

DEMOCRATIZZARE IL DIGITALE:

REALTA' AUMENTATA COME STRUMENTO DI
INNOVAZIONE PER LE PMI,
IL CASO VYRUS ALYEN.

Candidato: Arturo Arcidiacono
Matricola 1146947

Relatore: Prof. Roberto Saponelli
Correlatore: Prof. Michele Zannoni
Protesa S.P.A

DEMOCRATIZZARE IL DIGITALE:

REALTA' AUMENTATA COME STRUMENTO DI
INNOVAZIONE PER LE PMI,
IL CASO VYRUS ALYEN.

Candidato: Arturo Arcidiacono
Matricola 1146947

Relatore: Prof. Roberto Saponelli
Correlatore: Prof. Michele Zannoni
Protesa S.P.A

Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Laurea Magistrale in Advanced Design

A.A.2024/2025

Dipartimento di Architettura

*Democratizzare il digitale:
realtà aumentata come strumento di innovazione per le PMI,
Il caso Vyrus Alyen.*

Candidato: Arturo Arcidiacono
Matricola 1146947

Relatore: Prof. Roberto Saponelli
Correlatore: Prof. Michele Zannoni
Protesa S.P.A

INDICE

ABSTRACT

INTRODUZIONE

- 12** Motivazioni e tema
- 12** Obiettivi della tesi
- 13** Il caso Vyrus come esempio di artigianato tecnologico
- 14** Metodologia e approccio
- 14** Struttura della tesi

PARTE I - Tecnologie, strumenti e metodologia di progetto

CONTESTO

- 16** Evoluzione della digitalizzazione nelle imprese
- 19** Realtà estesa (XR): definizioni e differenze
- 24** Democratizzazione del digitale

HARDWARE E DISPOSITIVI IMMERSIVI

- 26** Evoluzione dei visori VR/AR
- 32** Classificazione dei visori e confronto tecnico
- 41** Linee guida per microimprese

ACQUISIZIONE E DIGITALIZZAZIONE 3D

- 46** La fotogrammetria come ponte tra reale e virtuale
- 48** La pipeline di digitalizzazione e ottimizzazione
- 49** Strumenti e standard di esportazione

MOTORI DI SVILUPPO

- 52** Unreal Engine
- 54** Unity
- 56** CryEngine
- 57** Motori Open-Source e piattaforme Web-based

PARTE II - Il caso studio: Vyrus e il progetto Alyen

L'AZIENDA VYRUS E LA MOTOCICLETTA ALYEN

- 60** Origini e filosofia aziendale
- 62** Il modello Alyen: un'icona di design e personalizzazione
- 64** Sfide e opportunità dell'AR come soluzione progettuale

IL PROGETTO: CONFIGURATORE VR PER LA ALYEN

- 66** Obiettivi del progetto
- 70** Metodologia
- 72** Struttura dell'esperienza immersiva
- 80** Definizione della pipeline Blender -> Unity
- 82** Design e interfaccia immersiva (UI/UX)
- 85** Ottimizzazione delle prestazioni
- 88** Architettura logica del prototipo in Unity
- 90** Testing, prestazioni e validazione su Meta Quest 3

PARTE III - Aspetti economici, comunicativi e prospettive future

ANALISI ECONOMICA E SOSTENIBILITÀ

- 92** Struttura dei costi del progetto Alyen
- 94** Analisi dei risultati
- 95** Scalabilità e manutenzione

SVILUPPI FUTURI

- 97** Prossimi passi

CONCLUSIONI

- 100** Sintesi dei risultati e validazione del progetto

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- 102** Bibliografia
- 104** Sitografia

ABSTRACT

ABSTRACT

Negli ultimi anni, l'utilizzo di tecnologie immersive come la realtà virtuale (VR) e aumentata (AR) si è diffusa rapidamente in ambiti che vanno dalla progettazione industriale alla comunicazione di prodotto. Queste soluzioni però vengono spesso percepite come strumenti complessi, costosi e destinati esclusivamente a grandi aziende o centri di ricerca.

Questa tesi intende dimostrare come tali tecnologie possano invece diventare strumenti accessibili e ad alto valore anche per microimprese artigianali, rappresentando un esempio concreto di democratizzazione del digitale.

A sostegno dell'argomentazione teorica, si presenta un caso studio progettuale: lo sviluppo di un configuratore in realtà virtuale per la motocicletta Vyrus Alyen, un prodotto di eccellenza artigianale realizzato da un'azienda italiana di piccole dimensioni ma di altissimo livello tecnico e personalizzato.

Il progetto, sviluppato con un approccio di virtual prototyping e una pipeline accessibile (Blender -> Unity -> Meta Quest 3), mostra come una PMI possa integrare soluzioni immersive per migliorare la comunicazione interna (tra progettisti e artigiani) e esterna (verso clienti e partner) del proprio prodotto.

La tesi combina analisi teorica, ricerca tecnologica e sperimentazione pratica, per proporre un modello di utilizzo della AR scalabile, sostenibile e replicabile in contesti aziendali analoghi.

Il lavoro mira così a evidenziare che la rivoluzione digitale non è più esclusiva, ma può diventare uno strumento di innovazione condivisa, anche per chi lavora con processi su misura e con risorse limitate.

ABSTRACT

Lately, the use of immersive technologies such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR) has rapidly spread across fields ranging from industrial design to product communication. These solutions, are often perceived as complex, expensive tools intended exclusively for large companies or research centers.

This thesis aims to demonstrate how such technologies can instead become accessible even for small artisanal micro-enterprises, offering a concrete example of the democratization of digital innovation.

To support the theoretical argument, a design case study is presented: the development of a virtual-reality configurator for the Vyrus Alyen motorcycle, an artisanal excellence produced by a small Italian company distinguished by its outstanding technical expertise and high degree of customization.

The project, developed through a virtual-prototyping approach and an accessible pipeline (Blender -> Unity -> Meta Quest 3), shows how an SME can integrate immersive solutions to improve both internal communication (between designers and craftsmen) and external communication (towards clients and partners) of its product.

The thesis combines theoretical analysis, technological research, and practical experimentation to propose a scalable, sustainable, and replicable model for the use of AR in similar business contexts.

The work thus aims to highlight that the digital revolution is no longer exclusive, but can become a tool for shared innovation even for those who work with bespoke processes and limited resources.

INTRODUZIONE

Motivazioni e tema

La digitalizzazione dei processi produttivi e comunicativi è spesso interpretata come una trasformazione guidata dalle grandi imprese e dai colossi tecnologici. Il tessuto industriale italiano però è costituito in prevalenza da piccole e microimprese, realtà che custodiscono competenze artigianali di altissimo livello ma che, per limiti economici o culturali, faticano ad adottare le tecnologie emergenti.

L'obiettivo di questa ricerca è dunque indagare come strumenti quali la realtà virtuale possano essere semplificati, adattati e resi accessibili, diventando leve per innovare anche in contesti produttivi di piccola scala.

Obiettivi della tesi

La tesi persegue un duplice obiettivo:

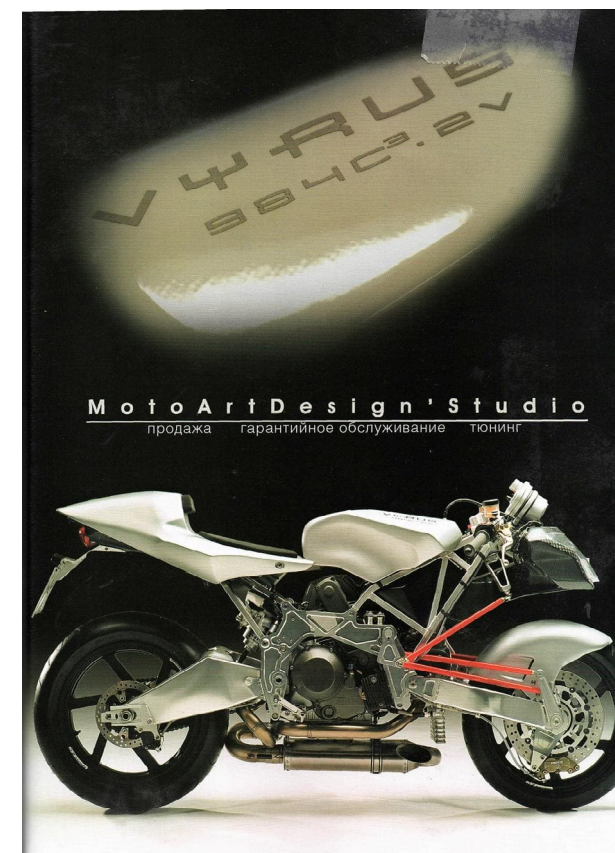
Dimostrare teoricamente che le tecnologie immersive non sono più strumenti elitari, ma possono essere adottate efficacemente anche da microimprese a elevata personalizzazione di prodotto;

Sperimentare praticamente questa affermazione attraverso un progetto applicativo, un configuratore VR per la motocicletta Vyrus Alyen, che traduce i principi della democratizzazione del digitale in un caso reale.

Il caso Vyrus come esempio di artigianato tecnologico

La scelta di **Vyrus** come oggetto di studio non è casuale. L'azienda, fondata a Coriano (Rimini), rappresenta una delle espressioni più **raffinate** del design motociclistico **artigianale** italiano: produzioni limitate, cura maniacale dei dettagli e una continua ricerca di soluzioni meccaniche e stilistiche uniche.

In questo contesto, la realtà virtuale diventa non solo uno strumento di comunicazione, ma un ponte tra tradizione e innovazione, in grado di valorizzare il know-how artigianale con un linguaggio contemporaneo e coinvolgente.



Vyrus 985 C³ 4V, rivista Motorcyclist, agosto 2006

Metodologia e approccio

La ricerca si fonda su un metodo che unisce:

Analisi teorica delle tecnologie immersive, della loro evoluzione e delle strategie di adozione nelle PMI;

Sperimentazione progettuale tramite la realizzazione di un prototipo VR funzionante, testato su visore Meta Quest 3;

Osservazione qualitativa dei benefici in termini di comunicazione, engagement e rappresentazione del prodotto. Il percorso segue le fasi di un progetto di virtual prototyping: acquisizione dei dati, ottimizzazione 3D, sviluppo in Unity, testing e validazione.

Struttura della tesi

La tesi è articolata in tre parti principali:

Parte I

Analizza in dettaglio hardware, software, motori grafici e workflow tecnici necessari per la creazione di esperienze VR accessibili;

Parte II

Presenta il caso studio dell'azienda Vyrus e lo sviluppo del configuratore VR per la motocicletta Alyen, illustrando fasi, scelte progettuali e risultati;

Parte III

Discute gli aspetti economici, comunicativi e culturali della democratizzazione tecnologica e le prospettive future delle realtà immersive nelle microimprese.

PARTE I

Tecnologie, strumenti e metodologie di progetto

CONTESTO

Evoluzione della digitalizzazione nelle imprese

La digitalizzazione nelle imprese, in particolare l'evoluzione delle tecnologie immersive come la VR e la AR, è un processo che ha subito una **forte accelerazione** negli ultimi anni, rimodellando i processi di progettazione, produzione e comunicazione.

Questa evoluzione, in parte spinta dalle restrizioni del periodo pandemico, ha portato a una forte **diffusione del digitale**, con un aumento dell'offerta di strumenti (come gli headset) a **prezzi** sempre più **competitivi**.

L'amplificazione del Divario Digitale

La tendenza alla digitalizzazione ha contribuito ad ampliare il gap tecnologico preesistente tra aziende grandi e piccole imprese.

Grandi Aziende: Le grandi aziende e le realtà più strutturate hanno tratto enormi vantaggi dalle innovazioni tecnologiche, aumentando la loro capacità produttiva e la loro efficienza. Hanno potuto sostenere investimenti significativi per l'acquisto di hardware avanzati, software sofisticati e servizi tecnologici, beneficiando delle economie di scala nei volumi di acquisto. Durante la pandemia, hanno utilizzato strumenti come piattaforme di collaborazione, software di gestione e automazione dei processi per mantenere o persino aumentare la produttività, operando con efficienza anche da remoto.

Piccole e Medie Imprese (PMI): Le PMI, spesso operando con budget limitati, sono rimaste più ancorate al loro livello tecnologico preesistente. La mancanza di investimenti nell'innovazione ha fatto sì che, durante l'emergenza, abbiano affrontato lunghe interruzioni operative e inefficienze dovute alla mancata adozione di strumenti consoni per il lavoro da remoto o l'e-commerce.

Questa situazione ha diffuso l'idea che gli strumenti digitali avanzati, come gli headset VR/AR, siano di interesse elitario, utili solo per grandi aziende e uno spreco di risorse per le imprese più piccole.

L'Evoluzione della Tecnologia Immersiva (VR/AR)

La storia recente della VR mostra un percorso di progressiva accessibilità tecnologica.

Dalle prime soluzioni tethered (legate a PC ad alte prestazioni), si è passati ai visori standalone (autonomi e senza cavi), come Meta Quest 2 e 3 o Pico 4, che rendono le esperienze immersive più portabili e sostenibili.

Inoltre, i sistemi di tracciamento sono migliorati (ad esempio, l'uso dell'inside-out tracking elimina la necessità di sensori esterni).

Fino a pochi anni fa, implementare **un sistema VR poteva costare tra i 100.000 e i 250.000 euro** per via di hardware di alta gamma e licenze software costose. Oggi, grazie ai progressi tecnologici, i costi sono drasticamente ridotti. Per le PMI, **è ora possibile** realizzare un progetto VR con un investimento notevolmente inferiore (nell'ordine di poche migliaia di euro), sfruttando **visori standalone economici** (€500–€1.000) e motori grafici come Unreal Engine o Unity che offrono licenze gratuite per progetti con fatturati limitati.

Le Aree di Applicazione Aziendale

La digitalizzazione avanzata si sta diffondendo in vari settori aziendali, offrendo vantaggi operativi e comunicativi:

Ricerca e Sviluppo (R&D) e Industria: Sebbene l'interesse accademico generale per VR/AR abbia mostrato una tendenza al calo dopo il 2013, l'applicazione industriale è rimasta più stabile. In Europa, l'interesse è forte soprattutto per la manutenzione (71% delle pubblicazioni nell'UE in questo settore), la produttività e la formazione (training). L'AR, ad esempio, può essere utilizzata per l'assistenza remota o la manutenzione, mentre la VR è usata per il training dei lavoratori.

Comunicazione e Vendite: Le grandi aziende come IKEA, BMW e Audi hanno fatto da pioniere, utilizzando la VR per configuratori avanzati e per potenziare la customer experience.

rience. Le PMI possono seguire questo trend per:

- **Coinvolgimento del cliente:** permettere ai clienti di esplorare e personalizzare i prodotti in modo immersivo e realistico.

- **Assistenza Tecnica:** fornire supporto post-vendita o training per operatori, riducendo la necessità di spostamenti fisici e abbattendo i costi di logistica.

Formazione (Training): La formazione in VR ha dimostrato di essere molto più efficace rispetto ai metodi tradizionali in aula o e-learning. I partecipanti formati in VR sono risultati il 275% più sicuri nell'applicare le competenze apprese, completando la formazione 4 volte più velocemente rispetto all'aula, con un maggiore coinvolgimento emotivo.

In sintesi, l'evoluzione della digitalizzazione si è mossa da uno strumento elitario a **un insieme di tecnologie sempre più accessibili** (grazie soprattutto alla riduzione dei costi hardware e alla maturazione dei software come Unity e Unreal Engine), offrendo alle PMI l'opportunità di colmare il divario tecnologico e di trasformare l'interazione con clienti e processi interni, specialmente nei settori manifatturieri e del design.

Realta' estesa (XR): definizioni e differenze

Il termine XR (dall'inglese Extended Reality) viene anche definito, in modo più colloquiale, come "tecnologia immersiva". La "**X**" in XR simboleggia la **variabile** che rappresenta tutte le opportunità insite in questo campo.

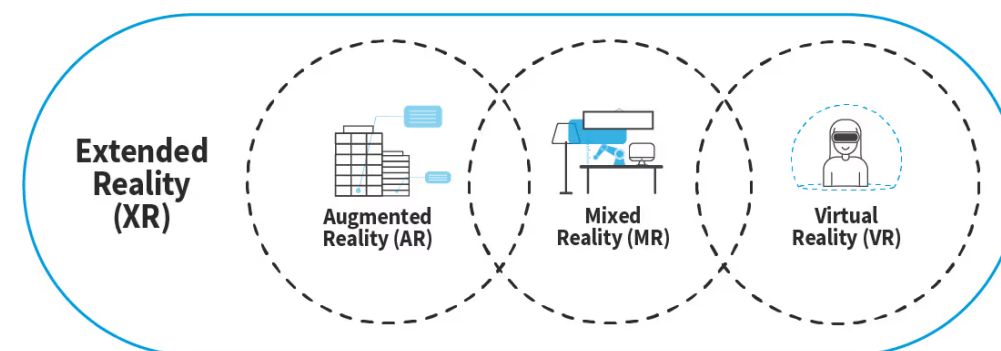
Le tre principali sottocategorie della Realtà Estesa (XR) sono la Realtà Virtuale (VR), la Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Mista (MR). Queste tecnologie si **differenziano** tra loro in base al grado di **immersione** e alla loro **relazione con l'ambiente** reale circostante.

Di seguito sono riportate le definizioni e le differenze chiave per ciascuna di esse, in linea con il Continuum Realtà-Virtualità (Reality-Virtuality Continuum) definito da Paul Milgram e Fumio Kishino:

Realta' Estesa (XR):

Il concetto più ampio che include tutte le tecnologie di "non-realtà" e i nuovi modelli di interazione uomo-computer, come VR, AR e MR.

Raccoglie **l'intero spettro** tra mondo reale e mondo virtuale.



Realta' Virtuale (VR) (Virtual Reality):

Ricostruisce ambienti o oggetti interamente digitali e simulati dal computer. **Sostituisce completamente** il mondo reale con un'esperienza virtuale immersiva. L'utente viene immerso indossando un visore (HMD) che azzerà la vista e l'udito esterni. La VR consente l'interazione totale con gli elementi virtuali, spesso tramite controller, guanti aptici o hand tracking.

Il punto finale del Continuum, dove l'ambiente è **interamente virtuale**.

Realta' Aumentata (AR) (Augmented Reality):

Sovrappone contenuti digitali (immagini, testi, modelli 3D) al mondo reale in tempo reale, potenziando la percezione dell'utente. I supporti principali sono dispositivi mobili (smartphone, tablet) che usano la telecamera, o visori con display trasparente (smartglass). L'AR è interattiva e registrata in 3D.

Più vicina al mondo reale nel Continuum Realtà-Virtualità.

Realta' Mista (MR) (Mixed Reality):

Fonde il mondo **reale** con quello **virtuale**, adattando i contenuti digitali all'ambiente fisico circostante. È considerata uno sviluppo più avanzato dell'AR, poiché il contenuto digitale è ancorato nello spazio 3D e può essere fisicamente manipolato e influenzato dal mondo materiale (interazione bidirezionale).

Si colloca tra la Realtà Aumentata e la Realtà Virtuale nel Continuum.

Dettagli sulle Tecnologie

VR

L'obiettivo della VR è sostituire completamente il mondo reale con un'esperienza virtuale immersiva che appaia realistica, anche se tutti gli stimoli (visivi, uditivi, e talvolta tattili) sono generati da un computer. L'immersione si riferisce al livello di stimoli sensoriali che l'utente sperimenta.

Definizione Accademica (Suggerita dagli Autori della Revisione Medica): In un contesto medico e basato sulla revisione di letteratura (Abbas et al., 2023), è stata suggerita una definizione che evita dipendenze hardware specifiche: "VR è un ambiente simulato, tridimensionale e generato al computer, che tenta di replicare interazioni e ambienti reali o immaginari, supportando così il lavoro, l'istruzione, la ricreazione e la salute".

Hardware: L'esperienza VR è tipicamente ottenuta indossando un visore HMD (Head-Mounted Display). I visori più evoluti utilizzano telecamere per tracciare i movimenti reali dell'utente e replicarli nel mondo virtuale.

Differenza chiave: A differenza del video 360, la VR non si limita all'osservazione, ma permette l'interazione da parte dell'utente con i singoli oggetti all'interno della scena 3D.

AR

La Realtà Aumentata (AR) è definita come una tecnica per mostrare informazioni aggiuntive sul mondo reale.

Definizione (Azuma, 1997): L'AR combina l'ambiente reale e quello virtuale, è registrata in 3D ed è interattiva in tempo reale.

Hardware: L'AR è fruibile principalmente tramite la telecamera di dispositivi mobili (smartphone, tablet) o visori con display trasparente (smartglass).

Funzionamento: I sistemi AR acquisiscono continuamente la scena attraverso una telecamera solidale con il visore (o il dispositivo mobile) e ne analizzano il contenuto (ad esempio, tramite computer vision e tracking) per determinare il punto di vista dell'osservatore. Questo permette di proiettare elementi grafici (freccie, testi, modelli 3D) che coincidono perfettamente con la posizione a cui si riferiscono nella scena reale.

Applicazioni: L'AR è ideale per situazioni in cui è necessario un supporto manuale contestuale alle operazioni come la manutenzione in una catena di montaggio, fornendo le giuste indicazioni nello spazio e al momento opportuno.

MR

La Mixed Reality (MR) è spesso considerata un punto intermedio o un avanzamento dell'AR.

Definizione: La MR unisce il mondo virtuale a quello reale attraverso l'adattamento dei contenuti digitali al mondo fisico. La caratteristica che la distingue dall'AR è l'interazione bidirezionale in cui i due mondi interagiscono tra loro: il mondo materiale può influenzare quello digitale, che a sua volta cambia adattandosi. Ad esempio, il contenuto digitale è ancorato nello spazio 3D e manipolabile fisicamente dall'utente.

Hardware: Tipicamente usa smartglass come Hololens di Microsoft, ma anche la telecamera di uno smartphone.

Obiettivo: Aggiungere informazioni digitali rilevanti per l'utente sul mondo fisico in tempo reale, consentendo all'utente di interagire fisicamente con essi.

In sintesi, l'XR è lo spettro completo, con la VR che offre la massima immersione in un mondo totalmente digitale (sostituendo la realtà), l'AR che sovrappone informazioni digitali al mondo reale (aumentando la realtà), e la MR che crea un ambiente ibrido in cui elementi reali e virtuali possono interagire reciprocamente.

Democratizzazione del digitale

La democratizzazione del digitale rappresenta un paradigma socio-tecnologico che descrive il **progressivo ampliamento** dell'accesso a **strumenti** tecnologici **complessi**, da parte di un pubblico sempre più vasto. Questo processo consente anche a piccoli team e microimprese artigianali di utilizzare tecnologie un tempo considerate prerogativa esclusiva delle grandi aziende.

Storicamente, la VR e l'AR erano infatti percepite come strumenti elitari, complessi e costosi, riservati a realtà aziendali dotate di risorse economiche e competenze altamente specializzate. Oggi, al contrario, la progressiva democratizzazione tecnologica ha **infranto** questa **barriera**: l'accesso a hardware e software avanzati è divenuto più semplice e sostenibile, rendendo tali tecnologie strumenti praticabili anche per le Piccole e Medie Imprese (PMI).

All'interno di questa tesi, il principio di democratizzazione digitale trova una validazione concreta nel progetto del configuratore in Realtà Virtuale per la motocicletta Vyrus Alyen. L'obiettivo è dimostrare come anche una microimprese artigianale possa integrare la VR nella propria strategia comunicativa e produttiva attraverso strumenti accessibili e una pipeline di lavoro semplificata.

HARDWARE E DISPOSITIVI IMMERSIVI

Evoluzione dei visori VR/AR

L'evoluzione dei visori per la Realtà Estesa (XR) è un percorso storico di progressiva accessibilità tecnologica e miglioramento delle prestazioni. Questa evoluzione è stata fondamentale per portare le tecnologie immersive dai laboratori all'industria e al mercato di massa.

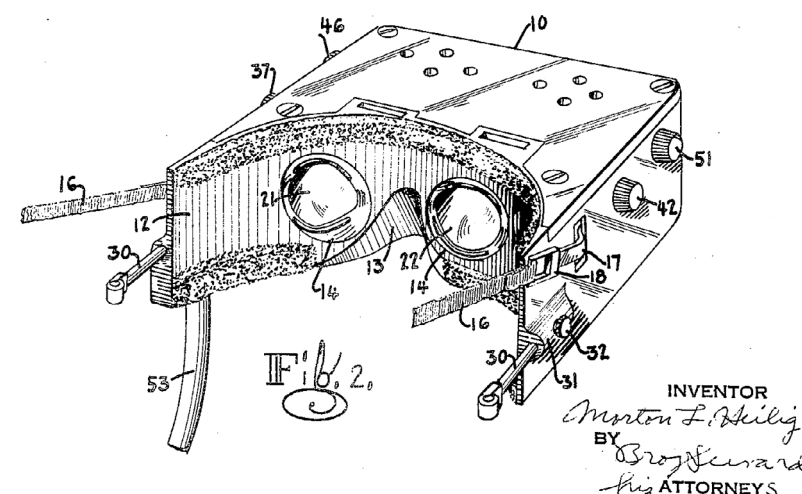
Dalle Origini ai primi prototipi

La storia della Realtà Aumentata (AR) affonda le sue radici molto prima della diffusione dei sistemi digitali contemporanei. Già alla fine degli **anni '50** Morton Heilig, pioniere delle esperienze immersive, sviluppò il **Sensorama**, un simulatore multisensoriale che combinava immagini stereoscopiche, suoni, vibrazioni e perfino odori, nel tentativo di creare un'esperienza iper-realistica capace di coinvolgere più sensi contemporaneamente. Sebbene non si trattasse ancora di AR in senso stretto, il Sensorama rappresentò uno dei **primi tentativi** di espandere la percezione del mondo reale attraverso un apparato tecnologico.

Poco dopo, nel **1960**, Heilig brevettò il **Telesphere Mask**, il primo vero tentativo di creare un head-mounted display indossabile. A differenza del Sensorama, questo dispositivo poteva essere portato **sulla testa** e offriva **immagini stereoscopiche** a largo campo visivo accompagnate da audio integrato. Pur non essendo dotata di tracking dei movimenti né di capacità computazionali proprie, la Telesphere Mask costituisce il prototipo concettuale dei moderni visori VR e AR: un dispositivo personale, leggero e focalizzato sulla visualizzazione immersiva.

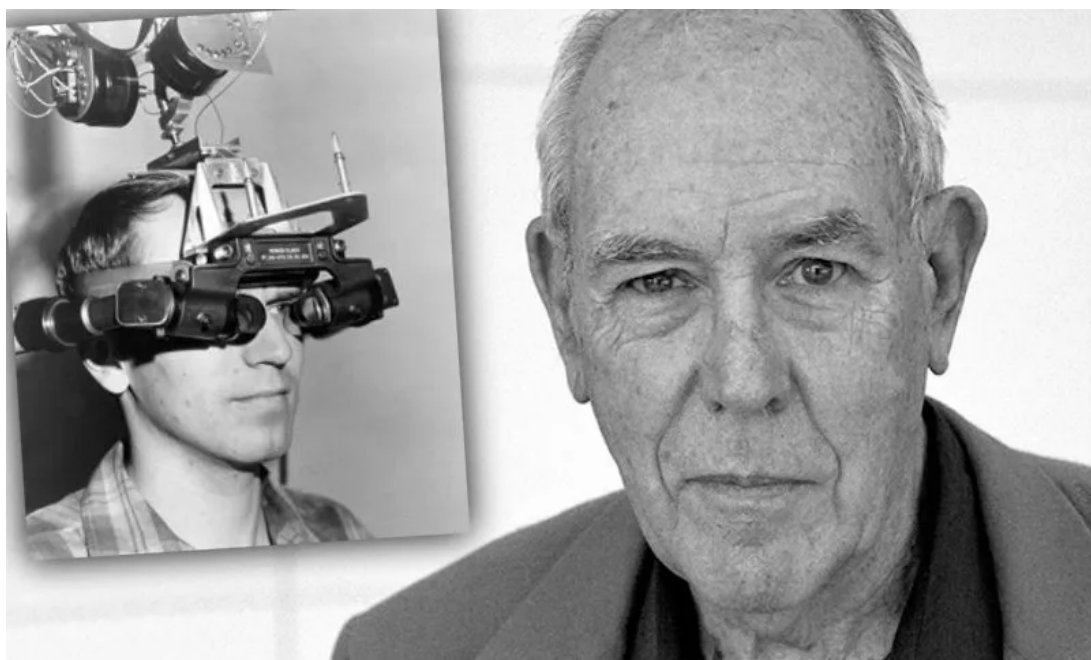


Sensorama, Morton Heilig, 1956



Telesphere Mask, Morton Heilig, 1960

Nel **1968**, Ivan Sutherland progettò il celebre **Sword of Damocles**, considerato il primo vero head-mounted display della storia. Montato al soffitto per compensarne il peso, questo dispositivo permetteva di **sovrapporre alla visione** reale semplici oggetti grafici generati al computer, configurando così una delle primissime forme di realtà aumentata ottica. L'opera di Sutherland, anticipata dalle sue riflessioni teoriche sull'"Ultimate Display" (1965), contribuì in modo decisivo a definire la direzione concettuale delle future tecnologie immersive.



"The Sword of Damocles, Ivan Sutherland, un prototipo di visore VR rudimentale, sospeso sopra la testa dell'utente come una spada di Damocle, proiettava immagini stereoscopiche su uno schermo posizionato davanti agli occhi, creando un'illusione di tridimensionalità mai vista prima.

Dopo questa fase pionieristica, la realtà aumentata rimase per anni un campo di ricerca sperimentale, prevalentemente confinato a contesti accademici o militari. Un punto di svolta si ebbe nei primi **anni '90**, quando Thomas P. Caudell, ingegnere della Boeing, propose per la prima volta l'espressione **"Augmented Reality"** per descrivere un sistema che mostrava istruzioni digitali direttamente all'operaio impegnato nell'assemblaggio dei cablaggi aeronautici. Da quel momento l'AR iniziò ad assumere un'identità più definita, trovando applicazioni concrete in ambito industriale.

Pochi anni più tardi, nel 1992, Louis Rosenberg sviluppò il sistema Virtual Fixtures presso l'Air Force Research Laboratory: un apparato in grado di sovrapporre guide visive e indicatori tattili al mondo reale, dimostrando come l'aumento digitale potesse migliorare in modo significativo l'efficienza delle operazioni manuali.

La crescita scientifica dell'AR raggiunse una **definizione** più solida grazie al lavoro di Ronald Azuma (1997), che individuò **tre caratteristiche fondamentali della tecnologia**: combinazione di elementi reali e virtuali, interazione in tempo reale e corretta registrazione spaziale dei contenuti digitali rispetto alla scena reale. Questa definizione, oggi largamente accettata, contribuì a distinguere l'AR dalla Realtà Virtuale e a costruire un quadro teorico condiviso.

L'evoluzione successiva fu strettamente legata alla diffusione dei **dispositivi mobili**. Con l'introduzione degli smartphone dotati di fotocamere, GPS, bussola digitale e potenti processori grafici, la realtà aumentata trovò per la prima volta una piattaforma realmente accessibile al grande pubblico. Intorno al 2008-2010 comparvero applicazioni come Layar, che consentivano di visualizzare informazioni contestuali semplicemente puntando il telefono verso un edificio o un oggetto nel mondo reale. L'AR diventava così una **tecnologia quotidiana**, integrata nella mobilità e nella comunicazione personale.

L'accelerazione recente e la svolta standalone

Negli ultimi anni, in particolare a partire dal **2016**, si è verificato un significativo aumento di popolarità per la VR. Questo è dovuto al rilascio di **hardware a basso costo** e più orientato al consumatore, rendendo la tecnologia più accessibile a un pubblico più ampio. Aziende come Meta (formalmente Facebook) sono in gran parte responsabili di questo recente picco di diffusione.

La fase più significativa dell'evoluzione riguarda il passaggio dal sistema legato al PC (tethered) al **sistema autonomo** (standalone). Questa evoluzione ha reso le esperienze immersive non più un lusso, ma una soluzione economicamente sostenibile anche per le piccole e medie imprese (PMI).



Project Morpheus, visore progettato da Sony, annunciato nel 2014 e lanciato nel 2016 per PlayStation 4.

Evoluzione dei Dispositivi AR e MR

La Realtà Aumentata (AR) e la Realtà Mista (MR) hanno seguito un percorso evolutivo parallelo, spesso concentrandosi sulla sovrapposizione di contenuti digitali sul mondo reale.

Dispositivi Portatili (Handheld): L'AR ha prosperato principalmente sulle applicazioni mobili, utilizzando smartphone o tablet che funzionano come display video-see-through. Questi dispositivi sono estremamente diffusi e combinano CPU, fotocamera, accelerometro, GPS e bussola, ma hanno uno schermo di piccole dimensioni.

Realtà Mista: Dispositivi più recenti come l'HoloLens 2 e l'Apple Vision Pro sono passati alla Realtà Mista (MR), permettendo il blending dinamico tra reale e virtuale attraverso il pass-through video.

Classificazione dei visori e confronto tecnico

La classificazione e il confronto tecnico dei visori per la XR possono essere effettuati in base al loro **funzionamento** (cablato o autonomo) e al **tipo di tecnologia** di visualizzazione utilizzata.

Classificazione dei Visori per Funzionamento e Mobilità:

I visori si distinguono in due categorie principali a seconda della loro dipendenza da un computer esterno:

Categoria	Caratteristiche Principali	Vantaggi Chiave
Visori Tethered (PC Powered)	Richiedono un collegamento via cavo a un PC ad alte prestazioni per funzionare.	Garantiscono la massima qualità grafica e un tracking preciso.
Visori Standalone (Autonomi)	Dispositivi wireless dotati di processore, sensori e batteria interni.	Offrono libertà di movimento, portabilità e semplicità d'uso, rendendoli scalabili e sostenibili.

Classificazione per Tecnologia Immersiva (VR/AR/MR)

Gli HMD possono anche essere classificati in base al modo in cui visualizzano il mondo reale o virtuale:

VR (Virtual Reality): Questi visori (HMD) permettono di immergersi completamente in un mondo 100% digitale, azzerando gli stimoli visivi e uditivi esterni.

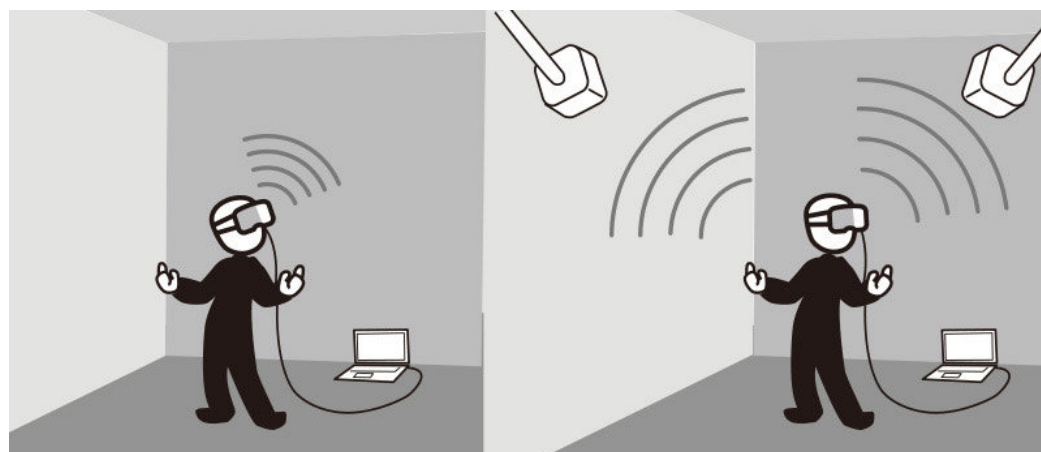
AR (Augmented Reality) / MR (Mixed Reality): Questi visori consentono di sovrapporre contenuti digitali al mondo reale. Possono essere:

Video-see-through HMD: Utilizzano telecamere montate sul visore per acquisire il mondo reale e poi visualizzano un video con gli oggetti virtuali sovrapposti. Richiedono più elaborazione ma permettono un controllo completo sulla sincronizzazione temporale degli elementi.

Optical-see-through HMD: Impiegano una tecnologia a specchio semi-argentato o display ottici trasparenti che permettono all'utente di vedere il mondo fisico direttamente, mentre la grafica virtuale è riflessa nei suoi occhi. Questo offre una percezione più naturale del mondo reale, ma può introdurre problemi di ritardo (time lag) che fanno apparire l'immagine virtuale instabile.

Sistemi di Tracciamento (Tracking)

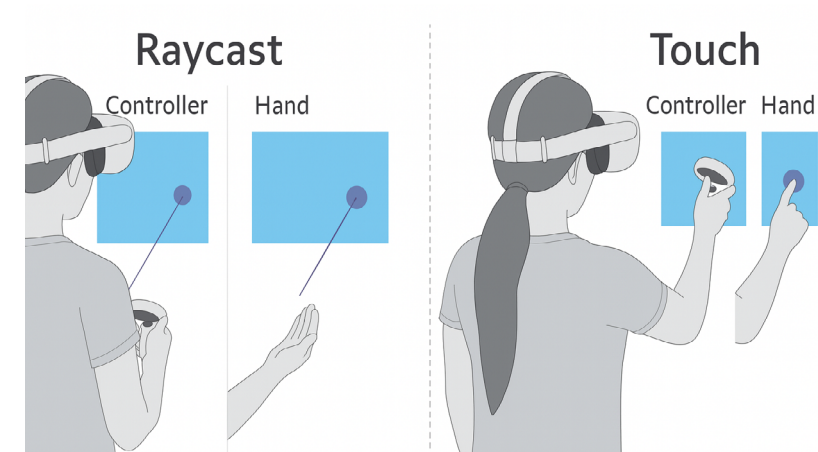
Tracking Outside-In vs. Inside-Out: I primi sistemi (come HTC Vive) erano outside-in, richiedendo l'installazione di sensori esterni (torrette o telecamere) nello spazio di utilizzo. I visori moderni (come Meta Quest) utilizzano il tracking inside-out, che sfrutta telecamere integrate nel visore per rilevare il mondo materiale e il movimento dell'utente, eliminando la necessità di sensori esterni.



Inside-out Tracking

Outside-in Tracking

Interazione: Inizialmente basata su controller, l'interazione si è evoluta per includere il tracciamento delle mani (hand tracking) o delle gesture. Dispositivi di fascia alta come l'Apple Vision Pro si basano sul tracciamento oculare e sulle gesture come forma principale di interazione.



Confronto tecnico dettagliato dei visori commerciali



Varjo X3



Vive



Hololens 2

funzionamento

PC powered

PC powered

Standalone

realtà

VR, AR

VR

AR

rilevazione

Inside-out

Outside-in

Inside-out

risoluzione

5K per occhio

2K per occhio

2K per occhio

tracciamento mani

Sì

Optional

Sì

controllo vocale

No

No

No

peso

880 g

555 g

566 g

prezzo

5.000 € + software

1.000 €

3.500 €



Meta Quest 2

Standalone

VR

Inside-out

2K per occhio

Sì

Sì

503 g

500 €



Meta Quest 3

Standalone

VR, AR

Inside-out

4K

Sì

Sì

515 g

700 €



Apple Vision Pro

Standalone
(con batteria esterna)

VR, AR

Inside-out

4K+

Sì

Sì

600 g

4.000 €



Pico 4

Standalone

VR, AR

Inside-out

4K per occhio

Sì

Sì

295 g

500 €

Linee guida per microimprese

Come si può notare, i **Meta Quest** e il **Pico 4** sono citati come **visori di fascia di prezzo bassa** o accessibile che garantiscono comunque prestazioni elevate, rendendoli soluzioni economicamente sostenibili per le piccole imprese. Il Varjo XR-3 e il Vision Pro, pur essendo più costosi, offrono rispettivamente la massima risoluzione e sistemi di tracciamento e interazione avanzatissimi (come il tracciamento oculare, delle mani e vocale per il Vision Pro, che non necessita di controller).

L'evoluzione dei visori VR/AR è **passata da grandi e costosi** "computer da zaino" **a dispositivi leggeri** e autonomi, come un telefono cellulare che si trasforma in un teatro: la potenza di elaborazione si è miniaturizzata, democratizzando l'accesso alle esperienze immersive.

Per una microimpresa che intende adottare tecnologie di Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (AR), la scelta dell'hardware e del software deve essere guidata dal principio della democratizzazione del digitale. Questo implica **privilegiare soluzioni** che garantiscano un investimento contenuto e **sostenibile**, ma che al tempo stesso offrano risultati professionali, scalabili e adattabili alle esigenze operative di realtà di piccole dimensioni.

Scelta dell'hardware

L'obiettivo principale per le microimprese è **ridurre il costo totale di proprietà** (TCO) e semplificare le fasi di installazione e gestione logistica. In questo senso, i visori standalone rappresentano la scelta più efficace.

Modelli come Meta Quest 3 o Pico 4 offrono un equilibrio ottimale tra costo e prestazioni, con un prezzo compreso tra 500 e 1.000 euro.

Un ulteriore vantaggio risiede nella **semplicità di installazione**: il sistema di tracciamento inside-out del Meta Quest 3, ad esempio, non richiede sensori esterni o configurazioni complesse, rendendo l'uso immediato anche in contesti aziendali con risorse tecniche limitate. A ciò si aggiunge l'alta portabilità, che consente di impiegare il dispositivo in fiere, eventi o showroom senza dover predisporre set-up elaborati.

Infine, il supporto al tracciamento delle mani (hand tracking) e ai controller ottici semplifica l'interazione e riduce la barriera d'ingresso per utenti non esperti. Proprio per questi motivi, il Meta Quest 3 è stato selezionato per lo sviluppo del progetto VR Alyen, in quanto risponde pienamente ai requisiti di accessibilità economica, qualità visiva e compatibilità software richiesti da una microimpresa.

Scelta del software

La selezione del software ha un impatto diretto sulla curva di apprendimento, sulla **qualità grafica** del prodotto e sulla **sostenibilità** a lungo termine del progetto. In questo ambito, le soluzioni con licenza freemium o open-source rappresentano l'opzione più coerente con la logica di democratizzazione. Motori di sviluppo come Unity e Unreal Engine offrono infatti **licenze gratuite** per progetti con fatturati limitati, mentre strumenti come Blender, dedicato alla modellazione e ottimizzazione 3D, sono completamente open-source e gratuiti.

Per le microimprese, è consigliabile orientarsi verso motori grafici **versatili** e **leggeri**, adatti alla realtà VR mobile. Unity 3D si distingue in questo senso per la sua flessibilità, l'ampia documentazione disponibile e la presenza dello XR Interaction Toolkit, che facilita l'integrazione nativa con i visori Meta Quest. L'utilizzo della Universal Render Pipeline (URP) consente inoltre di bilanciare efficienza e qualità visiva, rendendo Unity una scelta ideale per progetti "mobile-first" o a basso consumo di risorse.

Sebbene Unreal Engine rappresenti il riferimento per il fotorealismo, grazie a tecnologie come Lumen e Nanite, la sua maggiore complessità e i requisiti hardware più elevati lo rendono meno adatto alle esigenze delle PMI. Un ulteriore criterio fondamentale riguarda la **interoperabilità** dei formati, che garantisce la possibilità di riutilizzare asset 3D già presenti in azienda (modelli CAD o render di prodotto). Formati aperti come glTF, FBX o USD favoriscono l'integrazione dei modelli in diverse piattaforme.

Strategia operativa

L'adozione di tecnologie immersive da parte di una microimpresa dovrebbe seguire una logica "lean", ovvero leggera e progressiva. Tale approccio può essere articolato in tre passaggi:

1. Sfruttare gli asset esistenti: partire dai modelli 3D già disponibili in azienda, riducendo tempi e costi di produzione.

2. Definire una pipeline accessibile: utilizzare una catena di strumenti economici e diffusi, come nel caso del progetto Alyen (Blender per la modellazione -> Unity per lo sviluppo -> Meta Quest 3 per il testing e la fruizione).

3. Progettare la scalabilità: concepire l'applicazione VR come una piattaforma modulare, estendibile nel tempo, in grado di evolvere verso applicazioni AR/MR o di supportare altre funzioni aziendali, come la formazione interna o la presentazione commerciale.

In sintesi, per una piccola impresa l'adozione della VR non deve puntare alla ricerca della "macchina da corsa" tecnologicamente più potente, ma del veicolo più efficiente e sostenibile: una combinazione come Unity + Meta Quest 3 rappresenta la soluzione ideale per raggiungere l'obiettivo con un investimento misurato, mantenendo al contempo un'elevata qualità esperienziale e comunicativa.

ACQUISIZIONE E DIGITALIZZAZIONE 3D

L'acquisizione e la digitalizzazione 3D rappresentano la fase cruciale del processo che permette di creare un **ponte tra la realtà fisica** e il mondo **virtuale**, trasformando un prodotto materiale in un suo gemello digitale ottimizzato per le esperienze di Realtà Virtuale (VR) e Realtà Aumentata (AR).

Nel contesto di progetti immersivi, come quello sviluppato per la motocicletta Vyrus Alyen, la digitalizzazione 3D è fondamentale per garantire che l'unicità e il dettaglio dei prodotti artigianali vengano trasferiti fedelmente nell'ambiente virtuale, mantenendo al contempo le prestazioni necessarie per un'esperienza fluida.

La fotogrammetria come ponte tra reale e virtuale

La fotogrammetria è la scienza che permette di **ottenere informazioni** affidabili di oggetti fisici e **dell'ambiente** attraverso processi di registrazione, misura e interpretazione di **immagini** fotografiche.

L'idea di ricavare informazioni dimensionali dagli oggetti fisici nacque subito dopo l'invenzione della fotografia nel 1839. La capacità di ricavare dati metrici dalle fotografie deriva dal fatto che una foto può essere considerata una prospettiva centrale.

Definizione: La fotogrammetria è la scienza e tecnica che permette di ottenere informazioni precise sulle dimensioni, forma e posizione di oggetti o superfici a partire da fotografie o immagini. In pratica, consiste nell'analizzare foto o immagini digitali per ricostruire la realtà in 2D o 3D. La definizione della posizione di un punto nello spazio tridimensionale richiede due immagini acquisite da punti differenti, nelle quali tale punto risulti visibile. La posizione viene determinata risolvendo le equazioni di collinearità, che esprimono le relazioni geometriche alla base delle proiezioni.

Le Fasi del Processo Fotogrammetrico

Le operazioni di rilievo fotogrammetrico si articolano in tre fasi distinte:

1. Acquisizione: Consiste nella presa di immagini fotografiche tramite l'uso di macchine fotografiche, definite "camere". L'acquisizione può essere terrestre (nota anche come close range photogrammetry), aerea (spesso realizzata con UAV o droni), o sferica (utilizzando panorami multi-immagine).

2. Orientamento: In questa fase vengono determinati i parametri che definiscono le relazioni analitiche tra punti oggetto e punti immagine.

- Orientamento Interno: Riguarda la stima dei parametri della camera che definiscono la metrica della proiezione centrale (come la lunghezza focale, il punto principale e le distorsioni).

- Orientamento Esterno: Determina la posizione e l'assetto dei fotogrammi in relazione a una struttura di riferimento nello spazio, spesso utilizzando punti di appoggio di coordinate note (Ground Control Points) per la rototraslazione e la scalatura (orientamento assoluto).

3. Restituzione: Questo è l'ultimo stadio del processo e implica l'esecuzione delle misure sul modello stereoscopico, la determinazione delle coordinate tridimensionali dei punti oggetto e la rappresentazione grafica finale (come ortofoto o mesh tridimensionali). Nella fotogrammetria digitale, la restituzione si svolge tramite l'esecuzione automatica delle operazioni necessarie.

La Pipeline di Digitalizzazione e Ottimizzazione

Dopo l'acquisizione e la ricostruzione (che generano modelli ad alta fedeltà), è necessaria una fase di ottimizzazione per rendere il modello 3D utilizzabile in applicazioni di Realtà Estesa, dove la performance è cruciale per mantenere un frame rate stabile (FPS).

La pipeline di digitalizzazione (come nel progetto Alyen) comprende:

- 1. Ricostruzione e Pulizia:** Ricostruzione fotogrammetrica e successiva pulizia della mesh.
- 2. Retotologia e Riduzione Poligonale:** Si procede alla retotologia e alla riduzione dei poligoni (decimation e Livelli di Dettaglio - LOD multipli).
- 3. Modellazione/animazione e Gerarchia:** Per prodotti complessi, si utilizza una modellazione modulare e gerarchica per organizzare i componenti.
- 4. Texturing e Baking:** Applicazione di Texturing PBR (Physically Based Rendering) e baking delle texture per ridurre i calcoli in tempo reale.
- 5. Esportazione:** I modelli vengono esportati in formati ottimizzati per la VR.

Strumenti e Standard di Esportazione

L'efficacia del processo di digitalizzazione dipende anche dalla scelta degli strumenti software e dalla conformità agli standard di **interscambio**:

Software: Strumenti come Blender, 3Ds Max e Maya sono utilizzati per il controllo preciso della topologia, del texturing e dell'allineamento gerarchico, creando una pipeline compatibile con motori di gioco come Unity e Unreal.

Standard di Esportazione: I formati di esportazione ottimizzati per la VR includono FBX e glTF (Graphics Library Transmission Format). L'adozione di standard aperti come glTF, FBX e USD (Universal Scene Description) è cruciale perché garantisce la compatibilità tra diverse piattaforme (VR, web, AR).

Il risultato di questa complessa fase è la creazione di un patrimonio digitale aziendale. Il processo deve essere concepito per essere non solo performante, ma anche stabile e facilmente replicabile da piccoli team.

MOTORI DI SVILUPPO

I motori di sviluppo (o motori grafici/di gioco) e le piattaforme immersive sono il **nucleo software** di qualsiasi applicazione di Realtà Estesa (XR), gestendo aspetti cruciali come la grafica, la fisica, il suono e l'interazione. Forniscono agli sviluppatori le basi tecnologiche per creare esperienze interattive complesse e immersive.

I motori più avanzati e potenti sul mercato, utilizzati sia per i videogiochi AAA (alto budget) che per le simulazioni industriali e le esperienze immersive di fascia alta, sono Unreal Engine e Unity.

La **scelta** del motore dipende fortemente dagli **obiettivi** del progetto, dal **budget** e dal livello di **fotorealismo** desiderato.

UNREAL ENGINE

Unreal Engine (sviluppato da Epic Games) è uno dei motori più avanzati, noto per la sua capacità di gestire grafica ad alta fedeltà e fotorealistica.

Punto di Forza

Qualità grafica superiore e fotorealismo. Ideale per esperienze che richiedono un impatto visivo elevatissimo (ad esempio, settore automobilistico o beni di lusso).

Tecnologie Rendering

Utilizza tecnologie all'avanguardia come Nanite e Lumen (illuminazione globale dinamica in tempo reale). Supporta avanzatamente il Ray Tracing in tempo reale, combinando rasterizzazione e ray tracing selettivo.

XR e Interattività

Offre supporto nativo per esperienze in VR e AR. Supporta il DLSS (Deep Learning Super Sampling) di NVIDIA, una componente essenziale per mantenere prestazioni elevate con il Ray Tracing.

Linguaggi e UI

Utilizza principalmente C++ per le alte prestazioni, ma il suo punto di forza nell'accessibilità è il sistema di scripting visivo Blueprint, che permette di creare logiche di gioco complesse senza scrivere codice.

Costi/Licenza

Utilizza un modello di royalty (gratuito fino a una certa soglia di guadagno, dopodiché si paga una percentuale sulle vendite). Offre licenze gratuite per uso non commerciale.

Limiti

Curva di apprendimento piuttosto ripida. L'ottimizzazione per il web (via Pixel Streaming) non è nativamente leggera sul browser.

UNITY

Unity è un motore grafico popolare e versatile, noto per la capacità di adattarsi a una vasta gamma di progetti, dai giochi 2D a complessi ambienti 3D.

Punto di Forza

Flessibilità e versatilità multiplatforma (desktop, mobile, console, AR/VR). È una scelta più sostenibile e coerente per le microimprese.

Tecnologie Rendering

Offre pipeline diverse a seconda del progetto: la Universal Render Pipeline (URP) è ottima per giochi 2D, VR e AR mobile, mentre la High Definition Render Pipeline (HDRP) è pensata per grafica avanzata e qualità cinematografica, supportando anche il Ray Tracing.

XR e Interattività

Scelto per la sua integrazione nativa con i visori come Meta Quest 3 e l'uso dell'XR Interaction Toolkit per implementare le interazioni in modo modulare. È la scelta principale per i giochi basati sulla Realtà Aumentata (AR) e geolocalizzazione.

Linguaggi e UI

Utilizza principalmente C#. Dispone di Bolt (un sistema di visual scripting) che, assieme alla sua interfaccia intuitiva, lo rende più accessibile per i principianti.

Costi/Licenza

Licenza gratuita per progetti non commerciali o con fatturati limitati.

Limiti

La sua architettura modulare (tramite il Package Manager e Asset Store) lo rende adattabile a progetti di qualsiasi scala e complessità.

CryEngine

CryEngine, sviluppato da Crytek, è noto per aver fissato nuovi standard nella grafica fotorealistica e per la gestione avanzata degli ambienti open-world.

Rendering e Illuminazione: Utilizza il sistema SVOGI (Sparse Voxel Octree Global Illumination) per l'illuminazione globale, che consente rimbalzi di luce in tempo reale senza necessità di pre-baking. Supporta il Ray Tracing, ma in un approccio ibrido.

Fisica: Integra CryPhysics, un sottosistema fisico proprietario per simulazioni realistiche di corpi e geometrie fisiche.

Limiti: Curva di apprendimento decisamente ripida e facilità d'uso molto bassa. Non ha un'infrastruttura di networking avanzata e spesso richiede librerie esterne.

Motori Open Source e Piattaforme Web-Based

Queste soluzioni si distinguono per l'accessibilità, il basso costo e la focalizzazione su specifici ambiti (2D, web, o modularità estrema).

I principali motori open source sono:

Godot

Adatto per AR e VR meno esigenti in termini grafici. Completamente gratuito e open-source (licenza MIT). Usa GDScript (simile a Python).

Open 3D Engine (O3DE)

Architettura estremamente modulare tramite i sistemi Gems, che permettono agli sviluppatori di selezionare solo i componenti necessari, ottimizzando le prestazioni. Ideale per simulazioni che richiedono alta scalabilità.

Three.js / WebXR

WebXR è una frontiera di accessibilità che consente esperienze VR/AR senza installazioni. Three.js è una libreria JavaScript leggera per configuratori web-based. Grafica meno realistica rispetto ai motori AAA.

Threekit

Soluzione "chiavi in mano" che si integra con piattaforme come Shopify. Supporta la visualizzazione in AR (per vedere i prodotti nel proprio ambiente).

PARTE II

IL CASO STUDIO: VYRUS E IL PROGETTO ALYEN

L'AZIENDA VYRUS E LA MOTOCICLETTA ALYEN

In sintesi, la **decisione** tra i motori di sviluppo si riduce spesso a un **compromesso** tra **qualità** fotorealistica e **prestazioni** estreme (Unreal Engine e CryEngine) e versatilità, portabilità e accessibilità economica (Unity e motori open-source come Godot). Per le piccole imprese, Unity e le soluzioni standalone (come Meta Quest 3, con cui è stato sviluppato il progetto Alyen) rappresentano la combinazione più sostenibile e replicabile.

Origini e filosofia aziendale

Vyrus è un'azienda **artigianale** italiana con sede a Coriano, Rimini, le cui origini e la cui filosofia sono inscindibilmente legate alla figura del fondatore, Ascanio Rodorigo, ex tecnico Bimota.

La **filosofia** aziendale della Vyrus si riassume nell'espressione "**artigianato tecnologico**". L'azienda opera su scala ridotta, con uno staff interno composto da poche persone, e una **produzione** estremamente **limitata**, che conta tra le 5 e le 10 moto vendute ogni anno. Le motociclette Vyrus sono considerate "pezzi d'autore" e non prodotti di serie, realizzati con un approccio sartoriale e sperimentale, in cui ogni esemplare viene **personalizzato in modo estremo** per verniciatura, materiali e configurazione meccanica.

Questa filosofia unisce l'estetica del design meccanico con l'innovazione ingegneristica più estrema, ricorrendo a materiali compositi e componenti "ricavati quasi sempre da pieno". L'innovazione tecnica più distintiva che caratterizza la produzione Vyrus è l'adozione dello "sterzo indiretto" (o sospensione hub-center).



Bottega Vyrus, Rimini, 2001

Il modello Alyen: un'icona di design e personalizzazione

Presentata nel 2020, la Vyrus Alyen è un manifesto del design motociclistico contemporaneo.

Disegnata dal celebre designer Ascanio Rodorigo in collaborazione con Adrian Morton (ex MV Agusta), Alyen rappresenta un esperimento radicale: una moto quasi “**aliena**”, costruita intorno a un telaio in lega di magnesio e carbonio, con sospensioni a doppio braccio oscillante e carenature scolpite come una scultura dinamica.

Ogni esemplare è **completamente personalizzabile**: verniciatura, componenti, configurazione meccanica, materiali e dettagli vengono definiti insieme al cliente.

Questo livello di customizzazione, tipico di un laboratorio artigianale, comporta **sfide** complesse **nella comunicazione** di prodotto: non esistono due Alyen identiche, e raccontarne le possibilità visivamente è difficile con i soli render statici o cataloghi.



Sfide comunicative e opportunità della AR come soluzione progettuale

Vyrus si confronta con una condizione tipica delle microimprese artigianali ad alto contenuto innovativo: produce un oggetto **altamente** concettuale e tecnologicamente **complesso**, ma senza disporre delle risorse economiche e comunicative di una grande multinazionale.

In questo scenario, la **Realtà Virtuale** si configura come una **soluzione** strategica in grado di rispondere a entrambe le esigenze. Essa consente al cliente di esplorare la motocicletta in modo immersivo, realistico e interattivo, favorendo una comprensione diretta del prodotto e delle sue possibilità di personalizzazione.

In tal modo, la tecnologia immersiva non rappresenta solo un mezzo di presentazione innovativo, ma diventa un ponte comunicativo tra l'artigianato e l'ingegneria, tra il laboratorio e il mercato, contribuendo a **rafforzare l'identità** del prodotto e la capacità dell'azienda di dialogare in modo efficace con tutti i propri interlocutori.

IL PROGETTO: CONFIGURATORE VR PER LA VYRUS ALYEN

Obiettivi del progetto

Il progetto nasce all'interno di un contesto produttivo unico nel suo genere: Vyrus è una microimpresa artigianale che realizza motociclette come opere d'autore, costruendo ogni esemplare attraverso un dialogo continuo con il cliente. Questo rapporto diretto, quasi confidenziale, rappresenta uno dei punti di forza dell'azienda, ma porta con sé anche una serie di sfide comunicative. La personalizzazione estrema rende **difficile poter raccontare** visivamente tutte le combinazioni possibili attraverso fotografie, render statici o semplici campionature. Ogni richiesta implica nuove immagini, nuove spiegazioni, nuovi momenti in cui progettista e cliente devono sforzarsi di immaginare la stessa cosa.

Oggi, gran parte del processo comunicativo di Vyrus si basa su un **linguaggio analogico**: conversazioni, schizzi, fotografie condivise via messaggio, qualche render realizzato su richiesta. La moto esiste soprattutto "in testa", nelle parole di chi la descrive e negli occhi di chi cerca di immaginarla. Questo approccio, rischia di **generare fraintendimenti**, rallentamenti e incomprensioni, soprattutto quando si tratta di trasmettere valori tecnici complessi o dettagli estetici difficili da descrivere verbalmente.



Attuale sito web di Vyrus che il cliente utilizza per visualizzare render statici della motocicletta Alyen solo in alcune configurazioni.

L'obiettivo del progetto è proporre un **modello alternativo**, capace di preservare il carattere artigianale dell'azienda ma arricchirlo con un linguaggio più diretto, intuitivo e immersivo: **la realtà virtuale**. L'idea non è quella di sostituire il rapporto umano o la dimensione di bottega, ma di creare uno strumento che renda più chiaro ciò che già esiste e che spesso sfugge nei passaggi intermedi della comunicazione.

Per chiarire il valore trasformativo della VR, si riporta un **confronto sintetico** tra il processo attuale e quello previsto dopo l'introduzione del configuratore:

Aspetto	Oggi	Dopo la VR
Presentazione della moto	Foto, render statici, spiegazioni verbali	Visualizzazione immersiva 1:1
Comprensione tecnica	Limitata, mediata da parole e immagini	Componenti isolabili, viste esplose e animazioni
Personalizzazione	Lenta, basata su nuovi render a richiesta	Cambiamenti in tempo reale
Comunicazione cliente-azienda	Dialogo interpretativo	Dialogo supportato da un oggetto condiviso e visibile
Percezione del valore	Dipende dalla capacità immaginativa	Valore percepito immediato e realistico

Il configuratore VR sviluppato per la Vyrus Alyen si pone quindi quattro obiettivi principali:

1

Valorizzare il sapere artigianale attraverso uno strumento narrativo.

L'esperienza VR deve raccontare non solo la motocicletta, ma anche la filosofia che guida la sua progettazione: l'idea di "artigianato tecnologico" che unisce competenza manuale e innovazione.

2

Rendere la comunicazione di prodotto piu' immediata e coinvolgente.

Il cliente deve poter vedere e capire la moto come se fosse fisicamente davanti a lui, entrando in un ambiente coerente con l'identità visiva dell'azienda.

3

Semplificare il processo di personalizzazione.

La VR consente di modificare colori, dettagli e ambientazioni in tempo reale, evitando la produzione continua di nuove immagini e riducendo le probabilità di fraintendimenti.

4

Costruire un modello replicabile per altre microimprese.

Il progetto mira a dimostrare che anche aziende di piccole dimensioni, con team ridotti e risorse limitate, possono integrare strumenti immersivi tramite pipeline accessibili e sostenibili.

Metodologia

La metodologia adottata per lo sviluppo del configuratore VR si basa su un **approccio iterativo**, pensato per mantenere il progetto accessibile e coerente con le necessità di una microimpresa come Vyrus.

Ricerca preliminare e definizione del concept

La prima fase del lavoro ha riguardato lo **studio** diretto **dell'identità** di Vyrus e delle modalità attraverso cui l'azienda comunica oggi la propria motocicletta. Osservare le interazioni reali tra progettisti, artigiani e clienti ha permesso di identificare i punti critici: la difficoltà nel rendere visibile la complessità ingegneristica, la necessità di produrre continuamente nuovi render, la distanza tra ciò che viene descritto e ciò che viene immaginato. Da questa analisi è emersa la necessità di creare uno strumento capace di restituire immediatezza, chiarezza e continuità narrativa.

Prototipazione tecnica (pipeline Blender, Unity, Meta Quest 3)

Una seconda fase ha riguardato la costruzione del **prototipo** attraverso una pipeline tecnica pensata per essere leggera e ripetibile. L'ottimizzazione del modello 3D della Alyen, la sua suddivisione in componenti autonomi e l'adattamento delle texture tramite baking hanno permesso di ottenere un modello adatto al rendering in tempo reale.

Sviluppo dell'esperienza immersiva (design UI, interazione, storytelling).

La progettazione dell'esperienza si è concentrata sulla **definizione di un flusso** naturale e intuitivo che rispecchiasse le esigenze reali del processo Vyrus. La modalità dedicata all'esplorazione tecnica offre la possibilità di isolare, ruotare e analizzare i componenti; la modalità dedicata alla personalizzazione consente invece di osservare in tempo reale le variazioni estetiche.

Validazione e ottimizzazione

Il prototipo è stato infine sottoposto a numerosi cicli di **test** sul visore Meta Quest 3, con l'obiettivo di garantire un'esperienza fluida e stabile.

Struttura dell'esperienza immersiva

L'esperienza sviluppata nel progetto del configuratore VR per la Vyrus Alyen è concepita come un **percorso immersivo unico**, che accompagna l'utente alla scoperta del prodotto e della filosofia aziendale attraverso un linguaggio visivo e interattivo. L'ambiente virtuale è progettato per evocare **l'atmosfera** del laboratorio Vyrus, con scelte cromatiche, materiali e illuminazioni che rimandano all'identità artigianale e tecnologica del marchio.

All'interno di questo spazio, la motocicletta Alyen rappresenta il fulcro dell'esperienza. L'utente può esplorarla liberamente e **interagire** con essa in due modalità complementari: **l'esplorazione tecnica** (Spare Parts) e **la personalizzazione estetica** (Customization).

Le due modalità possono essere selezionate in qualsiasi momento nel menu che compare sul palmo della mano destra o del controller.



Visualizzazione di insieme

Spare Parts

Nella fase di esplorazione, la moto è scomposta in **componenti**, come forcella, motore e manubrio consentendo all'utente di selezionare ciascun elemento attraverso il controller. Al passaggio del puntatore, il componente si evidenzia e rende trasparente il resto della geometria e alla selezione permette di visualizzare il pezzo in dettaglio.



selezione della modalità spare parts



puntamento del componente

Alla selezione dei singoli componenti si ha la possibilità di visualizzare, attraverso slider e toggle, le **animazioni** di rotazione e di explode view oltre a dei **pannelli informativi** tridimensionali che illustrano i codici specifici dei singoli pezzi, permettendo di comprendere la complessità ingegneristica e la qualità costruttiva del prodotto.



visualizzazione del componente "forcella posteriore"



visualizzazione del componente "manubrio"



Animazione di esplosione e rotazione del componente "forcella posteriore"



Animazione di esplosione e rotazione del componente "manubrio"

Customization

Successivamente, l'esperienza evolve verso una dimensione più **personalizzabile**, in cui l'utente può modificare:

- colore del telaio
- colore del sellino
- colore dei dettagli
- ambientazione

Le modifiche vengono aggiornate in **tempo reale**, evidenziando la natura fortemente customizzabile della produzione Vyrus e trasformando **l'utente** da semplice osservatore a **partecipante** attivo nel processo di configurazione.

Nel suo insieme, il configuratore VR non si limita a presentare il prodotto, ma diventa uno strumento narrativo e comunicativo capace di tradurre l'essenza del marchio Vyrus in un linguaggio immersivo.

Come nella modalità "Spare Parts", alla selezione dell'oggetto da personalizzare, il resto diventa trasparente per evidenziare la modifica in atto.



Selezione della modalità "Customization"



Selezione del componente "carrozzeria" per personalizzare



Selezione del colore scelto per la personalizzazione



Selezione del componente "sellino" per personalizzare



Ambientazione alternativa



Selezione del colore scelto per la personalizzazione



QR code per visualizzare il video dimostrativo dell'esperienza

Pipeline Blender-Unity

La pipeline tecnica è stata uno dei pilastri del progetto. È stata strutturata per garantire **efficienza**, coerenza visiva e **ottimizzazione** delle **performance**.

Modellazione e ottimizzazione in Blender:

- importazione modelli;
- riduzione poligonale (decimazione e retopologia manuale);
- definizione gerarchia logica (root->gruppo->mesh);
- applicazione di materiali PBR leggeri;
- animazione componenti;
- modellazione e texturing di environment fotorealistici.

Esportazione

- formato utilizzati: FBX;
- unità metriche, assi, UV, normali e pivot corretti per garantire scala reale e la giusta resa in VR.

Importazione in Unity

- riconoscimento dei materiali e settaggio shader;
- assegnazione di colliders, luci e layer interattivi;
- definizione delle logiche.

Deploy su Meta Quest 3

-test di fluidità, stabilità e leggibilità su visore standalone.



In alto: rigging e animazione di esplosione dei componenti del menu' "Spare Parts"

In basso: risultato dell' UV unwrapping e dell'assegnazione dei materiali.

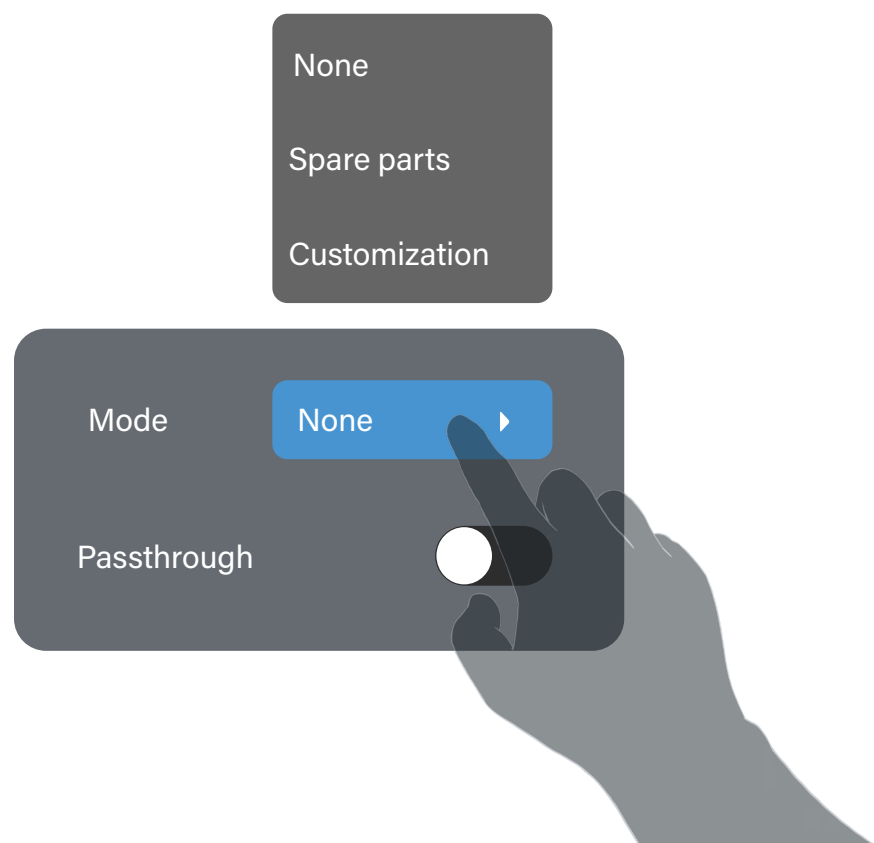
Design interfaccia immersiva (UI/UX)

Il design dell'interfaccia è stato costruito secondo il principio della coerenza spaziale: tutti gli elementi di interazione (menu, pulsanti, schede tecniche) sono integrati nello **spazio tridimensionale**, evitando overlay bidimensionali che romperebbero l'immersione.

In ordine di comparsa le interfacce interagibili sono:

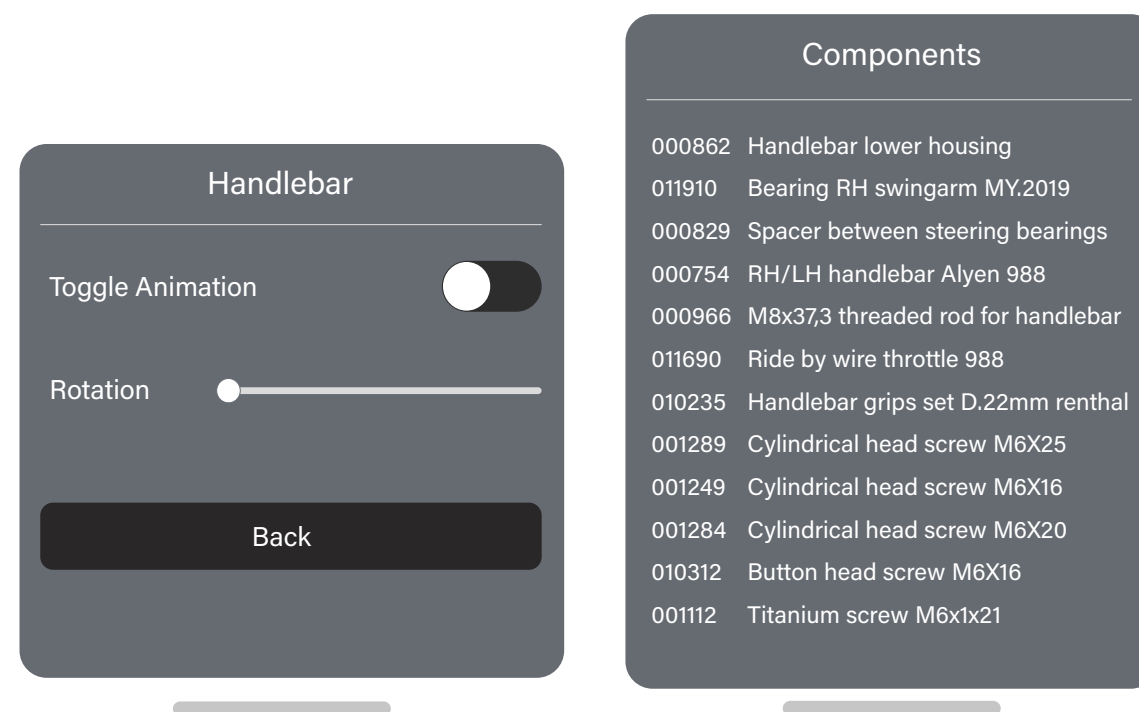
Menu' di selezione della modalita'

Il **menu' principale** è molto intuitivo e presenta un tasto per la selezione della modalità desiderata e un toggle per attivare il passthrough, passando dalla visualizzazione VR a quella AR.

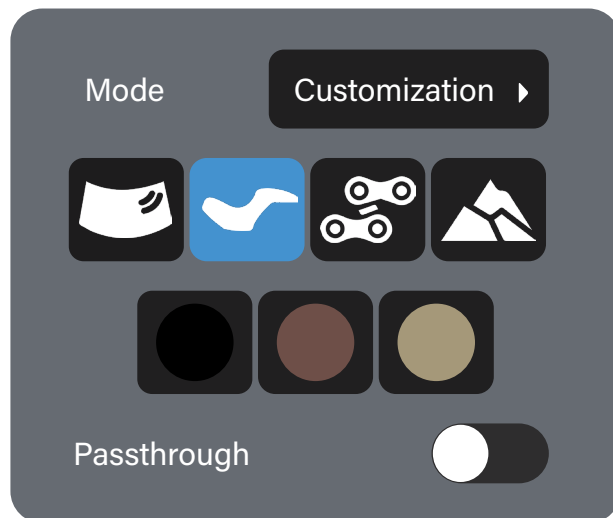
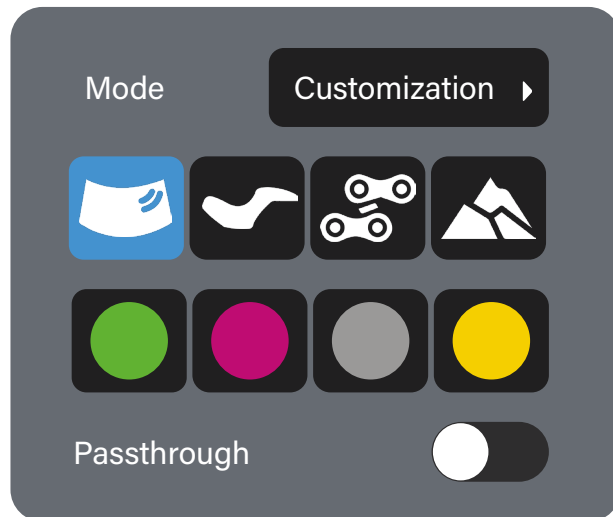


Spare Parts _UI

Nel primo pannello visibile all'interno della sezione Spare Parts sono presenti: il nome del **componente** selezionato, un toggle per attivare **l'animazione** di esplosione, uno slider per **ruotare** il pezzo rispetto al proprio centro e un pulsante per tornare alla visualizzazione iniziale. Ogni interfaccia può essere liberamente spostata all'interno dello spazio di lavoro tramite la barra di ancoraggio posizionata nella parte inferiore. Inoltre, per ogni componente è disponibile un'area dedicata che visualizza **l'elenco** dei singoli elementi che lo compongono.



Accedendo alla modalità Customization, tramite l'apposita icona è possibile selezionare il **componente** da modificare, come la carrozzeria, il sellino, gli elementi di dettaglio e infine l'ambiente circostante. Una volta scelto il componente, vengono immediatamente mostrati i **colori** disponibili, che possono essere applicati liberamente secondo le preferenze dell'utente.



Ottimizzazione delle prestazioni

Uno degli aspetti più critici nello sviluppo di esperienze immersive è il mantenimento di un frame rate stabile e fluido, condizione essenziale per evitare affaticamento visivo e garantire comfort all'utente. In questo progetto, l'obiettivo di ottimizzazione è stato duplice:

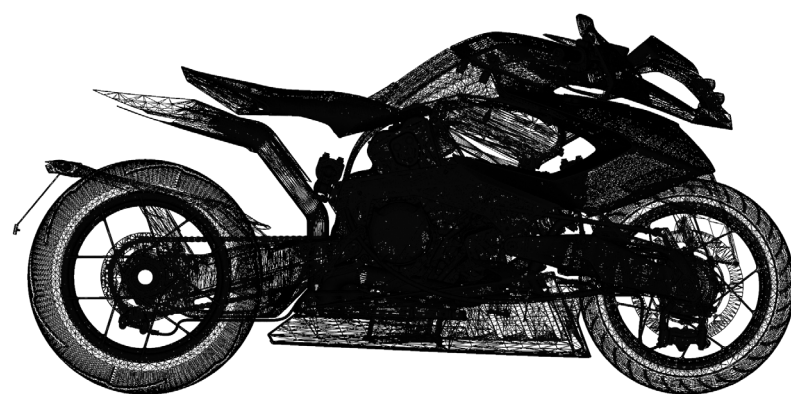
- **assicurare prestazioni elevate** su un dispositivo standalone come Meta Quest 3, dotato di risorse hardware limitate rispetto a un PC desktop;
- **preservare qualità visiva** e fedeltà estetica, mantenendo però il progetto accessibile e leggero.

Per raggiungere questo equilibrio, sono state adottate diverse strategie tecniche di ottimizzazione, applicate in tutte le fasi della pipeline di sviluppo.

Pulizia geometrica e riduzione delle mesh non visibili

Durante la fase di preparazione in Blender, il modello originale della motocicletta (derivato da fonti CAD) è stato analizzato per individuare elementi che, pur presenti nella struttura reale, risultavano invisibili all'utente o privi di valore percettivo o funzionale nel contesto immersivo. Sono stati quindi eliminati o **semplificati**:

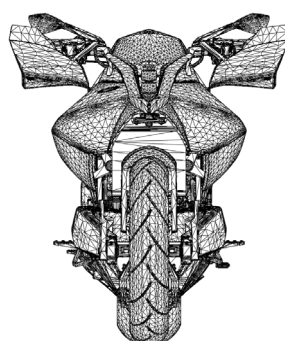
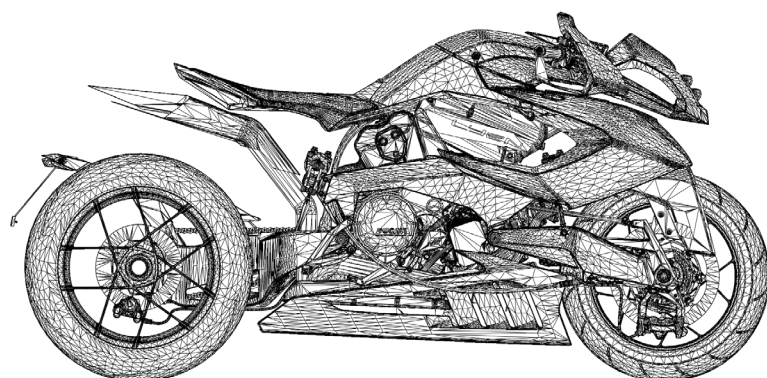
- Elementi interni al telaio, viti, giunzioni o componenti nascosti da carene e pannelli;
- superfici interne doppie o sovrapposte non percepibili dall'esterno.



Objects 3,431 / 3,431
Vertices 2,817,250 / 2,817,250
Edges 5,855,968 / 5,855,968
Faces 3,215,628 / 3,215,628
Triangles 3,215,628 / 3,215,628



Objects 15 / 15
Vertices 253,142 / 253,142
Edges 712,614 / 712,614
Faces 458,346 / 458,346
Triangles 458,346 / 458,346



Risultato dell'ottimizzazione delle geometrie, riduzione dei poligoni e rimozione delle mesh doppie o nascoste in fase di renderizzazione. Nelle immagini in alto la topologia del file CAD iniziale, nelle immagini in basso quella ottimizzata.

Lightmaps statiche e gestione dell'illuminazione

La maggior parte dell'illuminazione è stato **pre-calcolato** tramite lightmaps statiche, che consentono di memorizzare le informazioni di luce e ombra direttamente sulle texture delle superfici.

Questa tecnica riduce notevolmente il numero di calcoli richiesti al motore grafico in tempo reale, permettendo di mantenere frame rate elevati anche in scene complesse.

Riduzione dei materiali e semplificazione della scena

La scena principale è stata razionalizzata riducendo il numero complessivo di shader e materiali.

In questo modo si è ottenuta una struttura più pulita e facilmente gestibile, con tempi di caricamento più brevi e maggiore stabilità nelle build finali.

Architettura logica del prototipo in Unity

L'architettura del prototipo Alyen VR in Unity è stata progettata in modo **modulare** e flessibile, evitando una struttura gerarchica rigida basata su scene separate e preferendo un approccio più dinamico, fondato su caricamento selettivo degli elementi, gestione tramite prefab indipendenti e orchestrazione attraverso script C# dedicati alle singole funzioni.

Contrariamente a quanto avviene in altre esperienze VR, il progetto non si basa su un set di scene principali collegate da un menù centrale.

La struttura è infatti organizzata come un'unica scena di base, che funge da ambiente contenitore, all'interno della quale vengono caricati e gestiti dinamicamente:

- il modello 3D della moto (inserito come prefab);
- gli elementi interattivi (UI 3D, pulsanti, indicatori di selezione);
- i controller XR e i componenti dell'XR Interaction Toolkit;
- gli script dedicati alla gestione delle interazioni e delle animazioni.

Gestione della UI

La UI non è costituita da pannelli prefatti o asset esterni, ma costruita direttamente in Unity usando gli elementi di base (Canvas, Panel, Image, TextMeshPro).

La UI immersiva è basata su **canvas** in modalità World-Space, posizionati tridimensionalmente nello spazio; ogni pannello funziona come "contenitore" di elementi (icone, testi, slider, pulsanti).

Script e logica funzionale

La logica principale del prototipo è gestita attraverso **script C# indipendenti**, assegnati agli oggetti secondo necessità.

Gli script gestiscono:

- **interazioni** tramite XR Interaction Toolkit (selezione, hover, click);
- **animazioni** dei componenti (apertura, esplosioni, movimenti);
- **variazioni** dei materiali e dei **colori**;
- **gestione** degli stati **dell'interfaccia** (transizioni, attivazione moduli, gestione menu).

Struttura modulare e caricamento dinamico

Una delle caratteristiche distintive dell'architettura è la modularità della scena, che permette di mantenere l'ambiente pulito e leggero.

L'ambiente può essere sostituito, duplicato o variato senza toccare la logica della moto, la moto può essere caricata o rimossa senza ricostruire l'intera scena e gli elementi di UI possono essere attivati/disattivati a seconda dell'esperienza.

Questo rende il **sistema scalabile** e facilmente espandibile, coerente con l'idea di una pipeline replicabile da altre microimprese.

Testing, prestazioni e validazione su Meta Quest 3

Il prototipo è stato testato direttamente sul visore Meta Quest 3, valutando prestazioni e risposta visiva.

I test hanno evidenziato:

- Frame rate **stabile** intorno a 75–90 FPS;
- Tempi di caricamento inferiori ai 10 secondi;
- Esperienza **fluida** e intuitiva.

Il risultato finale è un prototipo VR **funzionante**, validato come piattaforma di comunicazione e configurazione di prodotto.

PARTE III ASPETTI ECONOMICI, COMUNICATIVI E PROSPETTIVE FUTURE

ANALISI ECONOMICA E SOSTENIBILITA'

Struttura dei costi del progetto Alyen

Fino a pochi anni fa, l'implementazione di un sistema VR aziendale richiedeva un investimento iniziale considerevole. I costi complessivi per creare una "sala virtuale" potevano oscillare tra 100.000 e 250.000 euro: I visori VR professionali potevano costare tra i 5.000 e i 10.000 euro l'uno ed erano necessarie potenti workstation per lo sviluppo VR, con costi che andavano dai 10.000 ai 20.000 euro.

A ciò si aggiungevano i costi per infrastrutture fisiche specifiche, come pareti con sensori e pavimenti interattivi. Le licenze annuali per motori grafici specializzati (come Unity o Unreal) potevano superare i 10.000 euro per utente.

Nel caso del configuratore Vyrus Alyen, il principio di democratizzazione del digitale si concretizza in una struttura dei costi **estremamente contenuta**, resa possibile dall'utilizzo di:

- hardware consumer;
- software open source o con licenze gratuite;
- tool di sviluppo accessibili;
- competenze tecniche realizzabili senza infrastrutture enterprise.

Il progetto si articola in quattro macro-categorie di costo:

Voce di costo	Descrizione	Stima indicativa
Hardware	Acquisto visore Meta Quest 3 + accessori	≈ 600–800 €
Licenza Software	Blender (gratuito), Unity (licenza gratuita per uso non commerciale), eventuali plugin o asset	≈ 0–200 €
Sviluppo software	Modellazione, retopologia, texturing, implementazione VR	≈ 5.000–7.000 €
Testing e ottimizzazione	Validazione, debug, interfaccia utente, prove iterative	≈ 2.000 €

Totale stimato: circa 7.500–10.000 €, una cifra nettamente inferiore ai costi storicamente necessari per lo sviluppo di soluzioni VR professionali.

Analisi dei risultati

L'analisi complessiva del progetto evidenzia come il configuratore Alyen VR abbia raggiunto **risultati significativi** sia sul piano tecnico sia su quello comunicativo.

Dal punto di vista tecnologico, lo sviluppo ha portato alla definizione di una pipeline Blender-Unity solida, stabile e facilmente replicabile anche in contesti con risorse limitate. La struttura modulare dell'architettura permette di sostituire, aggiornare o ampliare componenti senza dover ricostruire l'intero sistema, garantendo così una grande flessibilità per sviluppi futuri. Le ottimizzazioni effettuate consentono inoltre al prototipo di funzionare con prestazioni elevate su hardware completamente consumer, come il Meta Quest 3, rendendo l'esperienza fruibile in totale autonomia dal visore, senza la necessità di un PC esterno o di infrastrutture aggiuntive.

Sul piano comunicativo, il configuratore si è rivelato uno strumento estremamente efficace per valorizzare la complessità e l'unicità della motocicletta Alyen. La visualizzazione immersiva e l'interazione diretta con i componenti tecnici permettono all'utente di percepire la moto non solo come un oggetto estetico, ma come un insieme articolato di soluzioni ingegneristiche, enfatizzando il livello di artigianalità e innovazione che caratterizza il brand Vyrus. La realtà virtuale, inserendosi con coerenza nel linguaggio visivo dell'azienda, rafforza la percezione di Vyrus come marchio capace di coniugare tradizione meccanica e sperimentazione tecnologica. L'esperienza VR non si limita a informare, ma coinvolge emotivamente l'utente, trasformando la scoperta del prodotto in un percorso narrativo immersivo e sensoriale.

Scalabilità e manutenzione

Il configuratore è stato progettato fin dall'inizio come una **piattaforma evolutiva**. La sua architettura modulare permette infatti di integrare nuovi componenti o varianti della moto con un costo marginale, grazie a una pipeline di lavoro stabile che consente di **aggiornare** o sostituire singoli elementi senza ricostruire **l'intero sistema**. La stessa struttura può essere riutilizzata in modo efficiente anche per altri modelli o versioni di prodotto, rendendo il configuratore non un caso unico ma un format replicabile.

Inoltre, l'esperienza può essere esportata e **adattata a diversi contesti** applicativi, come fiere, showroom o piattaforme web compatibili con WebXR, senza la necessità di riscrivere il codice di base.

Grazie a questa impostazione, l'investimento iniziale non si esaurisce nella realizzazione del prototipo, ma diventa un vero e proprio **patrimonio digitale aziendale**, riutilizzabile, ampliabile e integrabile nelle future strategie di comunicazione e sviluppo prodotto di Vyrus.

SVILUPPI FUTURI

Prossimi passi

Il progetto Alyen VR rappresenta un primo passo verso una nuova forma di comunicazione immersiva per microimprese e realtà artigianali.

Le sue potenzialità di sviluppo aprono numerose direzioni di ricerca e implementazione futura, in grado di ampliare la portata tecnologica, esperienziale e culturale del sistema.

Tra le principali evoluzioni possibili si individuano le seguenti aree di intervento:

Miglioramento della resa fotorealistica

Una delle direzioni più promettenti riguarda il potenziamento della **qualità visiva** attraverso l'introduzione di tecniche di rendering avanzato, come il ray tracing in tempo reale o l'utilizzo del sistema di illuminazione dinamica Lumen (Unreal Engine).

L'obiettivo è ottenere una resa dei materiali e delle superfici ancora più fedele alla realtà fisica della motocicletta, rafforzando il senso di presenza e realismo percettivo. Questo passaggio permetterebbe di avvicinare la comunicazione virtuale alla qualità visiva della fotografia di prodotto, ma con il valore aggiunto dell'interattività.

Sound design immersivo e sincronizzazione sensoriale

Un ulteriore sviluppo riguarda l'integrazione di un sound design immersivo, basato su **suoni direzionali** e reattivi alle azioni dell'utente.

L'introduzione di **audio spazializzato** 3D (spatial audio) permetterebbe di sincronizzare rumori meccanici, variazioni ambientali o suoni di interfaccia, aumentando la percezione di realismo e il **coinvolgimento emotivo**.

Ottimizzazione ambientazione

Attualmente, l'ambiente virtuale è concepito come spazio neutro e minimale per valorizzare la moto.

Un'evoluzione futura potrebbe consistere nella definizione di scenari ambientali dinamici, ispirati al mondo Vyrus: officine futuristiche, paesaggi urbani o circuiti astratti.

Espansione del modulo Spare Parts

Un ulteriore sviluppo funzionale riguarda l'estensione del modulo Spare Parts per includere **tutti i componenti** meccanici e strutturali della motocicletta.

CONCLUSIONI

Sintesi dei risultati e validazione del progetto

La tesi ha dimostrato che è possibile realizzare un'applicazione di realtà virtuale tecnicamente solida, economicamente sostenibile e culturalmente significativa in un contesto di microimpresa.

Il progetto Alyen costituisce un esempio tangibile di democratizzazione del digitale, in cui una piccola azienda artigianale utilizza strumenti immersivi per comunicare e innovare.

La VR si conferma come mezzo accessibile, capace di amplificare l'impatto comunicativo e produttivo anche in contesti ridotti.

La barriera tecnologica è ormai più culturale che economica: serve consapevolezza e competenza progettuale, non grandi capitali.

La democratizzazione del digitale non è solo accesso alla tecnologia, ma una nuova forma di umanesimo tecnologico, dove la dimensione artigianale e quella digitale coesistono.

Vyrus diventa simbolo di questa convergenza: una piccola bottega che utilizza la VR per raccontare la propria eccellenza, rendendo la tecnologia un'estensione del pensiero progettuale italiano.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Bibliografia

Abbas, J. R., O'Connor, A., Ganapathy, E., Isba, R., Payton, A., McGrath, B., Tolley, N., & Bruce, I. A. (2023). What is Virtual Reality? A healthcare-focused systematic review of definitions. *Health Policy and Technology*, 12(2), 100741.

Bilous, V., & Sarachuk, K. (s.d.). Can small and medium enterprises benefit from AR technology? Current challenges and trends. *AHFE Open Access Journal / Conference Proceedings*.

Bin Kim, W., & Jung Choo, H. (2023). How virtual reality shopping experience enhances consumer creativity: The mediating role of perceptual curiosity. *Journal of Business Research*, 154, 113378.

Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., & Damiani, E. (2011). *Multimed Tools Appl. Multimed Tools Appl*, 51, 341–377.

Khosrow-Pour, M. (Ed.). (2021). *Handbook of Research on Innovation and Development of E-Commerce and E-Business in SMEs*. IGI Global.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), 1321–1329.

Ozturkcan, S. (2021). Service innovation: Using augmented reality in the IKEA Place app. *Journal of Information Technology Teaching Cases*, 11(1), 8–13.

Pal, D., Arpnikanondt, C., & Funilkul, S. (2022). Extended Reality (XR) for SMEs: Adoption factors and readiness models. *Computers in Industry*, 141, 103736.

Pessot, E., Nosella, A., & Moretto, A. (2023). Exploring SMEs' innovation paths with augmented and virtual reality technologies. *European Journal of Innovation Management*, 27(2), 301–324.

Poluzzi, A. (2024). *Motori di Gioco a Confronto: Analisi Comparativa e Tecnologie Emergenti* (Tesi di Laurea). Alma Mater Studiorum · Università di Bologna.

Raška, K., & Richter, T. (s.d.). *PROGRAMME OF STUDY: International Marketing*.

Schilling, M. A., & Izzo, F. (s.d.). *Gestione dell'Innovazione* (5a ed.). Mc Graw Hill.

Tang, Y. M., Lau, Y., & Ho, U. L. (2023). Empowering Digital Marketing with Interactive Virtual Reality (IVR) in Interior Design: Effects on Customer Satisfaction and Behaviour Intention. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 18(2), 889.

Sitografia

Applied. (2025). Le differenze tra XR, VR, MR e AR. Recuperato da <https://www.applied.it/it/le-differenze-tra-xr-vr-mr-e-ar-nws-36>

Commissione Europea. (2020). Decennio digitale europeo: obiettivi digitali per il 2030. Recuperato da https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/europes-digital-decade-digital-targets-2030_it

Consiglio dell'Unione Europea. (2022/2025). Un futuro digitale per l'Europa. Recuperato da <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/a-digital-future-for-europe/>

Consiglio dell'Unione Europea. (2024, 14 febbraio). Trasformazione digitale nelle imprese: il Consiglio adotta la sua posizione sul miglioramento degli strumenti digitali nel diritto societario. Recuperato da <https://www.consilium.europa.eu/it/press/press-releases/2024/02/14/digital-transformation-in-enterprises-council-adopts-position-on-upgrading-digital-company-law-tools/>

Digital Mosaik. (s.d.). Cos'è la realtà virtuale e come funziona. Recuperato da <https://www.digitalmosaik.com/it/blog/come-funziona-la-realta-virtuale/>

Digital Mosaik. (s.d.). La differenza tra realtà aumentata (AR) e realtà virtuale (VR). Recuperato da <https://www.digitalmosaik.com/it/blog/differenza-ar-vr/>

European Commission. (2024, 30 luglio). La Commissione presenta un nuovo strumento per aiutare le PMI ad autovalutare la loro maturità digitale. Digital Strategy – EU. Recuperato da <https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/news/commission-unveils-new-tool-help-smes-self-assess-their-digital-maturity>

European Commission. (2025). Digital Decade 2025 – Digitalisation of businesses in EU Member States. Recuperato da <https://digital-strategy.ec.europa.eu/it/library/digital-decade-2025-digitalisation-business-eu-member-states>

Industria Italiana. (2022, 2 marzo). Realtà virtuale, aumentata e mista: tutte le applicazioni per l'industria. Recuperato da <https://www.industriaitaliana.it/extended-reality-realta-virtuale-metaverso/>

Inmagazine Romagna. (2023). Vyrus: la bottega del motore. Recuperato da <https://www.inmagazineromagna.it/vyrus-la-bottega-del-motore/>

Innovazione Diritto. (2020). La nuova Strategia europea per le PMI. Innovazioni giuridiche digitali. Recuperato da https://www.innovazionediritto.it/media/pubblicazioni/2020/3/articolo_1.pdf

OpenAccess CMS Conferences. (2024). [Titolo dell'articolo – XR / VR / AR]. In Proceedings of Recuperato da https://openaccess.cms-conferences.org/publications/book/978-1-958651-87-2/article/978-1-958651-87-2_37

Pirelli Newsroom. (2020). Vyrus Alyen: The extraterrestrial motorcycle of design and technology. Recuperato da <https://www.pirelli.com/global/en-ww/road/motorcycles/vyrus-alyen-the-extraterrestrial-motorcycle-for-design-and-technology-52707/>

Rivista Microcredito. (2024). Il pacchetto aiuti dell'UE per la competitività e resilienza delle PMI. Recuperato da <https://rivista.microcredito.gov.it/opinioni/archivio-opinioni/1047-il-nuovo-pacchetto-aiuti-del-l%E2%80%99ue-per-la-competitivit%C3%A0-e-resilienza-delle-pmi.html>

Vyrus. (s.d.). Vyrus – sito ufficiale. Recuperato da <https://vyrus.it/>

Ringraziamenti

Anche se non sono esattamente il tipo, e anche se l'idea di mettere per iscritto certe cose mi fa già pentire di aver iniziato questo paragrafo, credo che la tesi magistrale sia un buon momento per dire ciò che di solito do per scontato.

Per prima cosa, desidero ringraziare il mio relatore, Prof. Roberto Saponelli, e il mio correlatore, Prof. Michele Zannoni che hanno creduto in questo progetto e mi hanno dato la possibilità concreta di portare avanti una ricerca che, per me, ha significato molto più di qualche mese di lavoro.

Grazie per il tempo, gli investimenti, la pazienza e le sfide.

Un grazie va al collega Filippo che mi ha aiutato a trasformare idee, bozze e crash in qualcosa che funziona davvero. Se l'applicazione esiste ed è presentabile, è anche grazie a te.

E ora arriviamo a loro: la mia famiglia.

Lo so che non avete bisogno che lo scriva qui per sapere quanto significhiate per me.

Lo sapete già, da sempre.

Ma lo scrivo comunque, perché è giusto così, e perché siete stati la parte più stabile e presente di ogni percorso.

Infine, un grande grazie a tutti i ragazzi di Studio Evil, che mi hanno supportato, sopportato e in alcuni casi persino incoraggiato mentre cercavo di non impazzire tra blender, unity, headset e crash imprevedibili.

Grazie per l'ambiente, per la leggerezza, per le risate e per aver reso questo lavoro molto più umano e molto meno pesante di quanto potesse essere.

A tutti voi, davvero: grazie.

