiesto interventi manuali per eliminare o correggere le sezioni non desiderate. La Figura 3.19 mostra la mesh alla quale è stata eliminata la parte sottostante al modello e riempito lo spazio vuoto.

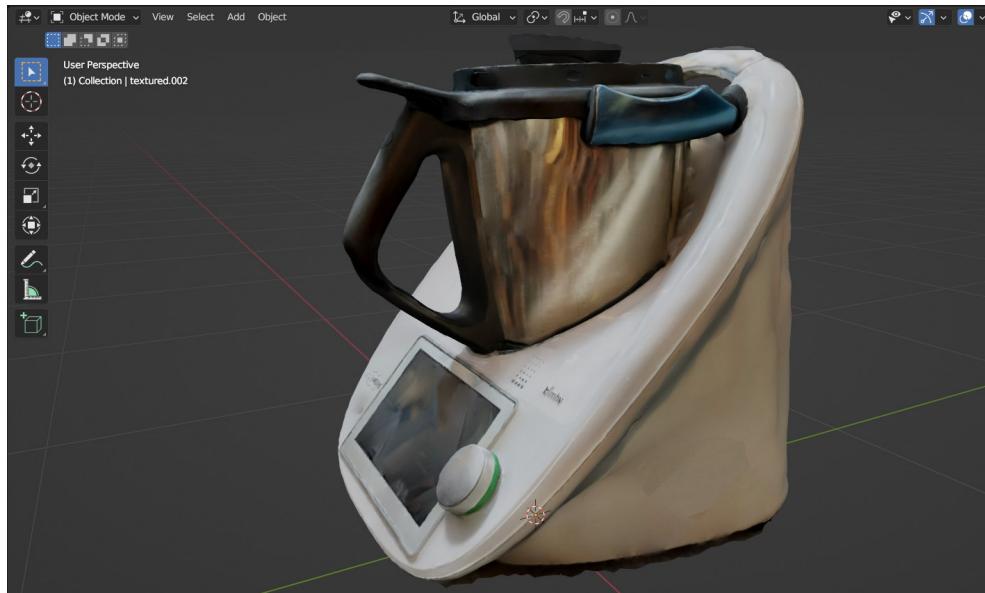


Figura 3.19: Eliminazione della parte sottostante della mesh.

- **Ridurre il numero di poligoni mantenendo la qualità visiva:**

Gran parte dei modelli generati con Polycam, attraverso le due tecniche precedentemente spiegate, hanno presentato un numero elevato di poligoni. Nella prospettiva di integrare questi modelli nel contesto del Metaverso, si è reso essenziale affrontare la riduzione del numero di poligoni per garantire non solo una gestione efficiente delle risorse ma anche una fruibilità ottimale nelle ambientazioni metaversuali, dove la fluidità e la resa visiva sono fondamentali per un'esperienza coinvolgente.

La riduzione dei poligoni contribuisce a migliorare le prestazioni complessive della scena, consentendo una navigazione più fluida. La Figura 3.20 mostra la mesh alla quale è stato effettuato un processo di riduzione del numero dei poligoni.

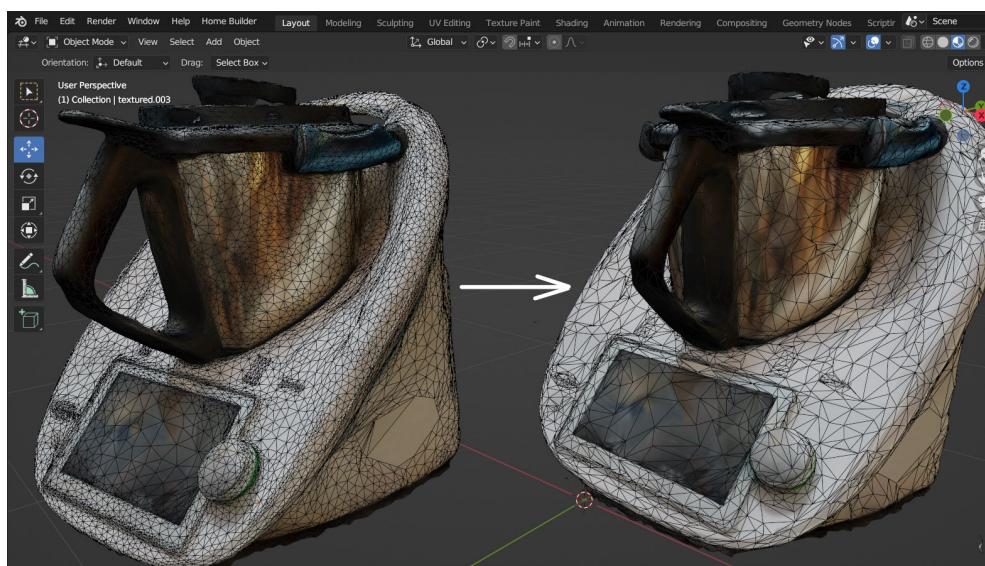


Figura 3.20: Riduzione del numero dei poligoni della mesh.

- **Aggiungere dettagli estetici per migliorare l'aspetto complessivo del modello:**

Grazie alle numerose funzionalità di modellazione offerte da Blender, è stato possibile apportare miglioramenti estetici ai modelli generati, introducendo dettagli e regolando la geometria. Sono state applicate tecniche di smussatura, come l'uso dello strumento "Shade Smooth", che ha contribuito a rendere la superficie dell'oggetto più liscia e priva di spigoli netti.

3.7 Integrazione modelli 3D e Creazione della Scena

La creazione di scene all'interno di un ambiente del Metaverso costituisce il cuore pulsante di questo progetto di tesi. In questa sezione, si esplora dettagliatamente il processo di transizione dallo scanning, alla rappresentazione e modellazione degli oggetti 3D in Blender, fino all'integrazione di tali elementi con l'obiettivo di creare scene virtuali da esplorare. Si descrivono i passaggi effettuati per la creazione di una scena metaversale, partendo dall'assemblaggio delle pareti, fino all'inserimento dei modelli generati attraverso le scansioni e rappresentazioni.

3.7.1 Definizione dell'ambiente e inserimento delle pareti

La progettazione dell'ambiente virtuale è partita con l'importazione della planimetria della struttura in Blender. La Figura 3.21 mostra una semplice bozza di una planimetria, dove sono rappresentate le pareti della scena che si intende realizzare.

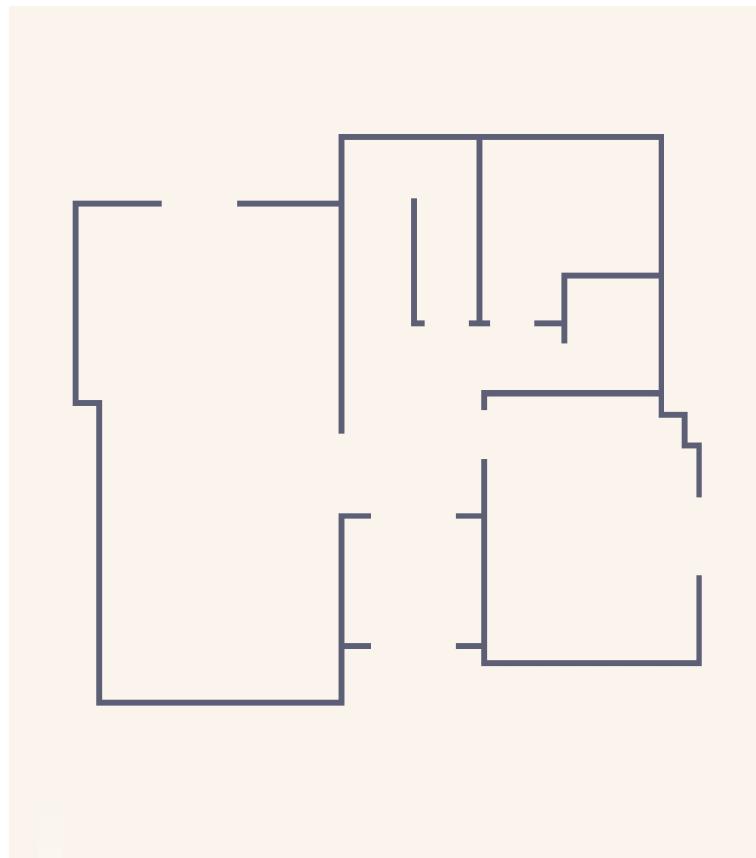


Figura 3.21: Esempio di planimetria di partenza per la creazione della scena.

Utilizzando questa planimetria come riferimento, attraverso la libreria Home Builder, installabile direttamente in Blender, si sono create le pareti per definire la struttura di base e delineare lo spazio tridimensionale. Questo passaggio ha definito la struttura dell’ambiente e ha preparato il terreno per l’inserimento dei modelli 3D generati con le tecniche adottate. La Figura 3.22 mostra l’importazione della planimetria in Blender per la definizione delle pareti della struttura.

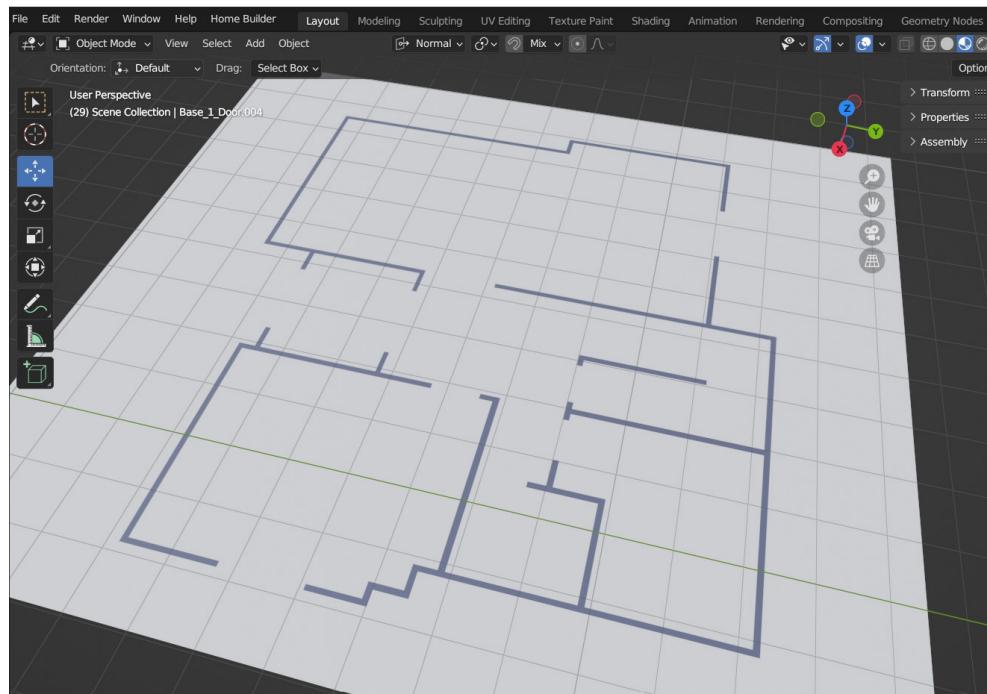


Figura 3.22: Importazione della planimetria e definizione delle pareti.

3.7.2 Importazione modelli generati con tecnica Project Mapping

Dopo aver definito le pareti per delineare l’ambiente virtuale, l’attenzione si è spostata sull’importazione dei modelli generati attraverso la tecnica del Project Mapping (Mappatura UV). Questa metodologia è stata adottata per rappresentare accuratamente oggetti di dimensioni considerevoli, come mobili e oggetti d’arredo di elevate dimensioni. La Figura 3.23 mostra l’importazione di alcuni modelli generati con la tecnica del Project Mapping da integrare nell’ambiente.

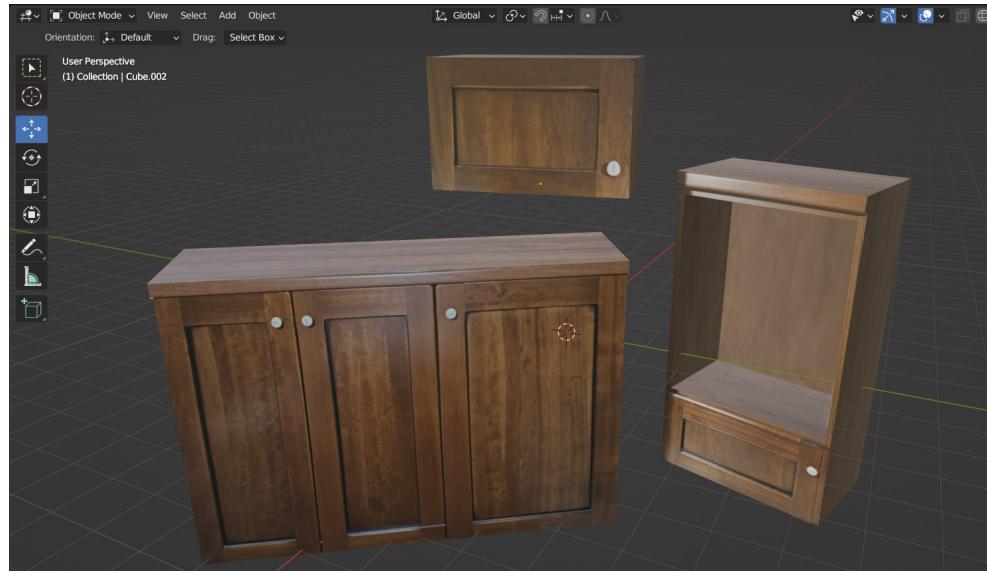


Figura 3.23: Importazione dei modelli generati con la tecnica del Project Mapping.

In questa fase, è stata prestata particolare attenzione al posizionamento accurato e all'allineamento degli oggetti rispetto alle pareti, garantendo coerenza e realismo nella scena del Metaverso. Questo approccio ha consentito di integrare in modo efficace modelli di grandi dimensioni, dando vita a un ambiente virtuale dettagliato e realistico. La Figura 3.24 mostra il corretto posizionamento e allineamento dei modelli degli oggetti rispetto alle pareti.



Figura 3.24: Posizionamento e allineamento dei modelli 3D.

3.7.3 Importazione modelli generati con Polycam

La fase successiva ha coinvolto l'importazione dei modelli di oggetti di medie dimensioni, come elettrodomestici e oggetti d'arredo, generati con le tecniche di scansione utilizzate con l'ausilio dell'applicazione Polycam. Oltre i modelli di medie dimensioni, sono stati introdotti anche modelli di oggetti di dimensioni più ridotte, come gadget o elementi d'arredo di piccole dimensioni, completando così la composizione dell'ambiente virtuale con una varietà di elementi. La Figura 3.25 mostra l'importazione di alcuni modelli generati con le tecniche di scansione effettuate con l'ausilio di Polycam.



Figura 3.25: Importazione dei modelli generati con Polycam.

3.7.4 Personalizzazione e Rifinitura della scena

Dopo l'importazione di tutti i modelli nell'ambiente, l'attenzione si è focalizzata sulla personalizzazione e la rifinitura della scena metaversale. L'utilizzo di Blender ha permesso di apportare miglioramenti significativi, tra cui la regolazione dell'illuminazione ambientale e il perfezionamento di alcuni aspetti dei modelli 3D.

Inoltre, durante questa fase, è emersa la necessità di correggere alcune texture su alcuni modelli e di applicare texture su elementi inizialmente privi di dettagli,

come pareti o pavimenti. In aggiunta, per arricchire ulteriormente la scena, è stato introdotto un numero limitato di modelli 3D già disponibili online, selezionati in base alle esigenze specifiche della scena. La Figura 3.26 mostra una parte della scena completamente rifinita, con applicazione di texture e introduzione di qualche modello 3D già disponibile sul web.

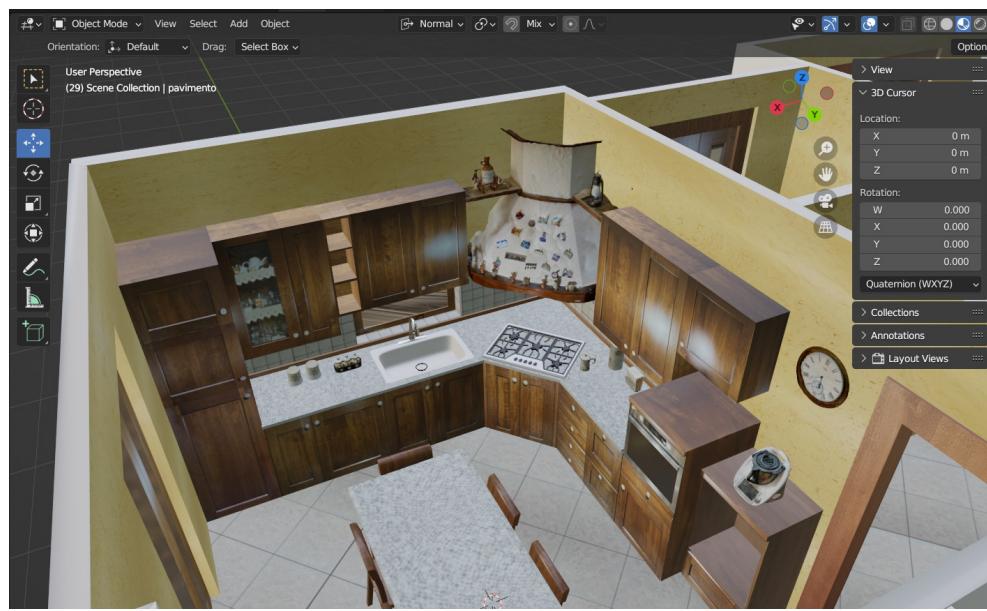


Figura 3.26: Esempio di parte di una scena completamente rifinita.

3.7.5 Sintesi delle tecniche adottate e Overview

In questa sottosezione, è fornita un'analisi comparativa delle diverse tecniche adottate per la creazione dei modelli 3D, evidenziando le caratteristiche di ciascuna, considerando la scansione tramite l'applicazione Polycam e la generazione di modelli 3D con l'utilizzo del Project Mapping. L'obiettivo è fornire una panoramica completa delle opzioni disponibili, consentendo una scelta informata in base al contesto specifico dell'oggetto da scannerizzare.

Tale valutazione tiene conto delle dimensioni degli oggetti, della loro complessità geometrica e dell'efficienza di ciascuna tecnica. Nelle tabelle 3.1, 3.2 e 3.3 viene mostrata una sintesi delle considerazioni relative alle dimensioni degli oggetti, alla geometria degli oggetti e all'automazione con l'isolamento degli oggetti per ciascuna tecnica.

Tecnica	Oggetti di piccole/medie dimensioni	Oggetti di grandi dimensioni
Polycam - Tecnica 1	Consigliata	Non consigliata
Polycam - Tecnica 2	Consigliata	Non consigliata
Project Mapping - Tecnica 3	Non consigliata	Consigliata

Tabella 3.1: Sintesi delle tecniche per la dimensione degli oggetti.

Tecnica	Oggetti geometricamente semplici	Oggetti geometricamente complessi
Polycam - Tecnica 1	Non adatta	Adatta
Polycam - Tecnica 2	Adatta	Non adatta
Project Mapping - Tecnica 3	Adatta	Adatta

Tabella 3.2: Sintesi delle tecniche per la geometria degli oggetti.

Tecnica	Generazione automatica	Isolamento degli oggetti
Polycam - Tecnica 1	Si	Si
Polycam - Tecnica 2	Si	Si
Project Mapping - Tecnica 3	No	Si

Tabella 3.3: Sintesi delle tecniche per la generazione automatica e l'isolamento degli oggetti.

Considerazioni Generali:

Le seguenti considerazioni forniscono una guida generale per la selezione delle tecniche in base alle caratteristiche degli oggetti da scannerizzare:

- **Oggetti di Grandi Dimensioni:** La tecnica di Project Mapping risulta più adatta per oggetti di dimensioni considerevoli, dove la scansione ruotando attorno all'oggetto o la scansione posizionando l'oggetto su una piattaforma girevole potrebbe non essere praticabile. E' adatta sia a oggetti geometricamente semplici che complessi e il processo è del tutto manuale.
- **Oggetti geometricamente complessi di piccole/medie dimensioni:** La prima tecnica di Polycam, che prevede la scansione dell'oggetto ruotandogli attorno, risulta preferibile per oggetti di dimensioni più ridotte e con una geometria non regolare. Il processo di generazione del modello è automatico, anche se potrebbe necessitare di miglioramenti tramite l'uso di software di modellazione.
- **Oggetti geometricamente regolari di piccole/medie dimensioni:** La seconda tecnica di Polycam, che prevede la scansione dell'oggetto con l'utilizzo di una piattaforma girevole, risulta preferibile per oggetti di dimensioni più ridotte e con una geometria regolare. Il processo di generazione del modello è automatico, anche se potrebbe necessitare di miglioramenti tramite l'uso di software di modellazione.

3.8 Esportazione ed Integrazione nel Metaverso

Prima dell'esportazione, è stato effettuato un controllo generale sull'intera scena, validando ogni modello 3D per garantire una transizione più fluida. Inoltre, sono state verificate le scale dei modelli per assicurarsi che fossero successivamente coerenti con gli standard utilizzati in Unity 3D, evitando così problemi di posizionamento e dimensioni errate durante l'integrazione. La Figura 3.27 mostra una scena completamente rifinita vista dall'alto, prima di essere esportata dal software Blender.

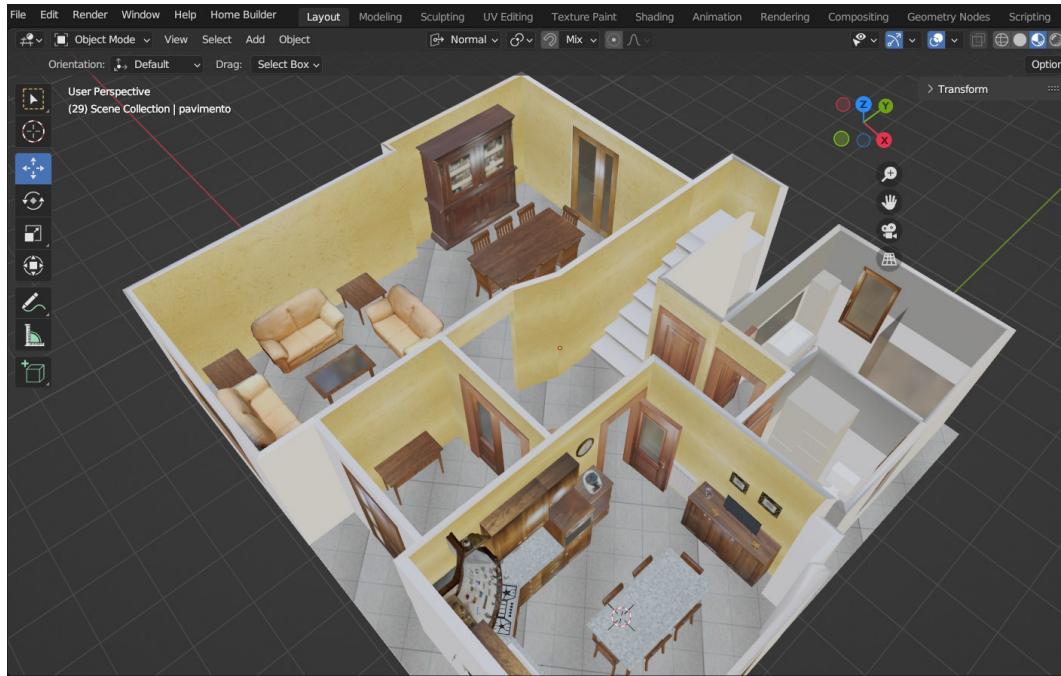


Figura 3.27: Scena completamente rifinita vista dall’alto.

Nella fase di esportazione, è stato fondamentale selezionare il formato più idoneo per trasferire la scena da Blender a Unity 3D. Tra i diversi formati di esportazione, ciascuno con le sue peculiarità, si è scelto di adottare il formato di esportazione FBX (Filmbox). La Figura 3.28 mostra gli step per esportare la scena nel formato FBX.

La decisione è stata effettuata basandosi su specifici requisiti:

- **Universalità:** Il formato FBX è supportato da molti software 3D e motori di gioco, garantendo una transizione agevole dei dati tra diverse piattaforme;
- **Strutturazione gerarchica:** Conserva la struttura gerarchica della scena, preservando le relazioni tra gli oggetti e semplificando l’organizzazione nella fase di integrazione;
- **Compatibilità con Unity 3D:** È nativamente supportato da Unity 3D, il che semplifica notevolmente il processo di integrazione della scena esportata da Blender;
- **Dettagli su geometrie e texture:** Il formato FBX è in grado di preservare dettagli importanti sulla geometria, texture e mapping UV, contribuendo a mantenere la fedeltà visiva della scena.

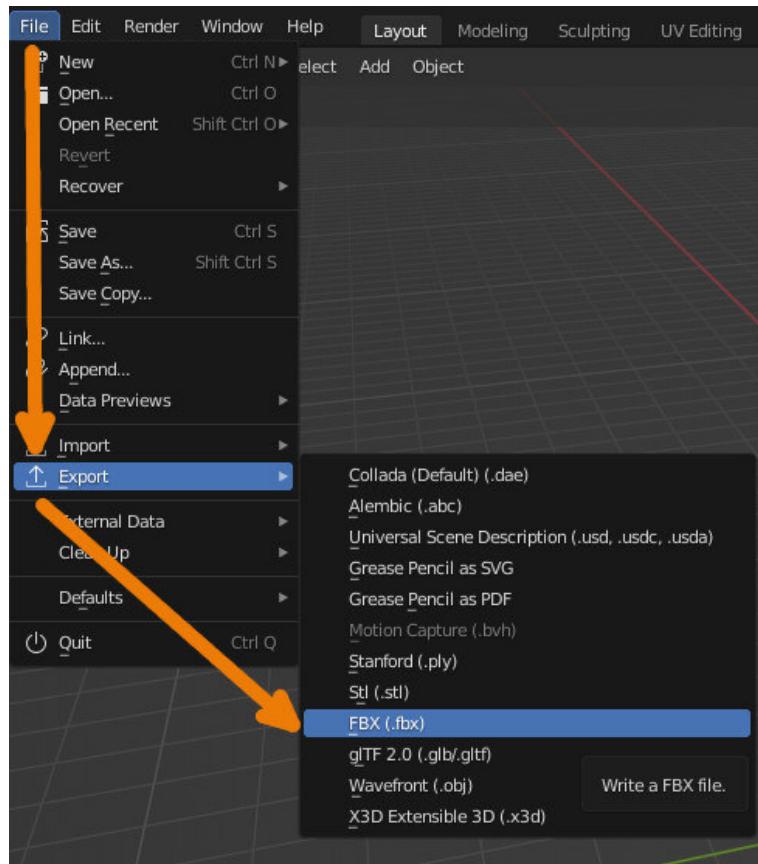


Figura 3.28: Passaggi chiave per esportare la scena in formato FBX.

3.8.1 Integrazione in Unity 3D

Dopo aver esportato la scena 3D da Blender, l'integrazione in Unity 3D ha seguito gli step di seguito elencati:

- **Creazione o avvio del Progetto:** Inizialmente, è stato necessario creare un nuovo progetto su Unity 3D o avviare uno già esistente. La struttura delle cartelle e delle risorse è stata organizzata in modo coerente per semplificare la gestione del contenuto.
- **Importazione della scena:** Una volta creato o avviato il progetto, la funzione di importazione di Unity 3D è stata utilizzata per integrare l'insieme dei modelli esportati da Blender. In questa fase, è stato cruciale assicurarsi che i materiali fossero applicati correttamente per ottenere effetti visivi più adatti a rappresentare il Metaverso. La Figura 3.29 mostra un esempio di rendering della scena 3D sviluppata attraverso il software da Unity 3D.



Figura 3.29: Rendering della scena importata sul software Unity 3D.

- **Navigabilità e Interattività:** Una volta importata la scena in Unity 3D, l'attenzione è stata rivolta alla navigabilità e all'interattività all'interno dell'ambiente del Metaverso. Prima di concentrarsi sulla navigazione, è stato necessario dotare il personaggio di animazioni appropriate per muoversi all'interno dell'ambiente del Metaverso.

Per creare animazioni realistiche e fluide, sono state utilizzate le risorse messe a disposizione da Mixamo, una piattaforma online che offre una vasta gamma di animazioni predefinite, tra cui "idle", "walk", "back walk" e "sprint", essenziali per consentire al personaggio di esplorare la scena in modo dinamico e realistico. La figura 3.30 mostra un esempio di posizionamento dei marcatori principali sul corpo del character per consentire una navigazione quanto più realistica possibile.

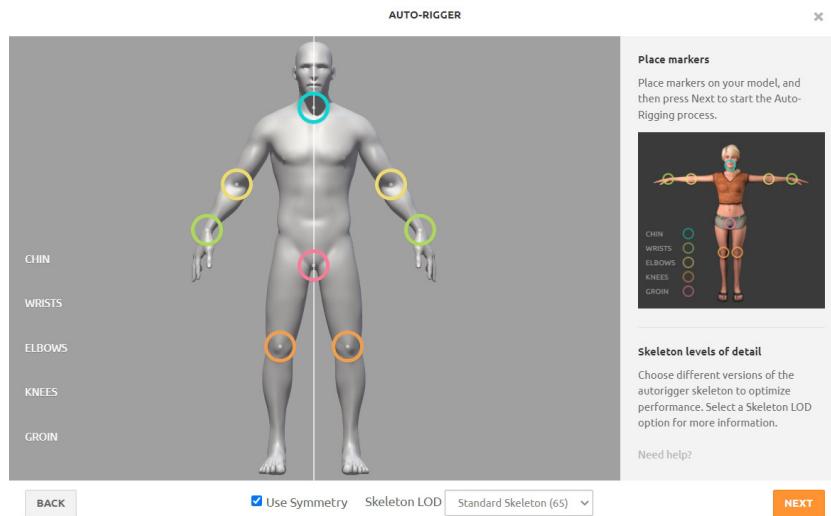


Figura 3.30: Posizionamento dei marcatori sul modello del personaggio.

Per garantire un’esperienza coinvolgente delle scene, sono state implementate due tipi di navigazione, la navigazione in terza persona e la navigazione in prima persona:

- **Navigazione in terza persona:** È stata sviluppata una modalità di navigazione che consente agli utenti di esplorare l’ambiente da una prospettiva in terza persona. La Figura 3.31 mostra un esempio di navigazione dell’ambiente in terza persona.



Figura 3.31: Rendering di navigazione dell’ambiente in terza persona.

- **Navigazione in prima persona:** Per offrire una visione più immersiva dell’ambiente circostante è stata anche sviluppata una modalità di navigazione in prima persona. La Figura 3.32 mostra un esempio di navigazione dell’ambiente in prima persona.



Figura 3.32: Rendering di navigazione dell’ambiente in prima persona.

L’implementazione di queste caratteristiche ha contribuito significativamente a rendere il Metaverso più di una semplice rappresentazione virtuale, trasformandolo in un ambiente interattivo e coinvolgente.

CAPITOLO 4

Sperimentazione

L'implementazione della tecnica "Image-to-Metaverse" ha costituito una fase cruciale in questo lavoro di ricerca, orientato alla creazione di scenari realistici nel Metaverso. In questo capitolo, ci si focalizza su ciascuna delle domande di ricerca precedentemente delineate nella sezione 3.3) Le domande di ricerca.

L'obiettivo primario di questo capitolo è fornire risposte concrete e approfondite alle domande chiave che hanno guidato la progettazione e l'attuazione della ricerca.

4.1 Generazione di uno scenario 3D partendo da immagini 2D - RQ1

In questa sezione si fornirà la risposta alla prima domanda di ricerca:

Q RQ₁. *Come è possibile generare una scena 3D a partire da immagini 2D per il Metaverso?*

La generazione di una scena 3D a partire da immagini 2D può essere un compito complesso, ma ci sono diversi approcci e tecnologie che possono essere utilizzate per raggiungere questo obiettivo. Alcuni metodi comuni coinvolgono:

1. **Fotogrammetria:** la quale permette di estrarre informazioni tridimensionali da semplici fotografie. Per generare una scena 3D, è possibile scattare una serie di fotografie dell’ambiente da diverse angolazioni e successivamente utilizzare software di Fotogrammetria per creare un modello 3D. Questo metodo è efficace per oggetti statici, ma può essere complicato per scene dinamiche o in movimento.
2. **Sensori 3D e LiDAR:** utilizzati per ottenere informazioni sulla profondità e la forma di una scena. Dal sensore vengono emesse onde elettromagnetiche, le quali permettono di misurare il tempo che impiega il segnale a rimbalzare sugli oggetti, permettendo di creare una mappa tridimensionale della scena. Questo approccio risulta essere molto efficace, anche se per ottenere risultati soddisfacenti spesso bisogna ricorrere all’utilizzo di strumenti molto sofisticati e costosi.
3. **Deep Learning e Generative Models:** le reti neurali, in particolare le reti generate, possono essere utilizzate per generare modelli 3D a partire da immagini 2D. L’addestramento di modelli su set di dati di immagini 2D e 3D può permettere loro di apprendere relazioni complesse tra i due spazi e generare rappresentazioni tridimensionali a partire da immagini bidimensionali.
4. **Software di Modellazione 3D:** seppur il processo di modellazione è del tutto manuale, è possibile utilizzare software di modellazione 3D, come Blender, Maya, ecc.. e creare modelli 3D basati sulle immagini 2D. Questo approccio richiede solide competenze in modellazione 3D e può essere più intensivo in termini di effort.
5. **Tecnologie di Scansione 3D:** esistono dispositivi come smartphone e tablet che possono essere utilizzati insieme a specifiche applicazioni, tra cui Polycam, KiriEngine, Photoscan, ecc... per eseguire scansioni di oggetti e generare automaticamente modelli tridimensionali senza richiedere competenze avanzate di modellazione 3D.

Nel corso della sperimentazione, l'attenzione si è concentrata sull'analisi delle variabili chiave che hanno influenzato la generazione dei modelli 3D. Un risultato significativo è emerso in relazione alla quantità di fotografie utilizzate per la rappresentazione di modelli 3D, in particolare, è stato osservato come un numero significativo di fotografie dell'oggetto, da diverse angolazioni, ha nettamente migliorato la qualità e la definizione finale del modello 3D.

Al contrario, un numero limitato di fotografie ha portato a modelli meno dettagliati e meno definiti. Per illustrare questi risultati, La figura 4.1 mostra due esempi visivi, dove è evidente notare come la variazione del numero di fotografie influenzi la qualità del modello 3D generato. La prima immagine mostra una scansione effettuata con circa 20 scatti dell'oggetto da diverse angolazioni, la seconda immagine invece, mostra una scansione effettuata con circa 250 scatti.

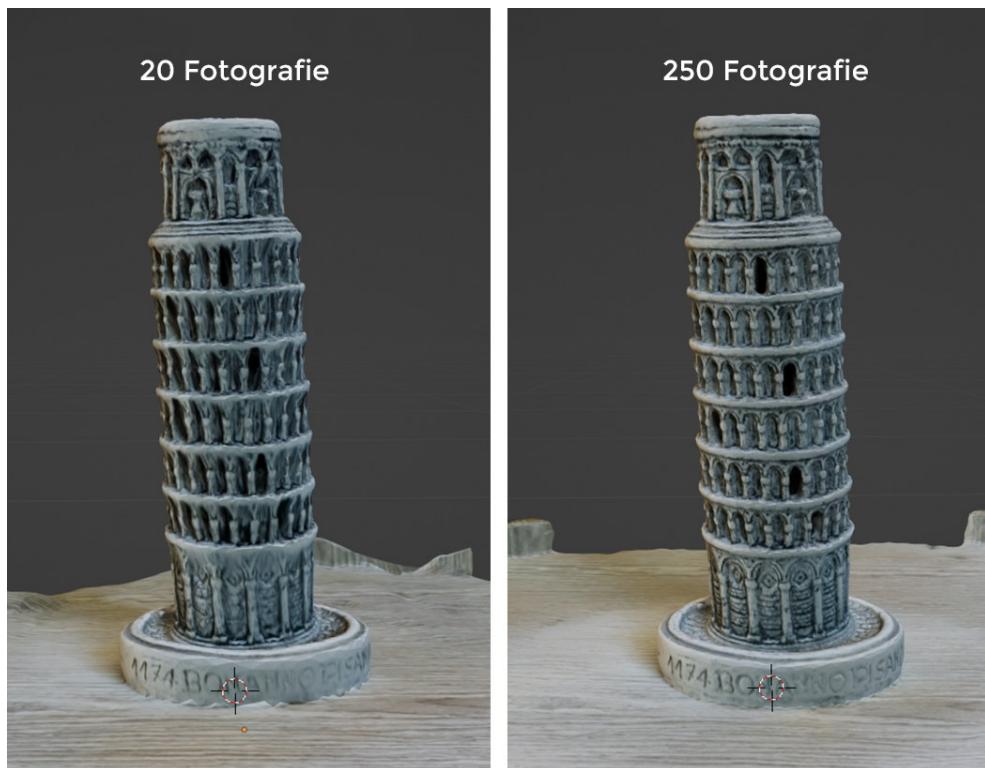


Figura 4.1: Esempi di scansione con numero di fotografie differenti.

Questa analisi quantitativa, fornisce una comprensione approfondita di come il numero di fotografie impatti la generazione di modelli, permettendo la loro integra-

zione e quindi la creazione di una scena 3D a partire da immagini 2D, rispondendo così alla nostra prima domanda di ricerca.

4.2 Automazione della creazione dei modelli 3D - RQ2

In questa sezione si fornirà la risposta alla seconda domanda di ricerca:

Q RQ₂. *Come le tecniche di Intelligenza Artificiale possono essere utilizzate per automatizzare la creazione di modelli 3D a partire da immagini?*

Durante l'esplorazione delle tecniche di Intelligenza Artificiale per automatizzare la creazione di modelli 3D, l'attenzione si è concentrata sull'analisi delle prestazioni degli algoritmi di alcune applicazioni mobile. Questo approfondimento ha coinvolto una valutazione quantitativa, fornendo un quadro dettagliato sulla capacità delle diverse applicazioni nell'utilizzare l'Intelligenza Artificiale per la generazione di modelli 3D.

In particolare, l'analisi si è focalizzata sul numero di poligoni presenti nei modelli generati. I dati raccolti hanno evidenziato che, indipendentemente dalla tecnica di scansione utilizzata - che sia quella che prevede la rotazione attorno all'oggetto o la scansione dell'oggetto posizionato su una piattaforma girevole - il numero di poligoni nei modelli generati è risultato generalmente elevato.

Questo aspetto assume particolare rilevanza nel contesto della creazione di scenari per il Metaverso, in quanto, un numero eccessivo di poligoni può compromettere le performance e l'esperienza utente all'interno di un ambiente virtuale, influenzando la fluidità della navigazione e richiedendo risorse computazionali più elevate. Nella fase di sperimentazione, è stata scelta l'analisi di due applicazioni, Polycam e Kiri Engine, ponendo un'attenzione particolare sulla valutazione della qualità e sulla quantità di poligoni dei modelli 3D generati.

Di seguito, la figura 4.2 mostra due immagini comparative che illustrano il numero di poligoni di due scansioni, la prima effettuata con Polycam, la seconda con Kiri Engine:

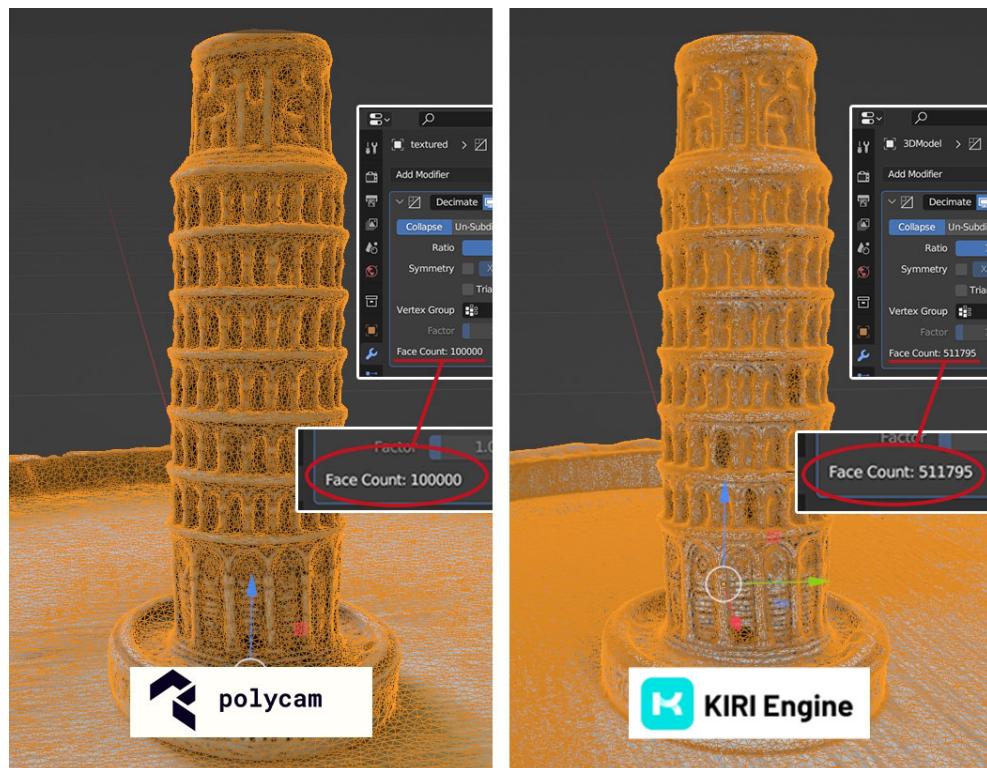


Figura 4.2: Numero di poligoni delle scansioni effettuate con Polycam e KiriEngine.

In conclusione, l’analisi quantitativa in questa sezione offre un contributo significativo alla risposta della domanda di ricerca sull’applicazione di tecniche di Intelligenza Artificiale per l’automazione della creazione di modelli 3D generati da Polycam e Kiri Engine.

La scelta di Polycam come applicazione preferita è stata motivata dalla combinazione di un numero di poligoni più contenuto e una qualità di modello superiore rispetto a Kiri Engine, contribuendo così a una migliore esperienza nel contesto del Metaverso.

4.3 Fasi per la generazione di modelli 3D partendo da immagini 2D - RQ3

In questa sezione si fornirà la risposta alla terza domanda di ricerca:

Q RQ₃. *Quali fasi deve coinvolgere un processo di generazione di modelli 3D partendo da immagini 2D?*

Per rispondere alla domanda di ricerca è necessario esplorare attentamente il processo di generazione dei modelli 3D, tenendo conto di ogni fase coinvolta in questo lavoro di tesi.

Il processo inizia con il riconoscimento dell'oggetto, una fase fondamentale che ha permesso di identificare all'interno di un'immagine gli oggetti da trasformare in modelli tridimensionali. Nel corso della sperimentazione, un'enfasi particolare è stata posta su questa fase, in quanto, prima di poter generare il modello 3D di un oggetto, è necessario che l'oggetto venga prima riconosciuto dall'algoritmo di Intelligenza Artificiale e successivamente preso in considerazione per essere scansionato o rappresentato in modello 3D.

Dopo il riconoscimento, il processo prevede la fase di acquisizione delle immagini, permettendo di scattare delle fotografie all'oggetto da diverse angolazioni per garantire una rappresentazione completa. Durante la fase di sperimentazione, sono state condotte diverse prove di scansione dell'oggetto in condizioni di illuminazione variabili, che comprendevano l'acquisizione di immagini in condizioni di luce ambientale molto elevata, media e bassa. Questo approccio ha permesso di valutare il comportamento dell'algoritmo di Intelligenza Artificiale di Polycam, fornendo così un'analisi delle prestazioni nelle diverse condizioni ambientali. La figura 4.3 mostra tre modelli generati dallo stesso oggetto, fotografato in condizioni di luce ambientale differenti.



Figura 4.3: Modelli generati con condizioni di luce ambientale differente.

Un ulteriore approccio sperimentato è stato l'utilizzo di tecniche di UV Mapping, che ha consentito di mappare la texture di una singola fotografia su un oggetto tridimensionale. Utilizzato maggiormente per la rappresentazione di oggetti di elevate dimensioni.

È importante sottolineare che il processo di generazione di modelli 3D partendo da immagini 2D non si conclude con la scansione e la generazione del modello, bensì è necessaria una fase di modellazione che prevede dei passi aggiuntivi per poter affinare il modello, risolvere eventuali difformità e ottimizzarlo ulteriormente.

In conclusione, per rispondere alla domanda di ricerca, il processo di generazione di modelli 3D da immagini 2D coinvolge diverse fasi, iniziando dal riconoscimento dell'oggetto, passando dall'acquisizione delle immagini, all'utilizzo di algoritmi di Intelligenza Artificiale o tecniche di mappatura della texture ed infine alla modellazione per ottimizzare il modello risultante. L'approccio completo a queste fasi garantisce una generazione di modelli 3D accurata e adatta all'ambiente del Metaverso.

CAPITOLO 5

Threats to validity

Diversi fattori potrebbero influenzare la validità della ricerca. A tal fine, questo capitolo si concentra sulle possibili strategie per affrontare gli aspetti di validità dello studio, riassumentole secondo le categorie di seguito definite.

5.1 Threats to Construct Validity

Le Threats to Construct Validity nel contesto della ricerca riguardano la correlazione tra la teoria e le osservazioni effettivamente ottenute, focalizzandosi sull'accuratezza e la precisione delle misurazioni durante l'implementazione della tecnica Image-to-Metaverse. Le minacce principali derivano dall'utilizzo dell'algoritmo di Intelligenza Artificiale tramite il framework YOLO (You Only Look Once) per il riconoscimento degli oggetti e dall'applicazione Polycam per la scannerizzazione degli stessi.

- **Precisione dell'algoritmo di riconoscimento:** Una minaccia potenziale risiede nella precisione dell'algoritmo di Intelligenza Artificiale, in particolare nel contesto del riconoscimento degli oggetti. La variabilità nella capacità di identificare dettagli, gestire geometrie complesse e trattare superfici riflettenti può

impattare significativamente la qualità delle misurazioni e, di conseguenza, la validità costruttiva dell'intero processo di riconoscimento.

- **Precisione nella Scannerizzazione con Polycam:** Le minacce alla validità costruttiva si estendono anche alla fase di scannerizzazione degli oggetti attraverso l'applicazione Polycam. Cambiamenti nel posizionamento dell'oggetto, nella geometria dell'oggetto o anche della luce ambientale durante il processo di scansione, potrebbero influenzare la coerenza delle misurazioni, introducendo possibili errori nella rappresentazione tridimensionale degli oggetti.

5.2 Threats to Internal Validity

Le Threats to Internal Validity riguardano fattori che potrebbero aver influenzato i risultati ottenuti senza che il ricercatore ne sia a conoscenza. Alcune delle minacce che avrebbero potuto influenzare i risultati ottenuti in questa ricerca riguardano l'implementazione interna del framework utilizzato per il riconoscimento degli oggetti nelle immagini e l'implementazione degli algoritmi di Fotogrammetria e Intelligenza Artificiale dell'applicazione Polycam per la scansione degli oggetti. Inoltre, potrebbero non essere state considerate alcune variabili rilevanti durante la sperimentazione, influenzando così i risultati in modo non previsto.

- **Implementazione interna del framework YOLO:** La mancanza di conoscenza dettagliata sull'implementazione interna del framework YOLO (You Only Look Once) potrebbe aver influenzato i risultati ottenuti durante il riconoscimento degli oggetti senza che il ricercatore ne fosse a conoscenza. Per mitigare questa minaccia, sarebbe stato possibile provare ad ottenere una comprensione più approfondita della struttura interna del framework o collaborare con alcuni esperti del settore.
- **Implementazione degli algoritmi di Fotogrammetria e Intelligenza Artificiale in Polycam:** La mancanza di conoscenza sull'implementazione interna degli algoritmi di Fotogrammetria e Intelligenza Artificiale utilizzati dall'applicazione Polycam, potrebbe aver influito sulla qualità dei modelli 3D generati,

seppur potrebbero essere state tenute in considerazione tutte le possibili variabili. Collaborare con gli sviluppatori di Polycam o fare ricerche più approfondite sull'implementazione degli algoritmi potrebbe contribuire a ridurre questa minaccia interna.

5.3 Threats to External Validity

Le Threats to External Validity nel contesto della ricerca sono associate alle condizioni che limitano la capacità di generalizzare i risultati dell'esperimento al mondo reale. Poiché il processo di creazione di uno scenario nel Metaverso ha coinvolto diverse fasi, dalla trasposizione della planimetria 2D in 3D, all'integrazione di modelli per la realizzazione di una scena metaversale, è essenziale considerare le limitazioni di questo studio a scenari diversi o contesti più ampi.

- **Specificità del contesto:** Una minaccia potenziale alla validità esterna può derivare dalla specificità del contesto in cui è stato condotto lo studio. Caratteristiche particolari di un ambiente che si intende rappresentare in modello 3D potrebbero rendere difficile l'estensione dei risultati ottenuti a scenari metaversali con caratteristiche significativamente diverse.
- **Diversità degli oggetti e delle scene:** La diversità degli oggetti e delle scene da rappresentare potrebbe limitare la capacità di generalizzare i risultati dell'esperimento. La variabilità nelle dimensioni, forme e caratteristiche di alcuni oggetti del mondo reale potrebbero comportare sfide diverse rispetto a quanto già riscontrato durante la sperimentazione, portando a risultati non completamente generalizzabili.

5.4 Threats to Conclusion Validity

Le Threats to Conclusion Validity nel contesto della ricerca si concentrano su potenziali inesattezze nelle conclusioni che possono emergere da uno studio di ricerca. Queste minacce possono compromettere la validità delle conclusioni ottenute durante la sperimentazione, mettendo in discussione la relazione tra il trattamento

applicato e gli outcome osservati durante il processo di creazione di uno scenario nel Metaverso.

- **Limitazioni nelle Misure e Precisione:** Una minaccia alla validità delle conclusioni può derivare da limitazioni nelle misure utilizzate durante il processo di riconoscimento o di scansione degli oggetti. La precisione delle misurazioni e la qualità delle rappresentazioni 3D potrebbero essere soggette a errori, influenzando la robustezza delle conclusioni.
- **Varianza delle prestazioni degli Algoritmi di Intelligenza Artificiale:** La varianza delle prestazioni degli algoritmi di Intelligenza Artificiale dell'applicazione Polycam costituisce un'ulteriore minaccia alla validità delle conclusioni, in quanto, possono portare a risultati variabili a seconda delle prestazioni, introducendo incertezze nella nel processo di creazione di scene nel Metaverso.

CAPITOLO 6

Conclusioni

Questo capitolo illustra una sintesi della ricerca e delle prospettive future.

6.1 Conclusioni

Nell'ambito di questa ricerca, lo studio si è focalizzato sulla creazione di scene nel Metaverso, mostrando come la tecnica "Image-to-Metaverse" possa essere utilizzata per generare modelli 3D da immagini. Il riconoscimento degli oggetti tramite algoritmi di Intelligenza Artificiale e la scannerizzazione 3D con Polycam, hanno contribuito alla creazione di scenari virtuali, mostando come la trasformazione di immagini bidimensionali in scenari tridimensionali può essere un processo efficace e promettente, aprendo nuove prospettive nel contesto del Metaverso. Di seguito, un riepilogo dei passaggi chiave della ricerca:

La ricerca è iniziata con la pianificazione accurata del processo di riconoscimento degli oggetti, sfruttando il framework YOLO (You Only Look Once) per identificare gli elementi nelle immagini bidimensionali. Subito dopo, si è proceduto con la scansione 3D degli oggetti tramite l'applicazione mobile Polycam, impiegata per oggetti di piccole e medie dimensioni, e la rappresentazione di modelli 3D attraverso la

tecnica di Project Mapping per oggetti di dimensioni più estese. Successivamente, si è prestata particolare attenzione all’ottimizzazione della qualità dei modelli generati, apportando miglioramenti alla geometria e riducendo il numero di poligoni.

Lo studio ha poi esplorato le potenziali applicazioni della tecnica, consentendo l’integrazione dei modelli per la realizzazione di scenari nel Metaverso e successivamente l’esportazione in Unity 3D. Infine, sono state analizzate le minacce alla validità dello studio, concentrandosi su possibili influenze che avrebbero potuto invalidare la ricerca.

6.2 Lavori Futuri

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri di questa ricerca, alcuni aspetti che potrebbero avanzare lo studio sono:

- **Espansione della ricerca per ambienti esterni o edifici:** Lo studio si è basato sulla creazione di scene nel Metaverso, prendendo come esempio interni di abitazioni o uffici. Si potrebbe avanzare ulteriormente lo studio esplorando la rappresentazione completa di edifici con possibilità di navigazioni multilivello all’interno di ciascun piano.
- **Interazione multiutente:** Si potrebbe valutare la possibilità di consentire l’interazione tra più utenti nelle scene realizzate, consentendo la collaborazione e la visualizzazione congiunta degli ambienti. Ad esempio, in ambito edile, la navigazione simultanea potrebbe supportare decisioni informate sull’ambiente e discussioni sugli interventi di ristrutturazione reali dell’abitazione.
- **Navigazione in realtà aumentata e modifica interattiva della scena:** Lo studio potrebbe essere avanzato implementando la navigazione degli ambienti in prima persona, così da poter permettere agli utenti un’esperienza più immersiva. Inoltre, si potrebbero sviluppare funzionalità di interazione diretta con gli oggetti della scena, consentendo agli utenti modificarne la disposizione in tempo reale.

Bibliografia

- [1] D. S. Mystakidis, "Metaverse," *MDPI Open Access Journals*, 2022. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2673-8392/2/1/31> (Citato a pagina 4)
- [2] B. Kye, N. Han, E. Kim, Y. Park, and S. Jo, "Educational applications of metaverse: possibilities and limitations," *Journal of educational evaluation for health professions*, 2021. [Online]. Available: <https://synapse.koreamed.org/articles/1149230> (Citato a pagina 5)
- [3] M. Aljanabi and S. Y. Mohammed, "Metaverse: open possibilities," *Iraqi Journal For Computer Science and Mathematics*, vol. 4, no. 3, pp. 79–86, 2023. [Online]. Available: <https://www.iasj.net/iasj/download/8aff359cbd8d150e> (Citato a pagina 5)
- [4] Y. Wang, Z. Su, N. Zhang, R. Xing, D. Liu, T. H. Luan, and X. Shen, "A survey on metaverse: Fundamentals, security, and privacy," *IEEE Xplore*, 2022. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9880528> (Citato a pagina 6)
- [5] E. M. Mikhail, J. S. Bethel, and J. C. McGlone, "Introduction to modern photogrammetry," *Books Google*, 2001. [Online]. Available: <https://books.google.it/books?hl=en&lr=&id=D4h8EAAAQBAJ&oi=fnd&>

- pg=PA1&ots=6IOWZMyJAm&sig=9nchJK47xbD61GSaXFT9DdHto-M&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (Citato a pagina 8)
- [6] R. Szeliski, "Computer vision: algorithms and applications," *Books Google*, 2022. [Online]. Available: https://books.google.it/books?hl=it&lr=&id=QptXEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&ots=BMDht-QDrh&sig=E8P4FK6z1OEnaeEo8O1lvMIvwds&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (Citato a pagina 9)
- [7] T. Schenk, "Object recognition in digital photogrammetry," *The Photogrammetric Record*, vol. 16, no. 95, pp. 743–762, 2000. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/0031-868X.00149> (Citato a pagina 9)
- [8] L. Paris *et al.*, "Fotogrammetria 2.0," *DISEGNARE CON...*, no. 8/14, pp. 171–179, 2015. [Online]. Available: <https://iris.uniroma1.it/handle/11573/869887> (Citato a pagina 11)
- [9] P. Poulin, M. Ouimet, and M.-C. Frasson, "Interactively modeling with photogrammetry," *Springer Link*, 2011. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7091-6453-2_9#preview (Citato a pagina 12)
- [10] M. Pollefeys, R. Koch, M. Vergauwen, and L. V. Gool, "Automated reconstruction of 3d scenes from sequences of images," *Science Direct*, 2000. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092427160000023X> (Citato a pagina 13)
- [11] D. Gavrila and F. Groen, "3d object recognition from 2d images using geometric hashing," *Science Direct*, 2003. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016786559290077D> (Citato a pagina 13)
- [12] M. Herman and T. Kanade, "Incremental reconstruction of 3d scenes from multiple, complex images," *Artificial intelligence*, vol. 30, no. 3, pp. 289–341, 1986. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0004370286900020> (Citato a pagina 14)
- [13] V. Pentangelo, "The metaverse classroom: Development and evaluation of an engineered educational metaverse," 2023. [Online]. Available: <https://github.com/>

SeSaLabUnisa/Tesi/tree/main/Dario_Dario/Pentangelo_SeSaverse (Citato a pagina 14)

- [14] L. Soni, A. Kaur, and A. Sharma, "A review on different versions and interfaces of blender software," *IEEE Xplore*, 2023. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10125672> (Citato a pagina 31)

Ringraziamenti

Ringraziamenti qui...